

বিডিনিয়োগ.কম

লাল-সবুজে  
দাগানো  
TEXT BOOK



রসায়ন  
১ম পত্র



ডিনোষ

মেডিকেল এন্ড ডেন্টাল এডমিশন কেয়ার



বিশ্ববিদ্যালয় ভর্তি পরীক্ষার সকল তথ্য  
এখন বিডিনিয়োগ.কম এ

**ভর্তি পরীক্ষা তথ্য**



**ফলাফল**

**সিটপ্ল্যান**

**প্রশ্নব্যাংক**

**নিচে ক্লিক করুন**



**[www.bdniyog.com](http://www.bdniyog.com)**



প্রতিদিনের চাকুরীর মার্কুলার পেতে [এখানে ক্লিক করুন](#)

প্রতি মাসের কারেন্ট অ্যাফেয়ার্স পিডিএফ [এখানে ক্লিক করুন](#)

চাকুরীর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

বিসিএম এর প্রয়োজনীয় পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

প্রতি সপ্তাহের চাকুরী পত্রিকা ডাউনলোড [এখানে ক্লিক করুন](#)

সকল নিয়োগ পরীক্ষার প্রশ্ন সমাধান [এখানে ক্লিক করুন](#)

**বিডিনিয়োগ.কম দেশের মেরা পিডিএফ কালেকশন**

SSC এর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

HSC এর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

বিশ্ববিদ্যালয় ভর্তির সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

সকল ধরনের **মাজেশন** ডাউনলোড [এখানে ক্লিক করুন](#)





প্রথম অধ্যায়

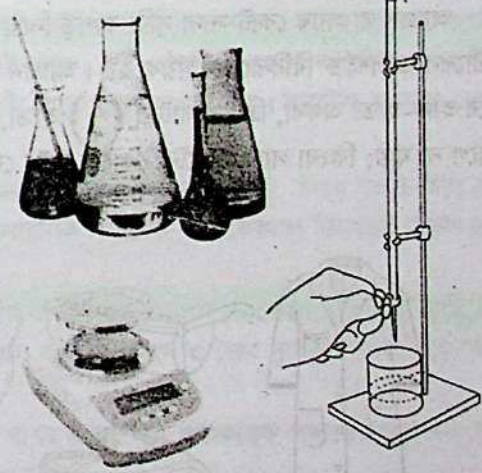
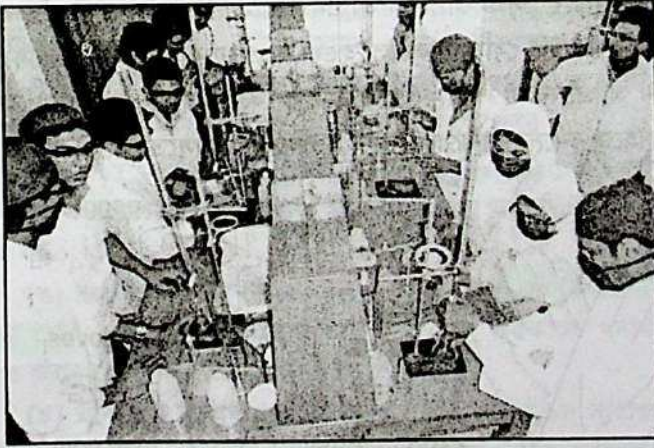
ল্যাবরেটরিভিত্তিক শিক্ষকের  
তত্ত্বীয় আলোচনা = ১৫ পিরিয়ড

## ল্যাবরেটরির নিরাপদ ব্যবহার Safe Use of Laboratory

### ভূমিকা (Introduction)

রসায়ন হলো ল্যাবরেটরি বা পরীক্ষাগারকেন্দ্রিক বিজ্ঞান। পরীক্ষাগারে বিভিন্ন রাসায়নিক পদার্থের বৈশিষ্ট্য পরীক্ষা, পর্যবেক্ষণের মাধ্যমে শিক্ষার্থীরা রসায়নের বিষয়বস্তুকে সঠিকভাবে জানতে পারে। ল্যাবরেটরিতে বিভিন্ন রাসায়নিক দ্রব্যাদি নিয়ে কাজ করতে হয়। সব রাসায়নিক যৌগই কম-বেশি ক্ষতিকর, কোনোটা কম আবার কোনোটা বেশি। কোনো কোনো রাসায়নিক পদার্থ সত্যিকার অর্থেই বিপজ্জনক। তাই কতগুলো সতর্কতা রসায়নের শিক্ষার্থীদের জানা আবশ্যিক। যেমন ল্যাবরেটরিতে নিজের ও সহপাঠীর সুরক্ষার কৌশল, গ্লাসসামগ্রী ব্যবহারবিধি, নির্ভুল পরিমাপ প্রক্রিয়া, পরিবেশের ওপর রাসায়নিক দ্রব্যের ক্ষতিকর প্রভাব এবং প্রভাব হ্রাসকরণ উপায়, রাসায়নিক দ্রব্যের পরিমিত ব্যবহার নিশ্চিতকরণ এবং সর্বোপরি যেহেতু ল্যাবরেটরিতে আগুন নিয়ে কাজ প্রায়ই করতে হবে বা বিভিন্ন বিষাক্ত রাসায়নিক দ্রব্য ব্যবহার করতে হবেই, তাই সর্বোচ্চ সচেতনতার পাশাপাশি দুর্ঘটনার হাত থেকে রক্ষার কৌশল জেনে রাখতে হবে।

অধ্যায়ের প্রধান শব্দসমূহ (Key Words): ল্যাবরেটরি নিরাপত্তা বিধি, গ্লাস যন্ত্রপাতি, বার্নার, আয়তনিক বিশ্লেষণ, টাইট্রেশন, ল্যাবরেটরি বর্জ্য, কেমিক্যাল ব্যালেন্স ও রাইডার প্রুবক, বিকারক, রাসায়নিক দ্রব্যের পরিমিত ব্যবহার, পরিবেশের ওপর রাসায়নিক দ্রব্যের ক্ষতিকর প্রভাব, হ্যাজার্ড সিম্বল, সেমিমাইক্রো ও মাইক্রো বিশ্লেষণ, ফাস্ট-এইড বক্স।



শিখনফল : এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

১. ল্যাবরেটরিতে নিজের ও সহপাঠীর নিরাপত্তা নিশ্চিত করে যথাযথ কাজ করতে পারবে।
২. নিয়মানুযায়ী ও নিরাপত্তার সাথে গ্লাসসামগ্রী ব্যবহার করতে পারবে।
৩. ল্যাবরেটরি, যন্ত্রপাতি ও গ্লাসসামগ্রী পরিচ্ছন্ন রাখতে পারবে।
৪. যথাযথ যন্ত্র ব্যবহার করে পদার্থের ভর নির্ভুল পরিমাপ করে প্রমাণ দ্রবণ তৈরি করতে পারবে।
৫. টাইট্রেশন কালে কনিকেল ফ্লাস্ক, ব্যুরেট, পিপেট ও ওয়াশ বোতলের সঠিক ব্যবহার করতে পারবে।
৬. নিরাপত্তা নিশ্চিত করে তাপীয় পরীক্ষা সম্পাদন করতে পারবে।
৭. বোতলের বিকারক বা রিএজেন্টকে (reagent) ভেজালমুক্ত রাখতে পারবে।
৮. প্রয়োজনীয় সতর্কতা অবলম্বন করে রাসায়নিক দ্রব্য ব্যবহার ও ল্যাবরেটরি ঝুঁকি হ্রাস করতে পারবে।

রসায়ন-১ম (হাসান)-১(ক)



৯. রাসায়নিক দ্রব্য সঠিকভাবে ও যথাস্থানে সংরক্ষণ ও পরিত্যাগ করতে পারবে।
১০. পরিবেশের ওপর ল্যাবরেটরিতে রাসায়নিক দ্রব্যের অতিরিক্ত ব্যবহারের প্রভাব ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১১. ল্যাবরেটরিতে রাসায়নিক দ্রব্যের পরিমিত ব্যবহারে সচেতনতা প্রদর্শন করবে।
১২. রাসায়নিক বিশ্লেষণে সেমিমাইক্রো ও মাইক্রো অ্যানালিটিক্যাল পদ্ধতি ব্যবহার করে দেখাতে পারবে।
১৩. দুর্ঘটনা প্রতিরোধে নিরাপত্তাসামগ্রী সংরক্ষণ ও প্রয়োজনে তা ব্যবহার করতে পারবে।
১৪. ল্যাবরেটরি দুর্ঘটনায় ফাস্ট-এইড বক্স ব্যবহারবিধি জেনে প্রাথমিক চিকিৎসা দিতে পারবে।

টিপস : ওয়েবসাইট (Ref: <http://www.sciencelab.com/msdsList.php>) থেকে সংশ্লিষ্ট রাসায়নিক পদার্থসমূহের Material Safety Data Sheet (MSDS) সংরক্ষণ প্রক্রিয়া ও সতর্ক ব্যবহার জেনে নাও।

### ১.১ ল্যাবরেটরি ব্যবহার বিধি : পোশাক, নিরাপদ গ্লাস, মাস্ক ও হ্যান্ড গ্লাভস Laboratory Rules to Use : Dress, Safety Glass, Mask & Hand Gloves

ল্যাবরেটরিতে কাজ শুরু করার পূর্বে প্রতিটি শিক্ষার্থীকে প্রথমত মানসিক প্রস্তুতি, দ্বিতীয়ত কলেজ-ড্রেস বা ইউনিফর্ম রক্ষা, তৃতীয়ত পরীক্ষাকালীন ব্যবহৃত রাসায়নিক পদার্থের ক্ষতিকর সংস্পর্শ এবং ভাঙা কাচের আঘাত ইত্যাদি থেকে নিজের নিরাপত্তা নিশ্চিত করতে হবে। তাই নিম্নোক্ত বিধি অনুসরণ করে অ্যাপ্রন, নিরাপদ চশমা, হ্যান্ড গ্লাভস, মাস্ক ইত্যাদি যথাযথ ব্যবহার করে ল্যাবে কাজ করতে হবে।

(১) অ্যাপ্রন (apron) : প্রত্যেক শিক্ষার্থী রসায়ন পরীক্ষাগারে ঢোকান আগে সাদা অ্যাপ্রন বা ল্যাব কোট পরে নিতে হবে। এতে প্রথমত শিক্ষার্থীর মানসিক প্রস্তুতি লাভ; দ্বিতীয়ত রাসায়নিক দ্রব্য থেকে কলেজ ড্রেস সুরক্ষা ও তৃতীয়ত রাসায়নিক দ্রব্যের স্পর্শ থেকে শরীরের ত্বক রক্ষা পায়।

অ্যাপ্রন বা ল্যাব কোট সাদা সূতি কাপড় দিয়ে তৈরি করা হয়। সূতি কাপড়ের অ্যাপ্রন আরামদায়ক হয়। সাদা সূতি কাপড় শরীরের তাপশক্তি বিকিরণে সহায়ক হয়। অ্যাপ্রন বা ল্যাব কোটটি বেশি টিলেঢালা হওয়া বাঞ্ছনীয় নয়। কেমিস্ট্রি ল্যাব কোট হবে হাফ-হাতা অথবা, ত্রি-কোয়ার্টার ( $\frac{3}{4}$ ) হাতা, যেন অ্যাপ্রনের বা ল্যাব কোটের হাতায় কোনো রাসায়নিক পদার্থ সহজে লেগে না যায়; কিংবা ল্যাব কোটের কোনো অংশ যেন সহজে বুনসেন বার্নারের শিখার সংস্পর্শে না আসতে পারে।



চিত্র-১.১ : অ্যাপ্রন, নিরাপদ চশমা, গ্লাভস ও ক্যাপ।

(২) নিরাপদ চশমা : ক্ষতিকর ও সহজে উদ্বায়ী রাসায়নিক পদার্থসহকারে পরীক্ষা কাজ করার সময় চোখে নিরাপদ চশমা বা গগলস ব্যবহার করতে হবে; এতে ছিটকে পড়া রাসায়নিক পদার্থ, রাসায়নিক পদার্থের ধোঁয়া থেকে চোখ রক্ষা পায়। ল্যাবরেটরিতে ব্যবহৃত অনেক রাসায়নিক পদার্থের বাষ্প কোমল চোখের জন্য ক্ষতিকর হতে পারে। অথবা কাজ করার সময় অসতর্ক মুহূর্তে ক্ষতিকর রাসায়নিক পদার্থ ছিটকে চোখে পড়তে পারে। এমন কী যে কোনো সময়ে কোনো দুর্ঘটনায়ও রাসায়নিক ল্যাবে বিষাক্ত ধোঁয়ার সৃষ্টি হতে পারে। তাই রাসায়নিক পরীক্ষাগারে এ ধরনের অনাকাঙ্ক্ষিত দুর্ঘটনার ক্ষতিকর প্রভাব থেকে নিজেকে রক্ষা করতে নিরাপদ চশমা বা safety glass ব্যবহার করতে হয়।



## ল্যাবরেটরির নিরাপদ ব্যবহার

৩

(৩) হ্যান্ড গ্লাভস : ক্ষয়কারক ও বিষাক্ত রাসায়নিক পদার্থের বোতল ধরার আগে হাতে হ্যান্ড গ্লাভস পরতে হবে। এতে ক্ষয়কারক রাসায়নিক পদার্থ যেমন- এসিড, ক্ষার ও বিভিন্ন ক্ষতিকারক রাসায়নিক পদার্থের সংস্পর্শ হাতে ঘটবে না। বাজারে কম দামে পাওয়া সিনথেটিক জিটেক্স, লাটেক্স ও ভিনাইল হ্যান্ড গ্লাভস পচনশীল নয় এবং অধিক দায়। তাই পরিবেশবান্ধব পচনযোগ্য নাইট্রাইল রাবার গ্লাভস ব্যবহার করা উচিত।

\* গাঢ় এসিড ব্যবহারের সময় এসিডের বোতলের গায়ে অসাবধানতাবশত গাঢ় এসিড লেগে থাকলে এবং তা হাতের সংস্পর্শে আসলে তখন হাতের ক্ষতি হওয়ার সম্ভাবনা থাকে। এক্ষেত্রে হাতে হ্যান্ড গ্লাভস পরা থাকলে হাতের কোনো ক্ষতি হওয়ার সম্ভাবনা থাকে না।

\* ল্যাবরেটরিতে ব্যবহৃত ফিল্টার পেপার, কাচের টুকরা, ভাঙা কর্ক ইত্যাদিকে ডাস্টবিনে ফেলার ক্ষেত্রে হাতে হ্যান্ড-গ্লাভস ব্যবহার করা উচিত। এক্ষেত্রে ল্যাবরেটরিতে ব্যবহৃত রাসায়নিক বস্তু দ্বারা সৃষ্ট ক্ষতিকর প্রভাবের মাত্রার ওপর নির্ভর করে বিভিন্ন প্রকার হ্যান্ড-গ্লাভস ব্যবহার করতে হয়। বাজারে বিভিন্ন ধরনের হ্যান্ড-গ্লাভস পাওয়া যায়। যেমন—

(ক) নাইট্রাইল গ্লাভস (Nitrile gloves) : নাইট্রাইল গ্লাভস সংশ্লেষিত রাবার [অ্যাক্রাইলো নাইট্রাইল (CH<sub>2</sub>=CHCN) ও বিউটা ডাইইন-এর কো-পলিমার] থেকে তৈরি করা হয়। এটি বেশ নমনীয়, জীবাণু সংক্রমণ ও বৈদ্যুতিক শক রোধক; বিভিন্ন ক্ষয়কারক রাসায়নিক পদার্থ যেমন- এসিড, ক্ষার, লবণ, জৈব দ্রাবক, ডিটারজেন্ট ইত্যাদি প্রতিরোধী বটে। তাই ল্যাবরেটরিতে প্রধানত নাইট্রাইল গ্লাভস ব্যবহৃত হয়। নাইট্রাইল গ্লাভসে কোনো প্রোটিন উপাদান থাকে না; তাই এটির ব্যবহারে হাতে কোনো এলার্জি সৃষ্টি হয় না।

(খ) জিটেক্স গ্লাভস (Zetex gloves) : ছোটখাটো জুলন্ত বস্তু নিয়ে কাজ করার সময় জিটেক্স গ্লাভস ব্যবহার করা হয়। এটি তাপ রোধক অ্যাসবেস্টস গ্লাভসের বিকল্পরূপে ব্যবহৃত হয়। জিটেক্স হলো ফাইবার কাচ দ্বারা তৈরি উললাইনিং বা নাইট্রাইল আন্তরণযুক্ত আরামদায়ক গ্লাভস।

(গ) ল্যাটেক্স গ্লাভস (Latex gloves) : চামড়ায় ক্ষয় ও জ্বালা সৃষ্টিকারী রাসায়নিক পদার্থের ব্যবহারকালে ল্যাটেক্স গ্লাভস ব্যবহার করা হয়। এটি সংক্রামক পদার্থের বিরুদ্ধেও প্রতিরোধ সৃষ্টি করে। এটি প্রাকৃতিক রাবার ল্যাটেক্স থেকে তৈরি করা হয়। ল্যাটেক্স-রাবার গ্লাভস ব্যবহারে বৈদ্যুতিক শক বা তুকে ক্ষত সৃষ্টি থেকে রক্ষা পাওয়া যায়। ল্যাটেক্স রাবারে প্রোটিন থাকায় এটি ব্যবহারকারীর হাতে এলার্জি সৃষ্টি করতে পারে।

(ঘ) PVC বা ভিনাইল গ্লাভস (Vinyl gloves) : এটি পলিভিনাইল ক্লোরাইড বা PVC দিয়ে তৈরি করা হয়। সাধারণত মৃদু ক্ষয়কারী পদার্থ এবং তুকে বিরক্তিকর অনুভূতি সৃষ্টিকারী রাসায়নিক পদার্থের ব্যবহারকালে ভিনাইল গ্লাভস হাতে পরা হয়।

(ঙ) নিওপ্রিন গ্লাভস (Neoprene gloves) : এটি নিউপ্রিন রাবার বা পলিক্লোরোপ্রিন  $[(-CH_2CCl=CH-CH_2-)_n]$  দিয়ে তৈরি। এটি বেশ নরম এবং তাপরোধী। মৃদু ক্ষয়কারক পদার্থ, তেল জাতীয় পদার্থ ও জৈব দ্রাবক পদার্থ নিয়ে ল্যাভে কাজ করার বেলায় নিউপ্রিন গ্লাভস হাতে পরা শ্রেয়।

(চ) প্রাকৃতিক রাবার গ্লাভস : প্রাকৃতিক রাবার গ্লাভস সাধারণত ব্যবহৃত হয় মৃদু ক্ষয়কারক পদার্থের সংস্পর্শ থেকে তুকে রক্ষা করার উদ্দেশ্যে। এটি বৈদ্যুতিক শক (sock) প্রতিরোধকও বটে।

(৪) মাস্ক : ক্ষতিকারক গ্যাস বা রাসায়নিক পদার্থের বাষ্পের প্রস্তুতি বা ব্যবহারের আগে মাস্ক পরতে হবে। এক্ষেত্রে ল্যাবরেটরি প্রেকটিক্যাল বইয়ে নির্দেশনা দেয়া থাকে। সাধারণত বিভিন্ন পরীক্ষায় CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> প্রভৃতি ক্ষতিকর গ্যাস উৎপন্ন হয়। এসব গ্যাসের প্রভাবে শ্বাসকষ্ট, মাথা ধরা ও চোখে পানি আসা, জ্বালা করা ইত্যাদি ঘটে। মাস্ক পরে এসব ক্ষতির মাত্রা কমানো যায়।

(৫) পায়ে জুতা পরতে হবে (স্যান্ডল নয়)।

(৬) লম্বা চুল বেঁধে মাথায় ক্যাপ পরতে হবে।

বাজারের প্রাস্টিকের চশমা ব্যবহারের ক্ষেত্রে দেখতে হবে ঐ প্রাস্টিকের চশমার দুই পার্শ্বে যেন রক্ষা প্লেট (shields) থাকে, যাতে কোনো রাসায়নিক দ্রব্য ও ধোঁয়া ইত্যাদি চোখের পার্শ্ব দিয়ে প্রবেশ করতে না পারে। ল্যাবরেটরিতে এরূপে নিজের ও সহপাঠীর সুরক্ষা নিশ্চিত করে পরীক্ষা কাজ সুসম্পন্ন করা যাবে।

(৭) ল্যাবরেটরিতে ঢোকান পর সব দরজা জানালা খোলা না থাকলে নিজে ঐ সব জানালা খুলে দিয়ে পর্যাণ্ড বায়ু চলাচলের ব্যবস্থা রাখতে হবে।



শিক্ষার্থীর কাজ-১.১ : ল্যাবরেটরি ব্যবহার বিধিভিত্তিক :

প্রশ্ন-১.১ : উপকরণ : অ্যাপ্রন, নিরাপদ চশমা, হ্যান্ড গ্লাভস ও মাস্ক ।

উপরোক্ত উপকরণ যথাযথ ব্যবহার করে নিজের নিরাপত্তা নিশ্চিত করে তুমি কীভাবে ল্যাবে কাজ করবে তা বিশ্লেষণ কর ।

টিপস্ : (১) সিনথেটিক কাপড়, অলংকার পরিধান করবে না । টাইট কাপড় পরবে ।

(২) সিনথেটিক গ্লাভসের পরিবর্তে নাইট্রাইল গ্লাভস ব্যবহার করা উচিত । কারণ এটি মাইক্রো অর্গানিজম বা অণুজীব দ্বারা আক্রান্ত হয়ে মাটিতে মিশে যায় ।

### ১.১.১ ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কর্মকাণ্ড ও করণীয়

#### How to behave during Lab. Activities

পরীক্ষাগারে নিরাপদ পরিবেশ সৃষ্টি ও অক্ষুণ্ণ রাখতে হলে কতিপয় 'সোনালি বিধি' (golden rules) পালন অত্যাবশ্যিক । সেগুলো হলো- নিয়মানুবর্তিতা, যত্নশীলতা, অধ্যবসায়, পরিশ্রম, সুবিবেচনা ও পরিচ্ছন্নতা ।

- ১। ল্যাবরেটরিতে আসার আগে বই পড়ে সংশ্লিষ্ট পরীক্ষা কাজের স্বচ্ছ ধারণা নিয়ে ভালোভাবে প্রস্তুত হয়ে আসতে হবে ।
- ২। ল্যাবরেটরিতে চিৎকার, জোরে জোরে কথা বলা অবশ্যই পরিহার করতে হবে, যাতে করে পরীক্ষা কাজে মনোনিবেশে ব্যাঘাত না ঘটে ।
- ৩। যে ডেস্ক কাজ করতে হবে, সে ডেস্কটি যাতে অত্যন্ত পরিচ্ছন্ন থাকে, সেদিকে খেয়াল রাখতে হবে । ল্যাবরেটরি ত্যাগের আগে ব্যবহৃত সকল কাচসামগ্রী উত্তমরূপে ধৌতকরণ সামগ্রী দিয়ে ধুয়ে ডেস্কের ওপরে সাজিয়ে রাখতে হবে ।
- ৪। কোনো একটা পরীক্ষা কাজ সম্পন্ন করার সাথে সাথে এবং ল্যাবরেটরি ত্যাগ করার আগে অবশ্যই সাবান দিয়ে হাত ধুয়ে নিতে হবে ।
- ৫। অযথা বুনসেন বার্নার জ্বালিয়ে রাখা যাবে না ।
- ৬। বইপত্র, খাতা, ব্যাগ, পানীয় বোতল ডেস্কের ওপর ছড়িয়ে ছিটিয়ে রাখা ঠিক নয় ।
- ৭। পরীক্ষণ পদ্ধতি সতর্কতার সাথে অনুসরণ করতে হবে ।
- ৮। ব্যালেন্স পরিচ্ছন্ন রাখা আবশ্যিক । ব্যালেন্সের প্যান এবং আশপাশ রাসায়নিক দ্রব্য মুক্ত রাখতে হবে ।
- ৯। তাড়াহুড়া করে পরীক্ষা কাজ শেষ করে চলে যাওয়ার প্রবণতা পরিহার করতে হবে ।
- ১০। কাজ করার সময় সম্পূর্ণ মনোযোগী হতে হবে, কোনোক্রমেই অন্যমনস্ক হওয়া যাবে না ।
- ১১। রাসায়নিক দ্রব্যের গন্ধ ও স্বাদ নেয়া স্বাস্থ্যের পক্ষে ঝুঁকিপূর্ণ । তাই রাসায়নিক দ্রব্যের কখনো সরাসরি গন্ধ ও স্বাদ নেয়া যাবে না ।
- ১২। রাসায়নিক দ্রব্য ব্যবহারের পূর্বে বোতলের লেবেল সঠিকভাবে দেখে নিশ্চিত হয়ে ব্যবহার করতে হবে । ব্যবহার শেষে ঐ রাসায়নিক দ্রব্যের বোতল যথাস্থানে রাখতে হবে ।
- ১৩। রাসায়নিক বর্জ্য পদার্থকে ল্যাবরেটরিতে রাখা ডাস্টবিনে পরিত্যাগ করতে হবে ।
- ১৪। গাড় এসিডকে পানিসহকারে লঘুকরণের বেলায় বইয়ে দেয়া নির্দেশমতো সতর্কতার সাথে লঘুকরণ করতে হবে ।
- ১৫। উত্তপ্ত গ্লাসের যন্ত্রপাতিকে ঠাণ্ডা পানিতে ডুবানো যাবে না; এতে উত্তপ্ত গ্লাসসামগ্রী ফেটে যায় ।
- ১৬। ল্যাবরেটরিতে অনেক সহপাঠী এক সাথে কাজ করতে হয়, তখন নিজের নিরাপত্তার সাথে অন্যান্য সহপাঠীদের নিরাপত্তার বিষয়ও গুরুত্বসহকারে মনে রাখা প্রয়োজন ।

সর্বোপরি ল্যাবরেটরিতে শিক্ষকের নির্দেশ মতো পরীক্ষা কাজ শেষ করে গণনা কাজসহ সিদ্ধান্ত সম্পন্ন করতে হয় ।



## ১.২ গ্লাসসামগ্রী ব্যবহারের নিরাপদ কৌশল

### Safe-Techniques to Use Lab Apparatus

ল্যাবরেটরিতে গ্লাসসামগ্রী ব্যবহার করে অধিকাংশ পরীক্ষা কাজ করতে হয়। গ্লাসসামগ্রীর মধ্যে রয়েছে গ্লাস টেস্টিউব, বিকার, ফানেল, কনিকেল ফ্লাস্ক, মেজারিং বা পরিমাপক ফ্লাস্ক, পিপেট, ব্যুরেট, মেজারিং সিলিন্ডার, গোলতলি ফ্লাস্ক, গ্লাস রড, গ্লাস টিউব, লিবিগ শীতক ইত্যাদি। ল্যাবরেটরিতে কাজের সময় এ সব গ্লাসের তৈরি যন্ত্রপাতি আঘাতে সহজে ভেঙে যায়। ভাঙা গ্লাস ধারালো হয় এবং গায়ে লাগলে চামড়া কেটে গিয়ে রক্তপাত হতে পারে।

(ক) গ্লাসের যন্ত্রপাতি ভাঙার সম্ভাব্য ঝুঁকি বা কারণগুলো হলো—

(১) গ্লাসসামগ্রী ধোয়ার সময় পানির ট্যাপে বা বেসিনে আঘাত লাগা।

(২) হোল্ডার দ্বারা গ্লাস টিউব ফিটিং কালে বেশি চাপ দেয়া ও ব্যবহার কালে সতর্ক না থাকা।

(৩) ক্ল্যাম্প দ্বারা স্ট্যান্ডের সাথে আটকানোর সময় অসতর্কভাবে অধিক চাপ প্রয়োগে গ্লাসসামগ্রী ভেঙে যায়।

(৪) গ্লাস যন্ত্রের বাইরের দেওয়ালে পানি থাকা অবস্থায় উত্তপ্ত করা।

(৫) ছিদ্র করা কর্ক বা রবার স্টপারের মধ্যে গ্লাস টিউব বা থার্মোমিটার ফিট করতে বিশেষ সতর্কতা নিতে হয়। যেমন গ্লাস টিউব ও স্টপারকে টাওল (কাপড়) জড়িয়ে স্টপারের ছিদ্র পথে গ্লাসটিউব চেপে ঢুকাতে হবে। যদি এ সময় গ্লাস ভেঙে যায়; তবে ভাঙা গ্লাস হাত কাটবে না। যদি সহজে গ্লাস টিউব না ঢোকে, তখন ছিদ্র বড় করে এবং পানি বা গ্লিসারিন দিয়ে ভিজিয়ে নিতে হবে। অসতর্কতাবশত এক্ষেত্রে হাত কেটে যেতে পারে।

(৬) গ্লাসসামগ্রী ওপর থেকে নিচে পড়ে গেলে ভেঙে যায়। এ সব ব্যাপারে সতর্কতাই গ্লাসসামগ্রী নষ্ট হওয়া থেকে রক্ষা করা সম্ভব।

(খ) গ্লাসসামগ্রীর শ্রেণিকরণ ভিত্তিতে এদের ব্যবহার : রাসায়নিক ল্যাবে ব্যবহৃত গ্লাসসামগ্রীকে এদের তৈরিতে ব্যবহৃত গ্লাস বা কাচের উপাদান অনুসারে (১) Soft glass বা কোমল গ্লাসসামগ্রী ও (২) শক্ত গ্লাস বা পাইরেক্স গ্লাস (pyrex glass) এ দু'শ্রেণিতে বিভক্ত করা যায়।

\* Soft গ্লাস দিয়ে তৈরি গ্লাসসামগ্রী হলো কাচনল, বিকার, ওয়াচ-গ্লাস, ফানেল, রি-এজেন্ট বা বিকারক বোতল, লিবিগ শীতক ইত্যাদি। Soft গ্লাস বা কোমল গ্লাসে তৈরি সামগ্রী বুনসেন বার্নারের শিখায় উত্তপ্ত করলে সহজে গলে নরম হয়ে যায় অর্থাৎ কোমল গ্লাস কম তাপ সহ্য করতে পারে। কোমল গ্লাসসামগ্রী বাদামি বা খুব স্বচ্ছ থাকে না। অপরদিকে,

\* পাইরেক্স বা শক্ত গ্লাস দিয়ে তৈরি সামগ্রী হলো বিকার, কনিকেল ফ্লাস্ক, পিপেট, ব্যুরেট, মেজারিং সিলিন্ডার, মেজারিং ফ্লাস্ক বা আয়তনিক ফ্লাস্ক, গোলতলি ফ্লাস্ক, পাতন ফ্লাস্ক ইত্যাদি। শক্ত গ্লাসের তৈরি সামগ্রী উচ্চ তাপসহ ও খুব শক্ত হয়। তাই ল্যাবের বিভিন্ন কাজের জন্য পাইরেক্স গ্লাসসামগ্রী নিরাপদে ব্যবহার করা যায়। যেমন উচ্চ তাপমাত্রায় উত্তপ্তকরণ, রাসায়নিক পদার্থ প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত গোলতলি ফ্লাস্ক, পাতন প্রক্রিয়ায় ব্যবহৃত ফ্লাস্ক ও ভ্যাকুয়াম পরিস্রাবণ প্রক্রিয়ায় ব্যবহৃত যন্ত্রপাতি পাইরেক্স গ্লাস দ্বারা তৈরি করা হয়।

রাসায়নিকভাবে, পাইরেক্স গ্লাস হলো জিংক অক্সাইড ও বেরিয়াম বোরো সিলিকেটস্ মিশ্রণ দিয়ে তৈরি গ্লাস। অপরদিকে কোমল গ্লাস বা Soft গ্লাস হলো সোডিয়াম ও ক্যালসিয়াম সিলিকেটস্-এর মিশ্রণ থেকে তৈরি গ্লাস।

\* উল্লেখ্য কোনো রাসায়নিক পদার্থের মিশ্রণ বা কোনো দ্রবণকে তাপ দিতে হলে শক্ত গ্লাস বা পাইরেক্স গ্লাস নির্মিত বিকার অথবা কনিকেল ফ্লাস্ক ব্যবহার করতে হয়।

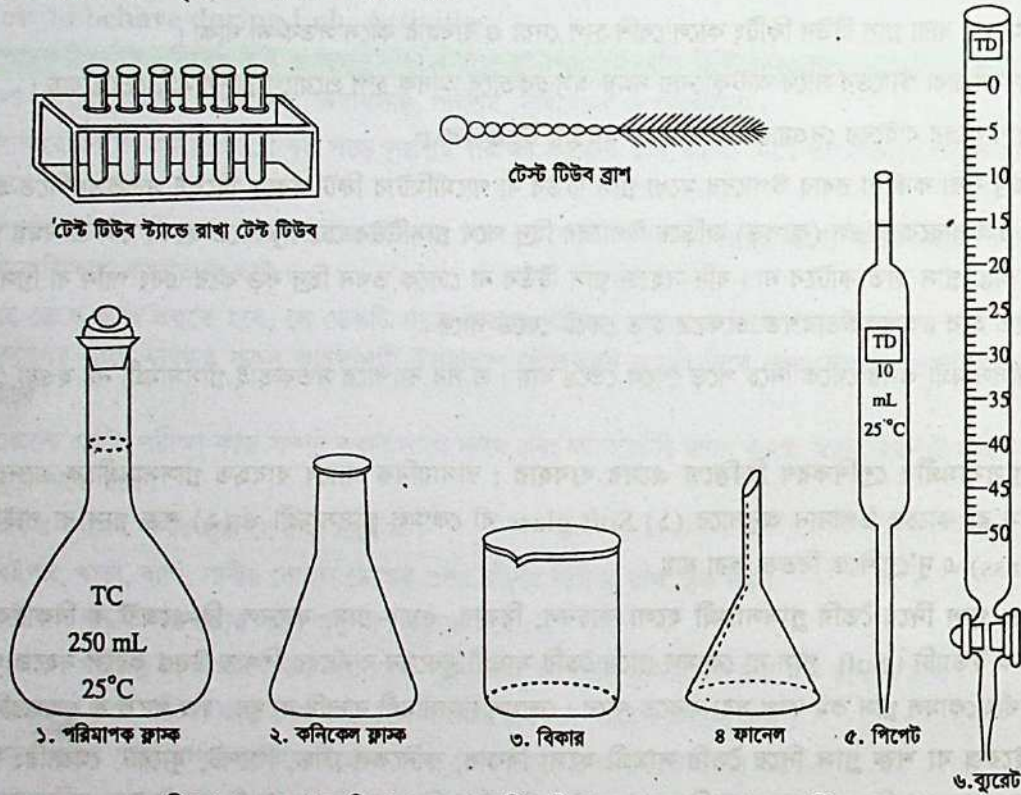
আমরা এখন ল্যাবরেটরিতে ব্যবহার্য বিভিন্ন গ্লাসের যন্ত্রপাতি চিনে নেব। [চিত্র-১.২]



### ১.৩ ল্যাবরেটরি, যন্ত্রপাতি ও গ্লাসসামগ্রী পরিষ্কার করার কৌশল

#### Techniques to Clean Equipments, Glass Apparatus and Laboratory

স্কুল-কলেজের কেমিস্ট্রি ল্যাবরেটরি বা রসায়ন পরীক্ষাগারের নিজস্ব বৈশিষ্ট্যের অবকাঠামো থাকে। এ পরীক্ষাগারের মধ্যে থাকে বিভিন্ন প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি, রাসায়নিক দ্রব্যাদি এবং বিভিন্ন পরীক্ষা সংশ্লিষ্ট গ্লাসসামগ্রী। সাধারণত কাঠামোগতভাবে, কেমিস্ট্রি ল্যাবরেটরিতে দু'সারি দীর্ঘ টেবিল থাকে, প্রতিটি দীর্ঘ টেবিলে শিক্ষার্থীর ব্যবহারযোগ্য ডেস্ক এবং ডেস্কের ওপর রিএজেন্ট বোতল সাজিয়ে রাখার শেল্ফ যুক্ত থাকে। এ ছাড়া পানি সরবরাহের ওয়াটার সাপ্লাই নল ও বেসিন এবং বুনসেন বার্নারের গ্যাস সাপ্লাই নল বিন্যস্ত থাকে। রাসায়নিক দ্রব্যাদি সংরক্ষণের জন্য পৃথক আলমারি, শেল্ফ থাকে; গ্লাসসামগ্রী এবং ধাতব ও প্লাস্টিক যন্ত্রপাতিকে পৃথক আলমারিতে রাখা হয়।



চিত্র-১.২ : গুণগত বিশ্লেষণ ও আয়তনিক বিশ্লেষণ কাজে ব্যবহৃত যন্ত্রপাতি।

**টিপস্ :** পিপেট, ব্যুরেট, কনিকেল ফ্লাস্ক পাইরেক্স কাচ দ্বারা তৈরি; এগুলো তাপে সহজে ভাঙ্গে না।  
**চেক করা :** ব্যুরেট, পিপেট, কনিকেল ফ্লাস্ক, ফানেল প্রভৃতি কাচের পাত্রসমূহ ধোয়ার পর যদি এদের গায়ে ফোঁটা ফোঁটা পানির কণা দেখা যায় তাহলে বুঝবে এসব পরিষ্কার হয়নি।

(১) ল্যাবরেটরি পরিষ্কার রাখার কৌশল : ল্যাবরেটরির সমস্ত দায়িত্বে থাকেন ল্যাবরেটরি সহকারী, ডেমনস্ট্রেটর ও দায়িত্ব প্রাপ্ত রসায়ন বিভাগের শিক্ষক। তাদের তত্ত্বাবধানে ল্যাবরেটরি সুসজ্জিত থাকে। এছাড়া প্রতিটি শিক্ষার্থীর দায়িত্ব রয়েছে নিজের ল্যাবরেটরি ব্যবহারের পর পরিষ্কার-পরিচ্ছন্ন রাখা। তাই ল্যাবরেটরি পরিষ্কার রাখার কৌশলগত শিক্ষার্থীর দায়িত্ব ও ভূমিকা হলো :

- (i) পানির সিংকে পরীক্ষাকালে বর্জ্যসামগ্রী যেমন, ভাঙা গ্লাস টিউব, ব্যবহৃত ফিল্টার পেপার, ছেড়া কাগজ ইত্যাদি না ফেলা। এ সব বর্জ্যসামগ্রী ল্যাবরেটরিতে নির্দিষ্ট স্থানে রাখা ডাস্টবিনে ফেলতে হবে।



(ii) পরীক্ষাকালে ব্যবহৃত রি-এজেন্ট বোতল ব্যবহার শেষে শেল্ফে যথাস্থানে রাখতে হবে; টেবিলের ওপর রাখা যাবে না।

(iii) পরীক্ষা শেষে ব্যবহৃত গ্লাসটিউব পরিষ্কার করে স্ট্যান্ডে শুকানোর জন্য রেখে সাজিয়ে টেবিলে রাখতে হবে।

(২) যন্ত্রপাতি পরিষ্কার রাখার কৌশল : একাদশ ও দ্বাদশ শ্রেণির সিলেবাস মতে পরীক্ষা কাজে বিভিন্ন গ্লাসসামগ্রী, কেমিক্যাল ব্যালেন্স, বুনসেন বার্নার, থার্মোমিটার ইত্যাদি ব্যবহৃত হয়। এছাড়া কর্মমুখী রসায়নে ব্যবহৃত প্রেসার ক্যানিং যন্ত্র, বিভিন্ন প্রকার কৌটা ও ক্রিম মেসিন রয়েছে।

কেমিস্ট্রি ল্যাবে কেমিক্যাল ব্যালেন্স ব্যবহৃত হয় বিশুদ্ধ রাসায়নিক পদার্থের সঠিক ওজন নেয়ার জন্য। এটি একটি মূল্যবান যন্ত্র। শিক্ষকের নিকট থেকে ব্যবহারবিধি জেনে কেমিক্যাল ব্যালেন্স ব্যবহার করতে হয়। এতে যত্ন নিতে হয় যেন ব্যালেন্সের ওপর এবং আশেপাশে কোনো রাসায়নিক পদার্থ পড়ে না থাকে। কাজ শেষ করে ব্যালেন্সের প্যান (pan) টিস্যু পেপার বা ফ্লানেল কাপড় দিয়ে মুছে নিতে হবে। ওয়েট-বক্সের ওয়েটগুলোকে সঠিক স্থানে রাখতে হবে। ব্যালেন্সের বক্সের দরজা বন্ধ রাখতে হবে।

(৩) গ্লাসসামগ্রী পরিষ্কার করার কৌশল : পরিষ্কার গ্লাসসামগ্রী নিয়েই পরীক্ষা কাজ শুরু করতে হয়। অপরিচ্ছন্ন, অস্বচ্ছ গ্লাসসামগ্রী নিয়ে রাসায়নিক পরীক্ষার কাজ করা যেতে পারে না। সাধারণত ট্যাপের পানিতে গ্লাসসামগ্রী ধুয়ে নিতে হয়। তবে—

(i) তৈলাক্ত পদার্থ থাকলে বিশেষত ব্যুরেটের স্টপকক পরিষ্কার করার কাজে বোতলে সংরক্ষিত ক্রোমিক এসিড মিশ্রণ ( $K_2Cr_2O_7$  ও গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিড মিশ্রণ) দিয়ে সতর্কতার সাথে ও গ্লাভস পরা হাতে পরিষ্কার করা হয়। টেস্টিউব পরিষ্কার করার সময় বাম হাতে টেস্টিউব নিয়ে ট্যাপের পানিতে ডান হাতে করে ব্রাশ ব্যবহার করতে হয়।

(ii) রঙিন পদার্থ যেমন লৌহ লবণ, কপার লবণ,  $KMnO_4$ ,  $K_2Cr_2O_7$  ইত্যাদির দ্রবণ টেস্টিউবে ব্যবহার করে শেষে না ধুয়ে রেখে দিলে ঐ সব পদার্থ টেস্টিউবের ভিতরের গায়ে লেগে থাকে। পরে পরিষ্কার করতে গিয়ে অনেক সময় লাগে। তাই গ্লাসসামগ্রী ব্যবহার শেষে পানিতে ধুয়ে পরিষ্কার করে রাখতে হয়। টেস্টিউব পরিষ্কার করে টেস্টিউব স্ট্যান্ডে সাজিয়ে রাখা হয়।

(iii) অ্যামোনিয়া দ্রবণ দিয়েও কাচ যন্ত্র পরিষ্কার করা হয়।

### ১.৩.১ ল্যাবরেটরিতে ব্যবহৃত গ্লাসসামগ্রী ধৌতকরণ

#### Washing the Used up Glass Apparatus in Lab.

ল্যাবরেটরিতে গ্লাসসামগ্রী ব্যবহারের পর ঐ ব্যবহৃত গ্লাসসামগ্রীকে ধৌতকরণের জন্য নিম্নোক্ত তিনটি 'পরিষ্কারক-মিশ্রণের' মধ্য থেকে যেটি সংশ্লিষ্ট গ্লাস সামগ্রীর জন্য উপযুক্ত হবে সেটিকে ব্যবহার করে গ্লাসসামগ্রী পানি দিয়ে পরিষ্কার করতে হয়।

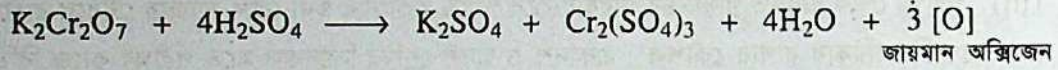
(ক)  $Na_2CO_3$  দ্রবণ : সোডিয়াম কার্বনেটের 10% লঘু দ্রবণ বড় প্লাস্টিক গামলায় নিয়ে এতে ময়লাযুক্ত গ্লাসসামগ্রী ডুবিয়ে কিছুক্ষণ রেখে শেষে ব্রাশ দিয়ে ঘষে ময়লা পরিষ্কার করে পানিতে ধুয়ে নিতে হয়।

(খ) ডিটারজেন্ট ডেকন-90 : রাসায়নিক ল্যাবের প্রায় সব গ্লাসসামগ্রী পরিষ্কার করার জন্য ডেকন-90 অত্যন্ত কার্যকর একটি পরিষ্কারক ডিটারজেন্ট। বিভিন্ন ধরনের ময়লা যেমন- ঘি, আলকাতরা জাতীয় পদার্থ, সিলিকোন তেল, পলিমারিক অবশেষ প্রভৃতিও দূর করার জন্য ডেকন-90 বেশ কার্যকর ডিটারজেন্ট। ডেকন-90 হলো একটি পরিবেশবান্ধব ডিটারজেন্ট; এটি পানিতে তেমন দূষণ সৃষ্টি করে না। এটি 100% অণুজীব দ্বারা ভাঙ্গনযোগ্য বা biodegradable এবং ফসফেট মুক্ত পরিষ্কারক।

(গ) ক্রোমিক এসিড মিশ্রণ : রাসায়নিক ল্যাবের গ্লাসসামগ্রীকে পরিষ্কার করার জন্য সর্বোত্তম পরিষ্কারকরূপে ব্যবহৃত হয় 'ক্রোমিক এসিড মিশ্রণ'। গ্লাসসামগ্রীর গায়ে বিশেষত ব্যুরেটে লেগে থাকা ঘি বা তৈল জাতীয় পদার্থ দূরীকরণে



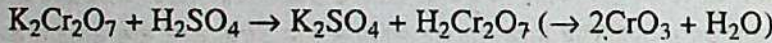
ক্রোমিক এসিড মিশ্রণ খুবই কার্যকর। ক্রোমিক এসিড একটি তীব্র জারক। বিক্রিয়াকালে এটি জায়মান অক্সিজেন [O] উৎপন্ন করে। তৈল জাতীয় ময়লা পদার্থকে ঐ জায়মান অক্সিজেন জারিত করে ময়লাকে দূর করে থাকে।



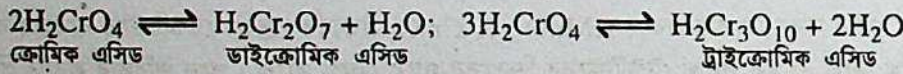
ক্রোমিক এসিড মিশ্রণ প্রস্তুতি : নিম্নোক্ত উপাদান মিশিয়ে ক্রোমিক এসিড মিশ্রণ তৈরি করা হয় :

- (i) পটাসিয়াম ডাইক্রোমেট ( $K_2Cr_2O_7$ ) : 4.0 g  
(ii) পানি (পাতিত) : 40.0 mL  
(iii) গাঢ়  $H_2SO_4$  (2M) : 40.0 mL

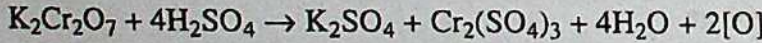
প্রস্তুত প্রণালি : একটি 250 mL পাইরেক্স গ্লাস বিকারে 4 g  $K_2Cr_2O_7$  গুঁড়াকে 40 mL পাতিত পানিতে দ্রবীভূত করা হয়। এর মধ্যে অল্প অল্প করে 2M (মোলার) ঘনমাত্রার 40 mL  $H_2SO_4$  মিশ্রিত করা হয়। তখন তাপোৎপাদী বিক্রিয়া ঘটে, তাই মিশ্রণের তাপমাত্রা  $70^\circ-80^\circ C$  পর্যন্ত হয়। মিশ্রণটি কক্ষ তাপমাত্রায় শীতল হলে গ্লাসের স্টপার বিশিষ্ট রি-এজেন্ট বোতল বা বিকারক বোতলে ভর্তি করা হয়। সদ্য প্রস্তুত ক্রোমিক এসিড মিশ্রণে ক্রোমিক অ্যানহাইড্রাইড ( $CrO_3$ ) এর একাধিক higher chromic acids থাকে। এক্ষেত্রে নিম্নরূপ পরিবর্তন ঘটে থাকে।



$CrO_3 + H_2O \rightleftharpoons H_2CrO_4$  ক্রোমিক এসিড (অস্থায়ী);  $H_2CrO_4$  এর লবণ  $K_2CrO_4$  স্থায়ী বটে।



তবে জারণ-বিজারণ বিক্রিয়াকালে ডাইক্রোমেট আয়ন ( $Cr_2O_7^{2-}$ ) এর রিডক্স বিক্রিয়া নিম্নরূপে দেখানো হয়।



এসিড মিশ্রণটি তৈরির পর স্বচ্ছ বর্ণ থাকলেও অনেকবার ব্যবহার করার পর এটি সবুজ রং ধারণ করে। তখন এ ক্রোমিক এসিড মিশ্রণের জারণ ক্ষমতা থাকে না; তাই সবুজ রঙের  $[Cr_2(SO_4)_3]$  তৈরি হওয়ার ফলে এ মিশ্রণ ব্যবহার করা হয় না।

ক্রোমিক এসিড মিশ্রণের ব্যবহার বিধি : হাতে লাটেক্স গ্লাভস পরে অতি সাবধানতার সাথে ময়লাযুক্ত গ্লাসসামগ্রী যেমন পিপেট, ব্যুরেট, কনিকেল ফ্লাস্ক ইত্যাদিকে ক্রোমিক এসিড মিশ্রণ দ্বারা পূর্ণ করে প্রয়োজনমতো কয়েক ঘণ্টা বা একদিন রেখে ঐ ক্রোমিক এসিড মিশ্রণকে আবার গ্লাস স্টপার যুক্ত বিকারক বোতলে ঢেলে রাখতে হয়। এরপর গ্লাস সামগ্রীকে পানি দিয়ে ভালোভাবে ধুয়ে পরিষ্কার করা হয়। কিছু কিছু তৈলাক্ত পদার্থ ক্রোমিক এসিড মিশ্রণ দ্বারা খুব ধীরে ধীরে জারিত হয়। তখন ময়লাযুক্ত গ্লাসসামগ্রীকে ক্রোমিক এসিড মিশ্রণে কয়েকদিন পর্যন্ত ডুবিয়ে রাখা হয়। ব্যুরেটের স্টপ-কক (stop-cock) এর ভিতরের গ্রিজকে এরূপে পরিষ্কার করা হয়ে থাকে।

ক্রোমিক এসিড মিশ্রণ প্রস্তুতি ও ব্যবহারে সাবধানতা : ক্রোমিক এসিড মিশ্রণ তৈরিতে গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিড মিশ্রণ ডাইক্রোমেট লবণের দ্রবণে যোগ করা হয়, তখন তাপোৎপাদী বিক্রিয়া ঘটে। গাঢ়  $H_2SO_4$  পানিশোষী ও ক্ষয়কারক পদার্থ। তাই গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিড ব্যবহার কালে চোখে সফটিক গ্লাস বা গগলস্, হাতে লাটেক্স গ্লাভস্ বা ভিনাইল গ্লাভস পরতে হয়। ক্রোমিক এসিড মিশ্রণ ব্যবহারকালেও একই সাবধানতা অনুসরণ করতে হয়। ক্রোমিক এসিড মিশ্রণ ব্যবহারকালে এটি যেন হাত, পা বা শরীরে না লাগে, সেদিকে সতর্ক থাকতে হবে। যদি ঐ এসিড ত্বকে কোথাও লেগে যায়; তখন প্রচুর পানি দিয়ে ধুয়ে শেষে 5%  $NaHCO_3$  দ্রবণ দিয়ে ভালোভাবে ধুয়ে নিতে হবে।

\* গ্লাসসামগ্রী থেকে তৈল গ্রিজ জাতীয় পদার্থ দূর করতে প্রয়োজনে অ্যাসিটোন ( $CH_3COCH_3$ ) দ্রাবক ব্যবহার করা হয়।

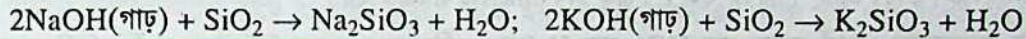


**আধিক জেনে নাও :** ল্যাবরেটরিতে গ্লাসসামগ্রী ব্যবহারে সুবিধা কী?

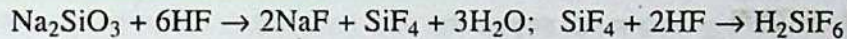
কেমিস্ট্রি ল্যাবরেটরিতে গ্লাসসামগ্রী ব্যবহারের সুবিধাগুলো হলো নিম্নরূপ :

\* ল্যাবরেটরিতে পরীক্ষা কাজে ব্যবহৃত রাসায়নিক পদার্থসমূহ ব্যবহৃত গ্লাসসামগ্রীর সাথে কোনো বিক্রিয়া করে না। তবে তীব্র সবল ক্ষার কষ্টিক সোডা (NaOH), কষ্টিক পটাস (KOH) ও ক্ষয়কারক দুর্বল এসিড হাইড্রোফ্লোরিক এসিড (HF) কাচের উপাদানের সাথে বিক্রিয়া করে কাচের ক্ষয় করে থাকে। যেমন-

(i) গাঢ় NaOH কাচের মধ্যস্থ উপাদান সিলিকা (SiO<sub>2</sub>) সহ বিক্রিয়ায় সোডিয়াম সিলিকেট তৈরি করে। ফলে কাচ অমসৃণ হয়।



(ii) HF এসিড কাচের উপাদান সোডিয়াম সিলিকেট (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) এর সাথে বিক্রিয়া করে দ্রবণীয় হাইড্রোফ্লোরোসিলিসিক এসিড (H<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>) তৈরি করে। ফলে কাচ ক্ষয়প্রাপ্ত হয়।



\* গ্লাসসামগ্রী স্বচ্ছ হওয়ায় এতে ব্যবহৃত বা গৃহীত রাসায়নিক পদার্থের পরিমাণ, আয়তন, ভৌত বৈশিষ্ট্য ও রাসায়নিক বিক্রিয়ায় সৃষ্ট পদার্থের বর্ণ ও অধঃক্ষেপ পর্যবেক্ষণের জন্য সুবিধাজনক।

\* পরীক্ষা কাজে ব্যবহৃত গ্লাসসামগ্রীকে সহজে পরিষ্কার করা সম্ভব।

\* এছাড়া কাচকে উত্তাপে গলায়ে সহজে বিভিন্ন গ্লাসসামগ্রী তৈরি করা সম্ভব। তাই গ্লাসসামগ্রী ল্যাবরেটরিতে পরীক্ষা কাজের অনন্য উপাদানে পরিণত হয়েছে।

## 1.8 আয়তনিক বিশ্লেষণ কাজে ব্যবহৃত রাসায়নিক নিক্তি বা ব্যালেন্স

### Chemical Balance Used for Volumetric Analysis

রাসায়নিক নিক্তির সংজ্ঞা : আয়তনিক বিশ্লেষণ কাজে রাসায়নিক পদার্থকে গ্রাম এককের দশমিক দ্বিতীয় স্থান থেকে চতুর্থ স্থান পর্যন্ত সঠিকভাবে (0.01 – 0.0001 g) পরিমাপের জন্য ব্যবহৃত নিক্তিকে রাসায়নিক নিক্তি বা কেমিক্যাল ব্যালেন্স (Chemical balance) বলে।

কেমিক্যাল ব্যালেন্স দুই প্রকার : (১) পল-বুঙ্গি ব্যালেন্স ও (২) সারটোরিয়াস (Sartorius) ব্যালেন্স।

উভয় ব্যালেন্সের পার্থক্য হলো, পল-বুঙ্গি ব্যালেন্সে এটির ওপরের বিম বা তুলাদণ্ডকে 100 ভাগ করে বাম প্রান্তের দাগে 0 (শূন্য) ও ডান প্রান্তের দাগে 100 চিহ্নিত থাকে (চিত্র-১.৩)। 5 mg বা 10 mg রাইডারকে 0 (শূন্য) দাগে রেখে ব্যালেন্সের সমতা করা হয়। অপরদিকে সারটোরিয়াস ব্যালেন্সে ওপরের বিমটির মাঝখানে 0 (শূন্য) দাগ ধরে বাম ও ডানদিকে 50টি করে দাগাঙ্কিত থাকে। সারটোরিয়াস ব্যালেন্সের এখন ব্যবহার নেই। [ বর্তমান সিলেবাসেও নেই। ]

বর্তমানে কেমিক্যাল ব্যালেন্স রূপে প্রধানত পল-বুঙ্গি ব্যালেন্স (Paul Bunge balance) অথবা ডিজিটাল ব্যালেন্স এক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয়। আমরা এখন পল-বুঙ্গি ব্যালেন্স ও 'ইলেকট্রনিক ডিজিটাল ব্যালেন্স'-এর গঠন ও ব্যবহার পদ্ধতি জানতে পারব। এছাড়া ক্ষয়কারক রাসায়নিক পদার্থের মোটামুটি ওজন নেয়ার জন্য এক প্রকার ব্যালেন্স বা নিক্তি ব্যবহৃত হয়, এদেরকে রাফ ব্যালেন্স (Rough balance) বলা হয়। রাফ ব্যালেন্সের সাহায্যে বস্তুর সঠিক ওজন নেয়া যায় না।

রাসায়নিক নিক্তির ব্যবহারের ক্ষেত্রে কেবলমাত্র প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থের ওজন গ্রাম এককের দশমিক চতুর্থ স্থান পর্যন্ত সঠিকভাবে নেয়ার জন্য কেমিক্যাল ব্যালেন্স বা রাসায়নিক নিক্তি ব্যবহৃত হয়। কলেজ ও বিশ্ববিদ্যালয়ের কেমিস্ট্রি ল্যাবরেটরিতে এবং ওষুধ শিল্পোৎপাদনে মূলত কেমিক্যাল ব্যালেন্স ব্যবহৃত হয়।



প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থের চারটি বৈশিষ্ট্য থাকে; যেমন এরা বিশুদ্ধ রাসায়নিক পদার্থ, এরা বায়ুর উপাদানের সাথে বিক্রিয়া করে না, রাসায়নিক নিষ্ক্রিয় ক্ষয় করে না, এদের দ্বারা প্রস্তুত দ্রবণের ঘনমাত্রা দীর্ঘদিন অপরিবর্তিত থাকে। এরূপ প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থ হলো অনর্দ্র  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , অক্সালিক এসিড, পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) ইত্যাদি। প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থ থেকে প্রমাণ দ্রবণ (0.1M) তৈরি করা হয়।

অপরদিকে যে সব রাসায়নিক পদার্থের মধ্যে প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থের এক বা একাধিক বৈশিষ্ট্য না থাকে; বিশেষত অবিশুদ্ধ ও ক্ষয়কারক হয়, এদেরকে সেকেন্ডারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থ বলে। যেমন, কস্টিক সোডা ( $\text{NaOH}$ ),  $\text{HCl}$  এসিড,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  এসিড, পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট ( $\text{KMnO}_4$ ) ইত্যাদি।

\* উল্লেখ্য কঠিন সেকেন্ডারি পদার্থের ওজন নিতে রাফ ব্যালেন্স ব্যবহৃত হয়।

\* তরল সেকেন্ডারি পদার্থ যেমন গাঢ়  $\text{HCl}$ , গাঢ়  $\text{H}_2\text{SO}_4$  এসিডকে আয়তন এককে মেজারিং সিলিন্ডারে পরিমাপ করতে হয়। এসব সেকেন্ডারি পদার্থকে রাসায়নিক নিষ্ক্রিতে ওজন করা যাবে না।

### ১.৪.১ পল-বুঙ্গি ব্যালেন্স

#### Paul Bunge Balance

পল-বুঙ্গি ব্যালেন্সের গঠন : গঠনগতভাবে পল-বুঙ্গি ব্যালেন্স প্রধানত চারটি অংশে বিভক্ত। যেমন—

- (১) কাচের বক্সযুক্ত বেদী বা বেস, (২) স্তম্ভ বা কলাম, (৩) তুলাদণ্ড বা দাগাক্ষিত বিম ও পাল্লা,
- (৪) রাইডার (আরোহী) ও রাইডার বাহক।

(১) কাচের বক্সযুক্ত বেদী (Base with glass box) : পল-বুঙ্গি ব্যালেন্সের বেদীটি হলো আয়তাকার। এটি গ্রানাইট পাথর বা ইবোনাইট (ebonite) নামক শক্ত রাবারের তৈরি। কাচের বক্সটি এ বেদীর সাথে যুক্ত থাকে। মূল পল-বুঙ্গি ব্যালেন্সটি কাচের বক্স বা কক্ষের ভেতর বেদীর ওপর খাড়াভাবে বসানো থাকে। বেদীটির নিচে সামনের দিকে ডানে ও বামে দুটি ও পেছনের দিকে ঠিক মাঝখানে একটি করে মোট তিনটি লেভেলিং বা সমতলকারী স্ক্রু থাকে। সামনের লেভেলিং স্ক্রু দুটিকে ডানে বা বামে ঘুরিয়ে বেদীর লেভেল ঠিক করা হয়। তখন বেদীর সামনে থাকা স্পিরিট লেভেলের ভেতর বুদ্ধবুদ্ধ মাঝখানে থাকে। অথবা দোলকের সূচালু মুখ ও স্তম্ভের সাথে যুক্ত স্থির সূচালু মুখ দুটি বরাবর থাকে। বেদীর ডান দিকে পাল্লা ওঠানো ও নামানোর জন্য একটি হ্যাভল থাকে। এ হ্যাভল দ্বারা ব্যালেন্সটিকে সচল বা বন্ধ করা হয়।

(২) স্তম্ভ বা কলাম (Column) : স্তম্ভ বা কলামটি হলো ব্রাস বা পিতলের তৈরি ফাঁপা নল। এটি বেদীর মাঝখানে খাড়াভাবে যুক্ত থাকে। এ ফাঁপা স্তম্ভের ভেতর একটি ধাতব দণ্ড থাকে। এ ধাতব দণ্ডটির নিচের প্রান্ত হ্যাভলের দণ্ডের সাথে যুক্ত থাকে এবং ওপরের প্রান্তের সাথে যুক্ত মসৃণ এগেট (agate) সমতলের ওপরে নিষ্ক্রিয় তুলাদণ্ডের বা রিমের প্রিজমাকৃতির কেন্দ্রীয় ছুরির ফলকটি (knife edge) স্থাপন করা হয়। হ্যাভলের সাহায্যে তুলাদণ্ডটিকে ওঠানো করে ব্যালেন্সটিকে সচল বা বন্ধ করা যায়। স্তম্ভ বা কলামের ওপরের দুদিকে সমান দুটি আনুভূমিক দণ্ড ক্লিপ দ্বারা যুক্ত থাকে। এ দণ্ড দুটির দু'প্রান্তে দুটি ধারক থাকে। ব্যালেন্সটি স্থির অবস্থায় ঐ ধারক দুটির ওপর দাগাক্ষিত বিম বা মূল তুলাদণ্ডটি অবস্থান করে।

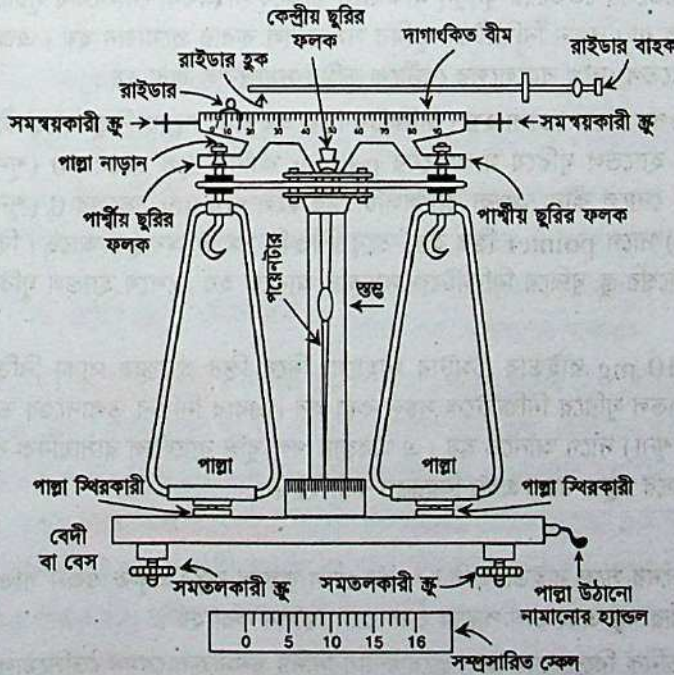
(৩) তুলাদণ্ড বা বিম ও পাল্লা (beam & pans) : সবচেয়ে ওপরের চেপ্টাকৃতির দাগাক্ষিত বিম বা তুলাদণ্ডটি হলো রাসায়নিক নিষ্ক্রিয় প্রধান অংশ। এ বিম বা তুলাদণ্ডটি অ্যালুমিনিয়াম ধাতু অথবা পিতল দ্বারা তৈরি। এ তুলাদণ্ডের দু'পার্শ্বে ও কেন্দ্র বিন্দুতে একটি করে মোট তিনটি মসৃণ এগেট পাথরের প্রিজমাকৃতির ছুরির ফলক (knife edge) যুক্ত থাকে। দু'পার্শ্বের দুটি ফলকের সাথে দুটি সমান পাল্লা (pan) ঝুলানো থাকে। কেন্দ্রীয় ছুরির ফলকটি স্তম্ভের ভেতরে থাকা ধাতব দণ্ডটির এগেট সমতলের ওপর অবস্থান করে। এগেট পাথরের সমতলের ওপর এগেট পাথরের ছুরির ফলক মুক্তভাবে দুলাতে পারে। তুলাদণ্ডের দু'প্রান্তে দুটি স্ক্রু সংযুক্ত থাকে। প্রয়োজনমতো এ স্ক্রু ঘুরিয়ে তুলাদণ্ডের সাথে যুক্ত পয়েন্টারটিকে স্তম্ভের নিচে যুক্ত মূল স্কেলের শূন্য দাগে রাখা হয়।



বিম বা তুলাদণ্ডটির গায়ে একটি দাগ কাটা স্কেল থাকে। এ স্কেল করার প্রকৃতি অনুসারে ব্যালেন্সের দু'প্রকার নাম হয়েছে। একটি পল-বুঙ্গি ও অপরটি সারটোরিয়াস ব্যালেন্স। পল-বুঙ্গি ব্যালেন্সে বিমের বামপ্রান্তের দাগে 0 (শূন্য) ও ডান প্রান্তের দাগে 100 চিহ্নিত থাকে। অর্থাৎ তুলাদণ্ডটি সমান 100 ভাগে দাগাঙ্কিত থাকে। সারটোরিয়াস ব্যালেন্সে বিমের মাঝখানে 0 (শূন্য) দাগ ধরে বাম ও ডান দিকে 50 টি করে দাগাঙ্কিত থাকে।

(৪) রাইডার (আরোহী) ও রাইডার বাহক (rider & rider carrier) : আরোহী বা রাইডার হলো 5 mg অথবা 10 mg ভরের স্থানান্তরযোগ্য Pt বা Al ধাতুর একটি লুপ (loop) বা প্যাঁচানো তার। এটিকে একটি ধাতব শলাকার সাহায্যে কাচের বক্সের বাইরে থেকে তুলাদণ্ডের বা বিমের ওপর স্থানান্তর করা যায়। এ শলাকাটিকে রাইডার বাহক বলে। 5 mg বা 10 mg ভরের রাইডার ওজন বক্সে (weight box-এ) থাকে। চিমটার সাহায্যে ওজন বক্স থেকে রাইডার নিয়ে রাইডার বাহকের সাহায্যে তুলাদণ্ডের 0 (শূন্য) দাগে রেখে ব্যালেন্সটিকে সমতা সাধন করা হয়। সমতা করার জন্য তুলাদণ্ডের দু'প্রান্তের জু দুটিকে প্রয়োজনমতো বামে বা ডানে ঘুরিয়ে দিতে হয়। তখন তুলাদণ্ডের সাথে যুক্ত পয়েন্টারটি নিচের স্কেলে 0 (শূন্য) দাগে আসলে ব্যালেন্স বা নিক্টিটি সমতায়ুক্ত হয়েছে বোঝায়। এ অবস্থায় ব্যালেন্স বা নিক্টিটি ব্যবহারযোগ্য হয়।

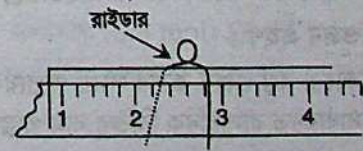
ওজন বক্স : রাসায়নিক নিক্টির একটি পৃথক ওজন বক্স (weight box) থাকে (চিত্র-১.৪)। তাতে 1 থেকে 100 গ্রাম এবং 5 থেকে 500 মিলিগ্রাম পরিমাপের অনেকগুলো ওজন থাকে। রাসায়নিক নিক্টির বাম পাল্লায় রাসায়নিক দ্রব্যটি এবং এরপর ডান পাল্লায় এসব ওজন স্থাপন করে কোনো দ্রব্যের ওজন গ্রাম এককের তিন দশমিক স্থান পর্যন্ত নির্ণয় করা যায়। কিন্তু রাসায়নিক মাত্রিক বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় সূক্ষ্ম সঠিক ওজন নির্ণয়ের স্বার্থে প্রায়ই গ্রাম এককের চার দশমিক স্থান পর্যন্ত মান প্রয়োজন হয়। সেক্ষেত্রে রাইডার ব্যবহৃত হয়। তখন 5 mg অথবা 10 mg রাইডার নিক্টির তুলাদণ্ড বা বিমের বামদিকের 0 (শূন্য) দাগে রেখে নিক্টির ডানদিকের সমন্বয়কারী জু (screw) ঘুরিয়ে নিক্টির সমতা সাধন করতে হয়।



চিত্র-১.৩ : পল-বুঙ্গি রাসায়নিক নিক্টি।



ওজন বক্স



চিত্র-১.৪ : ওজন বক্স ও বিম স্কেলের ওপর রাইডার।

রাইডার ও রাইডার প্রবন্ধ : পল-বুঙ্গি ব্যালেন্সে এক গ্রামের চতুর্থ দশমিক স্থান পর্যন্ত পরিমাপের জন্য 5 mg অথবা 10 mg ভরের স্থানান্তরযোগ্য Al ধাতুর একটি লুপ (loop) যুক্ত বা প্যাঁচানো তার ব্যালেন্সের বিমের ওপর ব্যবহৃত হয়, এটিকে নিক্টির রাইডার বলে।

পল-বুঙ্গি নিক্টিতে ওজন নেয়ার পূর্বে 5 mg রাইডার বিমের 0 (শূন্য) দাগে রেখে ডান দিকের বিমের জু সরিয়ে সমতা আনয়ন করা হয়। কাজেই 0 দাগ থেকে রাইডারকে 100 দাগে বিমের ডানদিকে নিলে প্রকৃতপক্ষে ডান পাল্লায়



$5 \text{ mg} \times 2 = 10 \text{ mg}$  ওজন যোগ করার সামিল (কারণ বামে 0 দাগে 5 mg রাইডার রেখে স্ক্রু নেড়ে ডানদিকে 100 দাগে অদৃশ্য 5 mg ওজন যোগ করে সমতা আনয়ন করা হয়েছে। এখন বামের 5 mg রাইডারকেও 100 দাগে রাখলে মোট 10 mg কার্যকর হয়ে থাকে।) সুতরাং 100 ভাগ দৈর্ঘ্যের বিম্ব বা তুলাদণ্ডটি 10 mg ওজনের রাইডারের সচল কার্যক্ষেত্র।

রাইডার ধ্রুবক : রাসায়নিক নিক্তির বিম্বের দৈর্ঘ্যের ওপর প্রতি শতাংশে ব্যবহৃত রাইডারের ওজনের পার্থক্যকে রাইডার ধ্রুবক (rider constant) বলে।

রাইডার ধ্রুবক গণনা :

(i) 5 mg রাইডার ব্যবহার করলে তখন রাইডার ধ্রুবক হবে  $= (5 \text{ mg} \times 2)/100 = 0.1 \text{ mg} = 0.0001 \text{ g}$ .

(ii) যদি 10 mg রাইডার ব্যবহৃত হয়, তখন রাইডার ধ্রুবক হবে  $= 10 \text{ mg} \times 2/100 = 0.2 \text{ mg} = 0.0002 \text{ g}$ .

কিন্তু সারটোরিয়াস ব্যালেন্সের বেলায় বিম্বের মাঝখানে 0 দাগ এবং ডানে ও বামে 50 টি করে দাগ থাকে। এক্ষেত্রে 5 mg রাইডার ব্যবহৃত হলে রাইডার ধ্রুবক হবে  $(5 \text{ mg} \div 50) = 0.0001 \text{ g}$  এবং 10 mg রাইডার ব্যবহৃত হলে রাইডার ধ্রুবক হবে  $(10 \div 50) = 0.0002 \text{ g}$ । রাইডার বাম দিকের দাগে থাকলে রাইডারজনিত ওজন পাল্লায় রাখা ওজন থেকে বিয়োগ করতে হবে এবং ডানদিকের দাগে থাকলে রাইডারজনিত ওজন পাল্লায় রাখা ওজনের সাথে যোগ হয়। কিন্তু পল-বুঙ্গির বেলায় রাইডারজনিত ওজন সব সময় পাল্লায় রাখা ওজনের সাথে যোগ হয়।

পল-বুঙ্গি ব্যালেন্সের ব্যবহার বিধি ও বস্তুর ওজন গ্রহণ :

ব্যবহার বিধি : (১) প্রথমত নিক্তিটি ভূমির সমান্তরাল আছে কিনা তা স্পিরিট লেভেল বা দোলক দেখে জেনে নিতে হয়। যদি ভূমির সমান্তরাল না থাকে তখন স্পিরিট লেভেলের ভেতরের বুদ্ধমাঝখানে থাকবে না অথবা দোলকের সূঁচালো মুখ ও স্তম্ভের সাথে যুক্ত সূঁচালো মুখ দুটি বরাবর থাকে না। তখন নিক্তিটিকে ভূমির সমান্তরাল করার প্রয়োজন হয়। এজন্য বেদীর সাথে যুক্ত এডজাস্টিং স্ক্রু ঘুরিয়ে এবং স্পিরিট লেভেল দেখে ব্যালেন্সের বেদীকে ভূমির সমান্তরাল করা হয়।

(২) দ্বিতীয়ত কাচের বক্সের সামনের গ্লাসটিকে ওপর দিকে তোলা হয়। নিক্তিটির স্থির অবস্থায় পাল্লায় কিছু আছে কিনা দেখে নিতে হয়। পাল্লা দুটি পরিষ্কার থাকলে নিক্তির হ্যাণ্ডেল ঘুরিয়ে মাঝখানের pointer কাঁটাটি মূল স্কেলের 0 (শূন্য) দাগের উভয় দিকে সমান সংখ্যক দাগ অতিক্রম করে দোলে কিনা অথবা ব্যালেন্সটি স্থির হলে pointer স্কেলের 0 (শূন্য) দাগে স্থির থাকে কিনা দেখে নিতে হয়। যদি 0 (শূন্য) দাগে pointer স্থির হয়, তবে নিক্তিটি সমতা অবস্থায় আছে। কিন্তু সমতা অবস্থায় নিক্তি না থাকলে তখন তুলাদণ্ডের দু'পার্শ্বের স্ক্রু ঘুরিয়ে নিক্তিটিকে সমতায় আনতে হয়। শেষে হ্যাণ্ডেল ঘুরিয়ে নিক্তিটিকে স্থির (rest) অবস্থায় রাখা হয়।

(৩) তৃতীয়ত ওজন-বস্তুর থেকে 5 mg অথবা 10 mg রাইডার চিমটার সাহায্যে নিয়ে স্থির অবস্থায় থাকা নিক্তির তুলাদণ্ডের 0 (শূন্য) দাগের ওপর রাখতে হয় এবং হ্যাণ্ডেল ঘুরিয়ে নিক্তিটিকে সচল করা হয়। এবার নিক্তির তুলাদণ্ডের ডান প্রান্তের স্ক্রু ঘুরিয়ে নিক্তির pointer কে মূল স্কেলের 0 (শূন্য) দাগে আনতে হয়। এ অবস্থায় পল-বুঙ্গি ব্যালেন্সে রাসায়নিক বস্তু ওজন করা যেতে পারে। এরপর রাইডার ধ্রুবক গণনা করে বস্তুর ওজন গ্রহণ নিম্নরূপে করা হয়।

বস্তুর ওজন গ্রহণ :

কোনো বস্তু ওজন করার সময় পাল্লায় স্থাপিত ওজনের সঙ্গে রাইডারজনিত ওজন যোগ করলে বস্তুর প্রকৃত ওজন পাওয়া যায়। সাধারণত রাসায়নিক নিক্তির বাম পাল্লায় ওজন করার বস্তু এবং ডান পাল্লায় ওজনগুলো স্থাপন করা হয়।

উদাহরণ দিয়ে তা বোঝানো যাক। মনে কর আয়তনিক বিশ্লেষণের জন্য প্রয়োজনীয় নির্দিষ্ট ঘনমাত্রার যেমন ডেসিমোলার (0.1M) 500 mL বা, 0.5 L মেজারিং ফ্লাস্কে একটি দ্রবণ প্রস্তুতির জন্য  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ওজন করতে হবে।

500 mL ফ্লাস্কে 0.1M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  প্রস্তুতির জন্য 0.1 মোল  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  বা, 5.3 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  প্রয়োজন হয়। এ উদ্দেশ্যে একটি ওজন বোতলে (Weighing bottle-এ) যথেষ্ট পরিমাণ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  নেয়া হয়।  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  সহ ওজন বোতলের ১ম ওজন নেয়া হয়। এরপর ঐ নির্দিষ্ট ঘনমাত্রার দ্রবণ প্রস্তুতির জন্য যতটুকু  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  প্রয়োজন তা অথবা তার কাছাকাছি ওজনের  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ঐ 500 mL আয়তনিক ফ্লাস্ক বা মেজারিং ফ্লাস্কে (measuring flask-এ) স্থানান্তরিত করার পর ওজন বোতলের আবার ২য় ওজন নেয়া হয়। এ দু'ওজনের পার্থক্যই হলো গৃহীত  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  এর ওজন।



মনে কর, এ উদ্দেশ্যে ১ম ওজন নেয়ার সময় পল-বুঙ্গি ব্যালেসের বাম পাল্লায়  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  পূর্ণ ওজন বোতল স্থাপন করে ডান পাল্লায় ১টি 20 g, ১টি 5 g, ১টি 2 g, ১টি 1 g, ১টি 500 mg, ১টি 100 mg ও ১টি 50 mg ওজন স্থাপনের পর অবশিষ্ট সমতা বিধানের জন্য নিজের বীমের ডানদিকে 25 দাগ পর্যন্ত 10 mg রাইডার সরাতে হলো।

$$\text{সুতরাং রাইডার ধ্রুবক হলো} = \frac{10 \text{ mg} \times 2}{100} = 0.0002 \text{ g};$$

এক্ষেত্রে  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  পূর্ণ ওজন বোতলের, ১ম ওজন :

$$= (20 + 5 + 2 + 1) \text{ g} + (500 + 100 + 50) \text{ mg} + 25 \text{ বিমের দাগ} \times \text{রাইডার ধ্রুবক}$$

$$= (20 + 5 + 2 + 1) \text{ g} + (0.5 + 0.1 + 0.05) \text{ g} + (25 \times 0.0002) \text{ g} = \boxed{28.6550 \text{ g}}$$

$$\text{অনুরূপভাবে, ২য় ওজন} = (20 + 2) \text{ g} + (0.5 + 0.02 + 0.01) \text{ g} + (10 \times 0.0002) \text{ g}$$

$$= (22 \text{ g} + 0.5 \text{ g} + 0.03 \text{ g} + 0.0020 \text{ g}) = \boxed{22.5320 \text{ g}}$$

$$\therefore \text{আয়তনিক ফ্লাস্কে গৃহীত } \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ এর ওজন} = (\text{১ম ওজন} - \text{২য় ওজন}) = (28.6550 \text{ g} - 22.5320 \text{ g}) \\ = 6.123 \text{ g}$$

এরূপে প্রস্তুত  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা বা মোলারিটি নিম্নরূপে গণনা করা হয়।

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ এর মোলার ঘনমাত্রা, } M = \frac{\text{গৃহীত } \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ এর মোল সংখ্যা}}{\text{লিটারে দ্রবণের আয়তন}}; [\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ এর মোলার ভর} = 106 \text{ g}]$$

$$\therefore \text{প্রস্তুত } \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ এর মোলার ঘনমাত্রা, } M = \frac{\left(\frac{6.123}{106}\right) \text{ mol}}{0.5 \text{ L}} = 0.116 \text{ mol L}^{-1} \text{ বা (M)}$$

এখন মোলারিটি, মোলার দ্রবণ ও ডেসিমোলার দ্রবণের সংজ্ঞা নিচে দেয়া হলো :

(১) **মোলারিটি (Molarity)** : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় যেমন কক্ষ তাপমাত্রায় কোনো দ্রবের এক লিটার দ্রবণে ঐ দ্রবের যত মোল (বা গ্রাম আণবিক ভর) দ্রবীভূত থাকে, দ্রবের ঐ মোল সংখ্যাকে ঐ দ্রবণে ঐ দ্রবের মোলারিটি বলে।

$$\therefore \text{দ্রবণে দ্রবের মোলারিটি} = \frac{\text{মোল এককে দ্রবের পরিমাণ}}{\text{লিটার এককে দ্রবণের আয়তন}}$$

(২) **মোলার দ্রবণ** : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো দ্রবের এক লিটার দ্রবণে এক মোল দ্রব দ্রবীভূত থাকলে ঐ দ্রবণকে ঐ দ্রবের এক মোলার দ্রবণ বলে। মোলার দ্রবণকে 1M দ্বারা বোঝানো হয়। যেমন কক্ষ তাপমাত্রায় এক লিটার দ্রবণে এক মোল  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  বা, 106 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  দ্রবীভূত থাকলে ঐ দ্রবণকে 1M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  দ্রবণ বলা হয়।

(৩) **সেমিমোলার দ্রবণ** : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো দ্রবের এক লিটার দ্রবণে অর্ধমোল (0.5 mol) দ্রব দ্রবীভূত থাকলে ঐ দ্রবণকে ঐ দ্রবের সেমিমোলার (0.5M) দ্রবণ বলে। যেমন কক্ষ তাপমাত্রায় এক লিটার দ্রবণে 0.5 mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  বা, 53 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  দ্রবীভূত করা হলে ঐ দ্রবণটিকে সেমিমোলার (0.5M)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  দ্রবণ বলে।

(৪) **ডেসিমোলার দ্রবণ** : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো দ্রবের এক লিটার দ্রবণে 0.1 mol দ্রব দ্রবীভূত থাকলে ঐ দ্রবণকে ঐ দ্রবের ডেসিমোলার (0.1M) দ্রবণ বলে। যেমন কক্ষ তাপমাত্রায় এক লিটার দ্রবণে 0.1 mol  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  বা, 10.6 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  দ্রবীভূত করা হলে ঐ দ্রবণটি হবে 0.1M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  দ্রবণ।

উল্লেখ্য প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থ যেমন  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ইত্যাদির মোলার (1M) দ্রবণ, সেমিমোলার (0.5M) দ্রবণ, ডেসিমোলার (0.1M) দ্রবণ প্রভৃতির প্রত্যেকটিকে প্রমাণ দ্রবণ বা Standard solution বলে। কারণ প্রমাণ দ্রবণের সংজ্ঞা মতে, নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থের নমুনা দিয়ে তৈরি করা কোনো দ্রবণের ঘনমাত্রা

**MCQ-1.1** : রাসায়নিক নিষ্ক্রিতে সঠিকভাবে ওজন নেয়া যায় কত পরিমাণ?  
(ক) 0.1 g (খ) 0.01 g  
(গ) 0.001 g (ঘ) 0.0001 g



সঠিকভাবে জানা থাকলে ঐ দ্রবণকে ঐ দ্রবের প্রমাণ দ্রবণ বলে। এক্ষেত্রে 1M, 0.5M, 0.1M দ্রবণের প্রতি ক্ষেত্রে দ্রবের ঘনমাত্রা সঠিকভাবে জানা থাকে।

উল্লেখ্য মোলারিটি এককে নির্দিষ্ট ঘনমাত্রার দ্রবণ তৈরি করা হয় নির্দিষ্ট আয়তনের মেজারিং ফ্লাস্ক বা আয়তনিক ফ্লাস্কে। আয়তনিক ফ্লাস্ক সাধারণত 250 mL, 500 mL অথবা 1000 mL বা 1 L আয়তনের হয়ে থাকে। দ্রবণের মধ্যে দ্রব ও দ্রাবক উভয়ই থাকে। তাই মোলারিটি গণনার সময় ব্যবহৃত দ্রাবকের পরিমাণ গণনার হিসাবে ধরা হয় না; শুধুমাত্র দ্রবণের আয়তনটি ব্যবহৃত আয়তনিক ফ্লাস্ক থেকে জেনে নেয়া হয়। এ ছাড়া ব্যবহৃত দ্রবের গ্রাম-আণবিক ভর বা মোল পরিমাণ হিসাবে ব্যবহৃত হয়। প্রকৃতপক্ষে কোনো দ্রবণের প্রতি লিটারে দ্রবের গ্রাম-আণবিক ভর বা এর ভগ্নাংশ অথবা এর পূর্ণ গুণিতক পরিমাণ দ্রবীভূত থাকলে সংশ্লিষ্ট দ্রবণের ঘনমাত্রাকে মোলারিটি এককে নিম্নরূপে প্রকাশ ও নামকরণ করা হয়।

প্রতি লিটার দ্রবণে দ্রবীভূত দ্রবের পরিমাণ	দ্রবণে দ্রবের মোলারিটি	দ্রবণের মাত্রা	দ্রবণের নাম
1 মোল দ্রব	1	1 M	মোলার দ্রবণ
0.5 মোল দ্রব	0.5	0.5 M	সেমি মোলার
0.1 মোল দ্রব	0.1	0.1 M	ডেসি মোলার
0.01 মোল দ্রব	0.01	0.01 M	সেন্টি মোলার
0.001 মোল দ্রব	0.001	0.001 M	মিলি মোলার
2 মোল দ্রব	2	2 M	দুই মোলার
x মোল দ্রব	x	x M	x মোলার

জেনে নাও : ল্যাবরেটরিতে গুণগত বিশ্লেষণ ও মাত্রিক বিশ্লেষণের টাইট্রেশন প্রভৃতির ক্ষেত্রে মোলার দ্রবণের ব্যবহারই অধিক। এছাড়া পরীক্ষাগারে নির্দিষ্ট ঘনমাত্রার দ্রবণ প্রস্তুতিতে এর বহুল ব্যবহার আছে। তবে এক্ষেত্রে মনে রাখা দরকার দ্রবণে দ্রবের মোলারিটি তাপমাত্রার ওপর নির্ভরশীল। দ্রবের ভরের ওপর তাপমাত্রার কোনো প্রভাব না থাকলেও দ্রবণের আয়তন তাপমাত্রার ওপর নির্ভরশীল। এ কারণে ল্যাবরেটরিতে সঠিক গণনার কাজে মোলারিটি একক ব্যবহার করলে তখন অবশ্যই তাপমাত্রা উল্লেখ করার প্রয়োজন হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ-১.২ : পল-বুসি ব্যালেন্সে ওজন নেয়াভিত্তিক :

সমস্যা-১.১ : পল-বুসি ব্যালেন্সের বাম পাল্লায়  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ভর্তি ওজন বোতল রেখে ডান পাল্লায় 10 g, 5 g, 2 g, 500 mg, 100 mg, 50 mg ও 20 mg ওজন চাপানো হলো। ব্যালেন্সের পয়েন্টারকে শূন্য দাগে নিতে 10 mg রাইডারটিকে বিমের 30 নম্বর দাগে রাখা হলো। নমুনা ভর্তি ওজন বোতলের মোট ভর নির্ণয় কর। (রাইডার বিমে 100টি ভাগ আছে) [উ: 17.676 g]

সমস্যা-১.২ : পল-বুসি ব্যালেন্সের বাম পাল্লায় অক্সালিক এসিড  $[(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$  ভর্তি ওজন বোতল রেখে ডান পাল্লায় 20 g, 10 g, 5 g, 1 g, 500 mg, দুটি 200 mg, 50 mg, 20 mg ওজন চাপানো হলো। শেষে 5 mg ভরের রাইডারটিকে বিমের 60 নম্বর দাগে রেখে ব্যালেন্সের পয়েন্টারকে শূন্য দাগে আনা গেল। নমুনা ভর্তি ওজন বোতলের মোট ভর কত হবে তা গণনা কর। [উ: 36.976 g]

সমস্যা-১.৩ : প্রাইমারি পদার্থ অক্সালিক এসিডের প্রমাণ দ্রবণ তৈরি করতে প্রয়োজনীয় অক্সালিক এসিড ওজন করার জন্য পল-বুসি ব্যালেন্সের ডান পাল্লায় 100 g, 50 g, 5 g, 200 mg, 20 mg ওজন রেখে 10 mg রাইডারটিকে শিক্ষার্থী ব্যালেন্সের বিমের 15 দাগে রাখল। ওজন বোতলসহ অক্সালিক এসিডের ভর কত হবে? [উ: 155.223 g]



### ১.৪.২ ডিজিটাল ব্যালেন্স : ২-ডিজিট ও ৪-ডিজিট

#### Digital Balance : 2-digit and 4-digit

বর্তমানে পল-বুঙ্গি ব্যালেন্সের পরিবর্তে কেমিস্ট্রি ল্যাবরেটরিতে রাসায়নিক পদার্থের ভর মাপার জন্য বিভিন্ন ইলেকট্রনিক ডিজিটাল ব্যালেন্স ব্যবহৃত হয়। ডিজিটাল ব্যালেন্সগুলো খুব সংবেদনশীল বা sensitive হওয়ায় পদার্থের ভরের সূক্ষ্ম পরিমাপ করা সম্ভব। বর্তমান সিলেবাসে ২-ডিজিট ইলেকট্রনিক ডিজিটাল ব্যালেন্স ও ৪-ডিজিট ইলেকট্রনিক ডিজিটাল ব্যালেন্স অন্তর্ভুক্ত করা হয়েছে। এদের ব্যবহার বিধি জেনে সঠিকভাবে ব্যবহার করতে হয়। ডিজিটাল ব্যালেন্সকে টপ লোডিং (top loading) ব্যালেন্সও বলা হয়। এদের একটি মাত্র পাল্লা বা প্যান (pan) থাকলেও পল-বুঙ্গি ব্যালেন্সের মতো দু-প্যানবিশিষ্ট ব্যালেন্সের ন্যায় কাজ করে।

**২-ডিজিট ব্যালেন্স :** যে ইলেকট্রনিক ডিজিটাল ব্যালেন্সে কোনো রাসায়নিক বস্তুর ভর এক গ্রামের দশমিক দ্বিতীয় স্থান (0.01g) পর্যন্ত সঠিকভাবে ওজন করা সম্ভব হয়, তাকে ২-ডিজিট ব্যালেন্স বলা হয়। সাধারণত সেকেন্ডারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থের ওজন করার জন্য ২-ডিজিট ব্যালেন্স ব্যবহার করা হয়। পূর্বে ব্যবহৃত রাফ ব্যালেন্সের স্থলে বর্তমানে ২-ডিজিট ব্যালেন্স ব্যবহৃত হয়।

**৪-ডিজিট ব্যালেন্স :** যে ইলেকট্রনিক ডিজিটাল ব্যালেন্সে কোনো প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থের ভর এক গ্রামের দশমিক চতুর্থ স্থান (0.0001g) পর্যন্ত সঠিকভাবে ওজন করা সম্ভব হয়, তাকে ৪-ডিজিট ব্যালেন্স বলা হয়। ৪-ডিজিট ব্যালেন্স খুব সংবেদনশীল বা sensitive হওয়ায় রাসায়নিক বিশ্লেষণীয় কাজে ব্যবহৃত প্রমাণ দ্রবণ তৈরিতে সংশ্লিষ্ট পদার্থের সঠিক ওজন নিতে ৪-ডিজিট ব্যালেন্স ব্যবহৃত হয়ে থাকে।

**ব্যবহারের ক্ষেত্র :** ২-ডিজিটাল ব্যালেন্স দ্বারা 1 g এর 100 ভাগের 1 ভাগ অর্থাৎ 0.01 g ভর পর্যন্ত সঠিকভাবে মাপা যায়। কিন্তু ৪-ডিজিটাল ব্যালেন্স দ্বারা 1 g এর 10 হাজার ভাগের 1 ভাগ অর্থাৎ 0.0001 g ভর পর্যন্ত সঠিকভাবে মাপা যায়। পূর্বে ব্যবহৃত রাফ ব্যালেন্সের স্থলে ২-ডিজিটাল ব্যালেন্স ম্যাক্রো ও সেমি মাইক্রো গুণগত বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে প্রয়োজনীয় বিকারক প্রস্তুতিতে বস্তুর ভর পরিমাপে ব্যবহৃত হয়। যেমন, কস্টিক সোডা (NaOH) পিলেট,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , অক্সালিক এসিড ইত্যাদি।

অপরদিকে, ৪-ডিজিটাল ব্যালেন্স সেমি মাইক্রো ও মাইক্রো গুণগত ও ভরভিত্তিক আয়তনিক বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে প্রয়োজনীয় প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থের প্রমাণ দ্রবণ প্রস্তুতিতে বস্তুর ভর পরিমাপে ব্যবহৃত হয়। যেমন অক্সালিক এসিড  $[(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ , পটাসিয়াম ডাইক্রোমেট ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), সোডিয়াম থায়োসালফেট ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) ইত্যাদি।

**প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থ :** যে সব শুষ্ক রাসায়নিক পদার্থ (১) বিশুদ্ধ অবস্থায় প্রস্তুত করা যায়, (২) বাতাসের সংস্পর্শে জলীয় বাষ্প বা,  $\text{O}_2$  সহ বিক্রিয়া করে না, (৩) ওজন নেয়ার সময় রাসায়নিক নিষ্ক্রিয় ক্ষয় করে না এবং (৪) তাদের প্রস্তুত দ্রবণ দীর্ঘকাল ঘনমাত্রায় অপরিবর্তিত থাকে, তাদেরকে প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থ বলে। যেমন- অনার্দ্র  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , কেলাসিত অক্সালিক এসিড ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), পটাসিয়াম ডাইক্রোমেট ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) জারক, (৫) কেলাসিত সোডিয়াম অক্সালেট ( $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) বিজারক পদার্থ ইত্যাদি।

**সেকেন্ডারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থ :** যে সব পদার্থের মধ্যে প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থের ৪টি বৈশিষ্ট্যের যেমন- (১) বিশুদ্ধ অবস্থায় প্রস্তুত করা, (২) বায়ুর সংস্পর্শে অপরিবর্তিত থাকা, (৩) ওজন নেয়ার সময় রাসায়নিক নিষ্ক্রিয় ক্ষতি না করা এবং (৪) প্রস্তুত করা দ্রবণ দীর্ঘদিন অপরিবর্তিত থাকা ইত্যাদির কোনো একটি বা একাধিক বৈশিষ্ট্য থাকে না, তাদেরকে সেকেন্ডারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থ বলে। যেমন, (১) কস্টিক সোডা (NaOH) ক্ষার, (২) সালফিউরিক এসিড ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), (৩) পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট ( $\text{KMnO}_4$ ) জারক পদার্থ, (৪) সোডিয়াম থায়োসালফেট পেন্টাহাইড্রেট ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) বিজারক পদার্থ ইত্যাদি সেকেন্ডারি পদার্থ।

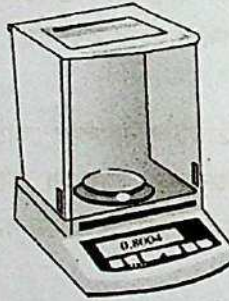


কিছু প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থ ও সেকেন্ডারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থের আণবিক ভর নিচে দেয়া হলো :

প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থ	আ. ভর	সেকেন্ডারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থ	আ. ভর
(১) অনর্ধ সোডিয়াম কার্বনেট ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )	: 106	(১) কঠিক সোডা ( $\text{NaOH}$ )	: 40.0
(২) কেলাসিত অক্সালিক এসিড ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	: 126	(২) হাইড্রোক্লোরিক এসিড ( $\text{HCl}$ )	: 36.5
(৩) কেলাসিত সোডিয়াম অক্সালেট ( $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )	: 170	(৩) সালফিউরিক এসিড ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )	: 98.0
(৪) পটাসিয়াম ডাইক্রোমেট ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ )	: 294	(৪) পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট ( $\text{KMnO}_4$ )	: 158
		(৫) সোডিয়াম থায়োসালফেট ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )	: 268



চিত্র-১.৫ : 2-ডিজিটাল ইলেকট্রনিক ব্যালেন্স



চিত্র-১.৬ : 4-ডিজিটাল ইলেকট্রনিক ব্যালেন্স



ওজন বোতল

### ডিজিটাল ব্যালেন্সের ব্যবহার বিধি বা কার্য পদ্ধতি :

ডিজিটাল ব্যালেন্স-2 ডিজিট : চিত্র-১.৫ মতে ব্যালেন্সটিকে পরিষ্কার সমতল টেবিলের ওপর রাখা হয়। কোনো রাসায়নিক পদার্থের ওজন নেয়ার সময় ঐ রাসায়নিক পদার্থ সরাসরি ব্যালেন্সের প্যানের ওপর রাখা যাবে না। এতে ব্যালেন্সের ক্ষতি হয়। তাই কঠিন রাসায়নিক বস্তুকে ছোট বিকারে বা ওয়াচ গ্লাসে বা শুষ্ক কাগজের টুকরার ওপরে নিয়ে ব্যালেন্সের গোলাকার প্যানের ওপর রাখা হয়। এছাড়া ওজন-বোতলে (weighing bottle) ও রাসায়নিক বস্তু নিয়ে ওজন করা হয়। কেবল 4-ডিজিটাল ব্যালেন্সের বেলায় ওজন-বোতল ব্যবহৃত হয়।

(১) এখন ডিজিটাল ব্যালেন্স ব্যবহারের জন্য 'on' (অন) বোতামটি চাপ দিয়ে অপেক্ষা করতে হয়—যতক্ষণ না ডিজিটাল পর্দায় জিরো (0.00 g বা 0.0000 g) রিডিং ভেসে ওঠে। এবার বস্তুর ওজন নেয়ার খালি পাত্র বা container যেমন কাগজের টুকরা, খালি ছোট বিকার বা ওজন-বোতলটিকে ব্যালেন্সের প্যানের ওপর রেখে 'tare' বা 'Zero' বোতামটি চাপ দিতে হয়। তখন খালি পাত্রের ওজন ডিজিটাল ব্যালেন্সের মেমোরিতে (memory-তে) সংরক্ষিত থাকে, যা পরবর্তী পাত্র ও বস্তুর মোট ওজন থেকে খালি পাত্রের ওজন বাদ পড়ে যায়। তাই এক্ষেত্রেও ডিজিটাল পর্দায় পূর্বের মতো জিরো (0.00 g বা 0.0000 g) রিডিং প্রদর্শিত হয়।

(২) এবার খালি পাত্রের ওপর স্প্যাচুলা (spatula) বা চামচের সাহায্যে আস্তে আস্তে রাসায়নিক বস্তু প্রয়োজনমতো যোগ করে ঐ বস্তুর ভর ডিজিটাল পর্দার রিডিং থেকে রেকর্ড করা হয়। পরে সুইচ অফ করে পাত্রসহ গৃহীত রাসায়নিক বস্তুকে সরিয়ে নেয়া হয়।

ডিজিটাল ব্যালেন্স-4 ডিজিট : সূক্ষ্ম পরিমাপের এরূপ ব্যালেন্সে চিত্র-১.৬ মতে, বস্তুর ভর পরিমাপের সময়, বাতাস চলাচলের চাপের প্রভাব মুক্ত রাখতে ব্যালেন্সের গোলাকার প্যানটি কাচের দেওয়ালে আবদ্ধ থাকে। তাই ঐ প্যানের ওপর



ওজন বোতলসহ বস্তু রাখা এবং নেয়ার জন্য গ্লাস স্লাইডিং এর ব্যবস্থা থাকে। এক্ষেত্রে ওজন বোতলে রাসায়নিক বস্তু নিয়ে ১ম ওজন এবং পরে আয়তনিক ফ্লাস্কের মুখে রাখা ফানেলের ওপর ঐ ওজন বোতলের মুখ খুলে এবং বোতলের গায়ে তর্জনী আঙ্গুলের মৃদু আঘাত করে প্রয়োজনীয় বস্তু ফানেলের ওপর ঢেলে নেয়া হয়। পরে অবশিষ্ট বস্তুর ২য় ওজন নেয়া হয় (পল-বুঙ্গি ব্যালেন্সের মতো)।

(১) প্রথমে ওজন-বোতলটি শুষ্ক ও পরিষ্কার করে নেয়া হয়। চিত্র-১.৬ মতে, এক টুকরা টিস্যু পেপার অথবা ভাঁজ করা কাগজ দ্বারা ওজন বোতলকে ধরতে হয়। [হাতের আঙ্গুল দ্বারা সরাসরি ধরা যাবে না; আঙ্গুলের অর্দ্রতা ওজন-বোতলে লেগে ভর পরিমাপে ত্রুটি দেখা দেয়।]

(২) এবার সংশ্লিষ্ট রাসায়নিক বস্তুর গুঁড়া ঐ ওজন-বোতলে নেয়া হয়। এখন ওজন নেয়ার জন্য ব্যালেন্সের on (অন) বোতাম চাপ দিয়ে ডিজিটাল পর্দায় 0.0000 g এ আনা হয়; অথবা 'tare' বোতাম চেপে 0.0000 g রিডিং এ আনা হয়। এখন স্লাইডিং গ্লাস সরিয়ে প্যানের ওপর রাসায়নিক বস্তু ভর্তি ওজন বোতল রাখা হয়। ডিজিটাল পর্দায় প্রদর্শিত রিডিং ১ম ওজনরূপে রেকর্ড করা হয়।

(৩) এরপর ওজন বোতল বের করে নিয়ে আয়তনিক ফ্লাস্কে রাখা ফানেলের ওপর ওজন-বোতল খুলে কাত করে তর্জনী আঙ্গুলের মৃদু আঘাত করে বা স্প্যাচুলা (spatula) বা ইস্পাতের ছোট চামচ দ্বারা প্রয়োজনমতো রাসায়নিক বস্তু ঢেলে নিয়ে পুনরায় ওজন বোতলটির ভর মেপে নেয়া হয়। [প্রয়োজনে একাধিক বার অনুরূপভাবে ওজন পরীক্ষা করা যেতে পারে।] শেষ ব্যরের ওজনটি রেকর্ড করা হয়। ১ম ওজন ও শেষ ওজনের পার্থক্য থেকে গৃহীত বস্তুর ভর গণনা করা হয়।

#### ডিজিটাল ব্যালেন্স ব্যবহারে সাবধানতা :

- (১) 4-ডিজিটাল ব্যালেন্সে এটির ধারণ ক্ষমতার বেশি ওজন করা যাবে না।
- (২) ওজন নেয়ার সময় ব্যালেন্সের সামনের গ্লাসটি বন্ধ করে ওজন নিতে হয়।
- (৩) ব্যালেন্সে ক্ষয়কারক সেকেন্ডারি পদার্থ যেমন কস্টিক সোডার পিলেট, গাঢ়  $H_2SO_4$  ইত্যাদি ওজন করা যাবে না।
- (৪) উত্তপ্ত অবস্থায় কোনো রাসায়নিক পদার্থের ওজন নেয়া যাবে না।
- (৫) ব্যবহারের আগে ও পরে ডিজিটাল ব্যালেন্সের প্যান (pan) বা পাল্লাকে sable ব্রাশ নামক বিশেষ ব্রাশ (যেমন camel hair brush) দ্বারা পরিষ্কার করে নিতে হবে।

#### ডিজিটাল ব্যালেন্স ব্যবহারে সুবিধা :

- (১) ডিজিটাল ব্যালেন্সে বাইর থেকে পাল্লায় ওজন যোগ করতে হয় না। তাই ওজন-বাল্সের এক্ষেত্রে কোনো ব্যবহার নেই।
- (২) ডিজিটাল ব্যালেন্সে রাইডার ব্যবহারের কোনো প্রয়োজন হয় না।
- (৩) ডিজিটাল ব্যালেন্সে ওজন নিতে সময়ও কম লাগে।
- (৪) সরাসরি ওজন করা যায় ডিজিটাল ব্যালেন্সে সঠিকভাবে।
- (৫) ডিজিটাল ব্যালেন্সে ওজন নিতে 'ব্যক্তিগত ভুল' বা Personal error এর কোনো সম্ভাবনা নেই। সরাসরি ডিজিটাল রিডিং স্ক্রিন বা পর্দায় ভেসে ওঠে।



## পল-বুঙ্গি ব্যালেন্স ও ডিজিটাল ব্যালেন্সের মধ্যে পার্থক্য

পল-বুঙ্গি ব্যালেন্স	4-ডিজিটাল ব্যালেন্স
১। পল-বুঙ্গি ব্যালেন্স হলো ম্যানুয়েল বা হস্তচালিত অ্যানালাইটিক্যাল ব্যালেন্স।	১। 4-ডিজিটাল ব্যালেন্স হলো স্ক্রিনে সংখ্যা প্রদর্শক বৈদ্যুতিক অ্যানালাইটিক্যাল ব্যালেন্স।
২। পল-বুঙ্গি ব্যালেন্সে দুটি পাল্লা থাকে। বাম পাল্লায় ওজন বোতলে রাসায়নিক পদার্থ থাকে, ডানপাল্লায় নির্দিষ্ট ওজনসমূহ রাখা হয়।	২। 4-ডিজিটাল ব্যালেন্সে কেবল মাত্র একটি টপ লোডিং পাল্লা থাকে। এর ওপর রাসায়নিক পদার্থ ভর্তি ওজন বোতল রাখা হয়।
৩। বায়ু চলাচলের ধাক্কা মুক্ত রাখতে ব্যালেন্সটিকে কাচের বাক্সে রাখা হয়।	৩। 4-ডিজিটাল ব্যালেন্সটিও বায়ুর ধাক্কা মুক্ত অবস্থায় কাচের বাক্সে থাকে।
৪। হস্তচালিত পল-বুঙ্গি ব্যালেন্সে ওজন নিতে বিদ্যুতের প্রয়োজন হয় না।	৪। 4-ডিজিটাল ব্যালেন্স ব্যবহারে বিদ্যুতের প্রয়োজন হয়।
৫। পল-বুঙ্গিতে ওজন নিতে বেশি সময় প্রয়োজন হয়।	৫। ডিজিটাল ব্যালেন্সে অল্প সময়ের মধ্যে ওজন নেয়া যায়।
৬। পল-বুঙ্গিতে ওজন করা বস্তুর ওজনের সূক্ষ্মতা কম থাকে; কারণ 'ব্যক্তিগত ভুল' হতে পারে।	৬। ডিজিটাল ব্যালেন্সে ওজন করা বস্তুর ওজনের সূক্ষ্মতা বেশি থাকে; কারণ 'ব্যক্তিগত ভুল' এক্ষেত্রে প্রযোজ্য নয়।

## শিক্ষার্থীর কাজ-১.৩ : পল-বুঙ্গি ব্যালেন্স ও 4-ডিজিটাল ব্যালেন্সভিত্তিক :

প্রশ্ন-১.২(ক) : পল-বুঙ্গি ব্যালেন্স ও 4-ডিজিটাল ব্যালেন্স ব্যবহারে সুবিধা ও অসুবিধাসমূহের তুলনামূলক আলোচনা কর।

প্রশ্ন-১.২(খ) : দুইজন একাদশ শ্রেণির শিক্ষার্থী আলমগীর ও সজল পৃথকভাবে 500 mL 0.1M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> দ্রবণ তৈরির জন্য প্রয়োজনীয় পরিমাণ দ্রব পরিমাপ করতে পল-বুঙ্গি ও ডিজিটাল ব্যালেন্স ব্যবহার করল। কোন রাসায়নিক ব্যালেন্স ব্যবহারে কোন শিক্ষার্থীর কাজের কীরূপ সুবিধা ও অসুবিধা হয়েছিল তা ব্যাখ্যা কর।

প্রশ্ন-১.৩ : ডিজিটাল ব্যালেন্সে রাসায়নিক পদার্থের ওজন নিতে সুবিধাগুলো কী?

প্রশ্ন-১.৪ : পল-বুঙ্গি ও 4-ডিজিটাল ব্যালেন্স ব্যবহারের বিধিসমূহ লেখ।

## সেখানে নাও :

- \* প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থকে ওজন করতে পল-বুঙ্গি ও 4-ডিজিটাল ব্যালেন্স ব্যবহার করা হয়।
- \* ক্ষয়কারক কঠিন সেকেন্ডারি পদার্থকে যেমন, NaOH-এর দানাতে রাফ ব্যালেন্স (Rough balance)-এ ওজন করতে হয়।
- \* ক্ষয়কারক তরল সেকেন্ডারি পদার্থ যেমন, HCl এসিড ও H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> এসিডকে মেপে নিতে মেজারিং সিলিভার ব্যবহার করতে হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা-১.১ : তোমাকে 250 mL আয়তনের একটি আয়তনিক ফ্লাস্ক দিয়ে বলা হলো এ ফ্লাস্কে Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> এর একটি ডেসিমোলার দ্রবণ প্রস্তুত কর। তুমি এজন্য কত গ্রাম Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> রাসায়নিক নিষ্কিতে ওজন করে নিবে?

দক্ষতা : Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> এর গ্রাম আণবিক ভর ও মোলার দ্রবণের সংজ্ঞা ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> এর গ্রাম আণবিক ভর = (23 × 2 + 12 + 16 × 3) g = 106 g।

মোলার দ্রবণের সংজ্ঞা মতে,

1.0L বা, 1000 mL আয়তনের 1M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> দ্রবণ তৈরিতে Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> লাগে = 106 g

∴ 250 mL আয়তনের 0.1M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> দ্রবণ তৈরিতে Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> লাগে =  $\frac{106 \times 250 \times 0.1}{1000 \times 1}$  g = 2.65 g

∴ 250 mL 0.1M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> দ্রবণ প্রস্তুতির জন্য প্রয়োজন হবে 2.65 g Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>



সমাধানকৃত সমস্যা-১.২ : উপরের সমস্যা-১.১ মতে 250 mL ফ্লাস্কে 0.1M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> তৈরি করতে 2.65 g Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> প্রয়োজন হলেও তুমি পল-বুজি ব্যালেসে ওজন নিতে গিয়ে 2.9415 g Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ওজন করেছ। তখন Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> এর প্রস্তুত দ্রবণটির মোলার ঘনমাত্রা কত হবে তা হিসাব করে দেখাও।

দক্ষতা : Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> এর মোল সংখ্যা ও মোলারিটির সংজ্ঞা ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : গৃহীত Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> এর মোল সংখ্যা =  $\frac{\text{গৃহীত Na}_2\text{CO}_3 \text{ এর ভর}}{\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ এর মোলার ভর}} = \frac{2.9415 \text{ g}}{106 \text{ g mol}^{-1}} = 0.02775 \text{ mol}$

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> দ্রবণের মোলারিটি =  $\frac{\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ এর মোল সংখ্যা}}{\text{লিটারে দ্রবণের আয়তন}}$  ;

∴ Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> দ্রবণের মোলারিটি =  $\frac{0.02775 \text{ mol}}{0.250 \text{ L}} = 0.111 \text{ mol L}^{-1}$

∴ Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা হবে = 0.111 mol L<sup>-1</sup> বা 0.111 M

সমাধানকৃত সমস্যা-১.৩ : রাসায়নিক ব্যালেস, দ্রবণের ঘনমাত্রা ও প্রমাণ দ্রবণভিত্তিক :

উদ্দীপক : অনিক 4-ডিজিট ব্যালেসে 1.0589 g Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> এবং তুলি 2-ডিজিট ব্যালেসে 1.62 g K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> পরিমাপ করে পৃথকভাবে 100 mL মেজারিং ফ্লাস্কে নিয়ে প্রয়োজন মতো পানি মিশিয়ে দুটি দ্রবণ তৈরি করা হলো।

(ক) প্রমাণ দ্রবণ কী?

[ঢা. বো. ২০১৭]

(খ) অনিকের প্রস্তুতকৃত দ্রবণটির মোলার ঘনমাত্রা ও pH গণনা কর।

(গ) উদ্দীপকের কোন দ্রবণটি প্রমাণ দ্রবণ হিসেবে অধিক গ্রহণযোগ্য? তোমার উত্তরের সপক্ষে যুক্তি দেখাও।

সমাধান : (ক) প্রমাণ দ্রবণ :

সংজ্ঞা : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থের নমুনা দিয়ে তৈরি কোনো দ্রবণের ঘনমাত্রা সঠিকভাবে জানা থাকলে সে দ্রবণকে ঐ দ্রবের প্রমাণ দ্রবণ বলে। যেমন, 0.1 M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> দ্রবণ হলো একটি প্রমাণ দ্রবণ।

সমাধান : (খ) অনিকের প্রস্তুতকৃত দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা ও pH গণনা :

আমরা জানি, দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা বা, মোলারিটি =  $\frac{\text{দ্রবের মোল সংখ্যা}}{\text{লিটারে দ্রবণের আয়তন}}$

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> এর গ্রাম আণবিক ভর = 106 g mol<sup>-1</sup>

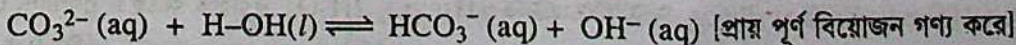
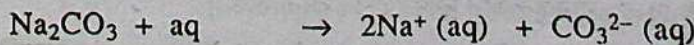
গৃহীত Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> এর ভর = 1.0589 g

∴ Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> এর মোল সংখ্যা =  $\frac{1.0589 \text{ g}}{106 \text{ g mol}^{-1}} = 0.0099896 \text{ mol}$

দ্রবণের আয়তন = 100 mL = 0.1 L

∴ Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> দ্রবণের মোলারিটি =  $\frac{0.0099896 \text{ mol}}{0.1 \text{ L}} = 0.099896 \text{ M (উঃ)}$

Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> দ্রবণের pH গণনা : Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য হওয়ায় এটি জলীয় দ্রবণে পূর্ণ আয়নিত হয়ে Na<sup>+</sup> আয়ন ও CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> আয়ন তৈরি করে। Na<sup>+</sup> আয়ন সবল ক্ষার NaOH এর অনুবন্ধী এসিড হওয়ায় এটি H<sub>2</sub>O এর সাথে বিক্রিয়া করে না। কিন্তু CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> আয়ন মৃদু এসিড H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> এর অনুবন্ধী ক্ষারক হওয়ায় এটি H<sub>2</sub>O সহ অর্ধবিশ্লেষণে OH<sup>-</sup> আয়ন ও দুর্বল HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> এসিড তৈরি করে। তখন OH<sup>-</sup> আয়নের ঘনমাত্রা Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> এর ঘনমাত্রার প্রায় সমান ধরা যায়। যেমন-



∴ [Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>] = [OH<sup>-</sup>] = 0.099896 M



আমরা জানি ক্ষার দ্রবণের,  $\text{pH} = 14 - \log [\text{OH}^-] = 14 - \log 0.099896$

$\therefore \text{Na}_2\text{CO}_3$  দ্রবণের  $\text{pH} = (14 - 1.000452) = 12.999$  (উঃ)

সমাধান : (গ) কোনটি প্রমাণ দ্রবণ হিসেবে অধিক গ্রহণযোগ্য, তা নির্ণয় :

অনিকের প্রস্তুতকৃত  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  দ্রবণের মোলারিটি (নির্ণীত) = 0.099896 M

তুলির প্রস্তুতকৃত  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  দ্রবণের মোলারিটি =  $\frac{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \text{ এর মোল সংখ্যা}}{\text{লিটারে দ্রবণের আয়তন}}$

$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  এর গ্রাম-আণবিক ভর =  $(39.1 \times 2 + 52 \times 2 + 16 \times 7) \text{ g} = 294.2 \text{ g mol}^{-1}$

গৃহীত  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  এর ভর = 1.62 g

$\therefore \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  এর মোল সংখ্যা =  $\frac{1.62 \text{ g}}{294.2 \text{ g mol}^{-1}} = 0.005506 \text{ mol}$

দ্রবণের আয়তন = 100 mL = 0.1L

$\therefore \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  দ্রবণের মোলারিটি =  $\frac{0.005506 \text{ mol}}{0.1 \text{ L}} = 0.05506 \text{ M}$ .

বিশ্লেষণ : এক্ষেত্রে অনিক ও তুলির প্রস্তুতকৃত উভয় দ্রবণ হলো দুটি ভিন্ন প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থ যেমন  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ও  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  এর। প্রয়োজনীয় পরিমাণ  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  পরিমাপে অনিক ব্যবহার করেছে 4-ডিজিট ব্যালেন্স। ফলে অনিকের ওজন করা  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  এর পরিমাণ গ্রাম এককে দশমিক চতুর্থ স্থান পর্যন্ত (যেমন 1.0589 g) সঠিকভাবে নেয়া সম্ভব হয়েছে। অপরদিকে তুলি ব্যবহার করেছে 2-ডিজিট ব্যালেন্স। ফলে তুলির ওজন করা  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  এর পরিমাণ গ্রাম এককে দশমিক দ্বিতীয় স্থান যেমন- 1.62 g পর্যন্ত ওজন নেয়া সম্ভব হয়েছে। সুতরাং অনিকের  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  এর ওজন নেয়ার কাজ অধিকতর সূক্ষ্মভাবে সম্পন্ন হয়েছে।

তাই অনিকের প্রস্তুতকৃত  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  দ্রবণটি প্রমাণ দ্রবণ হিসেবে রাসায়নিক বিশ্লেষণীয় কাজে অধিকতর গ্রহণযোগ্য।

শিক্ষার্থীর কাজ-১.৪ : মোলার ঘনমাত্রা ও মোলারিটিভিত্তিক :

সমস্যা-১.৪ : অনিক 4-ডিজিট ব্যালেন্সে 1.0589 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  এবং তুলি 2-ডিজিট ব্যালেন্সে 1.62 g  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  পরিমাপ করে পৃথকভাবে 100 mL মেজারিং সিলিন্ডারে পানি মিশিয়ে 100 mL করে দ্রবণ তৈরি করে। [ $\text{Na}_2\text{CO}_3$  এর আ. ভর = 106 ও  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  এর আ. ভর = 294.2] [ঢা. বো. ২০১৭]

(ক) অনিক ও তুলির তৈরি করা দ্রবণের মোলারিটি বের কর।

[উঃ 0.099 M; 0.055 M]

(খ) উভয় দ্রবণের মধ্যে কোন দ্রবণটি প্রমাণ দ্রবণ হিসেবে অধিক গ্রহণযোগ্য হবে, তা ব্যাখ্যা কর।

[সমাধানকৃত সমস্যা-১.৩ দেখো]

সমস্যা-১.৫ : 100 mL দ্রবণে 1.18 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  দ্রবীভূত আছে। দ্রবণটির মোলার ঘনমাত্রা কত? [উঃ 0.11132 M]

সমস্যা-১.৬ : 250 mL 0.1 M  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  দ্রবণ কীভাবে তৈরি করবে?

[উত্তর সংকেত : প্রয়োজনীয়  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  গণনা কর। তা হবে 2.65 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ । এরপর রাসায়নিক নিষ্কৃতিতে ওজন নিয়ে 250 mL মেজারিং ফ্লাস্ক, ফানেল, ওয়াশ বোতল ব্যবহার করে দ্রবণ তৈরির বর্ণনা দাও।]

সমস্যা-১.৭ : 100 mL দ্রবণে 1.386 g অক্সালিক এসিড ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) দ্রবীভূত আছে। দ্রবণটির মোলার ঘনমাত্রা কত? [উঃ 0.11 M]



সমস্যা-১.৮ : 250 cm <sup>3</sup> অক্সালিক এসিড (H <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O) এর (i) সেমিমোলার ও (ii) ডেসিমোলা তৈরিতে কত গ্রাম দ্রব প্রয়োজন হবে?	[উ: (i) 15.75 g ; (ii) 3.15 g]
সমস্যা-১.৯ : 250 mL দ্রবণে 7.355 g K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> দ্রবীভূত আছে। দ্রবণটির মোলারিটি কত?	[K = 39.1, Cr = 52] [উ: 0.10 mol L <sup>-1</sup> ]
সমস্যা-১.১০ : 100 mL 0.1M KMnO <sub>4</sub> দ্রবণ তৈরিতে কত গ্রাম KMnO <sub>4</sub> প্রয়োজন হবে?	[K = 39.1, Mn = 55] [উ: 1.58 g]
সমস্যা-১.১১ : 250 cm <sup>3</sup> NaOH এর (i) মোলার দ্রবণ ও (ii) ডেসিমোলার দ্রবণ তৈরি করতে কত গ্রাম দ্রব প্রয়োজন হবে?	[উ: (i) 10 g; (ii) 1.0 g]

বিশেষ দ্রষ্টব্য : NaOH হলো কঠিন সেকেন্ডারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থ। সেকেন্ডারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থকে রাসায়নিক নিষ্ক্রিয় যেন পল-বুঙ্গি ব্যালেন্সে ওজন করা হয় না; রাফ ব্যালেন্সে (Rough balance-এ) ওজন করতে হয়। আবার তরল সেকেন্ডারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থ যেন গাঢ় HCl এসিড (10 M), গাঢ় H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> এসিড (18 M) থেকে লঘু এসিড দ্রবণ তৈরিতে প্রয়োজনীয় পরিমাণ V<sub>1</sub>M<sub>1</sub> = V<sub>2</sub>M<sub>2</sub> সম্পর্ক মতে আয়তন (V<sub>1</sub>) জেনে মেজারিং সিলিন্ডারে মেপে নেয়া হয়।

### ১.৪.৩ আয়তনিক বিশ্লেষণে ব্যবহৃত কাচের যন্ত্রপাতি

#### Glass Apparatus Used in Volumetric Analysis

রাসায়নিক বিশ্লেষণ : কোনো রাসায়নিক পদার্থ অথবা এদের মিশ্রণের মূল উপাদানসমূহকে শনাক্তকরণ এবং এদের পরিমাণ নির্ধারণের জন্য যে রাসায়নিক পদ্ধতিসমূহ ল্যাবরেটরিতে অনুসরণ করা হয়, তাকে রাসায়নিক বিশ্লেষণ বলে। সমগ্র রাসায়নিক প্রক্রিয়া মূলত দুই প্রধান শ্রেণিতে বিভক্ত। যেমন,

(ক) আঙ্গিক বিশ্লেষণ (Qualitative Analysis)

(খ) মাত্রিক বিশ্লেষণ (Quantitative Analysis)

আঙ্গিক বিশ্লেষণ : যে বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় কোনো রাসায়নিক পদার্থের অথবা এদের মিশ্রণের মূল উপাদান বা জৈব যৌগের মূলকসমূহের উপস্থিতি রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাহায্যে বিশেষ বর্ণযুক্ত যৌগের দ্রবণ অথবা অধঃক্ষেপ সৃষ্টির মাধ্যমে শনাক্তকরণ সম্ভব হয়, একে আঙ্গিক বিশ্লেষণ বলে। যেমন অজৈব লবণের ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণ পদ্ধতি হলো আঙ্গিক বিশ্লেষণ।

মাত্রিক বিশ্লেষণ : যে বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ার সাহায্যে কোনো রাসায়নিক পদার্থের মূল উপাদানসমূহের আনুপাতিক পরিমাণ বা সঠিক পরিমাণ নির্ণয় করা যায়, একে মাত্রিক বিশ্লেষণ বলে।

আবার মাত্রিক বিশ্লেষণসমূহ দুই শ্রেণিতে বিভক্ত। যেমন,

(১) ভরভিত্তিক বিশ্লেষণ (Gravimetric Analysis)

(২) আয়তনিক বিশ্লেষণ (Volumetric Analysis)

**MCQ-1.2** : পল-বুঙ্গি ব্যালেন্সে 5 mg রাইডার ব্যবহৃত হলে রাইডার ধ্রুবক কত হয়?  
(ক) 0.02 g (খ) 0.002 g  
(গ) 0.001 g (ঘ) 0.0001 g

ভরভিত্তিক বিশ্লেষণ : ভরভিত্তিক বিশ্লেষণের বেলায়, পরীক্ষাধীন পদার্থের রাসায়নিক বিক্রিয়ায় সৃষ্ট অধঃক্ষেপকে পোর্সেলিন বাটিতে উচ্চ তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করে শুষ্ক করার পর প্রাপ্ত ভরের ওজন গ্রাম এককে নেয়া হয়।

আয়তনিক বিশ্লেষণ : আয়তনিক বিশ্লেষণের বেলায়, কোনো নির্দিষ্ট আয়তনের প্রদত্ত নমুনার সাথে অপর কোনো নির্দিষ্ট আয়তনের বিকারক দ্রবণের তুল্য পরিমাণে বিক্রিয়া সম্পন্ন করে প্রদত্ত নমুনা পরীক্ষণীয় উপাদানের মোল পরিমাণ গণনা করা হয়। যেমন- অম্ল ক্ষার টাইট্রেশন, রিডক্স টাইট্রেশন।



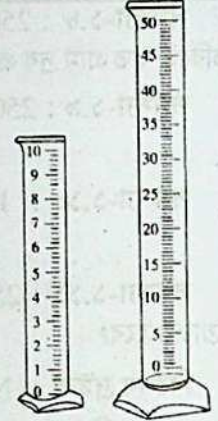
**আয়তনিক বিশ্লেষণে ব্যবহৃত যন্ত্রপাতি :** আয়তনিক বিশ্লেষণে নিম্নলিখিত কাচ নির্মিত যন্ত্রপাতি ব্যবহৃত হয় : (১) মেজারিং সিলিন্ডার বা পরিমাপন সিলিন্ডার, (২) মেজারিং ফ্লাস্ক, (৩) ব্যুরেট, (৪) পিপেট, (৫) কনিকেল ফ্লাস্ক, (৬) ফানেল ও ওয়াশ বোতল। আয়তনিক বিশ্লেষণে ব্যবহৃত কাচ যন্ত্র পাইরেক্স গ্লাস (বোরো সিলিকেট গ্লাস) অথবা পটাস গ্লাস দিয়ে তৈরি করা হয়। এ সব গ্লাস বা কাচ খুব শক্ত ও তাপরোধী হয়।

এ সব যন্ত্রপাতির গঠনগত বৈশিষ্ট্য, ব্যবহারের ক্ষেত্র ও ব্যবহারবিধি আলোচনা করা হলো।

### (১) মেজারিং সিলিন্ডার (Measuring cylinder) :

**পরিচিতি :** এক মুখ খোলা ও এক মুখ বন্ধ দাগ কাটা বিভিন্ন আয়তনের কাচের মোটা নলকে মেজারিং সিলিন্ডার বা পরিমাপক সিলিন্ডার বলে। ডেক্সে খাড়াভাবে রাখলে যাতে পড়ে না যায় সেজন্য নলটির বন্ধ দিক চ্যাপটা করা থাকে (১.৭ নং চিত্র)।

**ব্যবহার :** সিলিন্ডারের গায়ে  $\text{cm}^3$  অথবা  $\text{mL}$  দাগাঙ্কিত থাকে। ফলে একটি সিলিন্ডার দ্বারা বিভিন্ন আয়তনের তরল পরিমাপ করা যায়। বিশেষত নির্দিষ্ট আয়তনের গাঢ় এসিড ও পানির পরিমাপ করার জন্য মেজারিং সিলিন্ডার ব্যবহৃত হয়। এটা সাধারণত  $5 \text{ cm}^3$ ,  $10 \text{ cm}^3$ ,  $50 \text{ cm}^3$ ,  $100 \text{ cm}^3$ ,  $200 \text{ cm}^3$ ,  $250 \text{ cm}^3$  প্রভৃতি বিভিন্ন আয়তনের হয়। তবে আয়তন যত বেশি হয় সিলিন্ডারের আকৃতি তত মোটা হয় এবং পরিমাপের সূক্ষ্মতা তত কমে যায়। আয়তনিক সিলিন্ডারে তরল রাসায়নিক পদার্থ পরিমাপ করা হয়। সর্বনিম্ন  $1 \text{ mL}$  তরল এটি দ্বারা মাপা যায়।



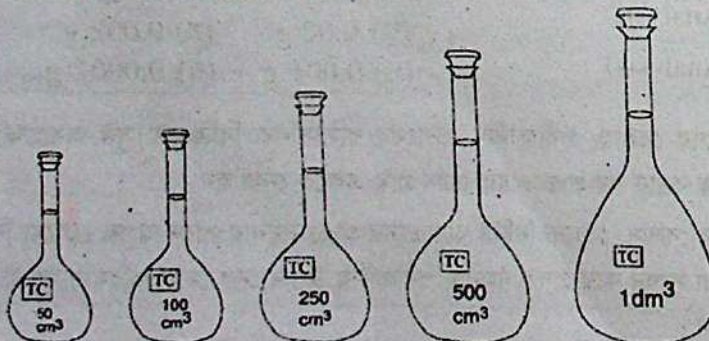
চিত্র-১.৭ : বিভিন্ন আকারের মেজারিং সিলিন্ডার।

মেজারিং সিলিন্ডারে নির্ভুল পরিমাপ করার নিয়ম : মেজারিং সিলিন্ডারে সর্বনিম্ন  $1 \text{ mL}$  তরল মাপা যায়। তবে তরলে পৃষ্ঠটান বা surface tension এর কারণে সিলিন্ডারের গায়ে তরলের উচ্চতা কিছুটা বেশি দেখায়। এজন্য মেজারিং সিলিন্ডার দ্বারা তরল পদার্থ নির্ভুলভাবে পরিমাপের নিয়ম হলো 'তরলের সর্বনিম্ন বক্রতল' বা Lower meniscus এর পাঠ নেয়া। মেজারিং সিলিন্ডারসহ অন্যান্য আয়তনিক পরিমাপক যন্ত্র দ্বারা তরল পরিমাপের ক্ষেত্রে তরলের Lower meniscus দেখে আয়তনের পাঠ নিতে হয়।

### (২) আয়তনিক ফ্লাস্ক বা মেজারিং ফ্লাস্ক (Volumetric flask or Measuring flask) :

**পরিচিতি :** সরু গলাযুক্ত গোলাকার কাচের পাত্রকে আয়তনিক ফ্লাস্ক বলে। ডেক্সের ওপর যাতে সহজে রাখা যায় এজন্য ফ্লাস্কের তলা চ্যাপ্টা বা সমতল আকৃতির হয়। এটা যে কোনো আয়তনের হতে পারে। আয়তনিক ফ্লাস্কের মুখে গ্লাস স্টপার থাকে।

**ব্যবহার :** পরীক্ষাগারে সাধারণত  $100 \text{ cm}^3$ ,  $250 \text{ cm}^3$ ,  $500 \text{ cm}^3$  ও  $1 \text{ dm}^3$  আয়তনের ফ্লাস্ক বেশি ব্যবহৃত হয়। নির্দিষ্ট আয়তনের প্রমাণ দ্রবণ তৈরি করার জন্য বিভিন্ন আয়তনিক ফ্লাস্ক বা মেজারিং ফ্লাস্ক ব্যবহৃত হয়। এ ফ্লাস্কের সরু গলাযুক্ত নলের মাঝামাঝি স্থানে চারদিকে ঘিরে একটি দাগ দিয়ে ফ্লাস্কের আয়তন নির্দিষ্ট করা হয়। ১.৮ নং চিত্রের এ ফ্লাস্ক যে কোনো ঘনমাত্রার প্রমাণ দ্রবণ তৈরি করার জন্য ব্যবহার করা হয়। ফ্লাস্কের মুখটি গ্লাস স্টপার দিয়ে বন্ধ করা যায়। ফ্লাস্কের গায়ের TC প্রতীক দ্বারা 'to contain' বোঝায়।



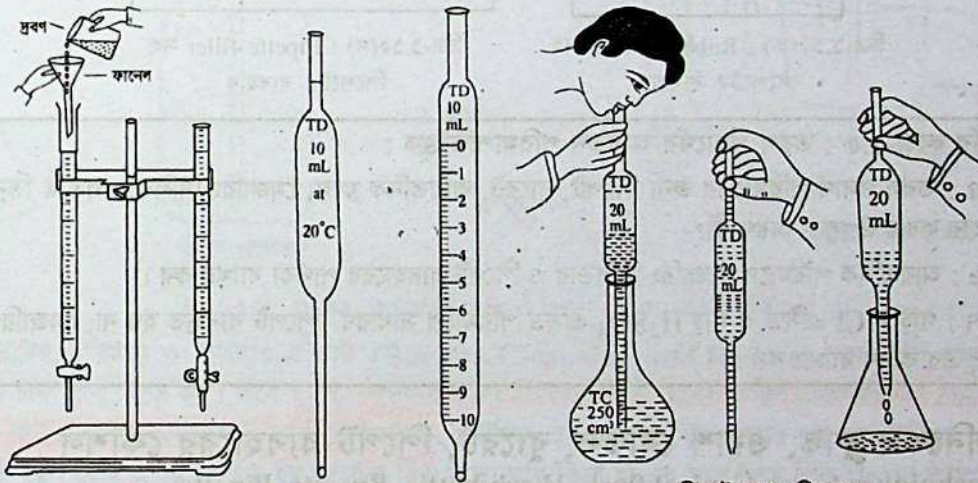
চিত্র-১.৮ : বিভিন্ন আকারের আয়তনিক ফ্লাস্ক।

**MCQ-1.3 :** ব্যুরেটে একটি ক্ষুদ্রতম ভাগের আয়তন কত?  
 (ক)  $1.0 \text{ cm}^3$  (খ)  $0.1 \text{ cm}^3$   
 (গ)  $0.01 \text{ cm}^3$  (ঘ)  $0.5 \text{ cm}^3$



(৩) **ব্যুরেট (Burette)** : পরিচিতি : ব্যুরেট হলো দাগাক্ষিত সমান ব্যাসবিশিষ্ট মোটা কাচের নল দ্বারা তৈরি একটি যন্ত্র। নলটির একমুখ খোলা। নিচের মুখ খুব সরু। সরু মুখে স্টপ-কক লাগানো থাকে। স্টপ-কক দ্বারা ব্যুরেট থেকে দ্রবণের পতন নিয়ন্ত্রণ করা হয়। ব্যুরেট সাধারণত  $25 \text{ cm}^3$  ও  $50 \text{ cm}^3$  আয়তনের হয়ে থাকে। ব্যুরেটের গায়ে দাগাক্ষিত করে 25 বা 50টি ভাগে ভাগ করা থাকে। প্রতি ভাগের আয়তন  $1 \text{ cm}^3$ । প্রতি  $1 \text{ cm}^3$  ভাগকে আবার 10টি ভাগে ভাগ করা থাকে। তাই একটি ক্ষুদ্রতম ভাগের আয়তন  $0.1 \text{ cm}^3$  হয়।

ব্যবহার : আয়তনিক বিশ্লেষণে টাইট্রেশনের বেলায় জানা ও অজানা ঘনমাত্রার দুটি দ্রবণের একটিকে ফানেলের মাধ্যমে ব্যুরেটের মধ্যে নেয়া হয়। তারপর স্টপ-কক এর সাহায্যে নিয়ন্ত্রণ করে প্রয়োজন অনুসারে বিভিন্ন আয়তনের দ্রবণ কনিকেল ফ্লাস্কে নিয়ে বিক্রিয়া ঘটানো হয়; (চিত্র-১.৯)। টাইট্রেশন কাজে অর্থাৎ দুটি বিকারক দ্রবণের তুল্য পরিমাণ আয়তনকে মিশানোর কাজে ব্যুরেট ব্যবহৃত হয়।



চিত্র-১.৯ : ব্যুরেট

চিত্র-১.১০ : বিভিন্ন প্রকার পিপেট।

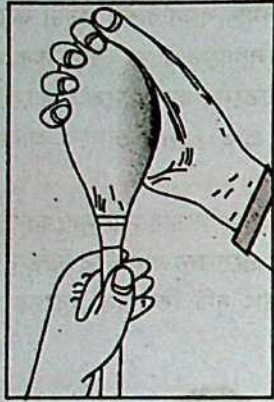
চিত্র-১.১১ : পিপেটের ব্যবহার।

(৪) **পিপেট (Pipette)** : পরিচিতি : পিপেট প্রধানত দু'প্রকার- সাধারণ পিপেট ও দাগাক্ষিত পিপেট (graduated pipette)। সাধারণ পিপেট দু'মুখ খোলা সরু একটি কাচ নল দ্বারা নির্মিত। নিচের মুখটি অপেক্ষাকৃত বেশি সরু এবং মাঝখানে মোটা বাহু থাকে (চিত্র-১.১০ (ক))। ওপরের দিকে নলের চার পাশে একটি দাগ দিয়ে পিপেটের আয়তন নির্ধারণ করা থাকে। বিভিন্ন পিপেট 0.5 mL থেকে শুরু করে 50 mL পর্যন্ত বিভিন্ন আয়তনের হয়ে থাকে।

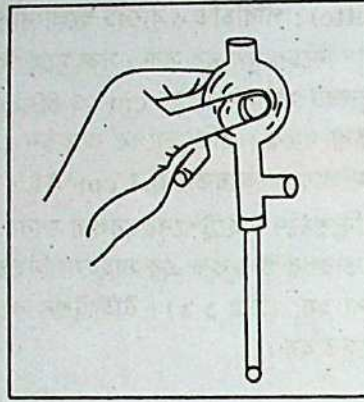
ব্যবহার : পরীক্ষাগারে একটি নির্দিষ্ট আয়তনের প্রস্তুত দ্রবণকে এক পাত্র থেকে অন্য পাত্রে নেয়ার জন্য পিপেট ব্যবহৃত হয়। পিপেটকে বাম হাতে মাঝখানে ধরে সরু মুখবিশিষ্ট প্রান্তটিকে তরল পদার্থের পাত্রে ডুবিয়ে রেখে অপর প্রান্তটি ঠোঁটে চেপে রেখে ধীরে ধীরে শোষণ টানে বা sucking করে তরলটিকে পিপেটের গোলাকার দাগের কিছু ওপর পর্যন্ত নিতে হয়। তারপর ডান হাতের বৃদ্ধাসুলির পের্ট দিয়ে পিপেটের ঐ প্রান্তটিকে চট করে চেপে ধরে এবং ধীরে ধীরে হালকা করে সতর্কতার সাথে বাতাস ঢুকালে তরলটি নিচে নামতে থাকে। যখন তরলটির নিচের তলটি (lower meniscus) গোলাকার দাগ পর্যন্ত আসে, তখন বৃদ্ধাসুলি চেপে রেখে পিপেটটিকে সরিয়ে অপর পাত্রে যেমন কনিকেল ফ্লাস্কে তরলটিকে নেয়া হয়। Sucking কাজটা মুখ দিয়ে না করে rubber sucker বা pipette filler দিয়েও করা যায়। (চিত্র-১.১২(ক) ও (খ))

সাধারণত 10 ও 25 mL আয়তনের পিপেট ব্যবহার করা হয়। পিপেটের গায়ের TD প্রতীক দ্বারা to deliver বোঝায়। কোনো কোনো পিপেটের নল দাগাক্ষিত থাকে (চিত্র-১.১০(খ))। দাগাক্ষিত পিপেট দিয়ে যে কোনো আয়তনের তরল বা প্রস্তুত দ্রবণ পরিমাপ করা যায়। তরল স্থানান্তরের সময় পিপেটে কখনো বাঁকুনি বা ফুঁ দিতে নেই। শুধু পিপেটের অগ্রভাগকে কনিকেল ফ্লাস্কে বা পরিমাপক ফ্লাস্কের গায়ে স্পর্শ করাই যথেষ্ট। (চিত্র-১.১১)





চিত্র-১.১২(ক) : Rubber sucker সহ  
পিপেটের ব্যবহার



চিত্র-১.১২(খ) : Pipette filler সহ  
পিপেটের ব্যবহার

শিক্ষার্থীর কাজ-১.৫ : তরল পদার্থের আয়তন পরিমাপভিত্তিক :

প্রশ্ন-১.৫ : তরল পদার্থ পরিমাপের জন্য পিপেট, ব্যুরেট, আয়তনিক ফ্লাস্ক, মেজারিং সিলিন্ডার প্রভৃতি ভিন্ন ভিন্ন গ্লাস সামগ্রী ব্যবহার করার উপযুক্ত কারণ কী?

প্রশ্ন-১.৬ : আয়তনিক পরিমাপে মেজারিং সিলিন্ডার ও পিপেট ব্যবহারের পার্থক্য ব্যাখ্যা কর।

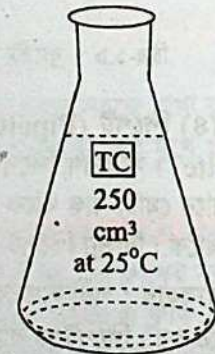
প্রশ্ন-১.৭ : গাঢ় HCl এসিড ও গাঢ় H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> এসিড পরিমাপে সাধারণ পিপেট ব্যবহৃত হয় না; মেজারিং সিলিন্ডার ব্যবহৃত হয়; এর কারণ ব্যাখ্যা কর।

## ১.৫ কনিকেল ফ্লাস্ক, ওয়াশ বোতল, ব্যুরেট, পিপেট ব্যবহারের কৌশল Techniques to use Conical flask, Wash bottle, Burette, Pipette

(১) কনিকেল ফ্লাস্ক ও এর ব্যবহার (Conical flask and its use) : ১.১৩

নং চিত্রের ন্যায় কনিকেল ফ্লাস্কের নিচের অংশ মোটা ও তলা চ্যাপ্টা থাকে; উপরের অংশ অপেক্ষাকৃত সরু থাকে। আয়তনিক বিশ্লেষণের টাইট্রেশন বিক্রিয়া কনিকেল ফ্লাস্কে ঘটানো হয়। এটা সাধারণত 250 cm<sup>3</sup> আয়তনের হয়ে থাকে। তবে প্রয়োজনবোধে ছোট-বড় বিভিন্ন আয়তনের কনিকেল ফ্লাস্ক পাওয়া যায়।

ব্যবহার : টাইট্রেশনের পূর্বে প্রথমে কনিকেল ফ্লাস্কে পিপেটের সাহায্যে একটি নির্দিষ্ট আয়তনের জানা অথবা অজানা ঘনমাত্রার দ্রবণ নিয়ে এতে প্রয়োজনমতো নির্দেশক যোগ করা হয়। এবার কনিকেল ফ্লাস্কের গলায় ডান হাতে ধরে এটিকে খাড়া ব্যুরেটের তলায় নিয়ে ব্যুরেট থেকে অপর একটি বিক্রিয়ক দ্রবণ যোগ করে কনিকেল ফ্লাস্কের মিশ্রণকে চক্রাকারে ঘুরিয়ে টাইট্রেশন করা হয়।



চিত্র-১.১৩ : কনিকেল ফ্লাস্ক।

(২) ওয়াশ বোতল (Wash bottle) : আয়তনিক বিশ্লেষণে যে সমস্ত কাচের যন্ত্রপাতি ব্যবহার করা হয় সেগুলোকে ব্যবহারের পূর্বে অতি উত্তমরূপে প্রথমে ক্রিনিং মিশ্রণ (গাঢ় সালফিউরিক এসিডে K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> এর সম্পৃক্ত দ্রবণ), পরে পানি এবং সবশেষে বিশুদ্ধ পানি দ্বারা ধৌত করা হয়। এ কাজের জন্য বিশুদ্ধ পানি ১.১৪ নং চিত্রের মতো একটি প্লাস্টিকের বোতলে নেয়া হয়। এর মুখে একটি রবার কর্ক লাগানো থাকে। রবার কর্কের একটি ফুটো দিয়ে একটি 45° কোণে বাঁকানো নল ভেতর প্রবেশ করানো থাকে। বর্তমানে প্লাস্টিক নির্মিত বিভিন্ন আকৃতির ধৌতকরণ বোতল পাওয়া যায়। এরূপ প্লাস্টিকের বোতলে পানি ভর্তি করে হাতে চাপ দিলে সরু নলের মুখ দিয়ে পানি বের হয়।

ব্যবহার : আয়তনিক ফ্লাস্কে নির্দিষ্ট আয়তনের প্রমাণ দ্রবণ তৈরি করার সময় ওয়াশ বোতল থেকে পানি যোগ করে ফানেলে লেগে থাকা রাসায়নিক বস্তুকে ধুয়ে ফ্লাস্কে নেয়া হয় এবং নির্দিষ্ট দাগ পর্যন্ত পূর্ণ করা হয়।



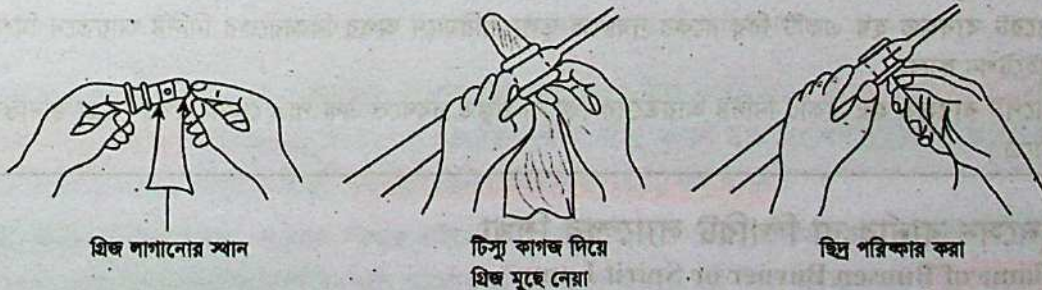
(৩) ফানেল (Funnel) : গোলাকার বড় মুখের কোণ আকৃতির কাচের ফানেলটি ক্রমে সরু মুখবিশিষ্ট হয়ে কাচ নলের সাথে যুক্ত থাকে।

ব্যবহার : আয়তনিক ফ্লাস্কে ও ব্যুরেটে তরল পদার্থ নেয়ার জন্য ফানেল ব্যবহৃত হয়। সরাসরি রাসায়নিক বস্তুর ভর পরিমাপ করে প্রমাণ দ্রবণ তৈরি করার সময় ফানেল ব্যবহার করা হয়। নিচে ফানেলের চিত্রসহ ব্যবহার দেখানো হলো।



চিত্র-১.১৪ : ফানেল, আয়তনিক ফ্লাস্ক ও ওয়াশ বোতল, এদের ব্যবহার।

(৪) ব্যুরেটের পরিষ্কার ও ব্যবহার প্রণালি (Burette Cleansing and its Use) : প্রতিবার ব্যবহারের পর ব্যুরেটকে পানি দ্বারা ধুয়ে নিতে হয়। তবে ব্যুরেট পরিষ্কার করার সর্বোত্তম পন্থা হলো ক্লিঞ্জিং মিক্সচার বা ক্রোমিক এসিড ( $K_2Cr_2O_7$  ও গাঢ়  $H_2SO_4$  এর মিশ্রণ) দ্বারা ধৌতকরণ। ক্রোমিক এসিড দ্বারা ধৌত করার পর ব্যুরেটটিকে আবার পানি দিয়ে ধুয়ে নিতে হয়। ধোয়ার পর দেখতে হয় স্টপকক ঠিক মতো ঘুরে কিনা বা এর পাশ দিয়ে লিক (leak) করে কিনা। যদি স্টপকক ঠিকমতো কাজ না করে, তবে এর উভয় পাশে সামান্য গ্রিজ লাগিয়ে নেয়া হয়; (অধিক গ্রিজ দেয়া ঠিক নয়)। গ্রাস স্টপককের ছিদ্রের ভেতর গ্রিজ ঢুকলে সরু তারের সাহায্যে নিম্নরূপে বের করে নিতে হয়।

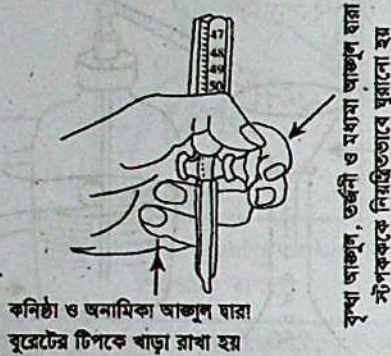


চিত্র-১.১৫ : ব্যুরেটের স্টপককে গ্রিজ লাগানোর প্রক্রিয়া।

ব্যবহার : আয়তনিক বিশ্লেষণে টাইট্রেশন কাজে ব্যুরেট ব্যবহৃত হয়। ব্যুরেটে কোনো দ্রবণ নেয়ার পূর্বে ব্যুরেটটিকে ঐ দ্রবণের কয়েক সিসি দ্বারা রিন্স (rinse) বা ধুয়ে নিতে হয়। অতঃপর ব্যুরেটের স্টপকক বন্ধ করে এর মুখে একটি ছোট ফানেলের মাধ্যমে দ্রবণ ব্যুরেটের শূন্য দাগের ওপর পর্যন্ত নিতে হয়। স্টপকক খুলে কিছু দ্রবণ ফেলে দিয়ে বায়ুর বুদবুদ মুক্ত করা হয় এবং প্রয়োজনে আরো প্রমাণ দ্রবণ ব্যুরেটে যোগ করে শূন্য দাগ পর্যন্ত দ্রবণের উপরিভাগের মিনিসকাস (meniscus) স্থির করা হয় যাতে করে অবতলের ঠিক নিচের তরলটি শূন্য দাগ বরাবর থাকে। অতঃপর দ্রবণ ভর্তি ব্যুরেটটিকে ক্ল্যাম্পের সাহায্যে একটি স্ট্যান্ডের সাথে খাড়াভাবে লাগানো হয়। চিত্র-১.১৬ (ক) মতে, বাম হাতের কনিষ্ঠা ও অনামিকা দ্বারা ব্যুরেটের টিপকে খাড়া রেখে, বৃদ্ধা আঙ্গুল, মধ্যমা ও তর্জনী দ্বারা স্টপকক ঘুরিয়ে ব্যুরেট থেকে ফোঁটায় ফোঁটায় দ্রবণ কনিকেল ফ্লাস্কে যোগ করা হয়। টাইট্রেশন শেষে 'ব্যুরেট-পাঠ' নেয়ার সময় এর ভেতরের তরলের নিম্নতর মিনিসকাস

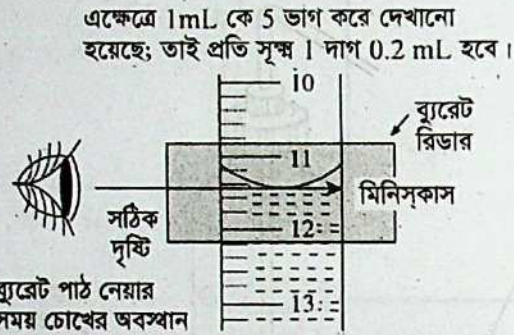


(lower meniscus), ব্যুরেটের দাগ ও চোখের দৃষ্টি রেখা একই সরলরেখায় থাকতে হয়। এক্ষেত্রে 'ব্যুরেট-পাঠ' (burette reading) হলো 11.4 mL [চিত্র-১.১৬ (খ)] আলোর প্রতিফলন ও প্যারালালক্সবশত অনেক সময় 'মিনিস্কাস' সুস্পষ্ট হয় না। এ অসুবিধা দূর করার জন্য 'ব্যুরেট রিডার' বা অ্যান্টি প্যারালাল কার্ড ব্যবহার করা হয়। ব্যুরেট থেকে দ্রবণ যোগ করার কৌশল চিত্র-১.১৬ (ক) এ দেখানো হয়েছে।



কনিষ্ঠা ও অনামিকা আঙ্গুল দ্বারা  
ব্যুরেটের টিপকে ঝাড়া রাখা হয়

চিত্র-১.১৬ (ক) : ব্যুরেটের ব্যবহারের কৌশল।



এক্ষেত্রে 1 mL কে 5 ভাগ করে দেখানো  
হয়েছে; তাই প্রতি সূক্ষ্ম 1 দাগ 0.2 mL হবে।



ব্যুরেট পাঠ নেয়ার  
সময় চোখের অবস্থান

চিত্র-১.১৬ (খ) : ব্যুরেট পাঠ নেয়ার পদ্ধতি।

(৫) পিপেটের ব্যবহার : ১.৪.৩ নং অনুচ্ছেদে চিত্র-১.১১ দ্বারা পিপেটের ব্যবহার বিধি ও কৌশল দেখানো হয়েছে।

শিক্ষার্থীর কাজ-১.৬ : কনিকেল ফ্লাস্ক ও ব্যুরেট-এর ব্যবহারভিত্তিক :

প্রশ্ন-১.৮ : পরীক্ষাগারে কনিকেল ফ্লাস্ক ব্যবহার পদ্ধতি ব্যাখ্যা কর।

প্রশ্ন-১.৯ : পরীক্ষাগারে ব্যুরেট ব্যবহার কী জন্য করা হয়, তা ব্যাখ্যা কর।

জেনে নাও :

- \* মেজারিং সিলিন্ডার ব্যবহৃত হয় নির্দিষ্ট আয়তনের গাঢ় এসিড ও পানি পরিমাপ করার কাজে।
- \* মেজারিং ফ্লাস্ক ব্যবহৃত হয় নির্দিষ্ট আয়তনের প্রমাণ দ্রবণ তৈরি করে সংরক্ষণ কাজে।
- \* ব্যুরেট ব্যবহৃত হয় একটি বিকারকের দ্রবণকে তুল্য পরিমাণে অপর বিকারকের নির্দিষ্ট আয়তনে মিশানো বা টাইট্রেশন কাজে।
- \* পিপেট ব্যবহৃত হয় একটি নির্দিষ্ট আয়তনের কোনো প্রস্তুত দ্রবণকে এক পাত্র থেকে অপর পাত্রে স্থানান্তর করার কাজে।

## ১.৬ বুনসেন বার্নার বা স্পিরিট ল্যাম্পের শিখা

### Flame of Bunsen Burner or Spirit Lamp

বিজ্ঞানী রবার্ট বুনসেন (১৮৫৫ খ্রি.) কর্তৃক আবিষ্কৃত বুনসেন বার্নারের গঠনগতভাবে তিনটি অংশ আছে। (১) বেস (base) বা নিচের অংশ : এর পার্শ্বনল দিয়ে জ্বালানি গ্যাস বার্নার টিউবে ঢোকে। (২) পার্শ্ব ছিদ্রযুক্ত বার্নার টিউব : এর নিচের দিকে থাকে বায়ুছিদ্র পথ, এ বায়ুছিদ্র বরাবর চক্রাকারে একটি খাঁজ ও বেসের সাথে সংযুক্ত করার জন্য জু করা থাকে। (৩) ছিদ্রযুক্ত বায়ু নিয়ন্ত্রক রিং (ring) : এ রিংটি বার্নার টিউবের খাঁজ বরাবর চক্রাকারে ঘুরে এর বায়ুছিদ্র ও বার্নার টিউবের বায়ুছিদ্র পথ এক করে দেয়।

(১) বুনসেন বার্নারের শিখা : বায়ুস্থিত অক্সিজেনের সাথে গ্যাসীয় জ্বালানির আংশিক বা পূর্ণ দহনের ফলে শিখা উৎপন্ন হয়। শিখা আলো ও তাপ প্রদান করে। বুনসেন বার্নারের বায়ু নিয়ন্ত্রকের দ্বারা প্রধানত দু প্রকার শিখা পাওয়া যায়। যেমন, ১. অনুজ্বল শিখা বা দীপ্তিহীন শিখা, ২. উজ্বল-শিখা বা দীপ্তিমান শিখা।

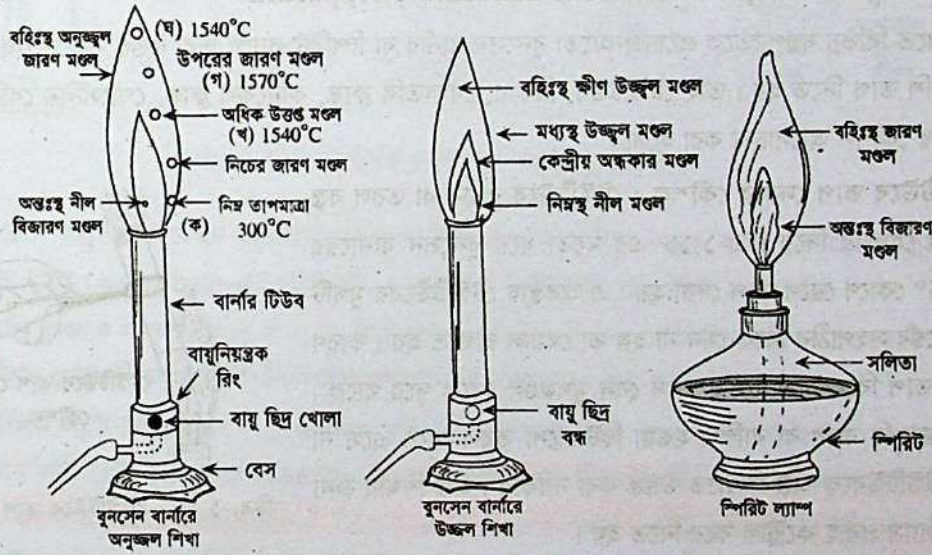


১. **অনুজ্জ্বল শিখা** : যখন বুনসেন বার্নারের বায়ু-নিয়ন্ত্রকের ছিদ্র ও বার্নার টিউবের বায়ুছিদ্র এক সাথে মিলে যায়, তখন পর্যাপ্ত বায়ু জ্বালানি গ্যাসের সাথে মিশ্রিত হয়ে পূর্ণ দহনে যে শিখা উৎপন্ন হয়, তাকে অনুজ্জ্বল শিখা বলে।

পরীক্ষাগারে বুনসেন বার্নারের অনুজ্জ্বল শিখার ব্যবহার :

এ অনুজ্জ্বল শিখায় কোনো শীষ-কালি হয় না। প্রধানত এ অনুজ্জ্বল শিখাই রসায়ন পরীক্ষাগারে ব্যবহৃত হয়। বায়ুর সাথে জ্বালানি মিশ্রিত হয়ে অগ্নির সংস্পর্শে জ্বলে ওঠে। জ্বালানি গ্যাসে কার্বন ও হাইড্রোজেন পরমাণু যুক্ত অবস্থায় থাকে, বায়ুতে অক্সিজেন থাকে। কার্বন ও হাইড্রোজেনের সাথে অক্সিজেনের রাসায়নিক সংযোগে  $CO_2$ , জলীয়বাষ্প, তাপ ও আলো উৎপন্ন হয়। এ অনুজ্জ্বল শিখার দুটি মণ্ডল বা 'জোন' আছে। যেমন,

(ক) অন্তঃস্থ নীল বিজারণ মণ্ডল ও (খ) বহিঃস্থ নীল অনুজ্জ্বল জারণ মণ্ডল।



চিত্র-১.১৭ : বুনসেন বার্নারের উজ্জ্বল ও অনুজ্জ্বল শিখা।

(ক) **অন্তঃস্থ বিজারণ মণ্ডল** : অনুজ্জ্বল শিখার ভেতরের অংশ নীল বর্ণের হয়। এতে অদৃশ্য গ্যাস-মিশ্রণ ও কার্বন মনোক্সাইড গ্যাস থাকে। এই অন্তঃস্থ শিখাংশকে বিজারণ শিখা বলে; কারণ উক্ত অংশে  $CO$  বিজারক পদার্থ থাকে বলে এই শিখা বিজারণ ক্রিয়ায় সহায়তা করে। অন্তঃস্থ বিজারণ শিখায় তাপমাত্রা কম থাকে।

(খ) **বহিঃস্থ জারণ মণ্ডল** : অনুজ্জ্বল শিখার বাইরের চারপাশের অংশই বহিঃস্থ জারণ মণ্ডল। জ্বালানি গ্যাসের পূর্ণ দহনের ফলে কোনো কার্বন গুঁড়া অবশিষ্ট থাকে না বলে আলোর প্রতিফলনের অভাবে এই শিখা অনুজ্জ্বল হয়। তাপ দেয়ার জন্য বহিঃস্থ জারণ মণ্ডল বা অঞ্চল ব্যবহৃত হয়।

**জারণ শিখা** : বুনসেন বার্নারে অনুজ্জ্বল শিখায় জ্বালানি গ্যাসের পূর্ণ দহনের পর কিছু অক্সিজেন অতিরিক্ত থাকে এবং তা বস্তুকে জারণে সাহায্য করে বলে অনুজ্জ্বল শিখার উপরের এই অংশকে জারণ-শিখাংশ বলে। এই জারণ-শিখা অংশের লবণের ক্ষারকীয় মূলক বিশ্লেষণের সময় 'শিখা' পরীক্ষায় ব্যবহৃত হয়। বহিঃস্থ জারণ শিখায় তাপমাত্রা  $1570^\circ C$  পর্যন্ত হয়ে থাকে।

২. **উজ্জ্বল-শিখা** : যখন বুনসেন বার্নারের বায়ু-নিয়ন্ত্রকের ছিদ্র ও বুনসেন টিউবের বায়ু-ছিদ্র পথ মিলে না যায় অর্থাৎ বায়ুছিদ্র বন্ধ রাখা হয়, তখন বার্নারের-টিউবের মধ্যে জ্বালানি গ্যাস ও বায়ুর মিশ্রণ ঘটে না। ফলে পর্যাপ্ত অক্সিজেনের অভাবে জ্বালানি গ্যাসের পূর্ণ দহন হতে পারে না। তাই উর্ধ্বমুখী অদৃশ্য উত্তপ্ত কার্বন গুঁড়ায় আলো প্রতিফলিত হয়ে শিখাকে উজ্জ্বল দেখায়। কিন্তু অদৃশ্য কার্বন শীষ-কালি তৈরি করে। এই কারণে পরীক্ষাগারে উজ্জ্বল শিখা ব্যবহৃত হয় না।



(২) **স্পিরিট ল্যাম্প (Spirit Lamp)**: স্পিরিট ল্যাম্প হলো সাধারণ একটি প্রদীপ। এ প্রদীপের কাচ বা ধাতব পাত্রের মুখে সলিতা যুক্ত করার ব্যবস্থা আছে। এতে “মিথিলেটেড-স্পিরিট” জ্বালানি হিসেবে ব্যবহৃত হয়। কম তাপোৎপাদী বলে বুনসেন দীপের অভাবে স্পিরিট ল্যাম্প ল্যাবরেটরিতে স্বল্প তাপের জন্য ব্যবহৃত হয়। এতে অনুজ্জ্বল শিখা উৎপন্ন হয়।

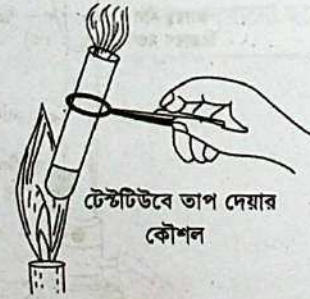
শিক্ষার্থীর কাজ-১.৭ : বুনসেন শিখাভিত্তিক : চিন্তা করে সংক্ষেপে উত্তর দাও :

প্রশ্ন-১.১০ : বুনসেন বার্নারের কোন শিখার অঞ্চলটি তাপ দেয়ার জন্য উত্তম? ঐ শিখা তৈরির কৌশল কী? এর ব্যতিক্রম ল্যাবরেটরিতে করা যায় কী না?

### ১.৬.১ ল্যাবরেটরিতে বিভিন্ন যন্ত্রপাতিকে তাপ দেয়ার কৌশল Heating Technique of different Laboratory Apparatus

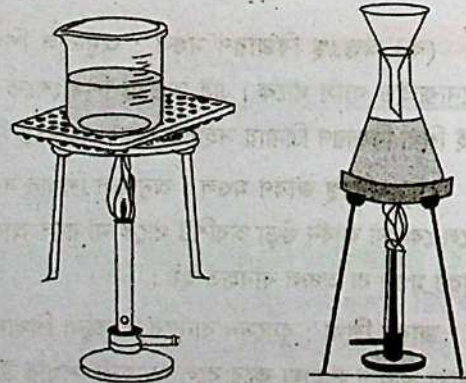
ল্যাবরেটরিতে বিভিন্ন যন্ত্রপাতিকে প্রয়োজনমতো বুনসেন বার্নার বা স্পিরিট ল্যাম্প দ্বারা উত্তপ্ত করতে হয়। এতে কখনো কম তাপ বা বেশি তাপ দিতে হয়। তাই টেস্টিউব, বিকার, গোলতলি ফ্লাস্ক, কনিকেল ফ্লাস্ক, পোর্সেলিন বেসিন বা ওয়াটার বার্থে তাপ দেয়ার কৌশল আলোচনা করা হলো।

(১) **টেস্টিউবে তাপ দেয়ার কৌশল** : টেস্টিউবে কঠিন বা তরল বস্তু নিয়ে টেস্টিউব হোল্ডার দিয়ে চিত্র-১.১৮ এর মতো ধরে বুনসেন বার্নারের শিখার ওপর  $45^\circ$  কোণে রেখে তাপ দেয়া হয়। এ অবস্থায় টেস্টিউবের মুখটি নিজের এবং পার্শ্বের সহপাঠীর দিকে যেন না হয় তা খেয়াল রাখতে হয়। কারণ কঠিন পদার্থের তাপ বিয়োজনে নির্গত গ্যাস যেন মুখমণ্ডল থেকে দূরে থাকে। আবার তরল পদার্থের বাষ্প বা বাষ্পিং হওয়া ছিটকানো তরল গায়ে এসে না পড়ে। এজন্য টেস্টিউবকে অল্প শিখাতে উত্তপ্ত করা দরকার। অল্প শিখার জন্য বুনসেন বার্নারে গ্যাস প্রবাহ কন্ট্রোল করে নিতে হয়।



চিত্র-১.১৮ : টেস্টিউবে তাপ দেয়ার কৌশল

(২) **বিকার ও কনিকেল ফ্লাস্কে তাপ দেয়ার কৌশল** : ল্যাবরেটরিতে পাইরেক্স গ্লাসের তৈরি বিকার ও কনিকেল ফ্লাস্কে তাপ দেয়ার প্রয়োজন হয় দ্রবণকে গাঢ়ীকরণে, বিক্রিয়ক মিশ্রণকে বিক্রিয়ার শর্ত মতে উত্তপ্তকরণের বেলায়। এসব ক্ষেত্রে ত্রিপদী স্ট্যান্ডের ওপর  $6'' \times 6''$  আকারের অ্যাস্বেস্টেস পেপ্টের প্রলেপযুক্ত তারজালি দিয়ে এর ওপর বিকার, কনিকেল ফ্লাস্ক রেখে ধীরে ধীরে বুনসেন বার্নার দিয়ে তাপ দেয়া হয়। কনিকেল ফ্লাস্কে দ্রবণের আয়তন ঠিক রেখে উত্তপ্ত করতে হলে কনিকেল ফ্লাস্কে ফানেল বসিয়ে দেয়া হয়।

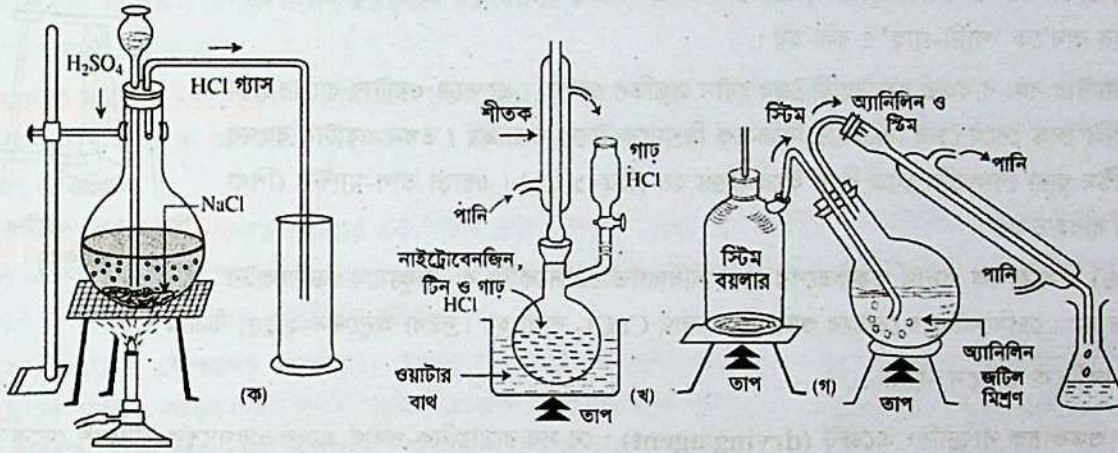


চিত্র-১.১৯ : বিকার ও কনিকেল ফ্লাস্কে তাপ দেয়ার কৌশল

(৩) **গোলতলি ফ্লাস্কে তাপ দেয়ার কৌশল** : ল্যাবরেটরিতে অজৈব ও জৈব গ্যাসীয় পদার্থ ও তরল পদার্থ তৈরিতে বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে তাপ দেয়া প্রয়োজন হলে গোলতলি ফ্লাস্ক ব্যবহৃত হয়। জৈব গ্যাসীয় ও উদ্বায়ী পদার্থ দাহ্য হওয়ায় এসব ক্ষেত্রে ব্যবহৃত গোলতলি ফ্লাস্কে সরাসরি বুনসেন শিখায় উত্তপ্ত করা বিপদজনক। তাই অবস্থাভেদে ব্যবহার অনুসারে গোলতলি ফ্লাস্কে তাপ দেয়া তিনটি পদ্ধতিতে করা হয়। যেমন,



(ক) অজৈব গ্যাস  $HCl$ ,  $SO_2$  প্রস্তুতির বেলায় ব্যবহৃত গোলতলি ফ্লাস্কটিকে অ্যাস্বেস্টস তারজালির ওপর ত্রিপদী সহকারে রেখে লোহার স্ট্যান্ডের সাথে ক্ল্যাম্প দ্বারা আটকানোর পর বুনসেন বার্নারের শিখায় তাপ দেয়া হয় চিত্র-১.২০ (ক)।

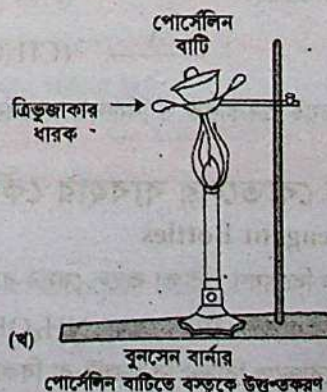


চিত্র-১.২০ : গোলতলি ফ্লাস্কে তিন পদ্ধতিতে তাপ দেয়া।

(খ) জৈব যৌগ প্রস্তুতিতে যেমন নাইট্রোবেনজিনের বিজারণে অ্যানিলিন প্রস্তুত করতে বিক্রিয়া মিশ্রণের গোলতলি ফ্লাস্কটিকে ওয়াটার বাথে (water bath-এ) রেখে প্রায়  $100^{\circ}C$ -এ উত্তপ্ত করা হয়। [চিত্র-১.২০(খ)]

(গ) গোলতলি ফ্লাস্কে সরাসরি তাপ দেয়া হয় স্টিম পাতন প্রক্রিয়ায় যেমন, অ্যানিলিন প্রস্তুতির বেলায় উৎপন্ন অ্যানিলিন জটিল যৌগের মিশ্রণ থেকে বিশুদ্ধরূপে অ্যানিলিনকে পৃথক করার উদ্দেশ্যে। চিত্র-১.২০ (গ)।

(৪) পোর্সেলিন বাটি উত্তপ্তকরণ : পোর্সেলিন বাটি সিরামিকের তৈরি এবং সাদা বর্ণের হয়। ব্যবহারের উদ্দেশ্য অনুসারে পোর্সেলিন বাটি ছোট বা বড় আকারের হয়। **বড় আকারের পোর্সেলিন বেসিন বা বাটি কোনো দ্রবণকে গাঢ়ীকরণে, অ্যাকুয়া রেজিয়া বা, রাজঅম্লে (1 mol conc.  $HNO_3$  and 3 mol conc.  $HCl$  mixture) বস্তুর দ্রবণ তৈরি করতে ব্যবহৃত হয়। ছোট আকারের পোর্সেলিন বাটি ভরভিত্তিক বিশ্লেষণে (gravimetric analysis-এ) উৎপাদ বস্তুর শুষ্ককরণে বস্তুর উচ্চ তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করার কাজে ব্যবহৃত হয়। প্রথম ক্ষেত্রে তারজালির ওপর এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে ত্রিভুজ আকৃতির পোর্সেলিন ধারকের ওপর পোর্সেলিন বাটিকে রেখে বুনসেন-বার্নার দ্বারা উত্তপ্ত করা হয়। প্রথম ক্ষেত্রে ত্রিপদী স্ট্যান্ড এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে রিং ব্যবহৃত হয়।**



**MCQ-1.4 :** রাসায়নিক পদার্থকে শুকনো রাখতে কোন্টি ব্যবহৃত হয়? [রা. বো. ২০১৫]

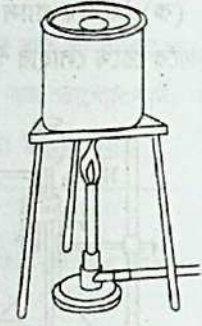
(ক) ডেসিকেটর  
(খ) ক্যালরিমিটার  
(গ) ওয়াটার বাথ  
(ঘ) বুনসেন বার্নার

চিত্র-১.২১ : (ক) পোর্সেলিন বেসিনে দ্রবণ গাঢ়ীকরণ প্রক্রিয়া। (খ) ভরভিত্তিক বিশ্লেষণে উৎপাদ বস্তুর শুষ্ককরণ।



(৫) ওয়াটার বাথে (Water bath-এ) উত্তপ্তকরণ : ওয়াটার বাথ হলো পানিকে উত্তপ্ত করার গোলাকার ধাতব পাত্র; এর মুখে ধারকরূপে বড় থেকে ছোট আকারের কয়েকটি ধাতব পাতের চাকা পরপর বসানো থাকে। এদের দ্বারা ঐ পাত্রের খোলা মুখ ছোট-বড় রাখা যায়। ওয়াটার বাথকে 'পানি-গাহ'ও বলা হয়।

ওয়াটার বাথ ব্যবহৃত হয় উদ্বায়ী জৈব যৌগ প্রস্তুতির বেলায়। এক্ষেত্রে ওয়াটার বাথের মুখে গোলতলি ফ্লাস্ক রেখে জৈব বিক্রিয়ার বিক্রিয়ক মিশ্রণকে উত্তপ্ত করা হয়। তখন ওয়াটার বাথের উত্তপ্ত স্টিম দ্বারা গোলতলি ফ্লাস্ক ধীরে ধীরে উত্তপ্ত হয় (চিত্র-১.২২)। এছাড়া তাপ-ম্যান্টল (শিখা বিহীন) ব্যবহৃত হয়।

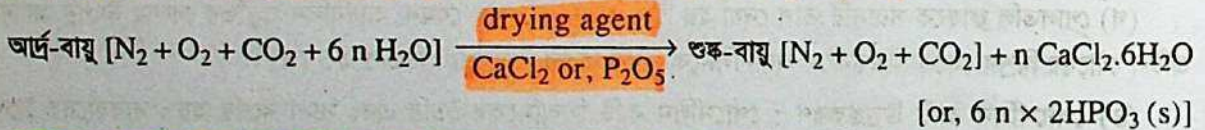


চিত্র-১.২২ : ওয়াটার বাথে উত্তপ্তকরণ।

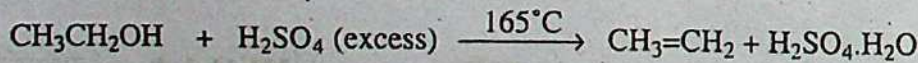
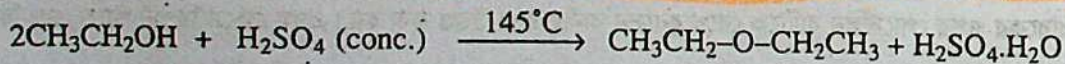
(৬) রাসায়নিক পদার্থ শুষ্ককরণের জন্য সাধারণত ডেসিকেকটর বা ভেকুয়াম ডেসিকেকটর ব্যবহৃত হয়। ডেসিকেকটরের ভেতরে শুষ্ককারক পদার্থ  $\text{CaCl}_2$  রাখা হয়। দ্রষ্টব্য অনুচ্ছেদ-২.১৫; চিত্র-২.৩০।

অধিক জেনে নাও :

\* শুষ্ককারক বা ড্রায়িং এজেন্ট (drying agent) : যে সব রাসায়নিক পদার্থ এদের চারপাশের পরিবেশ থেকে জলীয় বাষ্পকে শোষণ করে পরিবেশে থাকা গ্যাসীয় পদার্থ বা কঠিন পদার্থকে অর্দ্রতা বা জলীয়বাষ্প মুক্ত রাখে, এদেরকে শুষ্ককারক বা drying agent বলা হয়। শুষ্ককারক পদার্থকে ডেসিকেকটিং এজেন্টও বলে; কারণ এ সব শুষ্ককারক পদার্থ ডেসিকেকটর (desiccator)-এ ড্রায়িং এজেন্টরূপে ব্যবহৃত হয়। যেমন, কঠিন শুষ্ককারক হলো : অনর্দ্র  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{MgSO}_4$ , সাদা দানাদার  $\text{P}_2\text{O}_5$ , সিলিকা ( $\text{SiO}_2$ ) জেল ইত্যাদি। তরল শুষ্ককারক হলো : conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  এসিড। যেমন,



\* নিরুদক পদার্থ বা ডিহাইড্রেটিং এজেন্ট (dehydrating agent) : যে সব রাসায়নিক পদার্থ কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বিক্রিয়করূপে অপর বিক্রিয়ক পদার্থের অণুস্থিত H ও OH মূলককে পানি অণু (H-OH) রূপে মুক্ত ও শোষণ করে; ফলে নতুন পদার্থ উৎপন্ন হয়; এদেরকে নিরুদক পদার্থ বলে। (নিরুদক = নির (নির্গত) + উদক (পানি))। যেমন, কঠিন নিরুদকরূপে অ্যালুমিনা ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), অনর্দ্র  $\text{KHSO}_4$ । তরল নিরুদকরূপে conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , conc.  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ইত্যাদি। যেমন,



দ্রষ্টব্য : গাঢ়  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ও  $\text{P}_2\text{O}_5$  উভয়ই শুষ্ককারক ও নিরুদক পদার্থরূপে ক্রিয়া করে।

## ১.৭ বিকারক বা রিএজেন্ট বোতলের ব্যবহার কৌশল Technique of Use of Reagent Bottles

বিকারক বা রিএজেন্ট : রাসায়নিক বিশ্লেষণ পরীক্ষা কালে যেসব রাসায়নিক পদার্থ কঠিন অবস্থায় বা দ্রবণরূপে ব্যবহৃত হয়, তাদেরকে পরীক্ষাগার বিকারক বা রিএজেন্ট বলে। যেমন  $\text{NH}_4\text{OH}$  দ্রবণ,  $\text{AgNO}_3$  দ্রবণ, সোডিয়াম ধাতু ইত্যাদি।  
রিএজেন্ট বোতল : পরীক্ষাগারে যেসব বোতলে বিভিন্ন রিএজেন্ট বা বিকারকের দ্রবণ রাখা হয়, তাদেরকে রিএজেন্ট বোতল বলে।



(১) রি-এজেন্ট বোতল সংরক্ষণ : ল্যাবরেটরিতে বিভিন্ন তাক বা শেল্ফে প্রয়োজনীয় রাসায়নিক বিকারক বা রিএজেন্ট-এর বোতল কৰ্কযুক্ত অবস্থায় সারিবদ্ধভাবে সাজানো থাকে। বিভিন্ন মোলার ঘনমাত্রার (M) রাসায়নিক বিকারকের দ্রবণ রাখার এসব বোতলকে রিএজেন্ট বোতল বলে। সতর্কতার সাথে প্রতিটি রাসায়নিক পদার্থের রিএজেন্টকে বোতলের লেবেলে লেখা নাম পড়ে ব্যবহার করতে হবে।

**মোলার ঘনমাত্রা (M) :** কক্ষতাপমাত্রায় 1000 mL দ্রবণে দ্রবীভূত থাকা দ্রবের মোল সংখ্যাকে (n) ঐ দ্রবণে ঐ দ্রবের মোলার ঘনমাত্রা বা মোলারিটি (M) বলে। 1 লিটারে 1 মোল দ্রব দ্রবীভূত থাকলে ঐ দ্রবণকে ঐ দ্রবের এক মোলার (1M) দ্রবণ বলে।

**ডেসিমোলার দ্রবণ :** কক্ষতাপমাত্রায় এক লিটার দ্রবণে কোনো দ্রবের এক মোলের এক-দশমাংশ দ্রবীভূত থাকলে ঐ দ্রবণকে ঐ দ্রবের ডেসিমোলার (0.1M) দ্রবণ বলে। যেমন, 0.1M Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> এর এক লিটার দ্রবণে এক মোল Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> এর এক-দশমাংশ অর্থাৎ 10.6 g দ্রবীভূত থাকে।

(২) রিএজেন্ট বোতলের ব্যবহার : কোনো রিএজেন্ট বোতলের দ্রবণ নিতে ড্রপার ব্যবহার করলে তখন পৃথক পৃথক রিএজেন্ট বোতলের জন্য পৃথক ড্রপার ব্যবহার করতে হয়। একই ড্রপার দুটি রিএজেন্ট বোতলের জন্য ব্যবহার করা যাবে না। একটি রিএজেন্ট বোতলের মুখের গ্লাস স্টপার, অপর রিএজেন্ট বোতলের মুখে কখনও লাগানো যাবে না।



চিত্র-১.২৩ : টেস্টটিউবে বিকারক নেয়ার কৌশল।

আবার সরাসরি বিকারক দ্রবণ রিএজেন্ট বোতল থেকে টেস্টটিউবের দ্রবণে যোগ করার সময় গ্লাস স্টপারটির নিচের অংশ ডান হাতের অনামিকা ও মধ্যমা আঙ্গুলদ্বয়ের ফাঁকে ধরে রেখে অবশিষ্ট আঙ্গুল দ্বারা রিএজেন্ট বোতল ধরতে হয় [চিত্র-১.২৩]। গ্লাস স্টপারটিকে টেবিলে রাখা যাবে না। এরূপে রিএজেন্টকে দূষণমুক্ত রাখা সম্ভব হবে।

(৩) রিএজেন্ট বোতল থেকে দ্রবণ নেয়া শেষ হওয়া মাত্রই ঐ বোতলের মুখে স্টপার দিয়ে ভালোভাবে বন্ধ করতে হবে এবং পূর্বের জায়গায় রাখতে হবে।

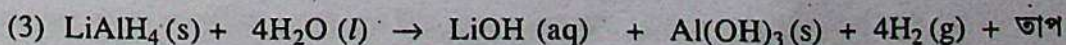
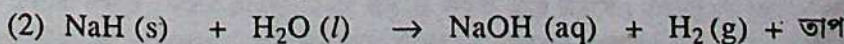
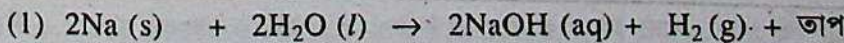
(৪) শেল্ফের একস্থান থেকে নেয়া রিএজেন্ট বোতলকে অন্যস্থানে রাখা যাবে না।

(৫) বিকারক রাখার জায়গায় অথবা নিজের পাশে রাসায়নিক পদার্থটি অসতর্কতার কারণে ছিটিয়ে পড়লে তা সাবধানে পরিষ্কার করতে হবে। তবে খালি হাতে নিশ্চয়ই নয়, হাতে গ্লাভস পরে পরিষ্কার করতে হবে।

(৬) কোনো উদ্বায়ী কঠিন বা তরল পদার্থের গন্ধ শুঁকা যাবে না। এতে শ্বাসের সাথে যৌগটির বাষ্প ফুসফুসে প্রবেশ করে বিপদ ঘটাতে পারে।

**\* (৭) বিপদজনক ক্ষয়কারী দ্রব্য যেমন গাঢ় H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub> ও ক্রোমিক এসিড, নিরুদক পদার্থ, জারক পদার্থের সংস্পর্শ থেকে তুচ্ছ, চোখ বাঁচাতে হবে। অনুরূপভাবে ক্ষয়কারী ক্ষার NaOH, KOH, NH<sub>4</sub>OH অত্যন্ত ক্ষতিকর। এদের সাবধানে ব্যবহার করতে হবে। প্রয়োজনে হাতে গ্লাভস পরতে হবে।**

**\* (৮) বিপদজনক বিজারক পদার্থ NaH, LiAlH<sub>4</sub>, Na ধাতু পানির সংস্পর্শে প্রবলভাবে তাপোৎপাদী বিক্রিয়া করে এবং উৎপন্ন H<sub>2</sub> গ্যাসে আগুন ধরে যায়। তাই অত্যন্ত সতর্কতার সাথে এদের নিয়ে কাজ করতে হবে; এদেরকে বেসিনের পানিতে ফেলা যাবে না। যেমন,**





(৯) কোনো রিএজেন্ট বোতলের মুখ অপর কোনো রিএজেন্ট বোতলে যেন লাগানো না হয়। যদি এরূপ দুটি রিএজেন্ট বোতলের মুখ বা stopper বিনিময় হয়, তবে ভেজালযুক্ত হয়ে ঐ উভয় রিএজেন্ট দ্রবণ ব্যবহার অযোগ্য হবে।

(১০) বিকারকের বোতলের গায়ে Dil. (dilute) লেখা থাকলে লঘু দ্রবণ এবং Conc. (concentrate) লেখা থাকলে গাঢ় দ্রবণ বোঝায়।

২০১৩-২০১৪ শিক্ষাবর্ষ থেকে প্রচলিত সিলেবাস মতে ল্যাবরেটরিতে প্রয়োজনীয় বিকারক ও এদের প্রস্তুতি :		
স্কার : ১। লঘু NaOH	: 200 g NaOH এর মধ্যে পানি যোগে 1L	5M
২। লঘু KOH	: 112 g KOH এর মধ্যে পানি যোগে 1L	2M
৩। লঘু NH <sub>4</sub> OH	: 350 mL গাঢ় NH <sub>4</sub> OH (14.3M) + 1000 mL পানি	5M
এসিড : ১। লঘু HCl	: 417 mL HCl (12M) + 1L পানি	5M
২। লঘু HNO <sub>3</sub>	: 125 mL গাঢ় HNO <sub>3</sub> (16M) + 1L পানি	2M
৩। লঘু H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	: 111 mL গাঢ় H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (18M) + 1L পানি	2M
৪। লঘু CH <sub>3</sub> COOH	: 85 mL গাঢ় CH <sub>3</sub> COOH (17.5M) + 300 mL পানি	5M
বিকারক : নিম্নোক্ত বিকারক দ্রবণ ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণে ব্যবহৃত হয় :		
১। পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড, K <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	37 g লবণ + 1000 mL পানি	0.1M
২। অ্যামোনিয়াম থায়োসায়ানেট, NH <sub>4</sub> CNS	38 g লবণ + 1L পানি	0.5M
৩। পটাসিয়াম ফেরিসায়ানাইড, K <sub>3</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	33 g লবণ + 1L পানি	0.1M
৪। অ্যামোনিয়াম অক্সালেট, (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	12.5 g লবণ + 1L পানি	0.25M
৫। পটাসিয়াম পাইরোঅ্যান্টিমোনেট, K <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	68 g K <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> O <sub>7</sub> .6H <sub>2</sub> O + 500 mL পানি	0.25M
৬। নেস্‌লার দ্রবণ K <sub>2</sub> [HgI <sub>4</sub> ] + KOH পটাসিয়াম টেট্রাআয়োডো মারকিউরেট (II)	HgCl <sub>2</sub> এর জলীয় দ্রবণে KI দ্রবণ যোগ করে বর্ণহীন দ্রবণ তৈরি হয় + KOH পানি	
৭। সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ	10 g AgNO <sub>3</sub> + 1L পানি	0.1M
৮। বেরিয়াম নাইট্রেট দ্রবণ	65 g Ba(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> + 1L পানি	0.25M

#### অম্ল-স্কার নির্দেশক :

- ১। লিটমাস-ব্লু : প্রায় 1 g ব্লু-লিটমাসকে 100 mL পানিতে দ্রবীভূত করা হয়।
- ২। লিটমাস-রেড : উপরিউক্ত লিটমাস-ব্লু দ্রবণকে ২-১ ফেঁটা লঘু HCl সহযোগে লাল করা হয়।
- ৩। মিথাইল অরেঞ্জ : প্রায় 0.1 g মিথাইল অরেঞ্জ গুঁড়াকে 150 mL ফুটন্ত পানিতে দ্রবীভূত করা হয়।
- ৪। ফেনলফথ্যালিন : প্রায় 1 g ফেনলফথ্যালিনকে উত্তপ্ত 100 mL মিথিলিটেড স্পিরিটে দ্রবীভূত করে এর মধ্যে পানি যোগ করে মোট 500 mL দ্রবণ করা হয়।



শিক্ষার্থীর কাজ-১.৮ : রিএজেন্ট সংরক্ষণভিত্তিক :

প্রশ্ন-১.১১ : কীভাবে বোতলের বিকারক (reagent)-কে দূষণমুক্ত রাখতে পারবে?

টিপস :

- ১। কোনো রিএজেন্ট বোতলের মুখ খোলা রাখবে না ; কারণ জলীয় বাষ্প বা বায়ুর অক্সিজেনের সাথে সহজেই বিকারকটি বিক্রিয়া করে ঘনমাত্রা হ্রাস বা অন্য পদার্থে পরিণত হতে পারে।
- ২। রি-এজেন্ট বা বিকারক বোতলের লেবেল সুস্পষ্ট না হলে বা রি-এজেন্ট বোতলে ড্রপার না থাকলে কী করতে হবে? রি-এজেন্ট বোতলের লেবেল সঠিকভাবে পড়তে অসুবিধে হলে ভুলেও অনুমান করে কখনও তা ব্যবহার করা যাবে না। তখন ল্যাবের দায়িত্ব প্রাপ্ত শিক্ষক অথবা ল্যাব সহকারীকে তা জানিয়ে নিশ্চিত হয়ে বিকারকটি ব্যবহার করতে হবে। আবার রি-এজেন্ট বোতলে ড্রপার না থাকলে, তখন নতুন ড্রপার নিতে হবে। অপর কোনো রি-এজেন্ট বোতলের ড্রপার কখনও এক্ষেত্রে ব্যবহার করা যাবে না। যদি করা হয়, তবে রি-এজেন্টটি অবিশুদ্ধ হবে। অবিশুদ্ধ বিকারক ব্যবহারে পরীক্ষণের ফলাফল ভুল হবে।

## ১.৮ রাসায়নিক দ্রব্য সংরক্ষণ ও ব্যবহারে সতর্কতা

### Storage of Chemicals and Their Careful Use

হাজার্ড প্রতীক বা সিঙ্ঘল : বিপজ্জনক রাসায়নিক দ্রব্যের বিপদ ঝুঁকি সম্বন্ধে সতর্ক করার জন্য এসব রাসায়নিক পদার্থের প্যাকেটের ওপর যেসব সুনির্দিষ্ট সতর্কীকরণ প্রতীক ব্যবহার করা হয় তাদেরকে রাসায়নিক দ্রব্যের হাজার্ড প্রতীক বা সিঙ্ঘল বলে। রাসায়নিক পদার্থের হাজার্ড সিঙ্ঘল মোট ১০টি যা আন্তর্জাতিকভাবে স্বীকৃত।

রাসায়নিক দ্রব্য উৎপাদনকারী প্রতিষ্ঠানসমূহ যেমন- BDH (British Drug House), E. Merck, Aldrich তাদের রাসায়নিক দ্রব্যের বোতলের লেবেলে এ সব সতর্কীকরণ প্রতীক সরবরাহ করে থাকে।

রাসায়নিক পদার্থ ছাড়াও বিপজ্জনক কিছু হাজার্ড সিঙ্ঘল আন্তর্জাতিকভাবে স্বীকৃত আছে; যেমন তেজস্ক্রিয় রশ্মির জন্য ও স্বাস্থ্য ঝুঁকির সংকেত।

সারাবিশ্বে ল্যাবরেটরিতে, শিল্প কারখানায়, কৃষি, চিকিৎসা প্রভৃতি ক্ষেত্রে রাসায়নিক দ্রব্যের ব্যবহার ও রাসায়নিক দ্রব্যের বাণিজ্য বেড়ে যাওয়ায় এদের সংরক্ষণ ও ব্যবহারের সতর্কতামূলক ব্যবস্থা গ্রহণ জরুরি হয়ে পড়ে। এ সংক্রান্ত একটি সার্বজনীন নিয়ম Globally Harmonised System (GHS) চালুর বিষয়ে 1992 খ্রিষ্টাব্দে জাতিসংঘের উদ্যোগে পরিবেশ ও উন্নয়ন নামে একটি সম্মেলন অনুষ্ঠিত হয়। এ সম্মেলনের উদ্দেশ্য ছিল “One chemical one label-world wide”. এবং এর প্রতিপাদ্য বিষয়সমূহ ছিল—

- (১) রাসায়নিক পদার্থকে ঝুঁকি ও ঝুঁকির মাত্রার ভিত্তিতে বিভিন্ন শ্রেণিতে ভাগ (Classification) করা;
- (২) ঝুঁকির সতর্কতা সংক্রান্ত তথ্য-উপাত্ত (Hazard data base) তৈরি করা;
- (৩) ঝুঁকি ও ঝুঁকির মাত্রা বোঝাবার জন্য সার্বজনীন সাংকেতিক চিহ্ন বা সিঙ্ঘল (Hazard symbol) নির্ধারণ করা।







২০০২ খ্রিষ্টাব্দের UN World Summit-এ পূর্বের GHS নিয়ম 2008 খ্রিষ্টাব্দের মধ্যে পৃথিবীব্যাপি কার্যকরী করার জন্য সবদেশ সম্মত হয়। কোনো রাসায়নিক দ্রব্য সরবরাহ ও সংরক্ষণ করতে হলে তার গায়ে লেবেলের সাহায্যে শ্রেণিভেদ (Classification) অনুযায়ী প্রয়োজনীয় সাংকেতিক সিঙ্ঘল দেয়া (Labelling) আবশ্যিক। এতে কার্যকারিতার ঝুঁকি মাথায় রেখে সংরক্ষণ (Packaging) ও ব্যবহার করতে পারবে। রাসায়নিক বস্তুর ঝুঁকি (Hazard) অনুসারে Classification, ঝুঁকি নির্দেশক সঠিক Hazard Symbol Labelling এবং ঝুঁকির মাত্রা অনুসারে Packaging-এ তিন নিয়মের সমন্বয়ে CLP regulation বলা হয়। যেমন-

সারণি ১.১ মতে বিপজ্জনক সিঙ্ঘলযুক্ত কোনো রাসায়নিক পদার্থ দেখে বোঝা যাবে যে, ঐ রাসায়নিক পদার্থ একটি মারাত্মক বিষাক্ত পদার্থ। তখন ব্যবহারকারী অত্যন্ত সতর্ক হয়ে উঠবে। এছাড়া ব্যবহারের পর বর্জ্য উনুক্ত পরিবেশে ফেলে দেয়া যাবে কীনা বা পরিশোধন প্রয়োজন হবে কীনা সে সম্পর্কে ধারণা নিতে পারবে। সংগৃহীত রাসায়নিক দ্রব্য কোথায়, কীভাবে সংরক্ষণ করলে রাসায়নিক দ্রব্যের মান ঠিক থাকবে এবং অনাকাঙ্ক্ষিত দুর্ঘটনা এড়ানো যাবে, সে সব ধারণাও এতে পাওয়া যাবে।





রসায়ন-১ম (হাসান)-৩(ক)





সারণি-১.১ : রাসায়নিক দ্রব্যের ঝুঁকি ও ঝুঁকির মাত্রা বোঝার জন্য নির্ধারিত সিম্বল, ঝুঁকি, ঝুঁকির মাত্রা ও সাবধানতা নিচে দেখানো হলো :

রাসায়নিক পদার্থের হাজার্ড সিম্বল	ঝুঁকি, ঝুঁকির মাত্রা, সাবধানতা ও সংরক্ষণ (Intensity of Hazards & Precautions)
১। প্রতীক : T  Toxic বিষাক্ত	<b>বিষাক্ত পদার্থ (poison) :</b> ক্যাডমিয়াম ও ক্রোমিয়াম (VI) লবণ, BaCl <sub>2</sub> , NaH, LiAlH <sub>4</sub> । নিঃস্বাসে, ত্বকে লাগলে অথবা খেলে মৃত্যু হতে পারে। সংরক্ষণ : এ ধরনের পদার্থ তালাবদ্ধ স্থানে সংরক্ষণ করা বাঞ্ছনীয়। সাবধানতা : ব্যবহারের সময় হাতে গ্লাভস, চোখে নিরাপদ চশমা ও নাকে-মুখে মাস্ক (গ্যাস হলে) ব্যবহার করা। পরীক্ষার পর পরীক্ষণ মিশ্রণের যথাযথ পরিশোধন করা দরকার। প্রতীক হলো T।
২। প্রতীক : T+  Very Toxic অত্যন্ত বিষাক্ত	<b>মারাত্মক বিষাক্ত পদার্থ :</b> এ শ্রেণির পদার্থের মধ্যে মারকারি লবণসমূহ, HCN ও সায়ানাইড যৌগসমূহ ও নিকোটিন অন্তর্ভুক্ত। নিঃস্বাসে, ত্বকের মাধ্যমে শোষিত হলে, গলাধঃকরণ করলে মৃত্যু ঘটতে পারে। এ শ্রেণির পদার্থের সংস্পর্শে ক্যান্সারসহ প্রজনন ক্ষমতা ধ্বংস হয়। সংরক্ষণ : এ ধরনের পদার্থ তালাবদ্ধ স্থানে সংরক্ষণ করতে হবে। সাবধানতা : ব্যবহারকালে হাতে গ্লাভস (দস্তানা), চোখে নিরাপদ চশমা ও নাকে-মুখে মাস্ক (গ্যাসীয় যৌগ হলে) পরতে হবে। শরীরে ত্বকের মাধ্যমে প্রবেশ করতে পারে (যেমন ক্ষতযুক্ত অবস্থা) এসব পদার্থকে এড়িয়ে চলা, পরীক্ষা কাজ শেষ করে হাত যথাযথ পরিষ্কার করা। প্রতীক হলো T+।
৩। প্রতীক : Xn  Harmful ক্ষতিকারক	<b>ক্ষতিকারক পদার্থ (harmful) :</b> যেমন- ব্লিচিং পদার্থ, Paints, floor polishes জাতীয় পদার্থ যে গুলো জৈব দ্রাবক, পেট্রোল-এ দ্রবীভূত। এছাড়া অ্যান্টিফ্রিজ ও পোকামাকড় মারার ওষুধ শ্বাস-প্রশ্বাসে দীর্ঘসময় যাবৎ গ্রহণ করলে, অথবা গিলে ফেললে মারাত্মক ক্ষতি হতে পারে। সংরক্ষণ : এ ধরনের পদার্থসমূহকে তালাবদ্ধ স্থানে সংরক্ষণ করতে হবে। সাবধানতা : এ সব রাসায়নিক পদার্থ ব্যবহারের সময় হাতে গ্লাভস, নাকে-মুখে মাস্ক ব্যবহার্য। প্রতীক হলো Xn। [এক্ষেত্রে 'n' দ্বারা noxious অর্থাৎ ক্ষতিকারক বোঝায়]
৪। প্রতীক : Xi  irritant উত্তেজক	<b>উত্তেজক পদার্থ (Irritant) :</b> যেমন- বিরঞ্জক পদার্থ, সোপ পাউডার, সিমেন্ট গুঁড়া, লঘু এসিড ও ক্ষার দ্রবণ। ত্বকের সংস্পর্শে এসব পদার্থের ঘনমাত্রা, সংস্পর্শের স্থায়িত্ব মতে ক্ষতির মাত্রা কম বেশি হয়। ত্বক, চোখ ও শ্বাসতন্ত্রে এরা ক্ষতি করে। সংরক্ষণ : এ ধরনের পদার্থকে তালাবদ্ধ স্থানে সংরক্ষণ করতে হবে। সাবধানতা : হাতে গ্লাভস, চোখে নিরাপদ চশমা, নাকে মুখে মাস্ক পরে কাজ করতে হয়। এদের প্রতীক হলো Xi। [এক্ষেত্রে 'i' দ্বারা irritant বোঝায়]
৫। প্রতীক : F  Flammable দাহ্য পদার্থ	<b>দাহ্য পদার্থ (flammable) :</b> যেমন, Na, NaH, LiAlH <sub>4</sub> , Zn-পাউডার, অ্যারোসল, পেট্রোলিয়াম ইত্যাদি। এদের সহজেই আগুন ধরতে পারে। পানিসহ বিক্রিয়ায় তাপ উৎপন্ন করে। সংরক্ষণ : এদেরকে আগুন বা তাপ থেকে দূরে রাখা; ঘর্ষণ মুক্ত রাখা। Na কে কেরোসিনে; NaH, LiAlH <sub>4</sub> কে 'inert gas' পরিবেশে সংরক্ষণ করতে হয়। প্রতীক হলো F। সাবধানতা : ব্যবহারের সময় মাস্ক, নিরাপদ চশমা ও হ্যান্ড গ্লাভস পরতে হবে।
৬। প্রতীক : F+  Extremely flammable মারাত্মক দাহ্য পদার্থ	<b>মারাত্মক দাহ্য পদার্থ :</b> যেমন, ডাই ইথাইল ইথার, LPG, CNG, অ্যাসিটিলিন গ্যাস ও অ্যারোসল মিশ্রণ ইত্যাদি নিম্ন তাপমাত্রায় ও কক্ষ তাপমাত্রায় প্রজ্বলন সান্নিধ্যে সহজে শিখাসহ জ্বলে ওঠে। সংরক্ষণ : এসব পদার্থকে অগ্নি স্কুলিঙ্গের পরিবেশ থেকে অনেক দূরে রাখতে হবে। এক্ষেত্রে ব্যবহৃত প্রতীক F+। সাবধানতা : ব্যবহারের সময় মাস্ক, নিরাপদ চশমা ও হ্যান্ড গ্লাভস পরতে হবে।



রাসায়নিক পদার্থের হাজার্ড সিম্বল	ঝুঁকি, ঝুঁকির মাত্রা, সাবধানতা ও সংরক্ষণ (Intensity of Hazards & Precautions)
৭। প্রতীক : E  Explosive বিস্ফোরক	বিস্ফোরক (explosive) : এসব দ্রব্য অস্থিত, নিজে নিজেই বিক্রিয়া করতে পারে। যেমন- জৈব পার-অক্সাইড; $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , TNT, metal azides, গান পাউডার। সংরক্ষণ : নির্জনে ও শুষ্ক জায়গায় সংরক্ষণ করা, সাবধানে নাড়াচাড়া করা, ঘর্ষণ হতে পারে এমন অবস্থা এড়িয়ে রাখা। সাবধানতা : অন্য কোনো পদার্থের সাথে মিশ্রণের সময় অতি ধীরে যুক্ত করা, ব্যবহারের সময় চোখে নিরাপদ চশমা পরা। প্রতীক হলো E।
৮। প্রতীক : N  Environmentally toxic পরিবেশ দূষক	পরিবেশের জন্য ক্ষতিকর পদার্থ : এরূপ বস্তু হলো $\text{NH}_3$ গ্যাস, $\text{Cl}_2$ গ্যাস, তারপিন তেল ও বিভিন্ন কীটনাশক, Lindane। এরা প্রাণীর জন্য ক্ষতিকর। সংরক্ষণ : গ্যাস সিলিভার আলাদা রাখতে হবে। এ ধরনের পদার্থ নদী-নালায় পানিতে মিশতে দেয়া উচিত নয়। হাজার্ড সিম্বলটিতে মরা মাছ ও মরা গাছ রয়েছে। প্রতীক হলো N। সাবধানতা : ব্যবহারের সময় মাস্ক, নিরাপদ চশমা, হ্যান্ড গ্লাভস পরতে হবে।
৯। প্রতীক : O  Oxidizing জারক	রাসায়নিক জারক পদার্থ : যেমন- ক্রোরিন গ্যাস; এটি নিঃশ্বাসে গেলে শ্বাসকষ্ট হতে পারে। কঠিন $\text{KMnO}_4$ , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ গুঁড়া, ক্ষয়কারক পদার্থ ত্বকের ক্ষয় করে, পেটে গেলে ডায়রিয়া হয়। সংরক্ষণ : গ্যাস হলে নিচ্ছিদ্রভাবে রাখা, জারণ বিক্রিয়া করতে পারে এমন পাত্র না রাখা। সাবধানতা : ব্যবহারের সময় হাতে গ্লাভস, চোখে নিরাপদ চশমা ও নাকে-মুখে মাস্ক ব্যবহার করা। সিম্বলটি বৃত্তের ওপর আগুনের শিখা। প্রতীক হলো O।
১০। প্রতীক : C  Corrosive ক্ষয়কারী	ক্ষয়কারক পদার্থ : যেমন- ব্লিচিং সল্যুশন, গাঢ় এসিড যেমন $\text{HCl}$ , $\text{HNO}_3$ , $\text{H}_2\text{SO}_4$ ও ক্ষার দ্রবণ যেমন, $\text{NaOH}$ , $\text{KOH}$ , $\text{NH}_4\text{OH}$ , ড্রেইন ক্লিনার। এসব পদার্থ ত্বকের মারাত্মক ক্ষতি ও Severe burns ঘটায়। রাসায়নিক পদার্থের গাঢ়তার ওপর ক্ষতির প্রকৃতি নির্ভর করে। চোখ ও ত্বক নষ্ট হয়। সংরক্ষণ : এসিড, ক্ষার ও অন্যান্য পদার্থ আলাদাভাবে রাখতে হবে। সাবধানতা : ব্যবহারের সময়ে নিরাপদ চশমা পরা; হাতে গ্লাভস। প্রতীক হলো C।

## বিশেষ তেজস্ক্রিয় রশ্মি ও স্বাস্থ্য ঝুঁকি হাজার্ড সিম্বল :

১১।  Trefoil তেজস্ক্রিয় রশ্মি চিহ্ন	আন্তর্জাতিক তেজস্ক্রিয় রশ্মি চিহ্নটিকে ট্রিফয়েল (trefoil)ও বলা হয়। এটি দ্বারা অতিরিক্ত ক্ষতিকর আলোক রশ্মিকে (শক্তি) বোঝানো হয়। এ ধরনের রশ্মি মানবদেহকে বিকলাঙ্গ করে দিতে পারে এবং শরীরে ক্যান্সার সৃষ্টি করতে পারে। সংরক্ষণ : রশ্মি বের হতে না পারে এরকম ধরনের পুরু বা বিশেষ পাত্র এসব রাসায়নিক দ্রব্যাদি সংরক্ষণ করা। সাবধানতা : কাজ করার সময় উপযুক্ত পোশাক পরিধান করা, চোখে বিশেষ ধরনের চশমা পরা।
১২।  স্বাস্থ্য-ঝুঁকির সংকেত	এসব পদার্থ দেহের শ্বাস-প্রশ্বাস সংক্রান্ত তন্ত্রের জন্য সংবেদনশীল, জীবাণু সংক্রমণ ঘটাতে পারে (mutagenic), ক্যান্সার সৃষ্টি (carcinogenic) করতে পারে। সংরক্ষণ : সর্বসাধারণের চলাচলের বাইরে নিরাপদ স্থানে সংরক্ষণ করা। সাবধানতা : ব্যবহারের সময় হ্যান্ড গ্লাভস, নিরাপদ চশমা ও নাকে-মুখে মাস্ক ব্যবহার করা।



\* রাসায়নিক দ্রব্য সংরক্ষণে MSDS অনুসরণ : ল্যাবরেটরিতে রাসায়নিক দ্রব্য সংরক্ষণ ও ব্যবহারের ক্ষেত্রে একটি সুবিন্যস্ত নিয়ম অনুসরণ করা গুরুত্বপূর্ণ। এক্ষেত্রে শ্রেণি শিক্ষকের ভূমিকা রয়েছে। শ্রেণি শিক্ষক রাসায়নিক দ্রব্যের প্রতিনিয়ত ব্যবহারে মাত্রা ও পরিমাণের ওপর ভিত্তি করে Material Safety Data Sheet বা MSDS তৈরি করেন। MSDS এর তালিকায় বা, ঐ রেকর্ড খাতায় প্রতিটি রাসায়নিক দ্রব্যের নাম, প্রয়োজনমতো সংকেত বা ফরমুলা, হাজার্ড প্রতীক, রাসায়নিক দ্রব্যের পরিমাণ, সংরক্ষণের তারিখ, রাসায়নিক দ্রব্যের সম্ভাব্য বিপদসমূহ লিপিবদ্ধ করতে হবে। রাসায়নিক বস্তুর তালিকা বা রেকর্ড খাতায় নাম বিন্যাসের ক্ষেত্রে ইংরেজি নামের বর্ণমালা অনুসরণ না করে রাসায়নিক বস্তুর ধর্মকে গুরুত্ব দিয়ে সাজাতে হয়। এসিড, ক্ষার, জারক পদার্থ, বিজারক পদার্থ, দাহ্য পদার্থ ইত্যাদিকে পৃথকভাবে বিন্যাস করতে হয়। মূলকথা MSDS অনুসরণ করে রাসায়নিক দ্রব্য ল্যাবরেটরিতে সংরক্ষণ করতে হবে।

কোনো বিকারক বা দ্রাবক নিয়ে কাজ করার পূর্বে বোতলের হাজার্ড প্রতীক ভালোভাবে লক্ষ করতে হবে এবং নির্দিষ্ট সতর্কতার সাথে কাজ করলে ঝুঁকি এড়ানো সম্ভব। একই দ্রব্য আবার একাধিক গুণের অধিকারী। নিচের সারণি-১.২-এ সারণিতে কতিপয় ঝুঁকিপূর্ণ রাসায়নিক দ্রব্যের হাজার্ড প্রতীক, বিপদ বা রিস্ক (risk) ও নিরাপত্তা সতর্কতা (safety) লিপিবদ্ধ করা হলো :

সারণি-১.২ : ঝুঁকিপূর্ণ রাসায়নিক দ্রব্যসমূহ সংরক্ষণে MSDS (Material Safety Data Sheet)

যোগ	হাজার্ড প্রতীক	ঝুঁকি বা বিপদ (R)	নিরাপত্তা সতর্কতা (s)
১. ইথানল $C_2H_5OH$	১. দাহ্য ও ক্ষতিকর (F+H) H = Harmful F = flammable	১. অত্যন্ত দাহ্য পদার্থ, চর্মে স্পর্শ ও শ্বাসের সাথে গ্রহণ ক্ষতিকর।	১. আগুন থেকে দূরে রাখতে হবে।
২. বেনজিন, টলুইন $C_6H_6$ , $C_6H_5CH_3$	২. দাহ্য ও ক্ষতিকর (F+H)	২. ঐ	২. আগুন থেকে দূরে রাখতে হবে।
৩. KOH, NaOH, লিকার অ্যামোনিয়া (গাঢ় $NH_4OH$ )	৩. ক্ষয়কারী (C) C = Corrosive	৩. চর্মে ক্ষতি করে	৩. গ্লাভস পরতে হবে। নিরাপদ চশমা ও অ্যাপ্রন পরতে হবে।
৪. ইথানয়িক এসিড $CH_3COOH$ ও ইথানয়িক অ্যানহাইড্রাইড $(CH_3CO)_2O$	৪. ক্ষয়কারী (C) C = Corrosive	৪. চর্মে ক্ষতি করে	৪. গ্লাভস, চশমা ও অ্যাপ্রন পরতে হবে।
৫. $H_2SO_4$ , HCl acid	৫. ক্ষয়কারী (C)	৫. চর্মে ক্ষতি করে	৫. ঐ
৬. প্রোপানোন $CH_3COCH_3$	৬. দাহ্য (F) F = Flammable	৬. আগুন ধরে	৬. তাপ ও শিখা থেকে দূরে রাখতে হবে।
৭. লিথিয়াম অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রাইড $LiAlH_4$ , NaH	৭. দাহ্য (F)	৭. আগুন ধরে	৭. ঐ
৮. অ্যাসিটোনাইট্রাইল $CH_3CN$	৮. দাহ্য ও বিষাক্ত (F+T) T = Toxic	৮. স্বাস্থ্যের ক্ষতি করে।	৮. স্পর্শ ও শ্বাসের সাথে গ্রহণ বর্জনীয়।
৯. ব্রোমিন, $Br_2$	৯. দাহ্য ও বিষাক্ত (F+T)	৯. স্বাস্থ্যের ক্ষতি করে।	৯. ঐ
১০. ট্রাইক্লোরোমিথেন বা, ক্লোরোফর্ম $CHCl_3$	১০. দাহ্য ও বিষাক্ত (F+T)	১০. স্বাস্থ্যের ক্ষতি করে।	১০. ঐ
১১. ক্লোরোফেনল $C_6H_4Cl.OH$	১১. দাহ্য ও বিষাক্ত (F+T)	১১. স্বাস্থ্যের ক্ষতি করে।	১১. ঐ
১২. নাইট্রো অ্যানিলিন	১২. দাহ্য ও বিষাক্ত (F+T)	১২. স্বাস্থ্যের ক্ষতি করে।	১২. ঐ
১৩. আর্সেনিক অক্সাইড	১৩. ক্ষয়কারী ও বিষাক্ত (C+T)	১৩. স্বাস্থ্যের ক্ষতি করে।	১৩. ঐ



**ক্ষয়কারী পদার্থের সংজ্ঞা :** যে সব রাসায়নিক পদার্থ দেহের ত্বকের জীবন্ত কোষকে ধ্বংস করে ত্বকে ক্ষত বা ত্বকের ক্ষয় সাধন করে, তাদেরকে ক্ষয়কারী রাসায়নিক পদার্থ বলে। সবল ক্ষার (গাঢ় NaOH, গাঢ় KOH) ও সবল এসিডসমূহ (গাঢ় HCl, গাঢ় HNO<sub>3</sub>, গাঢ় H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, গাঢ় CH<sub>3</sub>COOH) ক্ষয়কারী পদার্থ।

এ সব ক্ষয়কারী পদার্থ ত্বক ছাড়াও কাঠের ক্ষয় সাধন করে থাকে। গাঢ় এসিডের বোতল কাঠের ক্ষয় সাধন করে থাকে। তাই কাঠের আলমারির কাঠের তক্তার ওপর গাঢ় এসিডের বোতল রাখা যায় না। এ সব ক্ষয়কারী রাসায়নিক পদার্থের বোতলকে ক্ষয়রোধী কাচের বা প্লাস্টিকের তৈরি স্ল্যাব (slab) এর ওপর করে আলমারির নিচের তাকে অথবা ক্ষয়রোধী কনক্রিটের তৈরি ফ্লোরে রাখতে হবে।

অধিক জেনে নাও :

\* গাঢ় H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> এসিডকে কাঠের আলমারির কাঠের তক্তার ওপর রাখলে ঐ কাঠ পুড়ে কালো হয়ে যায় কেন?

সমাধান : গাঢ় H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> হলো পানি-শোষণকারী পদার্থ। কাঠ হলো কার্বোহাইড্রেট শ্রেণিভুক্ত সেলুলোজ পলিমার যৌগ। কোনোভাবে গাঢ় H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> এসিড কাঠের সংস্পর্শে আসলে তখন H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> সেলুলোজ পলিমার থেকে এর -OH মূলক ও H পরমাণু সমন্বয়ে H<sub>2</sub>O অণু গঠন ও শোষণ করে থাকে। তখন সেলুলোজ কার্বন গুঁড়ায় পরিণত হয়। এরূপে কাঠ পুড়ে কালো কার্বনে পরিণত হয়।



### ১.৮.১ রাসায়নিক দ্রব্য সংরক্ষণের সাধারণ নিয়মাবলি

#### General Guidelines for Some Chemicals Storage

ল্যাবরেটরিতে রাসায়নিক দ্রব্য সংরক্ষণের নিম্নোক্ত নীতিমালা সার্বজনীনভাবে অনুসৃত হয়।

- রাসায়নিক পদার্থসমূহের পাত্রসমূহ যথাযথভাবে স্থায়ীভাবে যুক্ত লেবেল দ্বারা চিহ্নিত থাকতে হবে। এতে রাসায়নিকের পূর্ণ নাম এবং সংশ্লিষ্ট ঝুঁকি সম্পর্কে লেখা থাকতে হবে।
- আদ্যাক্ষরের অনুক্রম হিসেবে রাসায়নিক পদার্থ সংরক্ষণ বাঞ্ছনীয় নয়। এর ফলে পরস্পর অসংগতিসম্পন্ন রাসায়নিক পদার্থের অবস্থান পাশাপাশি হয়ে যেতে পারে, অথবা বৃহদাকার পাত্রগুলো শেলফের উপরের তাকে সংরক্ষিত হয়ে যেতে পারে। সংরক্ষণ বিন্যাস করতে হবে ঝুঁকির শ্রেণি হিসেবে এবং বৃহদাকার পাত্রগুলো যেন শেলফের নিচে অবস্থান পায়।

রাসায়নিক দ্রব্য সংরক্ষণের বেলায়, দ্রব্যের মধ্যে সংগতি রক্ষার জন্য সব সময় 'বস্তু নিরাপত্তা ডাটা শিট' (Material Safety Data Sheet) বা MSDS অনুসারে নির্দেশনা মেনে চলতে হবে। এ MSDS-এ বিভিন্ন রাসায়নিক বস্তুর নাম, এদের সতর্ক ব্যবহার, সম্ভাব্য ঝুঁকি ও নিরাপত্তা সতর্কতা উল্লেখ থাকে; [সারণি-১.২]

- 1 লিটারের অধিক দাহ্য দ্রাবকের পাত্রগুলোকে যথাযথ সংরক্ষণ ক্যাবিনেটে রাখতে হবে। দাহ্য এবং জারক পদার্থগুলোকে পৃথকভাবে সংরক্ষণ করতে হবে।
- অদাহ্য এবং বিকারকের পাত্রগুলো পৃথক ক্যাবিনেটে অথবা এজন্য নির্মিত শেলফে সংরক্ষণ করতে হবে। তীব্র এসিড এবং ক্ষারকে পৃথকভাবে শেলফের নিচের তাকে সংরক্ষণ করতে হবে।
- ওপরের শেলফের রাসায়নিক পদার্থের সংরক্ষণ ও ব্যবহারে যথোপযুক্ত মই ব্যবহার করতে হবে।
- মেঝেতে কাচের পাত্রে সংরক্ষিত রাসায়নিক পদার্থকে রাখা কোনোভাবেই উচিত নয়।
- বেঞ্চের ওপরে অথবা ফিউম হুডে রাসায়নিক দ্রব্য রাখা বাঞ্ছনীয় নয়।
- উচ্চ বিষাক্ত পদার্থকে বিশেষভাবে নির্মিত বিষ ক্যাবিনেটে তালাবদ্ধ অবস্থায় সংরক্ষণ করতে হবে।
- রাসায়নিক পদার্থ সংরক্ষণের স্থানে কোনো ধরনের অসংগতিপূর্ণ পরিবেশ সৃষ্টির প্রতি (গন্ধ, তাপোৎপাদন, মেঝেতে তরল পদার্থের নির্গমন) সজাগ দৃষ্টি রাখতে হবে।
- বিস্ফোরক নিরোধক রেফ্রিজারেটরে রক্ষিত রাসায়নিক পদার্থগুলোকে যথাযথভাবে লেবেল দিয়ে রাখতে হবে।
- যেসব গ্যাস সিলিন্ডার ব্যবহৃত হচ্ছে, কেবলমাত্র সেগুলোকে শেকলবন্ধী করে যথাস্থানে রাখতে হবে। খালি বা অব্যবহৃত সিলিন্ডারগুলোকে গ্যাস সিলিন্ডার সংরক্ষণাগারে পাঠিয়ে দিতে হবে।
- তাপ এবং প্রত্যক্ষ সূর্যালোকের প্রভাব থেকে দাহ্য তরল পদার্থসমূহকে সংরক্ষণ করতে হবে।



কলেজ কেমিস্ট্রি ল্যাবরেটরিতে সাধারণত নিম্নোক্ত রাসায়নিক দ্রব্য ব্যবহৃত হয়। বহুল ব্যবহৃত এ সব রাসায়নিক দ্রব্যের হাজার্ড সিঙ্ঘল মূল্যায়ন করে তাদের 'সংরক্ষণ পদ্ধতি' এবং 'ঝুঁকি ও সতর্কতা বিধি' হলো নিম্নরূপ :

**(১) এসিড (Acids) :** ল্যাবরেটরিতে ব্যবহৃত এসিডসমূহ হলো গাঢ় HCl এসিড, গাঢ় H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> এসিড, গাঢ় HNO<sub>3</sub> এসিড, গাঢ় ফসফরিক এসিড (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), গাঢ় অ্যাসিটিক এসিড (CH<sub>3</sub>COOH) ও ক্রোমিক এসিড মিশ্রণ (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> + গাঢ় H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ইত্যাদি।

\* হাজার্ড সিঙ্ঘল : প্রত্যেক গাঢ় এসিড কমবেশি দেহত্বক ও কাঠের ক্ষয়কারক এবং এদের জলীয় দ্রবণ পরিবেশের পানি ও মাটির pH মান দ্রুত হ্রাস করে (pH < 2.5) থাকে। তাই গাঢ় এসিডের হাজার্ড সিঙ্ঘলরূপে-(i) ক্ষয়কারক (Corrosive), প্রতীক 'C' ও (ii) পরিবেশ দূষক (Environmentally toxic), প্রতীক 'N' ব্যবহৃত হয়।

\* সংরক্ষণ পদ্ধতি : (i) গাঢ় HCl, গাঢ় H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, গাঢ় HNO<sub>3</sub> ইত্যাদিকে ল্যাবরেটরির নিচের শেল্ফে এসিডরোধী স্ল্যাব (slab) এর ওপর অথবা এসিড ক্যাবিনেটে অথবা ক্ষয়রোধী concrete floor-এ শুষ্ক ও ঠাণ্ডা জায়গায় সংরক্ষণ করতে হবে। প্রথমে সূর্যালোক অথবা উত্তপ্ত পরিবেশ থেকে ঐ স্থান মুক্ত থাকবে।

(ii) এসিড সংরক্ষণ স্থানে ক্ষারজাতীয় বস্তু, সক্রিয় ধাতু Na, K ইত্যাদি, ধাতব হাইড্রাইড NaH, LiAlH<sub>4</sub>, K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] ইত্যাদি বিজারক পদার্থ এবং KMnO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> ইত্যাদি শক্তিশালী জারক পদার্থকে সংরক্ষণ করা যাবে না।

\* স্বাস্থ্য ঝুঁকি ও নিরাপত্তা সতর্কতা : তরল গাঢ় এসিড যেমন গাঢ় H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, গাঢ় HCl, গাঢ় HNO<sub>3</sub> ইত্যাদির বোতলের মুখ খোলার সময় অসতর্কভাবে বা, ফিউম হুড ব্যবহার না করায় এ সব ক্ষয়কারক এসিডের বাষ্প চোখ ও মুখের সংস্পর্শে আসলে এবং শ্বাসের মাধ্যমে ফুসফুসে প্রবেশ করলে, তখন চোখ বিনষ্ট হয়, মুখ ও শ্বাস নালিতে acid-burn জনিত ফোকা, প্রদাহ ও ক্ষত হয়ে থাকে।

নিরাপত্তা সতর্কতা বিধি অনুসারে গাঢ় এসিডের বোতলের মুখ খোলার সময় ফিউম হুড (Fume hood, চিত্র-১.২৯) ব্যবহার করতে হবে। তখন অ্যাপ্রন পরাসহ মুখে মাস্ক, চোখে নিরাপদ চশমা ও হ্যান্ড গ্লাভস পরতে হবে।

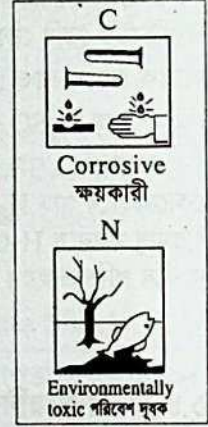
**(২) ক্ষার (Alkalies) :** ল্যাবরেটরিতে শক্তিশালী ক্ষার বা অ্যালকালি যেমন NaOH পিলেট, KOH পিলেট, গাঢ় NH<sub>4</sub>OH বা, লিকার অ্যামোনিয়া, Ca(OH)<sub>2</sub> ইত্যাদি ব্যবহৃত হয়।

\* হাজার্ড সিঙ্ঘল : প্রত্যেক শক্তিশালী ক্ষার কমবেশি ক্ষয়কারক এবং এদের জলীয় দ্রবণ পরিবেশের পানি ও মাটির pH মান দ্রুত বৃদ্ধি করে [pH > 10]। তাই শক্তিশালী ক্ষারসমূহের হাজার্ড সিঙ্ঘলরূপে-(i) ক্ষয়কারক (Corrosive), প্রতীক 'C' ও (ii) পরিবেশ দূষক (Environmentally toxic), প্রতীক 'N' ব্যবহৃত হয়।

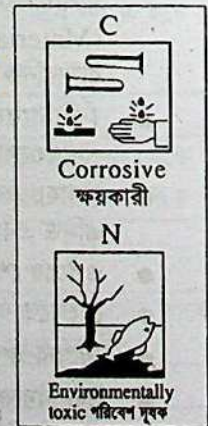
\* সংরক্ষণ পদ্ধতি : (i) কঠিন NaOH, KOH ও Ca(OH)<sub>2</sub> এবং তরল লিকার NH<sub>3</sub> ইত্যাদিকে ল্যাবরেটরির নিচের শেল্ফে ক্ষয়রোধী স্ল্যাব (slab) এর ওপর অথবা ক্ষার ক্যাবিনেটে অথবা ক্ষয়রোধী concrete floor এ শুষ্ক ও ঠাণ্ডা জায়গায় সংরক্ষণ করতে হবে। (ii) এসব ক্ষার বস্তুর সংরক্ষণ স্থানে এসিড জাতীয় বস্তু রাখা যাবে না। (iii) দ্বিতীয়ত NaOH, KOH বোতলের পাশে Zn, Al, Sn, Pb প্রভৃতি ধাতু রাখা যাবে না; কারণ এসব ধাতু NaOH ও KOH এর সংস্পর্শে প্রবল বিক্রিয়ায় explosive বা বিস্ফোরণমুখী H<sub>2</sub> গ্যাস তৈরি করতে পারে। এসব ক্ষারের সংস্পর্শে অ্যামোনিয়াম লবণ যেমন NH<sub>4</sub>Cl রাখা যাবে না; কারণ উভয়ের বিক্রিয়ায় বিস্ফোরণমুখী NH<sub>3</sub> গ্যাস তৈরি হয়ে আগুন ধরে যেতে পারে।

\* স্বাস্থ্য ঝুঁকি ও নিরাপত্তা সতর্কতা : গাঢ় NH<sub>4</sub>OH বা, লিকার অ্যামোনিয়ার বোতলের মুখ খোলার সময় অসতর্কভাবে অথবা ফিউম হুড ব্যবহার না করায় তীব্র ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত NH<sub>3</sub> গ্যাস শ্বাসের সাথে দেহে প্রবেশ করলে তখন মারাত্মক শ্বাসকষ্ট, গলা ও শ্বাসনালিতে প্রদাহ সৃষ্টি হয়। তখন চোখে জ্বালাপোড়া ও মুহূর্তের মধ্যে চোখ রক্তবর্ণ হয়।

আবার NaOH ও KOH এর পিলেট ত্বকের সংস্পর্শে ত্বকে ঝালাপোড়াসহ চুলকানি, ব্যথাসহ লালচে ভাব, ফোকাসহ মারাত্মক ক্ষত হতে পারে। চোখের ক্ষেত্রে NaOH ও KOH সংস্পর্শ ঘটলে চোখের সমূহ ক্ষতি বা চোখ নষ্ট হতে পারে। Ca(OH)<sub>2</sub> এর চোখের সংস্পর্শে চোখ নষ্ট হয়। কোনোভাবে এদের গলাধকরণ হলে মৃত্যু ভয় থাকে।



হাজার্ড সিঙ্ঘল



হাজার্ড সিঙ্ঘল



নিরাপত্তা সতর্কতা বিধি অনুসারে, লিকার অ্যামোনিয়ার বেলায় ফিউম হুড ব্যবহারসহ NaOH, KOH ও Ca(OH)<sub>2</sub> এর ব্যবহারের সময় প্রতি ক্ষেত্রে মাস্ক, নিরাপদ চশমা ও গ্লাভস ব্যবহার করতে হবে।

(৩) পানি-সক্রিয় বিজারক (Reductants) : পানির সংস্পর্শে প্রবলভাবে তাপোৎপাদী বিক্রিয়াসহকারে H<sub>2</sub> গ্যাস তৈরি করে বিজারকসমূহ হলো Na ধাতু, ধাতব হাইড্রাইড যেমন NaH, LiAlH<sub>4</sub>, NaBH<sub>4</sub> ইত্যাদি।

\* হাজার্ড সিঙ্কল : এসব তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায় উৎপন্ন H<sub>2</sub> গ্যাস বিস্ফোরণসহ জ্বলে উঠে; গায়ে লাগলে দেহে আগুনে দগ্ধ হওয়া এবং খেলে মৃত্যু হতে পারে। তাই এসব পানি সক্রিয় ধাতু ও এদের হাইড্রাইডের হাজার্ড সিঙ্কলরূপে— (i) দাহ্য পদার্থ (Flammable), প্রতীক 'F' ও (ii) বিষাক্ত পদার্থ (Toxic), প্রতীক 'T' ব্যবহৃত হয়।

\* সংরক্ষণ পদ্ধতি : (i) এ সব দাহ্য পদার্থের মধ্যে Na কে কেরোসিনে ও NaH, LiAlH<sub>4</sub>, NaBH<sub>4</sub> কে নিষ্ক্রিয় পরিবেশে যেমন, N<sub>2</sub> গ্যাসে, আর্গন গ্যাসে, শুষ্ক স্থানে এবং তাপ ও আগুন থেকে দূরে সংরক্ষণ করতে হবে। (ii) এ সব বিপদজনক বিষাক্ত পদার্থকে তালাবদ্ধ করে রাখতে হবে।

\* স্বাস্থ্য ঝুঁকি ও নিরাপত্তা সতর্কতা : পানি-সক্রিয় রাসায়নিক পদার্থসমূহ পানির সংস্পর্শে তাপ উৎপন্নসহকারে দাহ্য পদার্থ H<sub>2</sub> গ্যাস তৈরি করে। তাই ব্যবহারকালে স্বাস্থ্যঝুঁকি খেয়াল রেখে অত্যন্ত সতর্কতা অবলম্বন করতে হবে।

এক্ষেত্রে নিরাপদ Screen ব্যবহারসহ মাস্ক, নিরাপদ চশমা ও গ্লাভস অবশ্যই ব্যবহার করতে হয়।

উল্লেখ্য সাধারণ বিজারক যেমন অক্সালিক এসিড (H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) হলো Corrosive; FeSO<sub>4</sub>, KI, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ইত্যাদি ব্যবহারে হ্যান্ড গ্লাভস পরতে হবে।

(৪) জারক পদার্থ (Oxidants) : কেমিস্ট্রি ল্যাবরেটরিতে কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় তিন শ্রেণির জারক পদার্থ ব্যবহৃত হয়। কঠিন জারক পদার্থের মধ্যে KMnO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, FeCl<sub>3</sub>, CuSO<sub>4</sub>, নাইট্রেট লবণ, হাইপোক্লোরাইট লবণ, আয়োডিন, পটাসিয়াম ফেরিসায়ানাইড K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>] রয়েছে। তরল জারকরূপে H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> দ্রবণ, Br<sub>2</sub> দ্রবণ উল্লেখযোগ্য। গ্যাসীয় জারক হলো Cl<sub>2</sub> গ্যাস।

\* হাজার্ড সিঙ্কল : জারক পদার্থসমূহ সাধারণত জায়মান অক্সিজেন [O] সরবরাহ করে প্রবল বিক্রিয়া ঘটতে পারে। তখন শিখাসহ দহন বিক্রিয়া ঘটে। তাই জারক পদার্থের হাজার্ড সিঙ্কল হলো— (i) বৃত্তের ওপর আগুনের শিখা এবং প্রতীক হলো ['O']। শক্তিশালী জারক যেমন KMnO<sub>4</sub> ও K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> পানিতে জলজ প্রাণীর জন্য বিপদজনক পরিবেশ সৃষ্টি করে। তাই, (ii) পরিবেশ দূষক সিঙ্কলও জারক পদার্থের ক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয়। এটির প্রতীক হলো 'N'।

\* সংরক্ষণ পদ্ধতি : গ্যাসীয় জারক পদার্থকে নিষ্ক্রিয়ভাবে সিলিন্ডারে রাখা; কঠিন ও তরল জারক পদার্থকে দাহ্য জৈব দ্রাবক থেকে পৃথকভাবে, বিজারক পদার্থসমূহ থেকে আলাদা স্থানে শুষ্ক ও ঠাণ্ডা স্থানে সংরক্ষণ করতে হবে।

\* স্বাস্থ্য ঝুঁকি ও নিরাপত্তা সতর্কতা : এ সব জারক পদার্থ দেহ-ত্বকের সংস্পর্শে ত্বকের ক্ষয় ও ক্ষত সৃষ্টি; চোখের সংস্পর্শে চোখকে বিনষ্ট করতে পারে। তাই নিরাপত্তা সতর্কতা বিধি অনুসারে এক্ষেত্রে প্রয়োজনমতো মাস্ক, নিরাপদ চশমা ও হ্যান্ড গ্লাভস ব্যবহার করতে হবে।

### ১.৮.২ রাসায়নিক দ্রব্য ব্যবহারে সতর্কতা

#### Cautious use of Chemicals

ল্যাবরেটরিতে কাজ করার সময় শিক্ষক, গবেষক, ল্যাব-কর্মকর্তা কর্মচারীদের প্রতিনিয়তই রাসায়নিক দ্রব্যের সংস্পর্শে আসতে হয়। রাসায়নিক দ্রব্যের অসতর্কতামূলক ব্যবহারে দুর্ঘটনা ঘটতে পারে। তাই, সংশ্লিষ্ট সবাইকে রাসায়নিক দ্রব্য ব্যবহারে সতর্কতামূলক ব্যবস্থা গ্রহণ করা উচিত। রসায়নাগারে রাসায়নিক দ্রব্য ব্যবহারে সাধারণভাবে অনুসৃত নীতিমালা নিম্নরূপ :

- কোনো রাসায়নিক দ্রব্য হাত দিয়ে স্পর্শ করা, গন্ধ নেয়া কিংবা স্বাদ গ্রহণ করা যাবে না।
- ল্যাবরেটরিতে রাসায়নিক দ্রব্য নিয়ে কাজ করার সময় হাত না ধুয়ে, ময়লা হাতে চোখ, মুখ কিংবা ঠোঁট স্পর্শ করা ঠিক নয়।



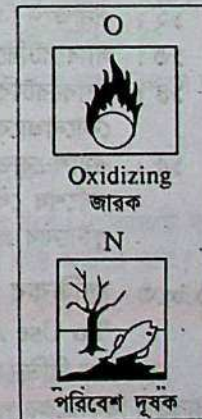
Flammable  
দাহ্য পদার্থ

T



Toxic  
বিষাক্ত

হাজার্ড সিঙ্কল



Oxidizing  
জারক

N



পরিবেশ দূষক

হাজার্ড সিঙ্কল



- ৩। রাসায়নিক পদার্থকে দেহ থেকে কিছুটা দূরে রেখে কাজ করতে হবে। ব্যবহারের আগে বোতল বা পাত্রের গায়ে প্রদত্ত লেবেল দেখে রাসায়নিক দ্রব্যের সঠিক ঘনমাত্রা ও পরিমাণ ব্যবহার করতে হবে।
- ৪। শিক্ষার্থীর নিজস্ব স্প্যাচুলা দিয়ে বোতল থেকে কঠিন রাসায়নিক পদার্থ অপসারণ করা যাবে না। এজন্য অত্যন্ত বিশুদ্ধ বিকারকের জন্য বিশেষভাবে ব্যবহৃত স্প্যাচুলা ব্যবহার করা উচিত।
- ৫। অব্যবহৃত বিশুদ্ধ রাসায়নিক পদার্থ কোনোমতেই মূল পাত্রে ফেরত রাখা যাবে না। যথাযথ 'বর্জ্য পাত্রে' অব্যবহৃত রাসায়নিক দ্রব্য ফেলতে হবে।
- ৬। ব্যবহৃত রাসায়নিক পদার্থের অপব্যবহার হলো অপচয় এবং পরিবেশের জন্য ক্ষতিকর। সুতরাং প্রয়োজনের বেশি রাসায়নিক দ্রব্য ব্যবহার করা যাবে না।
- ৭। নির্দিষ্ট বিকারক বোতলগুলোকে নির্দিষ্ট ডেস্কে রাখতে হবে। এদেরকে নিজস্ব ডেস্কে নিয়ে যাওয়া বাঞ্ছনীয় নয়।
- ৮। বিকারক বোতলকে গলায় না ধরে মাঝখানে ধরতে হবে। বিকারক দ্রবণ নেয়ার সময় বিকারক যাতে বোতলের গা বেয়ে গড়িয়ে না পড়ে সেদিকে নজর রাখতে হবে।
- \*৯। ক্ষয়কারী গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিডকে লঘু করতে হলে 'পানিতে ধীরে ধীরে গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিড যোগ' করতে হবে। কখনো গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিডে সরাসরি পানি যোগ করা যাবে না। কারণ গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিড হলো তাপোৎপাদী পানি-শোষণকারী পদার্থ (hygroscopic)। তাই গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিডে পানি পড়ার সাথে সাথে প্রচুর তাপ উৎপন্ন হওয়ার ফলে পানি-বাষ্পসহ গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিড চারদিকে ছিটকে গায়ে এসে পড়ে। অপরদিকে পানিতে ধীরে ধীরে গাঢ়  $H_2SO_4$  যোগ করলে উৎপন্ন তাপ অধিক পানি দ্বারা শোষিত হয়। তখন এসিড ছিটকে পড়ে না; বিপদ বা দুর্ঘটনা ঘটে না। একই সাথে তাপের উদ্দীর্ণজনিত সমস্যা পরিহার করতে দ্রবণকে আলোড়ন করতে হবে।
- ১০। মুখ দিয়ে পিপেটের মাধ্যমে তরল রাসায়নিক স্থানান্তর গ্রহণযোগ্য নয়। সব সময় রবারের পিপেট ফিলার ব্যবহার করতে হবে; যদি তা ল্যাবরেটরিতে পাওয়া যায়।
- ১১। লেবেলকৃত পাত্রে রাসায়নিক দ্রব্য সংরক্ষণ করতে হবে। এজন্য অমোচনীয় মার্কার ব্যবহার করতে হবে। পুনর্ব্যবহারের ক্ষেত্রে সামান্য অ্যাসিটোন দিয়ে মার্কারে লেখা ধৌত করা যাবে।
- ১২। পরীক্ষণে বিষাক্ত গ্যাস উদ্দীর্ণের সম্ভাবনা থাকলে সেটি ফিউম হুডে সম্পন্ন করতে হবে।
- ১৩। ল্যাবরেটরিতে দাহ্য তরল নিয়ে কাজ করার সময় নিকটে উন্মুক্ত শিখা রাখা যাবে না।
- ১৪। ল্যাবরেটরিতে ব্যবহৃত অ্যালকোহলকে রাসায়নিকভাবে পানের অযোগ্য (denatured) করা হয়। এটা কোনোভাবেই পান করা যাবে না।
- ১৫। ওয়াশ বোতলকে কেবলমাত্র পানিত পানি দ্বারা পূর্ণ করতে হবে। শুধু প্রমাণ দ্রবণ তৈরির সময় অথবা কাচ সামগ্রীর সর্বশেষ ধৌত করার সময় এ পানি ব্যবহার করা বাঞ্ছনীয়। পানিগাহে বা Water bath অথবা বিকারে পানি ফুটানোর জন্য এ পানি ব্যবহার করা উচিত নয়।

### ১.৮.৩ ক্ষতিকর বিষাক্ত বিকারকের পরিবর্তে বিকল্প উপাদান ব্যবহার

#### To Use Alternate Chemicals for Poisonous Reagents

বর্তমানে বিভিন্ন আধুনিক ল্যাবরেটরিতে সেমিআইজো বিশ্লেষণ পদ্ধতি পরিবেশবান্ধব হিসেবে ব্যবহৃত হয়। এ পদ্ধতিতে ব্যবহৃত বিকারকের পরিমাণ খুবই কম থাকে। তাই এসব বর্জ্য বিকারক পানি বা মাটির পরিবেশের বিশেষ ক্ষতি করতে পারে না। এ পদ্ধতিতে বিক্রিয়কের ক্ষেত্রে স্বল্প পরিমাণের ব্যবহার নিশ্চিত করা হয়। এ ছাড়া বিষাক্ত বিকারকের ব্যবহারের পরিবর্তে এদের বিকল্প উপাদান ব্যবহার করা যায়। এক্ষেত্রে বিক্রিয়ার ফলাফলে বিরূপ প্রভাব সৃষ্টি করে না এবং বর্জ্যের পরিমাণও হ্রাস পায়। যেমন—

পরিবেশের ক্ষতিকর বিষাক্ত বিকারক	বিকল্প বিকারক বা উপাদান
১। ক্লোরোফর্ম ( $CHCl_3$ )	১। হেক্সেন ( $C_6H_{14}$ )
২। কার্বন টেট্রাক্লোরাইড ( $CCl_4$ )	২। হেক্সেন ( $C_6H_{14}$ )
৩। বেনজিন ( $C_6H_6$ )	৩। টলুইন ( $C_6H_5-CH_3$ )
৪। জাইলিন [ $C_6H_4(CH_3)_2$ ]	৪। টলুইন ( $C_6H_5-CH_3$ )



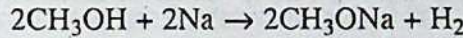
পরিবেশের ক্ষতিকর বিষাক্ত বিকারক	বিকল্প বিকারক বা উপাদান
৫। বিউটানল-২ ( $\text{CH}_3-\overset{2}{\underset{\text{OH}}{\text{C}}}\text{H}-\overset{3}{\text{CH}_2}-\overset{4}{\text{CH}_3}$ )	৫। বিউটানল-১ ( $\text{CH}_3-\overset{4}{\text{CH}_2}-\overset{3}{\text{CH}_2}-\overset{2}{\text{CH}_2}-\overset{1}{\text{CH}_2\text{OH}}$ )
৬। লেড ক্রোমেট ( $\text{PbCrO}_4$ )	৬। পটাসিয়াম কার্বনেট ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ )
৭। পটাসিয়াম ধাতু (K)	৭। ক্যালসিয়াম ধাতু (Ca)

## ১.৯ ব্যবহৃত রাসায়নিক দ্রব্যের নিরাপদ সংরক্ষণ ও বর্জ্য অপসারণ

### Safe Storage of Used up Chemicals & Waste Disposal

(ক) ব্যবহৃত রাসায়নিক দ্রব্যের সংরক্ষণ : পরীক্ষাগারে কোনো পরীক্ষা শেষ হয়ে গেলে পরবর্তী পদক্ষেপ হলো কাজের ডেস্ক পরিষ্কার করা, অব্যবহৃত রাসায়নিক দ্রব্যসমূহকে সঠিক স্থানে সঠিক নিয়মে রাখা এবং বর্জ্য পদার্থকে 'বর্জ্য-পাত্রে' সংরক্ষণ করা। যদি তা না করা হয়; এতে অনেক বিপদ ঘটতে পারে। ধরা যাক,

কোনো ছাত্র-ছাত্রী জৈব যৌগের মৌলের শনাক্তকরণের সময় সোডিয়াম ধাতু নিয়ে কাজ করে এক টুকরা সোডিয়াম ডেক্সের ওপর ফেলে রেখে গেল। এখন পরীক্ষাগার সহকারী ডেস্ক পরিষ্কার করতে এসে যদি ঐ Na টুকরা পানির সিক্তে ফেলে, তাহলে সাথে সাথে বিস্ফোরণসহ আগুন ধরে যাবে। তাই ঐ ছাত্রকে বা ছাত্রীকে অব্যবহৃত Na টুকরা কেরোসিনযুক্ত পাত্রে রাখতে হবে নতুবা মিথানলের সাথে বিক্রিয়া ঘটিয়ে নিঃশেষ করতে হবে।



অনুরূপভাবে ব্যুরেটে NaOH দ্রবণ নিয়ে কাজ করার পর অবশিষ্ট NaOH দ্রবণ ব্যুরেট থেকে বিকারে করে নিয়ে NaOH দ্রবণের মেজারিং ফ্লাস্কে সংরক্ষণ করতে হবে। পরে ব্যুরেট ও বিকার ধুয়ে নিতে হবে।

\* ব্যুরেটটিকে পানি দিয়ে ভালোভাবে ধুয়ে পরিষ্কার না করলে ব্যুরেটের স্টপকক আটকে যাবে।

\* উল্লেখ্য কঠিন NaOH বাতাসের সংস্পর্শে পানি শোষণ করে গলে যায়। তাই কঠিন NaOH এর দানা বা পিলেটকে কাচের বা প্লাস্টিকের বোতলে ভালোভাবে কব্ব দিয়ে রাখতে হয়। এছাড়া NaOH কঠিন ও দ্রবীভূত অবস্থায় বাতাসের  $\text{CO}_2$  তার সাথে বিক্রিয়া করে  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  তৈরি করে, তাই খোলা অবস্থায় NaOH রাখা যাবে না।

\* তাই কাজ শেষে প্রতিটি রাসায়নিক পদার্থের প্রকৃতি অনুযায়ী সঠিক ব্যবস্থায় যথাস্থানে রাখতে হবে নতুবা ধ্বংস বা ব্যবহার করে নিঃশেষ করতে হবে।

(খ) পরীক্ষাগারে বর্জ্য পদার্থ অপসারণ ব্যবস্থাপনায় নিম্নোক্ত নিয়ম মানা প্রয়োজন :

(১) কঠিন পরিত্যক্ত পদার্থকে সরিয়ে যথার্থ বর্জ্য-পাত্রে (waste container) সঠিকভাবে রাখতে হবে। এ কাজটি যত তাড়াতাড়ি সম্ভব করতে হবে; নতুবা অনেক যৌগ পানি/জলীয় বাষ্প শোষণ করে দাগের সৃষ্টি করে নতুবা যন্ত্রে আটকে যায়।

(২) পরিত্যক্ত এসিডকে প্রশমিত করতে হবে। এ জন্য  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  অথবা চূনের গুঁড়া ব্যবহার করা যেতে পারে। ক্ষারকের ক্ষেত্রে  $\text{NaHSO}_4$  ব্যবহার করা যায়।

(৩) Na ধাতু, NaH,  $\text{LiAlH}_4$  প্রভৃতিকে নষ্ট করতে হলে বিউটানল, মিথানল, ইথানল ব্যবহার করা যেতে পারে।

(৪) অব্যবহৃত  $\text{LiAlH}_4$  কে বিনষ্ট করতে জলীয়  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  বা  $\text{MgSO}_4$  দ্রবণ ব্যবহার করা যায়।

(৫) অব্যবহৃত/পরিত্যক্ত দ্রাবককে বর্জ্য-পাত্রে মুখ বন্ধ করে সংরক্ষণ করতে হবে, ড্রেনে ফেলা উচিত নয়।

(৬) ব্যবহৃত দ্রব্য পরিষ্কার করতে টিস্যু কাগজ বা কাপড়ের তোয়ালে ব্যবহার করা যায়।

(৭) নিরাপদ রাসায়নিক পদার্থসমূহে অতিরিক্ত পানি মিশিয়ে ধুয়ে ড্রেনে ফেলা যেতে পারে। এ রাসায়নিক দ্রব্য মিশ্রিত ড্রেনের পানিকে ল্যাবরেটরির বাইরে থাকা নির্দিষ্ট সংরক্ষিত গর্তে ফেলতে হবে; ড্রেনের পানি পুকুরে, বিলে-ঝিলে ও নদীতে নিক্ষেপণ করা যাবে না। এতে জলজ উদ্ভিদ ও প্রাণীর ক্ষতি হবে।

(৮) বুন্সেন বার্নারের গ্যাস সাপ্লাই সঠিকভাবে বন্ধ রাখতে হবে।

(৯) সর্বোপরি মনে রাখতে হবে যে, যে কোনো দুর্ঘটনা এড়াবার জন্য সর্বদা পরিষ্কার-পরিচ্ছন্ন পরীক্ষাগার, কাজের পরিবেশ সৃষ্টিতে সহায়ক হবে।



## ১.১০ পরিবেশের ওপর ল্যাবরেটরিতে ব্যবহৃত দ্রব্যের প্রভাব

### Effect of Lab Waste on Environment

'পরিবেশ' বলতে প্রত্যেক জীবের চারপাশের সজীব ও নির্যীব উপাদানসমূহের সমাবেশকে বোঝায়। বর্জ্য রাসায়নিক দ্রব্যসমূহ পরিবেশের ওপর কম বেশি প্রত্যক্ষ ও পরোক্ষভাবে প্রভাব সৃষ্টি করে। কেমিস্ট্রি ল্যাবরেটরিতে প্রতিদিন ব্যবহৃত কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় বিভিন্ন গুণসম্পন্ন রাসায়নিক পদার্থ বর্জ্যরূপে পরিবেশে সহজে মিশে যায়। মাত্রাতিরিক্ত এ সব ক্ষতিকর বর্জ্য পদার্থ মাটি, পানি ও বায়ুমণ্ডলের মারাত্মক দূষণ ঘটায়।

ল্যাবরেটরিতে অধিক ব্যবহৃত ও পরিবেশের ক্ষতিকর রাসায়নিক দ্রব্যসমূহ হলো :

(ক) অজৈব এসিড যেমন, হাইড্রোক্লোরিক এসিড (HCl), নাইট্রিক এসিড (HNO<sub>3</sub>), সালফিউরিক এসিড (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ইত্যাদি।

(খ) অজৈব ক্ষার যেমন, কঠিক সোডা (NaOH), কঠিক পটাস (KOH), লিকার অ্যামোনিয়া (35-40% NH<sub>3</sub> দ্রবণ), সোডিয়াম কার্বনেট (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)।

(গ) ধাতব লবণসমূহ যেমন, লেড (Pb), মারকারি (Hg), সিলভার (Ag), অ্যান্টিমনি (Sb), টিন (Sn), আয়রন (Fe), অ্যালুমিনিয়াম (Al), ক্রোমিয়াম (Cr), জিংক (Zn), কোবাল্ট (Co), নিকেল (Ni), ম্যাঙ্গানিজ (Mn), ক্যালসিয়াম (CaO), বেরিয়াম (Ba), স্ট্রনসিয়াম (Sr), সোডিয়াম (Na), পটাসিয়াম (K), ম্যাগনেসিয়াম (Mg) ইত্যাদি ধাতুর বিভিন্ন হ্যালাইড, নাইট্রেট, সালফেট, কার্বনেট ও ফসফেট লবণ।

(ঘ) জৈব দ্রাবক ও বিকারক যেমন, মিথানল, ইথানল, অ্যাসিটোন, ক্লোরোফর্ম, ক্লোরোবেনজিন, টলুইন, জাইলিন, অ্যানিলিন ইত্যাদি।

ল্যাবরেটরিতে বিভিন্ন পরীক্ষা কাজে ব্যবহৃত এসব রাসায়নিক বর্জ্য পদার্থ বায়ুতে, পানিতে ও মাটিতে মিশে পরিবেশের মারাত্মক ক্ষতি করে। যেমন-

\* (১) ল্যাবরেটরিতে ব্যবহৃত অতিরিক্ত এসিড (HCl বা, HNO<sub>3</sub> বা, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) অথবা অতিরিক্ত ক্ষার (NaOH বা, KOH) বর্জ্যরূপে ড্রেনের পানির সাথে নিকটস্থ বিভিন্ন জলাশয়ে ও মাটিতে মিশে যায়। তখন ঐ পানি বা মাটির অম্লত্ব বা ক্ষারকত্বের অর্থাৎ pH মানের মারাত্মক হ্রাস বৃদ্ধি ঘটে। মাটির অনুকূল pH 7.0-8.0 থেকে খুব বেশি হ্রাস বা বৃদ্ধি ঘটলে মাটির অণুজীব ধ্বংস এবং উর্বরতা নষ্ট হয়। জলাশয়ে পানির pH এর মান 3 এর নিচে হলে জলজ উদ্ভিদ ও মাছ মারা যায়।

\* (২) ভারী ধাতুর আয়ন যেমন Pb<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Cr<sup>3+</sup> আয়ন দ্বারা দূষিত পানি থেকে এসব আয়ন মাছের দেহে এবং দূষিত মাটি থেকে উদ্ভিদ দেহে শোষিত হয়। পরে খাদ্যাশ্রয়ের মাধ্যমে এসব ভারী ধাতুর আয়ন মানবদেহের চর্বিতে শোষিত হয়ে মারাত্মক রোগ যেমন স্নায়ুতন্ত্র, কিডনি ও প্রজননতন্ত্রে বিভিন্ন রোগ ও ক্যান্সার সৃষ্টি করে।

\* (৩) অনেক উদ্বায়ী জৈব যৌগের বাষ্প বায়ুতে মিশে যায়। এছাড়া রসায়ন পরীক্ষাগারে বিভিন্ন বিক্রিয়ায় উৎপন্ন গ্যাসসমূহ যেমন CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ও HCl(g) ইত্যাদি অল্পধর্মী গ্যাস বায়ুতে মিশে বায়ুদূষণ ঘটায়। বায়ুদূষণের ফলে শ্বাসযন্ত্রে বিভিন্ন রোগ সৃষ্টি হয়।

### ১.১০.১ পরিবেশ ও স্বাস্থ্যের ওপর ল্যাবরেটরিতে ব্যবহৃত রাসায়নিক দ্রব্যের প্রভাব

রাসায়নিক ল্যাবরেটরিতে বিভিন্ন প্রকার এসিড, শক্তিশালী ক্ষার, স্বাস্থ্যের জন্য ক্ষতিকর বিভিন্ন ধাতুর লবণ, বিভিন্ন জৈব দ্রাবক ব্যবহৃত হয়।

ল্যাবরেটরিতে এগুলোর অতিরিক্ত ব্যবহারের ফলে তা কোনো না কোনোভাবে পরিবেশে ছড়িয়ে পড়ে এবং উদ্ভিদ ও প্রাণিদেহে প্রবেশ করে। এর ক্ষতিকর প্রভাব দীর্ঘমেয়াদি। ল্যাবরেটরিতে এদের অতিরিক্ত ব্যবহার সম্পর্কে সচেতন হওয়া প্রয়োজন। ভারী ধাতুর আয়ন Pb<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup> প্রাণিদেহে প্রবেশ করলে প্রাণিদেহের এনজাইমের কার্যক্ষমতা বিনষ্ট হয় এবং সাথে সাথে শরীরে বিষক্রিয়া ঘটে।

বিভিন্ন ভারী শিল্প কারখানা যেমন-চামড়া শিল্প, ডাইং শিল্প, কাগজ, রেয়ন, সার ইত্যাদি শিল্পক্ষেত্রের ল্যাবরেটরিতে পরিবেশের উপর মারাত্মক ক্ষতিকর উপাদানের ব্যবহার হয়ে থাকে। এসব রাসায়নিক দ্রব্যের অতিরিক্ত ব্যবহার পরিবেশের জন্য যে কতটা ক্ষতিকারক তা কল্পনা করা যায় না। এসব রাসায়নিক দ্রব্যের ব্যবহার খুবই স্বল্পমাত্রায় এবং নিয়ন্ত্রণের মধ্যে রাখা উচিত। তাই এসব শিল্প কারখানা স্থাপনের পূর্বে পরিবেশ অধিদপ্তর থেকে পূর্ব অনুমতি নেওয়ার প্রয়োজন হয়।



পরিবেশ ও স্বাস্থ্যের ওপর ক্ষতিকর ল্যাবরেটরিতে ব্যবহৃত বিভিন্ন রাসায়নিক দ্রব্যের প্রভাব :

রাসায়নিক দ্রব্য	স্বাস্থ্যের প্রতি-প্রতিক্রিয়া	পরিবেশের উপর প্রতিক্রিয়া
১। হাইড্রোক্লোরিক এসিড (HCl)	HCl গ্যাস মারাত্মক বিষাক্ত এবং এসিড হিসেবে ত্বক ক্ষয়কারী। মুখ, গলা, শ্বাসনালিতে প্রদাহের সৃষ্টি করে। HCl গ্যাস বেশি গ্রহণ করলে মৃত্যু পর্যন্ত হতে পারে।	HCl এসিড একটি সবল এসিড। এটি পানিতে পূর্ণভাবে আয়নিত হয়ে পানির pH মান দ্রুত হ্রাস করে। ফলে জলজ উদ্ভিদ ও প্রাণীর ইকোসিস্টেমের মারাত্মক ক্ষতি করে।
২। সালফিউরিক এসিড (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> এসিড একটি মারাত্মক ক্ষয়কারী, তীব্র জারক ও তীব্র-নিরুদক। এ এসিড বাষ্প চোখ, মুখ, শ্বাসনালিতে প্রদাহ ও ত্বকে ফোঁস সৃষ্টি করে। এমনকি ফুসফুসও আক্রান্ত হয়। ত্বকে পড়লে ক্ষত সৃষ্টি করে।	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> মাটিতে ও পানিতে মিশলে pH মানের দ্রুত হ্রাস ঘটে। জলজ প্রাণী ও উদ্ভিদের ইকোসিস্টেমের বিপর্যয় ঘটে। মাটির অণুজীবকে ধ্বংস করে। ফলে ঐ মাটিতে আর উদ্ভিদ জন্মাতে পারে না।
৩। নাইট্রিক এসিড (HNO <sub>3</sub> )	মারাত্মক ক্ষয়কারী ও তীব্র জারক হওয়ায় ত্বকের প্রদাহ, চোখ-মুখ জ্বালাপোড়া করে। HNO <sub>3</sub> বাষ্প ও এর বিয়োজনে সৃষ্ট NO <sub>2</sub> গ্যাস তীব্র শ্বাসকষ্ট সৃষ্টি করে থাকে; এমনকি মৃত্যুও হতে পারে।	HNO <sub>3</sub> পানিতে মিশে পানির pH মানের হ্রাস ঘটায়। মাছ ও অন্যান্য জলজ প্রাণীদের ডিম পাড়া এবং বংশ বিস্তারে বিঘ্ন ঘটে। ক্ষয়কারী হওয়ায় HNO <sub>3</sub> মাটিতে মিশে মাটির খনিজ উপাদানকে ধ্বংস করে থাকে।
৪। কস্টিক সোডা (NaOH) কস্টিক পটাস (KOH)	NaOH ও KOH হলো ক্ষয়কারী রাসায়নিক উপাদান। মাত্র 10% (w/v) NaOH বা KOH এর জলীয় দ্রবণ 30 সেকেন্ডের মধ্যে চোখকে অন্ধ করে দিতে পারে। কোনোভাবে মুখে প্রবেশ করলে গলা, শ্বাসনালি, পাকস্থলীর মারাত্মক প্রদাহজনিত সংক্রমণ ঘটে।	NaOH বা KOH এর দ্রবণ পানিতে মিশে পানির দূষণ ঘটায়। পানির pH মান দ্রুত বৃদ্ধি করে। জলজ উদ্ভিদ ও প্রাণীর ক্ষতি হয়।
৫। অ্যামোনিয়াম হাইড্রোক্সাইড (NH <sub>4</sub> OH) [লিকার অ্যামোনিয়া 35-40% NH <sub>3</sub> এর সম্পৃক্ত দ্রবণ]	তীব্র ঝাঁঝালো গন্ধ যুক্ত NH <sub>3</sub> গ্যাস শ্বাসের সাথে প্রবেশ করলে মারাত্মক শ্বাসকষ্ট, গলা ও শ্বাসনালিতে প্রদাহ সৃষ্টি হয়। চোখ জ্বালা পোড়া করে এবং মুহূর্তের মধ্যে চোখ রক্তবর্ণ ধারণ করে। সর্দি কাশিতে মৃদু NH <sub>3</sub> গ্যাস নাকের পানি ঝড়া বন্ধ করে।	এটি জলাশয়ের পানিতে দ্রবীভূত হলে পানির pH বৃদ্ধি করে; মাছসহ অন্যান্য জলজ প্রাণীদের মুহূর্তের মধ্যে মৃত্যু ঘটে। অ্যামোনিয়া দ্রবীভূত পানি পান করলে পশুরও মৃত্যু ঘটে। NH <sub>3</sub> গ্যাস বায়ুতে মিশে গেলে গাছপালা ঝলসে যায়, পাখিরা মরে যায়, মানুষ শ্বাস কষ্টে ভোগে, এমনকি মৃত্যুও হতে পারে।
৬। সোডিয়াম বাই কার্বনেট (NaHCO <sub>3</sub> ) সোডিয়াম কার্বনেট (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	NaHCO <sub>3</sub> এবং Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> এর সূক্ষ্ম গুঁড়া শ্বাসের সাথে শরীরে প্রবেশ করলে শ্বাসনালি আক্রান্ত হয়। ত্বক বা চোখে-মুখে এর গাঢ় দ্রবণ পড়লে ক্ষতের সৃষ্টি হয়।	NaHCO <sub>3</sub> এবং Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> পানিতে মিশে পানির pH মানের বৃদ্ধি ঘটায়। মাটিতে মিশে অণুজীবকে ধ্বংস করে। মাটির খনিজ উপাদানের সাথে মিলে মাটির ক্ষারকত্ব বৃদ্ধি করে।



রাসায়নিক দ্রব্য	স্বাস্থ্যের প্রতি-প্রতিক্রিয়া	পরিবেশের উপর প্রতিক্রিয়া
৭। পটাশিয়াম পারম্যাঙ্গানেট (KMnO <sub>4</sub> )	KMnO <sub>4</sub> হলো একটি তীব্র ক্ষয়কারক, জারক ও বিষাক্ত উপাদান। এটির গাঢ় দ্রবণ শরীরের ত্বকের সংস্পর্শে ক্ষতের সৃষ্টি করে। পেটে গেলে ডায়রিয়া হওয়ার সম্ভাবনা শতভাগ। এর প্রভাবে কিডনি সম্পূর্ণভাবে নষ্ট হয়।	এটি দ্রবীভূত অবস্থায় পানির DO এর পরিমাণকে মারাত্মকভাবে হ্রাস করে। ফলে মাছসহ অন্যান্য জলজ প্রাণীর বেঁচে থাকা কষ্টকর হয়। মাটির অণুজীবকে ধ্বংস করে এবং মাটির উর্বরা শক্তি হ্রাস পায়।
৮। পটাশিয়াম ডাইক্রোমেট (K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> হলো একটি তীব্র ক্ষয়কারক, জারক ও বিষাক্ত উপাদান। ত্বকের সংস্পর্শে ক্ষতের সৃষ্টি করে। পেটে গেলে ডায়রিয়া হওয়ার সম্ভাবনা থাকে।	এটি দ্রবীভূত অক্সিজেনের পরিমাণকে হ্রাস করে। ফলে মাছসহ অন্যান্য জলজ প্রাণীর বেঁচে থাকা কষ্টকর হয়। মাটির উর্বরা শক্তির হ্রাস ঘটে এবং মাটির অণুজীবকে ধ্বংস করে।
৯। পটাশিয়াম ফেরোসায়ানাইড K <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	শ্বাসের মাধ্যমে এটি শরীরে প্রবেশ করলে গলা, শ্বাসনালি ও ফুসফুসের কাশিসহ মারাত্মক ক্ষতি হয়। শরীরের ত্বক ও চোখে জ্বালাসহ ক্ষতের সৃষ্টি হয়। পাকস্থলীতে প্রবেশ করলে পেটে ব্যথা, বমি ও ডায়রিয়া হতে পারে।	পটাশিয়াম ফেরোসায়ানাইড পানি ও মাটি উভয়কেই মারাত্মকভাবে দূষিত করে।
১০। পটাশিয়াম আয়োডাইড (KI)	এটি ত্বকের মারাত্মক ক্ষতি করে। শরীরে প্রবেশ করলে রক্তশূন্যতা, ওজন কমে যাওয়া অবসাদ প্রবণতার সৃষ্টি হয়।	এটি পানিতে অধিক মিশলে পানি বিষাক্ত হয়। মাটির উর্বরতা শক্তি কমে যায়। জৈব উপাদানের পচন কমে যায়।
১১। হাইড্রোজেন পারঅক্সাইড (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	এটি একটি বিষাক্ত, তীব্র জারণধর্মী, স্বাস্থ্য ঝুঁকি ও পরিবেশ ঝুঁকির রাসায়নিক উপাদান। এটি ত্বকের মারাত্মক ক্ষতি করে থাকে।	এটি পরিবেশের ক্ষতি করে একরূপ রাসায়নিক উপাদানের অন্যতমের মধ্যে এটি অন্তর্ভুক্ত।
১২। ক্লোরোফর্ম (CHCl <sub>3</sub> )	ক্লোরোফর্ম কেন্দ্রীয় স্নায়ুতন্ত্রের মারাত্মক ক্ষতি করে। শ্বাস-প্রশ্বাসের ক্ষেত্রে শ্বাসনালি ও ফুসফুসের মারাত্মক ক্ষতি করে। বেশি পরিমাণে ফুসফুসে প্রবেশ করলে মৃত্যু অনিবার্য।	ক্লোরোফর্ম পানিতে দ্রবীভূত হয়ে পানিতে উপস্থিত সূক্ষ্ম অণুজীব ধ্বংস করে। ফলে পানির DO, BOD ও COD এর ভারসাম্য বিনষ্ট হয়।
১৩। ফরমালিন : [H-CHO এর 40% জলীয় দ্রবণ]	ফরম্যালডিহাইড শরীরে প্রবেশ করলে কিডনি নষ্ট হতে পারে। এতে ক্যান্সার রোগও হতে পারে।	ফরমালিন পচনরোধক ও ক্ষুদ্র প্রাণিকোষ ধ্বংস করে। পরিবেশের ক্ষতি করে।
১৪। প্রোপানোন CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	এটি উদ্বায়ী হওয়ায় শ্বাস-প্রশ্বাসে শরীরে প্রবেশ করলে মাথা ব্যথা, বমি বমি ভাব, অবসাদহস্ততা হতে পারে।	এটি পানিতে DO এর মারাত্মকভাবে হ্রাস ঘটায়। জলজ প্রাণীর উপর এর পার্শ্ব প্রতিক্রিয়া পরিলক্ষিত হয়।
১৫। সারান ও ডিটারজেন্ট	উভয় যৌগ জৈব দূষক। অধিক ব্যবহারে দেহের ত্বকের ক্ষতি করে।	এদেরকে সরাসরি পরিবেশে ফেলা যাবে না। এরা মারাত্মকভাবে পরিবেশের বিপর্যয় ঘটায়।
১৬। Na, NaH ও LiAlH <sub>4</sub>	ত্বকে মারাত্মক ক্ষত সৃষ্টি করে। জলীয় বাষ্পের সংস্পর্শে প্রবল বিক্রিয়ায় স্কার, H <sub>2</sub> ও তাপ উৎপন্ন করে।	পানির সংস্পর্শে স্কার NaOH, LiOH দ্রবণ ও Al(OH) <sub>3</sub> (s) উৎপন্ন হয়। ফলে, মাটি ও পানির pH বৃদ্ধি পায়। পরিবেশ ক্ষতিগ্রস্ত হয়।



শিক্ষার্থীর কাজ-১.৯ : রাসায়নিক পদার্থের নিরাপদ সংরক্ষণ এবং স্বাস্থ্য ও পরিবেশের ওপর প্রভাব :

প্রশ্ন-১.১২(ক) : পরিবেশের ওপর ল্যাবরেটরিতে রাসায়নিক পদার্থের অতিরিক্ত ব্যবহারের প্রভাব ব্যাখ্যা কর।

প্রশ্ন-১.১২(খ) : উদ্দীপক : রাসায়নিক দ্রব্য- 'A'  $\text{Na}$  ধাতু ; রাসায়নিক দ্রব্য- 'B'  $\text{H}_2\text{SO}_4$

[অভিন্ন প্রশ্ন (ক-সেট) ২০১৮]

(১) ল্যাবরেটরিতে রাসায়নিক দ্রব্য- 'A' এর নিরাপদ সংরক্ষণ ব্যাখ্যা কর।

(২) পরিবেশ সংরক্ষণে ল্যাবরেটরিতে রাসায়নিক দ্রব্য- 'B' এর পরিমিত ব্যবহারের গুরুত্ব কী তা বিশ্লেষণ কর।

প্রশ্ন-১.১২(গ) : রাসায়ন পরীক্ষাগারে অতি সতর্কতার সাথে যে সব পদার্থ ব্যবহৃত হয়, তা হলো—

(i) গাঢ়  $\text{H}_2\text{SO}_4$  , (ii) তরল  $\text{NH}_3$  , (iii)  $\text{Na}$  ধাতু ,

(iv) পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  [অভিন্ন প্রশ্ন (খ সেট) ২০১৮]

(১) উদ্দীপকের (i) ও (iii) এর সাথে সরাসরি পানি যোগ করা যায় না কেন? ব্যাখ্যা কর।

(২) উদ্দীপকের রাসায়নিক পদার্থগুলোর অধিক ব্যবহার পরিবেশের ওপর কীরূপ প্রভাব ফেলে তা বিশ্লেষণ কর।

প্রশ্ন-১.১২(ঘ) : নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।

[কু. বো. ২০১৭]

(i) গাঢ়  $\text{H}_2\text{SO}_4$  , (ii) গাঢ়  $\text{NH}_4\text{OH}$  , (iii)  $\text{LiAlH}_4$  , (iv)  $\text{KMnO}_4$

(১) উদ্দীপকের উপাদানসমূহের সংরক্ষণ পদ্ধতি আলোচনা কর।

(২) উদ্দীপকের যৌগসমূহের অপরিমিত ব্যবহার মানব স্বাস্থ্য ও পরিবেশের জন্য হুমকি স্বরূপ কীনা তা বিশ্লেষণ কর।

প্রশ্ন-১.১২(ঙ) : নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।

[রা. বো. ২০১৭]

(i) গাঢ়  $\text{HCl}$  , (ii) গাঢ়  $\text{NH}_3$  দ্রবণ , (iii)  $\text{NaOH}$

(১) উদ্দীপকের উপাদানসমূহের নিরাপদ সংরক্ষণ কৌশল বর্ণনা কর।

(২) উদ্দীপকের উপাদানসমূহের অতিরিক্ত ব্যবহারের ক্ষতিকর প্রভাব স্বাস্থ্য ও পরিবেশের ওপর পরিলক্ষিত হয়; তা বিশ্লেষণ কর।

টিপস : নিচের রাসায়নিক পদার্থগুলোর বিষাক্ততাস্রাসের জন্য প্রচুর পানি যোগ করে পরিত্যাগ করবে। সকল তীব্র এসিড/ক্ষার, অ্যালকোহল, হাইপোক্লোরাইট, সিলিকা ও অ্যালুমিনার চূর্ণ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$

## ১.১১ রাসায়নিক দ্রব্যের পরিমিত ব্যবহারের গুরুত্ব

### Importance of Minimum Use of Chemicals

রাসায়নিক ল্যাবরেটরিতে থেকে নির্গত বর্জ্য পরিবেশের মারাত্মক দূষণ ঘটায়। তাই প্রত্যেক শিক্ষার্থী ল্যাবরেটরিতে রাসায়নিক বস্তু ব্যবহারে অত্যধিক সতর্ক থাকতে হবে। ন্যূনতম পরিমাণ বিকারক ব্যবহার করে পরীক্ষা কাজ সম্পন্ন করতে হবে।

রাসায়নিক বস্তুর পরিমিত ব্যবহারে শিক্ষার্থীদের ল্যাবরেটরিতে বিভিন্ন কার্যক্রমে নিম্নোক্ত বিষয় অনুসরণ করা উচিত।

(১) পরীক্ষাকালীন টেস্টিংটিউবে রাসায়নিক বিকারক খুব কম ব্যবহার করতে হবে। বিক্রিয়াগুলো সচেতনভাবে পর্যবেক্ষণ করতে হবে।

(২) পরিবেশের ক্ষতিকর রাসায়নিক পদার্থ ও জৈব দ্রাবক পদার্থ ব্যবহারে শিক্ষার্থীদের মিতব্যয়ী হতে হবে।

(৩) পাতিত পানি বা ডিস্টিল ওয়াটার ব্যবহার যথাসম্ভব কম করতে হবে।

(৪) বুনসেন বার্নারে গ্যাস ব্যবহার ও বিদ্যুতের ব্যবহারে সচেতন থাকতে হবে।

(৫) শিক্ষার্থীরা গ্রুপ করে কাজ করলে রাসায়নিক পদার্থের সাশ্রয় হবে।



(৬) শিক্ষার্থীদের প্রয়োজনীয় রাসায়নিক পদার্থ পূর্ব থেকেই ওজন করে রাখতে হবে। এতে অপচয় কম হবে এবং শিক্ষার্থীদের ল্যাব-সময় অধিকতর কার্যকর হবে।

(৭) শিক্ষার্থীদের জন্য ব্যবহারিক কার্যক্রম এমনভাবে প্রণয়ন করতে হবে যেন রাসায়নিক বস্তুর ব্যবহার সর্বনিম্ন থাকে। বর্তমানে স্কুল ও কলেজে কেমিস্ট্রি ল্যাবসমূহে অনুসৃত ম্যাক্রো বিশ্লেষণ পদ্ধতির পরিবর্তে সেমিমাইক্রো বিশ্লেষণ পদ্ধতি অনুসরণ করা হলে ল্যাবরেটরি বর্জ্য রাসায়নিক দূষণ মাত্রার হ্রাস ঘটবে। অর্থাৎ ল্যাবরেটরিতে উন্নত ব্যবহারিক কার্যক্রমে পরিবেশের ক্ষতিকর রাসায়নিক পদার্থের ব্যবহার হ্রাস করতে হবে।

তাই ল্যাবরেটরিতে এসব রাসায়নিক পদার্থের ব্যবহার পরিমিতভাবে করা উচিত। ফলে ল্যাবরেটরির রাসায়নিক পদার্থের অপচয়ও কমবে, অর্থ খরচ কমবে ও প্রকৃতির ভারসাম্য বজায় থাকবে।

শিক্ষার্থীর কাজ-১.১০ : রাসায়নিক পদার্থের পরিমিত ব্যবহারের গুরুত্ব :

প্রশ্ন-১.১৩ : পরিবেশ রক্ষায় রাসায়নিক বর্জ্য বিশোধন অপেক্ষা রাসায়নিক বর্জ্যের হ্রাসকরণ উত্তম। এর ব্যাখ্যা কর।

[চ.বো.২০১৫]

প্রশ্ন-১.১৪ : ল্যাবরেটরিতে রাসায়নিক দ্রব্য যথাসম্ভব কম ব্যবহার করা পরিবেশের জন্য উত্তম কেন তা ব্যাখ্যা কর।

সমাধানকৃত সমস্যা-১.৪ : রাসায়নিক দ্রব্য সংরক্ষণ, ব্যবহারে সতর্কতা এবং স্বাস্থ্য ও পরিবেশের ওপর প্রভাবভিত্তিক :

নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।

[অভিন্ন প্রশ্ন (খ সেট) ২০১৮]

(i) গাঢ়  $H_2SO_4$  (ii) তরল  $NH_3$  (iii) Na ধাতু (iv)  $K_4[Fe(CN)_6]$

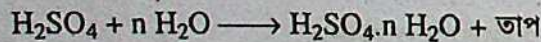
(ক) উদ্দীপকের (i) ও (iii) নং পদার্থের সাথে সরাসরি পানি যোগ করা যায় না কেন? ব্যাখ্যা কর।

(খ) উদ্দীপকের রাসায়নিক পদার্থগুলোর অধিক ব্যবহার পরিবেশের ওপর কীরূপ প্রভাব ফেলে তা বিশ্লেষণ কর।

সমাধান : (ক) উদ্দীপকের (i) ও (iii) নং পদার্থ দুটি হলো যথাক্রমে গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিড ও Na ধাতু।

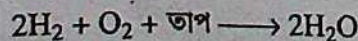
গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিড ও Na ধাতুর সাথে সরাসরি পানি যোগ করা যায় না। কারণ—

(i) গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিড হলো তাপোৎপাদী পানি-শোষণকারী পদার্থ। গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিডে পানি পড়ার সাথে সাথে  $H_2SO_4$  অণুসমূহে পানি-যোজন বা হাইড্রেশন ঘটে; তখন প্রচুর তাপ উৎপন্ন হয়। ফলে পানি-বাষ্পসহ কিছু  $H_2SO_4$  এসিড চারদিকে ছিটকে গিয়ে এসে পড়ে।



তাই গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিডের লঘু দ্রবণ তৈরি করার বেলায় প্রচুর পানিতে ধীরে ধীরে গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিড যোগ করতে হয়। একই সাথে তাপের উদ্দীর্ণজনিত সমস্যা পরিহার করতে দ্রবণকে গ্লাস রড দিয়ে আলোড়িত করতে হয়। তখন উৎপন্ন তাপ অধিক পানিতে শোষিত হয়ে থাকে।

(iii) Na ধাতু হলো পর্যায় সারণির গ্রুপ-1 এর অতীব সক্রিয় ক্ষার ধাতু। Na ধাতু পানির সংস্পর্শে প্রবলভাবে তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায় NaOH ক্ষার ও  $H_2$  গ্যাস উৎপন্ন করে। তখন বিক্রিয়ায় উৎপন্ন তাপে  $H_2$  গ্যাস জ্বলে উঠে।



তাই রসায়ন পরীক্ষাগারে Na ধাতু ব্যবহারের পর অবশিষ্ট Na ধাতুকে কখনও বেসিনের পানির সংস্পর্শে ফেলা যাবে না।

সমাধান : (খ) উদ্দীপকের রাসায়নিক পদার্থের অধিক ব্যবহার পরিবেশের ওপর নিম্নরূপে প্রভাব ফেলে।

উদ্দীপক মতে, রাসায়নিক পদার্থগুলো হলো—

(১) গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিড, (২) তরল  $NH_3$ , (৩) Na ধাতু ও (৪)  $K_4[Fe(CN)_6]$



(১) গাঢ়  $H_2SO_4$  : গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিড হলো রাসায়নিকভাবে একটি মারাত্মক ক্ষয়কারী, তীব্র জারণধর্মী এসিড ও তীব্র পানিশোষী পদার্থ।

মানবদেহের উপর প্রভাব : ল্যাবরেটরিতে গাঢ়  $H_2SO_4$  এর ব্যবহারকালে এসিডের বোতল খোলার সাথে এসিড বাষ্প বের হয়ে থাকে। তখন অসতর্কতার কারণে অথবা ফিউম বোর্ড ব্যবহার না করলে তবে গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিডের-বাষ্প চোখ, মুখ ও শ্বাসনালির প্রদাহ সৃষ্টি করতে পারে। এ গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিড ত্বকের সংস্পর্শে ক্ষত সৃষ্টি করে।

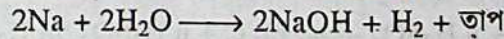
পরিবেশের ওপর প্রভাব : পরীক্ষাগারে ও শিল্প কারখানায়  $H_2SO_4$  এর অধিক ব্যবহারের পর বর্জ্য এসিড দ্রবণ ড্রেনের মাধ্যমে পরিবেশের জলাশয়ে ও মাটিতে মিশলে তখন মাটি ও জলাশয়ের পানির pH মান দ্রুত কমে যায়। এতে উদ্ভিদ ও জলজ প্রাণীর মৃত্যুসহ মাটির অণুবীজ ধ্বংস হয়। ঐ মাটিতে আর কোনো উদ্ভিদ জন্মাতে পারে না। পরিণামে ইকোসিস্টেমে বিপর্যয় ঘটে।

(২) তরল অ্যামোনিয়া ( $NH_4OH$ ) : তরল অ্যামোনিয়া বা লিকার অ্যামোনিয়া হলো কক্ষতাপমাত্রায় পানিতে 35%—40%  $NH_3$  গ্যাসের সম্পৃক্ত দ্রবণ। রাসায়নিকভাবে তরল অ্যামোনিয়া হলো মারাত্মক তীব্র ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত একটি শক্তিশালী ক্ষার।

মানবদেহের ওপর প্রভাব : তরল অ্যামোনিয়া বা লিকার অ্যামোনিয়ার বোতলের মুখ খোলার সময় অসতর্কতা বশত তীব্র ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত  $NH_3$  গ্যাস শ্বাসের সাথে দেহে প্রবেশ করলে তখন মারাত্মক শ্বাসকষ্ট, গলা ও শ্বাসনালিতে প্রদাহ সৃষ্টি হয়। চোখ জ্বালাপোড়া করে এবং মুহূর্তের মধ্যে চোখ রক্তবর্ণ হয়।

পরিবেশের ওপর প্রভাব : তরল অ্যামোনিয়া দ্রবণ জলাশয়ের পানিতে মিশলে পানির pH বৃদ্ধি পায়। তখন মাছসহ অন্যান্য জলজ উদ্ভিদ মরে যায়। এ  $NH_3$  গ্যাস বায়ুতে মিশলে গাছপালা ঝলসে যায়, পাখিরা  $NH_3$  গ্যাসে আক্রান্ত হয়ে মরে যায়। মানুষ শ্বাসকষ্টে ভোগে এবং ফুসফুসের প্রদাহজনিত রোগে আক্রান্ত হয়।

(৩) Na ধাতু : সোডিয়াম ধাতু অতীব সক্রিয় ক্ষার ধাতু। এটি পানির সংস্পর্শে প্রবল তাপোৎপাদী বিক্রিয়াসহকারে  $H_2$  গ্যাস ও NaOH দ্রবণ তৈরি করে। তখন উৎপন্ন তাপে  $H_2$  গ্যাস জ্বলে ওঠে।



মানব দেহের ওপর প্রভাব : সোডিয়াম ধাতু ত্বকের সংস্পর্শে জলীয় বাষ্পসহ তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায় ত্বকে ক্ষত তৈরি করে। সোডিয়াম ধাতুকে হাতে ধরা যাবে না।

পরিবেশের ওপর প্রভাব : যেহেতু Na ধাতু পানির সংস্পর্শে প্রবল NaOH ক্ষার তৈরি করে; তাই উৎপন্ন NaOH ক্ষার পানিতে ও মাটিতে মিশে প্রতি ক্ষেত্রে pH মান বৃদ্ধি করে। ফলে মাটিতে pH মান বৃদ্ধি পাওয়ায় ফসল উৎপাদন অসম্ভব হয়ে পড়ে। উদ্ভিদ ক্ষারীয় মাটিতে মারা যায়। পানির pH বৃদ্ধি পাওয়ায় মাছ ও জলজ উদ্ভিদ মরে যায়।

(৪)  $K_4[Fe(CN)_6]$  : পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড হলো রাসায়নিকভাবে লোহার একটি বিজারণধর্মী জটিল যৌগ। এটির কোনো মারাত্মক বিষক্রিয়া নেই। তবে রাসায়নিক পদার্থ হিসেবে স্বাস্থ্য ও পরিবেশের ওপর নিম্নোক্ত প্রভাব সৃষ্টি করে।

মানবদেহের ওপর প্রভাব : পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড গুঁড়া শ্বাসের মাধ্যমে শরীরে প্রবেশ করলে কাশিসহ গলা, শ্বাসনালি ও ফুসফুসে প্রদাহ হয়। শরীরের ত্বক ও চোখে জ্বালাসহ ক্ষতের সৃষ্টি হতে পারে। পাকস্থলীতে প্রবেশ করলে পেটে ব্যথা, বমি ও ডায়রিয়া হতে পারে।

পরিবেশের ওপর প্রভাব : পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড পানি ও মাটিতে মিশে উভয়কেই দূষিত করে থাকে।

মতামত : উপরোক্ত আলোচনা থেকে সুস্পষ্ট হলো যে, প্রদত্ত যৌগসমূহের অধিক ব্যবহারে মানব দেহের ওপর বা স্বাস্থ্যের এবং পরিবেশের ওপর ক্ষতিকর প্রভাব সৃষ্টি করে। তাই এদের ব্যবহারকালে যথাযথ ব্যবহার বিধি জেনে প্রয়োজনে ব্যবহার করতে হবে।



সমাধানকৃত সমস্যা-১.৫ : রাসায়নিক পদার্থের সংরক্ষণ এবং স্বাস্থ্য ও পরিবেশের ওপর প্রভাবভিত্তিক :

নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।

[কু. বো. ২০১৭]

(i) গাঢ়  $H_2SO_4$  , (ii) গাঢ়  $NH_4OH$  , (iii)  $LiAlH_4$  , (iv)  $KMnO_4$

(ক) উদ্দীপকের যৌগসমূহের সংরক্ষণ পদ্ধতি আলোচনা কর।

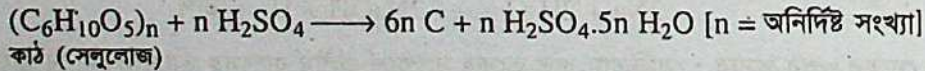
(খ) উদ্দীপকের যৌগসমূহের অপরিমিত ব্যবহার মানব স্বাস্থ্য ও পরিবেশের ওপর হুমকি কীরূপ তা বিশ্লেষণ কর।

সমাধান : (ক) উদ্দীপক মতে প্রদত্ত যৌগসমূহ হলো (i) গাঢ়  $H_2SO_4$  (ii) গাঢ়  $NH_4OH$  (iii)  $LiAlH_4$  (iv)  $KMnO_4$ । এ সব রাসায়নিক পদার্থকে ল্যাবরেটরিতে সংরক্ষণের ব্যাপারে Material Safety Data Sheet বা MSDS তৈরি করে সেটি যথাযথ অনুসরণ করতে হবে। MSDS এর তালিকায় প্রতিটি রাসায়নিক দ্রব্যের নাম, সংকেত বা ফর্মুলা, হাজার্ড প্রতীক, ঝুঁকি বা বিপদ, নিরাপত্তা সতর্কতা, রাসায়নিক দ্রব্যের পরিমাণ, সংরক্ষণের তারিখ ইত্যাদি লিপিবদ্ধ করতে হবে। রাসায়নিক বস্তুর তালিকা বা রেকর্ড খাতায় নাম বিন্যাসের ক্ষেত্রে ইংরেজি নামের বর্ণমালা অনুসরণ না করে রাসায়নিক বস্তুর ধর্মকে গুরুত্ব দিয়ে সাজাতে হবে। এসিড, ক্ষার, জারক পদার্থ, বিজারক পদার্থ, দাহ্য পদার্থ ইত্যাদিকে পৃথকভাবে বিন্যাস করতে হবে। মূল কথা MSDS অনুসরণ করে রাসায়নিক দ্রব্যকে ল্যাবরেটরিতে সংরক্ষণ করতে হবে।

উদ্দীপকের রাসায়নিক পদার্থের সংরক্ষণ পদ্ধতি হবে নিম্নরূপ :

(i) গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিড : রাসায়নিকভাবে গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিড হলো একটি প্রবল ক্ষয়কারী, পানি-শোষণকারী ও জারণধর্মী সবল এসিড। গাঢ়  $H_2SO_4$  এর হাজার্ড প্রতীক হলো 'C' (corrosive)।

সংরক্ষণ : ক্ষয়কারী গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিডের বোতলকে শেলফের নিচের তাকে এসিডরোধী কাচ বা প্লাস্টিকের স্ল্যাব (slab) এর ওপর অথবা এসিড ক্যাবিনেটে সংরক্ষণ করতে হবে। কাঠের তৈরি আলমারির কাঠের তক্তার ওপর গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিডের বোতল রাখা যাবে না। ব্যবহারকালে গাঢ়  $H_2SO_4$  এসিড বোতল থেকে কোনোভাবে কাঠের ওপর পড়লে কাঠকে ক্ষয় করে; তা পোড়া কাঠের মতো কালো হয়ে পড়ে। কারণ গাঢ়  $H_2SO_4$  পানি-শোষণকারী পদার্থ। কাঠের সেলুলোজের অণু থেকে পানি শোষণ করে কালো কার্বন গুঁড়া তৈরি করে।



সতর্কতা : ব্যবহারের সময় নিরাপদ চশমা, মুখে মাস্ক ও হ্যান্ড গ্লাভস পরতে হবে। কারণ গাঢ়  $H_2SO_4$  তুকে severe burn অর্থাৎ ফোঁসাসহ ক্ষত সৃষ্টি করে থাকে।

(ii) গাঢ়  $NH_4OH$  বা লিকার অ্যামোনিয়া : এটি হলো তুকে ক্ষয়কারী গাঢ় ক্ষার দ্রবণ এবং পরিবেশের জন্য ক্ষতিকর। এটি পানিতে মিশলে জলজ প্রাণী মারা যায়। তাই এটির হাজার্ড প্রতীক হলো (C + N) অর্থাৎ Corrosive এবং Environmentally toxic. লিকার অ্যামোনিয়ার বোতলের মুখ খুললে মারাত্মক বাঁঝালো গন্ধযুক্ত  $NH_3$  গ্যাস বের হয়, যা শ্বাসনালি ও ফুসফুসে প্রদাহ সৃষ্টি করতে পারে।

সংরক্ষণ : সংরক্ষণের বেলায়, ক্ষারধর্মী লিকার অ্যামোনিয়ার বোতলকে এসিডের বোতল থেকে দূরে আলাদা স্থানে শেলফের নিচের তাকে প্লাস্টিকের স্ল্যাবের ওপর রাখতে হবে।

সতর্কতা : ব্যবহারের সময় নিরাপদ চশমা, মাস্ক ও হাতে গ্লাভস পরা প্রয়োজন।

(iii)  $LiAlH_4$  : রাসায়নিকভাবে লিথিয়াম অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রাইড ( $LiAlH_4$ ) হলো দাহ্য কঠিন বিজারক পদার্থ। পানির সংস্পর্শে প্রবল তাপোৎপাদী বিক্রিয়াসহ  $H_2$  গ্যাস,  $LiOH$ ,  $Al(OH)_3$  উৎপন্ন হয়। তখন উজ্জ্বল আলো দেখা যায়।

এটির হাজার্ড সিম্বল হলো আগুনের শিখা। প্রতীক হলো 'F'।

সংরক্ষণ : সংরক্ষণের বেলায়,  $LiAlH_4$  এর বোতল বা প্যাকেটকে আগুন ও তাপ থেকে দূরে রাখতে হবে।

সতর্কতা : ব্যবহারের সময় মাস্ক, নিরাপদ চশমা ও হ্যান্ড গ্লাভস পরা দরকার হয়।



(iv)  $\text{KMnO}_4$  : রাসায়নিকভাবে পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট ( $\text{KMnO}_4$ ) হলো একটি তীব্র জারক পদার্থ। ত্বকের সংস্পর্শে ক্ষতের সৃষ্টি করে, চোখ নষ্ট করে ও বিষক্রিয়াযুক্ত।  $\text{KMnO}_4$  এর হ্যাাজার্ড সিঙ্ঘল হলো [O] জারক পদার্থের ও স্বাস্থ্য ঝুঁকির।

সংরক্ষণ : দাহ্য ও বিজারক পদার্থ থেকে দূরে পৃথকভাবে শুষ্ক স্থানে  $\text{KMnO}_4$  সংরক্ষণ করতে হবে।

সতর্কতা : ব্যবহারের সময় মাস্ক, হ্যান্ড গ্লাভস ও নিরাপদ চশমা ব্যবহার করতে হবে।

সমাদান : (খ) উদ্দীপকের যৌগসমূহের অপরিমিত ব্যবহার এবং স্বাস্থ্য ও পরিবেশের ওপর প্রভাব :

(i) গাঢ়  $\text{H}_2\text{SO}_4$  : মানব স্বাস্থ্যের ওপর প্রভাব :  $\text{H}_2\text{SO}_4$  এসিড একটি মারাত্মক ক্ষয়কারী, তীব্র জারক ও তীব্র-নিরুদক। এ এসিড বাষ্প চোখ, মুখ, শ্বাসনালিতে সংক্রমণ ও ত্বকের প্রদাহ সৃষ্টি করে। এমনকি ফুসফুসও আক্রান্ত হয়। ত্বকের সংস্পর্শে ক্ষত সৃষ্টি করে।

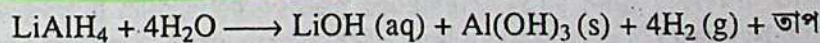
পরিবেশের ওপর প্রভাব :  $\text{H}_2\text{SO}_4$  মাটিতে ও পানিতে মিশলে pH মানের দ্রুত হ্রাস ঘটে। জলজ প্রাণী ও উদ্ভিদের ইকোসিস্টেমের বিপর্যয় ঘটে। মাটির অণুজীবকে ধ্বংস করে। ফলে ঐ মাটিতে আর উদ্ভিদ জন্মাতে পারে না।

(ii) গাঢ়  $\text{NH}_4\text{OH}$  : মানব স্বাস্থ্যের ওপর প্রভাব : গাঢ়  $\text{NH}_4\text{OH}$  অর্থাৎ লিকার অ্যামোনিয়ার বোতলের মুখ খোলার সময় তীব্র ঝাঁঝালো গন্ধযুক্ত  $\text{NH}_3$  গ্যাস শ্বাসের সাথে প্রবেশ করলে মারাত্মক শ্বাসকষ্ট, গলা ও শ্বাসনালিতে ক্ষতের সৃষ্টি হয়। চোখ জ্বালাপোড়া করে এবং মুহূর্তের মধ্যে চোখ রক্তবর্ণ ধারণ করে। সর্দি কাশিতে মৃদু  $\text{NH}_3$  গ্যাস নাকের পানি ঝড়া বন্ধ করে।

পরিবেশের ওপর প্রভাব : এটি জলাশয়ের পানিতে দ্রবীভূত হলে পানির pH বৃদ্ধি করে; মাছসহ অন্যান্য জলজ প্রাণীদের মুহূর্তের মধ্যে মৃত্যু ঘটে। অ্যামোনিয়া দ্রবীভূত পানি পান করলে পশুরও মৃত্যু ঘটে।  $\text{NH}_3$  গ্যাস বায়ুতে মিশে গেলে গাছপালা বলসে যায়, পাখিরা মরে যায়, মানুষ শ্বাসকষ্টে ভোগে, এমনকি মৃত্যুও হতে পারে।

(iii)  $\text{LiAlH}_4$  : মানব স্বাস্থ্যের ওপর প্রভাব : লিথিয়াম অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রাইড গুঁড়ার সংস্পর্শে ত্বক, চোখ ও শ্বাসযন্ত্রের জ্বালাপোড়া সৃষ্টি হয় (irritate); এমনকি চোখের ও ত্বকের মারাত্মক burn ঘটে। কাশি ও বমি হয়ে থাকে।

পরিবেশের ওপর প্রভাব : পানির সংস্পর্শে  $\text{LiAlH}_4$  প্রবল তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায় উৎপন্ন  $\text{H}_2$  গ্যাসে আশ্রয় ধরে যায়। এছাড়া উৎপন্ন ক্ষার  $\text{LiOH}$  ও  $\text{Al(OH)}_3$  মাটির ও পানির pH মান বৃদ্ধি করে।



ফলে মাটি ক্ষারধর্মী হয় এবং পানিতে মাছ মরে যায়।

(iv)  $\text{KMnO}_4$  : মানব স্বাস্থ্যের ওপর প্রভাব : রাসায়নিকভাবে  $\text{KMnO}_4$  হলো একটি তীব্র জারক, ক্ষয়কারক বিষাক্ত উপাদান। এটির গাঢ় দ্রবণ ত্বকের সংস্পর্শে ক্ষতের সৃষ্টি করে। চোখ নষ্ট করে। পেটে গেলে ডায়রিয়া হয়; এমনকি এর দ্বারা কিডনি সম্পূর্ণ নষ্ট হতে পারে।

পরিবেশের ওপর প্রভাব :  $\text{KMnO}_4$  এর গাঢ় জলীয় দ্রবণ পরিবেশের পানিতে মিশলে পানির DO মারাত্মকভাবে হ্রাস পায়। ফলে মাছসহ অন্যান্য জলজ প্রাণীর বেঁচে থাকা কষ্টকর হয়।  $\text{KMnO}_4$  মাটির অণুবীজ ধ্বংস করে, ফলে মাটির উর্বরা শক্তি হ্রাস পায়।

মতামত : উপরোক্ত আলোচনা হতে সুস্পষ্ট হলো যে, উদ্দীপকভিত্তিক রাসায়নিক পদার্থসমূহের অপরিমিত ব্যবহার মানব স্বাস্থ্য ও পরিবেশের ওপর ক্ষতিকর অবস্থা বা হুমকি সৃষ্টি করে থাকে।



## ১.১২ সেমিমাইক্রো ও মাইক্রো অ্যানালিটিক্যাল পদ্ধতি

### Semi-micro Analytical & Micro Analytical Methods

অজৈব ও জৈব পদার্থের গুণগত বিশ্লেষণে নমুনার বিভিন্ন পরিমাণ ব্যবহার করে পরীক্ষা কাজ সম্পন্ন করা যায়। ব্যবহৃত নমুনার পরিমাণের ওপর ভিত্তি করে গুণগত বিশ্লেষণকে তিন শ্রেণিতে ভাগ করা হয় :

১. ম্যাক্রো বিশ্লেষণ (Macro analysis)
২. সেমিমাইক্রো বিশ্লেষণ (Semi-micro analysis)
৩. মাইক্রো বিশ্লেষণ (Micro analysis)

**MCQ-1.5 :** কোন ল্যাবরেটরি বিকারকটি ক্ষয়কারক?  
(ক)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (খ)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (conc.)  
(গ)  $\text{NaCl}$  (ঘ)  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

(১) ম্যাক্রো বিশ্লেষণে এক একটি পরীক্ষায় নমুনা পদার্থের প্রায় 0.5 g থেকে 2.0 g কঠিন পদার্থ 20–30 mL দ্রবণ তৈরিতে ব্যবহৃত হয়। এতে দ্রবণসমূহের গড় আয়তন 25 mL থাকে। বর্তমানে আমাদের দেশে প্রায় সব উচ্চ মাধ্যমিক কলেজে এ পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়ে আসছে। এতে রাসায়নিক পদার্থের অপচয় ও পরিবেশে দূষণ ঘটছে।

(২) সেমিমাইক্রো বিশ্লেষণে এক একটি পরীক্ষায় নমুনা পদার্থের প্রায় 0.05 g থেকে 0.2 g অর্থাৎ 50 mg থেকে 200 mg কঠিন পদার্থ ব্যবহৃত হয়। দ্রবণের পরিমাণ 2 mL—4 mL হয়।

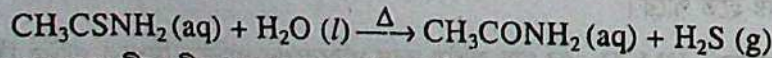
(৩) মাইক্রো বিশ্লেষণে এক একটি পরীক্ষায় নমুনা পদার্থের পরিমাণ 5 mg থেকে 20 mg বা তার কমও হতে পারে। দ্রবণের আয়তন 0.2 mL থেকে 1.0 mL করা হয়।

এসব পদ্ধতিতে মৌলিক কোনো পার্থক্য নেই। প্রধানত ব্যবহৃত নমুনার পরিমাণে পার্থক্য থাকে। এ কারণে ব্যবহৃত যন্ত্রপাতিতেও পার্থক্য থাকে। ব্যবহৃত নমুনা পদার্থের পরিমাণের ওপর ভিত্তি করে সেমি মাইক্রো পদ্ধতিকে সেন্টি-গ্রাম বিশ্লেষণ পদ্ধতি এবং মাইক্রো পদ্ধতিকে মিলি-গ্রাম বিশ্লেষণ পদ্ধতিও বলা হয়।

**(ক) সেমিমাইক্রো বিশ্লেষণ :** ম্যাক্রো ও সেমিমাইক্রো পদ্ধতিতে কিছু কিছু বিকল্প বিকারক ব্যবহৃত হয়। যেমন কপার লবণ ও জিংক লবণ-এর ক্ষারকীয় মূলক শনাক্তকরণে কিপ্‌য়ন থেকে  $\text{H}_2\text{S}$  গ্যাস ব্যবহৃত হয় ম্যাক্রো পদ্ধতিতে। সেমিমাইক্রো পদ্ধতিতে কিপ্‌য়নে প্রস্তুত করা  $\text{H}_2\text{S}$  এর পরিবর্তে থায়োঅ্যাসিট্যামাইড ( $\text{CH}_3\text{CSNH}_2$ ) ব্যবহৃত হয়। এটি দ্রবণের পানির সাথে বিক্রিয়া করে অল্প পরিমাণে  $\text{H}_2\text{S}$  উৎপন্ন করে।

সেমিমাইক্রো ও মাইক্রো পদ্ধতিতে খুব অল্প বস্তু ব্যবহৃত হয় বলে বিভিন্ন ভৌত প্রক্রিয়া যেমন পৃথকীকরণ, ধৌতকরণ প্রভৃতি দ্রুত সম্পন্ন হয়। এতে সময় কম লাগে। বিকারক কম ব্যবহৃত হওয়ায়, খরচও কম; এতে পরিবেশের ওপর প্রভাবও কম পড়ে। তবে এ সব পদ্ধতিতে ব্যবহৃত যন্ত্রপাতি দামি হয়; বিশেষত মাইক্রো পদ্ধতিতে ব্যবহৃত যন্ত্রপাতির দাম বেশি। বর্তমানে বিভিন্ন দেশে জৈব, অজৈব ও সাধারণ ভৌত রসায়নে সেমিমাইক্রো পদ্ধতির প্রসার লাভ করছে।

**সেমিমাইক্রো পদ্ধতি ব্যবহারের সুফল :** (১) সেমিমাইক্রো পদ্ধতিতে কম পরিমাণ বিকারকসমূহ প্রয়োজন হয়। বিকারকসমূহের দাম খুব বেশি। সুতরাং এ পদ্ধতি ব্যবহারে শিক্ষা প্রতিষ্ঠানসমূহের অনেক টাকা সাশ্রয় হবে; যার ফলে অধিক সংখ্যক পিরিয়ডে ছাত্র-ছাত্রীদের ব্যবহারিক ক্লাস নেয়া সম্ভব হবে। (২) এছাড়া এ পদ্ধতিতে পরীক্ষণ কাজ কম সময়ে শেষ হয়। (৩) সেমিমাইক্রো পদ্ধতিতে বিকারক হিসেবে সরাসরি বিষাক্ত  $\text{H}_2\text{S}$  গ্যাস ব্যবহার না করে এর পরিবর্তে থায়ো অ্যাসিট্যামাইড ( $\text{CH}_3\text{CSNH}_2$ ) পরীক্ষাধীন দ্রবণে ব্যবহৃত হয়। এটি গরম পানির সাথে বিক্রিয়া করে দ্রবণে  $\text{H}_2\text{S}$  উৎপন্ন করে; যার প্রায় সম্পূর্ণ অংশ দ্রবণে থেকে যায় বা বিক্রিয়া করে। ফলে আবহাওয়া  $\text{H}_2\text{S}$  দ্বারা দূষিত হয় না।



এ বিক্রিয়াটি কক্ষতাপমাত্রায় ধীরে ধীরে সম্পন্ন হয়; তাই দ্রবণটিকে ব্যবহারের সময় উত্তপ্ত করতে হয়। এর ফলে কিপ্‌য়নে তৈরি  $\text{H}_2\text{S}$  গ্যাসে ল্যাবরেটরিতে যে দুর্গন্ধ ছড়ায় তা থেকে মুক্তি পাওয়া সম্ভব। এ সব কারণে বর্তমানে সকল উচ্চ মাধ্যমিক কলেজে সেমিমাইক্রো অ্যানালিটিক্যাল পদ্ধতিতে পরীক্ষণ কাজ সম্পাদনের সুপারিশ করা হচ্ছে।

**(খ) মাইক্রো অ্যানালিটিক্যাল পদ্ধতি :** মাইক্রো পদ্ধতি সবচেয়ে আধুনিক; তবে এতে বিশেষ ধরনের দামি যন্ত্রপাতি প্রয়োজন হয়। মাইক্রো পদ্ধতিতে ব্যবহৃত কাচ সামগ্রীর যথাযথ ডিজাইন করে রূপান্তর করা হয়। এর উদ্দেশ্য হলো, কম ব্যয়, কম রাসায়নিক পদার্থের ব্যবহার ও কম দূষণ।



**মাইক্রো পদ্ধতির যন্ত্রপাতি :** মাইক্রো বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে ব্যবহৃত কাচ ও প্লাস্টিকের যন্ত্রপাতির মধ্যে মাইক্রো কনিকেল ফ্লাস্ক, মাইক্রো বিকার, মাইক্রো প্লাটিনাম ক্রুসিবল, মাইক্রো প্লাটিনাম স্প্যাচুলা, ইলেকট্রনিক ডিজিটাল ব্যালেন্স, ক্যাপিলারি গলনাস্ক নির্ণয় যন্ত্র ইত্যাদি রয়েছে।

এছাড়া মাইক্রো পদ্ধতিতে যৌগের পৃথকীকরণ, পরিমাণগত বিশ্লেষণ ও গাঠনিক কাঠামো নির্ণয়ে ব্যবহৃত উচ্চ ক্ষমতাসম্পন্ন যন্ত্রপাতি হলো :

- (১) ক্রোমাটোগ্রাফিতে : HPLC (high performance liquid chromatography), GLPC (gel permeation liquid chromatography)
- (২) স্পেকট্রোমেট্রিতে : IR, UV-Vis, NMR, Fluorescence, Mass Spectrum.
- (৩) থার্মো অ্যানালাইসিসে : DSC (differential scanning calorimeter).
- (৪) পারমাণবিক শোষণ বর্ণালিতে : AAS (atomic absorption spectroscopy)
- (৫) X-ray-ব্যতিচার যন্ত্র : X-ray diffraction.

এসব উচ্চ ক্ষমতাসম্পন্ন যন্ত্রপাতিতে ম্যাক্রো পদ্ধতির তুলনায় ব্যবহৃত নমুনার পরিমাণ 10—100 ভাগ কম হয়। যেমন জৈব যৌগের গাঠনিক কাঠামো নির্ণয় পরীক্ষাসমূহ IR, NMR, UV-Vis ইত্যাদিতে 1 mL এর কম নমুনা ব্যবহৃত হয়। তবে এসব পদ্ধতিতে নমুনার ওজন ও আয়তন পরিমাপ দক্ষতার ওপর নির্ভর করে।

তাই বাংলাদেশের সব সাধারণ স্কুল-কলেজে এ পদ্ধতি অবলম্বন করা সম্ভব নয়। এ পদ্ধতি বিশ্ববিদ্যালয়ে উচ্চতর শ্রেণিতে ব্যবহৃত হয়।

### ১.১২.১ সেমিমাইক্রো পদ্ধতিতে ব্যবহৃত যন্ত্রপাতি Apparatus Used in Semimicro Method

সেমিমাইক্রো পদ্ধতিতে নিম্নোক্ত যন্ত্রপাতি ও কৌশলসমূহ ব্যবহৃত হয় :

**MCQ-1.6 :** সেমিমাইক্রো পদ্ধতিতে ব্যবহৃত নমুনার পরিমাণ কোনটি নয়?  
(ক) 60 mg (খ) 160 mg  
(গ) 200 mg (ঘ) 250 mg

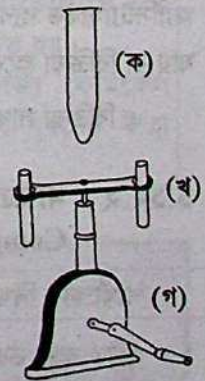
(১) সেমিমাইক্রো টেস্টটিউব (Semi Micro test tube) : সেমিমাইক্রো বিশ্লেষণের জন্য 4 সিসি আয়তনের (75 × 10 মিমি) বা 8 সিসি আয়তনের (100 × 12 মিমি) পাইরেক্স টেস্টটিউব ব্যবহার করা হয়। [চিত্র-(ক)]

(২) সেন্ট্রিফিউজ টিউব (Centrifuge tube) : কোনো অধঃক্ষেপকে এর শেষ দ্রবণ হতে Centrifugation দ্বারা আলাদাকরণের জন্য 3 সিসি আয়তনের (76 × 11 মিমি) ক্রমশ সরু তলাবিশিষ্ট (Tapered bottom) টেস্টটিউব ব্যবহার করা সুবিধাজনক। [চিত্র-(খ)]

(৩) সেন্ট্রিফিউজ যন্ত্র (Centrifuge Machine) : সেমিমাইক্রো পদ্ধতিতে হস্ত এবং বিদ্যুৎ চালিত দুই ধরনের সেন্ট্রিফিউজ যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। কেন্দ্রাতিগ বল (Centrifugal force) প্রয়োগ করে এটি দ্বারা অধঃক্ষেপকে তার শেষ দ্রবণ হতে আলাদা করা যায়। পরীক্ষণীয় বস্তুসহ টেস্টটিউব একদিকের বাকেটে (bucket) এবং একই আয়তনের আর একটি টেস্টটিউবে পরীক্ষণীয় বস্তুর সমওজনের পানি নিয়ে একে অপর দিকের Bucket-এ রেখে সেন্ট্রিফিউজ যন্ত্রকে হ্যান্ডেলের সাহায্যে ঘুরাতে হয়। কিছুক্ষণ ঘুরানোর পর সম্পূর্ণ অধঃক্ষেপই টেস্টটিউবের তলায় জমা হয়। ফিল্টার কাগজের

সাহায্যে ছাঁকন প্রণালির পরিবর্তে সেন্ট্রিফিউজ দ্বারা একইভাবে অধঃক্ষেপকে এর শেষ দ্রবণ হতে অতি সহজে এবং খুব অল্প সময়ে আলাদা করা যায়। [চিত্র-(গ)]

(৪) ড্রপিং টিউব (Dropping tube) : 5 মিমি ব্যাসের 20 সেন্টিমিটার দীর্ঘ একটি কাচ নলের নিচের অংশকে তাপ প্রয়োগে নরম করে টেনে সরু করা হয় এবং ঠাণ্ডা হলে সরু অংশের সুবিধামতো স্থানে কেটে তাকে ড্রপিং টিউব নল হিসেবে ব্যবহার করা যায়।





(৫) **বিকারক ড্রপার (Reagent dropper)** : বিকারক নেয়ার জন্য বিভিন্ন আকারের (size) বিকারক ড্রপার (Reagent dropper) ব্যবহার করা হয়। এরূপ ড্রপারের সাহায্যে বিকারক বোতল থেকে বিকারকের দ্রবণ বা তরল বিকারককে পরীক্ষণীয় বস্তুতে স্থানান্তর করা হয়। [চিত্র-(ঘ)]

(৬) **বিকারক বোতল (Reagent bottles)** : সেমিমাইক্রো বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে 30 mL বা, 60 mL অথবা কখনো কখনো 125 mL আয়তনের বিন্দুপাতী নলযুক্ত বিকারক বোতল বা, ড্রপিং বিকারক বোতল (Dropping reagent bottle) ব্যবহার করা যায়। এ পদ্ধতি খুবই সুবিধাজনক। [চিত্র-(ঙ)]

(৭) **স্প্যাচুলা (Spatula)** : কঠিন বিকারক বা অধঃক্ষেপ স্থানান্তরের জন্য সাধারণত 12 cm লম্বা ক্ষুদ্রাকৃতির নিকেলের তৈরি স্প্যাচুলা (spatula) ব্যবহার করা হয়। [চিত্র-(চ)]

(৮) **দ্রবণ স্থানান্তর (Transfer of solutions)** : সেমিমাইক্রো পদ্ধতিতে ড্রপিং টিউবের (Dropping tube) সাহায্যে এক টেস্টটিউব হতে অন্য টেস্টটিউবে দ্রবণ বা অমিশ্রণীয় দুটি তরলের সমাবেশ থেকে ওপরের তরলটিকে অর্থাৎ সুপারন্যাটেন্ট তরল (supernatent liquid)-কে সহজেই স্থানান্তর করা হয়। [চিত্র-(ছ)]

(৯) **পানিগাহ (Water bath)** : সেমিমাইক্রো বিশ্লেষণের জন্য একটি 250 mL বিকারে অর্ধেকের বেশি পানি নিয়ে তা ফুটিয়ে পানিগাহ (water bath) তৈরি করা হয়। এরূপ পানিগাহের ফুটন্ত পানিতে দ্রবণসহ টেস্টটিউবকে প্রায় অর্ধেক পর্যন্ত ডুবিয়ে রেখে তাপ দেয়া যায়।

(১০) **বাস্পীভবন (Evaporation)** : দ্রবণসহ কোনো সেমিমাইক্রো বা ছোট টেস্টটিউবকে বুনসেন দীপে ঘুরিয়ে ঘুরিয়ে বা পানিগাহের ফুটন্ত পানিতে টেস্টটিউবের প্রায় অর্ধেকটা ডুবিয়ে দ্রবণের বাস্পীভবন (Evaporation) দ্বারা তার আয়তন কমানো যায় বা অবশেষকে (Residue) শুষ্ক করা যায়।

(১১) **H<sub>2</sub>S এর বিকল্প** : সেমিমাইক্রো পদ্ধতিতে অজৈব লবণের গুণগত বিশ্লেষণে H<sub>2</sub>S গ্যাসের পরিবর্তে থায়ো অ্যাসিট্যামাইড ব্যবহৃত হয়। এটি গরম পানির সাথে বিক্রিয়া করে দ্রবণে H<sub>2</sub>S উৎপন্ন করে, এর সম্পূর্ণ অংশ দ্রবণে থেকে যায় বা বিক্রিয়া করে। ফলে, পরিবেশ দূষিত হয় না।  $\text{CH}_3\text{CSNH}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CH}_3\text{CONH}_2 + \text{H}_2\text{S}$   
এ বিক্রিয়া সাধারণ তাপমাত্রায় খুব ধীরগতিতে সম্পন্ন হয় বলে ব্যবহারের সময় দ্রবণকে উত্তপ্ত করতে হয়।

### ১.১২.২ ম্যাক্রো ও সেমিমাইক্রো বিশ্লেষণের মধ্যে তুলনা

#### Comparison between Macro and Semi Micro Analysis

পার্থক্যের বিষয়	ম্যাক্রো বিশ্লেষণ	সেমিমাইক্রো বিশ্লেষণ
১। গৃহীত বস্তুর ভর :	১। 0.5 g থেকে 2.0 g বস্তু ব্যবহৃত হয়।	১। 50 mg থেকে 200 mg বস্তু ব্যবহৃত হয়।
২। দ্রবণের আয়তন :	২। 20 mL – 30 mL দ্রবণ বিশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়।	২। 2 mL – 4 mL দ্রবণ বিশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়।
৩। তরল পরিমাপ যন্ত্র :	৩। মেজারিং সিলিন্ডার।	৩। সেমিমাইক্রো ক্যাপিলারি টিউব।



## ল্যাবরেটরির নিরাপদ ব্যবহার

৫৩

পার্থক্যের বিষয়	ম্যাক্রো বিশ্লেষণ	সেমিমাইক্রো বিশ্লেষণ
৪। ব্যবহৃত H <sub>2</sub> S এর উৎস :	৪। কিপযন্ত্রে FeS ও লঘু H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> থেকে উৎপন্ন ও জমা H <sub>2</sub> S ব্যবহৃত হয়।	৪। থায়ো অ্যাসিট্যামাইড (CH <sub>3</sub> CSNH <sub>2</sub> ) থেকে বিক্রিয়া পরিবেশ H <sub>2</sub> S উৎপন্ন ও ব্যবহৃত হয়।
৫। পরিবেশের ওপর প্রভাব :	৫। ম্যাক্রো পদ্ধতিতে বর্জ্য কেমিকেল বেশি হওয়ায় পরিবেশে অধিক ক্ষতিকর প্রভাব পড়ে।	৫। সেমিমাইক্রো পদ্ধতিতে বর্জ্য কেমিকেল কম এবং H <sub>2</sub> S এক্ষেত্রে বাতাসে মিশে না। তাই পরিবেশ দূষণ কম হয়।
৬। পরীক্ষাকালীন সময় :	৬। ম্যাক্রো বিশ্লেষণে সময় বেশি লাগে।	৬। সেমিমাইক্রো বিশ্লেষণে সময় কম লাগে।

## ১.১২.৩ সেমিমাইক্রো ও মাইক্রো বিশ্লেষণের মধ্যে তুলনা

## Comparison between Semimicro and Micro Analysis

পার্থক্যের বিষয়	সেমিমাইক্রো বিশ্লেষণ	মাইক্রো বিশ্লেষণ
১। গৃহীত বস্তুর ভর :	১। 50 mg থেকে 200 mg বস্তু বিশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়।	১। 5 mg থেকে 20 mg বস্তু বিশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়।
২। দ্রবণের আয়তন :	২। 2 mL – 4 mL দ্রবণ বিশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়।	২। 0.2 mL – 1.0 mL দ্রবণ বিশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়।
৩। তরল পরিমাপ যন্ত্র :	৩। সেমিমাইক্রো কেপিলারি টিউব ব্যবহৃত হয়।	৩। মাইক্রো কেপিলারি টিউব ব্যবহৃত হয়।
৪। ব্যবহারের ক্ষেত্র :	৪। সেমিমাইক্রো বিশ্লেষণে সাধারণভাবে যৌগের পৃথকীকরণ, পরিমাণগত বিশ্লেষণ ও গাঠনিক কাঠামো নির্ণয় করা হয়।	৪। মাইক্রো বিশ্লেষণ সাধারণ অধঃক্ষেপণ পদ্ধতিসহ বেয়ার ল্যাঘার্ট সূত্রভিত্তিক উচ্চ ক্ষমতাসম্পন্ন ক্রোমাটোগ্রাফি ও স্পেকট্রোমেট্রিতে ব্যবহৃত হয়।
৫। পরিবেশের ওপর প্রভাব :	৫। সেমিমাইক্রো বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে বর্জ্য কেমিকেল কম। তাই পরিবেশ দূষণ কম হয়।	৫। মাইক্রো বিশ্লেষণে বর্জ্য কেমিকেল নগণ্য। তাই পরিবেশ দূষণের মাত্রা নগণ্য।

শিক্ষার্থীর কাজ-১.১১ : ম্যাক্রো, সেমিমাইক্রো ও মাইক্রো পদ্ধতিভিত্তিক :

প্রশ্ন-১.১৫ : ম্যাক্রো ও সেমিমাইক্রো পদ্ধতির বিশ্লেষণের তুলনামূলক আলোচনা কর।

প্রশ্ন-১.১৬ : সেমিমাইক্রো ও মাইক্রো পদ্ধতির বিশ্লেষণের তুলনামূলক সুবিধা ও অসুবিধাসমূহ আলোচনা কর।

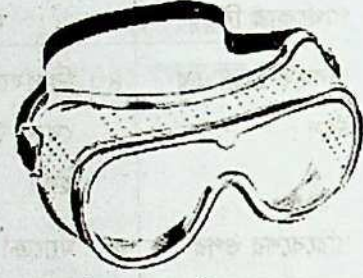
## ১.১৩ ল্যাবরেটরি নিরাপত্তা সামগ্রী ও ব্যবহার বিধি

## Lab Safety Equipments &amp; How to Use them

ল্যাবরেটরিতে একই সাথে অনেক সহপাঠী কাজ করে। কাজের সময় নিজের নিরাপত্তার সাথে সাথে অন্যান্য সহপাঠীদের নিরাপত্তার বিষয়টিতেও সমান গুরুত্ব দিতে হবে। দুর্ঘটনা রোধে করণীয় হলো পূর্ণ সতর্কতা ও পর্যাপ্ত নিরাপত্তা। আর নিরাপত্তার জন্য প্রয়োজন ল্যাবরেটরিতে পর্যাপ্ত নিরাপত্তা সামগ্রী ও তার ব্যবহার সম্পর্কে সঠিক জ্ঞান। ল্যাবরেটরিতে বেশকিছু নিরাপত্তা সামগ্রী থাকা একান্তভাবেই অপরিহার্য। যেমন—



১। সেফটি গ্লাস বা গগলস্ : চোখ মানুষের অমূল্য সম্পদ। ল্যাবরেটরিতে বিভিন্ন রাসায়নিক উপাদানকে বার্নারে তাপ দেয়ার প্রয়োজন পড়ে। এ সময় নিজের বা অন্যের অসাবধানতার কারণে বিভিন্ন ক্ষতিকারক রাসায়নিক উপাদান এমনকি তীব্র এসিড বা ক্ষার ছিটকে গিয়ে চোখে মুখে পড়তে পারে। এতে চোখ চিরদিনের জন্য অন্ধ হয়ে যেতে পারে। চোখে সেফটি গ্লাস বা গগলস্ থাকলে এরূপ দুর্ঘটনার হাত থেকে অনেকটাই রক্ষা পাওয়া যায়।



চিত্র-১.২৪ : নিরাপদ গ্লাস

২। সেফটি গ্লাভস্ : ল্যাবরেটরিতে সেফটি গ্লাভস্ এর পর্যাণ্ড সরবরাহ নিশ্চিত করতে হবে। অনেক রাসায়নিক উপাদান আছে যা শুধু বিষাক্তই নয় দীর্ঘমেয়াদি শরীরের জন্য ক্ষতিকারক। এসব উপাদানকে কোনো অবস্থাতেই খালি হাতে ব্যবহার করা উচিত নয়। পরীক্ষানল বা অন্য কোনো যন্ত্র উত্তপ্ত করার সময় সেফটি গ্লাভস্ ব্যবহার করা উচিত। ভাঙা কাচের টুকরা, এসিডের বোতল বা ক্ষতিকর রাসায়নিক উপাদানের পাতকে হাতে সেফটি গ্লাভস্ পরে ব্যবহার করতে হয়।



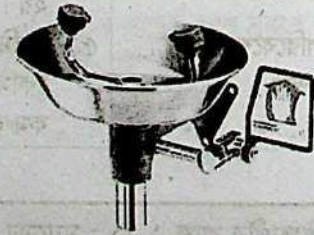
চিত্র-১.২৫ : হ্যান্ড গ্লাভস্

৩। ঝরণা : কেমিস্ট্রি ল্যাবরেটরির প্রধান সুরক্ষা হলো পানি। পরীক্ষাগারে পর্যাণ্ড পানির ব্যবস্থা এবং তা সরবরাহের ব্যবস্থা থাকতে হবে। এক্ষেত্রে ল্যাবরেটরিতে সুবিধাজনক স্থানে একাধিক ঝরণা রাখা দরকার। শরীরের কোনো স্থানে এসিড পড়লে বা অন্য কোনো ক্ষতিকারক রাসায়নিক বস্তু চামড়ার ওপর পড়লে কালবিলম্ব না করে সাথে সাথে ঝরণার নিচে দাঁড়িয়ে চাবি খুলে দিয়ে পর্যাণ্ড পানির প্রবাহে ধুয়ে ফেলতে হবে। পরিধেয় জামা কাপড়ে আগুন লাগলেও ঝরণার পানির নিচে দাঁড়িয়ে আগুন নেভানো যায়।



চিত্র-১.২৬ : ঝরণা

৪। নিরাপত্তা সাওয়ার ও আই ওয়াশ সাওয়ার (Safety showers and eye wash station) : একটি আদর্শ মানের কেমিস্ট্রি ল্যাবরেটরিতে Eye/Facewash নিরাপত্তা সাওয়ার থাকা খুবই প্রয়োজন। চোখে বা মুখের কোনো অংশে এসিড, ক্ষয়কারক বা বিষাক্ত কোনো রাসায়নিক বস্তু ছিটকে পড়লে সাথে সাথে নিরাপত্তা সাওয়ার ব্যবহার করতে হবে। এভাবে আই ওয়াশ সাওয়ারের সাহায্যে অনবরত পানি প্রবাহ চোখে মুখে দিতে হবে। এতে চোখের নরম টিস্যু ক্ষতি থেকে রক্ষা পায়।



চিত্র-১.২৭ : আই ওয়াশ সাওয়ার

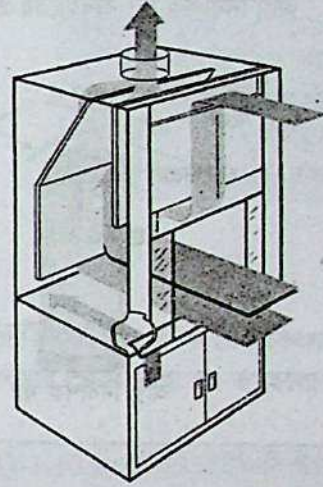
৫। পানি গাহ (Water Bath) : পানি গাহ বা ওয়াটার বাথ হলো তাপ দেয়ার যন্ত্র, যার কনটেইনারটি উত্তপ্ত পানি দ্বারা পূর্ণ থাকে। সাধারণত দীর্ঘসময় ধরে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় বিক্রিয়া ঘটানোর জন্য এটি ব্যবহৃত হয়। প্রতিটি পানি গাহে তাপমাত্রা নিয়ন্ত্রণের পূর্ণ ব্যবস্থা থাকে। প্রত্যাশিত তাপমাত্রা সেট করার জন্য এটি ডিজিটাল বা এনালগ পদ্ধতির হতে পারে। সব ওয়াটার বাথের সর্বোচ্চ তাপমাত্রা 99°C পর্যন্ত হয়ে থাকে। যন্ত্রের গায়ে একটি নির্দেশক বাব থাকে যার সাহায্যে পানির তাপমাত্রা নিয়ন্ত্রণ করা হয়ে থাকে।



চিত্র-১.২৮ : পানি গাহ



৬। ফিউম হুড (Fume hoods) : কেমিস্ট্রি ল্যাবরেটরিতে পরীক্ষা-পরীক্ষা করার সময় বিষাক্ত, ক্ষতিকর ও দুর্গন্ধ যুক্ত গ্যাস উৎপন্ন হয়। এরূপ পরীক্ষাগুলো ফিউম হুডের মধ্যে সম্পন্ন করা হয়। ফিউম হুডের সামনের দিকে কাচের স্লাইডিং দরজা থাকে, যাকে প্রয়োজনমতো ওপরে ওঠানো ও ওপর থেকে নিচে নামানো যায়। ফিউম হুডের ওপরিভাগে থাকে একটা বায়ু নল। বায়ু নলের সম্মুখ ভাগে থাকে একটি শক্তিশালী পাখা। এ পাখার সাহায্যেই উৎপন্ন সব ভারী ও হালকা গ্যাসকে ল্যাবরেটরির থেকে বাইরে অপসারণ করে দেয়া হয়। ফিউম হুডের বৈদ্যুতিক সুইচ অন করে একে সক্রিয় করা হয়। ফলে উৎপন্ন সব ধরনের বিষাক্ত-গ্যাস, ধোঁয়া ও অস্বাস্থ্যকর বায়ু ল্যাবরেটরির থেকে অপসারিত হয়। অতি গাঢ়  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$  ও  $HCl$  দ্রবণকে লঘু করার ক্ষেত্রে ফিউম হুড ব্যবহার করাই শ্রেয়। লিকার অ্যামোনিয়াকে লঘু করার ক্ষেত্রেও ফিউম হুড ব্যবহার করা উচিত। ফিউম হুডের কাজ শেষ হলে বৈদ্যুতিক সুইচ বন্ধ করার পর সামনের গ্লাস টেনে নিচে নামিয়ে প্রবেশপথ বন্ধ করে দিতে হয়।



চিত্র-১.২৯ : ফিউম হুড

### ১.১৩.১ ল্যাবরেটরিতে থাকা দাহ্য পদার্থের সতর্ক ব্যবহার

#### Careful Use of Flammable Substances

ল্যাবরেটরিতে দাহ্য পদার্থরূপে বিভিন্ন জৈব যৌগ, অজৈব জারক পদার্থ যেমন থাকে; তেমনি বুনসেন বার্নারের প্রাকৃতিক গ্যাস সাপ্লাই লাইন অথবা Bottle গ্যাস যেমন L.P.G সিলিন্ডারও থাকে। আবার পানির সংস্পর্শে বিক্রিয়ায় জ্বলে ওঠে এমন পদার্থ যেমন ধাতব সোডিয়াম, ধাতব হাইড্রাইড  $NaH$ ,  $LiAlH_4$  প্রভৃতি ল্যাবরেটরিতে থাকে। জৈব দ্রাবক যেমন- ইথার, পেট্রোলিয়াম ইথার, বেনজিন, মিথানল, ইথানল ও অ্যাসিটোন ইত্যাদি সরাসরি শিখায় উত্তপ্ত করতে নেই; কারণ তাতে আগুন ধরে যায়। উত্তপ্ত করার জন্য সরাসরি শিখার পরিবর্তে এক্ষেত্রে পানিগাহ (water bath), প্যারাফিন বাথ (oil bath) বা তাপ-ম্যান্টল (heating mantle) ব্যবহার করা বাঞ্ছনীয়। পানি ছাড়া প্রায় সকল দ্রাবকই দাহ্য পদার্থ- সহজে আগুন ধরে যায়। দাহ্য পদার্থ বায়ুর সাথে মিশে বিস্ফোরণ ঘটায়। তাই অগ্নি থেকে দূরত্ব রাখা অপ্রয়োজনীয় শিখা পরিহার করতে হবে। শিখা জ্বালাবার পূর্বে উদ্বায়ী দ্রাবকসমূহ নিরাপদ স্থানে রাখতে হবে।

সোডিয়াম ধাতুতে পানি লাগলে আগুন ধরে, তাই কাজ শেষে সোডিয়াম টুকরা কোনো সময় পানির সিক্কে না ফেলে তা কেরোসিন পাত্রে ডুবিয়ে রাখবে। লিথিয়াম অ্যালুমিনিয়াম হাইড্রাইড ( $LiAlH_4$ ) পানির সাথে প্রচণ্ড গতিতে বিক্রিয়া করে এবং আগুন ধরতে পারে। তাই এদের কাছে পানি নেবে না।

MCQ-1.7 : কোনটি শুষ্ককারকরূপে কাজ করে? [অভিন্ন বোর্ড ২০১৮]

(ক) $N_2O_5$	(খ) $P_2O_5$
(গ) $Cl_2O_5$	(ঘ) $V_2O_5$

### ১.১৩.২ ল্যাবরেটরিতে অগ্নি-নিরোধ ব্যবস্থা

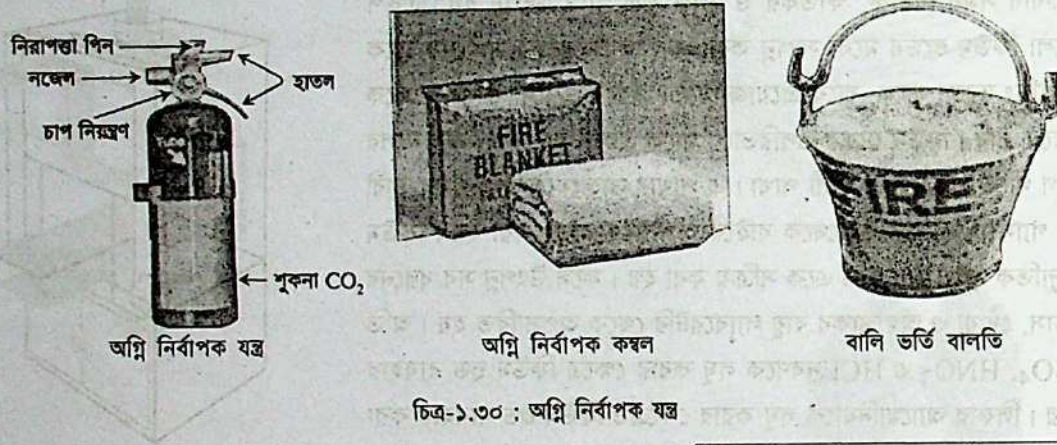
#### Fire-Fighting Arrangement in Lab

ল্যাবরেটরিতে অগ্নি-নিরোধক ব্যবস্থা রাখতে হবে এবং Fire-Extinguisher রক্ষণ ও ব্যবহার পদ্ধতি সংশ্লিষ্ট সকলকেই জানতে হবে। এছাড়া বালির বালতি ও অগ্নি নির্বাপক কন্সল ল্যাবরেটরির কোণায় সংরক্ষিত রাখবে।

(১) অগ্নি নির্বাপক (Fire extinguishers) : প্রতিটি ল্যাবরেটরিতে অগ্নি নির্বাপক যন্ত্র দেয়ালে আটকানো থাকে। ল্যাবরেটরিতে কাজ করার আগে এর অবস্থান এবং ব্যবহার সম্পর্কে উত্তম জ্ঞান থাকা আবশ্যিক। অগ্নি নির্বাপক যন্ত্রের পাশে এর ব্যবহার বিধি লিপিবদ্ধ থাকে।



অগ্নি নির্বাপক যন্ত্র ব্যবহারের প্রয়োজনীয়তা দেখা দিলে নিম্নোক্ত সাধারণ বিধিগুলো মনে রাখবে :



১. অগ্নিনির্বাপকের শীর্ষের পিনটি খুলে দাও।

২. অগ্নিনির্বাপককে প্রথমে আগুনের দিকে নিশানা কর।

৩. এরপর এটির হাতল বা হ্যান্ডলে চাপ দাও।

৪. আগুনের উৎপত্তিস্থলের ভেতর দিয়ে একপাশ থেকে আরেক পাশে স্প্রে করতে হবে। আগুন নেভানো হয়ে গেলে অগ্নিদগ্ধ স্থানটি ধুয়ে ফেলতে হবে।

প্রসঙ্গত উল্লেখ্য যে, অগ্নি নির্বাপক থেকে কোনো মানুষকে স্প্রে করা যাবে না। অগ্নি নির্বাপকের রাসায়নিক পদার্থ যেমন ভেতরের এসিড ও  $CO_2$  গ্যাস ক্ষতিকর হতে পারে।

(২) অগ্নি নির্বাপক কব্বল (Fire blanket) : অগ্নি নির্বাপকের পাশেই দেয়ালে একটি লেবেলকৃত বাস্ত্রে অগ্নি নির্বাপক কব্বল রাখা হয়। কাপড়-চোপড়ে আগুন লেগে গেলে কব্বলটি ব্যবহার করতে হবে। কোনো ব্যক্তির গায়ে আগুন লাগলেও এটি ব্যবহার করা যেতে পারে।

(৩) বালিভর্তি বালতি : টেবিলে আগুন লেগে গেলে তাড়াতাড়ি বালিভর্তি বালতি থেকে বালি নিয়ে আগুনে ছিটিয়ে দিলে অল্পেই আগুন নিভে যায়।

\* আগুন লেগে গেলে করণীয়—

আগুন লাগার কারণ : দাহ্য জৈব পদার্থ থেকে অসাবধানতাবশত পরীক্ষাগারে আগুন লাগতে পারে। আগুন নেভানোর জন্য তাড়াতাড়ি অগ্নি নির্বাপক যন্ত্র ও বালিভর্তি বালতি ব্যবহার করতে হবে। আগুনের কাছ থেকে দ্রাবকসহ অন্যান্য বিকারক দূরে সরাতে হবে। কারও শরীরে আগুন লাগলে কাপড় খুলে ফেলতে হবে এবং আক্রান্ত ব্যক্তিকে একটা কব্বল দিয়ে জড়িয়ে ধরতে হবে এবং দ্রুত চিকিৎসকের সাহায্য নিতে হবে। Never turn a carbon dioxide extinguisher on a person.

(৪) বিকারকের আগুন লাগা : সব বার্নার বা শিখা নেভাতে হবে এবং দাহ্য দ্রব্যাদিসহ দ্রাবকসমূহ নিরাপদ স্থানে সরাতে হবে। ছোট ফ্লাস্কে ও বিকারে আগুন লাগলে অ্যাসবেসটস-ওয়্যার গজ দিয়ে অথবা বড় বিকার বা ওয়াচ গ্লাস দিয়ে ঢেকে আগুন নেভানো যায়। শিখার গোড়ার দিকে কার্বন-ডাইঅক্সাইড অগ্নিনির্বাপক ব্যবহার করতে হবে। কিন্তু পানি ব্যবহার করা যাবে না।

টিপস : দুর্ঘটনা মোকাবিলা ও সতর্কতামূলক ব্যবস্থা হিসেবে খোঁজ নাও বিদ্যুতের মেইন সুইচ, গ্যাস বন্ধ করার ভাল্ব, কব্বল বা ছালা জাতীয় কাপড়, অগ্নি নির্বাপক যন্ত্র বা সিলিভার, ফাস্টএইড বক্স।

MCQ-1.8 : ব্যুরেট পরিষ্কার করতে কোন পরিষ্কারকটি ব্যবহৃত হয়?  
(ক) ডিটারজেন্ট (খ)  $Na_2CO_3$  দ্রবণ  
(গ)  $NaOH$  দ্রবণ (ঘ) ক্রোমিক এসিড



### ১.১৪ প্রাথমিক চিকিৎসা ও ফাস্ট-এইড বক্স ব্যবহার বিধি Primary Treatment and Use of First Aid Box

ল্যাবরেটরিতে কাজ করতে গিয়ে নিম্নোক্তভাবে আহত ও অসুস্থ হয়ে পড়তে পারে।  
যেমন-

- (১) গ্লাসসামগ্রী ব্যবহার করতে গিয়ে ত্বক কেটে গিয়ে রক্তপাত হওয়া;
- (২) রাসায়নিক পদার্থ ব্যবহার করতে গিয়ে মুখে, চোখে ও ত্বকে আক্রান্ত হওয়া;
- (৩) উত্তপ্ত গ্লাসসামগ্রীর সংস্পর্শে বা বার্নারের শিখায় ত্বক পুড়ে যাওয়া;
- (৪) পরীক্ষাগারে কোনো কারণে আগুন লাগা।

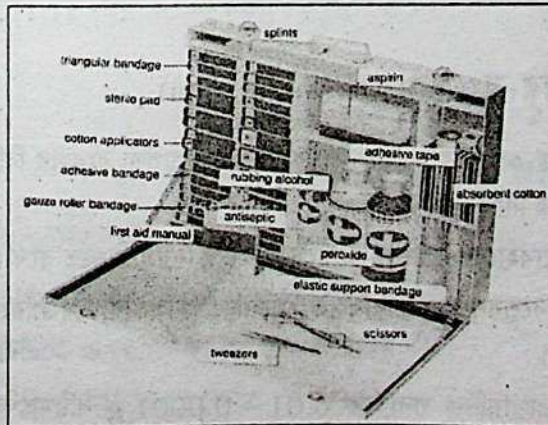
এ অবস্থায় দুর্ঘটনাজনিত আহত ছাত্র-ছাত্রীকে হসপিটালে বা ডাক্তারের সাহায্য পাওয়ার পূর্বে তাৎক্ষণিক যে চিকিৎসা দেয়া হয়; তাকে প্রাথমিক চিকিৎসা ব্যবস্থা বলা হয়। এজন্য ল্যাবরেটরিতে যে চিকিৎসা ব্যবস্থার প্রস্তুতি রাখা হয় তা হলো First Aid Kit বা First Aid Box।



চিত্র-১.৩১ : First Aid Box-

First Aid Box-এ নিম্নলিখিত সামগ্রী ও ওষুধপত্র ব্যবহার বিধিসহ থাকে।

(৫) ল্যাবরেটরি কিট : ল্যাবরেটরিতে ফাস্ট এইড বক্সে ল্যাবরেটরি কিট হিসেবে ব্যান্ডেজ কাপড়, ব্রেড, তুলা, ফরসেফ সেট, লিউকোটোপ ইত্যাদি সংরক্ষণ করে রাখা হয়। ওষুধ হিসেবে ডেটল, rubbing alcohol বা 70% আইসো প্রোপাইল অ্যালকোহল, বার্নল ক্রিম, টিংচার আয়োডিন রাখা হয়। ফাস্ট এইড বক্সকে ল্যাবরেটরির দেয়ালের এমন স্থানে রাখতে হয় যাতে করে তাৎক্ষণিকভাবে তাকে ব্যবহার করা যায়।



চিত্র-১.৩২ : First Aid Box-এ থাকা সামগ্রী।

**MCQ-1.9 :** ক্রোমিক এসিড দ্বারা ব্যুরেট পরিষ্কার করতে কিরূপ বিক্রিয়া ঘটে?  
(ক) জারণ (খ) বিজারণ  
(গ) প্রতিস্থাপন (ঘ) প্রশমন

**MCQ-1.10 :** কোনটি প্রাইমারি স্ট্যান্ডার্ড পদার্থ? [য. বো. ২০১৫]  
(ক)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (খ)  $\text{HCl}$   
(গ)  $\text{NaOH}$  (ঘ)  $\text{KMnO}_4$

**MCQ-1.11 :** 0.1M দ্রবণ থেকে নির্দিষ্ট আয়তনের 0.01M দ্রবণ তৈরিতে নিচের কোন সেটটি ব্যবহারে সবচেয়ে বেশি উপযুক্ত?  
(ক) পিপেট ও বিকার  
(খ) পিপেট ও আয়তনিক ফ্লাস্ক  
(গ) মেজারিং সিলিন্ডার ও আয়তনিক ফ্লাস্ক  
(ঘ) ব্যুরেট ও বিকার

**MCQ-1.12 :** কোনটি রঙিন আয়ন দেয়? [য. বো. ২০১৫]  
(ক)  $\text{Cu}_2\text{Cl}_2$  (খ)  $\text{CoCl}_2$   
(গ)  $\text{ScCl}_3$  (ঘ)  $\text{MgCl}_2$

**জেনে নাও :** (১) ফাস্ট এইড বক্সে ব্যান্ডেজ কাপড়, ব্রেড, তুলা, ফরসেফ সেট ও লিউকোটোপ ইত্যাদি।  
(২) ওষুধ হিসেবে রাখা হয় অ্যান্টিসেপটিক, ডেটল, বার্নল ক্রিম ও টিংচার আয়োডিন ইত্যাদি।



**আহত বা অসুস্থ ব্যক্তির প্রাথমিক চিকিৎসা প্রদান :**

(ক) তাপে বা রাসায়নিক পদার্থে পোড়া গেলে : আঙনে পোড়া জায়গায় প্রায় ১০-১৫ মিনিট ঠাণ্ডা পানি প্রয়োগ করতে হবে। এরপর বার্নল ক্রিম লাগিয়ে তুলা দিয়ে ব্যান্ডেজ করতে হবে। রাসায়নিক পদার্থে পুড়লে 'মৃদু পরিষ্কারক' এবং পানি দ্বারা ধৌত করতে হবে। কোনো প্রশম রাসায়নিক দ্রব্য কিংবা লোশন বা ক্রিম না লাগিয়ে ত্বরিত চিকিৎসকের সাহায্য নেয়া দরকার।

(খ) হাতে এসিড লাগলে সাথে সাথে পানি দিয়ে ধুয়ে ফেলে এবং পরে মৃদু পরিষ্কারকরূপে 5% NaHCO<sub>3</sub> দ্রবণ দিয়ে ভালোভাবে ধুয়ে ফেলতে হবে। শেষে First Aid Box থেকে অ্যান্টিসেপটিক বার্ন লোশন যেমন, বার্নল ক্রিম লাগানো যেতে পারে।

(গ) ক্ষার দ্রবণ চোখে পড়লে প্রচুর পানি দিয়ে চোখ ধুয়ে শেষে 5% বোরিক এসিড (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) দ্রবণ দিতে হবে। চোখ ধোয়ার ১৫ মিনিটের মধ্যে ডাক্তারের শরণাপন্ন হওয়া উচিত।

(ঘ) কেটে যাওয়া ঘটলে : ভাঙা কাচের টুকরায় কেটে গেলে কাচের টুকরা বের করে চেপে ধরে রক্ত পড়া বন্ধ করতে হবে। পরে ডেটল মিশ্রিত পানি দিয়ে ধুয়ে কেটে যাওয়া স্থানে ব্যান্ডেজসহ টিংচার আয়োডিন ব্যবহার করা যেতে পারে। তবে উত্তম হবে ডাক্তারের সাহায্য নেয়া।

(ঙ) বিষক্রিয়া ঘটলে : অনতিবিলম্বে হাসপাতালের শরণাপন্ন হওয়া উচিত।

MCQ-1.13 : ল্যাবরেটরিতে কাচের যন্ত্রপাতি পরিষ্কারে ব্যবহৃত হয়— [অভিনু বোর্ড ২০১৮]

(i) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ii) K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (iii) CHCl<sub>3</sub>

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i, ii (খ) ii, iii

(গ) i, iii (ঘ) i, ii ও iii

**প্রাথমিক চিকিৎসা প্রদানের তিনটি লক্ষ হলো :**

(১) জীবন রক্ষা (Preserve Life) : প্রতিটি প্রাথমিক মেডিকেল সহায়তার প্রধান লক্ষ্যই হচ্ছে আক্রান্ত ব্যক্তির জীবন রক্ষা করা।

(২) অধিকতর ক্ষতির আশঙ্কা নিরোধ (Prevent Further harm) : এ প্রক্রিয়ায় আক্রান্ত ব্যক্তির অবস্থার যাতে অবনতি না ঘটে সে ব্যবস্থা গ্রহণ করা হয়। এতে বাহ্যিক ফ্যাক্টর বিবেচনা করে আক্রান্ত ব্যক্তিকে অন্যত্র সরিয়ে ক্ষতির হাত থেকে রক্ষা করা হয় এবং প্রাথমিক চিকিৎসা সহায়তা কৌশলগুলো প্রয়োগ করে বিপজ্জনক রক্তপাত থেকে রক্ষা করা।

(৩) নিরাময় উন্নীতকরণ (Promote recovery) : আক্রান্ত ব্যক্তিকে ফাস্ট এইড প্রক্রিয়ায় আনয়ন করে অসুস্থতা অথবা আঘাত থেকে নিরাময় করার চেষ্টা করা হয়। যেমন, ক্ষতিগ্রস্ত স্থানে প্রাণের লাগানো।

প্রাথমিক চিকিৎসা সহায়তা প্রশিক্ষণের সাথে যে তিনটি বিষয় সংশ্লিষ্ট থাকে তাহলো- প্রাথমিক আঘাতের নিরোধ, আক্রান্ত ব্যক্তির নিরাপত্তা এবং চিকিৎসা পর্ব।

MCQ-1.14 : দ্রাবকরূপে CHCl<sub>3</sub> এর পরিবর্তে কোনটি ব্যবহৃত হয়?

[মাদ্রাসা বোর্ড ২০১৮]

(ক) CCl<sub>4</sub> (খ) C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>

(গ) C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> (ঘ) C<sub>6</sub>H<sub>4</sub> (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>

**এ অধ্যায়ের সার-সংক্ষেপ (Recapitulation)**

★ ল্যাবরেটরি নিরাপত্তা বিধি : ল্যাবরেটরিতে কাজ করার আগে ল্যাবরেটরির নিরাপত্তা ব্যবহার বিধি মেনে অ্যাপ্রন গগলস, প্রয়োজনমতো গ্লাভস ও মাস্ক, পায়ে জুতা পরে নিতে হবে।

★ গ্লাসসামগ্রী ব্যবহার কৌশল : গ্লাসসামগ্রী ব্যবহারের কৌশল ও পরিষ্কার করার নিয়ম শিখতে হবে।

★ আয়তনিক বিশ্লেষণ কাজ : আয়তনিক বিশ্লেষণ কাজে ব্যবহৃত মেজারিং সিলিভার, মেজারিং ফ্লাস্ক, পিপেট, ব্যুরেট, কনিকেল ফ্লাস্ক-এর ব্যবহার শিখে নিতে হবে।

★ কেমিক্যাল ব্যালেন্স : মাত্রিক বিশ্লেষণে রাসায়নিক পদার্থকে 0.01 - 0.0001 g পরিমাপের জন্য উপযুক্ত নিক্তিকে কেমিক্যাল ব্যালেন্স বলে। পল বুঙ্গি ব্যালেন্স ও ডিজিটাল ব্যালেন্স এ শ্রেণির ব্যালেন্স।



★ বুনসেন বার্নার ব্যবহার : ল্যাবরেটরিতে সব সময় বুনসেন বার্নারের অনুজ্জ্বল শিখা ব্যবহার করতে হয়। বার্নারের air hole বা বায়ু ছিদ্র পথ খোলা রেখে এ শিখা ব্যবহার করা হয়।

★ তাপ দেয়ার কৌশল : গোলতলি ফ্লাস্ক, কনিকেল ফ্লাস্ক, পোসেলিন বেসিন ও ওয়াটার বাথে তাপ দেয়ার কৌশল ও যন্ত্রপাতি ব্যবহার ভিন্ন।

★ বিকারক বা রিএজেন্ট (reagent) : যে সব রাসায়নিক পদার্থ ল্যাবরেটরিতে কোনো রাসায়নিক পদার্থ শনাক্তকরণে কঠিন বস্তু বা দ্রবণ হিসেবে ব্যবহৃত হয়, তাদেরকে বিকারক বা রিএজেন্ট বলা হয়। বিকারকসমূহ এসিড, ক্ষার, জারক, বিজারক, ধাতব মৌল যে কোনো রাসায়নিক পদার্থ হতে পারে।

★ ল্যাবরেটরি পরিষ্কার করা : পরীক্ষা কাজ শেষে, বার্নারের গ্যাস সাপ্লাই বন্ধ করে, বর্জ্য পদার্থ সঠিক স্থানে ফেলে, কাজের টেবিল পরিষ্কার করে ল্যাবরেটরি ত্যাগ করতে হবে।

★ হাজার্ড সিম্বল (Hazard Symbols) : বিপজ্জনক রাসায়নিক দ্রব্যের সুনির্দিষ্ট সতর্কীকরণ প্রতীকী চিত্রকে হাজার্ড সিম্বল বলে। আন্তর্জাতিকভাবে স্বীকৃত রাসায়নিক পদার্থের জন্য হাজার্ড সিম্বল হলো ১০টি। রাসায়নিক দ্রব্য উৎপাদনকারী প্রতিষ্ঠান BDH, E.Mark, Aldrich তাদের প্রস্তুতকৃত রাসায়নিক দ্রব্যের বোতলের লেবেলে সংশ্লিষ্ট হাজার্ড সিম্বল ব্যবহার করে থাকে। রাসায়নিক দ্রব্যের প্যাকেট খোলার আগে হাজার্ড সিম্বল দেখে সতর্ক হতে হয়।

★ সেমিমাইক্রো ও মাইক্রো বিশ্লেষণ (Semimicro and Micro analysis) : যে বিশ্লেষণীয় পরীক্ষায় নমুনা পদার্থের প্রায় 50 mg থেকে 200 mg কঠিন পদার্থ অথবা দ্রবণের পরিমাণ 2 mL—4 mL ব্যবহার করা হয়, তাকে সেমিমাইক্রো বিশ্লেষণ বলা হয়। অপরদিকে যে বিশ্লেষণীয় প্রক্রিয়ায় 5 mg থেকে 20 mg কঠিন নমুনা বস্তু ব্যবহার করা হয়, দ্রবণের আয়তন 0.2 mL থেকে 1.0 mL হয়, তাকে মাইক্রো বিশ্লেষণ প্রক্রিয়া বলা হয়।

★ ফাস্ট এইড বক্স (First Aid Box) : ল্যাবরেটরিতে দুর্ঘটনাজনিত আহত ব্যক্তিকে তাৎক্ষণিকভাবে যে চিকিৎসা দেয়া হয়, তাকে প্রাথমিক চিকিৎসা বলা হয়। এজন্য ল্যাবরেটরিতে যে চিকিৎসা ব্যবস্থার সামগ্রী প্রস্তুত রাখা হয়, তাকে ফাস্ট এইড বক্স (First Aid Box) বলা হয়।

MCQ-এর উত্তরমালা :

1.1 (ঘ), 1.2 (ঘ), 1.3 (খ), 1.4 (ক), 1.5 (খ), 1.6 (ঘ), 1.7 (খ), 1.8 (ঘ), 1.9 (ক), 1.10 (ক), 1.11 (গ), 1.12 (খ), 1.13 (ক), 1.14 (খ)।

### অনুশীলনী-১

ক-বিভাগ : জ্ঞানসত্তরভিত্তিক প্রশ্নাবলি (এক নজরে)

(১) ল্যাবরেটরি বিধি :

- ১। ল্যাবরেটরিতে অ্যাপ্রন পরিধান করা হয় কেন?
- ২। ল্যাবরেটরিতে চোখে গগলস্ ব্যবহারে প্রয়োজন কী?
- ৩। ল্যাবরেটরিতে হ্যান্ড গ্লাভস পরতে হয় কেন?
- ৪। জিটেক্স গ্লাভস কী?

[ঢা. বো. ২০১৫]





আরো দেখুন

প্রতিদিনের চাকুরীর মার্কুলার পেতে [এখানে ক্লিক করুন](#)

প্রতি মাসের কারেন্ট অ্যাফেয়ার্স পিডিএফ [এখানে ক্লিক করুন](#)

চাকুরীর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

বিসিএম এর প্রয়োজনীয় পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

প্রতি সপ্তাহের চাকুরী পত্রিকা ডাউনলোড [এখানে ক্লিক করুন](#)

সকল নিয়োগ পরীক্ষার প্রশ্ন সমাধান [এখানে ক্লিক করুন](#)

**বিডিনিয়োগ.কম দেশের মেরা পিডিএফ কালেকশন**

SSC এর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

HSC এর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

বিশ্ববিদ্যালয় ভর্তির সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

সকল ধরনের **মাজেশন** ডাউনলোড [এখানে ক্লিক করুন](#)





তত্ত্বীয় আলোচনা = ২২
শ্রেণি কর্মকাণ্ড = ১০
মোট পিরিয়ড = ৩২

## দ্বিতীয় অধ্যায়

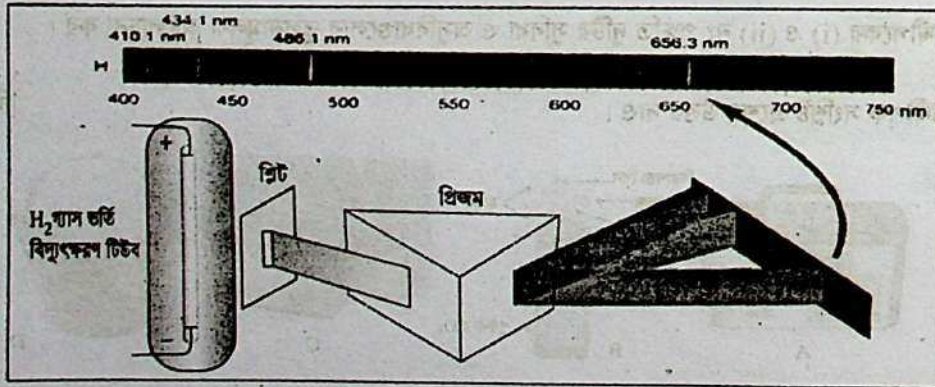
## গুণগত রসায়ন

## Qualitative Chemistry

## ভূমিকা (Introduction)

এ বিশ্ব প্রকৃতি বিজ্ঞানীদের কাছে দু'ভাগে বিভক্ত, যেমন পদার্থ (matter) ও বিকীর্ণ শক্তি (radiant energy)। সব পদার্থের গঠনে রয়েছে বিভিন্ন প্রকারের মৌলের পরমাণু। পরমাণুর গঠনে রয়েছে কিছু মূল কণিকা। এ সব কণিকার আবিষ্কার, শনাক্তকরণ ও পরমাণুতে এদের বিন্যাস প্রকরণ সম্বন্ধে পরীক্ষা-নিরীক্ষালব্ধ তথ্যের যুক্তিনির্ভর উপস্থাপন গুণগত রসায়নের অন্তর্ভুক্ত। পরমাণুর সাথে রয়েছে বিকীর্ণ শক্তির সম্পর্ক। আবার সব প্রকার বিকীর্ণ শক্তি হলো তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ রশ্মি, যার প্রধান উৎস হলো সূর্যের আলো। আলোক শক্তি-তরঙ্গ নিজে অদৃশ্য; কিন্তু যে আলোক-অংশ অন্য বস্তুকে দৃশ্যমান করে তাকে দৃশ্যমান আলো বলে। এছাড়াও অনেক অদৃশ্য আলো আছে; যেমন IR রশ্মি, UV রশ্মি, রেডিও-টেলিভিশন তরঙ্গ। এ সব তরঙ্গ রশ্মি আমরা বিভিন্নভাবে ব্যবহার করি। অনুরূপভাবে, বিভিন্ন পরমাণু তাপশক্তি দ্বারা উদ্দীপিত হয়ে বিভিন্ন প্রকার বর্ণালি সৃষ্টি করে, যা থেকে ঐ সব মৌলের শনাক্তকরণ সম্ভব হয়। অজৈব আয়নিক যৌগের মূলক শনাক্তকরণ ও সমযোজী জৈব যৌগের মিশ্রণ থেকে উপাদান যৌগ পৃথকীকরণ, বিশোধন প্রভৃতি রাসায়নিক ও ভৌত প্রক্রিয়া গুণগত রসায়নের অন্তর্ভুক্ত।

অধ্যায়ের প্রধান শব্দসমূহ (Key Words) : আলফা কণা, তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ, ফ্রিকুয়েন্সি ও হার্টজ (Hz), ফোটন, প্লাঙ্কের সমীকরণ, রেখা বর্ণালি, জিম্যান প্রভাব, বামার-রিডবার্গ সমীকরণ, কোয়ান্টাম সংখ্যা, অরবিটাল, নোড (node), পাউলির বর্জন নীতি, আউফবাউ নীতি, হুন্ডের নীতি, IR রশ্মি, Laser রশ্মি, UV রশ্মি, UV-Fluorescent ink, MRI পরীক্ষা, Flame Test, দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতার গুণফল, সম-আয়ন প্রভাব, কেলাসন, উর্ধ্বপাতন, পাতন, দ্রাবক নিষ্কাশন, ক্রোমাটোগ্রাফি।



শিখনফল : এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

১. পরমাণুর রাদারফোর্ড মডেল ও বোর মডেলের তুলনা করতে পারবে।
২. কোয়ান্টাম সংখ্যাভিত্তিক বিভিন্ন উপস্তর ও ইলেক্ট্রন ধারণ ক্ষমতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৩. কোয়ান্টাম উপস্তরের শক্তিক্রম ও আকৃতি বর্ণনা করতে পারবে।
৪. আউফবাউ, হুন্ড ও পাউলির বর্জন নীতি প্রয়োগ করে পরমাণুর ইলেক্ট্রন বিন্যাস করতে পারবে।
৫. তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৬. রেখা বর্ণালি দেখে বিভিন্ন মৌল শনাক্ত করতে পারবে।
৭. বোর পরমাণু মডেল অনুসারে H-পরমাণুর বর্ণালির ব্যাখ্যা করতে পারবে।



৮. জাল পাসপোর্ট ও জাল ব্যাংক নোট শনাক্তকরণে UV রশ্মি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৯. চিকিৎসাক্ষেত্রে IR রশ্মি প্রয়োগ করে ব্যথা-বেদনা উপশমের ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১০. রোগ নির্ণয়ের MRI পরীক্ষার মূলনীতি বর্ণনা করতে পারবে।
১১. ব্যবহারিক : শিখা পরীক্ষা দ্বারা বিভিন্ন ধাতব আয়ন শনাক্ত করতে পারবে।
১২. আয়নিক যৌগের দ্রাব্যতা, দ্রাব্যতা নীতি ও দ্রাব্যতা গুণফল ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৩. ব্যবহারিক : দ্রবণে আয়ন শনাক্ত করতে পারবে।
১৪. কেলাসন পদ্ধতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৫. ব্যবহারিক : কেলাসন পদ্ধতিতে অবিশুদ্ধ NaCl থেকে বিশুদ্ধ NaCl প্রস্তুতি।
১৬. পাতন, আংশিক পাতন, বাষ্প পাতন, উর্ধ্বপাতন ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৭. মিশ্রণ থেকে বিভিন্ন যৌগ পৃথকীকরণে দ্রাবক নিষ্কাশন পদ্ধতি বর্ণনা করতে পারবে।
১৮. ক্রোমাটোগ্রাফির প্রাথমিক ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৯. ব্যবহারিক : ক্রোমাটোগ্রাফির (চক/ফিল্টার পেপার) সাহায্যে মিশ্রণ থেকে যৌগ পৃথক করে দেখাতে পারবে।
২০. বাস্তবক্ষেত্রে গুণগত বিশ্লেষণের গুরুত্ব ব্যাখ্যা করতে পারবে।

## ২.১ পরমাণু মডেল ও প্রাথমিক ধারণা

### Atom Model and Primary Concept

১৮৯৭ খ্রিষ্টাব্দে স্যার জে. জে. থমসন (Sir J. J. Thomson) ক্যাথোড রশ্মির ওপর পরীক্ষাকালে ইলেকট্রন আবিষ্কারের পর থেকে পরমাণুর গঠন সম্বন্ধে জানার জন্য বিজ্ঞানীদের পরীক্ষা-নিরীক্ষায় নতুন মাত্রা যোগ হয়। ১৮৯৭—১৯৩২ খ্রিষ্টাব্দ পর্যন্ত বিভিন্ন বিজ্ঞানী পরমাণুর ওপর বিভিন্ন পরীক্ষা-নিরীক্ষার পর প্রাপ্ত তথ্য থেকে পরমাণুর গঠন সম্বন্ধে যে যুক্তিনির্ভর মতবাদ উপস্থাপন করেন, তা পরমাণু মডেল নামে পরিচিত। এখানে তিনটি প্রধান পরমাণু মডেল সম্বন্ধে আলোচনা করা হলো:

- (১) রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল (Rutherford's Atom Model) : 1911 খ্রিষ্টাব্দে উপস্থাপিত।
- (২) বোরের পরমাণু মডেল (Bohr's Atom Model) : 1913 খ্রিষ্টাব্দে উপস্থাপিত।
- (৩) কোয়ান্টাম বলবিদ্যা পরমাণু মডেল (Quantum Mechanical Atom Model) : 1924—1927 খ্রিষ্টাব্দে উপস্থাপিত।

রাদারফোর্ড তাঁর পরমাণু মডেলটি উপস্থাপনের পূর্বে সোনার পাতের ওপর তাঁর বিখ্যাত আলফা কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষাটি করেন।

### ২.১.১ রাদারফোর্ডের আলফা ( $\alpha$ ) কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষা : নিউক্লিয়াস আবিষ্কার

#### Rutherford's $\alpha$ -Particle Scattering Experiment : Nucleus discovery

ইলেকট্রন আবিষ্কারের পর পরমাণুর গঠন সম্পর্কে বিজ্ঞানী থমসন প্রস্তাবিত (1898 খ্রি:) plum-pudding পরমাণু মডেল সম্বন্ধে নিশ্চিত প্রমাণ লাভের উদ্দেশ্যে ১৯১১ খ্রিষ্টাব্দে রাদারফোর্ড আলফা ( $\alpha$ ) কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষাটি করেন। তাঁর পরীক্ষার কিছুদিন পূর্বেই আবিষ্কৃত হয় যে, রেডিয়াম ( ${}_{88}\text{Ra}$ ), ইউরেনিয়াম ( ${}_{92}\text{U}$ ) ইত্যাদি তেজস্ক্রিয় মৌল থেকে স্বতঃস্ফূর্তভাবে আলফা কণা বিকিরিত হয়। হিলিয়াম পরমাণু হতে দুটি ইলেকট্রন বের করে নিলে যে ষিধনাস্কক হিলিয়াম নিউক্লিয়াস অবশিষ্ট থাকে; তাকে  $\alpha$ -কণা বলে। অবশ্য  $\alpha$ -কণার প্রচণ্ড গতি থাকে। আলফা কণার গতি  $1.0 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$  হতে  $2.5 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$  পর্যন্ত হয়ে থাকে।  $\alpha$ -কণাতে দুটি প্রোটন ও দুটি নিউট্রন থাকে ( ${}^4_2\text{He}^{2+}$ )। তাই  $\alpha$ -কণার ভর সংখ্যা হয় 4।

রাদারফোর্ডের পরীক্ষায় ব্যবহৃত উপকরণ :

- (১) তেজস্ক্রিয় মৌল থেকে নির্গত  $\alpha$ -কণা, (২) পাতলা সোনার পাত (0.0004 cm পুরু), (৩) জিঙ্ক সালফাইড (ZnS) আবরণযুক্ত পর্দা।



**রাদারফোর্ডের পরীক্ষার বর্ণনা :** বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড প্রচণ্ড শক্তিসম্পন্ন দ্বিধনাত্মক চার্জযুক্ত আলফা কণাসমূহকে একটি পাতলা সোনার পাতের (0.0004 cm) ওপর টার্গেট বা নিষ্ক্ষেপ করেন। সোনার পাতের চারদিকে ঘিরে জিঙ্ক সালফাইড (ZnS) আবরণযুক্ত একটি গোলাকার পর্দা রাখেন। ZnS আবরণীর ওপর পতিত  $\alpha$ -কণা আলোকচ্ছটা সৃষ্টি করে।

[ZnS হলো অনুপ্রভা সৃষ্টিকারী পদার্থ (Phosphorescent substance)। অনুপ্রভা সৃষ্টিকারী পদার্থ বিভিন্ন শক্তির photon শোষণ করে পরে তা দৃশ্যমান আলোর পরিসরে বিকিরণ করে। অনুচ্ছেদ ২.৮ দেখো।]

**পর্ববেক্ষণ :** তিনি লক্ষ করেন যে, (১) প্রায় 99% আলফা কণাই এ সোনার পাত ভেদ করে সোজাসুজি চলে যায় এবং ZnS পর্দাকে আলোকচ্ছটায় দীপ্তিমান বা আলোকিত করে।

(২) তবে মাত্র কয়েকটি  $\alpha$ -কণা তাদের পথ থেকে বেঁকে পেছন দিকে চলে যায়।

(৩) খুব কম সংখ্যক আলফা কণা (প্রায় ২০,০০০ এর মধ্যে ১টি) বিপরীত দিকে ফিরে আসে।

**সিদ্ধান্ত :** এ পরীক্ষা থেকে রাদারফোর্ড নিম্নোক্ত সিদ্ধান্ত গ্রহণ করেন :

(১) পরমাণুর অধিকাংশ স্থানই ফাঁকা। যেহেতু আলফা কণার তুলনায় ইলেকট্রনের ভর অতি নগণ্য, সেহেতু এই ফাঁকা স্থানে ইলেকট্রন থাকতে পারে। তবে এরা আলফা কণার গতিপথের কোনো পরিবর্তন ঘটাতে পারে না।

(২) যেহেতু খুব কমসংখ্যক  $\alpha$ -কণা বিপরীত দিকে ফিরে আসে, এতে প্রমাণিত হয় ঐ  $\alpha$ -কণা সোজাসুজি এর অপেক্ষা বহু ভারী কোনো কিছুর সাথে সংঘর্ষে পতিত হয় বা তা দ্বারা বিকর্ষিত হয়। অর্থাৎ পরমাণুর কেন্দ্রে পরমাণুর প্রায় সমগ্র ভর (পরমাণুর ভরের 99.97% ভর) অতি ক্ষুদ্র স্থান দখল করে আছে।

(৩) যেহেতু আলফা কণাসমূহ ধনাত্মক চার্জযুক্ত এবং এক্ষেত্রে বিকর্ষিত হয়, সেহেতু পরমাণুর কেন্দ্রটিও ধনাত্মক চার্জযুক্ত হবে। তিনি ভারী ও ধনাত্মক চার্জযুক্ত পরমাণুর এ কেন্দ্রকে নিউক্লিয়াস (nucleus) নামকরণ করেন।

(৪) আলফা কণার গতিপথের পরিবর্তন হিসাব করে দেখান যে, পরমাণুর নিউক্লিয়াসে ধনাত্মক চার্জের পরিমাণ মৌলের পারমাণবিক সংখ্যার সমান। [রাদারফোর্ড জানতেন  $\alpha$  কণার ভর ইলেকট্রন (e) কণার ভরের চেয়ে 7000 গুণ বেশি এবং এটি দ্বিধনাত্মক চার্জযুক্ত।]

(৫) পরমাণুর আকার (H পরমাণুর ব্যাস  $1 \times 10^{-8} \text{cm}$  বা, 0.1 nm) এর তুলনায় নিউক্লিয়াসের আকার (ব্যাস  $1 \times 10^{-12} \sim 10^{-13} \text{cm}$ ) খুবই ছোট। এ আকারগত সম্পর্ক হলো পরমাণুটি এর নিউক্লিয়াস থেকে ১০ হাজার থেকে ১ লক্ষ গুণ বড়।

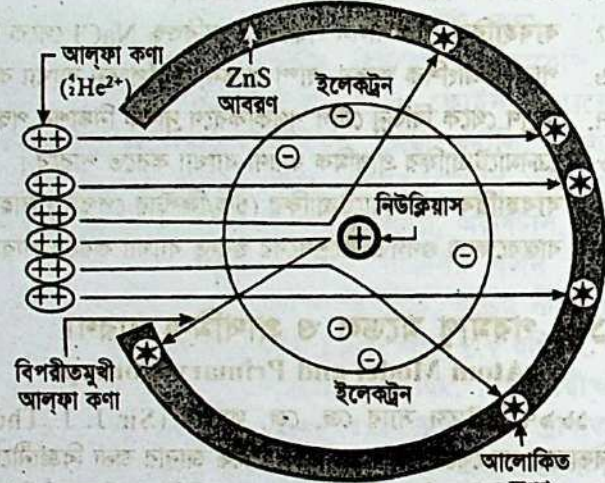
## ২.১.২ রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল Rutherford's Atom Model

তোমরা নবম-দশম শ্রেণির 'রসায়ন' পাঠ্যপুস্তকে 'রাদারফোর্ড পরমাণু মডেল' ও 'বোর পরমাণু মডেল' সম্বন্ধে কিছু ধারণা পেয়েছো। এখন উভয় পরমাণু মডেল আবার আলোচনা করে তুলনা করবে।

**1911 খ্রিষ্টাব্দে আলফা কণা পরীক্ষার সাহায্যে পরমাণুতে নিউক্লিয়াস শনাক্তকরণের মাধ্যমে রাদারফোর্ড প্রদত্ত পরমাণু মডেলটির প্রস্তাবনাসমূহ নিম্নরূপ :**

(১) গোলাকার পরমাণুর কেন্দ্রস্থলে একটি ধনাত্মক চার্জবিশিষ্ট ভারী বস্তু বিদ্যমান। এই ভারী বস্তুকে পরমাণুর কেন্দ্র বা নিউক্লিয়াস বলা হয়। পরমাণুর মোট আয়তনের তুলনায় নিউক্লিয়াসের আয়তন অতি নগণ্য। নিউক্লিয়াসে পরমাণুর সমস্ত ধনাত্মক চার্জ ও প্রায় সমস্ত ভর কেন্দ্রীভূত।

(২) পরমাণু বিদ্যুৎ নিরপেক্ষ। তাই নিউক্লিয়াসের ধনাত্মক চার্জ সংখ্যার সমান সংখ্যক ঋণাত্মক চার্জযুক্ত ইলেকট্রন থাকে।



চিত্র-২.১ : রাদারফোর্ডের  $\alpha$ -কণা ( $\text{He}^{2+}$ ) বিচ্ছরণ পরীক্ষা।



(৩) সৌরজগতে সূর্যের চারদিকে ঘূর্ণায়মান গ্রহসমূহের মতো পরমাণুর ইলেকট্রনগুলো এর কেন্দ্রস্থ নিউক্লিয়াসের চারদিকে নিজ নিজ কক্ষপথে সতত ঘূর্ণায়মান থাকে। ধনাত্মক চার্জবিশিষ্ট নিউক্লিয়াসের ও ঋণাত্মক চার্জবিশিষ্ট ইলেকট্রনসমূহের পারস্পরিক স্থির বৈদ্যুতিক আকর্ষণজনিত কেন্দ্রমুখী বল এবং আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কেন্দ্রবাহিমুখী বল পরস্পর সমান অর্থাৎ পরস্পরকে সমভার করে (counter-balanced)।

রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলে নিউক্লিয়াসের ধারণা আছে বলে একে পরমাণুর নিউক্লিয়ার মডেলও বলে। সৌরজগতের সাথে মিল রেখে মডেলটি দেয়া হয়েছে বলে একে সোলার সিস্টেম এটম মডেল (Solar system atom model)-ও বলা হয়।



চিত্র-২.২ : রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল।

**MCQ-2.1** : আলফা কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষায় পর্দায় কীসের প্রলেপ ছিল? [ঢা. বো. ২০১৬]  
(ক) AgCl (খ) ZnS  
(গ) PbS (ঘ) NiS

### রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলের সীমাবদ্ধতা (Limitations of Rutherford's Atom Model)

রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলের প্রধান দিক যেমন পরমাণুর একটি নিউক্লিয়াস ও নিউক্লিয়াস বহির্ভূত ইলেকট্রন অঞ্চল আছে—তা আজ সর্বজনস্বীকৃত ও পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত। কিন্তু এটির প্রধান সীমাবদ্ধতা হচ্ছে নিম্নরূপ :

১। সৌরমণ্ডলের গ্রহসমূহ সামগ্রিকভাবে চার্জবিহীন, অথচ পরমাণুতে আবর্তনশীল ইলেকট্রনসমূহ ঋণাত্মক চার্জযুক্ত এবং পরস্পরকে স্থির বৈদ্যুতিক বল দ্বারা বিকর্ষণ করে। অপরদিকে গ্রহসমূহ মহাকর্ষ বল দ্বারা পরস্পরকে আকর্ষণ করে। সুতরাং গ্রহগুলোর সাথে ইলেকট্রনের তুলনা সঠিক হয়নি।

২। ম্যাক্সওয়েলের আলো সম্পর্কীয় তড়িৎ চুম্বকীয় তত্ত্বানুসারে কোনো চার্জযুক্ত বস্তু বা কণা কোনো বৃত্তাকার পথে ঘুরলে তা ক্রমাগতভাবে শক্তি বিকিরণ করবে এবং তার আবর্তনচক্রও ধীরে ধীরে কমতে থাকবে। সুতরাং এক্ষেত্রে কক্ষপথে আবর্তনশীল ঋণাত্মক চার্জযুক্ত ইলেকট্রনসমূহ ক্রমশ শক্তি হারাতে হারাতে নিউক্লিয়াসে পতিত হবে।

অর্থাৎ রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল সম্পূর্ণভাবে একটি অস্থায়ী অবস্থা হবে। অথচ পরমাণু হতে ক্রমাগত শক্তি বিকিরণ বা ইলেকট্রনসমূহের নিউক্লিয়াসে পতন কখনোই ঘটে না।

৩। H-পরমাণুর বর্ণালি সম্বন্ধে কোনো সূচ্য ব্যাখ্যা এ মডেল দিতে পারে না। যেমন শক্তি বিকিরণ অবিচ্ছিন্নভাবে ঘটে; তাই পরমাণুর বর্ণালিতে সৃষ্ট রেখাসমূহ অবিচ্ছিন্ন হওয়া স্বাভাবিক। কিন্তু বর্ণালিতে সৃষ্ট রেখাসমূহ বিচ্ছিন্ন ও বেশ উজ্জ্বল হয়।

৪। আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কক্ষপথের আকার ও আকৃতি সম্বন্ধে কোনো ধারণা রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলে দেয়া হয়নি।

৫। একাধিক ইলেকট্রনবিশিষ্ট পরমাণুতে ইলেকট্রনগুলো নিউক্লিয়াসকে কীভাবে পরিক্রমণ করে, তার কোনো উল্লেখ এ মডেলে নেই।

পরবর্তীতে বোর এ মডেলের কিছু ত্রুটি সংশোধন করে নতুন মডেল প্রকাশ করেন।



চিত্র-২.৩ : আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি বিকিরণ ও নিউক্লিয়াসে পতন।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.১ : রাদারফোর্ড পরমাণু মডেল ভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.১ : রাদারফোর্ড তাঁর পরীক্ষায় আলফা ( $\alpha$ ) কণা ও পর্দায় ZnS ব্যবহার করলেন কেন?

প্রশ্ন-২.২ : আলফা ( $\alpha$ ) কণার উৎস ও বৈশিষ্ট্য কী?

প্রশ্ন-২.৩ : প্রত্যেক পরমাণুর কেন্দ্র ধনাত্মক চার্জযুক্ত নিউক্লিয়াস দ্বারা গঠিত তা প্রমাণ কর। [ঢা. বো. ২০১৫]



## ২.১.৩ বোর পরমাণু মডেল

## Bohr's Atom Model

পদার্থবিজ্ঞানী ম্যাক্স প্লান্কের ও আইনস্টাইনের সমন্বিত আলো সম্পর্কীয় বিকিরণ কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুসরণ করে ডেনমার্কের পদার্থবিজ্ঞানী নীলস বোর (Neils Bohr) 1913 খ্রিষ্টাব্দে রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলের কিছু ত্রুটি দূর করেন। তখন নীলস বোর রাদারফোর্ডের পরীক্ষাগারে কাজ করতেন। রাদারফোর্ড প্রদত্ত পরমাণু মডেলের ৩টি ত্রুটি যেমন (i) ম্যাক্সওয়েলের তত্ত্বভিত্তিক ত্রুটি, (ii) ইলেকট্রনের কক্ষপথের আকারভিত্তিক ত্রুটি এবং (iii) H পরমাণুর পারমাণবিক বর্ণালি সৃষ্টির যথার্থ ব্যাখ্যা সহকারে বিজ্ঞানী বোর তাঁর বিখ্যাত পরমাণু মডেল প্রকাশ করেন। বোর পরমাণু মডেলের প্রস্তাবনাসমূহ নিম্নরূপ :

(১) ইলেকট্রনের স্থির কক্ষপথ বা শক্তিস্তরের ধারণা : পরমাণুর কেন্দ্রস্থলে পরমাণুর সমস্ত ধনাত্মক চার্জ ও প্রায় সমস্ত ভর কেন্দ্রীভূত; একে পরমাণুর নিউক্লিয়াস বলা হয়। নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে কয়েকটি নির্দিষ্ট শক্তির বৃত্তাকার কক্ষপথেই ধনাত্মক চার্জের সমসংখ্যক ইলেকট্রনসমূহ নিউক্লিয়াসের চারদিকে আবর্তন করে। এ আবর্তনের সময় ইলেকট্রনের গতি সাধারণ পদার্থবিদ্যার সব নিয়ম মেনে চলে। তবে যতক্ষণ তা একটি কক্ষ অবস্থান করবে, ততক্ষণ তা কোনো শক্তি বিকিরণ বা শোষণ করবে না। এই কক্ষপথসমূহকে স্থির কক্ষপথ (stationary orbits) বা শক্তিস্তর বা অরবিট বলা হয়। শক্তিস্তর বা কক্ষপথ নির্দেশক প্রতীক হলো  $n$ ; ১ম শক্তিস্তরের বেলায়,  $n = 1$ , ২য় শক্তিস্তরের বেলায়,  $n = 2$  ইত্যাদি।

(২) ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগের ধারণা : প্রতিটি নির্দিষ্ট কক্ষপথ বা শক্তিস্তরে আবর্তনরত ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ নির্দিষ্ট এবং তা  $\frac{h}{2\pi}$  এর অখণ্ড বা পূর্ণ সংখ্যার গুণিতক হবে।

$$\text{অর্থাৎ } mvr = \frac{n \times h}{2\pi} \dots \dots \dots (১)$$

এখানে  $m$  = ইলেকট্রনের ভর,  $v$  = ইলেকট্রনের সরলরৈখিক গতিবেগ,  $r$  = কক্ষপথের ব্যাসার্ধ,  $vr$  = কৌণিক বেগ,  $h$  = প্লান্কের ধ্রুবক ( $6.626 \times 10^{-34}$  J.s),  $n$  = অখণ্ড সংখ্যা অর্থাৎ 1, 2, 3, 4 প্রভৃতি পূর্ণ সংখ্যা।

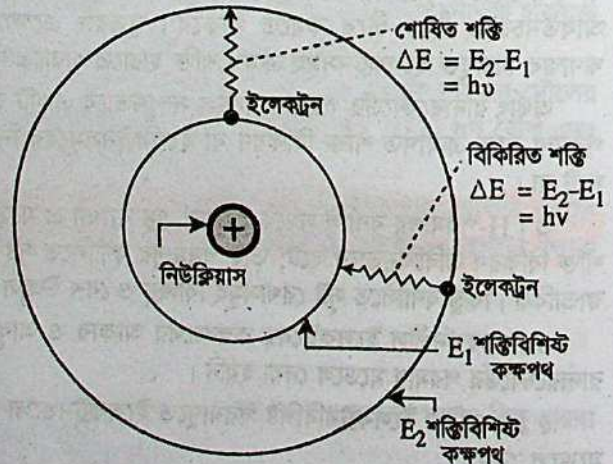
$n$  এর এসব মানের ওপর ভিত্তি করে যথাক্রমে প্রথম, দ্বিতীয়, তৃতীয় প্রভৃতি কক্ষপথ নির্দেশিত হয়।

(৩) শক্তির শোষণ বা বিকিরণ ও বর্ণালি সৃষ্টির ধারণা : যখন কোনো ইলেকট্রন একটি কক্ষপথ বা শক্তিস্তর হতে অন্য শক্তিস্তর বা কক্ষপথে লাফিয়ে চলে, তখন ঐ ইলেকট্রন দ্বারা নির্দিষ্ট পরিমাণ আলোক শক্তি শোষিত বা বিকিরিত হয়। যখন ইলেকট্রন নিম্ন শক্তিস্তর হতে উচ্চ শক্তিস্তরে লাফিয়ে চলে তখন আলোক শক্তির শোষণ এবং যখন উচ্চ শক্তিস্তর হতে নিম্ন শক্তিস্তরে লাফিয়ে চলে, তখন আলোক শক্তির বিকিরণ ঘটে।

যদি প্রথম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি  $E_1$  এবং দ্বিতীয় কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি  $E_2$  হয়, তবে বিকিরিত আলোক শক্তি হবে  $\Delta E = (E_2 - E_1)$ । এ শক্তি তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ হিসেবে নির্গত হবে। প্লান্কের সূত্রানুসারে সে বিকিরণের পরিমাণ ও স্পন্দন-সংখ্যা  $\nu$  (নিউ) নিম্নের সমীকরণ দ্বারা নির্ধারিত হবে :

$$\Delta E = (E_2 - E_1) = h\nu \dots \dots \dots (২)$$

অর্থাৎ সৃষ্ট পারমাণবিক বর্ণালিতে  $\nu$  ('নিউ') স্পন্দন সংখ্যাবিশিষ্ট একটি রেখা দেখা যাবে। (অনুচ্ছেদ ২.৫ ও ২.৫.২ দ্রষ্টব্য)



চিত্র-২.৪ : বোরের পরমাণু মডেল ও রেখা বর্ণালির উৎস।



**(ক) বোর মডেলের সীমাবদ্ধতা (Limitations of Bohr's Atom Model)**

বোর পরমাণু মডেলের সীমাবদ্ধতাগুলো নিম্নরূপ :

(১) বোর পরমাণু মডেল H পরমাণু ও একক ইলেকট্রনবিশিষ্ট আয়নগুলোর (যেমন  $He^+$ ,  $Li^{2+}$ ) বর্ণালির ব্যাখ্যা করতে পারলেও একাধিক ইলেকট্রনবিশিষ্ট পরমাণুগুলোর বর্ণালির ব্যাখ্যা করতে পারে না।

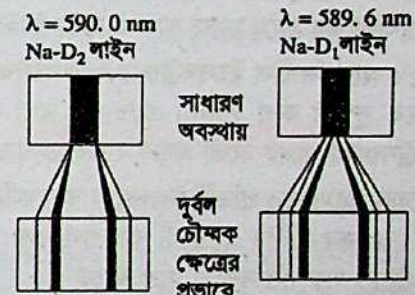
(২) এক শক্তিস্তর হতে অপর শক্তি স্তরে ইলেকট্রনের স্থানান্তর ঘটলে, বোর পরমাণু মডেল অনুসারে একটি রেখা বর্ণালি সৃষ্টি হওয়ার কথা। উচ্চ ক্ষমতার স্পেকট্রোস্কোপ দ্বারা পরীক্ষণ করলে দেখা যায়, প্রতিটি বর্ণালি রেখা কয়েকটি সূক্ষ্ম রেখা দিয়ে গঠিত। বোর মডেল এসব সূক্ষ্ম রেখার উৎপত্তির কারণ ব্যাখ্যা করতে পারে না।

(৩) বোর মডেলে পরমাণুর আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কক্ষপথ **দ্বিমাত্রিক সমতলীয়**। বোর মডেল থেকে পরমাণুর প্রকৃত ত্রিমাত্রিক কাঠামোর কোনো ধারণা পাওয়া যায় না।

(৪) ইলেকট্রনকে কণারূপে গণ্য করা হলে তবে একটি নির্দিষ্ট সময়ে সেই ইলেকট্রনের অবস্থান ও ভরবেগ নির্ণয় করা সম্ভব। কিন্তু হাইজেনবার্গের 'অনিশ্চয়তা নীতি' অনুযায়ী একটি নির্দিষ্ট সময়ে পরমাণুর মধ্যে কোনো একটি ইলেকট্রনের অবস্থান ও ভরবেগ একই সঙ্গে নির্ণয় করা যায় না। যেহেতু তাঁর মতে গতিশীল ইলেকট্রনের কণা ও তরঙ্গ উভয় ধর্ম অর্থাৎ তড়িৎ চুম্বকীয় বৈশিষ্ট্যও থাকে (ব্রগলির মতবাদ)।

(৫) বোর মডেলে বলা হয়েছে, স্থির কক্ষপথে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ  $mvr = n \times \frac{h}{2\pi}$  হবে। কৌণিক ভরবেগের এরূপ মানের কারণ ব্যাখ্যা করা হয়নি।

(৬) চুম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে বর্ণালি রেখাগুলো আরো সূক্ষ্ম রেখায় বিভক্ত হয়ে পড়ে। একে **জিম্যান প্রভাব** (zeeman effect) বলে। একইভাবে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রভাবে এরূপ ঘটে; একে **স্টার্ক প্রভাব** (stark effect) বলে। এ দুই প্রভাব থেকে আমরা কী চিন্তা করতে পারি? এক্ষেত্রে চুম্বক ও তড়িৎক্ষেত্র দ্বারা পরমাণুর কোনো নির্দিষ্ট শক্তিস্তরের সূক্ষ্ম বিভাজন (splitting) ঘটেছে।



চিত্র-২.৫ : Na-পরমাণুর দুটি রেখা বর্ণালিতে জিম্যান প্রভাব।

**\* (খ) বোর পরমাণু মডেলের সাফল্য ও গ্রহণযোগ্যতা (Achievements of Bohr's Atom Model)**

(১) **পরমাণু মডেলের স্থায়িত্ব** : বোর পরমাণু মডেল মতে কোনো নির্দিষ্ট শক্তিস্তরে ইলেকট্রন আবর্তনকালে শক্তির ক্ষয় বা বিকিরণ ঘটে না। প্রথম শক্তিস্তর থেকে আর কোনো নিম্নস্তরের শক্তি স্তর না থাকায়, ইলেকট্রন লাফ দিয়ে এর নিউক্লিয়াসে যাওয়ার সুযোগ নেই। অর্থাৎ আবর্তনশীল ইলেকট্রনের ক্রমাগত শক্তি বিকিরণ সম্ভব না হওয়ায় বোর মডেল স্থায়িত্ব লাভ করেছে; যা দ্বারা রাদারফোর্ড মডেলের উদ্ভাপিত ত্রুটি দূর হয়েছে।

(২) **বর্ণালির ব্যাখ্যা** : বোর পরমাণু মডেল এক ইলেকট্রন বিশিষ্ট H পরমাণুর এবং আয়ন যেমন  $H^+$ ,  $Li^{2+}$ ,  $Be^{3+}$  আয়নের রেখা বর্ণালির সূচু ব্যাখ্যা করতে সক্ষম হয়।

(৩) H-পরমাণুর ১ম কক্ষপক্ষের ব্যাসার্ধ নির্ণয় করা হয়। একে বোর ব্যাসার্ধ ( $a_0$ ) বলে;  $a_0 = 5.292 \times 10^{-11} m$ ।

(৪) বোর পরমাণু মডেলে পরমাণুর বিভিন্ন শক্তিস্তরে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তির পরিমাণ নির্ণয় সম্ভব হয়েছে। একটি শক্তিস্তর হতে অন্য শক্তিস্তরে একটি ইলেকট্রন লাফ দিয়ে স্থানান্তরিত হলে কী পরিমাণ শক্তি শোষিত বা বিকিরিত হবে তা গণনা করা সহজ হয়েছে। ফলে পারমাণবিক বর্ণালিতে দৃশ্যমান বিভিন্ন রেখার ব্যাখ্যা করা যায়।

(৫) বোর পরমাণু মডেলের ধারণা  $h\nu = (E_2 - E_1)$  থেকে নির্ণীত রিডবার্গ ধ্রুবক  $R_H$  এর মান হলো  $109739 cm^{-1}$ , যা পরীক্ষালব্ধ মান  $109678 cm^{-1}$  এর প্রায় সমান। [অনুচ্ছেদ-২.৫.৩ এর (৩) ও (৪) দেখো]



(৬) বোর পরমাণু মতবাদের সীমাবদ্ধতা সত্ত্বেও একথা অনস্বীকার্য যে, এ মতবাদ একটি বৈপ্রুবিক মতবাদ, যা সঠিক পথের দিক নির্দেশনা করে। বোর পরমাণু মডেলের দুটি প্রধান বিষয় হলো— (১) পরমাণুতে বিভিন্ন শক্তিস্তর আছে এবং (২) এ শক্তিস্তরসমূহের মধ্যে ইলেকট্রনের স্থানান্তরের জন্য বিভিন্ন বিকিরণের সৃষ্টি হয়, তার স্পন্দন-সংখ্যা  $\nu = (E_2 - E_1)/h$  দ্বারা নির্ধারিত হয়; এ দুটি বিষয় আজ সন্দেহাতীতভাবে প্রমাণিত। এসব কারণে বোর পরমাণু মডেলের গ্রহণযোগ্যতা বৃদ্ধি পেয়েছে।

### \* ২.১.৪ রাদারফোর্ড পরমাণু মডেল ও বোর পরমাণু মডেলের মধ্যে তুলনা

#### Comparison between Rutherford's Atom Model and Bohr's Atom Model

(ক) উভয় পরমাণু মডেলের উপস্থাপনের মূল ধারণাসমূহ :

১। পরমাণু মডেলের ভিত্তি : রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলের ভিত্তি হলো রাদারফোর্ড কর্তৃক সম্পাদিত আলফা ( $\alpha$ ) কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষার পর্যবেক্ষণ নির্ভর সিদ্ধান্তসমূহ। রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলে পরমাণুর কেন্দ্রে ধনাত্মক চার্জযুক্ত নিউক্লিয়াস থাকে এবং ধনাত্মক চার্জের সমসংখ্যক ঋণাত্মক ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে সতত আবর্তনশীল থাকে। রাদারফোর্ড মডেলে রয়েছে সৌরজগতের বিন্যাস প্রকরণ। অপরদিকে,

বোর পরমাণু মডেলের ভিত্তি হলো রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলের পরমাণুর কেন্দ্রস্থ নিউক্লিয়াস ও নিউক্লিয়াস বহির্ভূত ইলেকট্রন অঞ্চলের সাথে ম্যান্ড্র প্লাঙ্ক ও আইনস্টাইনের আলোক সম্পর্কীয় বিকিরণের কোয়ান্টাম তত্ত্বের সমন্বয়।

২। আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কক্ষপথের ধারণা : রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলে ইলেকট্রনের কক্ষপথের আকার ও সংখ্যাকে সুস্পষ্ট করা হয়নি। এতে শুধু বলা হয়েছে নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে যে কোনো ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার কক্ষপথে ইলেকট্রনগুলো গ্রহের মতো আবর্তন করতে পারে। অপরদিকে,

বোর পরমাণুতে প্রতিটি ইলেকট্রন কয়েকটি নির্দিষ্ট মানের ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার স্থায়ী কক্ষপথে নিউক্লিয়াসকে আবর্তন করে থাকে। এ সব নির্দিষ্ট ও স্থায়ী কক্ষপথগুলো নির্দিষ্ট বিভিন্ন মানের শক্তিযুক্ত এবং এসব স্থায়ী কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনও সমশক্তিসম্পন্ন হয়ে থাকে।

৩। পরমাণু মডেলের স্থায়িত্ব : রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলের স্থায়িত্বের কারণ দেখানো হয়েছে ধনাত্মক চার্জযুক্ত কেন্দ্রস্থ নিউক্লিয়াস ও ঋণাত্মক চার্জযুক্ত ইলেকট্রনের মধ্যস্থ স্থির বৈদ্যুতিক আকর্ষণজনিত কেন্দ্রমুখী বল এবং আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কেন্দ্রবহিমুখী বলদ্বয়ের লঙ্ঘন। অপরদিকে,

বোর পরমাণু মডেলের স্থায়িত্বের কারণ দেখানো হয়েছে পরমাণুর নিউক্লিয়াসের প্রভাবে সৃষ্ট নির্দিষ্ট সংখ্যক শক্তিস্তরে ইলেকট্রনের অবস্থান এবং শক্তি বিকিরণ ছাড়া ঐ সব স্থির শক্তির কক্ষপথে সতত সমশক্তিতে আবর্তন।

(খ) উভয় পরমাণু মডেলের সীমাবদ্ধতা বা উদ্ভাষিত ত্রুটিসমূহ :

১। রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলকে সৌরজগতের সাথে তুলনা করা হয়েছে। সৌরজগতে গ্রহসমূহ মহাকর্ষ বল দ্বারা পরস্পরকে আকর্ষণ করে; কিন্তু ঋণাত্মক চার্জযুক্ত ইলেকট্রনসমূহ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে। সুতরাং গ্রহসমূহকে ইলেকট্রনের সাথে তুলনা করা সঠিক হয়নি। বোর পরমাণু মডেলে এরূপ কোনো ত্রুটি নেই।

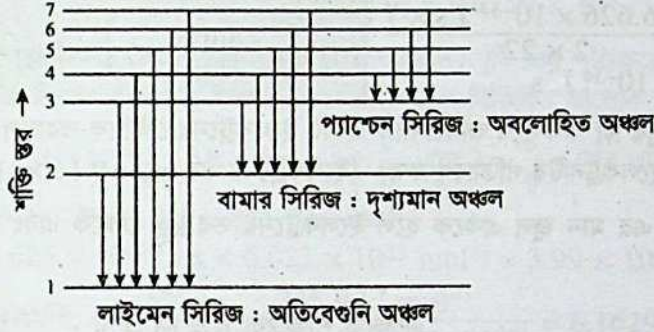
২। ম্যান্ড্রপঞ্জলের তত্ত্বানুসারে রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলের আবর্তনশীল ইলেকট্রন ক্রমাগতভাবে শক্তি বিকিরণ করবে এবং এর আবর্তন চক্রও ধীরে ধীরে কমতে থাকবে। ফলে ইলেকট্রন ক্রমশ শক্তি হারিয়ে নিউক্লিয়াসে পতিত হবে। তাই রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলের স্থায়িত্ব থাকে না।

বোর পরমাণু মডেলে ইলেকট্রনের স্থির শক্তির কক্ষপথের ধারণা যুক্ত করে এ ত্রুটি দূর করা হয়েছে। নিউক্লিয়াসের নিকটতম ১ম কক্ষপথের দূরত্ব,  $r = 0.529 \times 10^{-8} \text{ cm}$ । এরপর আর কোনো কক্ষপথ না থাকায় ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসে পতিত হওয়ার কোনো সম্ভাবনা নেই। তাই বোর পরমাণু মডেলের স্থায়িত্ব যুক্তিযুক্ত।

৩। রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলে পরমাণু দ্বারা সৃষ্ট বর্ণালি সম্বন্ধে কোনো ধারণা দেয়া হয়নি। কিন্তু বোর পরমাণু মডেলে বর্ণালি সৃষ্টির সুস্পষ্ট ধারণা দেয়া হয়েছে। বোর পরমাণু মডেলের স্বীকার্য মতে, ইলেকট্রন তাপ শক্তি শোষণ করে উদ্দীপিত অবস্থায় নিম্নশক্তি স্তর ( $E_1$ ) হতে উচ্চ শক্তিস্তরে ( $E_2$ ) লাফিয়ে চলে এবং পরে ঐ শোষিত শক্তি বিকিরণ করে পূর্বের নিম্ন



শক্তিস্তরে লাফিয়ে চলে আসে। এরূপে শক্তির শোষণ ও বিকিরণের ফলে যথাক্রমে কালো বর্ণের শোষণ বর্ণালি ও উজ্জ্বল বর্ণের বিচ্ছুরণ বর্ণালি সৃষ্টি করে। তখন বিকিরিত শক্তি হবে,  $\Delta E = (E_2 - E_1)$ । প্লাঙ্কের সমীকরণ মতে, সে বিকিরণের স্পন্দন সংখ্যা  $\nu$  হলে, তখন  $\Delta E = (E_2 - E_1) = h\nu$  হয়। অর্থাৎ সৃষ্ট পারমাণবিক বর্ণালিতে  $\nu$  (নিউ) কম্পাঙ্ক বা, স্পন্দন সংখ্যাবিশিষ্ট একটি রেখা দেখা যাবে [চিত্র ২.৬]।



চিত্র-২.৬ : হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালি

MCQ-2.2 : বোর পরমাণু মডেলের সাফল্য হলো—

- (i) স্থির শক্তির অববর্তনের ধারণা।  
(ii) এক ইলেকট্রনবিশিষ্ট পরমাণু বা আয়নের বর্ণালি সৃষ্টির সূত্র ব্যাখ্যা।  
(iii) H-পরমাণুর ব্যাসার্ধ নির্ণয়।  
নিচের কোনটি সঠিক?  
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii  
(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

৪। বোর পরমাণু মডেলে কেবল এক ইলেকট্রনবিশিষ্ট H-পরমাণুর রেখা বর্ণালির সূত্র ব্যাখ্যা দেয়া সম্ভব হয়েছে। বহু ইলেকট্রনবিশিষ্ট পরমাণুর সৃষ্ট বর্ণালির ব্যাখ্যা দিতে পারে না। কারণ এক্ষেত্রে অতিরিক্ত নিউক্লিয়াস-ইলেকট্রন মধ্যস্থ আকর্ষণ বল এবং ইলেকট্রন-ইলেকট্রন মধ্যস্থ বিকর্ষণ বল কার্যকর থাকে। H-বর্ণালির বিভিন্ন রেখার তরঙ্গ-সংখ্যা ( $\bar{\nu}$ , নিউবার) নিম্নোক্ত রিডবার্গ সমীকরণ হতে পাওয়া যায়।

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = R_H \times \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) m^{-1}; \text{ এখানে রিডবার্গ ধ্রুবক, } R_H = 1.09678 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

$$= 1.09678 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1}$$

বিভিন্ন বিজ্ঞানী H-এর রেখা বর্ণালির চিত্র বিভিন্ন শক্তিস্তর হতে আবিষ্কার করেন। উপরোক্ত রিডবার্গ সমীকরণ মতে, H এর পারমাণবিক বর্ণালিতে [চিত্র-২.৬ ও চিত্র-২.১৯] বিভিন্ন বিজ্ঞানীর নামানুসারে H-এর রেখা বর্ণালির সিরিজ দেখানো হলো :

- ইলেকট্রন উচ্চ শক্তিস্তর,  $n_2 = 2, 3, 4, 5, 6, 7$  থেকে  $n_1 = 1$  নিম্ন শক্তিস্তরে আসলে লাইমেন সিরিজ সৃষ্টি হয়।  
ইলেকট্রন উচ্চ শক্তিস্তর,  $n_2 = 3, 4, 5, 6, 7$  থেকে  $n_1 = 2$  নিম্ন শক্তিস্তরে আসলে বামার সিরিজ সৃষ্টি হয়।  
ইলেকট্রন উচ্চ শক্তিস্তর,  $n_2 = 4, 5, 6, 7$  থেকে  $n_1 = 3$  নিম্ন শক্তিস্তরে আসলে প্যাশ্চেন সিরিজ সৃষ্টি হয়।  
ইলেকট্রন উচ্চ শক্তিস্তর,  $n_2 = 5, 6, 7$  থেকে  $n_1 = 4$  নিম্ন শক্তিস্তরে আসলে ব্র্যাকেট সিরিজ সৃষ্টি হয়।  
ইলেকট্রন উচ্চ শক্তিস্তর,  $n_2 = 6, 7$  থেকে  $n_1 = 5$  নিম্ন শক্তিস্তরে আসলে ফুন্ড সিরিজ সৃষ্টি হয়।

সুতরাং বোর পরমাণু মডেলের মূল ধারণা হলো পরমাণুর প্রতিটি শক্তিস্তর পূর্ণসংখ্যার কোয়ান্টাম শক্তির গুণিতক রূপে থাকে।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.২ : পরমাণু মডেলভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.৪ : বোর পরমাণু মডেলে স্থির কক্ষপথ দ্বারা কী বোঝায়? এতে ইলেকট্রন স্থির অবস্থায় থাকে কি?

প্রশ্ন-২.৫ : ইলেকট্রন শক্তি বিকিরণ করে নিম্ন শক্তিস্তরে আসতে পারলেও নিউক্লিয়াসে পতিত হয় না কেন?

প্রশ্ন-২.৬(ক) : আলফা কণা পরীক্ষার সাহায্যে পরমাণুতে নিউক্লিয়াস শনাক্তকরণের মাধ্যমে প্রদত্ত পরমাণু মডেলের ব্যাখ্যা কর। [চ. বো. ২০১৭]

প্রশ্ন-২.৬(খ) : H-পরমাণুর বর্ণালি সৃষ্টির ব্যাখ্যা সম্পর্কিত পরমাণু মডেলটি আলোচনা কর। [ব. বো. ২০১৭]

প্রশ্ন-২.৬(গ) : রাদারফোর্ড পরমাণু মডেল ও বোর পরমাণু মডেলদ্বয়ের তুলনা কর। [চ. বো. ২০১৭]

প্রশ্ন-২.৭ : বোর পরমাণু মডেলের গ্রহণযোগ্যতার সপক্ষে যুক্তি দেখাও। [চ. বো. ২০১৫]



সমাধানকৃত সমস্যা-২.১ : হাইড্রোজেন পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ কত হবে?

দক্ষতা (Strategy) : বোর মডেল মতে,  $mvr = \frac{nh}{2\pi}$

সমাধান : এক্ষেত্রে  $n = 3$ ,  $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ,  $\pi = \frac{22}{7}$   
 $\therefore$  কৌণিক ভরবেগ,  $mvr = \frac{nh}{2\pi} = \frac{3 \times 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s} \times 7}{2 \times 22}$   
 $= 3.1624 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

MCQ-2.3 : বর্ণালি সৃষ্টির বেলায় কোন সমীকরণটি প্রযোজ্য?

(ক)  $mvr = \frac{nh}{2\pi}$  (খ)  $\Delta E = hv$

(গ)  $n = \frac{2\pi mvr}{h}$  (ঘ)  $\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২ : কোনো পরমাণুর M কক্ষপথে আবর্তনরত একটি ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ বের কর। ঐ কক্ষপথের ব্যাসার্ধ  $3.6 \times 10^{-8} \text{ cm}$  হলে ইলেকট্রনটির গতিবেগ কত? [ইলেকট্রনের ভর  $m_e = 9.11 \times 10^{-28} \text{ g}$ ]

দক্ষতা :  $mvr = \frac{nh}{2\pi}$  ব্যবহৃত হবে। h এর মান জুল এককে হলে ইলেকট্রনের ভর kg এককে এবং শক্তিস্তরের ব্যাসার্ধ মিটার (m) এককে হবে।

সমাধান : কৌণিক ভরবেগ,  $mvr = \frac{nh}{2\pi}$  ;

$$\therefore mvr = \frac{3 \times 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s} \times 7}{2 \times 22}$$

$$= 3.1624 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

ইলেকট্রনের গতিবেগ নির্ণয় :

$$mvr = 3.1624 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$\therefore v = \frac{3.1624 \times 10^{-34} \text{ J.s}}{mr}$$

$$= \frac{3.1624 \times 10^{-34} (\text{kgm}^2\text{s}^{-2}).\text{s}}{9.11 \times 10^{-31} \text{ kg} \times 3.6 \times 10^{-10} \text{ m}}$$

$$= 9.64267 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩ : H-পরমাণুর একটি কক্ষপথের ব্যাসার্ধ  $8.5 \times 10^{-8} \text{ cm}$  এবং ইলেকট্রনের গতিবেগ  $5.4452 \times 10^7 \text{ cms}^{-1}$  হলে ইলেকট্রনটি কোন্ কক্ষপথে আবর্তনশীল রয়েছে। [ইলেকট্রনের ভর,  $m_e = 9.11 \times 10^{-28} \text{ g}$ ]

সমাধান : কৌণিক ভরবেগ,  $mvr = \frac{n \times h}{2\pi}$  ;

$$\therefore n = \frac{mvr \times 2\pi}{h}$$

$$n = \frac{9.11 \times 10^{-31} \text{ kg} \times 5.4452 \times 10^7 \text{ ms}^{-1} \times 8.5 \times 10^{-10} \text{ m} \times 2 \times 22}{6.626 \times 10^{-34} \text{ kgm}^2\text{s}^{-1} \times 7}$$

$$= 399.99 \times 10^{-2}$$

$$= 3.99 = 4 \text{ (পূর্ণ সংখ্যায়)}$$

$\therefore$  ইলেকট্রনটি চতুর্থ কক্ষপথে ( $n = 4$ ) আবর্তনশীল ছিল।

এক্ষেত্রে

$$\text{কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, } r = 8.5 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

$$= 8.5 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$\text{গতিবেগ, } v = 5.4452 \times 10^7 \text{ cms}^{-1}$$

$$= 5.4452 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$$

$$\text{ইলেকট্রনের ভর, } m_e = 9.11 \times 10^{-28} \text{ g}$$

$$= 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\text{ধ্রুবক, } h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ kgm}^2\text{s}^{-1}$$

কক্ষপথ,  $n = ?$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪ : হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনের ৩য় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ  $8.45 \times 10^{-10} \text{ m}$  হলে ঐ কক্ষপথে ইলেকট্রনের বেগ গণনা কর। (ইলেকট্রনের ভর,  $m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$ )।

দক্ষতা : বোর মডেল মতে,  $mvr = \frac{nh}{2\pi}$ ; বা,  $v = \frac{nh}{2\pi mr}$



সমাধান :  $n = 3$ ,  $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  (বা,  $\text{kg m}^2\text{s}^{-1}$ ) [ $\because 1\text{J} = \text{kg m}^2\text{s}^{-2}$ ]

$$\therefore v = \frac{3 \times 6.626 \times 10^{-34} \text{ kgm}^2\text{s}^{-1}}{2 \times 22/7 \times 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg} \times 8.45 \times 10^{-10} \text{ m}}$$

$$= \frac{3 \times 6.626 \times 10^{-34} \times 7 \text{ m.s}^{-1}}{2 \times 22 \times 9.109 \times 8.45 \times 10^{-41}} = 4.0199 \times 10^5 \text{ m s}^{-1}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫ : H-পরমাণুর ইলেকট্রনের দুটি ভিন্ন শক্তিস্তরের শক্তির পার্থক্য  $245.9 \text{ kJ mol}^{-1}$ । উচ্চতর শক্তিস্তর থেকে নিম্নতর শক্তিস্তরে ইলেকট্রন লাফিয়ে পড়লে বিকিরিত আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও ফ্রিকুয়েন্সি কত হবে?

দক্ষতা (Strategy) :  $\Delta E = h\nu = h \times \frac{c}{\lambda}$  এবং  $\lambda = \frac{c}{\nu}$ । (সব পদের একক সদৃশ হবে)

সমাধান : এক্ষেত্রে,  $\Delta E = 245.9 \text{ kJ mol}^{-1}$ ।

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s} \times 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 3.99 \times 10^{-13} \text{ kJ.s. mol}^{-1}$$

$$\therefore \text{ফ্রিকুয়েন্সি, } \nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{245.9 \text{ kJ mol}^{-1}}{3.99 \times 10^{-13} \text{ kJ.s. mol}^{-1}} = 6.1629 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$\therefore \text{তরঙ্গদৈর্ঘ্য, } \lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \times 10^8 \times 10^9 \text{ nm s}^{-1}}{6.1629 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}} = 4.867 \times 10^2 \text{ nm}$$

শিক্ষার্থীর কাজ-২.৩ : বিভিন্ন সমস্যা : বোর পরমাণু মডেলভিত্তিক :

সমস্যা-২.১ : বোর পরমাণু মডেল মতে, ১ম শক্তিস্তরে H-পরমাণুর আবর্তনশীল ইলেকট্রনটির কৌণিক ভরবেগ নির্ণয় কর। [উ:  $1.054136 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ] [চ. বো. ২০১৭]

সমস্যা-২.২ : কোনো একটি ফোটনের শক্তি (E) = 1eV বা,  $1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$  হলে ঐ ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে। [E =  $h\nu = h \times c/\lambda$ ]; [উ: 1241 nm]

সমস্যা-২.২(ক) : কোনো ইলেকট্রনের দুটি শক্তিস্তরের পার্থক্য  $399.1 \text{ kJ mol}^{-1}$ । ঐ ইলেকট্রনের বিকিরিত শক্তির তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও ফ্রিকুয়েন্সি কত হবে? ( $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ) [উ:  $\lambda = 300 \text{ nm}$ ;  $\nu = 1.0 \times 10^{15} \text{ Hz}$ ]

সমস্যা-২.৩ : ইলেকট্রনের দুটি শক্তিস্তরের পার্থক্য  $35.64 \times 10^{-13} \text{ erg}$ । হলে ঐ ইলেকট্রন উচ্চশক্তিস্তর থেকে নিম্নশক্তিস্তরে পতিত হলে বিকিরিত শক্তির ফ্রিকুয়েন্সি কত হবে? ( $h = 6.626 \times 10^{-27} \text{ erg.s}$ ;  $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$ ) [উ:  $5.3788 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$ ]

$$[(E_2 - E_1) = h\nu]$$

সমস্যা-২.৩(ক) : কোনো পরমাণুর দুটি শক্তিস্তরে একটি ইলেকট্রনের শক্তি যথাক্রমে  $6.3 \times 10^{-19} \text{ J}$  এবং  $9.8 \times 10^{-19} \text{ J}$ । যদি উচ্চ শক্তিস্তর থেকে নিম্ন শক্তিস্তরে ইলেকট্রনটি স্থানান্তরিত হয়, তবে বিকিরিত রশ্মির কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে? [ $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ;  $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ ] [উ:  $\nu = 5.282 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$  বা  $\text{Hz}$ ;  $\lambda = 5.679 \times 10^{-7} \text{ m}$ ]

সমস্যা-২.৪ : হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনের ৪র্থ কক্ষপথের ব্যাসার্ধ  $8.5 \times 10^{-10} \text{ m}$  হলে ইলেকট্রনটির ভরবেগ ও বেগ কত? ( $m_e = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$ )। [উ:  $4.96 \times 10^{-25} \text{ kgms}^{-1}$ ;  $v = 5.445 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$ ]

সমস্যা-২.৪(ক) : কোনো পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরের ব্যাসার্ধ  $3.6 \times 10^{-8} \text{ cm}$  হলে ঐ শক্তিস্তরে আবর্তনশীল একটি ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ ও গতিবেগ বের কর। [ইলেকট্রনের ভর,  $m_e = 9.11 \times 10^{-28} \text{ g}$ ] [উ: কৌণিক ভরবেগ =  $3.1624 \times 10^{-34} \text{ J.s}$   $v = 9.642667 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$ ]

সমস্যা-২.৪(খ) : হাইড্রোজেন পরমাণুর N কক্ষপথের ব্যাসার্ধ  $8.5 \times 10^{-8} \text{ cm}$  হলে আবর্তনরত ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ ও গতিবেগ কত হবে? [ইলেকট্রনের ভর,  $m_e = 9.11 \times 10^{-28} \text{ g}$ ] [উ: কৌণিক ভরবেগ =  $4.2165 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  গতিবেগ  $v = 5.4452 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$ ]

সমস্যা-২.৪(গ) : হাইড্রোজেন পরমাণুর কোনো একটি কক্ষপথে ইলেকট্রনের গতিবেগ  $9.64 \times 10^7 \text{ cms}^{-1}$  এবং কক্ষপথটির ব্যাসার্ধ হলো  $3.6 \times 10^{-8} \text{ cm}$ । কোন কক্ষপথে ইলেকট্রনটি আবর্তনশীল ছিল তা গণনা কর। [ইলেকট্রনের ভর,  $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ] [উ: তৃতীয় শক্তিস্তর,  $n = 3$ ]



অধিক জেনে নাও : For Advanced Students

### ২.১.৫ বোর পরমাণু তত্ত্বের প্রয়োগ

#### Application of Bohr's Atom Theory

বোরের H পরমাণু মডেলের ধারণা মতে, পরমাণুর প্রতিটি কক্ষপথ নির্দিষ্ট ও বিভিন্ন মানের শক্তিয়ুক্ত (quantization of energy) এবং এসব স্থায়ী কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনও সমশক্তি সম্পন্ন থাকে। এ ধারণার সাথে পদার্থবিদ্যার বস্তুগণার গতিতত্ত্ব সূত্রসমূহ সমন্বয় করে বোর সার্থকভাবে H পরমাণু ও H পরমাণু সদৃশ আয়ন অর্থাৎ নিউক্লিয়াস ও ১টি মাত্র ইলেকট্রন যুক্ত আয়ন যেমন He<sup>+</sup> বা, Li<sup>2+</sup> এর জন্য প্রয়োজ্য নিম্নোক্ত গাণিতিক সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করেন।

(১) n-তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ (r<sub>n</sub>) নির্ণয়, (২) n-তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের বেগ (v<sub>n</sub>) নির্ণয় ও (৩) n-তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের মোট শক্তি (E<sub>n</sub>) নির্ণয়।

(১) n-তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ (r<sub>n</sub>) নির্ণয় : মনে করি, H পরমাণু ও এর অনুরূপ কোনো আয়নের নিউক্লিয়াসে মোট ধনাত্মক চার্জের পরিমাণ হলো Z × e (চিত্র-২.৬(ক)) এখানে Z = পারমাণবিক সংখ্যা বা প্রোটন সংখ্যা এবং e = প্রতিটি প্রোটনের ধনাত্মক চার্জ।

H পরমাণু ও অনুরূপ ১টি ইলেকট্রন যুক্ত আয়নের বেলায় ঋণাত্মক ইলেকট্রনটির চার্জ = e (ধনাত্মক প্রোটন ও ঋণাত্মক ইলেকট্রনের চার্জের পরিমাণ সমান, চার্জের প্রকৃতি ভিন্ন)। এক্ষেত্রে m ভরবিশিষ্ট ইলেকট্রনটি নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে r ব্যাসার্ধ বিশিষ্ট বৃত্তাকার কক্ষপথে v বেগে আবর্তন করছে। এ অবস্থায় চার্জ যুক্ত কণার ক্ষেত্রে কুলম্বের সূত্র মতে,

(১) নিউক্লিয়াস কর্তৃক আবর্তনশীল ইলেকট্রনের ওপর আকর্ষণ বল বা কেন্দ্রমুখী বল =  $\frac{Ze \times e}{r^2} = \frac{Ze^2}{r^2}$

(২) আবার বৃত্তাকার কক্ষপথে, v বেগে আবর্তনশীল m ভরবিশিষ্ট ইলেকট্রনের ক্ষেত্রে কেন্দ্রবাহিমুখী বল =  $\frac{mv^2}{r}$ ।

এখন নির্দিষ্ট কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনটির সুস্থিতির জন্য কেন্দ্রমুখী বল ও কেন্দ্রবাহিমুখী বলের মান পরস্পর সমান হতে হবে। অর্থাৎ

$$\frac{Ze^2}{r^2} = \frac{mv^2}{r}; \text{ বা, } v^2 = \frac{Ze^2}{mr} \quad \dots (1)$$

আবার বোর পরমাণু মডেলের ২য় প্রস্তাবনা মতে, নির্দিষ্ট কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগের মান  $\frac{h}{2\pi}$  এর সরল গুণিতক হবে। অর্থাৎ

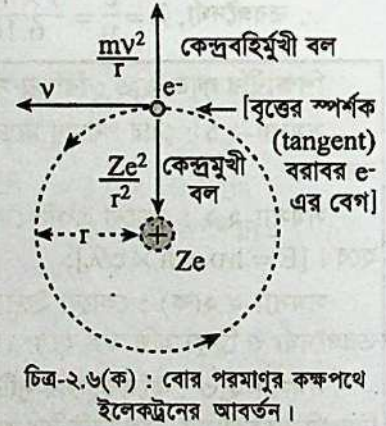
$$mvr = \frac{n \times h}{2\pi} \text{ [এক্ষেত্রে } n = 1, 2, 3 \text{ ইত্যাদি পূর্ণসংখ্যা]}$$

$$\text{বা, } v = \frac{nh}{2\pi mr}; \text{ বা, } v^2 = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m^2 r^2} \quad \dots (2)$$

সুতরাং (1) ও (2) নং সমীকরণ মতে,  $\frac{Ze^2}{mr} = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m^2 r^2}$ ; বা,  $Ze^2 = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 mr}$

∴ r =  $\frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m Ze^2}$ ; অর্থাৎ Z পারমাণবিক সংখ্যাবিশিষ্ট পরমাণুর n-তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ,

$$r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m Ze^2}; \text{ বা, } r_n = \left( \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2} \right) \times \frac{n^2}{Z}$$





H পরমাণুর বেলায়,  $Z = 1$ , তখন H পরমাণুর  $n$ -তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ,

$$r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m e^2} \quad \text{[অনুচ্ছেদ-২.২.২, (i) কক্ষপথের ব্যাসার্ধ বা নিউক্লিয়াসের দূরত্ব, } r_n \text{ এর গণনা দেখো।]}$$

\* H পরমাণুর ১ম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ নির্ণয় : আমরা জানি, H পরমাণুর  $n$ -তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ,  $r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m e^2}$

CGS পদ্ধতিতে,  $h = 6.626069 \times 10^{-27} \text{ erg.s}$ ;  $m = 9.109382 \times 10^{-28} \text{ g}$ ;

$e^- = 4.803 \times 10^{-10} \text{ esu}$ ;  $\pi = 3.141593$ ; ১ম কক্ষপথের জন্য,  $n = 1$  বসিয়ে পাই-

$$r_1 = \frac{(6.626069 \times 10^{-27} \text{ erg.s})^2 \times (1)^2}{4 \times (3.141593)^2 \times (9.109382 \times 10^{-28} \text{ g}) \times (4.803 \times 10^{-10} \text{ esu})^2}$$

$$= \frac{43.90479039 \times 10^{-54} \text{ cm}}{8296.098891 \times 10^{-48}}$$

$$\therefore r_1 = 0.5292 \times 10^{-8} \text{ cm}; \text{ বা, } 0.5292 \text{ \AA} \quad \text{[যেহেতু } 10^{-8} \text{ cm} = 1 \text{ \AA}]$$

উল্লেখ্য H পরমাণুর ১ম কক্ষপথের ব্যাসার্ধকে বোর ব্যাসার্ধ ( $a_0$ ) বা Bohr radius বলা হয়।

সুতরাং বোর ব্যাসার্ধ ( $a_0$ ) =  $0.5292 \times 10^{-8} \text{ cm}$ .

$$\therefore Z \text{ পারমাণবিক সংখ্যা বিশিষ্ট পরমাণুর বেলায়, } r_n = 0.5292 \times 10^{-8} \text{ cm} \times \frac{n^2}{Z}$$

$$\text{জেনে নাও : } 1 \text{ erg} = 1 \text{ g cm}^2 \cdot \text{s}^{-2}; 1 \text{ esu} = \text{g}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{cm}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{s}^{-1} \text{ এবং } 1 \text{ emu} = 3 \times 10^{10} \text{ esu}$$

\* H পরমাণুর ১ম কক্ষপথ ও  $n$ -তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধের সম্পর্ক : আমরা জানি H পরমাণুর  $n$ -তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ,  $r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m e^2}$  এবং এর ১ম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ,  $r_1 = \frac{(1)^2 \times h^2}{4\pi^2 m e^2} = \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2}$ ;

$$\therefore \frac{r_n}{r_1} = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m e^2} \times \frac{4\pi^2 m e^2}{h^2} = n^2$$

$$\text{সুতরাং } r_n = r_1 \times n^2 = (0.5292 \times 10^{-8} \text{ cm}) \times n^2$$

$\therefore$  ইলেকট্রনটি ১ম কক্ষপথ থেকে ৩য় কক্ষপথে গেলে ৩য় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ বেড়ে যায়,  $r_3 = r_1 \times (3)^2 = 9r_1$  অর্থাৎ ৩য় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ ( $r_3$ ) ১ম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ ( $r_1$ ) এর চেয়ে ৯ গুণ বেড়ে যায়।

(২)  $n$ -তম কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের বেগ ( $v_n$ ) নির্ণয় : বোর পরমাণু মডেলের ২য় প্রস্তাবনা মতে, আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ,

$$mvr = \frac{n \times h}{2\pi}; \text{ বা, } v = \frac{nh}{2\pi mr} \quad \dots (3)$$

আবার  $n$ -তম কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কক্ষপথের ব্যাসার্ধ,

$$r = \frac{n^2 h^2}{4\pi m Z e^2} \quad \dots (4)$$

এখন (3) নং সমীকরণে (4) নং সমীকরণ মতে  $r$  এর মান বসিয়ে পাই,

$$v = \frac{nh}{2\pi m} \times \frac{1}{r} = \frac{nh}{2\pi m} \times \frac{4\pi^2 m Z e^2}{n^2 h^2} = \frac{2\pi Z e^2}{nh}$$

$$\text{অর্থাৎ } n\text{-তম কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের বেগ, } v_n = \left( \frac{2\pi e^2}{h} \right) \times \frac{Z}{n}$$



\* H পরমাণুর ১ম কক্ষপথ ও n-তম কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের বেগের সম্পর্ক : আমরা জানি, n-তম কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের বেগ,

$$v_n = \frac{2\pi e^2 \times Z}{h \times n}; \text{ এবং ১ম কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের বেগ, } v_1 = \frac{2\pi e^2 Z}{h \times 1};$$

$$\text{সুতরাং } \frac{v_n}{v_1} = \frac{1}{n}; \text{ বা, } v_n = v_1 \times \frac{1}{n}; \text{ বা, } \boxed{v_1 = n \times v_n}$$

∴ ইলেকট্রনটি ১ম কক্ষপথ থেকে ২য় কক্ষপথে গেলে ২য় কক্ষপথে ইলেকট্রনটির বেগ হবে,  $v_2 = v_1 \times \frac{1}{2}$ ; অর্থাৎ  $v_2$  এর বেগ  $v_1$  এর বেগের অর্ধেক হয়। অর্থাৎ ১ম কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের বেগ ২য় কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের বেগের দ্বিগুণ হয়।

(৩) n-তম কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের মোট শক্তি নির্ণয় : n-তম কক্ষপথে কোনো আবর্তনশীল ইলেকট্রনের মোট শক্তি,  $E_n = (\text{গতিশক্তি} + \text{স্থিতিশক্তি})$

এক্ষেত্রে m ভরবিশিষ্ট ইলেকট্রনটি v বেগে কক্ষপথে আবর্তিত হচ্ছে; তাই এটির গতিশক্তি হলো  $= \frac{1}{2} mv^2$ । এক্ষেত্রে  $Z \times e$  চার্জযুক্ত নিউক্লিয়াস থেকে r ব্যাসার্ধ্যুক্ত কক্ষপথের দূরে থাকা ইলেকট্রনটির স্থিতিশক্তি ধরা হয়  $= \frac{-Ze^2}{r}$ । এর ব্যাখ্যা হলো, কোনো ইলেকট্রনের স্থিতিশক্তি নিউক্লিয়াস থেকে অসীম দূরত্বে শূন্য ধরা হয়। অসীম দূরত্বে থেকে ঐ ইলেকট্রনটিকে নিউক্লিয়াসের সাপেক্ষে r দূরত্বে আনতে মোট যে পরিমাণ কাজ সম্পাদিত হয়; সেটিই হলো নিউক্লিয়াসের সাপেক্ষে r দূরত্বে থাকা ইলেকট্রনের স্থিতিশক্তি। তখন r দূরত্বে থাকা ইলেকট্রনটির ওপর নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ বল  $= \frac{Ze \times e}{r^2} = \frac{Ze^2}{r^2}$ ।

∴ নিউক্লিয়াস থেকে r দূরত্বের কক্ষপথে থাকা ইলেকট্রনের স্থিতিশক্তি হবে :

$$\int_{r=\infty}^{r=r} \frac{Ze^2}{r^2} \cdot dr = Ze^2 \times \int_{r=\infty}^{r=r} \frac{1}{r^2} \cdot dr = \frac{-Ze^2}{r}$$

$$\therefore n\text{-তম কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের মোট শক্তি, } E_n = \frac{1}{2} mv^2 + \left( -\frac{Ze^2}{r} \right)$$

$$\text{বা, } E_n = \frac{1}{2} m \times \frac{Ze^2}{mr} - \frac{Ze^2}{r}; \text{ [যেহেতু, } v^2 = \frac{Ze^2}{mr}, r_n \text{ নির্ণয়ে (1) নং সমীকরণ দ্রষ্টব্য]}$$

$$\text{বা, } E_n = \left( \frac{Ze^2}{2r} - \frac{Ze^2}{r} \right) = \frac{-Ze^2}{2r};$$

$$\text{বা, } E_n = \frac{-Ze^2}{2} \times \frac{1}{r} = \frac{-Ze^2}{2} \times \frac{4\pi^2 m Ze^2}{n^2 h^2}; \text{ (যেহেতু, } r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m Ze^2} \text{)}$$

সুতরাং,  $E_n = \frac{-2\pi^2 m Z^2 e^4}{n^2 h^2}$ ; এ সমীকরণটি H পরমাণুর অনুরূপ পরমাণুর n-তম কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের মোট শক্তি নির্দেশ করে। তাই H পরমাণুর বেলায় Z = 1 ধরে H পরমাণুর n-তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের মোট

$$\text{শক্তি, } \boxed{E_n = \frac{-2\pi^2 m e^4}{n^2 h^2}}$$

\* H পরমাণুর ১ম কক্ষপথ ও n-তম কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের মোট শক্তির অনুপাত :

$$E_n = \frac{-2\pi^2 m e^4}{n^2 h^2}; E_1 = \frac{-2\pi^2 m e^4}{(1)^2 h^2}; \therefore \frac{E_n}{E_1} = \left( \frac{-2\pi^2 m e^4}{n^2 h^2} \right) \times \left( \frac{h^2}{-2\pi^2 m e^4} \right) = \frac{1}{n^2}$$

$$\text{সুতরাং, } \boxed{E_n = E_1 \times \frac{1}{n^2}}; \text{ অর্থাৎ ৩য় কক্ষপথে ইলেকট্রনের মোট শক্তি, } E_3 = E_1 \times \frac{1}{9}; \text{ বা, } E_1 = 9 \times E_3$$



সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬ : লিথিয়াম পরমাণুর ২য় বোর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ কত?

দক্ষতা :  $r_n = 0.5292 \times 10^{-8} \text{ cm} \times \frac{n^2}{Z}$  সমীকরণ ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : লিথিয়াম পরমাণুর বেলায়,  $Z = 3$ , এক্ষেত্রে ২য় কক্ষপথের জন্য  $n = 2$  বসিয়ে পাই-

$$r_2 = 0.5292 \times 10^{-8} \text{ cm} \times \frac{4}{3}; \text{ বা, } r_2 = 0.7056 \times 10^{-8} \text{ cm. (উ:)}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৭ : H-পরমাণুর ৩য় কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের বেগ নির্ণয় কর।

দক্ষতা :  $v_n = \left( \frac{2\pi e^2}{h} \right) \times \frac{Z}{n}$  সমীকরণ ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : H পরমাণুর বেলায়,  $Z = 1$ , ৩য় কক্ষপথের বেলায়,  $n = 3$

$$\therefore v_3 = \frac{2\pi e^2 \times 1}{h \times 3} = \frac{2 \times 3.14 \times (4.8 \times 10^{-10} \text{ esu})^2}{6.626 \times 10^{-27} \text{ erg.s} \times 3} \quad \text{ইলেকট্রনের চার্জ, } e^- = 4.8 \times 10^{-10} \text{ esu}$$

প্লাঙ্কের ধ্রুবক,  $h = 6.626 \times 10^{-27} \text{ erg.s}$

$$\text{বা, } v_3 = \frac{6.28 \times 23.04 \times 10^{-20} (\text{g}^2 \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1})^2}{6.626 \times 10^{-27} (\text{g} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-2}) \cdot \text{s} \times 3} = \frac{144.6912 \times 10^{-20} \text{ g} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-2}}{19.878 \times 10^{-27} \text{ g} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{s}}$$

$$\text{বা, } v_3 = 7.2789 \times 10^7 \text{ cm. s}^{-1}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৮ : দেখাও যে, H-পরমাণুর ১ম কক্ষে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের গতিবেগ আলোর গতিবেগের প্রায়  $0.73 \times 10^{-2}$  গুণ।

দক্ষতা :  $v_n = \left( \frac{2\pi e^2}{h} \right) \times \frac{Z}{n}$  সমীকরণ ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : H পরমাণুর বেলায়,  $Z = 1$ , ১ম কক্ষপথের জন্য  $n = 1$  ধরে—

$$\therefore v_1 = \frac{2\pi e^2}{h} \times \frac{1}{1} = \frac{2 \times 3.14 \times (4.8 \times 10^{-10} \text{ esu})^2}{6.626 \times 10^{-27} \text{ erg.s}} \quad \text{ইলেকট্রনের চার্জ, } e^- = 4.8 \times 10^{-10} \text{ esu}$$

প্লাঙ্কের ধ্রুবক,  $h = 6.626 \times 10^{-27} \text{ erg.s}$

$$\text{বা, } v_1 = \frac{144.6912 \times 10^{-20} \text{ cms}^{-1}}{6.626 \times 10^{-27}} = 2.1837 \times 10^8 \text{ cms}^{-1}$$

আবার আলোর গতিবেগ,  $c = 3.0 \times 10^{10} \text{ cms}^{-1}$

$$\therefore \frac{v_1}{c} = \frac{2.1837 \times 10^8 \text{ cms}^{-1}}{3.0 \times 10^{10} \text{ cms}^{-1}} = 0.73 \times 10^{-2}$$

সুতরাং ১ম কক্ষপথে H-পরমাণুর ইলেকট্রনটির গতিবেগ আলোর গতিবেগের প্রায়  $0.73 \times 10^{-2}$  গুণ প্রমাণিত।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৯ : H পরমাণুর ইলেকট্রনটির বেগ যদি আলোর বেগের  $\frac{1}{275}$  অংশ হয়ে থাকে, তবে ইলেকট্রনটি তখন কোন কক্ষপথে আবর্তন করছে?

দক্ষতা :  $v_n = \left( \frac{2\pi e^2}{h} \right) \times \frac{Z}{n}$  সমীকরণ ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : মনে করি, ইলেকট্রনটি  $n$ -তম কক্ষপথে আবর্তন করছে। প্রশ্ন মতে  $v_n = (\text{আলোর বেগ}) \times \frac{1}{275} = 3.0 \times 10^{10} \text{ cms}^{-1} \times \frac{1}{275} = 1.091 \times 10^8 \text{ cms}^{-1}$

আবার  $n$ -তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের বেগ,  $v_n = \left( \frac{2\pi e^2}{h} \right) \times \frac{Z}{n}$

H পরমাণুর  $Z = 1$ ;  $e^- = 4.8 \times 10^{-10} \text{ esu}$ ;  $h = 6.626 \times 10^{-27} \text{ erg.s}$  বসিয়ে পাই—

$$v_n = \frac{2 \times 3.14 \times (4.8 \times 10^{-10} \text{ esu})^2}{6.626 \times 10^{-27} \text{ erg.s}} \times \frac{1}{n} = \frac{2.18369 \times 10^8 \text{ cm.s}^{-1}}{n}$$

$$\text{প্রদত্ত শর্ত মতে, } \frac{2.18369 \times 10^8 \text{ cm.s}^{-1}}{n} = 1.091 \times 10^8 \text{ cm.s}^{-1}$$

$$\therefore n = \frac{2.18369}{1.091} = 2.0, \therefore \text{ইলেকট্রনটি ২য় কক্ষপথে আবর্তন করছে।}$$



৯২

রসায়ন-প্রথম পত্র

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১০ : প্রথম বোর কক্ষপথের শক্তি - 13.5815 eV হলে ৩য় বোর কক্ষপথের শক্তি জুল এককে কত হবে?

দক্ষতা : H পরমাণুর n-তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের মোট শক্তি,  $E_n = \frac{-2\pi^2 me^4}{n^2 h^2}$

সমাধান : ১ম বোর কক্ষপথের শক্তি,  $E_1 = \frac{-2\pi^2 me^4}{(1)^2 \times h^2}$ ; এবং ৩য় কক্ষপথের শক্তি,  $E_3 = \frac{-2\pi^2 me^4}{(3)^2 \times h^2}$

$$\therefore \frac{E_3}{E_1} = \frac{(-2\pi^2 me^4)}{9 \times h^2} \times \frac{h^2}{(-2\pi^2 me^4)} = \frac{1}{9};$$

$$\therefore E_3 = \frac{1}{9} \times E_1 = \frac{1}{9} (-13.5815 \text{ eV}) = -1.50906 \text{ eV}$$

আবার,  $1 \text{ eV} = 1.602176 \times 10^{-19} \text{ J}$ ;

$$\therefore E_3 = -1.50906 \times 1.602176 \times 10^{-19} \text{ J} = -2.4177 \times 10^{-19} \text{ J}$$

## ২.২ পরমাণুর গঠন সম্পর্কে তরঙ্গ বলবিদ্যা ও স্রোডিঞ্জারের তরঙ্গ সমীকরণ

### Wave Mechanical Model of Atom and Schrodinger Wave Equation

বিজ্ঞানী নীলস্ বোর প্রদত্ত পরমাণু মডেলে কতিপয় সীমাবদ্ধতা রয়েছে। বোর পরমাণু মডেলে পরমাণু সম্বন্ধে বিভিন্ন বিজ্ঞানীর প্রস্তাবিত মতবাদের সূচু ব্যাখ্যা মিলে না। যেমন বিজ্ঞানী বোর তাঁর পরমাণু মডেলে ইলেকট্রনকে কণা হিসেবে বর্ণনা করেছেন। কিন্তু 1924 খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী লুই ডি ব্রগলি (Louis de Broglie) মত প্রকাশ করেন যে, ইলেকট্রনের কণা ও তরঙ্গ উভয় প্রকার ধর্ম আছে। লুই ডি ব্রগলির এ বক্তব্যকে 1926 খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী ই, স্রোডিঞ্জার (Erwin Schrodinger) আরও সংশোধন ও পরিমার্জন করেন। স্রোডিঞ্জার গতিশীল ইলেকট্রনকে নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট তরঙ্গ হিসেবে গণ্য করে তার বিখ্যাত ত্রিমাত্রিক তরঙ্গ বলবিদ্যার সমীকরণটি উপস্থাপন করেন; যা কোয়ান্টাম বলবিদ্যা পরমাণু মডেলের পরিপূর্ণতা লাভের মূল চাবিকাঠি।

### (ক) চলমান বস্তুর কণা ধর্ম ও তরঙ্গ ধর্মের সম্পর্ক : ডি ব্রগলির সমীকরণ

বোর পরমাণু মডেলে ইলেকট্রনকে শুধু কণা হিসেবে বর্ণনা করা হয়েছে। ১৯২৪ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী লুই ডি ব্রগলি (Louis de Broglie) মত প্রকাশ করেন যে, ইলেকট্রনের কণা ও তরঙ্গ উভয় ধর্ম আছে। কোয়ান্টাম তত্ত্বের প্রাক্কের সমীকরণ অনুসারে  $\nu$  (নিউ) ফ্রিকুয়েন্সি যুক্ত একটি ফোটনের শক্তি,  $E = h\nu$ । অপরদিকে আইনস্টাইনের বস্তুকণার ভর ও শক্তির সমতুল্যতা অনুসারে পাই,

$$E = mc^2, \text{ এখানে } m \text{ হলো কণার ভর।}$$

$$E = \text{ফোটনের শক্তি; } c = \text{আলোর গতি।}$$

উভয় সম্পর্ক থেকে আমরা পাই,

$$mc^2 = h\nu = h \times \frac{c}{\lambda}; \therefore c = \nu\lambda$$

$$\text{উভয় দিক থেকে } c \text{ বাদ দিয়ে পাই, } mc = \frac{h}{\lambda}$$

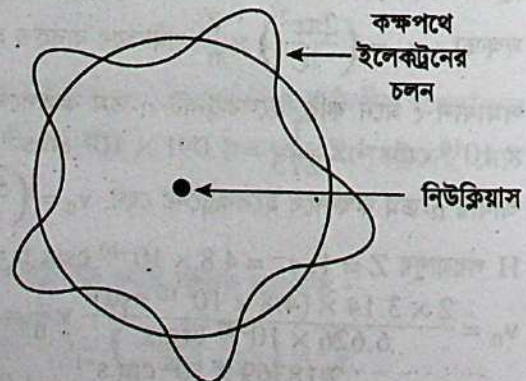
যেহেতু ফোটনের ভর = m এবং সরল গতিবেগ = c

সুতরাং  $mc =$  ফোটনের ভরবেগ।

$$\therefore \text{ফোটনের ভরবেগ, } mc = \frac{h}{\lambda} \quad \dots (1)$$

ব্রগলি মত প্রকাশ করেন যে, চলমান বস্তুকণার সাথেও এক ধরনের তরঙ্গ জড়িত থাকে, যার বেলায়ও উপরোক্ত সমীকরণটি প্রযোজ্য।

যেহেতু চলমান বস্তুকণার বেলায়, ভরবেগ  $p = mv$ ;



চিত্র-২.৭ : বৃত্তাকার পথে ইলেকট্রনের তরঙ্গরূপে আবর্তন।



সুতরাং এক্ষেত্রে উপরোক্ত (1) নং সমীকরণটি দাঁড়ায় নিম্নরূপ :

$$mv = \frac{h}{\lambda}; \text{ বা, } \lambda = h \times \frac{1}{mv}; \text{ এখানে, } \lambda = \text{চলমান বস্তুর কণার বা ইলেকট্রনের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য।}$$

$$\text{বা, চলমান বস্তুর কণার তরঙ্গ ধর্ম, } (\lambda) = \frac{\text{ধ্রুবক (h)}}{\text{বস্তুর কণা ভর ধর্ম (mv)}}$$

এ সমীকরণটি ডি ব্রগলির সমীকরণ নামে পরিচিত।

উল্লেখ্য, ইলেকট্রনের তরঙ্গ ধর্মকে প্রয়োগ করে শক্তিশালী 'ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপ' তৈরি করা হয়েছে; যা গবেষণাগারে ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র কণা পর্যবেক্ষণে ব্যবহৃত হয়।

(খ) ইলেকট্রনের তরঙ্গ ধর্মের ব্যাখ্যা ও ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ,  $mvr = \frac{nh}{2\pi}$  এর প্রমাণ

ডি ব্রগলির মতবাদ অনুসারে, ইলেকট্রন তরঙ্গরূপে নিউক্লিয়াসের চারদিকে বৃত্তাকার পথে চলে। এ অবস্থায় তরঙ্গটি বৃত্তে অবস্থান করবে বোঝা যায়। তখন  $r$  ব্যাসার্ধবিশিষ্ট বৃত্তাকার কক্ষপথের পরিধিটি ইলেকট্রনের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ( $\lambda$ ) এর পূর্ণসংখ্যার ( $n$ ) গুণিতক হতে হবে। অর্থাৎ

$$2\pi r = n\lambda = \frac{n \times h}{mc}; \therefore \lambda = \frac{h}{mc}; \text{ [ডি ব্রগলির সমীকরণ মতে]}$$

$$\therefore mcr = \frac{n \times h}{2\pi}$$

**MCQ-2.4 :** H পরমাণুর 1ম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি  $E_1$  হলে 3য় কক্ষপথের শক্তি কত? [দি. বো. ২০১৬]  
(ক)  $\frac{E_1}{9}$  (খ)  $9E_1$  (গ)  $\frac{E_1}{3}$  (ঘ)  $3E_1$

এখানে  $mcr =$  আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ, যা  $\frac{h}{2\pi}$  এর পূর্ণ সংখ্যা ( $n$ )-এর গুণিতক।

যেহেতু ইলেকট্রনের গতিবেগ ( $v$ ) আলোর গতিবেগ ( $c$ ) এর কাছাকাছি; তাই  $c = v$  ধরা হয়।

$$\therefore mvr = \frac{nh}{2\pi} \text{ [প্রমাণিত]}$$

এটিই প্রকৃতপক্ষে বোর মতবাদের অন্যতম স্বতঃসিদ্ধ; যখন ইলেকট্রনকে তরঙ্গরূপে গণ্য করা হয়। ইতোপূর্বে এর কোনো ব্যাখ্যা দেয়া সম্ভব হয়নি।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১১। বোর মডেল পরমাণুতে একটি বোর ইলেকট্রন তৃতীয় শক্তিস্তর বা স্থির কক্ষপথে একটি পূর্ণ আবর্তন করতে কয়টি পূর্ণ তরঙ্গ সৃষ্টি করবে তা বের কর।

$$\text{সমাধান : বোর মতবাদ মতে, } mvr = \frac{nh}{2\pi}$$

$$\therefore 2\pi r = n \times \frac{h}{mv} \text{ (বন্ধ গুণন করে)} \quad \dots (1)$$

$$\text{আবার ডি. ব্রগলির সমীকরণ মতে, } \lambda = \frac{h}{mv} \quad \dots (2)$$

(1) নং সমীকরণে  $\frac{h}{mv}$  এর স্থলে (2) নং সমীকরণ মতে  $\lambda$  বসিয়ে পাই,

$$2\pi r = n \times \lambda$$

৩য় কক্ষপথের বেলায়, এক্ষেত্রে প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা,  $n = 3$  হয়,

$$\therefore 2\pi r = 3\lambda$$

$$\therefore \text{৩য় কক্ষপথের পরিধি} = 3\lambda$$

অর্থাৎ ৩য় কক্ষপথের পরিধি আবর্তনশীল ইলেকট্রনের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ( $\lambda$ ) এর ৩ গুণ হয়। সুতরাং ৩য় কক্ষপথে প্রত্যেক আবর্তনকালে ইলেকট্রনটি ৩টি পূর্ণ তরঙ্গ সৃষ্টি করবে।

সুতরাং বোর ইলেকট্রন বিভিন্ন কক্ষপথে আবর্তনকালে কক্ষপথের প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যার সমসংখ্যক পূর্ণতরঙ্গ সৃষ্টি করে।

**MCQ-2.5 :** ডি-ব্রগলির সমীকরণ কোনটির  
(ক)  $\Delta E = hv$  (খ)  $mvr = \frac{nh}{2\pi}$   
(গ)  $\lambda = \frac{h}{mv}$   
(ঘ)  $a_0 = 0.5292 \times 10^{-8} \text{ cm}$



## (গ) হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি (Heisenberg's Uncertainty Principle)

গতিশীল ইলেকট্রনের কণা ও তরঙ্গ উভয় ধর্ম থাকায় হাইজেনবার্গ গাণিতিকভাবে প্রমাণ করেন যে, যদি কোনো গতিশীল কণার অবস্থান নির্ভুলভাবে নির্ণয় করা যায়, তখন এর ভরবেগ নির্ণয় অনিশ্চিত হয়ে পড়ে। আবার ঐ কণার ভরবেগ নির্ভুলভাবে নির্ণয় করা সম্ভব হলে, তখন এর অবস্থান নির্ণয় অনিশ্চিত হয়ে পড়ে।

একই সময়ে ইলেকট্রনের অবস্থান যেমন নিউক্লিয়াস থেকে নির্দিষ্ট দূরত্বের কক্ষপথে অবস্থান ও ইলেকট্রনের ভরবেগ নির্ণয় করতে গেলে তখন ইলেকট্রনের অবস্থান ও ভরবেগ উভয়ের মানের মধ্যে কিছুটা ভুল বা অনিশ্চয়তা দেখা দেয়। ১৯২৭ খ্রিষ্টাব্দে হাইজেনবার্গ উভয়ের অনিশ্চয়তার সীমার মধ্যে একটি সম্পর্ক উদ্ভাবন করেন, যা হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি নামে পরিচিত। এ অনিশ্চয়তা নীতি অনুসারে যদি  $\Delta x$  এবং  $\Delta p$  একই সময়ে নির্ণীত ইলেকট্রনের যথাক্রমে অবস্থান জ্ঞাপক ও ভরবেগের পরিমাণের ভুলের মাত্রা হয়, তবে উভয় ভুলের মাত্রার গুণফল প্লাঙ্কের ধ্রুবক  $\frac{h}{4\pi}$  এর মানের প্রায় সমান হবে। অর্থাৎ

$$\Delta x \times \Delta p \geq \frac{h}{4\pi} \text{ (ধ্রুবক)}, \Delta p = m \times \Delta u, \text{ এখানে, } m = \text{কণার ভর, } u = \text{কণার গতিবেগ}$$

সমীকরণ মতে বোঝা যায় যে,  $\Delta x$  এবং  $\Delta p$  রাশিদ্বয় পরস্পরের ব্যস্তানুপাতিক। এক্ষেত্রে ইলেকট্রনের বেগ সঠিকভাবে নির্ণয় করতে গেলে তখন ভরবেগ ( $\Delta p$ ) এর ভুলের মাত্রা ক্ষুদ্রতম হতে হবে। এ অবস্থায়  $\Delta x$  এর মান বেড়ে যায় অর্থাৎ ইলেকট্রনের অবস্থান নির্ণয়ের ভুলের মাত্রা বেড়ে যায়। অপর কথায়, ইলেকট্রনের বেগ (তরঙ্গ ধর্ম) সঠিকভাবে নির্ণয় করতে গেলে কণা ধর্মের গুরুত্ব থাকে না। আবার ইলেকট্রনের অবস্থান (কণা ধর্ম) সঠিকভাবে নির্ণয় করতে গেলে এর তরঙ্গ ধর্মের কোনো গুরুত্ব থাকে না।

## (ঘ) শ্রোডিঞ্জারের তরঙ্গ সমীকরণ (Schrodinger Wave Mechanics Equation)

বোর পরমাণু মডেল— (i) হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি, (ii) ডি-ব্রগলির ইলেকট্রনের কণাধর্ম ও তরঙ্গ ধর্মের দ্বিত্ব প্রকৃতির সম্পর্ক এবং (iii) ইলেকট্রনের স্থির শক্তিস্তরের ধারণা দ্বারা বর্ণালির ব্যাখ্যা নিখুঁতভাবে দিতে পারে না। এ তিনটি বিষয়কে গণ্য করে ১৯২৬ খ্রিষ্টাব্দে শ্রোডিঞ্জার পরমাণুর তরঙ্গ বলবিদ্যা মডেল প্রস্তাব করেন। এ মডেলে শ্রোডিঞ্জার—

(১) ইলেকট্রনকে তরঙ্গ ও কণা উভয় বা দ্বিত্ব প্রকৃতিযুক্ত প্রস্তাব করেন। (২) এ তরঙ্গরূপী ইলেকট্রনসমূহ ধনাত্মক চার্জযুক্ত নিউক্লিয়াসের চারদিকে ত্রিমাত্রিকভাবে ঘূর্ণায়মান থাকে। তরঙ্গরূপী ইলেকট্রনের সূচ্যুভাবে ব্যাখ্যার জন্য শ্রোডিঞ্জার একটি ত্রিমাত্রিক  $(x, y, z)$  তরঙ্গ গতীয় সমীকরণ উপস্থাপন করেন, যা শ্রোডিঞ্জারের তরঙ্গ সমীকরণ নামে পরিচিত :

$$\frac{\delta^2 \psi}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \psi}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 \psi}{\delta z^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} \times (E - V) \psi = 0$$

এ দ্বিতীয় অন্তরক সমীকরণে (i)  $m$  = ইলেকট্রনের ভর, (ii)  $E$  = ইলেকট্রনের মোট শক্তি, (iii)  $V$  = ত্রিমাত্রিক  $(x, y, z)$  কোনো বিন্দুতে ইলেকট্রনের স্থিতিশক্তি  $(= \frac{Ze^2}{r})$ , (iv)  $h$  = প্লাঙ্কের ধ্রুবক, (v)  $\psi$  (psi, সাই) = নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে ত্রিমাত্রিক বিভিন্ন স্থানে ইলেকট্রনের তরঙ্গের বিস্তৃতি বা ফাংশন বোঝায়, (vi)  $x, y, z$  = নিউক্লিয়াস  $(0, 0, 0)$  সাপেক্ষে ত্রিমাত্রিক জ্যামিতির তিনটি পরস্পর সমকোণস্থিত অক্ষ।

$\psi$  (psi) ও  $\psi^2$  এর বৈশিষ্ট্য : (১) শ্রোডিঞ্জারের দ্বিতীয় অন্তরক সমীকরণ (second order differential equation) সমাধান করে  $E$  এর যে সব অর্থবহ নির্দিষ্ট মান পাওয়া যায়, এদেরকে আইজেন মান (Eigen values) বলা হয়। এ সব মান দ্বারা পরমাণুতে কতগুলো নির্দিষ্ট শক্তিস্তর বা অরবিটকে বোঝায়। (২) পরমাণুর বেলায়  $E$  এর প্রত্যেকটি মানের জন্য ঐ সমীকরণ থেকে প্রাপ্ত সংশ্লিষ্ট  $\psi$  এরও কতগুলো বিশেষ মান পাওয়া যায়। তখন ঐ বিশেষ মানযুক্ত তরঙ্গ ফাংশন,  $\psi$ -কে আইজেন ফাংশন [Eigen function] বলা হয় এবং  $E$  এর মানগুলোকে আইজেন মান বলা হয়। (৩)  $\psi$  (psi) এর কোনো ভৌত তাৎপর্য নেই, এটি শুধু ইলেকট্রনের তরঙ্গের বিস্তৃতি (amplitude) প্রকাশ করে। (৪)  $\psi^2$  এর মান বিশেষ অর্থ প্রকাশ করে।  $\psi^2$  এর প্রতিটি মান ইলেকট্রনের তরঙ্গের তীব্রতার সমানুপাতিক। কোনো নির্দিষ্ট শক্তির ইলেকট্রনের সম্ভাব্য অবস্থান নিউক্লিয়াসের চারদিকে কোন স্থানে হবে তা  $\psi^2$  এর মান থেকে জানা যায়। (৫) নিউক্লিয়াসের চারদিকে যে নির্দিষ্ট ত্রিমাত্রিক স্থানে কোনো নির্দিষ্ট শক্তির ইলেকট্রনের অবস্থানের সম্ভাবনা বেশি যেমন প্রায় ৯০ – ৯৫% হয়, একে বিজ্ঞানী সুমারফিল্ড অরবিটাল (orbital) নামে অভিহিত করেন। সুতরাং  $\psi^2$  এর মানসমূহ পরমাণুতে বিভিন্ন শক্তির অরবিটাল প্রকাশ করে।



তরঙ্গ সমীকরণের সমাধান (solve) সমূহ হলো wave functions বা অরবিটাল। সুতরাং—

$$\left[ \begin{array}{c} \text{wave} \\ \text{equation} \end{array} \right] \xrightarrow{\text{solve}} \left[ \begin{array}{c} \text{wave function} \\ \text{or, orbital } (\psi) \end{array} \right] \longrightarrow \left[ \begin{array}{c} \text{Probability of finding electron} \\ \text{in a region of space } (\psi^2) \end{array} \right]$$

প্রকৃতপক্ষে পরমাণুতে বিভিন্ন অরবিট বা শক্তিস্তরে ইলেকট্রনের বিভিন্ন উপশক্তিস্তর ও অরবিটাল আছে, তা পূর্ণাঙ্গ ব্যাখ্যার জন্য তিন প্রকারের পরস্পর সম্পর্কযুক্ত সংখ্যামান প্রস্তাব করা হয়, এদেরকে অরবিটাল কোয়ান্টাম সংখ্যা বলা হয়।

### ২.২.১ কোয়ান্টাম বলবিদ্যা পরমাণু মডেল Quantum Mechanical Atom Model

কোয়ান্টাম বলবিদ্যা পরমাণু মডেল বা আধুনিক পরমাণু মডেলের ভিত্তি হলো নিম্নোক্ত মতবাদ এবং এদের সমন্বিত ফলাফল :

- (১) রাদারফোর্ড প্রদত্ত পরমাণু মডেলের কেন্দ্রস্থ নিউক্লিয়াসের অস্তিত্ব।
- (২) নীলস্ বোর (১৯১৩ খ্রি.) প্রদত্ত পরমাণু মডেলের ইলেকট্রনের স্থির কক্ষপথ বা অরবিট বা শক্তিস্তরের ধারণা;
- (৩) ডি-ব্রগলি প্রদত্ত (১৯২৪ খ্রি.) ইলেকট্রন সদৃশ সূক্ষ্ম কণা-বস্তুর কণাধর্ম (mass property) এবং তরঙ্গ ধর্ম (wave property) অর্থাৎ ইলেকট্রনের দ্বৈত ধর্ম (particle-wave duality)।

ব্রগলির সমীকরণ,  $\lambda = \frac{h}{\text{ইলেকট্রনের ভরবেগ (m v)}} ; \text{ কক্ষপথ, } 2\pi r = n \times \lambda = \frac{nh}{mv},$

$\therefore$  কৌণিক ভরবেগ,  $mvr = \frac{n \times h}{2\pi}$

- (৪) বিজ্ঞানী শ্রোডিঞ্জার প্রদত্ত (১৯২৬ খ্রি.) তরঙ্গ বলবিদ্যার সমীকরণ;

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{d^2\psi}{dy^2} + \frac{d^2\psi}{dz^2} + \frac{8\pi^2m}{h^2} (E-V) \psi = 0;$$

এখানে  $\psi$  (psi) = ইলেকট্রনের তরঙ্গ ফাংশন,  $m$  = ইলেকট্রনের ভর,  $h$  = প্লান্কের ধ্রুবক,  $E$  = ইলেকট্রন কণার মোট শক্তি,  $V$  = ত্রিমাত্রিক  $(x, y, z)$  কোনো বিন্দুতে ইলেকট্রন কণার স্থিতিশক্তি =  $\frac{Ze^2}{r}$ .

- (৫) বিজ্ঞানী হাইজেনবার্গ প্রদত্ত (১৯২৭ খ্রি.) আবর্তনশীল ইলেকট্রনের অরবিটালে অবস্থান ও ভরবেগ সম্পর্কীয় 'অনিশ্চয়তা নীতি'।

এক কথায় শ্রোডিঞ্জারের এ ত্রিমাত্রিক  $(x, y, z)$  দ্বিঘাত তরঙ্গ সমীকরণভিত্তিক পরমাণুর নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে ইলেকট্রন মেঘের অবস্থান সম্পর্কীয় গণনার ফলাফল হলো কোয়ান্টাম বলবিদ্যা পরমাণু মডেলের পরিপূর্ণতা লাভের মূল চাবিকাঠি। এ ত্রিমাত্রিক তরঙ্গ গতীয় সমীকরণের গাণিতিক সমাধান থেকে প্রাপ্ত তিনটি রাশি বা প্যারামিটার (parameter) দ্বারা ইলেকট্রনের সম্ভাব্য সর্বাধিক অবস্থান (৯০-৯৫%) বা অরবিটালের শক্তিমাত্রা (energy level) এবং এর ত্রিমাত্রিক আকার-আকৃতিকে প্রকাশ করা যায়। ইলেকট্রনের অরবিটাল সম্পর্কীয় এ তিনটি সম্পর্ক যুক্ত রাশি বা প্যারামিটারকে 'অরবিটালের কোয়ান্টাম সংখ্যা' বলা হয়।

### ২.২.২ কোয়ান্টাম সংখ্যাসমূহ, বিভিন্ন উপশক্তির ও ইলেকট্রন ধারণক্ষমতা Quantum Numbers, Different Sub-orbits and their Electron Capacities

**কোয়ান্টাম সংখ্যা :** কোয়ান্টাম বলবিদ্যা অনুসারে পরমাণুর ইলেকট্রনের কক্ষপথ বা শক্তিস্তরের আকার (size), কক্ষপথের আকৃতি (shape) ও কক্ষপথের ত্রিমাত্রিক দিক বিন্যাস (orientation) নির্দেশক পরস্পর সম্পর্কযুক্ত তিনটি রাশি রয়েছে। এছাড়া পারমাণবিক বর্ণালির সূক্ষ্ম গঠন বিশ্লেষণের জন্য ইলেকট্রনের অক্ষ বরাবর ঘূর্ণন (spin) প্রকাশক চতুর্থ রাশি আছে। এ চারটি রাশিকে কোয়ান্টাম সংখ্যা বলা হয়। এ চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার নির্দিষ্ট মান দ্বারা একটি পরমাণুতে প্রতিটি আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি ও অবস্থানের সঠিক ও পূর্ণাঙ্গ বর্ণনা দেয়া যায়। এ চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার নাম হলো :

- (১) প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা,  $n$  (Principal quantum number)
- (২) অ্যাজিমুথাল বা সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা,  $l$  (Azimuthal or subsidiary quantum number)
- (৩) চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা,  $m$  (Magnetic quantum number) ও
- (৪) ঘূর্ণন কোয়ান্টাম সংখ্যা,  $s$  (Spin quantum number)।



১। প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা,  $n$  : বোর পরমাণু মডেল অনুসারে পরমাণুর ইলেকট্রনসমূহ নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে নির্দিষ্ট বৃত্তাকারে অরবিট বা শক্তিস্তরে আবর্তন করে। প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা অরবিট বা শক্তিস্তরের আকার প্রকাশ করে। বিজ্ঞানী বোর শক্তিস্তর সম্পর্কীয় প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা ( $n$ ) এর ধারণা প্রস্তাব করেন। প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা  $n$  এর মান 1, 2, 3, 4 প্রভৃতি পূর্ণ সংখ্যা।  $n$ -এর মান বৃদ্ধি পাওয়ার সাথে সাথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের নিট-শক্তি বাড়ে এবং সে সাথে নিউক্লিয়াস থেকে তার কক্ষপথের দূরত্বও বেড়ে যায়।  $n = 1$  হলে ১ম শক্তিস্তর বা K-শেল;  $n = 2$  হলে ২য় শক্তিস্তর বা L-শেল;  $n = 3$  হলে ৩য় শক্তিস্তর বা M-শেল। অনুরূপভাবে ৪র্থ শক্তিস্তর বা N শেল ইত্যাদি হয়। যে কোনো প্রধান শক্তিস্তরের সর্বোচ্চ ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা হচ্ছে  $2n^2$ । মূলত প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা  $n$  দ্বারা কোনো ইলেকট্রনের নির্দিষ্ট শক্তিস্তরে থাকা অবস্থায় ইলেকট্রনের শক্তি ও নিউক্লিয়াস থেকে দূরত্বকে বোঝায়। [চিত্র-২.৯ দেখো]

$$* (i) \text{ কক্ষপথের ব্যাসার্ধ বা নিউক্লিয়াসের দূরত্ব, } r_n = \left( \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2} \right) \times \frac{n^2}{Z};$$

এখন প্রথম বন্ধনীর মধ্যস্থ ফ্রিক মানের পদগুলো যেমন  $h$ ,  $\pi$ ,  $m$  ও  $e^-$  এর মান বসিয়ে  $n$ তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ হয় :

$$\text{CGS পদ্ধতিতে, } h = 6.626069 \times 10^{-27} \text{ erg.s; } m = 9.109382 \times 10^{-28} \text{ g;}$$

$$e^- = 4.803 \times 10^{-10} \text{ esu; } \pi = 3.141593 \text{ বসিয়ে পাই-}$$

$$r_n = \frac{(6.626069 \times 10^{-27} \text{ erg.s})^2}{4 \times (3.141593)^2 \times (9.109382 \times 10^{-28} \text{ g}) \times (4.803 \times 10^{-10} \text{ esu})^2} \times \frac{n^2}{Z}$$

$$\text{বা, } r_n = 0.5292 \times 10^{-8} \text{ cm} \times \frac{n^2}{Z}$$

$$\text{আবার, } \frac{r_n}{r_1} = \frac{h^2 n^2}{4\pi^2 m e^2 Z} \times \frac{4\pi^2 m e^2 Z}{h^2 \times (1)^2} = n^2$$

$$\therefore r_n = r_1 \times n^2 = a_0 \times n^2 = 0.5292 \times 10^{-8} \text{ cm} \times n^2$$

$$r_n = 0.5292 \times n^2 \times 10^{-8} \text{ cm (or, \AA, or } 10^4 \text{ pm) [}\therefore 1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm]}$$

$\therefore$  যেকোনো পরমাণুর বেলায় :

$\therefore$  H পরমাণুর বেলায় পারমাণবিক সংখ্যা,  $Z = 1$ , ধরে :

$$r_n = 5.292 \times \frac{n^2}{Z} \times 10^{-11} \text{ m}$$

$$r_n = 5.292 \times 10^{-11} \text{ m} \times n^2$$

দ্রষ্টব্য : যেহেতু  $r_n$  এর সমীকরণে 'Z' (পাঃ সংখ্যা) জড়িত আছে; তাই প্রত্যেক মৌলের পরমাণুর বেলায়  $r_1$  ও  $r_n$  এর মান H পরমাণুর তুলনায় ভিন্ন হবে। অনুরূপভাবে  $E_n$  ও  $v_n$  এর বেলায়ও তা ঘটবে।

[অনুচ্ছেদ-২.৩.৩ এবং সমাধানকৃত সমস্যা-২.১৪, ২.১৫, ২.১৬ দেখো]

\* (ii) কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি,  $E_n = \left( \frac{-2\pi^2 m e^4}{h^2} \right) \times \frac{Z^2}{n^2}$ ; এক্ষেত্রে  $h$ ,  $\pi$ ,  $m$  ও  $e^-$  এর মান  $h = 6.626069 \times 10^{-27} \text{ erg.s; } \pi = 3.141593$ ;  $m = 9.109382 \times 10^{-28} \text{ g; } e^- = 4.803 \times 10^{-10} \text{ esu}$  বসিয়ে  $n$ -তম কক্ষপথের শক্তি হয় :

$$E_n = \frac{-2 \times (3.141593)^2 \times 9.109382 \times 10^{-28} \text{ g} \times (4.803 \times 10^{-10} \text{ esu})^4}{(6.626069 \times 10^{-27} \text{ erg.s})^2} \times \frac{Z^2}{n^2}$$

$$= \frac{-95690.56038 \times 10^{-68} \text{ g} \cdot (\text{esu})^4}{43.90479039 \times 10^{-54} (\text{erg.s})^2} \times \frac{Z^2}{n^2}$$

$$= (-2179.5 \times 10^{-14}) \times 10^{-7} \text{ J} \times \frac{Z^2}{n^2}$$

$$= (-2.18 \times 10^{-18} \text{ J}) \times \frac{Z^2}{n^2}$$

[এক্ষেত্রে একক পরিবর্তন :

$$\frac{\text{g} \cdot (\text{esu})^4}{(\text{erg.s})^2} = \frac{\text{g} \cdot (\text{g}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{cm}^{\frac{3}{2}} \cdot \text{s}^{-1})^4}{(\text{g} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-2} \times \text{s})^2}$$

$$= \frac{\text{g} \times \text{g}^2 \cdot \text{cm}^6 \cdot \text{s}^{-4}}{\text{g}^2 \cdot \text{cm}^4 \cdot \text{s}^{-4} \times \text{s}^2} = \text{g} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

$$= 10^{-3} \text{ kg} (10^{-2} \text{ m})^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

$$= 10^{-7} \text{ kg m}^2 \cdot \text{s}^{-2} = 10^{-7} \text{ J}]$$

$$E_n = (-2.18 \times 10^{-18} \text{ J}) \times \frac{Z^2}{n^2} \quad \text{H-পরমাণুর জন্য } Z = 1, \text{ তখন } E_n = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \left( \frac{1}{n^2} \right)$$



H-পরমাণুর ১ম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি,  $E_1 = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J}$  এবং এক মোল H পরমাণুর জন্য  $E_1 = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \times 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} = E_1 = -1312 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

২য় কক্ষপথের বেলায়,  $n = 2$ ,  $E_2 = \left(\frac{-1312}{n^2}\right) \text{ kJ mol}^{-1}$ .

বা,  $E_2 = \left[\frac{-1312}{(2)^2}\right] \text{ kJ mol}^{-1} = -328 \text{ kJ mol}^{-1}$

\* সুতরাং ২য় ও ১ম কক্ষপথের শক্তির পার্থক্য,

$(E_2 - E_1) = (-328 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-1312 \text{ kJ mol}^{-1}) = 984 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

\*\* অর্থাৎ ১ম কক্ষপথ থেকে H-পরমাণুর ইলেকট্রনটি ২য় কক্ষপথে স্থানান্তরকালে :

$(984 \text{ kJ mol}^{-1} \div 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}) = 1.634 \times 10^{-18} \text{ J}$  শক্তির শোষণ ঘটবে।

২। অ্যাজিমুথাল বা সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা,  $l$  : পরমাণুতে ইলেকট্রন আবর্তনের জন্য প্রতিটি প্রধান শক্তিস্তর নির্দিষ্ট সংখ্যক উপশক্তিস্তরে বিভক্ত থাকে। একটি ইলেকট্রন প্রধান শক্তিস্তরের যে উপস্তরে রয়েছে তা প্রকাশের জন্য সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা ব্যবহৃত হয়। এটিকে অরবিটাল কোয়ান্টাম সংখ্যা ও সমারফিন্ড কোয়ান্টাম সংখ্যা বলা হয়। বিজ্ঞানী সমারফিন্ড সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা ( $l$ ) সম্বন্ধে সর্বপ্রথম ব্যাখ্যা দেন। সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যাকে  $l$  দ্বারা প্রকাশ করা হয়। কোনো ইলেকট্রনের বেলায় ' $l$ ' এর মান দ্বারা ইলেকট্রনটির কৌণিক ভরবেগ নির্দিষ্ট করা হয়। ' $l$ ' এর মান 0 থেকে  $(n-1)$  পর্যন্ত হয়।  $l$ -এর মান দ্বারা উপশক্তিস্তরের আকৃতি নির্ধারিত হয়।  $l$  এর মান 0, 1, 2, 3 হলে উপশক্তিস্তরকে যথাক্রমে s, p, d, f দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। এসব উপশক্তিস্তরে বর্তমান ইলেকট্রনগুলোকে s, p, d, f ইলেকট্রন বলা হয়। প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা  $n$  এবং সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা  $l$  এর মানের ওপর নির্ভর করে নিম্নোক্ত উপশক্তিস্তর বা অরবিটাল পরমাণুতে থাকে।

প্রধান শক্তিস্তর,  $n = 1$  হলে,  $l = 0$

অর্থাৎ ১ম শক্তিস্তরে উপশক্তিস্তর ১টি, 1s

প্রধান শক্তিস্তর,  $n = 2$  হলে,  $l = 0, 1$

অর্থাৎ ২য় শক্তিস্তরে উপশক্তিস্তর ২টি, 2s 2p

প্রধান শক্তিস্তর,  $n = 3$  হলে,  $l = 0, 1, 2$

অর্থাৎ ৩য় শক্তিস্তরে উপশক্তিস্তর ৩টি, 3s 3p 3d

প্রধান শক্তিস্তর,  $n = 4$  হলে,  $l = 0, 1, 2, 3$

অর্থাৎ ৪র্থ শক্তিস্তরে উপশক্তিস্তর ৪টি, 4s 4p 4d 4f

অতএব  $n$  এর মান যত উপশক্তিস্তরের সংখ্যাও তত।

[ উপশক্তিস্তরের নামকরণের উৎস : গ্রুপ-1 এর ক্ষার ধাতুসমূহের পারমাণবিক বর্ণালিতে ৪ শ্রেণির রেখা বর্ণালি দেখা যায়। বিজ্ঞানীরা প্রাথমিক অবস্থায় তাদেরকে তীক্ষ্ণ বা sharp (s), প্রধান বা principal (p), পরিব্যাপ্ত বা diffused (d) ও মৌলিক বা fundamental (f) নামকরণ করে যথাক্রমে s, p, d, f প্রতীক দ্বারা এদের জন্য  $l$  এর মান 0, 1, 2, 3 নির্দিষ্ট করেন। বিজ্ঞানী সমারফিন্ড পরমাণুতে ইলেকট্রনসমূহের জন্য বোর প্রস্তাবিত প্রধান শক্তিস্তরের মধ্যে বৃত্তাকার ও উপবৃত্তাকার প্রভৃতির উপশক্তিস্তরের ধারণা প্রস্তাব করেন। ]

৩। চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা,  $m$  : পরমাণুর কেন্দ্রে ধনাত্মক চার্জযুক্ত নিউক্লিয়াস ও কক্ষপথে ঋণাত্মক চার্জযুক্ত ইলেকট্রন থাকার কারণে পরমাণুর ভেতরে একটি বিদ্যুৎ ক্ষেত্র এবং এর প্রভাবে চুম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি হয়। এ চুম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে ইলেকট্রনের বিভিন্ন অরবিটালের ত্রিমাত্রিক দিক স্থিতি বা অরিয়েন্টেশন (Orientation) ঘটে। বিজ্ঞানী জিমান চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যার ধারণা দেন। একে  $m$  দ্বারা প্রকাশ করা হয়।  $m$  এর মান  $l$  এর ওপর নির্ভরশীল এবং তা  $+l$  থেকে শূন্যসহ  $-l$  পর্যন্ত হতে পারে। প্রতি  $l$  এর যে কোনো মানের জন্য  $m$  এর  $(2l+1)$  সংখ্যক মান আছে।  $m$  এর মোট মান দ্বারা উপশক্তিস্তরে মোট অরবিটাল সংখ্যা বোঝায়।



উপশক্তিস্তর, s এর জন্য  $l = 0; m = 0$

∴ s উপশক্তিস্তরে ১টি অরবিটাল।

উপশক্তিস্তর, p এর জন্য  $l = 1; m = -1, 0, +1$

∴ p উপশক্তিস্তরে ৩টি অরবিটাল।

উপশক্তিস্তর, d এর জন্য  $l = 2; m = -2, -1, 0, +1, +2$

∴ d উপশক্তিস্তরে ৫টি অরবিটাল।

উপশক্তিস্তর, f এর জন্য  $l = 3; m = -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3$

∴ f উপশক্তিস্তরে ৭টি অরবিটাল।

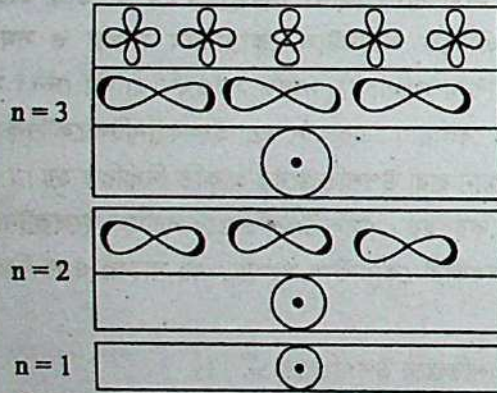
\* যে কোনো উপশক্তিস্তরে মোট অরবিটাল সংখ্যা  $= (2l + 1)$ ।

\* যে কোনো উপশক্তিস্তরের সর্বোচ্চ ইলেকট্রন ধারণক্ষমতা  $= 2(2l + 1)$ , এখানে  $l = 0, 1, 2, 3$  ইত্যাদি।

\* আবার 'n' এর যে কোনো মানের জন্য মোট অরবিটাল সংখ্যা হয়  $n^2$ , যেমন :

$n = 1$  হলে মোট অরবিটাল  $= 1^2 = 1$ ;  $n = 2$  হলে মোট অরবিটাল  $= 2^2 = 4$ টি;

$n = 3$  হলে মোট অরবিটাল  $= 3^2 = 9$ টি।



চিত্র-২.৭(ক) : Total orbitals in first three orbits

$l = 2$ , d-subshell;  $m = -2, -1, 0, 1, 2 = 5$

$l = 1$ , p-subshell;  $m = -1, 0, 1 = 3$

$l = 0$ , s-subshell;  $m = 0 = 1$

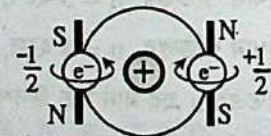
$l = 1$ , p-subshell;  $m = -1, 0, 1 = 3$

$l = 0$ , s-subshell;  $m = 0 = 1$

$l = 0$ , s-subshell;  $m = 0 = 1$

৪। ঘূর্ণন কোয়ান্টাম সংখ্যা,  $s$  বা,  $m_s$  : প্রতিটি ইলেকট্রনের সর্বদা নিজ অক্ষের চারদিকে ঘূর্ণন বা স্পিনগতি থাকে। অক্ষ বরাবর ঘুরতে ঘুরতে প্রতিটি ইলেকট্রন নিজের কক্ষপথে আবর্তন করে থাকে। ঘূর্ণন বা স্পিন গতির কারণে প্রতিটি ইলেকট্রন একটি অতি ক্ষুদ্র চুম্বকরূপে মৃদু চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করে। ইলেকট্রনের স্পিন বর্ণনার জন্য যে কোয়ান্টাম সংখ্যা ব্যবহৃত হয়, একে স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যা বলে। এর প্রতীক  $s$  বা  $m_s$ । ইলেকট্রনের ঘূর্ণনের দিক ঘড়ির কাঁটার আবর্তনের দিকে অথবা বিপরীত দিকে হতে পারে। তাই এ দু'রকম

ঘূর্ণনের জন্য  $s$  এর দুটি মান যথাক্রমে  $+\frac{1}{2}$  অথবা  $-\frac{1}{2}$  হতে পারে। এ  $s$  এর মানের ওপরও ইলেকট্রনের শক্তি কিছু পরিমাণে নির্ভরশীল। সাধারণ নিয়ম হলো প্রতিটি অরবিটাল বিপরীত স্পিনের ( $\uparrow\downarrow$ ) ভিন্নমান ( $\pm\frac{1}{2}$ ) মানযুক্ত দুটি ইলেকট্রন আবর্তন করতে পারে। এর পক্ষে বিজ্ঞানের প্রমাণ হলো, অসম চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে H-পরমাণুর একটি সূক্ষ্ম ধারা দুটি সূক্ষ্ম ধারায় বিভক্ত হয়ে একটি চৌম্বকক্ষেত্রের N-মেরু দ্বারা আকৃষ্ট হয় এবং দ্বিতীয় ধারাটি বিকর্ষিত হয়। এতে প্রমাণিত হয় একক ইলেকট্রনবিশিষ্ট H-পরমাণুসমূহে দুটি পৃথক স্পিনযুক্ত ইলেকট্রন বিপরীত সূক্ষ্ম চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করেছে। বিভিন্ন কোয়ান্টাম সংখ্যার মান থেকে পরমাণুতে বিভিন্ন শক্তিস্তরে অবস্থানকারী মোট অরবিটাল, সর্বাধিক ইলেকট্রনের সংখ্যা ও বিন্যাসের প্রকরণ নিচের ২.১ নং সারণিতে দেখানো হলো :



ইলেকট্রনের স্পিনের ফলে চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি

চিত্র-২.৮ : ইলেকট্রনের স্পিন।



সারণি ২.১ : কোয়ান্টাম সংখ্যা  $n, l$  ও  $m$  এর সমন্বয়ে প্রথম চারটি শক্তিস্তরে অরবিটাল ও ইলেকট্রন সংখ্যা গণনা

কক্ষপথ-এর নাম	প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা $n$	সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা $l$	উপস্তর বা অরবিটাল	চৌম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা $m$	প্রতি উপস্তরে অরবিটাল সংখ্যা	স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যা $s$	প্রতি উপস্তরে ইলেকট্রন সংখ্যা	প্রতি প্রধান স্তরে মোট অরবিটাল সংখ্যা ও মোট ইলেকট্রন সংখ্যা
১ম কক্ষপথ	$n = 1$	$l = 0$	1s অরবিটাল	$l = 0$ হলে $m = 0$ হয়	$\therefore$ 1s অরবিটাল হয় 1টি	1টি 1s অরবিটালে $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ স্পিনের ২টি ইলেকট্রন থাকে	2 $= 1s^2$	$\therefore$ ১ম কক্ষপথে 1টি অরবিটালে 2টি ইলেকট্রন $= 1s^2$
২য় কক্ষপথ	$n = 2$	$l = 0$	2s অরবিটাল	$l = 0$ হলে $m = 0$ হয়	$\therefore$ 2s অরবিটাল হয় 1টি	1টি 2s অরবিটালে $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ স্পিনের 2টি ইলেকট্রন থাকে	2 $= 2s^2$	$\therefore$ ২য় কক্ষপথে $(1 + 3) = 4$ টি অরবিটালে $(2 + 6) = 8$ টি ইলেকট্রন $= 2s^2 2p^6$
		$l = 1$	2p অরবিটাল	$l = 1$ হলে $m = -1, 0, +1$ এ তিনটি মান হয়	$\therefore$ 2p অরবিটাল হয় 3টি	3টি 2p অরবিটালে প্রতিটিতে $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ স্পিনের দুটি করে $3 \times 2 = 6$ টি ইলেকট্রন থাকে	6 $= 2p^6$	
		$l = 0$	3s অরবিটাল	$l = 0$ হলে $m = 0$ হয়	$\therefore$ 3s অরবিটাল হয় 1টি	1টি 3s অরবিটালে $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ স্পিনের 2টি ইলেকট্রন থাকে	2 $= 3s^2$	
৩য় কক্ষপথ	$n = 3$	$l = 1$	3p অরবিটাল	$l = 1$ হলে $m = -1, 0, +1$ এ তিনটি মান হয়	$\therefore$ 3p অরবিটাল হয় 3টি	3টি 3p অরবিটালে প্রতিটিতে $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ স্পিনের দুটি করে $3 \times 2 = 6$ টি ইলেকট্রন থাকে	6 $= 3p^6$	$\therefore$ ৩য় কক্ষপথে $(1 + 3 + 5) = 9$ টি অরবিটালে $(2 + 6 + 10) = 18$ টি ইলেকট্রন $= 3s^2 3p^6 3d^{10}$
		$l = 2$	3d অরবিটাল	$l = 2$ হলে $m = -2, -1, 0, +1, +2$ এ পাঁচটি মান হয়	$\therefore$ 3d অরবিটাল হয় 5টি	5টি 3d অরবিটালে প্রতিটিতে $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ স্পিনের দুটি করে $5 \times 2 = 10$ টি ইলেকট্রন থাকে	10 $= 3d^{10}$	

\* দ্রষ্টব্য : 'm' এর বিভিন্ন মানের সাথে ৩টি বিভিন্ন p অরবিটাল অর্থাৎ ত্রিমাত্রিক  $p_x, p_y, p_z$  অরবিটালসমূহ এবং ৫টি বিভিন্ন d অরবিটাল এর মধ্যে সঠিক সম্পর্ক সব সময় নির্দিষ্ট করা সম্ভব হয় না। তবে কোনো কোনো রসায়নবিদ যেমন ইন্ডিয়ান লেখক Dr. R.D. Madan তাঁর সম্পাদিত 'Modern Inorganic Chemistry' (3rd revised edition, 2011) পুস্তকে ৩টি p অরবিটাল ও ৫টি d অরবিটালের জন্য নিম্নরূপ 'm' এর মান চিহ্নিত করেছেন। যেমন,

$p_x (m = 0), p_y (m = +1), p_z (m = -1)$ ; এবং  $d_{z^2} (m = 0), d_{zx} (m = +1), d_{yz} (m = -1), d_{x^2-y^2} (m = +2), d_{xy} (m = -2)$ ।



সমাধানকৃত সমস্যা-২.১২ : বোর পরমাণু মডেল মতে ৪র্থ শক্তিস্তরে (N-শেলে) কোয়ান্টাম সংখ্যা  $l$  ও  $m$  এর মান হিসাব করে মোট অরবিটাল সংখ্যা ও ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা ব্যাখ্যা কর। (অভিনব বোর্ড (ক-সেট) ২০১৮; মদ্রাসা বো. ২০১৭)

সমাধান : প্রশ্নমতে, ৪র্থ শক্তিস্তর বা N-শেলের বেলায় প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা,  $n = 4$  হয়। তখন,

সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা,  $l = 0, 1, 2, 3$  সম্ভব। কারণ  $l = 0$  সহ  $(n - 1)$  হয়।

∴ এক্ষেত্রে 'l' এর মান হলো চারটি; তাই ৪র্থ শক্তিস্তরে বিভিন্ন উপ-শক্তিস্তর বা অরবিটাল হলো চার প্রকার; যেমন 4s, 4p, 4d, 4f।

আবার প্রত্যেক প্রকার অরবিটালের মোট সংখ্যা চৌম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা 'm' এর মানের ওপর নির্ভরশীল এবং 'm' এর মান 'l' এর মানের ওপর নির্ভর করে। এক্ষেত্রে 'm' এর সম্ভাব্য মোট মান থেকে প্রত্যেক প্রকারের অরবিটাল সংখ্যা নিম্নমতে হিসাব করা হয় :

$l = 0$  হলে,  $m = 0$  হয়

∴ 4s উপশক্তিস্তরে 1টি অরবিটাল সম্ভব।

$l = 1$  হলে,  $m = -1, 0, +1$  হয়

∴ 4p উপশক্তিস্তরে 3টি অরবিটাল সম্ভব।

$l = 2$  হলে,  $m = -2, -1, 0, +1, +2$  হয়

∴ 4d উপশক্তিস্তরে 5টি অরবিটাল সম্ভব।

$l = 3$  হলে,  $m = -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3$  হয়

∴ 4f উপশক্তিস্তরে 7টি অরবিটাল সম্ভব।

∴ বোর পরমাণুর ৪র্থ শক্তিস্তরে বা, N-শেলে অনুমোদিত মোট অরবিটাল সংখ্যা =  $(1 + 3 + 5 + 7)$ টি = 16টি।

পরমাণুর ৪র্থ শক্তিস্তরে মোট ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা : প্রতিটি অরবিটালে বিপরীত স্পিনযুক্ত দুটি করে ইলেকট্রন থাকতে পারে; তাই ৪র্থ শক্তিস্তরের 16টি অরবিটালে মোট ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা হলো =  $16 \times 2 = 32$ টি। যেমন-  $4s^2 4p^6 4d^{10} 4f^4$ ।

### ২.২.৩ চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার তাৎপর্য

#### Significance of four Quantum numbers

কোয়ান্টাম বলবিদ্যা পরমাণু মডেল অনুসারে পরমাণুতে নির্দিষ্ট শক্তিস্তর বা অরবিটে আবর্তনশীল প্রতিটি ইলেকট্রনের শক্তি, অবস্থান ও বৈশিষ্ট্য প্রকাশের জন্য পরস্পর সম্পর্কযুক্ত চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার নির্দিষ্ট মান প্রয়োজন হয়। যেমন-

১। প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যার প্রতীক ও মান : প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যার প্রতীক হলো  $n$  এবং  $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$  পর্যন্ত মান ধরা হয়। বৈশিষ্ট্য :  $n$  এর মান দ্বারা অরবিট বা শক্তিস্তরের আকার (Size) সম্বন্ধে জানা যায়। এক ইলেকট্রনবিশিষ্ট পরমাণু (H) ও আয়নের বেলায়-

\* (i)  $n$ -তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ,  $r_n = (h^2/4\pi^2me^2) \times n^2/Z = a_0 \times n^2/Z$ ; এখানে-

বোর ব্যাসার্ধ বা H পরমাণুর ব্যাসার্ধ,  $a_0 = 5.292 \times 10^{-11} \text{ m}$ ।

\* (ii)  $n$ -তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের গতিবেগ,  $v_n = (2\pi e^2/h) \times Z/n$ ;

H পরমাণুর বেলায়,  $Z = 1$ ,  $v_n = 2\pi e^2/nh$ ।

\* (iii)  $n$ -তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি,  $E_n = (-2.18 \times 10^{-18} \text{ J}) \times Z^2/n^2$ ।

এক মোল ইলেকট্রনের শক্তি,  $E_n = (-1312 \times (Z^2/n^2)) \text{ kJ mol}^{-1}$ ।  $Z =$  নিউক্লিয়াসে চার্জ সংখ্যা,  $n =$  কক্ষপথের ক্রমিক সংখ্যা।

H-পরমাণুর বেলায়,  $Z = 1$ ,  $n = 1$  হলে,  $E_1 = -1312 \text{ kJ mol}^{-1}$  হয়। অপর কথায়  $+1312 \text{ kJ mol}^{-1}$  শক্তি প্রয়োগ করলে H পরমাণুর ইলেকট্রনটি কক্ষপথ থেকে মুক্ত হয়। তাই H পরমাণুর আয়নীকরণ শক্তি,  $E_i = +1312 \text{ kJ mol}^{-1}$ ।

প্রয়োজনীয়তা : এ কোয়ান্টাম সংখ্যার প্রয়োজন হয় H পরমাণুর বর্ণালির মধ্যে প্রধান বর্ণালি রেখা ব্যাখ্যা করার জন্য।



২। সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যার প্রতীক ও মান : সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যার প্রতীক হলো  $l$  এবং  $l = 0$  থেকে  $(n - 1)$  মান ধরা হয়। বৈশিষ্ট্য : বহু ইলেকট্রনবিশিষ্ট পরমাণুর বেলায় প্রযোজ্য উপশক্তিস্তরের আকৃতি (Shape) বোঝানোর জন্য  $l$  এর মান ব্যবহৃত হয়। এক্ষেত্রে  $l = 0, 1, 2, 3$  যথাক্রমে উপশক্তিস্তর  $s, p, d, f$  ধরা হয়। উপশক্তিস্তরের সংখ্যা  $n$  এর মানের সমান হয়।  $s$ -উপশক্তিস্তর হলো গোলক আকার,  $p$ -উপশক্তিস্তর ডায়েল আকার এবং  $d$ -উপশক্তিস্তর ডাবল ডায়েল আকার হয়। প্রয়োজনীয়তা : এ সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা ( $l$ ) এর প্রয়োজন হয় পরমাণুর বর্ণালিতে সৃষ্ট সূক্ষ্ম রেখার উৎপত্তি বোঝানোর জন্য।

৩। চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যার প্রতীক ও মান : চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যার প্রতীক হলো  $m$  এবং  $m = +l$  থেকে শূন্যসহ  $-l$  মান ধরা হয়। বৈশিষ্ট্য : উপশক্তিস্তরে ত্রিমাত্রিকভাবে বিন্যস্ত  $s, p, d, f$  অরবিটালের সংখ্যা গণনা করার জন্য  $m$  এর মান ব্যবহৃত হয়। প্রয়োজনীয়তা : চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে রেখা বর্ণালির সূক্ষ্ম রেখায় বিভক্ত হওয়ার কারণ ব্যাখ্যার জন্য চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা প্রয়োজন হয়।

৪। স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যার প্রতীক ও মান : স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যার প্রতীক হলো  $s$  এবং প্রতিটি  $m$  এর মানের জন্য  $s = +\frac{1}{2}$  ও  $-\frac{1}{2}$  দুটো করে মান হয়। এদের বিপরীত স্পিন বোঝাতে উর্ধ্বমুখী ও নিম্নমুখী তীর চিহ্ন ( $\uparrow$  ও  $\downarrow$ ) ব্যবহৃত হয়। বৈশিষ্ট্য : স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যা ইলেকট্রনের নিজস্ব অক্ষ বরাবর ঘূর্ণন প্রকাশক রাশি।

প্রয়োজনীয়তা : পরমাণুর চুম্বক ধর্ম ব্যাখ্যার জন্য ইলেকট্রনের স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যা প্রয়োজন হয়।

সংক্ষেপে চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মানের সম্পর্ক ও তাৎপর্য

আবিষ্কারক	কোয়ান্টাম সংখ্যা	মান	তাৎপর্য
বোর	প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা ( $n$ )	$n = 1, 2, \dots$ ইত্যাদি।	প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যার সাহায্যে প্রধান শক্তিস্তরের আকার সম্পর্কে অবগত হওয়া যায়।
সমারফিল্ড	সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা ( $l$ )	$n$ এর যে কোনো মানের জন্য $l$ এর মান $0$ থেকে $(n - 1)$ পর্যন্ত হতে পারে।	ইলেকট্রন যে উপকক্ষে ঘুরছে তার আকৃতি সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যার ( $l$ ) সাহায্যে জানা যায়।
জিম্যান	চৌম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা ( $m$ )	$l$ এর যে কোনো মানের জন্য $m$ এ মান $0$ সহ $+l$ থেকে $-l$ পর্যন্ত হয়।	এই কোয়ান্টাম সংখ্যার সাহায্যে ইলেকট্রনটি যে উপকক্ষে রয়েছে সে উপকক্ষটি ত্রিমাত্রিকভাবে কীভাবে বিন্যস্ত রয়েছে তা জানা সম্ভব।
উলেন বেক ও গুন্ড স্মিথ	ঘূর্ণন কোয়ান্টাম সংখ্যা ( $s$ )	$m$ এর প্রতিটি মানের জন্য $s$ -এর মান $+\frac{1}{2}$ ও $-\frac{1}{2}$ হয়।	ইলেকট্রনের ঘূর্ণনের প্রকৃতি ও দিক এ কোয়ান্টাম সংখ্যার সাহায্যে জানা যায়।

অধিক জেনে নাও :

## ২.২.৪ পরমাণু ও পরমাণুর মূল কণিকাসমূহ

### Atom and Its Fundamental Particles

পরমাণু : মৌলিক পদার্থের ক্ষুদ্রতম কণা, সাধারণত যার স্বাধীন অস্তিত্ব নেই, কিন্তু ক্ষুদ্রতম এককরূপে সরাসরি রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করতে পারে, তাকে পরমাণু বলে। প্রত্যেক মৌলের প্রতীক দ্বারা ঐ মৌলের পরমাণুকে বোঝানো হয়। যেমন, H দ্বারা হাইড্রোজেনের পরমাণু বোঝায়।

পরমাণুসমূহকে বিভিন্নভাবে ভেঙে যে সব কণা আবিষ্কৃত হয়েছে মোটামুটিভাবে তাদেরকে পরমাণুর মূল কণিকা বলা হয়। অবশ্য অন্যভাবেও কিছু কিছু কণা সৃষ্টি সম্ভব হয়েছে। তাদের সংখ্যা প্রায় ২০০-এর মতো এবং এ সংখ্যা আরও বাড়ছে। মূল কণিকার সংজ্ঞা নিম্নরূপ :

মূল উপাদানরূপে যে সব অতি সূক্ষ্ম কণিকা দ্বারা পরমাণু গঠিত, তাদেরকে পরমাণুর মূল কণিকা বলা হয়। মূল কণিকা দু প্রকার; যথা— (১) স্থায়ী মূল কণিকা ও (২) অস্থায়ী মূল কণিকা।



**পরমাণুর স্থায়ী মূল কণিকা :** এ যাবৎ তিনটি পরমাণু মডেল থেকে জেনেছো, পরমাণুর কেন্দ্রে থাকে নিউক্লিয়াস এবং এর চারদিকে থাকে বিভিন্ন অরবিটালে আবর্তনশীল ইলেকট্রনসমূহ। এ দুটি কণা ছাড়াও 1932 খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী জেমস চ্যাডউইক পরমাণুর কেন্দ্রে চার্জবিহীন কণা নিউট্রন আবিষ্কার করেন। সাধারণ H পরমাণু ( ${}^1_1\text{H}$ ) ছাড়া সব মৌলের প্রতিটি পরমাণুর গঠন এককরূপে ইলেকট্রন, প্রোটন ও নিউট্রন থাকে। তাই এ তিনটি কণাকে পরমাণুর স্থায়ী মূল কণিকা বলে।

**পরমাণুর অস্থায়ী মূল কণিকা :** কোনো কোনো মৌলের পরমাণুতে খুবই অল্প সময়ের জন্য অস্থায়ীভাবে কিছু কণার অস্তিত্ব পাওয়া গেছে, এদেরকে পরমাণুর অস্থায়ী মূল কণিকা বলে। যেমন নিউট্রিনো, অ্যান্টি নিউট্রিনো, গ্র্যাভিট্রন, পজিট্রন, পজিট্রিনো, মেসন, বোসন, পাইওন, মিউওন ইত্যাদি।

**কম্পোজিট কণিকা :** স্থায়ী ও অস্থায়ী মূলকণিকা ছাড়াও আরো এক শ্রেণির ভারী কণা বিভিন্ন পরমাণু থেকে নির্গত হয়, এদেরকে যৌগিক কণা বা কম্পোজিট কণিকা বলে। যেমন আলফা ( $\alpha$ ) কণা ( ${}^4_2\text{He}^{2+}$ ) ও ডিউটেরন কণা।

আবার বিভিন্ন পরমাণুর নিউক্লিয়াসে প্রোটন ও নিউট্রন সংখ্যার মিল ও গরমিলের ওপর ভিত্তি করে পরমাণুগুলোর (১) আইসোটোপ (isotope), (২) আইসোবার (isobar) ও (৩) আইসোটোন (isotone)—এ তিনটি শ্রেণি আছে।

(১) আইসোটোপ : যে সব পরমাণুর নিউক্লিয়াসে প্রোটন সংখ্যা (p) সমান কিন্তু নিউট্রন সংখ্যা (n) অসমান হওয়ায় ভর সংখ্যা (n + p) অসমান হয়, এদেরকে আইসোটোপ পরমাণু বলে। আইসোটোপ একই মৌলের পরমাণু হওয়ায় পর্যায় সারণিতে এদের অবস্থান একই থাকে (iso = একই topos = অবস্থান)। যেমন H-পরমাণুর তিনটি আইসোটোপ হলো প্রোটিয়াম ( ${}^1_1\text{H}$ ), ডিউটেরিয়াম ( ${}^2_1\text{H}$  বা, D) ও ট্রিটিয়াম ( ${}^3_1\text{H}$  বা, T)। অনুরূপভাবে  ${}^{12}_6\text{C}$ ,  ${}^{13}_6\text{C}$ ,  ${}^{14}_6\text{C}$  আছে। ডিউটেরিয়াম অক্সাইডকে ভারী পানি ( $\text{D}_2\text{O}$ ) বা Heavy Water বলে।

উল্লেখযোগ্য যে, (১) ভরের পার্থক্যের জন্য একই মৌলের আইসোটোপসমূহের মধ্যে রাসায়নিক ধর্মের কোনো পার্থক্য দেখা যায় না। ভৌত ধর্মেরও কোনো বিশেষ পার্থক্য দেখা যায় না। তবে কোনো কোনো ক্ষেত্রে তার পরিমাণগত পার্থক্য থাকতে পারে। (২) তবে ভারী আইসোটোপের স্কটনাক বা গলনাক একটু বেশি হবে, যা অনেকক্ষেত্রে উপেক্ষা করা যায়। (৩) পর্যায় সারণিতেও মৌলের অবস্থান দ্বারাই সেই মৌলের সব আইসোটোপের অবস্থান নিশ্চিত হয়। দু-একটি মৌল (যেমন Na, Au) বাদে প্রকৃতিতে প্রায় সব মৌলের একাধিক আইসোটোপ আছে। তাছাড়া বর্তমানে কৃত্রিমভাবে সব মৌলের বহু আইসোটোপ সৃষ্টি করা হয়েছে। এ পর্যন্ত প্রকৃতিতে প্রাপ্ত ও কৃত্রিমভাবে সৃষ্ট মৌলের সংখ্যা ১১৮; সর্বমোট আইসোটোপের সংখ্যা প্রায় ১৩০০।

(২) আইসোবার : যে সব পরমাণুর প্রোটন সংখ্যা অসমান (ভিন্ন মৌল); কিন্তু ভর সংখ্যা বা (p + n) সমান হয়; এদেরকে পরস্পরের আইসোবার বলে। আইসোবারসমূহ অবশ্যই ভিন্ন ভিন্ন মৌলের পরমাণু। যেমন কপারের আইসোটোপ  ${}^{64}_{29}\text{Cu}$  এবং জিংকের আইসোটোপ  ${}^{64}_{30}\text{Zn}$  হলো পরস্পরের আইসোবার। উভয় পরমাণুর নিউক্লিয়াসে মোট প্রোটন ও নিউট্রনের সংখ্যা হলো 64; কিন্তু তাদের প্রোটন সংখ্যা ভিন্ন। আইসোবার পরমাণুর ভৌত ও রাসায়নিক উভয় প্রকার ধর্ম ভিন্ন হয়। তদ্রূপ  ${}^{14}_6\text{C}$  ও  ${}^{14}_7\text{N}$  হলো পরস্পরের আইসোবার।

(৩) আইসোটোন : যে সব পরমাণুর নিউট্রন সংখ্যা (n) সমান; কিন্তু প্রোটন সংখ্যা (p) অসমান, এদেরকে আইসোটোন বলে। যেমন  ${}^{14}_6\text{C}$  ও  ${}^{16}_8\text{O}$  হলো পরস্পরের আইসোটোন।

### তিনটি স্থায়ী মূল কণিকার বর্ণনা

(১) ইলেকট্রন (Electron),  ${}_{-1}^0\text{e}$  : ১৮৯৭ খ্রিষ্টাব্দে স্যার জে. জে. থমসন (Sir. J. J. Thomson) ক্যাথোড রশ্মির উপর পরীক্ষার সময় ইলেকট্রনের অস্তিত্ব আবিষ্কার করেন। ক্যাথোড রশ্মি হলো ইলেকট্রন কণার প্রবাহ। সব প্রকার পরমাণুতে কম-বেশি ইলেকট্রন বিদ্যমান। পদার্থের মধ্যে ইলেকট্রন সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্রতম কণা। (i) একটি ইলেকট্রনের ভর হচ্ছে  $9.1085 \times 10^{-28}$  g যা একটি প্রোটনের ভরের প্রায়  $\frac{1}{1837}$  এর সমান। (ii) ইলেকট্রন ঋণাত্মক চার্জযুক্ত এবং ঋণাত্মক চার্জের পরিমাণ  $-1.6 \times 10^{-19}$  C (কুলম্ব)। এর চেয়ে কম চার্জ দেখা যায় না। তাই এই পরিমাণ চার্জকে বৈদ্যুতিক



ঋণাত্মক চার্জের একক ধরা হয়। অর্থাৎ প্রতিটি ইলেকট্রনে এক একক ঋণাত্মক বৈদ্যুতিক চার্জ আছে। (iii) ইলেকট্রনকে 'e' প্রতীক দ্বারা বোঝানো হয়। (iv) ইলেকট্রন পরমাণুর নিউক্লিয়াসের বাইরে অবস্থান করে।

(২) প্রোটন (Proton),  ${}^1_1\text{p}$  : ১৯১৯ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড 'ইলেকট্রনের মতো প্রোটনও সব পদার্থের পরমাণুর একটি সাধারণ উপাদান'—এ তথ্য সর্বপ্রথম প্রমাণ করেন। প্রোটন পরমাণুর নিউক্লিয়াসে বিদ্যমান সর্বাপেক্ষা হালকা ধনাত্মক চার্জবিশিষ্ট একটি স্থায়ী বস্তু কণিকা। (i) প্রোটনের ভর  $1.673 \times 10^{-24}$  g যা হাইড্রোজেনের পরমাণুর ভরের প্রায় সমান। পারমাণবিক ভর স্কেলে এর পরিমাণ 1.007276 amu। (ii) প্রোটন হচ্ছে প্রকৃতপক্ষে  $\text{H}^+$  অর্থাৎ একটি হাইড্রোজেন পরমাণু থেকে একটি ইলেকট্রন সরিয়ে নিলেই প্রোটন পাওয়া যায়। সুতরাং প্রোটনের বৈদ্যুতিক চার্জের পরিমাণ ইলেকট্রনের সমান, কিন্তু তা ধনাত্মক। এর পরিমাণও  $+1.6 \times 10^{-19}$  C যা ধনাত্মক চার্জের এক একক। (iii) প্রোটনের প্রতীক হচ্ছে p। (iv) প্রোটন নিউক্লিয়াসে থাকে।

(৩) নিউট্রন (Neutron),  ${}^1_0\text{n}$  : ইলেকট্রন ও প্রোটনের মতো নিউট্রনও একটি মৌলিক কণিকা। ১৯৩২ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী জেমস চ্যাডউইক সর্বপ্রথম নিউট্রন সন্ধান করে এবং সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে, 'হাইড্রোজেন-1 ব্যতীত অন্য যে কোনো পরমাণুর অভ্যন্তরে নিউট্রন বিদ্যমান।' (i) নিউট্রনের ভর  $1.675 \times 10^{-24}$  g যা ইলেকট্রনের ভরের 1839 গুণ। পারমাণবিক ভর স্কেলে এর পরিমাণ 1.008665 amu। (ii) নিউট্রনের কোনো বৈদ্যুতিক চার্জ নেই, অর্থাৎ এটি তড়িৎ নিরপেক্ষ। (iii) নিউট্রনের প্রতীক হচ্ছে n। (iv) এটি পরমাণুর কেন্দ্রে নিউক্লিয়াসে অবস্থান করে।

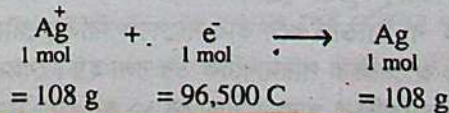
সারণি-২.২ : পরমাণুর স্থায়ী মূল কণিকাসমূহের বৈশিষ্ট্য :

মূল কণিকার নাম ও প্রতীক	প্রোটনের তুলনায়		প্রকৃত ভর (গ্রাম এককে)	প্রকৃত চার্জ (কুলম্ব এককে)	অবস্থান
	ভর	চার্জ			
প্রোটন, ${}^1_1\text{p}$ বা, p	1	+1	$1.673 \times 10^{-24}$ g	$+1.6 \times 10^{-19}$ C বা, $+4.8 \times 10^{-10}$ esu	নিউক্লিয়াসে
নিউট্রন, ${}^1_0\text{n}$ বা, n	1	0	$1.675 \times 10^{-24}$ g	0	নিউক্লিয়াসে
ইলেকট্রন, ${}^0_{-1}\text{e}$ বা, e	$\frac{1}{1837}$	-1	$9.1085 \times 10^{-28}$ g	$-1.6 \times 10^{-19}$ C বা, $-4.8 \times 10^{-10}$ esu	কক্ষপথে (নিউক্লিয়াসের বাইরে)

(ক) ইলেকট্রনের ভর নির্ণয় : ১৮৯৭ খ্রিষ্টাব্দে স্যার জে. জে. থমসন ক্যাথোড রশ্মি পরীক্ষা থেকে ইলেকট্রনের চার্জ/ভর বা,  $\frac{e}{m}$  অনুপাত বের করেন এবং এর মান,  $\frac{e}{m} = 1.76 \times 10^8$  C/g (কুলম্ব প্রতি গ্রাম) হয়। আবার ইলেকট্রনের চার্জের মান  $1.603 \times 10^{-19}$  C ধরে ইলেকট্রনের ভর (m) নিম্নরূপে বের করা হয় :

$$\text{ইলেকট্রনের ভর, } m = \frac{e}{e/m} = \frac{1.603 \times 10^{-19} \text{ C}}{1.76 \times 10^8 \text{ C/g}} = 9.1080 \times 10^{-28} \text{ g.}$$

(খ) ইলেকট্রনের চার্জ নির্ণয় : ১৯০৯ খ্রিষ্টাব্দে রবার্ট মিলিকন 'তৈল-বিন্দু পরীক্ষা'র সাহায্যে ইলেকট্রনের চার্জ ( $e^-$ ) এর মান  $1.6 \times 10^{-19}$  C (কুলম্ব) নির্ণয় করেন। অপরদিকে মাইকেল ফ্যারাডের তড়িৎ-বিশ্লেষণ পরীক্ষা থেকে জানা যায় 108 g বা, 1 mol  $\text{Ag}^+$  আয়নকে Ag পরমাণুতে পরিণত করতে 1 mol ইলেকট্রন অর্থাৎ  $6.022 \times 10^{23}$  টি ইলেকট্রন ক্রিয়া করে।



আবার  $\text{AgNO}_3$  দ্রবণের তড়িৎ বিশ্লেষণের ফলে 108 g Ag ক্যাথোডে জমা হতে 96,500 C (কুলম্ব) বিদ্যুৎ প্রয়োজন হয়।

$$\text{অর্থাৎ } 1 \text{ mol ইলেকট্রনের চার্জ, } N_A \times e^- = 96,500 \text{ C}$$



$$\therefore \text{একটি ইলেকট্রনের চার্জ, } e^- = \frac{96,500 \text{ C}}{N_A} = \frac{96,500 \text{ C}}{6.022 \times 10^{23}} = 1.603 \times 10^{-19} \text{ C (কুলম্ব)}$$

$$= 1.603 \times 10^{-20} \text{ emu [emu = electro magnetic unit]}$$

$$= 4.800 \times 10^{-10} \text{ esu [esu = electro static unit]}$$

## ২.২.৫। পারমাণবিক সংখ্যা ও পারমাণবিক ভর সংখ্যা

### Atomic Number and Atomic Mass Number

(ক) পারমাণবিক সংখ্যা : কোনো মৌলের একটি পরমাণুর নিউক্লিয়াসে যতটি প্রোটন থাকে; প্রোটনের সংখ্যাকে ঐ মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা বা প্রোটন সংখ্যা বলা হয়। প্রোটন সংখ্যাকে সাধারণত  $Z$  দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন, সোডিয়াম পরমাণুর নিউক্লিয়াসে ১১টি প্রোটন আছে। তাই সোডিয়ামের পারমাণবিক সংখ্যা হলো,  $Z = 11$ । তদ্রূপ, ক্লোরিনের পারমাণবিক সংখ্যা হলো,  $Z = 17$ ।

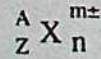
মৌলের ধর্ম এর পারমাণবিক সংখ্যার উপর নির্ভর করে। রাসায়নিক বিক্রিয়ার সময় পরমাণুর সর্ববহিস্থ শক্তিস্তরের ইলেকট্রনসমূহ অংশগ্রহণ করে এবং ইলেকট্রনের সংখ্যার পরিবর্তন ঘটে; কিন্তু প্রোটন সংখ্যা বা পারমাণবিক সংখ্যার কোনো পরিবর্তন ঘটে না।

(খ) পারমাণবিক ভর সংখ্যা : কোনো পরমাণুর ভর মূলত এর নিউক্লিয়াসে পুঞ্জীভূত থাকে। নিউক্লিয়াসে প্রোটন ও নিউট্রন থাকে বলে এদেরকে একত্রে নিউক্লিয়ন (nucleon) বলে। কোনো মৌলের পরমাণুর প্রোটন ও নিউট্রনের মোট সংখ্যাকে নিউক্লিয়ন সংখ্যা বা পারমাণবিক ভর সংখ্যা বা মাস-সংখ্যা বলা হয়।

নিউক্লিয়ন সংখ্যাকে  $A$  দ্বারা প্রকাশ করা হয়। কোনো পরমাণুর নিউক্লিয়াসে প্রোটন ও নিউট্রন সংখ্যা যথাক্রমে  $p$  ও  $n$  হলে, তখন ঐ মৌলের পারমাণবিক ভর সংখ্যা,  $A = (p + n)$  হবে। যেমন, কার্বনের পরমাণুতে প্রোটন সংখ্যা হলো ৬ ও নিউট্রন সংখ্যা হলো ৬। তাই কার্বনের পারমাণবিক ভর সংখ্যা,  $A = (6 + 6) = 12$ ।

(গ) মৌলের পাঃ সংখ্যা, ভর সংখ্যা, চার্জ ও পরমাণু সংখ্যা লেখার নিয়ম :

কোনো মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা ( $Z$ )-কে প্রতীকের বাম পার্শ্বের নিচে, মৌলের ভর সংখ্যা ( $A$ )-কে প্রতীকের বাম পার্শ্বের ওপর দিকে লেখা হয়। এছাড়া অণুস্থিত পরমাণুর সংখ্যা ( $n$ )-কে প্রতীকের ডান পার্শ্বের নিচে, আয়নের চার্জ সংখ্যা ( $m\pm$ ) কে প্রতীকের ডান পার্শ্বের ওপর দিকে লেখা হয়। কোনো মৌলের প্রতীককে  $X$  ধরে উপরিউক্ত সব নিয়মকে নিম্নমতে লেখা হয়। যেমন-



## ২.২.৬ পরমাণুর ভর ও আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর

### Mass of an Atom and Relative Atomic Mass

(ক) আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর : পরমাণু এত ছোট যে, শক্তিশালী মাইক্রোস্কোপ দ্বারাও দেখা যায় না এবং রাসায়নিক নিষ্ক্রিতে ওজন করা যায় না। সেজন্য বিজ্ঞানীরা পরোক্ষভাবে পরমাণুর প্রকৃত ভর স্থির করেছেন। যেমন,

$$\text{হাইড্রোজেনের ১টি পরমাণুর প্রকৃত ভর} = 0.1673 \times 10^{-23} \text{ g}$$

$$\text{কার্বনের ১টি পরমাণুর প্রকৃত ভর} = 1.9924 \times 10^{-23} \text{ g}$$

$$\text{অক্সিজেনের ১টি পরমাণুর প্রকৃত ভর} = 2.6560 \times 10^{-23} \text{ g}$$

উপরিউক্ত গ্রাম এককে প্রকাশিত পরমাণুসমূহের ক্ষুদ্র ভর নিয়ে রাসায়নিক গণনা করা সম্ভব নয়। এ কারণে কোনো একটি মৌলের একটি পরমাণুর ভরকে 'একক' বা স্ট্যান্ডার্ড ধরে তার সাপেক্ষে বিভিন্ন মৌলের এক একটি পরমাণু কতগুণ ভারী তা নির্ণয় করা হয়। একেই সংশ্লিষ্ট মৌলের আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর বলা হয়। যেমন ১টি হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরকে একক বা স্ট্যান্ডার্ড ধরলে তখন কার্বন পরমাণুর আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর ১২ হয়। তা নিয়ে হিসাব করে দেখানো হলো :

$$\text{কার্বনের আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর} = \frac{1.9924 \times 10^{-23} \text{ g}}{0.1673 \times 10^{-23} \text{ g}} = 12 \text{ (প্রায়)}$$



বিভিন্ন বিজ্ঞানী এ যাবৎ আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর প্রকাশের জন্য তিনটি স্ট্যান্ডার্ড বা স্কেল ব্যবহার করেছেন। যেমন- (১) হাইড্রোজেন স্কেল, (২) অক্সিজেন স্কেল ও (৩) কার্বন স্কেল।

১৯৬১ খ্রিস্টাব্দ (IUPAC সম্মেলন) থেকে বিজ্ঞানীরা সর্বসম্মতিক্রমে সব ক্ষেত্রে কার্বন-স্কেল ব্যবহার করে এসেছেন। কার্বন-স্কেল মতে আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর বা পারমাণবিক ভরের সংজ্ঞা নিম্নরূপ :

সংজ্ঞা : কার্বন-12 আইসোটোপ ( $^{12}\text{C}$ ) এর একটি পরমাণুর ভরকে 12 একক ধরে অন্যান্য মৌলের আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর নির্ণয় করা হয়। কোনো মৌলের একটি পরমাণুর ভর কার্বন-12 আইসোটোপের ভরের  $\frac{1}{12}$  অংশের তুলনায় যতশুণ ভারী, সে সংখ্যাকে ঐ মৌলের পারমাণবিক ভর বলা হয়। অর্থাৎ

$$\text{মৌলের আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর} = \frac{\text{মৌলের ১টি পরমাণুর ভর}}{\text{'কার্বন-12' এর ১টি পরমাণুর ভর} \times \frac{1}{12}}$$

'কার্বন-12' আইসোটোপের ভরের  $\frac{1}{12}$  অংশকে 'গ্র্যাটমিক মাস ইউনিট' সংক্ষেপে a.m.u বলা হয়। এর অপর নাম ডালটন (dalton)। 1 dalton =  $1.6605 \times 10^{-24}$  g. আপেক্ষিক পারমাণবিক ভরকে 'পারমাণবিক ভর'ও বলা হয়। এটা একটি বিশুদ্ধ সংখ্যা।

$$\begin{aligned} \text{উদাহরণ : অক্সিজেনের আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর} &= \frac{\text{অক্সিজেনের ১টি পরমাণুর ভর} \times 12}{\text{কার্বন-12 এর ১টি পরমাণুর ভর}} \\ &= \frac{2.6560 \times 10^{-23} \text{ g} \times 12}{1.9924 \times 10^{-23} \text{ g}} = 15.99678779 \end{aligned}$$

(খ) পারমাণবিক ভর একক (amu) : পরমাণুর ভর মাপার জন্য ১৯৬১ খ্রিস্টাব্দের IUPAC সম্মেলনে যে একক ব্যবহার করার জন্য প্রস্তাব করা হয়, তা হচ্ছে পারমাণবিক ভর একক (atomic mass unit সংক্ষেপে amu)। 1 amu =  $1.6605 \times 10^{-24}$  g। একটি কার্বন-12 পরমাণুর ভরকে 12 amu একক ধরে এর হিসাব করা হয়।

$$\therefore \text{পরমাণুর ভর} = \text{আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর} \times 1.6605 \times 10^{-24} \text{ g}।$$

গ্রাম-পরমাণু (gram-atom) : কোনো মৌলিক পদার্থের পারমাণবিক ভরকে গ্রামে প্রকাশ করলে যে পরিমাণ হয়, সেই পরিমাণ মৌলিক পদার্থকে তার এক গ্রাম পরমাণু বলা হয়। যেমন, কার্বনের পারমাণবিক ভর 12। সুতরাং 12 g কার্বন হলো 1 গ্রাম পরমাণু কার্বন।

এক গ্রাম-পরমাণু পরিমাণ মৌলিক পদার্থে  $6.022 \times 10^{23}$  সংখ্যক পরমাণু থাকে। এ সংখ্যা অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা (Avogadro number) হিসেবে পরিচিত। সুতরাং 12 g কার্বনে  $6.022 \times 10^{23}$  সংখ্যক কার্বন পরমাণু থাকবে। ফলে একটি কার্বন-12 পরমাণুর ভর =  $\frac{12}{6.022 \times 10^{23}} \text{ g}$

$$\begin{aligned} \therefore \text{পারমাণবিক ভর একক} &= \frac{\text{১টি কার্বন-12 পরমাণুর ভর}}{12} \text{ (g)} \\ &= \frac{12}{6.022 \times 10^{23} \times 12} \text{ (g)} \\ &= \frac{1}{6.022 \times 10^{23}} \text{ (g)} = 1.6605 \times 10^{-24} \text{ g} = 1.6605 \times 10^{-27} \text{ kg} \end{aligned}$$

**MCQ-2.6 :** নিচের কোনটির ক্ষেত্রে বর্ণালির বেলায় বোর মতবাদ প্রযোজ্য?  
[দি. বো. ২০১৭]  
(ক)  $\text{H}^+$  (খ)  $\text{He}^+$  (গ)  $\text{Li}^+$  (ঘ)  $\text{Be}^{2+}$

পারমাণবিক ভর একক ব্যবহার করলে একটি পরমাণুর ভর সেই মৌলের পারমাণবিক ভরের সমান সংখ্যাবিশিষ্ট হয়। কিন্তু গ্রাম, কিলোগ্রাম একক ব্যবহারে সেই মান সম্পূর্ণ ভিন্ন হয়। যেমন, অক্সিজেনের পারমাণবিক ভর 16। অক্সিজেন পরমাণুর ভর 16 পারমাণবিক ভর একক (বা amu) =  $16 \times 1.6605 \times 10^{-24} \text{ g} = 2.6568 \times 10^{-23} \text{ g}$  বা,  $2.6568 \times 10^{-26} \text{ kg}$ । অনুরূপভাবে পানির আণবিক ভর 18। সুতরাং পানির একটি অণুর ভর =  $18 \text{ amu} = 18 \times 1.6605 \times 10^{-24} \text{ g} = 2.9889 \times 10^{-23} \text{ g} = 2.9889 \times 10^{-26} \text{ kg}$ ।



## ২.২.৭ আইসোটোপের আপেক্ষিক পরিমাণ ও মৌলের পারমাণবিক ভর

### Relative amount of Isotopes and Atomic Mass of Elements

প্রকৃতিতে যে সব মৌল পাওয়া যায়, তাদের আইসোটোপসমূহের আপেক্ষিক প্রাচুর্য সম্পূর্ণ ভিন্ন ধরনের। উদাহরণস্বরূপ, প্রাকৃতিক অক্সিজেনে তিনটি আইসোটোপ যেমন- অক্সিজেন-16, অক্সিজেন-17, অক্সিজেন-18 বিদ্যমান। এদের আপেক্ষিক প্রাচুর্য যথাক্রমে 99.76%, 0.037% ও 0.204%। প্রকৃতিতে কার্বনের দুটি স্থায়ী আইসোটোপ বিদ্যমান। এরা হচ্ছে কার্বন-12, কার্বন-13। এদের আপেক্ষিক প্রাচুর্য যথাক্রমে 98.89%, 1.11%। মৌলের বিভিন্ন আইসোটোপের পারমাণবিক ভরও শতকরা পরিমাণ থেকে মৌলের পারমাণবিক ভর নিম্নরূপে নির্ধারিত হয়।

মনে করি, একটি মৌলের তিনটি আইসোটোপ আছে যাদের পারমাণবিক ভর যথাক্রমে,  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  এবং আপেক্ষিক প্রাচুর্য যথাক্রমে  $a\%$ ,  $b\%$ ,  $c\%$ ।

সুতরাং সে মৌলের 100টি পরমাণুর মধ্যে  $a$  সংখ্যক পরমাণুর প্রতিটির ভর  $M_1$  a.m.u,  $b$  সংখ্যক পরমাণুর প্রতিটির ভর  $M_2$  a.m.u. এবং  $c$  সংখ্যক পরমাণুর প্রতিটির ভর  $M_3$  a.m.u। সুতরাং 100টি পরমাণুর ভর হচ্ছে =  $(aM_1 + bM_2 + cM_3)$  a.m.u।

$$\text{সুতরাং সে মৌলের একটি পরমাণুর গড় ভর} = \left( \frac{aM_1 + bM_2 + cM_3}{100} \right) \text{ a.m.u।}$$

এটিই সেই পরমাণুর গ্রাম পারমাণবিক ভর নির্দেশ করে।

উদাহরণ ২.১। প্রকৃতিতে ক্লোরিনের দুটি আইসোটোপ বিদ্যমান। এদের ভর যথাক্রমে 35 ও 37 পারমাণবিক ভর একক এবং এদের প্রাচুর্য হচ্ছে যথাক্রমে 75.53% ও 24.47%। ক্লোরিনের পারমাণবিক ভর বের কর।

সমাধান : এখানে, প্রথমটির আপেক্ষিক পরিমাণ,  $a = 75.53\%$ ; দ্বিতীয়টির আপেক্ষিক পরিমাণ,  $b = 24.47\%$

প্রথমটির পাঃ ভর,  $A = 35$ ,

দ্বিতীয়টির পাঃ ভর,  $B = 37$

$$\therefore \text{সূত্র মতে ক্লোরিনের পারমাণবিক ভর} = \frac{(35 \times 75.53 + 37 \times 24.47)}{100} = 35.45।$$

উদাহরণ ২.২। প্রাকৃতিক অক্সিজেনে  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$  এর পরিমাণ যথাক্রমে 99.76%, 0.037%, 0.204% হলে অক্সিজেনের পারমাণবিক ভর নির্ণয় কর।

সমাধান :

প্রশ্নমতে, প্রকৃতিতে 100 টি অক্সিজেন পরমাণুর মধ্যে গড়ে 99.76 টি পরমাণুর ভর 16 a.m.u, 0.037 টি অক্সিজেন পরমাণুর ভর 17 a.m.u. এবং 0.204 টি পরমাণুর ভর 18 a.m.u। সুতরাং 100 টি অক্সিজেন পরমাণুর সর্বমোট ভর =  $(16 \times 99.76 + 17 \times 0.037 + 18 \times 0.204) = 1599.9$  a.m.u.

$$\text{সুতরাং একটি অক্সিজেন পরমাণুর গড় ভর} = \frac{1599.9}{100} = 15.999 \text{ a.m.u.}$$

$\therefore$  অক্সিজেনের পারমাণবিক ভর = 15.999।

## ২.২.৮ পরমাণুতে প্রোটন, ইলেকট্রন ও নিউট্রন সংখ্যার সম্পর্ক

### Relationship among Number of Protons, Electrons and Neutrons

পরমাণু সামগ্রিকভাবে কোনোরূপ চার্জযুক্ত থাকে না। যেহেতু নিউট্রন চার্জবিহীন, সেহেতু পরমাণুতে ইলেকট্রন ও প্রোটনের সংখ্যা অবশ্যই সমান হবে। কেননা, প্রোটন ও ইলেকট্রনের আধান বিপরীতধর্মী ও সমপরিমাণের। অপরদিকে ইলেকট্রনের ভর প্রোটন ও নিউট্রনের তুলনায় অতি নগণ্য বলে একটি পরমাণুর ভর এর প্রোটন ও নিউট্রনের সংখ্যা দ্বারাই নিরূপিত হয়। সব আইসোটোপের পারমাণবিক ভর সাধারণত একটি অখণ্ড সংখ্যার খুব কাছাকাছি হয়। এ অখণ্ড সংখ্যাকে আইসোটোপের ভর সংখ্যা বলা হয় এবং তা সেই আইসোটোপে বিদ্যমান প্রোটন ও নিউট্রনের সর্বমোট সংখ্যা নির্দেশ করে। প্রতিটি মৌলের আবার নির্দিষ্ট পারমাণবিক সংখ্যা আছে। বর্তমানে এটি নিশ্চিতভাবে প্রমাণিত যে, একটি মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা সে মৌলের পরমাণুতে বিদ্যমান প্রোটনের সংখ্যার সমান। উপরোক্ত আলোচনা হতে এ সিদ্ধান্তে



আসা যায় যে, কোনো আইসোটোপের ভর সংখ্যা  $A$  এবং সে মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা  $Z$  হলে সে আইসোটোপে  $Z$  টি প্রোটন,  $Z$  টি ইলেক্ট্রন ও  $(A - Z)$  টি নিউট্রন আছে। সারণি ২.৩ থেকে তা পরিষ্কার হবে।

সারণি ২.৩ হতে এটি স্পষ্ট যে,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ -এর মধ্যে এবং  $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ -এর মধ্যে একমাত্র পার্থক্য নিউট্রনের সংখ্যা। অর্থাৎ নিউট্রনের সংখ্যার তারতম্যের জন্যই আইসোটোপের সৃষ্টি। যেহেতু একই মৌলের সব আইসোটোপের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্ম একই, সেহেতু একথা নিশ্চিতভাবে বলা চলে যে, ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মাবলির উপর নিউট্রনের কোনো প্রভাব নেই। প্রশ্ন উঠে, পরমাণুর ভেতরে নিউট্রন, প্রোটন, ইলেক্ট্রন কোথায় এবং কীভাবে থাকে। নিউট্রন আবিষ্কারের বহু পূর্বেই রাদারফোর্ড প্রমাণ করেন যে, পরমাণুতে দুটি ভাগ আছে; একটি কেন্দ্র এবং অপরটি কেন্দ্রের চারদিকে পরিক্রমণরত ইলেক্ট্রনসমূহ। বর্তমানে এটি সন্দেহাতীতভাবে প্রমাণিত যে, নিউট্রন ও প্রোটনসমূহ কেন্দ্রে থাকে।

সারণি-২.৩ :  $C$ ,  $N$ ,  $O$  এর কয়েকটি আইসোটোপে নিউট্রন, প্রোটন ও ইলেক্ট্রনের সংখ্যার সম্পর্ক।

আইসোটোপ	বিভিন্ন কণিকার সংখ্যা			সর্বমোট ভর সংখ্যা	সর্বমোট আধান বা চার্জ
	প্রোটন	ইলেক্ট্রন	নিউট্রন	প্রোটন + নিউট্রন = মোট	প্রোটন + ইলেক্ট্রন + নিউট্রন = মোট
$^{12}_6\text{C}$	6	6	6	6 + 6 = 12	+6 + (-6) + 0 = 0
$^{13}_6\text{C}$	6	6	7	6 + 7 = 13	+6 + (-6) + 0 = 0
$^{14}_7\text{N}$	7	7	7	7 + 7 = 14	+7 + (-7) + 0 = 0
$^{15}_7\text{N}$	7	7	8	7 + 8 = 15	+7 + (-7) + 0 = 0
$^{16}_8\text{O}$	8	8	8	8 + 8 = 16	+8 + (-8) + 0 = 0
$^{17}_8\text{O}$	8	8	9	8 + 9 = 17	+8 + (-8) + 0 = 0
$^{18}_8\text{O}$	8	8	10	8 + 10 = 18	+8 + (-8) + 0 = 0

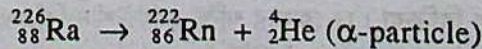
## ২.২.৯ মৌলের তেজস্ক্রিয়তা ও তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ

### Radioactivity and Radioactive Isotopes of Elements

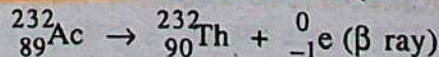
এ যাৎ আবিষ্কৃত ১১৮টি মৌলের মধ্যে অধিকাংশ মৌলের পরমাণু ও এদের আইসোটোপ সুস্থিত (stable) এবং কম সংখ্যক মৌলের পরমাণু ও এদের আইসোটোপগুলো অস্থিত (unstable)। অস্থিত পরমাণু বা আইসোটোপগুলো স্বতঃস্ফূর্তভাবে বিভিন্ন ধরনের রশ্মি বিকিরণ করে অন্য মৌলের আইসোটোপে পরিণত হয়। কোনো মৌলের পরমাণু বা আইসোটোপ দ্বারা স্বতঃস্ফূর্তভাবে বিভিন্ন রশ্মি বিকিরণ-ধর্মকে ঐ মৌলের তেজস্ক্রিয়তা ধর্ম বলে। তেজস্ক্রিয়তা ধর্মযুক্ত মৌলকে তেজস্ক্রিয় মৌল বা তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ বলে। তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ দুই প্রকার; যেমন- (১) প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ; এরা প্রকৃতিতে সৃষ্ট পরমাণু; উদাহরণ  $\text{Rn}(86)$ ,  $\text{Fr}(87)$ ,  $\text{Ra}(88)$ ,  $\text{U}(92)$  ইত্যাদি। (২) কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ; এরা পরীক্ষাগারে বিজ্ঞানীদের দ্বারা 'নিউক্লীয় বিক্রিয়ার' মাধ্যমে সৃষ্ট; উদাহরণ  $\text{Tc}(43)$ ,  $\text{Pm}(61)$ ,  $\text{Np}(93)$  থেকে  $\text{Og}(118)$  পর্যন্ত সব কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় মৌল।

তেজস্ক্রিয় মৌলের বিকিরিত রশ্মি তিন প্রকার; যেমন- (i) আল্ফা ( $\alpha$ ) রশ্মি, (ii) বিটা ( $\beta$ ) রশ্মি ও (iii) গামা ( $\gamma$ ) রশ্মি।

\* তেজস্ক্রিয় মৌলের  $\alpha$ -রশ্মি বিকিরণে সৃষ্ট নতুন পরমাণুতে প্রোটন সংখ্যা ২ একক এবং ভর সংখ্যা ৪ একক হ্রাস পায়। যেমন,



\* তেজস্ক্রিয় মৌলের  $\beta$  রশ্মি বিকিরণে সৃষ্ট নতুন পরমাণুতে প্রোটন সংখ্যা ১ একক বৃদ্ধি পায়; কিন্তু ভর সংখ্যা ঠিক থাকে। এক্ষেত্রে একটি নিউট্রন থেকে  $\beta$  রশ্মি বিকিরিত হয়ে একটি প্রোটন সৃষ্টি হয়। যেমন,





\* গামা রশ্মির ভর ও তড়িৎ চার্জ থাকে না; গামা রশ্মি হলো তড়িৎ চুম্বকীয় রশ্মি।

তিনটি তেজস্ক্রিয় রশ্মির সাধারণ বৈশিষ্ট্য হলো : (১) এরা অস্বচ্ছ পদার্থের মধ্যদিয়ে যেতে পারে; (২) যে গ্যাসের মধ্য দিয়ে যায় তাকে আয়নিত করে; (৩) অন্ধকারে রাখা ফটোগ্রাফিক প্লেটে দাগ সৃষ্টি করে।

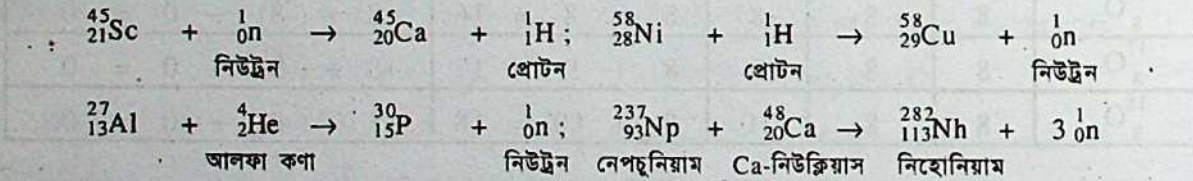
### আলফা ( $\alpha$ ), বিটা ( $\beta$ ) ও গামা ( $\gamma$ ) রশ্মির তুলনা

রশ্মি বা কণা	আপেক্ষিক চার্জ	আপেক্ষিক ভর	রশ্মি বা কণার প্রকৃতি	ছেদন ক্ষমতা
$\alpha$ -রশ্মি	+2	4 একক	দ্বিধানায়ক চার্জযুক্ত ( $\text{He}^{2+}$ )	1 গুণ ধরে
$\beta$ -রশ্মি	-1	0	একক ঋণায়ক চার্জ ( $e^-$ )	1,000 গুণ
$\gamma$ -রশ্মি	0	0	তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ	10,000 গুণ

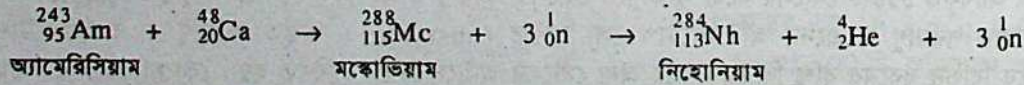
### নিউক্লীয় বিক্রিয়া (Nuclear Reaction)

সংজ্ঞা : কোনো উচ্চ গতিসম্পন্ন কণা বা ক্ষুদ্র নিউক্লিয়াস (যেমন আলফা কণা) দ্বারা অপর কোনো পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে আঘাত করলে সংশ্লিষ্ট নিউক্লিয়াসের পরিবর্তনের মাধ্যমে নতুন নিউক্লিয়াস বিশিষ্ট নতুন মৌলের পরমাণুর যখন উদ্ভব ঘটে, তখন তাকে নিউক্লীয় বিক্রিয়া বলা হয়। নিউক্লীয় বিক্রিয়ায় নিউক্লিয়াসের পরিবর্তন ঘটলেও সর্বমোট প্রোটন ও নিউট্রন সংখ্যার কোনো পরিবর্তন ঘটে না। প্রধান তিন প্রকার নিউক্লীয় বিক্রিয়া যেমন নতুন মৌল সৃষ্টিতে—(১) ট্রান্সমুটেশন বিক্রিয়া, এবং শক্তি উৎপাদনে—(২) নিউক্লীয় ফিশান (fission) ও (৩) নিউক্লীয় ফিউশান (fusion) বিক্রিয়া উদাহরণসহ দেখানো হলো।

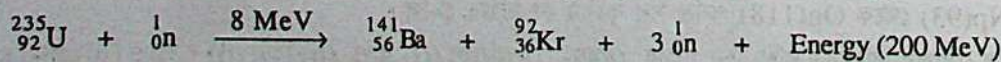
(১) ট্রান্সমুটেশন বিক্রিয়া : কোনো মৌলের স্থায়ী নিউক্লিয়াসকে উচ্চ গতিশীল নিউট্রন, প্রোটন অথবা আলফা কণা অথবা অপর পরমাণুর নিউক্লিয়াস দ্বারা আঘাত করে নতুন মৌলে পরিণত করাকে ট্রান্সমুটেশন বিক্রিয়া বলে। যেমন—



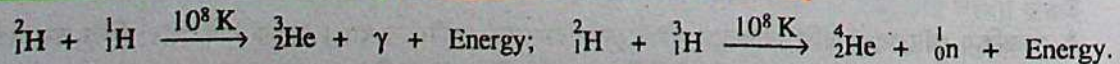
একইভাবে 243 পাঃ ভরের অ্যামেরিসিয়াম ( ${}_{95}^{243}\text{Am}$ ) পরমাণুকে Ca-48 এর নিউক্লিয়াস দিয়ে আঘাত করে 288 পাঃ ভরের মস্কোভিয়াম ( ${}_{115}^{288}\text{Mc}$ ) পরমাণু সৃষ্টি এবং এটির  $\alpha$  কণা বিকিরণে নিহোনিয়াম পরমাণু উৎপন্ন হয়।



(২) নিউক্লীয় ফিশান : অতি বৃহৎ নিউক্লিয়াসের পরমাণু যেমন  ${}_{92}^{235}\text{U}$  এবং  ${}_{94}^{239}\text{Pu}$  ইত্যাদিকে উচ্চ গতিসম্পন্ন নিউট্রন দ্বারা (প্রায় 8 MeV শক্তিতে) আঘাত করে কাছাকাছি পাঃ ভরবিশিষ্ট দুটি ভিন্ন মৌল উৎপন্ন করাকে নিউক্লীয় বিভাজন বা নিউক্লীয় ফিশান বলে। নিউক্লীয় ফিশান বিক্রিয়ায় উৎপন্ন বিপুল তাপশক্তি থেকে পারমাণবিক চুল্লিতে বিদ্যুৎ শক্তি উৎপন্ন করা হয়। [MeV = মেগা ( $10^6$ ) ইলেকট্রন ভোল্ট;  $1\text{MeV} = 1.602176 \times 10^{-13} \text{J} = 1.16 \times 10^{10} \text{K}$ ]



(৩) নিউক্লীয় ফিউশান : দুটি ক্ষুদ্র নিউক্লিয়াসকে অত্যধিক উচ্চ তাপমাত্রায় ( $10^8 \text{K}$ ) উত্তপ্ত করে অপেক্ষাকৃত বড় নিউক্লিয়াসবিশিষ্ট নতুন মৌলে পরিণত করার বিক্রিয়াকে নিউক্লীয় সংযোজন বা থার্মোনিউক্লিয়ার ফিউশান বিক্রিয়া বলে। সূর্যের শক্তির উৎস হলো নিউক্লীয় ফিউশান বিক্রিয়া। H-বোমার শক্তি এ ফিউশান বিক্রিয়া। যেমন—



এক্ষেত্রে  ${}_1^2\text{H}$ ,  ${}_1^3\text{H}$  ও  ${}_2^4\text{He}$  হলো হাইড্রোজেনের তিনটি আইসোটোপ পরমাণু; এদের নাম যথাক্রমে সাধারণ হাইড্রোজেন বা প্রোটিয়াম, ডিউটেরিয়াম ও ট্রিটিয়াম।



সমাধানকৃত সমস্যা-২.১৩ : অরবিটাল শনাক্তকরণ :

কোনো অরবিটালের কোয়ান্টাম সংখ্যা  $n = 3$ ,  $l = 1$  এবং  $m = 1$  হলে অরবিটালটির শেল ও সাবশেল কী শনাক্ত কর।

দক্ষতা (Strategy) : প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা  $n$  এর মান থেকে শেল, সহকারী কো : স :  $l$  এর মান থেকে সাবশেল (উপশক্তি স্তর) ও চুম্বকীয় কো : স :  $m$  এর মান অরবিটালের দিক-নির্দেশ করে।

সমাধান (Solution) :  $n = 3$  হওয়ায়, অরবিটালটির শেল হলো ৩য়;  $l = 1$  হওয়ায় অরবিটালটি হলো  $p$  টাইপ। তাই অরবিটালটির প্রতীক হলো  $3p$ ।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.৪ : বিভিন্ন সমস্যা : কোয়ান্টাম সংখ্যা, অরবিটাল ও ইলেকট্রন বিন্যাসভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.৮ : নিম্নোক্ত কোয়ান্টাম সংখ্যার বর্ণনা দাও।

(ক) প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা, (খ) সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা, (গ) চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা।

সমস্যা-২.৫ : প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা  $n = 5$  হলে, পঞ্চম শেলে মোট অরবিটাল সংখ্যা কত হবে, তা গণনা কর। [ $l = 4$  হলে  $g$  উপশক্তিস্তর হবে।]

সমস্যা-২.৬ : নিম্নোক্ত কোয়ান্টাম সংখ্যার মানযুক্ত অরবিটালসমূহের প্রতীক লেখ।

(ক)  $n = 2$ ,  $l = 1$ ,  $m = 1$ , (খ)  $n = 4$ ,  $l = 3$ ,  $m = -2$ , (গ)  $n = 3$ ,  $l = 2$ ,  $m = -1$

সমস্যা-২.৭ : নিম্নোক্ত প্রতীকের অরবিটালের জন্য প্রযোজ্য কোয়ান্টাম সংখ্যার মান বের কর।

(১) একটি  $3s$  অরবিটাল, (২) একটি  $2p$  অরবিটাল, (৩) একটি  $4d$  অরবিটাল।

সমস্যা-২.৭ (ক) : বোর পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরে ( $M$ -শেলে) সর্বোচ্চ কয়টি ইলেকট্রন থাকতে পারে তা কোয়ান্টাম সংখ্যার সাহায্যে গণনা কর। [অভিন্ন বোর্ড (খ-সেট) ২০১৮; রা. বো. ২০১৭]

সমস্যা-২.৭ (খ) : বোর পরমাণু মডেল মতে পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরে  $l$  ও  $m$  এর মান হিসাব করে মোট অরবিটাল সংখ্যা গণনা কর। [ঢা. বো. ২০১৭]

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১৪ : ইলেকট্রনের কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, গতিবেগ ও শক্তি নির্ণয় :

লিথিয়াম পরমাণুর ২য় কক্ষপথের (ক) বোর ব্যাসার্ধ, (খ)  $2s^1$  ইলেকট্রনের গতিবেগ ও (গ)  $2s^1$  ইলেকট্রনের শক্তি নির্ণয় কর।

সমাধান : (ক) পরমাণুর শক্তিস্তরের ব্যাসার্ধ নির্ণয়ের সমীকরণ হলো :

$$r_n = \left( \frac{h^2}{4\pi^2 me^2} \right) \times \frac{n^2}{Z} = a_0 \times \frac{n^2}{Z}; a_0 = 5.292 \times 10^{-11} \text{ m}$$

Li পরমাণুর বেলায়, কক্ষপথ,  $n = 2$ , পারমাণবিক সংখ্যা,  $Z = 3$

$$\therefore \text{২য় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, } r_2 = 5.292 \times 10^{-11} \text{ m} \times \frac{(2)^2}{3}$$

$$\therefore r_2 = 5.292 \times 10^{-11} \times 10^9 \text{ nm} \times \frac{4}{3}$$

$$\text{বা, } r_2 = 7.056 \times 10^{-2} \text{ nm}$$

$$\text{(খ) } n\text{-তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের গতিবেগ, } v_n = \left( \frac{2\pi e^2}{h} \right) \times \frac{Z}{n}$$

Li পরমাণুর বেলায়, কক্ষপথ,  $n = 2$ ; পারমাণবিক সংখ্যা,  $Z = 3$ ; ইলেকট্রনের চার্জ,  $e = 4.803 \times 10^{-10} \text{ e.s.u.}$ ;  $h = 6.626 \times 10^{-27} \text{ erg.sec}$ ,  $\pi = 3.14$  [দ্রষ্টব্য,  $e^-$  এর চার্জ e.s.u এককে হলে  $h$  এর মান erg.sec এককে হবে।]

MCQ-2.7 :  $N_2$  এর প্রকৃত ভর নিচের কোনটি?

(ক)  $14 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ g}$

(খ)  $28 \times 1.66 \times 10^{-24} \text{ g}$

(গ)  $28 \times 1.6605 \times 10^{-24} \text{ g}$

(ঘ)  $28 \times 1.6605 \times 10^{-24} \text{ g}$



উপরের সমীকরণে মানগুলো বসিয়ে পাই;

$$v_2 = \frac{2 \times 3.14 \times (4.803 \times 10^{-10})^2 \times 3}{6.626 \times 10^{-27}} \times \frac{3}{2}$$

$$= \frac{6.28 \times 23.068809 \times 10^{-20} \times 3}{13.252 \times 10^{-27}} = 327.96 \times 10^6 \text{ cms}^{-1}$$

(গ) n-তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি,  $E_n = \frac{-2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \times Z^2}{n^2}$

Li পরমাণুর বেলায়, ৩য় ইলেকট্রনের কক্ষপথ, n = 2; পাঃ সংখ্যা Z = 3।

উপরের সমীকরণে এসব মান বসিয়ে পাই,  $E_2 = \frac{-2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \times (3)^2}{(2)^2} = -4.905 \times 10^{-18} \text{ J}$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১৫ : সোডিয়াম পরমাণুর M কক্ষপথ বা 3s<sup>1</sup> ইলেকট্রনের কক্ষপথের ব্যাসার্ধ গণনা কর।

দক্ষতা : পরমাণুর শক্তিস্তরের ব্যাসার্ধ নির্ণয়ের সমীকরণ হলো :

$$r_n = \left( \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2} \right) \times \frac{n^2}{Z} = a_0 \times \frac{n^2}{Z}; \text{ এখানে } a_0 = 5.292 \times 10^{-11} \text{ m}$$

সমাধান : Na পরমাণুর M-কক্ষপথ বা 3s<sup>1</sup> ইলেকট্রনের কক্ষপথের বেলায়, n = 3, পারমাণবিক সংখ্যা, Z = 11

$$\therefore \text{Na এর ৩য় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, } r_3 = 5.292 \times 10^{-11} \text{ m} \times \frac{(3)^2}{11}$$

$$\therefore r_3 = 5.292 \times 10^{-11} \times 10^9 \text{ nm} \times \frac{9}{11}; \text{ বা, } r_3 = 4.3298 \times 10^{-2} \text{ nm}$$

$$\therefore \text{Na পরমাণুর M কক্ষপথ বা ৩য় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ} = 4.3298 \times 10^{-2} \text{ nm.}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১৬ : হাইড্রোজেন পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের গতিবেগ বের কর। প্রতি সেকেন্ডে ঐ ইলেকট্রনটি নিউক্লিয়াসের চারদিকে কতবার আবর্তন করে?

দক্ষতা : শক্তিস্তরের ব্যাসার্ধ নির্ণয়ের সমীকরণ,  $r_n = 5.292 \times 10^{-11} \text{ m} \times \frac{n^2}{Z}$  থেকে ৩য় শক্তিস্তরের ব্যাসার্ধ (r) এর মান বের করে  $mvr = nh/2\pi$  সমীকরণ থেকে গতিবেগ (v) বের করতে হবে।

সমাধান : H পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরের জন্য n = 3, পারমাণবিক সংখ্যা, Z = 1

$$\therefore r_3 = 5.292 \times 10^{-11} \text{ m} \times \frac{(3)^2}{1} = 5.292 \times 10^{-11} \times 9 \text{ m}$$

$$\therefore r_3 = 47.628 \times 10^{-11} \text{ m}$$

$$\text{আবার, } mvr = \frac{n \times h}{2\pi} :$$

$$\therefore v = \frac{3 \times 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}}{2 \times 3.14 \times 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg} \times 47.628 \times 10^{-11} \text{ m}}$$

$$\text{বা, } v = \frac{19.878 \times 10^{-34} \text{ J.s}}{2724.84 \times 10^{-42} \text{ kg.m}} = \frac{19.878 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{2724.84}$$

$$\text{বা, } v = 7.295 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$$

আবর্তন সংখ্যা গণনা : শক্তিস্তরের বৃত্তাকার পথের দৈর্ঘ্য =  $2\pi r$

$$\therefore \text{৩য় শক্তিস্তরের বৃত্তাকার পথের দৈর্ঘ্য} = 2\pi r$$

$$\therefore 2\pi r \text{ মিটার পথ অতিক্রম করলে আবর্তন সংখ্যা হয়} = 1 \text{ বার।}$$

$$\text{বা, } 1.0 \text{ মিটার পথ অতিক্রম করলে আবর্তন সংখ্যা} = \frac{1}{2\pi r}$$

$$\text{বা, সেকেন্ডে } 7.295 \times 10^5 \text{ m পথ অতিক্রম করলে আবর্তন সংখ্যা} = \frac{7.295 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}}{2 \times 3.14 \times 47.628 \times 10^{-11} \text{ m}}$$

$$= 24.3895 \times 10^{13} \text{ s}^{-1}$$

$$\therefore \text{নিউক্লিয়াসের চারদিকে বৃত্তাকার পথে সেকেন্ডে আবর্তন সংখ্যা হলো } 24.3895 \times 10^{13} \text{ বার।}$$

MCQ-2.8 : p-উপস্তরের জন্য—

[অভিন্ন বোর্ড ২০১৮]

(i) l = 1 (ii) m = -1, 0, +1

(iii) অরবিটাল 2টি

কোনটি সঠিক?

(ক) i, ii (খ) ii, iii

(গ) i, iii (ঘ) i, ii, iii

MCQ-2.9 : আলফা কণা কোনটি?

(ক)  ${}_0^1n$  (খ)  ${}_1^1n$

(গ)  ${}_2^4\text{He}$  (ঘ)  ${}_2^4\text{He}^{2+}$

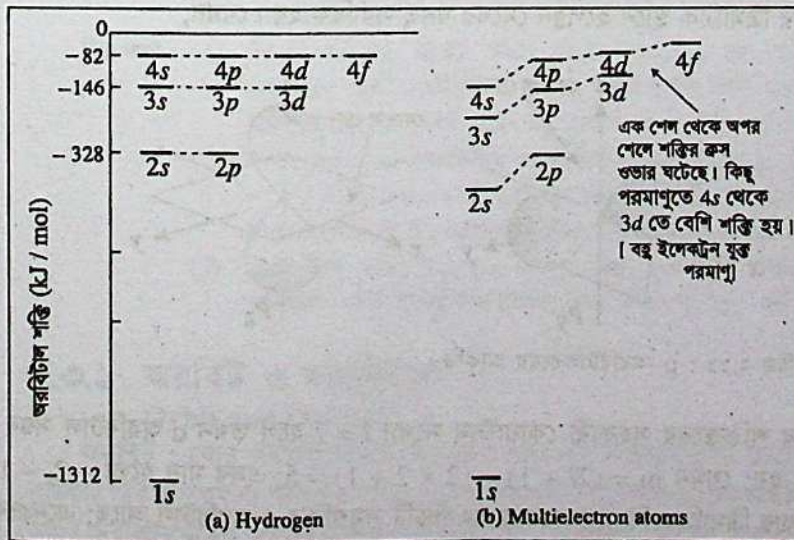


শিক্ষার্থীর কাজ-২.৫ : কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, ইলেকট্রনের গতিবেগ ও শক্তিভিত্তিক :	
সমস্যা-২.৭.১ : হাইড্রোজেন পরমাণুর ৫ম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।	[উ: $13.23 \times 10^{-8} \text{ cm}$ ]
সমস্যা-২.৭.২ : Li পরমাণুর ২য় কক্ষপথের বোর ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।	[উ: $7.056 \times 10^{-9} \text{ cm}$ ]
সমস্যা-২.৭.৩ : Na পরমাণুর ১১তম ইলেকট্রনের কক্ষপথের (ক) বোর ব্যাসার্ধ, (খ) ১১তম ইলেকট্রনের গতিবেগ ও (গ) ১১তম ইলেকট্রনের গতিশক্তি নির্ণয় কর।	[উ: ব্যাসার্ধ $4.3298 \times 10^{-2} \text{ nm}$ ; গতিবেগ $= 801.752 \times 10^6 \text{ cms}^{-1}$ ; গতিশক্তি $= -29.3088 \times 10^{-18} \text{ J}$ ]
সমস্যা-২.৭.৪ : H-পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি কত হবে?	[উ: $2.422 \times 10^{-19} \text{ J}$ ]
সমস্যা-২.৭.৫ : একটি পরমাণুর প্রথম শক্তিস্তরের ব্যাসার্ধ $5.291 \times 10^{-11} \text{ m}$ হলে এ কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের গতিবেগ কত হবে?	[উ: $2.1867 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$ ]
সমস্যা-২.৭.৬ : H-পরমাণুর চতুর্থ শক্তিস্তরের ব্যাসার্ধ এবং এ শক্তিস্তরে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের গতিবেগ কত?	[উ: ব্যাসার্ধ $= 8.467 \times 10^{-10} \text{ m}$ ; গতিবেগ $= 5.466 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$ ]
সমস্যা-২.৭.৭ : K-পরমাণুর ১৯তম ইলেকট্রন যে কক্ষপথে আবর্তন করে সে কক্ষপথের ব্যাসার্ধ কত?	[উ: $4.4564 \times 10^{-9} \text{ cm}$ ]
সমস্যা-২.৭.৮ : H-পরমাণুর নিউক্লিয়াস থেকে তৃতীয় কক্ষপথের দূরত্ব কত হবে?	[উ: $4.763 \times 10^{-8} \text{ cm}$ ]

## ২.৩ কোয়ান্টাম উপশক্তিস্তর বা অরবিটালের শক্তিক্রম ও আকৃতি

### Orbital Energy Levels and Their Shapes

চিত্র-২.৯ এ বিভিন্ন অরবিটাল বা উপশক্তিস্তরের শক্তিক্রম (ইলেকট্রন দ্বারা বিকিরিত অবস্থায়) দেখানো হয়েছে। [চিত্রটিতে পার্থক্যের সুস্পষ্ট ধারণার জন্য বড় করে দেখানো হয়েছে]। বর্ণালি আলোচনায় H-পরমাণুর শক্তি বিভিন্ন শক্তিস্তরে কেবল n এর ওপর নির্ভর করে অর্থাৎ সব অরবিটালের বেলায় শক্তি সমান থাকে। কিন্তু বহু ইলেকট্রনবিশিষ্ট পরমাণুর বেলায় [নিচের (b)] বিভিন্ন অরবিটালের শক্তি n ও l উভয়ের ওপর নির্ভর করে এবং বিভিন্ন অরবিটালের শক্তির সামান্য পার্থক্য ঘটে। আবার দুই উচ্চশক্তিস্তরে অরবিটালের মধ্যেও ক্রস-ওভার ঘটে; যেমন কোনো কোনো পরমাণুতে 4s অরবিটালের চেয়ে 3d অরবিটালের শক্তি বেশি হয়।



চিন্তা কর :

চিত্র-২.৯ মতে, 'পরমাণুর অরবিটালে ইলেকট্রনের শক্তির মান ঋণাত্মক ধরা হয় কেন'; তা ব্যাখ্যা কর।

সমাধান : পরবর্তী পৃষ্ঠাসমূহে এর ব্যাখ্যা দেখ।



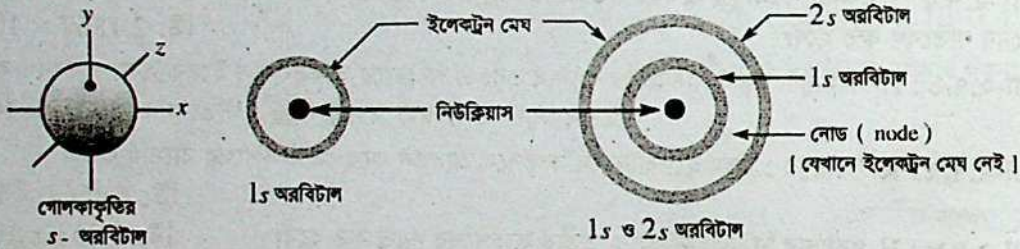
চিত্র-২.৯ : বিভিন্ন অরবিটালসমূহের শক্তিক্রম।

['n' এর মান বৃদ্ধির সাথে অরবিটাল তথা ইলেকট্রনের শক্তির ঋণাত্মক মান হ্রাস পায়। অর্থাৎ ইলেকট্রনের নিট-শক্তির মান বৃদ্ধি পায়।]



বিভিন্ন অরবিটালের আকৃতি (Shapes of different orbitals) : নিউক্লিয়াসের চারদিকে যে এলাকায় আবর্তনশীল ও নির্দিষ্ট শক্তিস্তর ইলেকট্রন মেঘের অবস্থানের সম্ভাবনা 90 - 95% হয়ে থাকে, ইলেকট্রন মেঘের সে এলাকাকে অরবিটাল বলা হয়। 'অরবিটাল' শব্দটি দ্বারা পরমাণুতে বিভিন্ন উপশক্তিস্তর বোঝানো হয়।

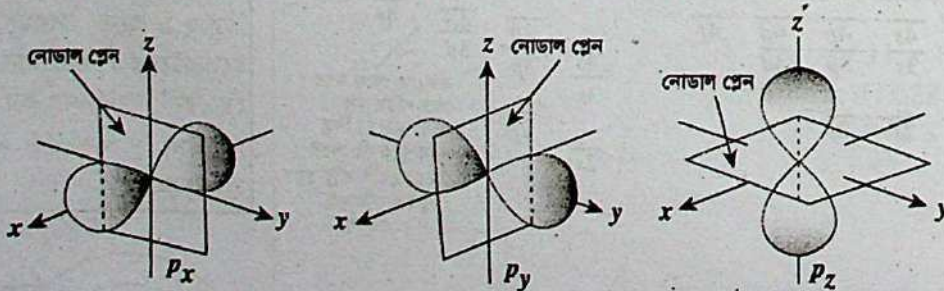
(১) s-অরবিটাল : প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা (n) এর যে কোনো মানের জন্য s-অরবিটাল ( $l = 0$ ) এর ক্ষেত্রে  $m = 0$  হয় বলে এর একটি মাত্র ত্রিমাত্রিক সমবিন্যাস সম্ভব। s অরবিটালের আকৃতি গোলকের ন্যায়; যার কেন্দ্রে নিউক্লিয়াস অবস্থিত। s-অরবিটাল ত্রিমাত্রিকভাবে x-অক্ষ, y অক্ষ ও z-অক্ষ বরাবর সমভাবে বিস্তৃত থাকে। প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা 'n' এর মান যতো বড় হবে, s-অরবিটালের গোলকাকৃতিও ততো বড় হয়।



চিত্র-২.১০ : s-অরবিটালের আকৃতি।

(২) p-অরবিটাল : দ্বিতীয় শক্তিস্তরের জন্য  $n = 2$  হয়। তখন  $l = 0, 1$  দুটি মান হয়।  $l = 1$  হলে p অরবিটাল হয়। আবার  $l = 1$  হলে চূম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা,  $m = -1, 0, +1$  তিনটি মান সম্ভব। অতএব একই শক্তিসম্পন্ন তিনটি করে p অরবিটাল আছে; এদেরকে  $p_x, p_y$  ও  $p_z$  অরবিটাল বলা হয়। p অরবিটালসমূহের আকৃতি অনেকটা ডাম্বলের (dumbel) ন্যায়। এদের আকৃতি একই প্রকারের হয়; কিন্তু এরা যথাক্রমে X, Y, Z অক্ষে পরস্পরের ওপর লম্বভাবে থাকে এবং নিজ নিজ অক্ষ বরাবর দিক নির্দেশকরূপে বিস্তৃত থাকে। প্রতিটি p-অরবিটালের ইলেকট্রন মেঘের দুটি লোবকে একটি নোডাল প্লেন আলাদা করে রাখে। নোডাল প্লেনটি (nodal plan) নিউক্লিয়াসকে ভেদ করে।

p-অরবিটালত্রয় s-অরবিটালের মতো নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে সমভাবে বিস্তৃত থাকে না। পরমাণুর কেন্দ্রের দিকে ইলেকট্রন মেঘের ঘনত্ব কম এবং অক্ষ বরাবর ত্রিমাত্রিক স্থানে ইলেকট্রন মেঘের ঘনত্ব সর্বাধিক হয়। যেমন,



চিত্র-২.১১ : p-অরবিটালত্রয়ের আকৃতি।

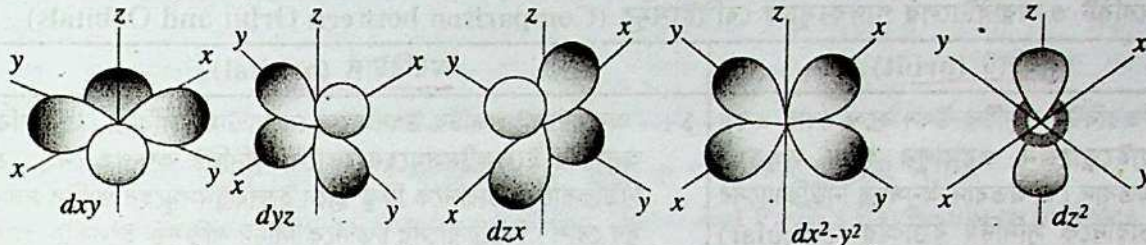
(৩) d-অরবিটাল : কোনো ইলেকট্রনের শক্তিস্তরের সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা  $l = 2$  হলে তখন d অরবিটাল সম্ভব। যখন  $l = 2$ , হয়, তখন  $m$  এর মান পাঁচটি হয়; যেমন  $m = (2l + 1) = (2 \times 2 + 1) = 5$ ; এসব মান হলো  $-2, -1, 0, +1, +2$ । তাই d-অরবিটালের পাঁচ প্রকার ত্রিমাত্রিক বিন্যাস সম্ভব অর্থাৎ পাঁচটি সমশক্তির d-অরবিটাল আছে; এদেরকে  $d_{xy}, d_{yx}, d_{zx}, d_x^2 - y^2, d_z^2$  বলে। d-অরবিটালের আকৃতি চারটি লোববিশিষ্ট ডাবল-ডাম্বলের মতো। প্রতি দুটি বিপরীত লোবকে একটি নোডাল প্লেন আলাদা করে রাখে। দুটি নোডাল প্লেনই নিউক্লিয়াসকে ভেদ করে।



\* প্রথম তিনটি দুটি অক্ষের মাঝখানে থাকে; যেমন  $d_{xy}$  এর চারটি লোব X ও Y উভয় অক্ষের মাঝখানে,  $d_{yz}$  এর চারটি লোব Y ও Z উভয় অক্ষের মাঝখানে,  $d_{zx}$  এর চারটি লোব Z ও X উভয় অক্ষের মাঝখানে অবস্থান করে।

\* চতুর্থ অরবিটাল  $d_{x^2-y^2}$  এর চারটি লোব X ও Y অক্ষ বরাবর অবস্থান করে।

\* পঞ্চম অরবিটাল  $d_{z^2}$  এর ইলেকট্রন মেঘপুঞ্জ চিত্র মতে Z-অক্ষ বরাবর দুটি লোবসহ এবং কিছু মেঘ চক্রাকারে X ও Y অক্ষদ্বয়ের ছেদবিন্দুকে কেন্দ্র করে XY সমতলে অবস্থান নেয়। যেমন,



চিত্র-২.১২ : পাঁচটি d-অরবিটালের আকৃতি।

উল্লেখ্য f অরবিটালে আটটি করে ইলেকট্রন লোবকে তিনটি নোডাল প্লেন আলাদা করে রাখে। তবে সবসময় মনে রাখা প্রয়োজন যে, সুবিধাজনকভাবে দ্বিমাত্রিকভাবে আঁকা হলেও এ সব অরবিটালের আকৃতি প্রকৃতপক্ষে ত্রিমাত্রিক। যেমন s-অরবিটালের আকৃতি বৃত্তের ন্যায় নয় বরঞ্চ ফুটবলের ন্যায় গোলকাকার।

### অধিক জেনে নাও :

বর্তমানে কোনো কোনো প্রসিদ্ধ রসায়ন-গ্রন্থকার তাঁদের রচিত ও সম্পাদিত রসায়ন পুস্তকে তিনটি p অরবিটাল ও পাঁচটি d অরবিটালের জন্য চূষকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা 'm' এর সম্ভাব্য বিভিন্ন মানকে x, y, z এ তিনটি অক্ষ সংশ্লিষ্ট বিভিন্ন অরবিটালের সাথে সমন্বয় করে নিম্নরূপে প্রকাশ করেছেন।

\* তিনটি p অরবিটালের জন্য :  $p_x$  ( $m = 0$ ),  $p_y$  ( $m = +1$ ),  $p_z$  ( $m = -1$ )

\* পাঁচটি d অরবিটালের জন্য :  $d_{z^2}$  ( $m = 0$ ),  $d_{zx}$  ( $m = +1$ ),  $d_{yz}$  ( $m = -1$ ),  $d_{x^2-y^2}$  ( $m = +2$ ),  $d_{xy}$  ( $m = -2$ )

Ref : (1) Modern Inorganic Chemistry : Dr. R.D. Madan; S. Chand & Company Ltd. New Delhi. (Revised Edn.-2011)

ভিন্ন তথ্য : (1) W.U. Malik, G.D. Tuli, R.D. Madan এর 'Selected Topics in Inorganic Chemistry' (reprint 2001) বইটিতে পাঁচটি d অরবিটালের জন্য 'm' এর নিম্নরূপ মান চিহ্নিত করা হয়েছে (Page-19, table 1.3) :  $d_{xy}$  ( $m = 0$ ),  $d_{yz}$  ( $m = +1$ ),  $d_{zx}$  ( $m = -1$ ),  $d_{x^2-y^2}$  ( $m = +2$ ),  $d_{z^2}$  ( $m = -2$ )।

(2) আবার Internet উৎসভিত্তিক তথ্য মতে,  $p_z$  ( $m = 0$ );  $p_x$  [ $m = +1$  (50%) or,  $-1$  (50%)] ;  $p_y$  [ $m = -1$  (50%) or,  $+1$  (50%)] সম্ভব। This happens because  $p_x$  and  $p_y$  orbitals are not eigenstates of  $L_z$  operator [or, z axis component of orbital angular momentum, L]

(3) একই উৎস মতে,  $d_{z^2}$  ( $m = 0$ ); কিন্তু অন্যান্য d অরবিটালের জন্য 'm' এর নির্দিষ্টকরণ খুবই জটিল ও অনিশ্চিত। তাই বিভিন্ন অরবিটালের জন্য সর্বসম্মত 'm' এর মান চিহ্নিত করা যায়নি।

## ২.৩.১ অরবিট ও অরবিটাল

### Orbit and Orbital

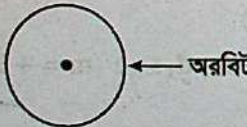
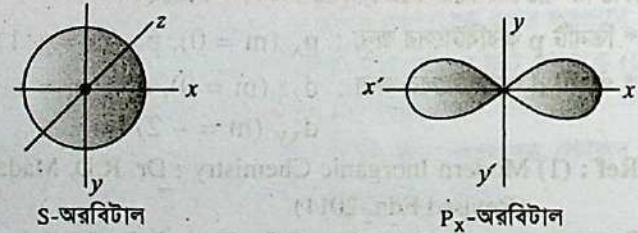
অরবিট : বোর পরমাণু মডেল অনুসারে পরমাণুর নিউক্লিয়াসের চারদিকে ইলেকট্রনসমূহ আবর্তনের জন্য কতগুলো বৃত্তাকার স্থির কক্ষপথ বা শক্তিস্তর আছে। এ সব বৃত্তাকার স্থির শক্তিস্তরকে অরবিট বলা হয়। প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা (n)-এর সাথে অরবিটসমূহের সম্পর্ক রয়েছে। নিউক্লিয়াসের সবচেয়ে কাছের অরবিট হলো ১ম শক্তিস্তর এবং এক্ষেত্রে  $n = 1$  হয়। অনুরূপভাবে ২য় শক্তিস্তর বা ২য় অরবিটের ক্ষেত্রে  $n = 2$  হয়। প্রথম অরবিট থেকে দ্বিতীয় অরবিট আকারে বড়। একই নিয়মে ৩য়, ৪র্থ, ৫ম অরবিট ক্রমান্বয়ে আকারে বড় হয়ে থাকে।

রসায়ন-১ম (হাসান)-৮(ক)



**অরবিটাল :** কোয়ান্টাম বলবিদ্যা অনুসারে ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের কাছেও থাকতে পারে; আবার নিউক্লিয়াস থেকে দূরেও থাকতে পারে। তবে নিউক্লিয়াসের চারদিকে যে এলাকায় আবর্তনশীল ও নির্দিষ্ট শক্তিয়ুক্ত ইলেকট্রন মেঘের অবস্থানের সম্ভাবনা 90–95% হয়ে থাকে, ইলেকট্রন মেঘের সে এলাকাকে অরবিটাল বলা হয়। প্রকৃতপক্ষে, অরবিটাল হলো তরঙ্গ ফাংশন অর্থাৎ তরঙ্গ বলবিদ্যায় গাণিতিক ফাংশন, যা দ্বারা কোনো পরমাণুতে ইলেকট্রনের অবস্থা বর্ণনা করা যায়। ‘অরবিটাল’ শব্দটি দ্বারা পরমাণুতে বিভিন্ন উপশক্তিস্তর বোঝানো হয়।

### অরবিট ও অরবিটালের পার্থক্যসূচক বৈশিষ্ট্যসমূহ (Comparison between Orbit and Orbitals)

অরবিট (orbit)	অরবিটাল (orbital)
<p>১। “অরবিট” শব্দটির উৎস হচ্ছে বোর প্রদত্ত হাইড্রোজেন পরমাণুর গঠন সংক্রান্ত মতবাদ। এ মতবাদ অনুসারে নিউক্লিয়াসের চারদিকে সুনির্দিষ্ট বৃত্তাকার (circular) কক্ষপথে ইলেকট্রনসমূহ আবর্তন করে। এ বৃত্তাকার কক্ষপথসমূহকে অরবিট বলা হয়।</p> <p>২। অরবিট দ্বারা নিউক্লিয়াসের চারদিকে দ্বিমাত্রিক বৃত্তাকার পথে ইলেকট্রন আবর্তন করার এলাকাকে বোঝায়।</p> <p>৩। ইলেকট্রনের অরবিটসমূহ বৃত্তাকার (circular)। যেমন-</p>	<p>১। “অরবিটাল” শব্দটির উৎস হচ্ছে কোয়ান্টাম বলবিদ্যা। এ বলবিদ্যা অনুসারে ইলেকট্রনসমূহের কোনো সুনির্দিষ্ট কক্ষপথ নেই। তবে নিউক্লিয়াসের চারদিকে কিছু স্থানে ইলেকট্রনসমূহের প্রাপ্তির সম্ভাবনা খুব বেশি। নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে নির্দিষ্ট শক্তিয়ুক্ত ইলেকট্রন মেঘের উচ্চ ঘনত্ব যেমন 90–95% বিশিষ্ট ত্রিমাত্রিক অঞ্চলসমূহকে অরবিটাল বলা হয়। প্রকৃতপক্ষে অরবিটাল দ্বারা পরমাণুতে বিভিন্ন উপশক্তিস্তরও বোঝানো হয়।</p> <p>২। অরবিটাল দ্বারা নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে ত্রিমাত্রিক স্থানে (X, Y ও Z-অক্ষ বরাবর) ইলেকট্রন আবর্তন করে বোঝায়।</p> <p>৩। বিভিন্ন অরবিটালের আকৃতি বিভিন্ন। যেমন s অরবিটাল গোলক আকৃতির, p অরবিটাল দুটি লোববিশিষ্ট ডাঙেলের মতো; d অরবিটাল ডাবল ডাঙেলের মতো; প্রতি d অরবিটালে চারটি লোব থাকে।</p>
 <p>← অরবিট</p>	 <p>s-অরবিটাল</p> <p><math>P_x</math>-অরবিটাল</p>
<p>৪। অরবিটসমূহ প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা <math>n</math> এর সাথে সম্পর্কিত। <math>n = 1, 2, 3, 4</math> ইত্যাদি পূর্ণ সংখ্যা হয়।</p> <p>৫। অরবিটসমূহকে K, L, M, N, O প্রভৃতি দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা, <math>n = 1</math> হলে K অরবিট, <math>n = 2</math> হলে L অরবিট; এভাবে অরবিটসমূহ চিহ্নিত হয়।</p> <p>৬। বোর পরমাণুর অরবিটে একই সময়ে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের অবস্থান ও ভরবেগ নির্ণয় সম্ভব বলে ধারণা দেয়া হয়; যা হাইজেনবার্গের নীতি বিরুদ্ধ।</p> <p>৭। কোনো অরবিটের সর্বাধিক ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা হলো <math>2n^2</math>; এখানে <math>n</math> যে কোনো অরবিট সংখ্যা প্রকাশ করে।</p>	<p>৪। অরবিটালসমূহ প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা <math>n</math> ও সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা <math>l</math> এর সাথে সম্পর্কিত। প্রকৃতপক্ষে এর সাথে চৌম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা দ্বারা অরবিটালসমূহের সংখ্যা নির্ণীত হয়।</p> <p>৫। সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা, <math>l = 0, 1, 2, 3, 4</math> হলে অরবিটালসমূহকে s; p, d, f, g দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। আরো সূক্ষ্মভাবে প্রকাশের জন্য এ সব প্রতীক চিহ্নের সাথে প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা ও বিভিন্ন অক্ষের সাথে এ সব অরবিটালের দিকস্থিতিও লেখা হয়, যেমন <math>1s, 2s, 2p_x, 2p_y, 2p_z</math> অরবিটাল।</p> <p>৬। অরবিটালে একই সময়ে ইলেকট্রনের সঠিক অবস্থান ও ভরবেগ নির্ণয় করা সম্ভব হয় না। এটি হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি সমর্থন করে।</p> <p>৭। প্রতিটি অরবিটালে বিপরীত স্পিনযুক্ত সর্বাধিক দুটো করে ইলেকট্রন থাকতে পারে।</p>



জেনে নাও : পরমাণুস্থিত অরবিটালে ইলেকট্রনের শক্তির মান ঋণাত্মক ধরা হয় কেন?

এর কারণ, নিউক্লিয়াস ও ইলেকট্রনের অবস্থান অসীম দূরত্বে হলে তখন উভয়ের মধ্যে স্থিরবৈদ্যুতিক প্রভাব শূন্য হওয়ায় পরমাণুর শক্তি শূন্য (Zero) ধরা হয়  $E = 0$ , যখন  $n = \infty$  হয়। অরবিট বা কক্ষপথে ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের নিকটে আসলে  $n$  এর মান কমতে থাকে,  $E < 0$  হয়। তখন নিউক্লিয়াসের প্রভাবে আবর্তনশীল ইলেকট্রন দ্বারা 'কাজ' (work) সম্পাদনজনিত শক্তির ব্যয় ঘটে; তাই কক্ষপথে অবস্থানকালে ইলেকট্রনের শক্তির মান ঋণাত্মক ধরা হয়। ইলেকট্রন যতই নিউক্লিয়াসের নিকটে হবে শক্তির মান তত বেশি ঋণাত্মক হবে। পরমাণুর শক্তি স্তরের মান গণনার জন্য নিম্নরূপ বোর সমীকরণ রয়েছে :  $E_n = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \times (Z^2/n^2)$ ;  $Z$  = নিউক্লিয়াসের চার্জ সংখ্যা,  $n = 1, 2, 3 \dots$  ইত্যাদি কক্ষপথ সংখ্যা। H-পরমাণুর বেলায়,  $Z = 1, n = 1$  (গ্রাউন্ড স্টেট), তখন  $E_1 = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J}$  অথবা  $E_1 = -1312 \text{ kJ/mol}$  হয়।

## ২.৪ পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস : আউফবাউ, হুন্ড ও পাউলির বর্জন নীতি

### Electronic Configuration of Atoms : Aufbau, Hund and Pauli's Exclusion principles

পরমাণুর নিউক্লিয়াসে যতটি প্রোটন থাকে, তাকে ঐ মৌলের প্রোটন সংখ্যা বা পারমাণবিক সংখ্যা বলে। আবার নিউক্লিয়াসে যতটি প্রোটন থাকে, নিউক্লিয়াসের বাইরে বিভিন্ন কক্ষপথে ঠিক ততটি ইলেকট্রন থাকে। তখন পরমাণুটি বিদ্যুৎ চার্জ নিরপেক্ষ হয়।

ইলেকট্রন বিন্যাস : কোয়ান্টাম বলবিদ্যা অনুসারে কোনো পরমাণুর নির্দিষ্ট সংখ্যক ইলেকট্রন ঐ পরমাণুর বিভিন্ন শক্তিস্তরস্থিত নির্দিষ্ট উপশক্তিস্তরের বিভিন্ন অরবিটালে নির্দিষ্ট নিয়মে সজ্জিত থাকে। পরমাণুর বিভিন্ন অরবিটালে ইলেকট্রনের এ সজ্জাকে পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস বলে।

আউফবাউ নীতি (Aufbau principle) নামে তিনটি নিয়ম (rules) অনুসারে বিভিন্ন অরবিটালে ইলেকট্রন প্রবেশ করে। 'আউফবাউ' হলো জার্মান শব্দ; এর অর্থ 'building up'। ইলেকট্রনগুলো পরমাণুতে সম্ভাব্য নিম্নতম শক্তির ডিজেনারেট অরবিটালগুলোতে অবস্থান করলে এ অবস্থাকে গ্রাউন্ড স্টেট (ground state) ইলেকট্রন বিন্যাস বলে। সমশক্তির অরবিটালগুলোকে ডিজেনারেট (degenerate) অরবিটাল বলে। সমশক্তির ৩টি p-অরবিটাল, ৫টি d-অরবিটাল ও ৭টি f-অরবিটাল আছে।

আউফবাউ নীতির তিনটি নিয়ম (rule) এর সারাংশ হলো নিম্নরূপ :

১। ইলেকট্রন সবচেয়ে নিম্নশক্তির অরবিটাল পূর্ণ করে শক্তির উচ্চক্রম অনুসারে পরের অরবিটালে প্রবেশ করে;

শক্তিক্রম হলো : 1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 4f, 5d, 6p, 7s, 5f, 6d (চিত্র ২.১৩ দেখ)।

এ নিয়মটিকে সাধারণত আউফবাউ নীতি বলা হয়।

২। একটি অরবিটালে দুটি বিপরীত স্পিনের ইলেকট্রন প্রবেশ করতে পারে। এটি হলো পাউলির বর্জন নিয়মের মূল কথা (১৯২৫ খ্রি.)। বিভিন্ন মৌলের পারমাণবিক বর্ণালি বিশ্লেষণ পরীক্ষা করে পাউলি এ সিদ্ধান্তে পৌছেন।

৩। একই শক্তিসম্পন্ন বিভিন্ন অরবিটালে ইলেকট্রনগুলো সম্ভাব্য অধিক সংখ্যায় বিজোড় অবস্থায় একই মুখী স্পিনযুক্ত থাকবে। এটিই হুন্ডের নিয়ম নামে পরিচিত। হুন্ডের নিয়মের মূলে রয়েছে ইলেকট্রন পরস্পরকে বিকর্ষণ করে এবং পরস্পর দূরে অবস্থান করে সম্ভাব্য নিম্নশক্তির স্থায়ী অবস্থায় থাকে।

### (১) পাউলির বর্জন নিয়ম ও এর ব্যাখ্যা

পাউলির বর্জন নিয়মটি হলো : একই পরমাণুতে দুটি ইলেকট্রনের চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান কখনো সমান থাকে না। যে কোনো একটির মান অসমান হয়।

পাউলির বর্জন নিয়মের ব্যাখ্যা : পাউলির বর্জন নিয়মটির সত্যতা হিলিয়াম (He) পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস থেকে জানা যায়। যেমন, হিলিয়াম (He) পরমাণুতে ২টি ইলেকট্রন থাকে। এ দুটি ইলেকট্রনের ৪টি কোয়ান্টাম সংখ্যার মধ্যে প্রথম ৩টির মান সমান হলেও চতুর্থ কোয়ান্টাম সংখ্যা অর্থাৎ স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যার মান ভিন্ন হয়ে থাকে। যেমন-

১ম ইলেকট্রন  $e_1$  এর জন্য  $n = 1, l = 0, m = 0, s = +\frac{1}{2}$

২য় ইলেকট্রন  $e_2$  এর জন্য  $n = 1, l = 0, m = 0, s = -\frac{1}{2}$



সূত্রাং হিলিয়ামের দুটি ইলেকট্রনের চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান থেকে বোঝা যায় যে, একটি পরমাণুর ২টি ইলেকট্রনের কক্ষপথের আকার (n), আকৃতি (l) ও কৌণিক অবস্থান (m) একই হতে পারে, যদি নিজ অক্ষের ওপর ঐ ইলেকট্রনদ্বয়ের ঘূর্ণনের দিক বিপরীতমুখী হয় অর্থাৎ এক্ষেত্রে ৪র্থ কোয়ান্টাম সংখ্যা ইলেকট্রনের স্পিনের মান ভিন্ন হয়েছে।

পাউলির বর্জন নীতির প্রয়োগ :

(১) বিভিন্ন উপশক্তিস্তরে সর্বাধিক ইলেকট্রন সংখ্যা : পাউলির বর্জন নীতি ব্যবহার করে বিভিন্ন উপশক্তিস্তরে সর্বাধিক কতগুলো ইলেকট্রন থাকা সম্ভব তা জানা যায়। যেমন,

s-উপশক্তিস্তরে  $l = 0$  এবং  $m = 0$  হয় অর্থাৎ m এর মান একটিমাত্র হওয়ায় s-উপশক্তিস্তরে একটি মাত্র অরবিটাল থাকে। এ একটি s-অরবিটালে বিপরীত স্পিনের দুটি করে  $1 \times 2 = 2$  টি ইলেকট্রন ( $s^2$ ) থাকা সম্ভব।

p-উপশক্তিস্তরে  $l = 1$  এবং  $m = -1, 0, +1$  হয় অর্থাৎ m এর তিনটি মান হওয়ায় p উপশক্তিস্তরে তিনটি অরবিটাল সম্ভব। এ তিনটি p-অরবিটালে বিপরীত স্পিনের দুটি করে  $3 \times 2 = 6$  টি ইলেকট্রন ( $p^6$ ) থাকা সম্ভব।

d-উপশক্তিস্তরে  $l = 2$  এবং  $m = -2, -1, 0, +1, +2$  অর্থাৎ m এর পাঁচটি মান হওয়ায় d-উপশক্তিস্তরে পাঁচটি অরবিটাল সম্ভব। এ পাঁচটি অরবিটালে বিপরীত স্পিনের দুটি করে  $5 \times 2 = 10$  টি ইলেকট্রন ( $d^{10}$ ) থাকা সম্ভব।

f-উপশক্তিস্তরে  $l = 3$  এবং  $m = -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3$  অর্থাৎ m এর সাতটি মান হওয়ায় f-উপশক্তিস্তরে সাতটি অরবিটাল সম্ভব। এ সাতটি অরবিটালে বিপরীত স্পিনের দুটি করে  $7 \times 2 = 14$  টি ইলেকট্রন ( $f^{14}$ ) থাকা সম্ভব।

উপশক্তিস্তর	অরবিটাল সংখ্যা	সর্বাধিক ইলেকট্রন সংখ্যা	ইলেকট্রন বিন্যাস
s	1	$1 \times 2 = 2$	$s^2$
p	3	$3 \times 2 = 6$	$p^6$
d	5	$5 \times 2 = 10$	$d^{10}$
f	7	$7 \times 2 = 14$	$f^{14}$

(২) প্রধান শক্তিস্তরে সর্বাধিক ইলেকট্রন সংখ্যা : পাউলির বর্জন নীতি অনুসারে কোনো পরমাণুর অভ্যন্তরে একটি নির্দিষ্ট প্রধান শক্তিস্তরে সর্বোচ্চ  $n^2$  সংখ্যক অরবিটাল সম্ভব। প্রতিটি অরবিটালে বিপরীত স্পিনের দুটি করে ইলেকট্রন ধারণ করলে সর্বোচ্চ  $2 \times n^2$  সংখ্যক ইলেকট্রন প্রতিটি প্রধান শক্তিস্তরে থাকতে পারে। যেমন- ১ম শক্তিস্তরে সর্বাধিক ইলেকট্রন সংখ্যা =  $2 \times (1)^2 = 2$  টি ( $1s^2$ )। ২য় শক্তিস্তরে সর্বাধিক ইলেকট্রন সংখ্যা =  $2 \times (2)^2 = 8$  (আট)টি ( $2s^2 2p^6$ ) এবং ৩য় শক্তিস্তরে সর্বাধিক ইলেকট্রন সংখ্যা =  $2 \times (3)^2 = 18$  টি ( $3s^2 3p^6 3d^{10}$ )।

\* (৩) পাউলির ইলেকট্রন বিন্যাসের এ নীতিকে 'বর্জন নীতি' বা 'Exclusion principle' বলার কারণ হলো, এ নীতি অনুসারে প্রতিটি প্রধান শক্তিস্তর (n) বা অরবিটে সর্বোচ্চ ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা  $2n^2$  সংখ্যক ইলেকট্রনের চেয়ে বেশি সংখ্যক ইলেকট্রনকে exclude বা 'বর্জন করা'—এ সত্যকে ভিত্তি করে উপস্থাপিত হয়েছে।

### (২) হন্ডের নিয়ম ও এর ব্যাখ্যা

হন্ডের নিয়মটি হলো : একই শক্তিসম্পন্ন বিভিন্ন অরবিটালে ইলেকট্রনগুলো এমনভাবে অবস্থান করবে যেন তারা সর্বাধিক সংখ্যায় অযুগ্ম বা বিজোড় অবস্থায় থাকতে পারে। এই সব অযুগ্ম ইলেকট্রনের স্পিন একইমুখী হবে। 'একই শক্তিসম্পন্ন বিভিন্ন অরবিটাল' বলতে তিনটি p অরবিটাল, পাঁচটি d অরবিটাল ও সাতটি f অরবিটালকে বোঝানো হয়। s অরবিটালের জন্য হন্ডের নিয়ম প্রযোজ্য নয়।

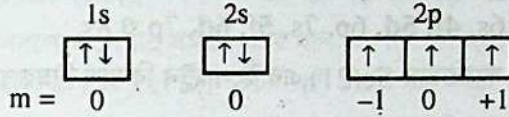
হন্ডের নিয়মের ব্যাখ্যা : হন্ডের নিয়মটির প্রয়োগ N(7) ও O (8) পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাসে দেখানো হলো। যেমন, নাইট্রোজেনের ইলেকট্রন বিন্যাস  $N(7) = 1s^2 2s^2 2p^3$ । আবার 2p অরবিটালে প্রকৃতপক্ষে সমশক্তিসম্পন্ন তিনটি অরবিটাল আছে; এদেরকে  $p_x, p_y, p_z$  অরবিটাল হিসেবে চিহ্নিত করা হয়। সূত্রাং নাইট্রোজেনের বেলায় উপরোক্ত  $2p^3$  এর তিনটি ইলেকট্রন তিনটি সমশক্তির অরবিটালে আলাদাভাবে থাকবে এবং এদের স্পিনসমূহ একইমুখী হবে। যেমন,

$$N(7) = 1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$$



[এ ইলেকট্রন বিন্যাস পড়ার নিয়ম হলো : ওয়ান-এস-টু ( $1s^2$ ), টু-এস-টু ( $2s^2$ ), টু-পি-এক্স-ওয়ান ( $2p_x^1$ ), টু-পি-ওয়াই-ওয়ান ( $2p_y^1$ ), টু-পি-জেড-ওয়ান ( $2p_z^1$ ) ইত্যাদি।]

এটিকে 'ইলেকট্রন-বক্স' পদ্ধতিতে নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায় :



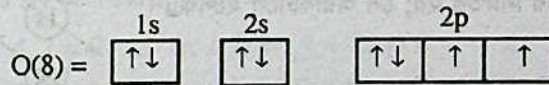
**MCQ-2.10** : p-উপশক্তিস্তরে মোট কয়টি অরবিটাল?  
(ক) 1 (খ) 3 (গ) 5 (ঘ) 7

এখানে, তীর ( $\uparrow$ ) চিহ্ন দ্বারা ইলেকট্রনের স্পিনের দিক নির্দেশ করা হয়েছে।

N (7) পরমাণুর বেলায়  $2p^3$  ইলেকট্রন তিনটি অযুগ্ম বা বিজোড় অবস্থায় থাকবে। N এর সাতটি ইলেকট্রনের 8টি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান নিম্নরূপ হবে :

ইলেকট্রন	n	l	m	s	
$e_1$	1	0	0	$+\frac{1}{2}$	$1s^2$ (জোড়বন্ধ)
$e_2$	1	0	0	$-\frac{1}{2}$	
$e_3$	2	0	0	$+\frac{1}{2}$	$2s^2$ (জোড়বন্ধ)
$e_4$	2	0	0	$-\frac{1}{2}$	
$e_5$	2	1	1	$+\frac{1}{2}$	[ $3p^3$ একই মুখী ( $\uparrow$ ) স্পিন যুক্ত তিনটি ইলেকট্রন। ]
$e_6$	2	1	0	$+\frac{1}{2}$	
$e_7$	2	1	-1	$+\frac{1}{2}$	

অনুরূপভাবে, অক্সিজেনের ইলেকট্রন বিন্যাস হবে  $O(8) = 1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^1 2p_z^1$  কেননা 2p অরবিটালে 8র্থ ইলেকট্রনটি একটি ইলেকট্রনের সাথে জোড়বন্ধ অবস্থায় থাকতে বাধ্য হয়।



দ্রষ্টব্য : 'হন্ডের নিয়ম'-এর দুটি অংশ রয়েছে। যেমন, (i) সমশক্তির অরবিটালসমূহ (যেমন  $p_x, p_y, p_z$ ) এর প্রতিটিতে প্রথমে একটি করে ইলেকট্রন প্রবেশ করে এবং শেষে অবশিষ্ট ইলেকট্রন দ্বারা যুগল গঠন হতে পারে। (ii) অর্ধ-পূর্ণ অরবিটালসমূহে ইলেকট্রনসমূহ একইমুখী স্পিন বা parallel spin যুক্ত থাকে। কারণ একইমুখী স্পিনযুক্ত ইলেকট্রনসমূহের মধ্যে বিকর্ষণ কম ঘটে; তাই অধিক স্থিতিশীল হয়।

\* (iii) হন্ডের নিয়ম-এর ভিত্তি হলো 'ইলেকট্রন স্পিন'-এর চুম্বকীয় ফল অর্থাৎ magnetic effect of electron-spin.

### (৩) আউফবাউ নীতি ও এর ব্যাখ্যা

আউফবাউ নীতিটি হলো : পরমাণুতে ইলেকট্রনসমূহ বিভিন্ন অরবিটালে তাদের শক্তির উচ্চক্রম অনুসারে প্রবেশ করে। অর্থাৎ ইলেকট্রনসমূহ প্রথমে নিম্নশক্তির অরবিটাল পূর্ণ করে এর পরে ক্রমান্বয়ে উচ্চশক্তির অরবিটালে স্থান গ্রহণ করে পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস সম্পন্ন করে। এর কারণ হলো নিম্ন শক্তিসমূহ ইলেকট্রন বিন্যাস অধিক স্থিতিশীল। নিম্ন শক্তিস্তর থেকে ধারাবাহিকভাবে উচ্চশক্তিস্তরের অরবিটালে ইলেকট্রনসমূহের প্রবেশের এ নিয়মকে জার্মান ভাষায় 'উচ্চক্রম' বোঝাতে আউফবাউ (aufbau) শব্দ ব্যবহৃত হয়েছে।



আউফবাউ নীতির ব্যাখ্যা : শক্তিক্রম নির্ণয়ে  $(n + l)$  নিয়ম :

অরবিটালসমূহের  $(n + l)$  এর মান ব্যবহার করে অরবিটালসমূহের শক্তি গণনা করা হয়েছে। অরবিটালসমূহের শক্তি ক্রম বৃদ্ধি নিম্নরূপ যা চিত্র ২.১৩ তে দেখানো হয়েছে :

1s, 2s 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 4f, 5d, 6p, 7s, 5f, 6d, 7p ও 8s.

আউফবাউ নীতি অনুসারে পটাসিয়াম K (19) ও স্ক্যান্ডিয়াম Sc(21) এর ইলেকট্রন বিন্যাস নিম্নরূপ :

K(19)  $\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$

Sc(21)  $\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1 4s^2$

যেহেতু 4s অরবিটালের শক্তি 3d অরবিটালের শক্তির চেয়ে কম, তাই পটাসিয়ামের সর্বশেষ অর্থাৎ ১৯তম ইলেকট্রনটি 3d অরবিটালে না গিয়ে 4s অরবিটালে স্থান করে নিয়েছে।

আবার স্ক্যান্ডিয়ামের বেলায় নিম্নশক্তির 4s অরবিটাল পূর্ণ করে পরবর্তী উচ্চশক্তি 3d অরবিটালে সর্বশেষ ২১তম ইলেকট্রনটি প্রবেশ করেছে। উভয় উদাহরণ দ্বারা আউফবাউ নিয়মটি প্রমাণিত হলো।

অরবিটালের শক্তিক্রম মনে রাখার জন্য চিত্র ২.১৩ ব্যবহার করা হয়।

ইলেকট্রনের দুটি অরবিটালের শক্তির তুলনামূলক মান নির্ণয় :

(১) দুটি অরবিটালের মধ্যে যার  $(n + l)$  এর মান কম তার শক্তিও কম হয়। অর্থাৎ সেটি নিম্নশক্তির অরবিটাল এবং ইলেকট্রন তুলনামূলকভাবে ঐ অরবিটালে আগে প্রবেশ করবে। যেমন,

3d অরবিটালের জন্য :  $n = 3$  এবং  $l = 2$

$\therefore (n + l) = (3 + 2) = 5$

4s অরবিটালের জন্য :  $n = 4$  এবং  $l = 0$

$\therefore (n + l) = (4 + 0) = 4$

$\therefore$  3d অরবিটালের শক্তি বেশি 4s অরবিটালের শক্তি কম। তাই ইলেকট্রন 4s অরবিটালে আগে প্রবেশ করে এবং সেটি পূর্ণ হলে 3d অরবিটালে স্থান নেয়।

(২) আবার দুটি অরবিটালে  $(n + l)$  এর মান সমান হলে যার  $n$ -এর মান কম অর্থাৎ প্রধান শক্তিস্তর নিম্নতর হয়; সে অরবিটালে ইলেকট্রন আগে প্রবেশ করে। যেমন,

3d অরবিটালের জন্য :  $n = 3$  এবং  $l = 2$

$\therefore (n + l) = (3 + 2) = 5$

4p অরবিটালের জন্য :  $n = 4$  এবং  $l = 1$

$\therefore (n + l) = (4 + 1) = 5$

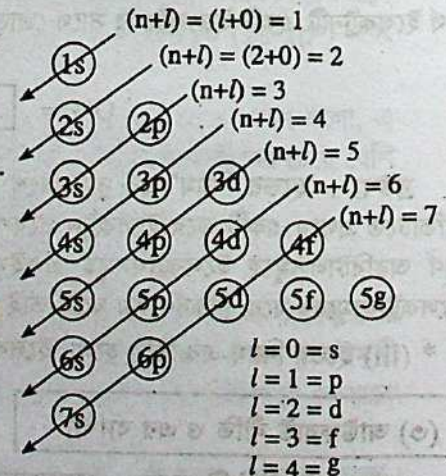
এক্ষেত্রে উভয় অরবিটাল  $(n + l)$  এর মান সমান হয়েছে। কিন্তু 4p অপেক্ষা 3d অরবিটালের ক্ষেত্রে  $n$  এর মান কম। তাই 4p অরবিটাল অপেক্ষা 3d অরবিটালের শক্তি কম। অতএব 3d অরবিটালে ইলেকট্রন আগে প্রবেশ করে থাকে।

অবশ্য সবসময় মনে রাখা উচিত এ সব হিসাব একটি মোটামুটি হিসাব যা সবসময় সঠিক ইলেকট্রন বিন্যাস দেয় না। তা সত্ত্বেও এ দুটি নিয়ম অত্যন্ত সহায়ক।

ইলেকট্রন বিন্যাস লেখার নিয়ম হলো : ইলেকট্রন বিন্যাসে s, p, d, f অরবিটালগুলো  $n$  এর মানের ক্রম অনুসারে সাজিয়ে লেখা হয়।

MCQ-2.11 : p-অরবিটালের আকৃতি কী রূপ?

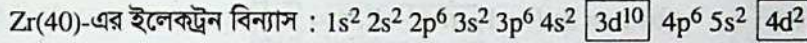
- (ক) গোলাকৃতি (খ) ডাম্বলাকৃতি  
(গ) ডাবল ডাম্বল (ঘ) দ্বিমাত্রিক



চিত্র-২.১৩ : অরবিটালসমূহের শক্তির ক্রম মনে রাখার ছক।



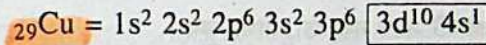
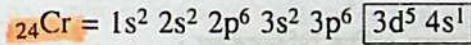
ইলেকট্রন বিন্যাস লেখার নিয়ম প্রয়োগ : ইলেকট্রন বিন্যাস লেখার সময় অবশ্যই  $n$  এর মান অনুসারে সাজাতে হবে। যেমন, জারকোনিয়াম Zr (40) এর ইলেকট্রন বিন্যাস আউফবাউ নীতি অনুসারে এভাবে হিসাব করা হয়। যেমন,



কিন্তু সবশেষে লেখার সময়  $n$ -এর মান অনুযায়ী সাজিয়ে লেখা হয়। যেমন,  
 $\text{Zr}(40) = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^2 5s^2$

ইলেকট্রন বিন্যাসের সাধারণ নিয়মের কিছু ব্যতিক্রম :

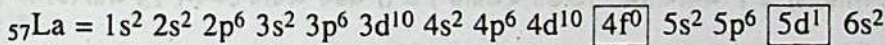
**ইলেকট্রন বিন্যাসের সুস্থিতি (Stable Configuration) :** সমশক্তিসম্পন্ন অরবিটালসমূহ অর্ধপূর্ণ বা সম্পূর্ণরূপে ইলেকট্রন দ্বারা দখলীকৃত হলে সে ইলেকট্রন বিন্যাস সুস্থিতি অর্জন করে। অর্থাৎ  $np^3$ ,  $np^6$ ,  $nd^5$ ,  $nd^{10}$ ,  $nf^7$  এবং  $nf^{14}$  ইলেকট্রন বিন্যাস অরবিটালের প্রতিসমতার কারণে সুস্থিতি লাভ করে। এর ফলেই  $d^4s^2$  এর পরিবর্তে  $d^5s^1$  এবং  $d^9s^2$  এর পরিবর্তে  $d^{10}s^1$  ইলেকট্রন বিন্যাস ঘটে। তাই  ${}_{24}\text{Cr}$  ও  ${}_{29}\text{Cu}$  এর ইলেকট্রন বিন্যাস নিম্নরূপ :



**MCQ-2.12 :** d-উপশক্তি স্তরে মোট অরবিটাল কয়টি?  
 (ক) 1 (খ) 3 (গ) 5 (ঘ) 7

**MCQ-2.13 :** f-উপশক্তি স্তরে মোট অরবিটাল কয়টি?  
 (ক) 3 (খ) 5 (গ) 7 (ঘ) 9

**$(n+1)d$  ও  $nf$  অরবিটালের শক্তির ন্যূনতম পার্থক্য :** উচ্চ পারমাণবিক সংখ্যাবিশিষ্ট মৌলসমূহের ক্ষেত্রে  $nf$  ও  $(n+1)d$  অরবিটালের শক্তির পার্থক্য খুব কম হয়। ফলে এদের ক্ষেত্রে অর্থাৎ  $f$  অরবিটালের বদলে পরবর্তী  $d$  অরবিটালে ইলেকট্রন এর অবস্থানে 'ক্রস-ওভার' ঘটে। যেমন  $4f$  এর বদলে  $5d^1$  হয়।



(সাধারণ নিয়মে ইলেকট্রন বিন্যাস হওয়া উচিত ছিল -  $4d^{10} \boxed{4f^1} 5s^2 5p^6 6s^2$ )

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১৭ : অরবিটালের শক্তিক্রম বিচার :

নিচের প্রতিটি অরবিটাল যুগলের মধ্যে নিম্নতর শক্তিসম্পন্ন অরবিটাল শনাক্ত কর :

(a)  $4d$ ,  $5s$  (b)  $3d$ ,  $4p$  (c)  $3p$ ,  $4s$

দক্ষতা : অরবিটালের শক্তিক্রম নির্ণয়ের  $(n+l)$  নিয়ম প্রয়োগ কর।

সমাধান : (a)  $4d$  ও  $5s$  অরবিটাল যুগলের ক্ষেত্রে-

$4d$  এর বেলায়,  $n = 4$ ,  $l = 2$ ;  $\therefore (n+l) = (4+2) = 6$

$5s$  এর বেলায়,  $n = 5$ ,  $l = 0$ ;  $\therefore (n+l) = (5+0) = 5$

সুতরাং  $4d$  অরবিটালের চেয়ে  $5s$  অরবিটাল হলো নিম্নতর শক্তিসম্পন্ন।

(b)  $3d$  ও  $4p$  অরবিটাল যুগলের ক্ষেত্রে-

$3d$  এর বেলায়,  $n = 3$ ,  $l = 2$ ;  $\therefore (n+l) = (3+2) = 5$

$4p$  এর বেলায়,  $n = 4$ ,  $l = 1$ ;  $\therefore (n+l) = (4+1) = 5$

উভয় অরবিটালের  $(n+l)$  এর মান 5 (সমান) হওয়ায়, প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা  $n$  এর নিম্নতর মান যুক্ত অরবিটালটি নিম্নতর শক্তিসম্পন্ন হয়। সুতরাং  $4p$  এর চেয়ে  $3d$  নিম্নতর শক্তিসম্পন্ন।

(c)  $3p$  ও  $4s$  অরবিটাল যুগলের ক্ষেত্রে-

$3p$  এর বেলায়,  $n = 3$ ,  $l = 1$ ;  $\therefore (n+l) = (3+1) = 4$

$4s$  এর বেলায়,  $n = 4$ ,  $l = 0$ ;  $\therefore (n+l) = (4+0) = 4$

উপরোক্ত একই কারণে  $4s$  এর চেয়ে  $3p$  নিম্নতর শক্তিসম্পন্ন।

**MCQ-2.14 :** কোন্ অরবিটালটি অবাস্তব হবে?  
 (ক)  $3s$  (খ)  $2d$  (গ)  $3p$  (ঘ)  $4f$

**MCQ-2.15 :** কোন্ অরবিটালের শক্তি সবচেয়ে বেশি?  
 (ক)  $4s$  (খ)  $3p$  (গ)  $3d$  (ঘ)  $4f$

**MCQ-2.16 :** উপশক্তিস্তরে ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা নির্ণয়ে সূত্র কোনটি? [কু. বো. ২০১৬]  
 (ক)  $2n^2$  (খ)  $(2l+1)$   
 (গ)  $2(2l+1)$  (ঘ)  $2(l+1)$



১২০

রসায়ন-প্রথম পত্র

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১৮ : অনুমোদিত কোয়ান্টাম সংখ্যা মানের সেট :

নিম্নোক্ত কোয়ান্টাম সংখ্যার সেট ইলেকট্রনের জন্য অনুমোদিত কিনা? অনুমোদিত না হলে এর কারণ উল্লেখ কর।

(a)  $n = 3, l = 2, m = 0, s = +\frac{1}{2}$ ; (b)  $n = 3, l = 1, m = -2, s = +\frac{1}{2}$

(c)  $n = 2, l = 2, m = 1, s = -\frac{1}{2}$ ; (d)  $n = 2, l = 1, m = 0, s = 1$

দক্ষতা :  $l = (n - 1)$ ,  $m = \pm l$  এবং  $s = \pm \frac{1}{2}$  প্রযোজ্য।

সমাধান : (a) অনুমোদিত। কারণ এক্ষেত্রে সাধারণ নিয়ম অনুসৃত হয়েছে।

(b) অনুমোদিত নয়। কারণ এক্ষেত্রে  $l = 1$  হওয়ায়,  $m = -1, 0, +1$  হতে হয়,  $-2$  হতে পারে না।(c) অনুমোদিত নয়। কারণ কোয়ান্টাম সংখ্যা  $l$  এর মান  $n$  এর সমান হয়েছে; যা সম্ভব নয়।(d) অনুমোদিত নয়। কারণ ইলেকট্রনের স্পিন  $+\frac{1}{2}$  অথবা  $-\frac{1}{2}$  হয়। প্রদত্ত মান  $1$  সঠিক নয়।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১৯ : অনুমোদিত অরবিটালের প্রতীক চিহ্নিতকরণ :

নিম্নোক্ত অরবিটালগুলোর মধ্যে কোন্টি সম্ভব ও কোন্টি সম্ভব নয়; তা ব্যাখ্যা কর।

(a) 1p (b) 2d (c) 3d

দক্ষতা :  $l = (n - 1)$  এবং  $l = 0 = s$  অরবিটাল,  $l = 1 = p$  অরবিটাল,  $l = 2 = d$  অরবিটাল।সমাধান : (a) 1p এর বেলায়,  $n = 1$  অর্থাৎ ১ম শক্তিস্তর হওয়ায়  $l = 0$  সম্ভব অর্থাৎ কেবল 1s অরবিটাল সম্ভব। 1p অসম্ভব।(b) 2d এর বেলায়,  $n = 2$  অর্থাৎ ২য় শক্তিস্তর হওয়ায়,  $l = 0, 1$  মান সম্ভব অর্থাৎ 2s ও 2p অরবিটাল সম্ভব; 2d অসম্ভব।(c) 3d বেলায়,  $n = 3$  অর্থাৎ ৩য় শক্তিস্তর হওয়ায়,  $l = 0, 1, 2$  মান সম্ভব অর্থাৎ 3s, 3p, 3d অরবিটাল ৩য় শক্তিস্তরে সম্ভব। সুতরাং 3d অরবিটাল সম্ভব।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.৬ : অরবিটালভিত্তিক :

সমস্যা-২.৮ : নিচের প্রতিটি অরবিটাল যুগলের মধ্যে নিম্নতর শক্তির অরবিটাল শনাক্ত কর :

(a) 2p, 3s; (b) 3d, 4p; (c) 3d, 4s

সমস্যা-২.৯ : নিম্নোক্ত কোয়ান্টাম সংখ্যার সেট পরমাণুর কোনো ইলেকট্রনের ক্ষেত্রে অনুমোদিত কিনা ব্যাখ্যা কর :

(a)  $n = 2, l = 1, m = 0, s = +\frac{1}{2}$ ; (b)  $n = 1, l = 1, m = 0, s = -\frac{1}{2}$

(c)  $n = 3, l = 2, m = -3, s = +\frac{1}{2}$ ; (d)  $n = 2, l = 1, m = -1, s = +1$

সমস্যা-২.১০ : নিম্নোক্ত অরবিটালগুলোর মধ্যে কোন্টি বাস্তব বা সম্ভব এবং কোন্টি অবাস্তব বা অসম্ভব তা ব্যাখ্যা কর :

(a) 2d, (b) 3f, (c) 2p, (d) 3d

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২০ : ইলেকট্রন বিন্যাসভিত্তিক :

কোনো মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা,  $Z = 13$ ; মৌলটির পরমাণুর সর্বনিম্নশক্তি যুক্ত (গ্রাউন্ড স্টেট) ইলেকট্রন বিন্যাস লেখ এবং যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রনসমূহের স্পিনসহ অরবিটাল পূর্ণকরণ দেখাও।

দক্ষতা : চিত্র-২.১৩। অনুসারে ইলেকট্রন বিন্যাস শক্তিক্রম লেখ। প্রতি অরবিটালে বিপরীত স্পিনের দুটি ইলেকট্রন প্রবেশ সম্ভব। বন্ধ পদ্ধতিতে হন্ডের নীতি লেখ।



সমাধান :  $Z = 13$  হলে ইলেকট্রন বিন্যাস হবে :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$

যোজ্যতাস্তরে বক্র পদ্ধতিতে স্পিনসহ ইলেকট্রন প্রবেশ :

$Z = 13$  এর বেলায় : [Ne]  $\begin{array}{|c|c|c|} \hline \uparrow\downarrow & \uparrow & \\ \hline 3s & 3p & \\ \hline \end{array}$

**MCQ-2.17 :** Fe এর ইলেকট্রন বিন্যাসে  $n = 3, l = 2$  হলে কয়টি অরবিটাল সম্ভব?

(ক) 2 (খ) 3 (গ) 5 (ঘ) 7

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২০(১) : বোরন পরমাণু [ $B(5) = 1s^2 2s^2 2p^1$ ] এর সর্বশেষ ইলেকট্রনটি  $p_x, p_y, p_z$  এ তিনটির মধ্যে কোন অরবিটালে থাকবে? যুক্তি দেখাও।

সমাধান : উপশক্তিস্তর  $p$  এর তিনটি অরবিটাল যেমন  $p_x, p_y, p_z$  হলো সমশক্তি সম্পন্ন। তাই বোরন  $B(5)$  এর সর্বশেষ ইলেকট্রনটি  $2p_x, 2p_y$  বা  $2p_z$  এর যে কোনো একটিতে অবস্থান নিতে পারে। উল্লেখ্য  $x, y, z$  অক্ষের সাথে সংশ্লিষ্ট তিনটি  $p$  অরবিটালের সাথে চৌম্বক কোয়ান্টাম সংখ্যা ( $m = -1, 0, +1$ ) এর সুনির্দিষ্ট কোনো সম্পর্ক প্রতিষ্ঠিত নেই।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২১ : যদি কোনো নতুন আবিষ্কৃত মৌলের পরমাণুর ক্ষেত্রে  $5g$  উপশক্তিস্তর সম্ভব হয়, তবে এতে সর্বোচ্চ কয়টি ইলেকট্রন থাকা সম্ভব?

দক্ষতা : সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা  $l = 4$  হলে  $g$  উপশক্তিস্তর সম্ভব। উপশক্তিস্তরে অরবিটাল সংখ্যা  $= (2l + 1)$

সমাধান : 'g' উপশক্তিস্তরে মোট অরবিটাল সংখ্যা হবে  $= (2 \times 4 + 1) = 9$  টি। প্রতিটি অরবিটালে বিপরীত স্পিনের ২টি করে ইলেকট্রন থাকবে। সুতরাং  $5g$  উপশক্তিস্তরে মোট ইলেকট্রন থাকবে  $= 9 \times 2 = 18$  টি।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২২ : Cu পরমাণুর যোজ্যতা-স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস  $3d^9 4s^2$  না হয়ে  $3d^{10} 4s^1$  হওয়ার কারণ ব্যাখ্যা কর।

দক্ষতা :  $d^9$  ইলেকট্রন বিন্যাস অপেক্ষা  $d^{10}$  ইলেকট্রন বিন্যাস অধিকতর স্থায়ী হয়।

সমাধান : সমশক্তিসম্পন্ন তিনটি  $d$  অরবিটাল অথবা ৫টি  $f$  অরবিটাল ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ অথবা অর্ধপূর্ণ অবস্থায় অধিকতর স্থায়িত্ব লাভ করে। তাই Cu এর যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস আউফবাউ নীতির ব্যতিক্রম ঘটিয়ে  $3d^9 4s^2$  এর পরিবর্তে  $3d^{10} 4s^1$  ইলেকট্রন বিন্যাস লাভ করে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২৩ : ক্যালসিয়াম (Ca) পরমাণুর যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস বক্র পদ্ধতিতে দেখাও। যোজ্যতা ইলেকট্রনের জন্য প্রযোজ্য চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার সেট গণনা কর।

দক্ষতা : আউফবাউ নীতি অনুসৃত হবে এক্ষেত্রে।

সমাধান : Ca এর পারমাণবিক সংখ্যা,  $Z = 20$

$\therefore 20Ca = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$

যোজ্যতাস্তর বা সর্ববহিস্থ শক্তিস্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস বক্র পদ্ধতিতে,  $\begin{array}{|c|} \hline 4s^2 \\ \hline \end{array}$

**MCQ-2.18 :** কোন নীতির ভিত্তিতে মূলত অরবিটালে ইলেকট্রন বিন্যাস হয়? [ঢা. বো. ২০১৬]

(ক) হুন্ডের (খ) আউফবাউ  
(গ) পাউলির বর্জন (ঘ) VSEPR

যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন  $4s^2$  এর ৪টি কোয়ান্টাম সংখ্যার সেট হলো নিম্নরূপ :

কোয়ান্টাম সংখ্যা $\rightarrow$	$n$	$l$	$m$	$s$ বা $m_s$
১ম ইলেকট্রনের জন্য	4	0	0	$+\frac{1}{2}$ ( $\uparrow$ )
২য় ইলেকট্রনের জন্য	4	0	0	$-\frac{1}{2}$ ( $\downarrow$ )

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২৪ : সিলিকন পরমাণু ( $_{14}Si$ ) এর প্রতিটি ইলেকট্রনকে বর্ণনা করার জন্য গ্রহণযোগ্য কোয়ান্টাম সংখ্যার সেট লিপিবদ্ধ কর।

দক্ষতা : আউফবাউ নীতি ও ৪ টি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান গণনা করতে হবে।



১২২

রসায়ন—প্রথম পত্র

সমাধান : Si পরমাণু ইলেকট্রন বিন্যাস হলো :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$  । এই বিন্যাসকে নিম্নোক্তভাবে প্রকাশ করা যায় ।

ইলেকট্রন→	1,2	3,4	5—10	11,12	13,14
বক্স→	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}\boxed{\uparrow\downarrow}\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}$	$\boxed{\uparrow\downarrow}\boxed{\uparrow}\boxed{\uparrow}$
অরবিটাল→	$1s^2$	$2s^2$	$2p_x^2 2p_y^2 2p_z^2$	$3s^2$	$3p_x^1 3p_y^1 3p_z^0$

উল্লিখিত বিন্যাসের গ্রহণযোগ্য কোয়ান্টাম সংখ্যার সেট হলো নিম্নরূপ :

অরবিটালে ইলেকট্রন	ইলেকট্রন ক্রম	n	l	m	s বা, $m_s$
$1s^2$	1,2	1	0	0	$\pm \frac{1}{2}$
$2s^2$	3,4	2	0	0	$\pm \frac{1}{2}$
$2p^6$	5—10	2	1	-1	$\pm \frac{1}{2}$
		2	1	0	$\pm \frac{1}{2}$
		2	1	+1	$\pm \frac{1}{2}$
$3s^2$	11, 12	3	0	0	$\pm \frac{1}{2}$
$3p_x$	13	3	1	0*	$+\frac{1}{2}$
$3p_y$	14	3	1	+1**	$+\frac{1}{2}$

\* m এর মান (-1, 0, +1) যে কোনোটি হতে পারে ।

\*\* ত্রয়োদশ ইলেকট্রনের ক্ষেত্রে m = 0 ব্যবহার করা হলে চতুর্দশ ইলেকট্রনকে ভিন্নতর মান দিতে হবে (+1 বা -1)

ত্রয়োদশ ইলেকট্রন জন্য  $s = +\frac{1}{2}$  দেয়া হলে হুন্ডের নীতি অনুসারে চতুর্দশ ইলেকট্রনকে অবশ্যই এর অনুরূপ মান দিতে হবে । এক্ষেত্রে  $s = +\frac{1}{2}$  অথবা  $-\frac{1}{2}$  ব্যবহার করা যায় ।

[দ্রষ্টব্য : x, y, z অক্ষ সংশ্লিষ্ট ত্রিমাত্রিকভাবে বিন্যস্ত বিভিন্ন অরবিটালের জন্য 'm' এর বিভিন্ন মানের সুনির্দিষ্টকরণ অনিচ্ছিত ও জটিল ॥]

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২৫ : কোনো একটি মৌলের যোজ্যতাস্তরের ইলেকট্রনবিন্যাস হলো,  $ns^2 np^4$ ; এখানে  $n = 2$  । মৌলটির ক্ষেত্রে হুন্ডের নীতির প্রয়োগ হয়েছে কীনা ব্যাখ্যা কর । [রা. বো. ২০১৭]

দক্ষতা : হুন্ডের নীতি অনুসারে একই শক্তিসম্পন্ন বিভিন্ন অরবিটালে সর্বাধিক সংখ্যায় বিজোড় ইলেকট্রন থাকে ।

সমাধান : উদ্দীপক মতে, মৌলটির যোজ্যতাস্তর বা সর্বশেষ শক্তিস্তরে  $ns^2 np^4$  ইলেকট্রন বিন্যাস আছে ।  $n = 2$  হলে মৌলটির যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস হয়  $2s^2 2p^4$  এবং মৌলটি হবে :

অক্সিজেন, O(8) →  $1s^2 2s^2 2p^4$

অরবিটাল পদ্ধতিতে ইলেকট্রন বিন্যাস হলো,  $1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^1 2p_z^1$

এবং বক্স পদ্ধতিতে ইলেকট্রন বিন্যাস হলো,  $\boxed{\uparrow\downarrow} \boxed{\uparrow\downarrow} \boxed{\uparrow\downarrow} \boxed{\uparrow} \boxed{\uparrow}$

হুন্ডের নীতি অনুসারে ৩টি সমশক্তির p অরবিটালে সর্বশেষ চারটি ইলেকট্রন  $2p^4$  সর্বাধিক বিজোড় অবস্থায় আছে । তাই অক্সিজেন মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাস হুন্ডের নীতি অনুসরণ করে বা মেনে চলে ।

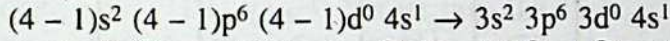


সমাধানকৃত সমস্যা-২.২৬ : কোনো একটি মৌলের সর্বশেষ দুটি শক্তিস্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস হলো,  $(n-1)s^2 (n-1)p^6 (n-1)d^0 ns^1$ ; এক্ষেত্রে  $n = 4$  হলে মৌলটিতে  $d$ -অরবিটালগুলো খালি থাকার কারণ ব্যাখ্যা কর। [ঢা. বো. ২০১৭]

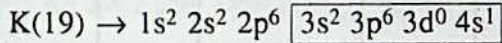
অথবা,  $K(19)$  এর সর্বশেষ ইলেকট্রনটি  $3d$  অরবিটাল খালি রেখে  $4s$  অরবিটালে যায় কেন ব্যাখ্যা কর।

দক্ষতা : আউফবাউ নীতি অনুসারে, পরমাণুতে ইলেকট্রনসমূহ তাদের নিম্নশক্তির অধিক স্থিতিশীল অরবিটাল পূর্ণ করে ক্রমান্বয়ে উচ্চশক্তির অরবিটালে স্থান গ্রহণ করে।

সমাধান : উদ্দীপকের সংশ্লিষ্ট মৌলের পরমাণুর সর্বশেষ দুটি শক্তিস্তরের ইলেকট্রন বিন্যাসে  $n = 4$  হলে ইলেকট্রন বিন্যাসটি হয় :



সুতরাং মৌলটি হলো  $K(19)$  এবং এটির ইলেকট্রন বিন্যাসটি হলো :



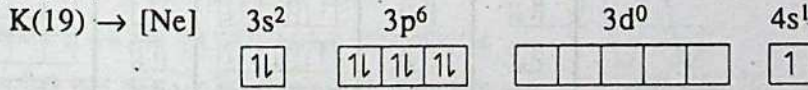
**MCQ-2.19** : Cr পরমাণুতে কয়টি অযুগ্ম ইলেকট্রন আছে? [য. বো. ২০১৫]  
(ক) 3 (খ) 4 (গ) 5 (ঘ) 6

এক্ষেত্রে শক্তিক্রম অনুসারে  $4s$  অরবিটালের শক্তি  $3d$  অরবিটালসমূহের শক্তির চেয়ে কম; তা  $(n+l)$  নিয়ম অনুসারে গণনা করা হলো :

$3d$  অরবিটালের জন্য :  $n = 3$  এবং  $l = 2$ ;  $\therefore (n+l) = (3+2) = 5$

$4s$  অরবিটালের জন্য :  $n = 4$  এবং  $l = 0$ ;  $\therefore (n+l) = (4+0) = 4$

$\therefore 3d > 4s$  হওয়ায়, আউফবাউ নীতি অনুসারে  $3d$  অরবিটালসমূহ ফাঁকা রেখে  $K(19)$  এর সর্বশেষ ইলেকট্রনটি নিম্নশক্তির অধিকতর স্থায়ী  $4s$  অরবিটালে স্থান গ্রহণ করে। বঙ্গ পদ্ধতিতে  $K(19)$  এর সর্বশেষ দুটি শক্তি স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস হলো :



শিক্ষার্থীর কাজ-২.৭ : ইলেকট্রন বিন্যাসভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.৯ : (ক) ইলেকট্রন বিন্যাসের পাউলির বর্জন নীতি উদাহরণসহ লেখ। [রা. বো. ২০১৫; চ. বো. ২০১৫]

(খ) ইলেকট্রন বিন্যাসের হুন্ডের নীতি উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।

(গ) ইলেকট্রন বিন্যাসের আউফবাউ নীতি উদাহরণসহ লেখ।

সমস্যা-২.১১ : নিম্নোক্ত পারমাণবিক সংখ্যা বিশিষ্ট পরমাণুর গ্রাউন্ড স্টেট- ইলেকট্রন বিন্যাস লেখ এবং যোজ্যতা স্তরে অরবিটালসমূহে ইলেকট্রন প্রবেশ স্পিনসহ দেখাও।

(ক) P (15), (খ) Cl (17), (গ) K (19), (ঘ) Cr (24), (ঙ) Cu (29)

(চ)  $Fe^{2+}$  ও  $Fe^{3+}$  আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস লেখ। উভয় আয়নের মধ্যে কোন্ আয়নের স্থায়িত্ব বেশি এবং কেন, তা ব্যাখ্যা কর।

(ছ) K এর 19 তম ইলেকট্রনটি  $3d$  অরবিটালে না গিয়ে  $4s$  অরবিটালে যায় কেন? [ঢা. বো. ২০১৭; রা. বো. ২০১৫]  
[সমাধানকৃত সমস্যা-২.২৬ দেখো।]

(জ) Rb(37) এর 37-তম ইলেকট্রনটি  $4d$  অরবিটালের পরিবর্তে  $5s$  অরবিটালে গমন করে; এর কারণ সংশ্লিষ্ট নীতিসহ ব্যাখ্যা কর।

(ঝ) কোনো মৌলের যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস হলো :  $ns^2 np^4$ ; এক্ষেত্রে  $n = 2$  ধরে মৌলটির ক্ষেত্রে হুন্ডের নীতির প্রয়োগ দেখাও। [রা. বো. ২০১৭]

(ঞ) কোনো মৌলের সর্বশেষ দুটি শক্তিস্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস হলো :  $3s^2 3p^6 3d^0 4s^1$ ; এক্ষেত্রে  $3d$  অরবিটালসমূহ ফাঁকা থাকার কারণ ব্যাখ্যা কর। [সমাধানকৃত সমস্যা-২.২৬ দেখো।] [ঢা. বো. ২০১৭]

সমস্যা-২.১২ : (1)  $K(19) - e^- \rightarrow K^+$ ; (2)  $Cr(24) - 3e^- \rightarrow Cr^{3+}$ ;

(3)  $Cu(29) - 2e^- \rightarrow Cu^{2+}$ ; (4)  $Br(35) + e^- \rightarrow Br^-$

(ক) ইলেকট্রন বিন্যাসের নীতি অনুসারে 1, 2, 3, 4 নং পরমাণু ও সংশ্লিষ্ট আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস লেখ।

সমস্যা-২.১৩ : Br (35) মৌলের সর্ববহিস্থ শক্তিস্তরের ইলেকট্রনের চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান বঙ্গ পদ্ধতিতে দেখাও।



## ২.৪.১ প্রথম ত্রিশটি মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাস

আউফবাউ নীতি, হুন্ডের নিয়ম ও পাউলির বর্জন নীতি প্রয়োগ করে H (1) থেকে Zn (30) পর্যন্ত মৌলের পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস দেখানো হলো :

মৌল	ইলেকট্রন বিন্যাস	বক্স পদ্ধতিতে ইলেকট্রন বিন্যাস					
		অরবিটাল পদ্ধতিতে	1s	2s	2p	3s	3p
H (1)	$\rightarrow 1s^1$	$\uparrow$					
He (2)	$\rightarrow 1s^2$	$\uparrow\downarrow$					
Li (3)	$\rightarrow 1s^2 2s^1$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$				
Be (4)	$\rightarrow 1s^2 2s^2$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$				
B (5)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^1$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$			
C (6)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^2$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\uparrow$			
N (7)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^3$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\uparrow\uparrow$			
O (8)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^4$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow\uparrow\uparrow$			
F (9)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^5$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow\uparrow\uparrow$			
Ne (10)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow$			
Na (11)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow$	$\uparrow$		
Mg (12)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$		
Al (13)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow$	
Si (14)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\uparrow$	
P (15)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\uparrow\uparrow$	
S (16)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow$	$\uparrow\downarrow\uparrow\uparrow$	
Cl (17)	$\rightarrow [\text{Ne}] 3s^2 3p^5$						
Ar (18)	$\rightarrow [\text{Ne}] 3s^2 3p^6$						
K (19)	$\rightarrow [\text{Ne}] 3s^2 3p^6 3d^0 4s^1$						
Ca (20)	$\rightarrow [\text{Ne}] 3s^2 3p^6 3d^0 4s^2$						
Sc (21)	$\rightarrow [\text{Ne}] 3s^2 3p^6 3d^1 4s^2$						
Ti (22)	$\rightarrow [\text{Ne}] 3s^2 3p^6 3d^2 4s^2$						
V (23)	$\rightarrow [\text{Ne}] 3s^2 3p^6 3d^3 4s^2$						
<b>Cr* (24)</b>	<b><math>\rightarrow [\text{Ne}] 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1</math></b>						
Mn (25)	$\rightarrow [\text{Ne}] 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$						
Fe (26)	$\rightarrow [\text{Ne}] 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$						
Co (27)	$\rightarrow [\text{Ne}] 3s^2 3p^6 3d^7 4s^2$						
Ni (28)	$\rightarrow [\text{Ne}] 3s^2 3p^6 3d^8 4s^2$						
<b>Cu* (29)</b>	<b><math>\rightarrow [\text{Ne}] 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1</math></b>						
Zn (30)	$\rightarrow [\text{Ne}] 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2$						

সমস্যা-২.২৭ : কোনো পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা,  $Z = 8$  হলে হুন্ডের নিয়ম মতে এর যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস এবং এদের চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান দেখাও।

সমাধান :  $Z(8) \rightarrow 1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^1 2p_z^1$

যোজ্যতা স্তর :  $\rightarrow 2s^2 2p_x^2 2p_y^1 2p_z^1$



পরমাণুটির যোজ্যতা স্তরে ছয়টি ইলেকট্রনের কোয়ান্টাম সংখ্যার সেট হলো :

ইলেকট্রন	n	l	m	s	অরবিটাল
$e_1$	2	0	0	$+\frac{1}{2}$	$2s^2$
$e_2$	2	0	0	$-\frac{1}{2}$	
$e_3$	2	1	0	$+\frac{1}{2}$	$2p_x^1$
$e_4$	2	1	+1	$+\frac{1}{2}$	$2p_y^1$
$e_5$	2	1	-1	$+\frac{1}{2}$	$2p_z^1$
$e_6$	2	1	0	$-\frac{1}{2}$	$2p_x^1$



## ২.৫ তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালি

### Electro-Magnetic Spectrum

বিজ্ঞানী ম্যাক্সওয়েল (Maxwell) প্রমাণ করেন যে, সব ধরনের দৃশ্য ও অদৃশ্য আলোর উৎপত্তি বিদ্যুৎ ও চুম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে হয়। এজন্য সব ধরনের আলোককে একত্রে তড়িৎ বা বিদ্যুৎ চুম্বকীয় বিকিরণ রশ্মি বলা হয়। এ বিকীর্ণ শক্তি তরঙ্গ সৃষ্টি করে স্পন্দনসহকারে উৎস থেকে সর্বদিকে ছড়িয়ে পড়ে। আলোর গতিবেগ মাধ্যমের ওপর নির্ভরশীল। শূন্যে আলোর বেগ সেকেন্ডে প্রায়  $2.9979 \times 10^8$  m (সংক্ষেপে  $3 \times 10^8$  m বা,  $3 \times 10^{10}$  cm)। আলোক শক্তি তরঙ্গ হওয়ায় আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ও স্পন্দন সংখ্যা বা কম্পাঙ্ক বা ফ্রিকুয়েন্সি (frequency) রয়েছে, যা নিম্নরূপে পরস্পরের সাথে ব্যস্তানুপাতিক হয়ে থাকে। তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে  $\lambda$  (ল্যাম্বডা, Lambda) দ্বারা বোঝানো হয়। তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একক হলো মিটার।

$\lambda$  (m)  $\times$   $\nu$  ( $s^{-1}$ ) =  $c$  ( $ms^{-1}$ ) (আলোর বেগ)  
এখানে  $\lambda$  = তরঙ্গদৈর্ঘ্য। ফ্রিকুয়েন্সি  $\nu$ -('নিউ' 'nu' উচ্চারণ) এর একক হলো হার্টজ (Hertz, Hz);  $1\text{Hz} = 1s^{-1}$ .

$$\therefore \nu = \frac{c}{\lambda}$$

তরঙ্গদৈর্ঘ্য ( $\lambda$ ) : তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গে দুটি তরঙ্গ শীর্ষের দূরত্বকে তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলে।

ফ্রিকুয়েন্সি ( $\nu$ ) : প্রতি একক সময়ে বা প্রতি সেকেন্ডের মধ্যে তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গে চলমান কোনো বিন্দুর মোট শীর্ষ সংখ্যাকে ফ্রিকুয়েন্সি বলে।

আবার  $\nu$  এর মান খুব বেশি হওয়ায় তাকে আলোর বেগ,  $c$  দ্বারা ভাগ করে  $\bar{\nu}$  ('নিউ-বার') দ্বারা প্রকাশ করা হয়।  $\bar{\nu} = \frac{\nu}{c} = \frac{\nu}{\nu\lambda} = \frac{1}{\lambda}$  :  $\bar{\nu}$  হলো প্রতি মিটারে তরঙ্গ-সংখ্যা (wave number)।

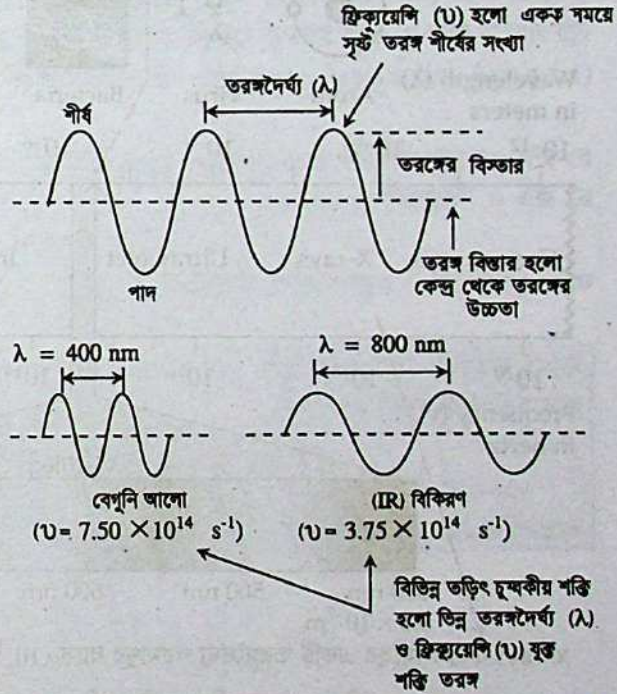
নির্দিষ্ট শক্তির প্রত্যেক তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের তিনটি বৈশিষ্ট্য থাকে। যেমন তরঙ্গদৈর্ঘ্য ( $\lambda$ ), ফ্রিকুয়েন্সি বা স্পন্দন সংখ্যা ( $\nu$ ) ও তরঙ্গ বিস্তার (amplitude)। তরঙ্গ বিস্তার হলো তরঙ্গের শীর্ষ ও পাদবিন্দুর মধ্যবর্তী রেখা থেকে এর উচ্চতা।

আলোক শক্তি-তরঙ্গ নিজে অদৃশ্য, কিন্তু যে আলোক অন্য বস্তুকে দৃশ্যমান করে, তাকে দৃশ্যমান আলো বলে। এ দৃশ্যমান আলো ছাড়াও আরো অনেক অদৃশ্য আলো আছে। যেমন, গামা রশ্মি, রঞ্জন রশ্মি (X-ray), অতিবেগুনি রশ্মি (UV-ray) অবলোহিত রশ্মি (IR ray), রেডিও ও টেলিভিশনের তরঙ্গ প্রভৃতি। এদের মধ্যে মূল পার্থক্য হচ্ছে এদের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ও ফ্রিকুয়েন্সি বা স্পন্দন সংখ্যায়।

দৃশ্যমান আলো হলো তড়িৎ বা বিদ্যুৎ চুম্বকীয় বিকিরণ রশ্মির সামান্য অংশমাত্র। সমগ্র বিকিরণ শক্তির অধিকাংশই অদৃশ্য। বিভিন্ন ধরনের তড়িৎ বা বিদ্যুৎ চুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (একক ন্যানোমিটারে  $nm = 10^{-9}$  m) নিচে দেয়া হলো :

মহাজাগতিক রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য	: < 0.00005 nm
গামা রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য	: 0.0005–0.01 nm
রঞ্জন রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য	: 0.01–10 nm

দৃশ্যমান আলোর মধ্যে বিভিন্ন ধরনের আলোক তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (মোটামুটি) নিম্নরূপ :	
বেগুনি	: 380 – 424 nm V
নীল	: 424 – 450 nm I



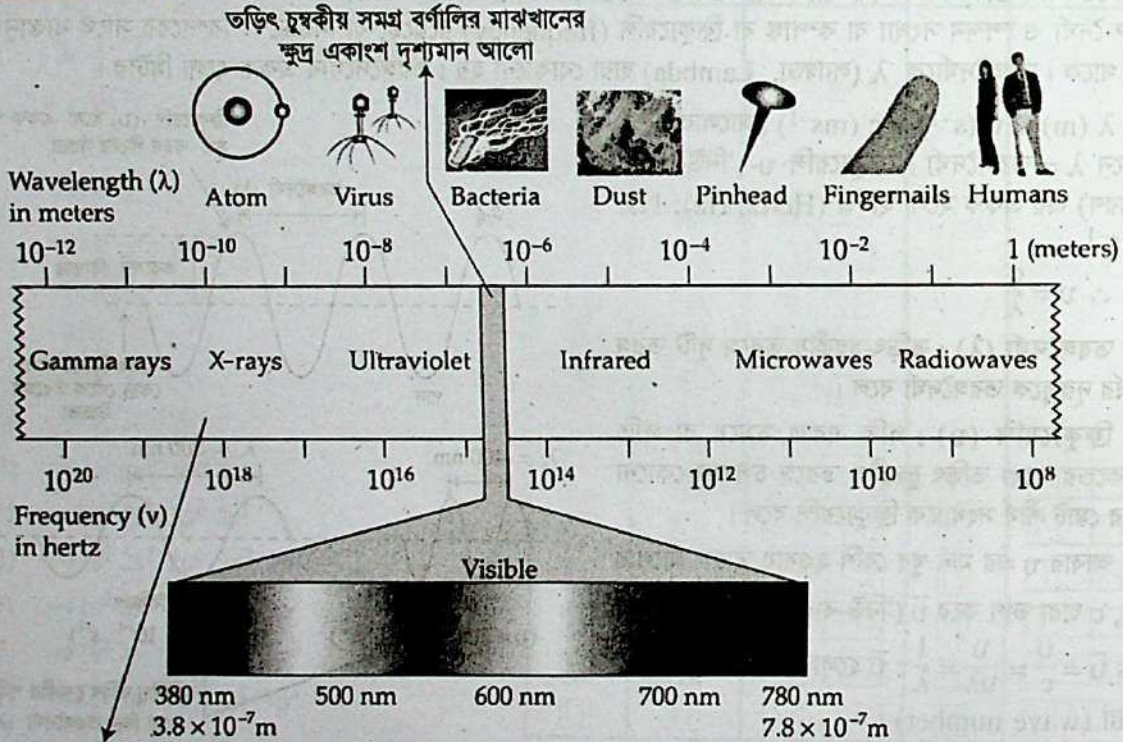
চিত্র-২.১৪ : তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গসমূহের ভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য ( $\lambda$ ), স্পন্দন সংখ্যা ( $\nu$ ) ও তরঙ্গ বিস্তার (amplitude) থাকে।



১২৬

রসায়ন-প্রথম পত্র

অতিবেগুনি রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (UV-ray) :	10 nm – 380 nm	আস্মানী :	450 – 500 nm	B
দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য :	380 nm – 780 nm	সবুজ :	500 – 575 nm	G
অবলোহিত আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (IR-ray) :	780 nm – 1 mm	হলুদ :	575 – 590 nm	Y
মাইক্রোওয়েভ অঞ্চল :	1 mm – 1 m	কমলা :	590 – 647 nm	O
রেডিও ও টেলিভিশন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য :	1 mm – 10 km	লাল :	647 – 780 nm	R



X-rays বর্ণালিসমূহের একটি তরঙ্গদৈর্ঘ্য পরমাণুর ব্যাস ( $10^{-10} \text{ m}$ )-এর সমান।

চিত্র-২.১৫ : তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ও কম্পাঙ্ক বা স্পন্দন-সংখ্যা।

\* [ চিত্রটির ওপরদিকে দেখানো ৭টি ছোট চিত্র যেমন দুটি মানুষ (Humans), আঙ্গুলের নখ (Fingernails), Pinhead; Dust, Bacteria; Virus, Atom এর দৈর্ঘ্যের সাথে যথাক্রমে Radiowaves, Microwaves; Infrared, Visible rays; Ultraviolet, X-rays ইত্যাদির তরঙ্গদৈর্ঘ্য ( $\lambda$ )-কে 'মিটার এককে' দশ (10) এর ঋণাত্মক সূচক  $10^{-2} \text{ m}$ ,  $10^{-4} \text{ m}$ ,  $10^{-6} \text{ m}$ ,  $10^{-8} \text{ m}$ ,  $10^{-10} \text{ m}$  সহকারে তুলনা করে বোঝানো হয়েছে। ]

Ref : General Chemistry; Atoms First : By J.E. Mc. Mury and Robert C. Fay; University of California Riverside, America.

বিভিন্ন ধরনের তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ও স্পন্দন সংখ্যা ২.১৫ নং চিত্রে স্কেল আকারে দেয়া হলো।

জেনে নাও : তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ক্ষুদ্র হওয়ায় দৈর্ঘ্যের ক্ষুদ্র এককরূপে mm,  $\mu\text{m}$ , nm, pm বা Å একক ব্যবহৃত হয়। এসব এককের সাথে মিটার (m) এককের সম্পর্ক জানা দরকার। যেমন,

$1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$ ,  $1 \mu\text{m}$  (মাইক্রোমিটার) =  $10^{-6} \text{ m}$ ,  $1 \text{ nm}$  (ন্যানোমিটার) =  $10^{-9} \text{ m}$ ,  $1 \text{ pm}$  (পিকোমিটার) =  $10^{-12} \text{ m}$ ,  $1 \text{ \AA}$  (অ্যাংস্ট্রম) =  $10^{-10} \text{ m}$ .

আবার বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ( $\lambda$ ) ক্ষুদ্র হওয়ায়, এর ফ্রিকুয়েন্সি ( $\nu$ ) এর মান অতি বৃহৎ হয়। তাই বৃহৎ সংখ্যামান প্রকাশে k (কিলো), M (মেগা), G (জিগা), T (টেরা) একক ব্যবহৃত হয়। দশের এককের সাথে এ সব প্রতীকের এককের সম্পর্ক জানা দরকার। যেমন,  $1\text{k} = 10^3$ ,  $1\text{M} = 10^6$ ,  $1\text{G} = 10^9$ ,  $1\text{T} = 10^{12}$



## ২.৫.১ তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালির অঞ্চলসমূহ

## Different Regions of Electromagnetic Spectrum

তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ রশ্মিসমূহকে এদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ( $\lambda$ ) তথা ফ্রিকুয়েন্সি ( $\nu$ ) বা কম্পাঙ্ক সংখ্যার ভিত্তিতে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ক্রমবৃদ্ধি অনুসারে নিম্নোক্ত প্রধান সাতটি অঞ্চলে বিভক্ত করা হয় (চিত্র-২.১৫)।

(১) গামা ( $\gamma$ ) রশ্মি অঞ্চল, (২) রঞ্জন রশ্মি (X-ray) অঞ্চল, (৩) অতিবেগুনি রশ্মি (UV) অঞ্চল, (৪) দৃশ্যমান (Visible) অঞ্চল, (৫) অবলোহিত (IR) অঞ্চল, (৬) মাইক্রোওয়েভস্ (Micro waves) অঞ্চল, (৭) রেডিও ওয়েভস্ (Radio waves) অঞ্চল।

(১) গামা ( $\gamma$ ) রশ্মি অঞ্চল : গামা রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0.0005—0.01nm পর্যন্ত বিস্তৃত। এ অঞ্চলের তরঙ্গদৈর্ঘ্য খুবই ক্ষুদ্র হওয়ায় এ তরঙ্গ অধিক শক্তিসম্পন্ন থাকে। তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ থেকে গামা রশ্মি বের হয়। এ রশ্মি মস্বাওয়ার বর্ণালিমিতিক (Mossbaer Spectroscopy) যন্ত্র এবং নিউট্রন সক্রিয়ণ বিশ্লেষণ (Neutron Activation Analysis) প্রক্রিয়ায় ব্যবহৃত হয়।

(২) রঞ্জন রশ্মি (X-ray) অঞ্চল : রঞ্জন রশ্মি বা এক্স-রে তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0.01 nm–10 nm পরিসরে থাকে। এক্স-রে ফ্লোরোসেন্স (X-ray Fluorescence) বা প্রতিপ্রভা বিশ্লেষণী, এক্সরে নিঃসরণ (X-ray Emission) বিশ্লেষণী ও এক্স-রে ক্রিস্টলোগ্রাফি (X-ray Crystallography) পদ্ধতিতে রঞ্জন রশ্মি ব্যবহৃত হয়।

(৩) অতিবেগুনি রশ্মি (UV) অঞ্চল : এ অঞ্চলটি 10 nm – 380 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য পর্যন্ত বিস্তৃত। এর বিভিন্ন তরঙ্গ পরিসর নিম্নোক্ত কাজে ব্যবহৃত হয়।

- (i) 30 nm – 200 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য : UV-ফটোইলেকট্রন স্পেকট্রোস্কোপি,  
(ii) 230 nm – 365 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য : UV-ID, লেবেল ট্র্যাকিংরূপে,  
(iii) 230 nm – 380 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য : অপটিকেল সেন্সররূপে,  
(iv) 240 nm – 280 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য : জীবাণুনাশন কাজে,  
(v) 200 nm – 400 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য : ড্রাগ (drug) শনাক্তকরণ,  
(vi) 270 nm – 360 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য : প্রোটিন অ্যানালাইসিস কাজে,  
(vii) 280 nm – 400 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য : কোষ বা cell এর মেডিকেল ইমেজিং,  
(viii) 300 nm – 320 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য : চিকিৎসাক্ষেত্রে লাইট থেরাপি।

MCQ-2.20 : নিচের কোন অঞ্চলের রশ্মির শক্তি সবচেয়ে বেশি?  
(ক) UV (খ) Vis-ray  
(গ) IR (ঘ) Radio wave

(৪) দৃশ্যমান (Visible) অঞ্চল : এ অঞ্চলটি 380 nm – 780 nm পর্যন্ত বিস্তৃত। এ অঞ্চল VIBGYOR অঞ্চলরূপে চিহ্নিত। পরমাণু অথবা অণুর ক্ষেত্রে যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন এ অঞ্চল থেকে প্রয়োজনমতো রশ্মি শোষণ ও বিকিরণ করে বর্ণালি সৃষ্টি করে থাকে।

(৫) অবলোহিত (Infra-red) অঞ্চল : অবলোহিত রশ্মি অঞ্চল দৃশ্যমান অঞ্চল অর্থাৎ visible বা 'infra' এর পর থেকেই শুরু। এর পরিসর 780 nm থেকে 1000  $\mu$ m বা, 1.0 mm। অর্থাৎ এটি near IR, middle-IR ও Far-IR এরূপ তিনটি অংশে বিভক্ত। এদেরকে মাইক্রোমিটার ( $\mu$ m) এককে প্রকাশ করা হয়। (1  $\mu$ m =  $1 \times 10^{-6}$  m)। জৈবযৌগের গঠন নির্ণয়ে এ রশ্মি ব্যবহৃত হয়।

Near-IR অঞ্চল :  $\lambda = 0.78 \mu$ m – 2.5  $\mu$ m

[চিকিৎসা ক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয়]

middle-IR অঞ্চল :  $\lambda = 2.5 \mu$ m – 25  $\mu$ m

[জৈব যৌগের কার্যকরীমূলক শনাক্তকরণে IR Spectroscopy তে ব্যবহৃত হয়]

Far-IR অঞ্চল :  $\lambda = 25 \mu$ m – 1000  $\mu$ m বা 1.0 mm

[চিকিৎসা ক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয়]



(৬) মাইক্রো ওয়েভস্ (Micro waves) অঞ্চল : এ অঞ্চলের রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 1000  $\mu\text{m}$  থেকে 100 cm (বা 1 mm – 1 m) পরিসরে থাকে। এ সব তরঙ্গের ফ্রিকুয়েন্সি 300 GHz – 300 MHz পর্যন্ত হয়ে থাকে।  $[G = 10^9, M = 10^6]$

(৭) রেডিও ওয়েভস্ (Radio waves) অঞ্চল : এ অঞ্চলের রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 1 mm থেকে 10 km পর্যন্ত হয়। এ সব তরঙ্গের ফ্রিকুয়েন্সি 300 GHz থেকে 3 kHz পর্যন্ত হয়ে থাকে। রেডিও এন্টেনাতে উচ্চ কম্পাঙ্কের পর্যায়ক্রমিক বিদ্যুৎ (AC) প্রবাহ দ্বারা এসব তরঙ্গের সৃষ্টি করা হয়। NMR পরমাণু অর্থাৎ বিজোড় সংখ্যক প্রোটন অথবা নিউট্রনযুক্ত পরমাণুর নিউক্লিয়াসে (যেমন  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{31}\text{P}$  ইত্যাদির) ম্যাগনেটিক মোমেন্ট থাকে। এ সব NMR পরমাণুযুক্ত যৌগকে শক্তিশালী চুম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে রেখে রেডিও ওয়েভস্ প্রয়োগ করে MRI বা ম্যাগনেটিক অনুরণন ইমেজ পরীক্ষা পদ্ধতি আবিষ্কৃত হয়েছে।

নিচের ছকে তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালির গুরুত্বপূর্ণ বিভিন্ন অঞ্চলে তরঙ্গদৈর্ঘ্য, ফ্রিকুয়েন্সি ও বিভিন্ন ব্যবহার উল্লেখ করা হলো :

তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ অঞ্চল	তরঙ্গদৈর্ঘ্য পরিসর	ফ্রিকুয়েন্সি পরিসর	গুরুত্বপূর্ণ ব্যবহার
১। রেডিও ওয়েভ অঞ্চল :	10 km – 1 mm	3 kHz – $3 \times 10^{11}$ Hz	১। রেডিও-টিভির সিগনাল ও MRI যন্ত্রে ব্যবহৃত হয়।
২। মাইক্রোওয়েভ অঞ্চল :	1 mm – 1 m	$3 \times 10^8$ Hz – $3 \times 10^{11}$ Hz	২। Wi-Fi, মোবাইল ফোন সিগনাল ও মাইক্রো ওভেনে ব্যবহৃত হয়।
৩। অবলোহিত (IR) অঞ্চল :	1 mm – 780 nm	$3 \times 10^{11}$ Hz – $385 \times 10^{12}$ Hz	৩। রিমোট কন্ট্রোল, অপটিকেল ফাইবার মাধ্যমে যোগাযোগ ও ফিজিওথেরাপিতে ব্যবহৃত হয়।
৪। দৃশ্যমান অঞ্চল :	780 nm – 380 nm	$385 \times 10^{12}$ Hz – $790 \times 10^{12}$ Hz	৪। সালোকসংশ্লেষণ ও বিশ্লেষণী রসায়নে পদার্থের পরিমাণ নির্ণয়ে ব্যবহৃত।
৫। অতিবেগুনি (UV) :	380 nm – 10 nm	$790 \times 10^{12}$ Hz – $3 \times 10^{16}$ Hz	৫। জাল ঢাকা ও জাল পাসপোর্ট শনাক্তকরণে ব্যবহৃত হয়।
৬। X-ray অঞ্চল :	10 nm – 0.01 nm	$3 \times 10^{16}$ Hz – $3 \times 10^{19}$ Hz	৬। চিকিৎসা বিজ্ঞানে দেহের অভ্যন্তরের প্রতিচ্ছবি তোলার কাজে ব্যবহৃত হয়।
৭। গামা ( $\gamma$ ) Ray অঞ্চল :	Less than 0.01 nm	$> 3 \times 10^{19}$ Hz	৭। ক্যান্সার রোগের চিকিৎসা ও খাদ্যশস্যে অণুবীজ ধ্বংস করতে ব্যবহৃত হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২৮ : বেগুনি-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 4100 Å বা, 410 nm হলে এর ফ্রিকুয়েন্সি ও তরঙ্গ-সংখ্যা নির্ণয় কর। (আলোর গতি =  $3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ )।

দক্ষতা : প্রথমে আলোর গতির সমীকরণটি জানতে হবে।



সমাধান : আমরা জানি, আলোর গতি,  $c = v \times \lambda$

$$\therefore v = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{410 \times 10^{-9} \text{ m}} = 7.317 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

তরঙ্গ সংখ্যা,  $\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{410 \times 10^{-9} \text{ m}} = 243.9 \times 10^4 \text{ m}^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২৯ : যে বিকিরণের তরঙ্গ সংখ্যা  $165 \times 10^4 \text{ m}^{-1}$  তার ফ্রিকুয়েন্সি বা স্পন্দন সংখ্যা নির্ণয় কর। (আলোর গতি =  $3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ )।

দক্ষতা : প্রথমে আলোর গতির সমীকরণটি জানতে হবে।

সমাধান : আমরা জানি, তরঙ্গ সংখ্যা,  $\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda}$

$$\therefore \lambda = \frac{1}{\bar{\nu}} = \frac{1}{165 \times 10^4 \text{ m}^{-1}} = 606 \text{ nm}$$

ফ্রিকুয়েন্সি,  $v = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{606 \times 10^{-9} \text{ m}} = 495 \times 10^{12} \text{ Hz}$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩০ : একটি বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 530 nm। এ বিকিরিত রশ্মির কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গ সংখ্যা গণনা কর। বিকিরিত রশ্মির বর্ণ কীরূপ হবে? [ $c = 3.0 \times 10^{10} \text{ cms}^{-1}$ ]

দক্ষতা : আলোর গতি,  $c = v \times \lambda$ ; এখানে  $\lambda$  ও  $c$  এর একক একই হবে

সমাধান :  $c = v \times \lambda$

কম্পাঙ্ক,  $v = \frac{c}{\lambda}$ ;

$$= \frac{3.0 \times 10^{10} \text{ cms}^{-1}}{530 \times 10^{-7} \text{ cm}}$$

$$= 5.66 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} \text{ (বা, Hz)}$$

তরঙ্গ-সংখ্যা,  $\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{530 \times 10^{-7} \text{ cm}}$

বা,  $\bar{\nu} = \frac{1 \times 10^7}{530} \text{ cm}^{-1} = 1.8868 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$

রশ্মির শনাক্তকরণ : রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য  $\lambda = 530 \text{ nm}$ ; এটি দৃশ্যমান বর্ণালির সবুজ বর্ণের পরিসর 500 – 575 nm এর মধ্যে পড়ে। তাই বর্ণালির রং সবুজ বর্ণের হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩১ : লিথিয়াম পরমাণুর লাল বর্ণের রেখা বর্ণালির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 671 nm হয়। এ আলোক রশ্মির একটি ফোটনের শক্তি গণনা কর। [ $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  এবং  $c = 3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ ]

দক্ষতা : ফোটনের শক্তি,  $E = hv$  এবং  $v = \frac{c}{\lambda}$

সমাধান : ফ্রিকুয়েন্সি,  $v = \frac{c}{\lambda}$

$$\therefore v = \frac{3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{6.71 \times 10^{-7} \text{ m}}$$

$$= 4.47 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} \text{ (বা, Hz)}$$

একটি ফোটনের শক্তি,  $E = hv$ ;

$$= 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s} \times 4.47 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$$

$$= 2.9618 \times 10^{-19} \text{ J}$$

এখানে, ফ্রিকুয়েন্সি,  $v = ?$

তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য,  $\lambda = 410 \text{ nm}$   
 $= 410 \times 10^{-9} \text{ m}$

তরঙ্গ সংখ্যা,  $\bar{\nu} = ?$

এখানে,  $c = 3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

তরঙ্গ সংখ্যা,  $\bar{\nu} = 165 \times 10^4 \text{ m}^{-1}$

তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য,  $\lambda = ?$

ফ্রিকুয়েন্সি,  $v = ?$

এক্ষেত্রে রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য  $\lambda = 530 \text{ nm}$

$$\therefore \lambda = 530 \times 10^{-7} \text{ cm} \text{ [}\because 1 \text{ nm} = 10^{-7} \text{ cm]}$$

$$c = 3.0 \times 10^{10} \text{ cms}^{-1}$$

কম্পাঙ্ক,  $v = ?$

তরঙ্গ-সংখ্যা  $\bar{\nu} = ?$

**MCQ-2.21** : কোন্ রশ্মির তরঙ্গ-সংখ্যা বেশি হয়? [ব. বো. ২০১৬]

(ক) UV (খ) IR (গ) red-ray (ঘ) X-ray



সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩২ : H-পরমাণুর ইলেকট্রনটি ৩য় বোর কক্ষপথ থেকে ১ম কক্ষপথে লাফিয়ে পড়লে বিকীর্ণ ফোটন শক্তির তরঙ্গদৈর্ঘ্য সেন্টিমিটার ও অ্যাংস্ট্রিম এককে গণনা কর। [রা. বো. ২০১৭]

দক্ষতা :  $E_n = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \times \frac{Z^2}{n^2}$  এবং  $\Delta E = h\nu$  ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : H পরমাণুর ১ম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি,  $E_1 = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \times \frac{(1)^2}{(1)^2}$   
 $= -2.18 \times 10^{-18} \text{ J} = -2.18 \times 10^{-11} \text{ erg}$  [ $\because 1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$ ]

H পরমাণুর ৩য় কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি,  $E_3 = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \times \frac{(1)^2}{(3)^2}$   
 $= \frac{-2.18 \times 10^{-18}}{9} \text{ J} = -0.2422 \times 10^{-18} \text{ J} = -0.2422 \times 10^{-11} \text{ erg}$

$\therefore \Delta E = (E_3 - E_1) = [(-0.2422 \times 10^{-11}) - (-2.18 \times 10^{-11})] \text{ erg}$   
 $= 1.9378 \times 10^{-11} \text{ erg}$

আবার,  $\Delta E = h\nu = \frac{h \times c}{\lambda}$ ;

$\therefore \lambda = \frac{h \times c}{\Delta E}$

বা,  $\lambda = \frac{6.626 \times 10^{-27} \text{ erg.s} \times 3.0 \times 10^{10} \text{ cm.s}^{-1}}{1.9378 \times 10^{-11} \text{ erg}}$

বা,  $\lambda = \frac{6.626 \times 3.0 \times 10^{-6} \text{ cm}}{1.9378} = 10.258 \times 10^{-6} \text{ cm}$

বা,  $\lambda = 1025.8 \times 10^{-8} \text{ cm} = 1025.8 \text{ \AA}$  (অ্যাংস্ট্রিম)

এক্ষেত্রে,  $h = 6.626 \times 10^{-27} \text{ erg.s}$

$c = 3.0 \times 10^{10} \text{ cms}^{-1}$

$\lambda = ?$

**MCQ-2.22 :** কোনো রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 820 nm, ঐ রশ্মির শক্তি কত হবে? [ব. বো. ২০১৫]

(ক)  $2.424 \times 10^{-19} \text{ J}$

(খ)  $2.424 \times 10^{-18} \text{ J}$

(গ)  $24.24 \times 10^{-19} \text{ J}$

(ঘ)  $24.24 \times 10^{-18} \text{ J}$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩৩ : H-পরমাণুর ক্ষেত্রে প্রযোজ্য পরমাণু মডেলের ১ম শক্তিস্তর থেকে ৩য় শক্তিস্তরে H-পরমাণুর ইলেকট্রনটি ধাপান্তরের বেলায় শোষিত শক্তি হিসাব করে এর কম্পাঙ্ক বা ফ্রিকুয়েন্সি নির্ণয় কর। [ব. বো. ২০১৭]

দক্ষতা : শোষিত শক্তি,  $\Delta E = (E_3 - E_1)$ ;  $E_n = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \times \frac{Z^2}{n^2}$  এবং  $\Delta E = h\nu$  ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : H-পরমাণুর ১ম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি,  $E_1 = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \times \frac{(1)^2}{(1)^2}$

$\therefore E_1 = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J}$

H-পরমাণুর ৩য় কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি,  $E_3 = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \times \frac{(1)^2}{(3)^2}$

$\therefore E_3 = \frac{-2.18 \times 10^{-18} \text{ J}}{9} = -0.2422 \times 10^{-18} \text{ J}$

$\therefore \Delta E = (E_3 - E_1) = [(-0.2422 \times 10^{-18}) - (-2.18 \times 10^{-18})] \text{ J} = 1.9378 \times 10^{-18} \text{ J}$

আবার,  $\Delta E = h\nu$  এক্ষেত্রে,  $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

$\therefore \nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{1.9378 \times 10^{-18} \text{ J}}{6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}} = \frac{19.378 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}}{6.626} = 2.92454 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$  (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩৪ : উদ্দীপিত H পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তর থেকে ১ম শক্তিস্তরে ধাপান্তরের ফলে নির্গত আলোকরশ্মি দৃশ্যমান হবে কিনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [মদ্রাসা বো. ২০১৭]

দক্ষতা : নির্গত শক্তি,  $\Delta E = (E_3 - E_1)$ ;  $E_n = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \times \frac{Z^2}{n^2}$  এবং  $\Delta E = h\nu = \frac{h \times c}{\lambda}$  ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : H-পরমাণুর ১ম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি,  $E_1 = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \times \frac{(1)^2}{(1)^2}$

$\therefore E_1 = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J}$



H-পরমাণুর ৩য় কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি,  $E_3 = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \times \frac{(1)^2}{(3)^2}$

$$\therefore E_3 = \frac{-2.18 \times 10^{-18} \text{ J}}{9} = -0.2422 \times 10^{-18} \text{ J}$$

$$\therefore \Delta E = (E_3 - E_1) = [(-0.2422 \times 10^{-18}) - (-2.18 \times 10^{-18})] \text{ J} = 1.9378 \times 10^{-18} \text{ J}$$

আবার,  $\Delta E = hu = \frac{h \times c}{\lambda}$  এক্ষেত্রে,  $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$   
 $c = 3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

$$\therefore \lambda = \frac{h \times c}{\Delta E} = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s} \times 3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{1.9378 \times 10^{-18} \text{ J}} = \frac{6.626 \times 3.0 \times 10^{-8} \text{ m}}{1.9378}$$

$$\therefore \lambda = 102.58 \times 10^{-9} \text{ m} = 102.58 \text{ nm}$$

বিশ্লেষণ : আলোক রশ্মিটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য,  $\lambda = 102.58 \text{ nm}$  হওয়ায় রশ্মিটি দৃশ্যমান আলোর পরিসরে নেই; এটি অতিবেগুনি অঞ্চলের রশ্মি। তাই নির্গত আলোক রশ্মি দৃশ্যমান হবে না।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.৮ : তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গশক্তি ও বর্ণালি সম্পর্কীয় :

সমস্যা-২.১৪ : গামা রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য,  $\lambda = 3.56 \times 10^{-11} \text{ m}$  হলে এর ফ্রিকুয়েন্সি কত হবে? কোনো সেনাবাহিনীর রাডার তরঙ্গদৈর্ঘ্য,  $\lambda = 10.3 \text{ cm}$  হলে এর ফ্রিকুয়েন্সি কত হবে?

[উ: গামা রশ্মি,  $8.43 \times 10^{18} \text{ Hz}$ , রাডার তরঙ্গ,  $2.91 \times 10^9 \text{ Hz}$ ]

সমস্যা-২.১৫ : ঢাকার FM রেডিও তরঙ্গের ফ্রিকুয়েন্সি  $\nu = 102.5 \text{ MHz}$  হলে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে? চট্টগ্রাম মেডিকেল হসপিটালের X-ray মেশিনের  $\nu = 9.55 \times 10^{17} \text{ Hz}$  হলে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে? [ $1 \text{ M} = 10^6$ ]

[উ: FM রেডিও  $2.93 \text{ m}$ ; X-ray,  $\lambda = 3.14 \times 10^{-10} \text{ m}$ ]

সমস্যা-২.১৬ : একটি তড়িৎ-চুম্বকীয় রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য  $450 \text{ nm}$ । এ রশ্মিটি তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালির কোন অঞ্চলের? এর ফ্রিকুয়েন্সি ও তরঙ্গ সংখ্যা গণনা কর। (আলোর গতি  $= 3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ )।

[উ: দৃশ্যমান অঞ্চল,  $\nu = 6.67 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ;  $\bar{\nu} = 2.22 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$ ]

সমস্যা-২.১৭ : কোনো রেডিও স্টেশন থেকে  $14.0 \text{ MHz}$  (মেগা হার্টজ) ফ্রিকুয়েন্সিতে সংবাদ প্রচারিত হলে ঐ রেডিও তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে?

[উ:  $\lambda = 21.428 \text{ m}$ ]

সমস্যা-২.১৮ : চট্টগ্রাম রেডিও তরঙ্গের ফ্রিকুয়েন্সি  $1200 \text{ kHz}$  হলে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও তরঙ্গ-সংখ্যা বের কর।

[উ:  $\lambda = 250 \text{ m}$ ;  $\bar{\nu} = 4.0 \times 10^3 \text{ m}^{-1}$ ]

সমস্যা-২.১৮ (ক) : ঢাকার বিমান বন্দরের রানওয়ের দুটি সিগন্যাল আলোর ফ্রিকুয়েন্সি হলো  $5.46 \times 10^{14} \text{ Hz}$  ও  $4.4117 \times 10^8 \text{ MHz}$ । উভয় সিগন্যালের আলোর বর্ণ এবং এদের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য কত হবে?

[উ: ১ম সিগন্যালের বর্ণ সবুজ, ২য় সিগন্যালের বর্ণ লাল। তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য  $= 130.55 \text{ nm}$ ]

সমস্যা-২.১৮ (খ) : ঢাকা মেডিকেল কলেজের MRI মেশিনের তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণের ফ্রিকুয়েন্সি  $8.25 \times 10^{11} \text{ MHz}$  হলে এর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কত?

[উ:  $363.636 \times 10^{-3} \text{ nm}$ ]

সমস্যা-২.১৯ : দৃশ্যমান আলোর কোনো বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য  $750 \text{ nm}$  হলে এর ফ্রিকুয়েন্সি কত হবে?

[উ:  $\nu = 4. \times 10^{14} \text{ Hz}$ ]

সমস্যা-২.২০ : কমলা বর্ণের আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য  $600 \text{ nm}$  হলে এর ফ্রিকুয়েন্সি কত হবে? [উ:  $\nu = 5 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ]

সমস্যা-২.২১ : সিজিয়াম পরমাণুর একটি রেখা বর্ণালির তরঙ্গদৈর্ঘ্য  $456 \text{ nm}$  হলে এর ফ্রিকুয়েন্সি কত হবে?

[উ:  $\nu = 6.58 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ]

সমস্যা-২.২২ : সোডিয়াম পরমাণুর বর্ণালিতে  $D_1$  লাইনের ফ্রিকুয়েন্সি  $5.09 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$  হলে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত?

[উ:  $\lambda = 589.39 \text{ nm}$ ]

সমস্যা-২.২৩ : কোনো তরঙ্গের ফ্রিকুয়েন্সি  $4 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$  হলে এর তরঙ্গ-সংখ্যা কত হবে?

[উ:  $\bar{\nu} = 1.33 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$ ]

সমস্যা-২.২৪ : ক্যালসিয়াম পরমাণুর রেখা বর্ণালির তরঙ্গদৈর্ঘ্য  $456 \text{ nm}$  হলে এর ফ্রিকুয়েন্সি ও তরঙ্গ সংখ্যা কত?

[উ:  $\nu = 6.58 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$ ;  $\bar{\nu} = 2.19 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$ ]

সমস্যা-২.২৫ : সর্বাধিক তীব্রতার সূর্যালোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য  $6.0 \times 10^{-7} \text{ m}$  হলে ঐ সূর্যালোর তরঙ্গের ফ্রিকুয়েন্সি কত?

[উ:  $\nu = 5 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$ ]



- সমস্যা-২.২৫ (ক) : ভোর বেলায় সূর্য থেকে আসা UV রশ্মির ফ্রিকুয়েন্সি  $857 \times 10^6$  MHz হলে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও তরঙ্গ সংখ্যা কত?  
[উ:  $\lambda = 350$  nm; তরঙ্গ সংখ্যা =  $285.71 \times 10^4$  m<sup>-1</sup>]
- সমস্যা-২.২৫ (খ) : কোনো উৎস থেকে বিকিরিত বেগুনি রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 420 nm। এর ফ্রিকুয়েন্সি ও তরঙ্গ সংখ্যা কত হবে?  
[উ:  $\nu = 7.14 \times 10^{14}$  s<sup>-1</sup> বা, Hz,  $\bar{\nu} = 2.38 \times 10^6$  m<sup>-1</sup>]
- সমস্যা-২.২৬ : বেগুনি থেকে লাল বর্ণের দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিসর 380 nm থেকে 780 nm হলে ঐ আলোর পরিসরের ফ্রিকুয়েন্সি কত?  
[উ:  $7.89 \times 10^{14}$  —  $3.84 \times 10^{14}$  Hz]
- সমস্যা-২.২৭ : রাস্তার ট্রাফিক সিগন্যালের লাল বাতির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 728 nm হলে এর ফ্রিকুয়েন্সি ও তরঙ্গ সংখ্যা কত?  
[উ:  $\nu = 4.12 \times 10^{14}$  Hz;  $\bar{\nu} = 137.36 \times 10^4$  m<sup>-1</sup>]
- (ক) রাস্তার ট্রাফিক সিগন্যালের সবুজ বাতির আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 520 nm। ঐ আলোর কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গ-সংখ্যা কত?  
[উ:  $5.769 \times 10^{14}$  Hz;  $1.923 \times 10^4$  cm<sup>-1</sup>]
- (খ) বোর পরমাণু মডেলের ইলেকট্রনের স্থানান্তরের সময় ইলেকট্রনের শক্তি  $2.32 \times 10^{-18}$  J হলে বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত?  
[উ:  $8.571 \times 10^{-8}$  m] [রা. বো. ২০১৫]
- (গ) H-পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি কত হবে?  
[সংকেত,  $E_n = (-2.18 \times 10^{-18} \text{ J}) \times Z^2/n^2$ ] [উ:  $-2.42 \times 10^{-19}$  J]
- (ঘ) H-পরমাণুর ইলেকট্রনটি ১ম শক্তিস্তর থেকে ২য় শক্তিস্তরে লাফিয়ে ধাপান্তর হওয়ার কালে শোষিত শক্তির পরিমাণ কত?  
[উ:  $+1.635 \times 10^{-18}$  J] [দি. বো. ২০১৬]
- (ঙ) H-পরমাণুর ইলেকট্রনটি ২য় শক্তিস্তর থেকে ৩য় শক্তিস্তরে স্থানান্তরিত বা ধাপান্তর হওয়ার কালে শোষিত শক্তির পরিমাণ কত?  
[উ:  $3.03 \times 10^{-19}$  J] [দি. বো. ২০১৭]
- (চ) কোনো পরমাণুর বর্ণালিতে সৃষ্ট 675 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট বর্ণালি রেখার ফোটনের শক্তি কত? [ব. বো. ২০১৭]  
[সংকেত,  $E = h\nu = h \times \frac{c}{\lambda}$ ;  $c = 3.0 \times 10^8$  ms<sup>-1</sup>.  $h = 6.626 \times 10^{-34}$  J.s.] [উ:  $2.9449 \times 10^{-19}$  J]
- (ছ) কোনো পরমাণুর বর্ণালিতে 590 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রেখা বর্ণালি সৃষ্টি হয়। এ আলোকরশ্মির একটি ফোটনের শক্তি কত হবে?  
[উ:  $3.369 \times 10^{-19}$  J]

## ২.৫.২ আলোক সম্পর্কিত প্লাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব

### Plank's Quantum Theory of Light

প্লাঙ্কের মতে আলোক নিরবচ্ছিন্ন নয়; পদার্থ হতে এ বিকিরিত তরঙ্গ শক্তি বিচ্ছিন্নভাবে নির্দিষ্ট একক পরিমাণে বা ক্ষুদ্র শক্তির প্যাকেটরূপে বের হয়। এ শক্তির এককের নাম দেয়া হয় আলোর এক কোয়ান্টাম শক্তি (quantum)। পরে বিজ্ঞানী আইনস্টাইন তাঁর 'photoelectric effect' এর ব্যাখ্যায় আলোককে নির্দিষ্ট শক্তিয়ুক্ত ক্ষুদ্র কণা বা ফোটন (photon) এর প্রবাহরূপে উল্লেখ করেন। এসব ফোটনের শক্তির পরিমাণ (E) এদের বিকিরণের ফ্রিকুয়েন্সি বা স্পন্দন সংখ্যার ( $\nu$ ) সমানুপাতিক।

$$E_{\text{photon}} \propto \nu$$

$$\therefore E_{\text{photon}} = h\nu;$$

এখানে;  $E_{\text{photon}}$  = ফোটনের একক কোয়ান্টাম শক্তি।

$\nu$  ('নিউ') = বিকিরণের স্পন্দনসংখ্যা। এর একক (s<sup>-1</sup>) or Hertz (Hz)

$h$  = প্লাঙ্কের ধ্রুবক, এর মান  $6.626 \times 10^{-34}$  জুল সেকেন্ড (Js)

$$1\text{J} = 1\text{N (বল)} \times 1\text{m} = 1 \text{ kgms}^{-2} \times 1\text{m} = 1 \text{ kg m}^2\text{s}^{-2}$$

$E = h\nu$ , এই সমীকরণকে প্লাঙ্কের সমীকরণ বলা হয়।

বোর পরমাণু মডেল অনুসারে পারমাণবিক বর্ণালি সৃষ্টির ব্যাখ্যা প্রদানে প্লাঙ্কের এ আলোকশক্তির সমীকরণ বেশ সহায়ক হয়ে ওঠে।

প্লাঙ্কের মতে পরমাণু দ্বারা শক্তি শোষণ বা বিকিরণের পরিমাণ এক বা একাধিক পূর্ণ সংখ্যার প্যাকেট-শক্তি বা কোয়ান্টাম [কোয়ান্টা, quanta (plural)] হয়ে থাকে। অর্থাৎ

$$\Delta E_{\text{atom}} = \Delta n \times h\nu = E_{\text{emit/absorb}}$$



যেহেতু পরমাণু  $h\nu$  এর পূর্ণ সংখ্যার গুণিতক পরিমাণে শক্তির পরিবর্তন করে; তাই এর নিকটতম দুই শক্তিস্তরের পার্থক্যের বেলায়  $\Delta n = 1$  হবে। তখন একটি ফোটনের শক্তি হবে :

$$E_{\text{photon}} = h\nu = \Delta E_{\text{atom}}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩৫ : ফোটনের ফ্রিকুয়েন্সি থেকে এর শক্তি গণনা :

সেনাবাহিনীর রাডার তরঙ্গের ফ্রিকুয়েন্সি  $\nu = 3.35 \times 10^8 \text{ Hz}$  হলে জুল এককে এর শক্তি কত? কিলোজুল/মোল এককে এ শক্তির পরিমাণ কত হবে?

দক্ষতা : একটি ফোটনের শক্তি,  $E_{\text{photon}} = h\nu$  এবং প্রতি মোল ফোটনের শক্তি  $N_A \times E_{\text{photon}}$

$$\text{সমাধান : } E_{\text{photon}} = h\nu = (6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}) (3.35 \times 10^8 \text{ s}^{-1}) = 2.22 \times 10^{-25} \text{ J}$$

আবার প্রতি মোল ফোটনের শক্তি =  $N_A \times E_{\text{photon}}$

$$= (6.022 \times 10^{23} \text{ photon/mol}) (2.22 \times 10^{-25} \text{ J/photon})$$

$$= 0.134 \text{ J/mol} = 1.34 \times 10^{-4} \text{ kJ/mol.}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩৬ : তোমার রান্নাঘরে রান্নার কাজে ব্যবহৃত মাইক্রো ওভেনটি 1.20 cm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তাপশক্তি বিকিরণ করে। এ মাইক্রো ওভেনের বিকিরণের একটি ফোটনের শক্তি কত হবে?

দক্ষতা : একটি ফোটনের শক্তি,  $E_{\text{photon}} = h\nu$  এবং  $c = \nu \times \lambda$

$$\text{সমাধান : } E_{\text{photon}} = h\nu = h \times \frac{c}{\lambda}$$

দেয়া আছে :

$$\lambda = 1.20 \text{ cm}$$

$$= 1.20 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$c = 3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$\therefore E_{\text{photon}} = (6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}) \times \frac{(3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})}{1.20 \times 10^{-2} \text{ m}}$$

$$\therefore E_{\text{photon}} = 16.565 \times 10^{-24} \text{ J} = 1.66 \times 10^{-23} \text{ J}$$

শিক্ষার্থীর কাজ-২.৯ : প্লাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্বভিত্তিক :

সমস্যা-২.২৮ : ভিও চুম্বকীয় বিকিরণ শক্তির ক্রমবৃদ্ধি মানুষের দেহের ওপর অধিক ক্ষতিকর প্রভাব সৃষ্টি করে। IR রশ্মি আরামদায়ক উষ্ণতা দেয়; UV রশ্মি তুকে কালো দাগ ও দহন জ্বালা সৃষ্টি করে এবং X-ray টিস্যুর কিছুটা ক্ষতি করে। IR রশ্মির  $\lambda = 1.55 \times 10^{-6} \text{ m}$ ; UV-রশ্মির  $\lambda = 250 \text{ nm}$  এবং X-ray এর  $\lambda = 5.49 \text{ nm}$ ; হলে প্রতি ক্ষেত্রের তরঙ্গ শক্তি কিলোজুল/মোল কত হবে? [উ: IR, 77.2 kJ/mol; UV, 478.8 kJ/mol; X-ray,  $2.18 \times 10^4 \text{ kJ/mol}$ ]

সমস্যা-২.২৯ : সোডিয়াম বর্ণালিতে হলুদ বর্ণের 590 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক রশ্মির একটি ফোটনের শক্তি জুল ও কিলোজুল/মোল-এ কত হবে? [উ:  $3.369 \times 10^{-19} \text{ J}$ ;  $2.0288 \times 10^2 \text{ kJ/mol}$ ]

সমস্যা-২.৩০ : ক্যালসিয়ামের লাল বর্ণের রেখা বর্ণালির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 650 nm হলে এ আলোক রশ্মির (ক) একটি ফোটনের শক্তি ও (খ) এক মোল ফোটনের শক্তি গণনা কর। [উ: (ক)  $3.0581 \times 10^{-19} \text{ J}$ ; (খ)  $1.8416 \times 10^5 \text{ J/mol}$ ]

সমস্যা-২.৩১ : কোনো রাডার তরঙ্গের ফ্রিকুয়েন্সি  $5 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}$  হলে জুল এককে এর শক্তি কত হবে?

$$[উ:  $3.313 \times 10^{-19} \text{ J}$ ]$$

(ক) একটি আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য  $2.8 \times 10^{-5} \text{ m}$  হলে (i) সেন্টিমিটার এককে তরঙ্গদৈর্ঘ্য, (ii) ফ্রিকুয়েন্সি ও (iii) একটি ফোটনের শক্তি গণনা কর। [উ: (i)  $2.8 \times 10^{-3} \text{ cm}$ , (ii)  $1.07 \times 10^{13} \text{ s}^{-1}$ , (iii)  $7.089 \times 10^{-21} \text{ J}$ ]

(খ)  $400 \times 10^{-10} \text{ m}$  তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর একটি ফোটনের শক্তি কত হবে? [উ:  $4.9695 \times 10^{-18} \text{ J}$ ]

(গ) 800 nm ও 400 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুটি বিকিরণ রশ্মির শক্তি গণনা কর এবং তুলনা কর।

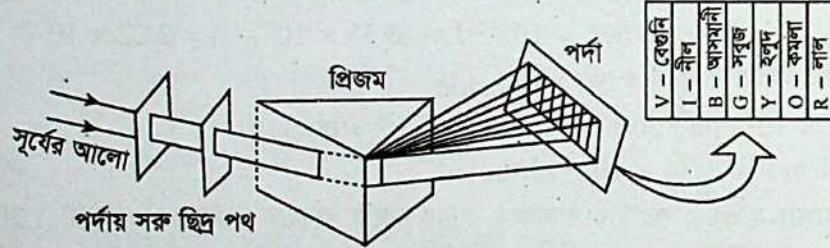
$$[উ:  $2E_1 = E_2$ ;  $E_1 = 2.48475 \times 10^{-19} \text{ J}$ ]$$



### ২.৫.৩ দৃশ্যমান আলো ও বর্ণালি Visible Light & Spectrum

আমরা জানি সূর্যের দৃশ্যমান আলোর বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য 380 – 780 nm এর মধ্যে থাকে।

বর্ণালি : সূর্যের আলো সরু ছিদ্র পথে কাচের প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরিত হওয়ার কালে তা প্রিজম দ্বারা বিচ্ছুরিত (dispersion) হয়ে রঙধনুর মতো সাত বর্ণের (VIBGYOR—বেনীআসহকলা) প্রশস্ত ব্যান্ড সৃষ্টি করে। সূর্যের আলোর বিচ্ছুরণের ফলে সৃষ্ট বিভিন্ন বর্ণের এ সমাবেশকে বর্ণালি (spectrum) বলা হয়। এক্ষেত্রে সৃষ্ট বর্ণালি অবিচ্ছিন্ন ও এতে সব স্পন্দন সংখ্যার আলো থাকে।



চিত্র-২.১৬ : সূর্যের আলোর অবিচ্ছিন্ন বর্ণালি

বর্ণালি মাপার যন্ত্রটিকে স্পেকট্রোমিটার (spectrometer) বলা হয়। গঠনগতভাবে এটির আলো বিচ্ছুরণের জন্য একটি প্রিজম এবং বর্ণালি রেকর্ডের জন্য একটি ফটোগ্রাফিক প্লেট থাকে। বর্ণালির ফটোগ্রাফকে স্পেকট্রোগ্রাফ বলে।

পারমাণবিক বর্ণালি : পারমাণবিক বর্ণালি সূর্যালোকের বর্ণালির মতো অবিচ্ছিন্ন নয়। পারমাণবিক বর্ণালিতে কয়েকটি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো থাকে। এরূপ বর্ণালিতে প্রত্যেক রঙিন রেখা একটি বিশেষ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিকিরণের জন্য হয়। তাই এরূপ রেখার সারিকে পারমাণবিক রেখা বর্ণালি (Line spectrum) বলে।

পারমাণবিক বর্ণালি সৃষ্টি : কোনো গ্যাস বা বাষ্পকে উচ্চ তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে বা তার মধ্য দিয়ে বৈদ্যুতিক স্কুলিস চালনা করলে যে আলো বের হয়, তাতে সব স্পন্দন-সংখ্যার আলো থাকে না। প্রিজম বা অনুরূপ যন্ত্রের মধ্যদিয়ে চালনা করলে সৃষ্ট বর্ণালিতে বেশ কিছু একক বা যৌথ লাইন দেখা যায়, যাদের অবস্থান নির্দিষ্ট অর্থাৎ যাদের স্পন্দন-সংখ্যা নির্দিষ্ট। পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয়েছে যে, বর্ণালির একক লাইনগুলো (line spectrum) পরমাণু হতে উৎপন্ন। এজন্য এদেরকে পারমাণবিক রেখা বর্ণালি বা পারমাণবিক বর্ণালি (atomic spectrum) বলা হয়।

অপরদিকে বর্ণালিতে যে সমস্ত যৌথ লাইন (band spectra) দেখা যায়, তা প্রকৃতপক্ষে পরস্পরের অতি নিকটে অবস্থিত অনেক একক লাইনের সমষ্টি এবং তা অণু হতে সৃষ্ট এবং তাকে আণবিক বর্ণালি (molecular spectrum) বলা যেতে পারে। সাধারণত যৌগের বর্ণালি এভাবে নেয়া হয় না। বিদ্যুৎ চৌম্বকীয় বিকিরণের বিভিন্ন এলাকায় ভিন্ন ভিন্ন পদ্ধতি ব্যবহার করে যৌগের বিভিন্ন বর্ণালি গ্রহণ করা হয়।

বিজ্ঞানীরা প্রমাণ করেন যে, প্রত্যেক মৌলের নির্দিষ্ট বৈশিষ্ট্যপূর্ণ রেখা বর্ণালি আছে। বর্ণালির প্রতি রঙিন রেখা নির্দিষ্ট তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের বা নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের আলো শক্তির সাথে সম্পর্কযুক্ত। তাই বিভিন্ন উদ্বায়ী ধাতব ক্লোরাইডকে বুনসেন বার্নারের শিখায় উত্তপ্ত করলে বিভিন্ন ধাতব আয়ন বিভিন্ন বর্ণযুক্ত শিখা সৃষ্টি করে। যেমন- সোডিয়াম আয়ন থেকে সোনালী হলুদ, পটাশিয়াম আয়ন থেকে হালকা বেগুনি এবং ক্যালসিয়াম আয়ন থেকে ইটের মতো লাল শিখা উৎপন্ন হয়।

পারমাণবিক বর্ণালি দু'প্রকার। যেমন,

(ক) আলো বিচ্ছুরণ-বর্ণালি (emission spectra) : এটি উজ্জ্বল বর্ণের রেখার হয়।

(খ) আলো শোষণ-বর্ণালি (absorption spectra) : এটি কালো বর্ণের রেখার হয়।

(ক) আলো বিচ্ছুরণ বর্ণালি : তড়িৎ-চুম্বকীয় শক্তিতে উদ্দীপিত পরমাণুর বিকিরিত আলো শক্তি দ্বারা বিচ্ছুরণ বর্ণালি সৃষ্টি হয়। বিভিন্ন পরমাণুকে নিম্নরূপে দু'ভাবে উদ্দীপিত করে স্পেকট্রোমিটারে রেখা বর্ণালি পাওয়া যায় :

১। নিম্ন চাপে কোনো গ্যাস বা বাষ্পকে বৈদ্যুতিক স্কুলিস দ্বারা উত্তপ্ত করে। যেমন  $H_2$  এর বর্ণালি।

হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালি : একটি কাচ নলে নিম্ন চাপে রাখা হাইড্রোজেন গ্যাসের ভেতর উচ্চ শক্তির বিদ্যুৎ চালনা করা হলে ঐ গ্যাসের ভেতর থেকে গোলাপী বর্ণের আলোর বিকিরণ ঘটে। এ বিকিরিত আলোকে স্পেকট্রোস্কোপের



প্রিজমের মধ্য দিয়ে এর পর্দার ফটোগ্রাফিক প্লেটে ফেললে কতগুলো সুস্পষ্ট রঙিন আলো রেখা দেখা যায়। এসব রঙিন আলোর রেখাকে হাইড্রোজেনের রেখা বর্ণালি বলে। এদের মধ্যে ১টি লাল বর্ণের ( $\lambda = 656.3 \text{ nm}$ ), ১টি আসমানি বর্ণের ( $\lambda = 486.1 \text{ nm}$ ), ১টি নীল বর্ণের ( $\lambda = 434.1 \text{ nm}$ ) এবং ১টি বেগুনি বর্ণের ( $\lambda = 410.1 \text{ nm}$ ) রেখা সুস্পষ্ট দেখা যায়। এছাড়া  $364.6 \text{ nm}$  তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সূক্ষ্ম রেখা ও দেখা যায়। এ উজ্জ্বল আলোক রেখাগুলোর সমাহারকে হাইড্রোজেনের রেখা বর্ণালি বা পারমাণবিক বর্ণালি বলা হয়। [চিত্র ২.১৭]

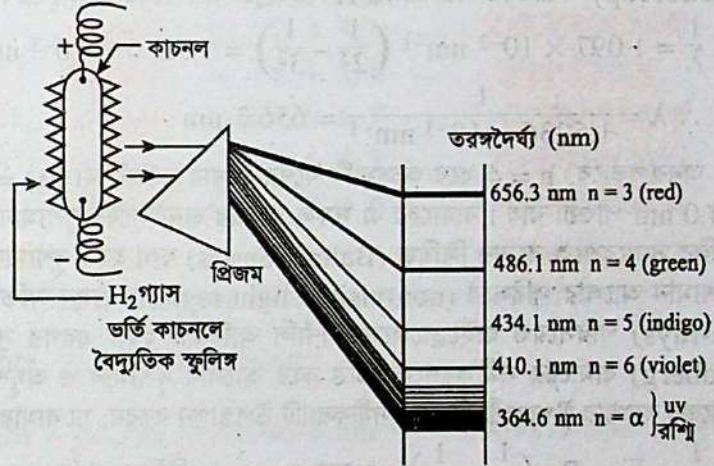
২। কোনো পদার্থকে উচ্চতাপমাত্রায় উত্তপ্ত করে এর পরমাণুকে উদ্দীপিত করা হয়। যেমন সোডিয়াম ক্লোরাইড লবণকে শিখায় উত্তপ্ত করে প্রাপ্ত বর্ণালি। এক্ষেত্রে প্রথমে বাষ্পীভূত সোডিয়াম আয়ন নিকটস্থ ঋণাত্মক আয়ন থেকে ইলেকট্রন নিয়ে পরমাণুতে পরিণত হয়। এরপর বর্ণালি সৃষ্টি করে। [অনুচ্ছেদ-২.১১ দেখ]

(খ) আলো-শোষণ বর্ণালি : সব তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট দৃশ্যমান আলোকে কোনো মৌলের গ্যাসীয় বা বাষ্পীয় অবস্থায় অথবা পদার্থের দ্রবণের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করার পর ঐ নির্গত আলোকে স্পেকট্রোমিটারে বিশ্লেষণ করলে কতগুলো কালো বর্ণের সূক্ষ্ম রেখাযুক্ত বর্ণালি পাওয়া যায়। এক্ষেত্রে বস্তুর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত দৃশ্যমান আলো থেকে সংশ্লিষ্ট বস্তু দ্বারা শোষিত তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গদৈর্ঘ্যসমূহের অভাবেই ঐ কালো বর্ণের রেখা সৃষ্টি হয়েছে। তাই এরূপ বর্ণালিকে আলো শোষণ বর্ণালি বলে। যেমন, NaCl এর দ্রবণ থেকে নির্গত সূর্যালোককে স্পেকট্রোমিটারে বিশ্লেষণ করলে যে কালো সূক্ষ্ম রেখাযুক্ত ( $D_1$  ও  $D_2$ ) দুটি হলুদ বর্ণালি পাওয়া যায়, এদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য হয়  $589.6 \text{ nm}$  ও  $590.0 \text{ nm}$ । [চিত্র-২.৫, চিত্র-২.১৭ এবং চিত্র-২.১৮ (B)] সূর্যালোকের হলুদ বর্ণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য শোষণের ফলে এটি সৃষ্টি হয়েছে।

H-বর্ণালির ব্যাখ্যা : আলোক সম্পর্কীয় প্রাক্কের তত্ত্বের সাহায্যে বিজ্ঞানী বোর হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালির ব্যাখ্যায় বলেন যে, উচ্চ বিদ্যুৎ শক্তির প্রভাবে হাইড্রোজেন অণু ( $H_2$ ) প্রথমে পরমাণুতে (H) পরিণত হয়। পরে হাইড্রোজেনের অসংখ্য পরমাণুর ইলেকট্রন বিভিন্ন পরিমাণে শক্তি শোষণ করে উদ্দীপিত হয়ে তাদের বিভিন্ন উচ্চ শক্তিস্তরে লাফিয়ে চলে। শক্তির উৎস সরিয়ে নিলে উদ্দীপিত ইলেকট্রনগুলো থেকে শক্তির বিকিরণ ঘটতে থাকে। ফলে ইলেকট্রনগুলো বিভিন্ন নিম্ন শক্তিস্তরে ফিরে আসে। তখন অসংখ্য H-পরমাণুর বিভিন্ন উচ্চ শক্তিস্তরের ইলেকট্রন একই নিম্ন শক্তিস্তরে ফিরতে পারে। ফলে সৃষ্ট রেখা বর্ণালির পাশাপাশি রেখাগুলো বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের হয়। বিভিন্ন বিজ্ঞানী হাইড্রোজেনের রেখা বর্ণালির চিত্র আবিষ্কার করেন, তাঁদের নামানুসারে হাইড্রোজেনের রেখা বর্ণালির বিভিন্ন নাম আছে, যেমন (i) উদ্দীপিত ইলেকট্রন শক্তি হারিয়ে  $1\text{m}$  শক্তিস্তরে ফিরে আসলে তখন H-বর্ণালিতে যে রেখাসমূহ পাওয়া যায়, তাদের সমাহারকে লাইমেন সিরিজ বলে। তদ্রূপ উচ্চ শক্তিস্তর থেকে ইলেকট্রনসমূহ  $2\text{য়}$ ,  $3\text{য়}$ ,  $8\text{র্থ}$  ও  $5\text{ম}$  শক্তিস্তরে ফিরে আসার ফলে সৃষ্ট বর্ণালিকে যথাক্রমে (ii) বামার সিরিজ, (iii) প্যাচেন সিরিজ, (iv) ব্র্যাকেট সিরিজ, (iv) ফুন্ড সিরিজ বলা হয় [চিত্র-২.১৯ দ্রষ্টব্য]।

(৩) হাইড্রোজেন বর্ণালির উপর বিভিন্ন বিজ্ঞানীর পরীক্ষা-নিরীক্ষা : সূর্যের দৃশ্যমান আলোর ( $\lambda = 380 \text{ nm} - 780 \text{ nm}$ ) পরিসরে সৃষ্ট হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালির মধ্যে ৪ ধরনের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিভিন্ন বর্ণের লাইন দেখা যায় এবং এদের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য সূক্ষ্মভাবে মাপা হয়।

যেমন এদের ১টি লাল বর্ণের ( $\lambda = 656.3 \text{ nm}$ ), ১টি আসমানি নীল ( $\lambda = 486.1 \text{ nm}$ ), ১টি নীল বর্ণের ( $\lambda = 434.1 \text{ nm}$ ) এবং ১টি বেগুনি বর্ণের ( $\lambda = 410.1 \text{ nm}$ ) রেখা সুস্পষ্ট দেখা যায়। ১৮৮৫ খ্রিষ্টাব্দে সুইজারল্যান্ডের স্কুল শিক্ষক জোহান বামার (Johann Balmer) H-পরমাণু থেকে সৃষ্ট ও জানা এ ৪টি বর্ণালি রেখার ব্যাখ্যা উপযোগী একটি সমীকরণ উপস্থাপন করেন। এক্ষেত্রে তিনি বর্ণালির তথ্য বা ডাটা (data)-এর সাথে  $v = \frac{c}{\lambda}$  সম্পর্ক কাজে লাগিয়ে 'trial and error' পদ্ধতিতে গণনা করে বর্ণালির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ( $\lambda$ ) নির্ণয় করেন।



চিত্র-২.১৭ : হাইড্রোজেনের পারমাণবিক রেখা বর্ণালি



বামার উপস্থাপিত সমীকরণটি হলো নিম্নরূপ :

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right); \text{ or, } \nu = R_H \cdot c \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right); [\text{যেহেতু, } c = \nu \times \lambda; \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c}]$$

এখানে  $n = 3, 4, 5, 6$  পূর্ণসংখ্যা এবং  $R_H$  হলো একটি ধ্রুবক (বর্তমানে এটিকে রিডবার্গ ধ্রুবক বলা হয়)। বামার সমীকরণে  $n = 3$  এবং  $R_H = 1.097 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1}$  ধরে নির্ণীত তরঙ্গদৈর্ঘ্য ( $\lambda$ ) = 656.3 nm হয়; যা spectroscopy পদ্ধতিতে পরীক্ষালব্ধ H পরমাণুর লাল বর্ণের বর্ণালি রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য ( $\lambda$ ) 656.3 nm এর সমান হয়।

$$\frac{1}{\lambda} = 1.097 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1} \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) = 1.5236 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-1}$$

$$\therefore \lambda = \frac{1}{1.5236 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-1}} = 656.3 \text{ nm}$$

অনুরূপভাবে,  $n = 4$  ধরে আসমানি বর্ণের রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য ( $\lambda$ ) = 486.1 nm এবং  $n = 5$  ধরে নীল বর্ণের  $\lambda = 434.0 \text{ nm}$  পাওয়া যায়। বামার এ সফল কাজের জন্য সূর্যের দৃশ্যমান আলোর পরিসরে সৃষ্ট হাইড্রোজেনের ৪টি রেখা বর্ণালির সমাবেশকে বামার সিরিজ (Balmer Series) বলা হয়। দৃশ্যমান আলোর পরিসরে বামার সিরিজের ব্যাখ্যার পর অদৃশ্যমান আলোর পরিসরে (non-visible light region) যেমন অতিবেগুনি রশ্মি (UV-rays) ও অবলোহিত রশ্মি (IR-rays) পরিসরেও হাইড্রোজেনের বর্ণালি আবিষ্কৃত হয়। এরপর সুইডিশ পদার্থবিদ জোহান রিডবার্গ (Johann Rydberg) বামারের সমীকরণকে ভিত্তি করে আলোর দৃশ্যমান ও অদৃশ্যমান উভয় পরিসরে H পরমাণুর সমগ্র বর্ণালি সিরিজের ব্যাখ্যার উপযোগী নিম্নরূপ সমীকরণটি উপস্থাপন করেন; যা বামার-রিডবার্গ সমীকরণ নামে পরিচিত :

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = R_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right); \text{ এখানে } n_1 \text{ ও } n_2 \text{ বিভিন্ন পূর্ণসংখ্যা, } n_2 > n_1; R_H \text{ হলো রিডবার্গ ধ্রুবক, } R_H =$$

$1.09678 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$  বা,  $1.096776 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ । এক্ষেত্রে  $\lambda =$  বর্ণালি রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য,  $\bar{\nu} =$  প্রতি মিটারে তরঙ্গ-সংখ্যা (wave number)।

\* ১৯০৬ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী লাইমেন (T. Lyman) অতিবেগুনি রশ্মি এলাকায় H পরমাণুর ৫টি রেখা বর্ণালি আবিষ্কার করেন, যা লাইমেন সিরিজ নামে খ্যাত। এ সব বর্ণালি রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য ( $\lambda$ ) ও তরঙ্গ-সংখ্যা ( $\bar{\nu}$ ) বামার-রিডবার্গ সমীকরণে  $n_1 = 1$  এবং  $n_2 = 2, 3, 4, 5, 6$  বসিয়ে পাওয়া যায় :

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = R_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = R_H \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = \frac{3}{4} R_H$$

যখন H পরমাণুর উদ্দীপিত ইলেকট্রনটি ২য়, ৩য়, ৪র্থ ইত্যাদি উচ্চতর শক্তিস্তর থেকে ১ম শক্তিস্তরে স্থানান্তরিত হয়; তখন অতিবেগুনি রশ্মি অঞ্চলে H পরমাণুর লাইমেন সিরিজ বর্ণালির উদ্ভব ঘটে।

\* ১৯০৮ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী প্যাশ্চেন (F. Paschen) অবলোহিত রশ্মি এলাকায় H পরমাণুর কিছু রেখা বর্ণালি আবিষ্কার করেন, যা প্যাশ্চেন সিরিজ নামে খ্যাত। এ বর্ণালি সিরিজের বেলায় বামার-রিডবার্গ সমীকরণে  $n_1 = 3$  এবং  $n_2 = 4, 5, 6$  মান হয়।

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = R_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = R_H \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) = R_H \left( \frac{1}{9} - \frac{1}{16} \right) = \frac{7R_H}{144}$$

যখন H পরমাণুর উদ্দীপিত ইলেকট্রনটি ৪র্থ, ৫ম বা ৬ষ্ঠ ইত্যাদি উচ্চতর শক্তিস্তর থেকে লাফিয়ে ৩য় শক্তিস্তরে স্থানান্তরিত হয়; তখন অবলোহিত রশ্মি এলাকায় H-পরমাণুর প্যাশ্চেন সিরিজ বর্ণালির উদ্ভব ঘটে।

\* ১৯২২ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী ব্রাকেট (Brackett) এবং ১৯২৪ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী এ.এইচ. ফুন্ড (A. H. Pfund) এ একই অবলোহিত রশ্মি অঞ্চলে H পরমাণুর দুটি ভিন্ন রেখা বর্ণালি সিরিজ আবিষ্কার করেন। এর একটি হলো ব্রাকেট সিরিজ এবং অপরটি হলো ফুন্ড সিরিজ।

ব্রাকেট-সিরিজ,  $n_1 = 4$  এবং  $n_2 = 5, 6$  ইত্যাদি হয়।

ফুন্ড সিরিজ,  $n_1 = 5$  এবং  $n_2 = 6, 7$  ইত্যাদি হয়।



আলোর বিভিন্ন অঞ্চলে হাইড্রোজেনের পরমাণু দ্বারা সৃষ্ট বর্ণালির বিভিন্ন সিরিজের লাইনসমূহের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ও তরঙ্গ-সংখ্যা নিম্নের সাধারণ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় :

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = R_H \times \left[ \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right]; \text{ এখানে, } n_1 \text{ ও } n_2 \text{ বিভিন্ন পূর্ণ সংখ্যা। এ সমীকরণটিকে হাইড্রোজেনের পারমাণবিক}$$

বর্ণালির বামার রিডবার্গের সমীকরণ বলে। বিভিন্ন সিরিজে  $n_1$  ও  $n_2$  শক্তিস্তরের মান নিম্নরূপ :

- (১) লাইমেন সিরিজে (Lyman series এ)  $n_1 = 1$ ;  $n_2 = 2, 3, 4 \dots \dots$  [অতিবেগুনি অঞ্চল]
- (২) বামার সিরিজে (Balmer series এ)  $n_1 = 2$ ;  $n_2 = 3, 4, 5, 6 \dots \dots$  [দৃশ্যমান অঞ্চল]
- (৩) প্যাশ্চেন সিরিজে (Paschen series এ)  $n_1 = 3$ ;  $n_2 = 4, 5, 6, 7 \dots \dots$  [অবলোহিত অঞ্চল]
- (৪) ব্র্যাকেট সিরিজে (Brackett series এ)  $n_1 = 4$ ;  $n_2 = 5, 6, 7, 8 \dots \dots$  [অবলোহিত অঞ্চল]
- (৫) ফুন্ড সিরিজে (Fund series এ)  $n_1 = 5$ ;  $n_2 = 6, 7, 8, 9 \dots \dots$  [অবলোহিত অঞ্চল]
- (৬) হামফ্রিস সিরিজ (Humphreys series এ)  $n_1 = 6$ ;  $n_2 = 7, 8, 9 \dots \dots$  [অবলোহিত অঞ্চল]

উল্লেখ্য, যে কোনো মৌলের বা আয়নের বর্ণালির জন্য প্রযোজ্য বামার রিডবার্গের সমীকরণটি হলো :

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = R_H \times Z^2 \times \left[ \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right]; \text{ এখানে, } Z = \text{পারমাণবিক সংখ্যা।}$$

$$R_H = 1.09678 \times 10^7 \text{ m}^{-1} = 1.09678 \times 10^5 \text{ cm}^{-1} = 109678 \text{ cm}^{-1} = 1.09678 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1}$$

হাইড্রোজেন পরমাণুর জন্য  $Z = 1$  হবে।

(৪) বোরের শক্তিস্তরভিত্তিক সমীকরণ থেকে রিডবার্গ সমীকরণ ও রিডবার্গ ধ্রুবকের মান নির্ণয়

[To derive Rydberg Equation & Value of  $R_H$  from Bohr's Orbit related Equation]

বোর প্রদত্ত হাইড্রোজেন পরমাণুর শক্তিস্তরভিত্তিক মোট শক্তির ( $E_n$ ) সমীকরণ থেকে বোর নিজেই রিডবার্গ সমীকরণটি ও রিডবার্গ ধ্রুবকের মান নির্ণয় করেন; যা spectroscopy পরীক্ষাভিত্তিক নির্ণীত মান থেকে মাত্র 0.05% পার্থক্য দেখায়।

বোর প্রদত্ত যে কোনো পরমাণুর শক্তিস্তরভিত্তিক মোট শক্তির ( $E_n$ ) সমীকরণটি হলো,

$$E_n = \left( \frac{-2\pi^2 m e^4}{h^2} \right) \times \frac{Z^2}{n^2}; \text{ H এর বেলায় } Z = 1 \text{ এবং } E_n = \frac{-2\pi^2 m e^4}{n^2 h^2}$$

আবার যখন H পরমাণুর উদ্দীপিত ইলেকট্রনটি উচ্চতর  $n_2$  কক্ষপথ থেকে নিম্নতর  $n_1$  কক্ষপথে লাফিয়ে স্থানান্তরিত হয়, তখন বিকিরিত আলোক রশ্মির ফ্রিকুয়েন্সি বা কম্পাঙ্ক  $\nu$  এর বেলায় বোরের বর্ণালি সৃষ্টির ধারণা ও উপরোক্ত সমীকরণ মতে,

$$h\nu = (E_{n_2} - E_{n_1}) = \left( \frac{-2\pi^2 m e^4}{n_2^2 h^2} \right) - \left( \frac{-2\pi^2 m e^4}{n_1^2 h^2} \right) = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^2} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$\text{বা, } \nu = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right); \text{ বা, } \frac{c}{\lambda} = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^3} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \text{ [যেহেতু } \nu = \frac{c}{\lambda} \text{ ]}$$

$$\text{বা, } \frac{1}{\lambda} = \frac{2\pi^2 m e^4}{ch^3} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \text{ [ } \lambda = \text{বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য, } c = \text{আলোর বেগ]}$$

$$\text{বা, } \bar{\nu} = \frac{2\pi^2 m e^4}{ch^3} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \text{ [যেহেতু } \frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = \text{তরঙ্গ সংখ্যা]}$$

$$\text{বা, } \bar{\nu} = R_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \dots (1)$$

$$\text{এক্ষেত্রে } R_H = \frac{2\pi^2 m e^4}{ch^3} = \text{রিডবার্গ ধ্রুবক} \dots (2)$$



এক্ষেত্রে (1) নং সমীকরণটি হলো মূলত H পরমাণুর রেখা বর্ণালির তরঙ্গ-সংখ্যা সম্পর্কিত রিডবার্গের সমীকরণ।

এবং (2) নং সমীকরণটি রিডবার্গ ধ্রুবক সম্পর্কিত। এ সমীকরণে ধ্রুবক,  $\pi$ ; ইলেকট্রনের ভর,  $m$ ; চার্জ,  $e$ ; আলোর বেগ,  $c$ ; এবং ধ্রুবক  $h$  এর মান বসিয়ে CGS পদ্ধতিতে  $R_H$  এর মান হয় :

$$R_H = \frac{2\pi^2 m e^4}{ch^3} = \frac{2 \times (3.143)^2 \times (9.109 \times 10^{-28} \text{g}) \times (4.803 \times 10^{-10} \text{esu})^4}{(3.0 \times 10^{10} \text{cm.s}^{-1}) \times (6.626 \times 10^{-27} \text{erg.s})^3} = 109739.8 \text{ cm}^{-1}$$

Spectroscopy পরীক্ষাভিত্তিক নির্ণীত  $R_H$  এর মান হলো  $109678 \text{ cm}^{-1}$

বা,  $1.09678 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ ; (বা,  $1.096776 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ )।

\* যেহেতু বোর তত্ত্বের শক্তিস্তরভিত্তিক সমীকরণ থেকে নির্ণীত রিডবার্গ ধ্রুবক ( $R_H$ ) এর মান spectroscopy পরীক্ষাভিত্তিক মানের খুবই কাছাকাছি (প্রায় 0.05% পার্থক্যসহ); তাই বোরের তত্ত্ব বা বোর থিওরি বাস্তবসম্মত প্রমাণিত হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩৭ : H পরমাণুর ইলেকট্রনটি বোর অরবিটাল  $n = 3$  থেকে লাফিয়ে  $n = 1$  অরবিটালে ফিরে আসল। তখন উৎপন্ন রেখা বর্ণালির ফ্রিকুয়েন্সি বা, কম্পাঙ্ক বা, স্পন্দন সংখ্যা কত হবে তা গণনা কর। [রিডবার্গ ধ্রুবক,  $R_H = 1.09678 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ ]

দক্ষতা : ফ্রিকুয়েন্সি,  $\nu = \frac{c}{\lambda} = c \times \frac{1}{\lambda} = c \times R_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$  সমীকরণ প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : আলোর গতিবেগ,  $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$  এবং  $R_H = 1.09678 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$  ব্যবহৃত হবে।

$$\begin{aligned} \text{ফ্রিকুয়েন্সি, } \nu &= c \times R_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \\ &= 3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} \times 1.09678 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \times \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right) \\ &= 3.0 \times 1.09678 \times 10^{15} (1 - 0.111) \text{ s}^{-1} \\ &= 3.0 \times 1.09678 \times 0.889 \times 10^{15} \text{ s}^{-1} \\ &= 2.9251 \times 10^{15} \text{ s}^{-1} \text{ (বা, Hz)} \end{aligned}$$

উৎপন্ন রেখা বর্ণালির ফ্রিকুয়েন্সি =  $2.9251 \times 10^{15} \text{ Hz}$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩৮ : হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন যখন ৪র্থ শক্তিস্তর ( $n = 4$ ) থেকে দ্বিতীয় শক্তিস্তরে ( $n = 2$ ) স্থানান্তরিত হয়, তখন সৃষ্ট বর্ণালি রেখার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কত হবে এবং বিকিরণের বর্ণ কিরূপ হবে?

সমাধান : বামার সিরিজ মতে পাই,

[অভিন্ন বোর্ড ২০১৮]

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right); \quad \text{প্রশ্নমতে, } n_1 = 2 \text{ এবং } n_2 = 4$$

$$\therefore \frac{1}{\lambda} = 109678 \text{ cm}^{-1} \times \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right) \quad \text{আমরা জানি, রিডবার্গ ধ্রুবক, } R_H = 109678 \text{ cm}^{-1}$$

$$= 109678 \text{ cm}^{-1} \times (0.25 - 0.0625) = 109678 \text{ cm}^{-1} \times 0.1875$$

$$\therefore \lambda = \frac{1}{109678 \text{ cm}^{-1} \times 0.1875} = \frac{1}{20564.625} \text{ cm} = 4.8627 \times 10^{-7} \text{ m} = 486.27 \text{ nm}$$

বিকিরণ রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 450 ~ 500 nm এর মধ্যে হওয়ায় বিকিরণের বর্ণ আসমানী হবে।



সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩৯ : হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালির ব্র্যাকেট সিরিজের তৃতীয় লাইন ( $n_2 = 7$ ) এর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। ( $R_H = 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$ )

সমাধান : রিডবার্গের সমীকরণ মতে,

$$\frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$\therefore \frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1} \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{7^2} \right);$$

$$\frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1} (0.0625 - 0.0204081)$$

$$\therefore \frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1} \times 0.0420919 = 461748.1 \text{ m}^{-1}$$

$$\therefore \lambda = 2.165683 \times 10^{-6} \text{ m} = 2.165683 \times 10^3 \text{ nm}$$

প্রশ্নমতে,

ব্র্যাকেট সিরিজের বেলায়,  $n_1 = 4$ ;  $n_2 = 7$

**MCQ-2.23** : কোনো রশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য  $7000 \text{ \AA}$  হলে এর তরঙ্গ সংখ্যা কত? [সি. বো. ২০১৭]

(ক)  $1.428 \times 10^{-3} \text{ nm}^{-1}$

(খ)  $14.28 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$

(গ)  $1.428 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$

(ঘ)  $14.28 \times 10^{-3} \text{ \AA}$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪০ : হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালির লাইমেন সিরিজে রেখা সৃষ্টিকারী চতুর্থ শক্তিস্তর থেকে আগত ইলেকট্রনের বিকিরিত শক্তির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। ( $R_H = 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$ )

সমাধান : রিডবার্গের সমীকরণ মতে,

$$\frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$= 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1} \left( \frac{1}{(1)^2} - \frac{1}{(4)^2} \right) = 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1} \left( 1 - \frac{1}{16} \right)$$

$$= 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1} \times \frac{15}{16} = 10.284375 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$$

$$\therefore \lambda = \frac{1}{10.284375 \times 10^6} \text{ m} = 9.7235 \times 10^{-8} \text{ m} = 97.235 \text{ nm} \therefore \lambda = 97.235 \text{ nm}$$

প্রশ্নমতে,

লাইমেন সিরিজের বেলায়  $n_1 = 1$

এক্ষেত্রে  $n_2 = 4$

## ২.৬ রেখা বর্ণালির সাহায্যে মৌল শনাক্তকরণ : শিক্ষার্থীর কাজ

### Element detection from Line-Spectrum : Students' Activity

প্রত্যেক মানুষের 'আঙ্গুলের-ছাপ' এর মতোই পরমাণুর রেখা বর্ণালি পৃথক। (i) তাই প্রত্যেক মৌলের বৈশিষ্ট্যপূর্ণ বর্ণালি আছে। (ii) বর্ণালির প্রতিটি রেখার নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্য বা ফ্রিকুয়েন্সি থাকে। তাই রেখা বর্ণালিতে সৃষ্ট বর্ণ ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য দেখে মৌল শনাক্ত করা যায়। যেমন—

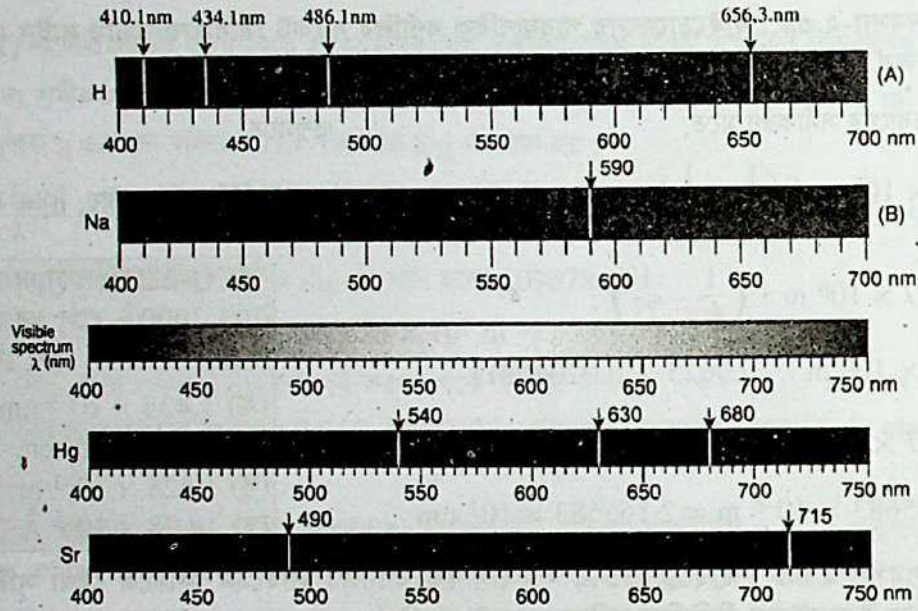
(১) সোডিয়াম পরমাণুর বর্ণালিতে কালো স্থান বা ব্যাণ্ড দ্বারা পৃথককৃত দুটি উজ্জ্বল হলুদ বর্ণের সূক্ষ্ম রেখা থাকে। দুটি রেখার মধ্যে প্রথম রেখার ( $D_1$ ) তরঙ্গদৈর্ঘ্য,  $\lambda = 589.6 \text{ nm}$  এবং দ্বিতীয় রেখার ( $D_2$ ) তরঙ্গদৈর্ঘ্য,  $\lambda = 590 \text{ nm}$ ।

(২) হাইড্রোজেন পরমাণুর ৪টি রেখা বর্ণালি দৃশ্যমান আলোর পরিসরে দেখা যায়; (i) নীলবর্ণের  $\lambda = 410.1 \text{ nm}$  ও  $434.1 \text{ nm}$ , (ii)  $486.1 \text{ nm}$  (আসমানি) এবং (iii) লালবর্ণের  $\lambda = 656.3 \text{ nm}$ ।

(৩) তদ্রূপ, মারকারির অনেকগুলো রেখা বর্ণালির মধ্যে সবুজ বর্ণের  $\lambda = 540 \text{ nm}$ , কমলা বর্ণের  $\lambda = 630 \text{ nm}$  এবং লাল বর্ণের  $\lambda = 680 \text{ nm}$  দৈর্ঘ্যের রেখাগুলো সুস্পষ্ট হয়।

(৪) স্ট্রনসিয়াম (Sr) এর অনেকগুলো রেখা বর্ণালির মধ্যে আসমানি বর্ণের  $\lambda = 468 \text{ nm}$ ,  $465 \text{ nm}$ ,  $476 \text{ nm}$ ,  $490 \text{ nm}$  এর চারটি রেখা এবং লাল বর্ণের  $\lambda = 669 \text{ nm}$ ,  $678 \text{ nm}$ ,  $715 \text{ nm}$  এর তিনটি রেখা দেখা যায়।





চিত্র-২.১৮ : Na, H, Hg ও Sr এর রেখা বর্ণালি।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.১০ : রেখা বর্ণালিভিত্তিক :

সমস্যা-২.৩২ : নিম্নোক্ত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রেখা বর্ণালি থেকে মৌলসমূহ শনাক্ত করে লেখ।

(ক)  $\lambda = 590$  (nm) ..... , (খ)  $\lambda = 656.3$  nm .....

(গ)  $\lambda = 410.1$  (nm) ..... , (ঘ)  $\lambda = 550.3$  nm .....

প্রশ্ন-২.১০ : চিত্র-২.১৮ এ মৌলের রেখা বর্ণালি দেয়া আছে। Na পরমাণু ও H পরমাণুর রেখা বর্ণালির মধ্যে পার্থক্য সূচক বৈশিষ্ট্যগুলো লিখে তোমার শিক্ষককে দেখাও।

## ২.৭ বোর পরমাণু মডেল থেকে হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালির ব্যাখ্যা

### Explanation of H-spectrum from Bohr's Atom Model

বোর মডেল থেকে H-এর পারমাণবিক বর্ণালি সৃষ্টির ব্যাখ্যা করা যায়। H পরমাণুতে একটিমাত্র ইলেকট্রন থাকা সত্ত্বেও এর পারমাণবিক বর্ণালিতে অনেক রেখা সৃষ্টি হয়। এর কারণ হলো উচ্চ বিদ্যুৎ শক্তির প্রভাবে হাইড্রোজেন অণু ( $H_2$ ) প্রথমে পরমাণুতে (H) পরিণত হয়। পরে হাইড্রোজেনের অসংখ্য পরমাণুর ইলেকট্রনগুলো উৎস থেকে বিভিন্ন পরিমাণে শক্তি শোষণ করে বিভিন্ন উচ্চ শক্তিস্তরে উন্নীত হয়। নিউক্লিয়াস হতে অসীম দূরত্বে থাকা অধিক শক্তিসম্পন্ন এই স্তরগুলোকে উত্তেজিত স্তর (Excited state) বলা হয়। উচ্চ শক্তিস্তরে ইলেকট্রনগুলো স্থিতিশীল থাকে না। শক্তির উৎস সরিয়ে নিলে ঐ ইলেকট্রনগুলো বিভিন্ন উচ্চ শক্তিস্তর থেকে আলো শক্তি বিকিরণ করে লাফিয়ে একই নিম্ন শক্তিস্তরে ফিরে আসতে পারে। নিম্ন শক্তিস্তর স্বল্পশক্তি সম্পন্ন ও স্থায়ী, একে সর্বনিম্ন শক্তি অবস্থা (ground state) বলে।

ফলে সৃষ্ট রেখা বর্ণালির পাশাপাশি রেখাগুলো বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের হয়। বিভিন্ন বিজ্ঞানী H-এর রেখা বর্ণালির চিত্র আবিষ্কার করেন, তাঁদের নামানুসারে H-এর রেখা বর্ণালির বিভিন্ন নাম আছে, যেমন (i) বিভিন্ন উচ্চ শক্তিস্তরে থাকা উদ্দীপিত ইলেকট্রন শক্তি বিকিরণ করে ১ম শক্তিস্তরে ফিরে আসলে তখন H-বর্ণালিতে যে রেখাসমূহ পাওয়া যায়, তাদেরকে লাইমেন সিরিজ বলে। তদনুরূপ উচ্চ শক্তিস্তর থেকে ইলেকট্রনসমূহ ২য়, ৩য়, ৪র্থ, ৫ম ও ৬ষ্ঠ শক্তিস্তরে ফিরে আসার ফলে সৃষ্ট বর্ণালিকে যথাক্রমে, (ii) বামার সিরিজ, (iii) প্যাচেন সিরিজ, (iv) ব্র্যাকট সিরিজ, (v) ফুন্ড সিরিজ (vi) হামফ্রিস সিরিজ বলা হয়। [চিত্র-২.১৯]

হাইড্রোজেনের বর্ণালির বিভিন্ন রেখার তরঙ্গ সংখ্যা ( $\bar{\nu}$ ) নিম্নোক্ত বামার রিডবার্গ সমীকরণ হতে পাওয়া যায়।

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = R_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) m^{-1} \text{ এখানে, } R_H = 1.09678 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1} [R_H \text{ হলো রিডবার্গ ধ্রুবক}]$$



চিত্র-২.১৯ এ বিভিন্ন স্তর হতে ইলেকট্রনের স্থানান্তরের ফলে উদ্ভূত রেখা বর্ণালিগুলো দেখানো হলো।

হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনগুলো বিভিন্ন উচ্চশক্তিস্তর ২য়, ৩য়, ৪র্থ, ৫ম, ৬ষ্ঠ, ৭ম স্তর অর্থাৎ  $n_2 = 2, 3, 4, 5, 6, 7$  হতে নিম্ন শক্তিস্তর  $n_1 = 1$  এ ফিরে আসলে অতি বেগুনি রশ্মি অঞ্চলে লাইমেন সিরিজ এবং ৩য়, ৪র্থ, ৫ম, ৬ষ্ঠ, ৭ম শক্তিস্তর অর্থাৎ  $n_2 = 3, 4, 5, 6, 7$  ইত্যাদি হতে ২য় শক্তিস্তর  $n_1 = 2$ -এ ইলেকট্রনের স্থানান্তরের ফলে দৃশ্যমান অঞ্চলে বামার সিরিজ (Balmer series) উৎপন্ন হয়। একইভাবে ৫ম, ৬ষ্ঠ, ৭ম শক্তিস্তর,  $n_2 = 5, 6, 7 \dots$  হতে ৩য় শক্তিস্তর  $n_1 = 3$ -এ স্থানান্তরের ফলে অবলোহিত (Infrared) অঞ্চলে প্যাশেন সিরিজ (Paschen Series), ৬ষ্ঠ, ৭ম, ৮ম শক্তিস্তর,  $n_2 = 6, 7, 8, \dots$  হতে ৪র্থ শক্তিস্তর  $n_1 = 4$ -এ স্থানান্তরের জন্য এবং ৭ম, ৮ম  $\dots$  শক্তিস্তর  $n_2 = 7, 8 \dots$  হতে ৫ম শক্তিস্তর  $n_1 = 5$  এ ইলেকট্রন ফিরে আসলে দূর অবলোহিত অঞ্চলে (Far Infrared) যথাক্রমে ব্রাকেট সিরিজ (Brackett Series), ফন্ড সিরিজ (fund Series) ও হামফ্রিস সিরিজ\* পরিদৃষ্ট হয়। বিভিন্ন সিরিজে  $n_1$  ও  $n_2$  এর মান নিম্নরূপ :

লাইমেন সিরিজে (Lyman series এ)	$n_1 = 1;$	$n_2 = 2, 3, 4, 5 \dots \alpha$	[অতিবেগুনি অঞ্চল]
বামার সিরিজে (Balmer series এ)	$n_1 = 2;$	$n_2 = 3, 4, 5, 6 \dots \alpha$	[দৃশ্যমান অঞ্চল]
প্যাশেন সিরিজে (Paschen series এ)	$n_1 = 3;$	$n_2 = 4, 5, 6, 7 \dots \alpha$	[অবলোহিত অঞ্চল]
ব্রাকেট সিরিজে (Brackett series এ)	$n_1 = 4;$	$n_2 = 5, 6, 7, 8 \dots \alpha$	[অবলোহিত অঞ্চল]
ফন্ড সিরিজে (Pfund series এ)	$n_1 = 5;$	$n_2 = 6, 7, 8, 9 \dots \alpha$	[অবলোহিত অঞ্চল]
*হামফ্রিস সিরিজ (Humphreys series-এ)	$n_1 = 6;$	$n_2 = 7, 8, 9 \dots \alpha$	[অবলোহিত অঞ্চল]

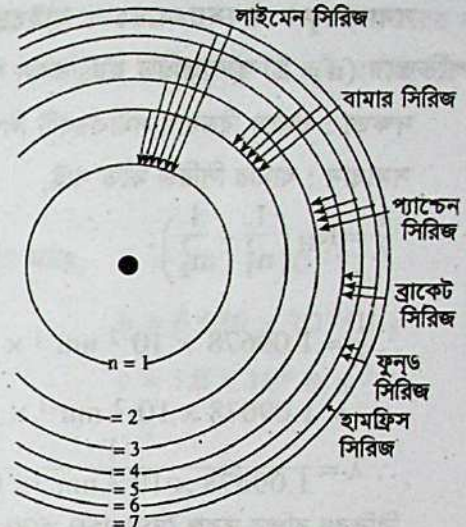
H-পরমাণুর বামার সিরিজে বিভিন্ন রেখা বর্ণালির তরঙ্গদৈর্ঘ্য, তরঙ্গ সংখ্যা ও বর্ণ দেখানো হলো :

ইলেকট্রনের ধাপান্তর $n_2$ হতে $n_1$ অরবিটে	তরঙ্গ সংখ্যা $\bar{\nu}$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda$ (nm)	সৃষ্ট রেখার বর্ণ	রেখা বর্ণালির নাম
(1) $(n_2 = 3) \rightarrow (n_1 = 2)$ or, M শেল $\rightarrow$ L শেলে	$\bar{\nu} = R_H \left[ \frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right] = \frac{5R_H}{36}$	656.3 nm	লাল (red)	$H_{\alpha}$ ১ম সারি
(2) $(n_2 = 4) \rightarrow (n_1 = 2)$ or, N শেল $\rightarrow$ L শেলে	$\bar{\nu} = R_H \left[ \frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right] = \frac{3R_H}{16}$	486.1 nm	নীলাভ সবুজ (bluish green)	$H_{\beta}$ ২য় সারি
(3) $(n_2 = 5) \rightarrow (n_1 = 2)$ or, O শেল $\rightarrow$ L শেলে	$\bar{\nu} = R_H \left[ \frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2} \right] = \frac{21R_H}{100}$	434.1 nm	নীল (blue)	$H_{\gamma}$ ৩য় সারি
(4) $(n_2 = 6) \rightarrow (n_1 = 2)$ or, P শেল $\rightarrow$ L শেলে	$\bar{\nu} = R_H \left[ \frac{1}{2^2} - \frac{1}{6^2} \right] = \frac{8R_H}{36}$	410.1 nm	বেগুনি (violet)	$H_{\delta}$ ৪র্থ সারি

দ্রষ্টব্য : (১) তরঙ্গদৈর্ঘ্য ( $\lambda$ ) দীর্ঘতম হলে,  $n_2$  এর মান ক্ষুদ্রতম হবে।

(২) তরঙ্গদৈর্ঘ্য ( $\lambda$ ) ক্ষুদ্রতম হলে,  $n_2$  এর মান সবচেয়ে বড় হবে। তখন  $\frac{1}{n_2} = 0$  হবে।

\* হামফ্রিস সিরিজের তথ্য ইন্ডিয়ান লেখক ভট্টাচার্য, কুণ্ড ও মাইতি এর বইয়ে উল্লেখ আছে।



চিত্র-২.১৯ : হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালি রেখাগুলোর বিভিন্ন শক্তিস্তর থেকে উৎপত্তি।



সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪১ : হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন যখন ৪র্থ শক্তিস্তর ( $n = 4$ ) থেকে দ্বিতীয় শক্তিস্তরে ( $n = 2$ ) স্থানান্তরিত হয়, তখন সৃষ্ট বর্ণালি রেখার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কত হবে এবং বিকিরণের বর্ণ কিরূপ হবে?

দক্ষতা : প্রথমে রিডবার্গ সমীকরণটি লিখতে হবে।

সমাধান : বামার সিরিজ মতে পাই,

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right); \quad \text{প্রশ্নমতে, } n_1 = 2 \text{ এবং } n_2 = 4$$

আমরা জানি, রিডবার্গ ধ্রুবক,  $R_H = 1.09678 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1}$

$$\therefore \frac{1}{\lambda} = 1.09678 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1} \times \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right)$$

$$= 1.09678 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1} \times (0.25 - 0.0625) = 1.09678 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1} \times 0.1875$$

$$\therefore \lambda = \frac{1}{1.09678 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1} \times 0.1875} = \frac{1 \times 10^2 \text{ nm}}{0.20564625} = 486.27 \text{ nm}$$

বিকিরণ রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 450–500 nm এর মধ্যে হওয়ায় বিকিরণের বর্ণ আসমানী হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪২। হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালির ব্র্যাকেট সিরিজের তৃতীয় লাইন ( $n_2 = 7$ ) এর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। ( $R_H = 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$ )

দক্ষতা : রিডবার্গ সমীকরণে ব্র্যাকেট সিরিজের সম্পর্ক জানতে হবে।

সমাধান : রিডবার্গের সমীকরণ মতে, প্রশ্নমতে,

$$\frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad \text{ব্র্যাকেট সিরিজের বেলায়,}$$

$$n_1 = 4; n_2 = 7$$

$$\therefore \frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1} \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{7^2} \right) : \frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1} (0.0625 - 0.0204081)$$

$$\therefore \frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1} \times 0.0420919 = 461748.1 \text{ m}^{-1}$$

$$\therefore \lambda = 2.165683 \times 10^{-6} \text{ m} = 2.165683 \times 10^3 \text{ nm} \text{ (উত্তর)।}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪৩ : H পরমাণুর লাইমেন সিরিজে ষষ্ঠ শক্তিস্তর থেকে ১ম শক্তিস্তরে ইলেকট্রনের আগমনকালে বিকিরিত ফোটন শক্তি হলো  $2.118 \times 10^{-18} \text{ J}$ । এ বিকিরিত শক্তির সাথে সংশ্লিষ্ট বর্ণালি রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য গণনা কর। [ $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ]

দক্ষতা : প্লাঙ্কের সমীকরণ,  $E_{\text{photon}} = h\nu$  এবং  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  প্রয়োগ হবে।

$$\text{সমাধান : } E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

প্রশ্নমতে,

$$\therefore E = \frac{hc}{\lambda}; \therefore \lambda = \frac{hc}{E}$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$c = 2.9979 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$E = 2.118 \times 10^{-18} \text{ J}$$

$$\therefore \lambda = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s} \times 2.9979 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{2.118 \times 10^{-18} \text{ J}}$$

$$= 9.379 \times 10^{-8} \text{ m} = 93.79 \text{ nm.}$$

**MCQ-2.24 :** H-পরমাণুর বর্ণালির কোন সিরিজটি দৃশ্যমান আলোর পরিসরে হয়? [দি. বো. ২০১৬]

(ক) পাশ্চেন (খ) লাইমেন  
(গ) বামার (ঘ) ব্র্যাকেট



সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪৪ : H-পরমাণুর উত্তেজিত ইলেকট্রনটি উচ্চ শক্তিস্তরে থেকে ১ম শক্তিস্তরে স্থানান্তরের সময় বিকিরিত রশ্মির ফোটনের শক্তি  $2.12 \times 10^{-18} \text{ J}$  হলে বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত? এক্ষেত্রে সৃষ্ট বর্ণালি রেখাটি H-বর্ণালির কোন্ সারিতে হবে? [ $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ]

দক্ষতা :  $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$  সমীকরণ প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : তরঙ্গদৈর্ঘ্য,  $\lambda = \frac{hc}{E}$  ;

দেয়া আছে,  $E = 2.12 \times 10^{-18} \text{ J}$

$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

$c = 3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

$\therefore \lambda = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ J.s} \times 3.0 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}}{2.12 \times 10^{-18} \text{ J}}$

বা,  $\lambda = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8 \text{ m}}{2.12 \times 10^{-18}}$

বা,  $\lambda = 9.3764 \times 10^{-8} \text{ m} = 93.764 \text{ nm}$

বর্ণালির সারি চিহ্নিতকরণ : যেহেতু উত্তেজিত ইলেকট্রনটি ১ম শক্তিস্তরে স্থানান্তরিত হয়েছে, তাই বর্ণালি রেখাটি লাইমেন বর্ণালি সারির অন্তর্ভুক্ত হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪৫ : হাইড্রোজেন পরমাণুর উত্তেজিত ইলেকট্রন ২য় কক্ষপথ থেকে ১ম কক্ষপথে স্থানান্তরিত হলো। এক্ষেত্রে বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গ-সংখ্যা, তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ও কম্পাঙ্ক বা ফ্রিকুয়েন্সি গণনা কর।

[ $R_H = 1.09678 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1}$ ;  $c = 3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ ]

দক্ষতা : রিডবার্গ সমীকরণ ব্যবহৃত হবে। এক্ষেত্রে আলোর বেগ (c) এর একক মিটার এককে হওয়ায়  $R_H$  এর একক ও মিটার এককে হবে।

সমাধান : তরঙ্গসংখ্যা,  $\bar{\nu} = R_H \left[ \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right]$  ;

দেয়া আছে,  $n_1 = 1, n_2 = 2$

ধ্রুবক,  $R_H = 1.09678 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1}$   
 $= 1.09678 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$

বা,  $\bar{\nu} = 1.09678 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \left[ \frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right]$

আলোর বেগ,  $c = 3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

বা,  $\bar{\nu} = 1.09678 \times 10^7 \times (1 - 0.25) \text{ m}^{-1}$

তরঙ্গ সংখ্যা,  $\bar{\nu} = ?$

বা,  $\bar{\nu} = 1.09678 \times 0.75 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$

তরঙ্গদৈর্ঘ্য,  $\lambda = ?$

বা,  $\bar{\nu} = 8.22585 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$

কম্পাঙ্ক,  $\nu = ?$

আবার, তরঙ্গদৈর্ঘ্য,  $\lambda = \frac{1}{\bar{\nu}} = \frac{1}{8.22585 \times 10^6 \text{ m}^{-1}}$

$= 1.21568 \times 10^{-7} \text{ m}$

কম্পাঙ্ক বা ফ্রিকুয়েন্সি,  $\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{1.21568 \times 10^{-7} \text{ m}}$

বা,  $\nu = \frac{3.0 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}}{1.21568} = 2.4677 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$

MCQ-2.25 :  $\bar{\nu} = R_H \left[ \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right]$

এ সমীকরণ মতে লাইমেন সিরিজের জন্য

$n_1 = ?$

[চ. বো. ২০১৬]

(ক) 1 (খ) 2 (গ) 3 (ঘ) 4



শিক্ষার্থীর কাজ-২.১১ : তরঙ্গদৈর্ঘ্য, কম্পাঙ্ক, তরঙ্গ সংখ্যাভিত্তিক :

$$(i) c = v \times \lambda; (ii) E = h \times v; E_n = (-2.18 \times 10^{-18} \text{ J}) \times \frac{Z^2}{n^2}$$

$$(iii) \bar{\nu} = \frac{1}{\lambda}; (iv) \bar{\nu} = R_H \times Z^2 \times \left[ \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right]$$

সমস্যা-২.৩৩ : অবলোহিত অঞ্চলে সৃষ্ট H-পরমাণুর রেখা বর্ণালির দীর্ঘতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য ন্যানোমিটারে কত হবে, যখন  $n_1 = 3$  হয়? [উ: 1876 nm]

সমস্যা-২.৩৪ : অবলোহিত অঞ্চলে সৃষ্ট H-পরমাণুর রেখা বর্ণালির হ্রস্বতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য ন্যানোমিটারে কত হবে, যখন  $n_1 = 3$  হয়? [উ: 820.6 nm]

সমস্যা-২.৩৫ : H-পরমাণুর লাইমেন সিরিজে হ্রস্বতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য ন্যানোমিটারে কত হবে? কিলোজুল/মোলে ফোটনের শক্তি তখন কত হবে? [উ: 91.175 nm; 1312.85 kJ/mol]

সমস্যা-২.৩৫ (ক) : H-পরমাণুর উত্তেজিত ইলেকট্রনটি ৩য় কক্ষপথ থেকে ১ম কক্ষপথে স্থানান্তরিত হলে যে রশ্মি বিকিরিত হয়, তার তরঙ্গদৈর্ঘ্য, কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গ সংখ্যা বের কর। [মাদ্রাসা বো. ২০১৭]

$$[উ: \lambda = 102.56 \text{ nm}; \text{কম্পাঙ্ক} = 2.925 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}; \text{তরঙ্গসংখ্যা} = 9.75037 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}]$$

সমস্যা-২.৩৫ (খ) : H-পরমাণুর উত্তেজিত ইলেকট্রনটি N-শেলে থেকে L-শেলে স্থানান্তরিত হলে বিকিরিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য, সৃষ্ট রেখা বর্ণালির বর্ণ ও বর্ণালির সিরিজ নির্ণয় কর।

$$[উ: \lambda = 486.272 \text{ nm}, \text{বর্ণ} = \text{আসমানি, বামার সিরিজভুক্ত}]$$

সমস্যা-২.৩৫ (গ) :  $\text{Li}^{2+}$  আয়নের উত্তেজিত ইলেকট্রনটি N শেলে থেকে K শেলে স্থানান্তরিত হলে বিকিরিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে? বিকিরিত আলোর বর্ণ খালি চোখে দেখা যাবে কীনা ব্যাখ্যা কর।

[উ:  $\lambda = 10.806 \text{ nm}$ ; বিকিরিত আলো রশ্মি অতিবেগুনি (UV) অঞ্চলের (K শেলে = ১ম কক্ষপথ) হওয়ায় অদৃশ্য থাকবে।]

সমস্যা-২.৩৫ (ঘ) :  $\text{He}^+$  আয়নের উত্তেজিত ইলেকট্রনটি ৪র্থ শক্তিস্তর থেকে স্থানান্তরিত হয়ে লাইমেন সিরিজে রেখা বর্ণালি সৃষ্টি করলে বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গ সংখ্যা ও তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বের কর। [ $R_H = 104678 \text{ cm}^{-1}$ ]

$$[উ: \text{তরঙ্গ সংখ্যা} = 4.112925 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}; \lambda = 24.3136 \text{ nm}]$$

সমস্যা-২.৩৫ (ঙ) : H-পরমাণুর ইলেকট্রনটি K শেলে থেকে L শেলে স্থানান্তরকালে শোষিত শক্তি হিসাব করে তার কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। [উ:  $\Delta E = (E_2 - E_1) = 1.635 \times 10^{-18} \text{ J}$ ;  $v = 2.46755 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$ ] [ব. বো. ২০১৭]

## ২.৮ জাল টাকা/পাসপোর্ট শনাক্তকরণে UV-রশ্মির ব্যবহার

### Uses of UV rays to detect Fake Currency Notes/Passport

Ultra-Violet বা UV-রশ্মি হলো দৃশ্যমান আলো ও রঞ্জন রশ্মির-এ দুয়ের মাঝখানের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট তড়িৎ-চুম্বকীয় রশ্মি। তোমরা সংবাদপত্র ও টেলিভিশনের বিভিন্ন সময়ের সংবাদে জেনেছ, ঢাকা ও বিভিন্ন শহরে জাল টাকা ও জাল গলা কাটা পাসপোর্ট তৈরির দুষ্ট চক্র গোপন সূত্রে পুলিশের হাতে ধরা পড়ে আদালতে সোপর্দ হয়েছে। সাধারণ চোখের দৃষ্টিতে এ সব জাল টাকা সহজে শনাক্ত করা সম্ভব হয় না। নিচের ২.২০(ক) নং চিত্রে আসল ১০০০ টাকার নোট ও একটি নকল বা জাল ১০০০ টাকার কারেন্সি নোট দেখানো আছে। এ দুটি কারেন্সি নোট দেখে তোমরা আসল টাকার নোট ও জাল টাকার নোট পার্থক্য করতে পারবে না। কীভাবে পারবে? বাহ্যিকভাবে দুটো নোটই দেখতে একই রকম। তবে আসল কারেন্সি নোটের অভ্যন্তরে গঠনগত একটি পার্থক্য অবশ্যই আছে; যাকে বলা হয় কারেন্সি নোটের নিরাপত্তা ব্যবস্থা বা Security device. জাল পাসপোর্ট ও নকল টাকা শনাক্তকরণে বর্তমানে UV রশ্মি বিশেষভাবে ব্যবহৃত হয়।

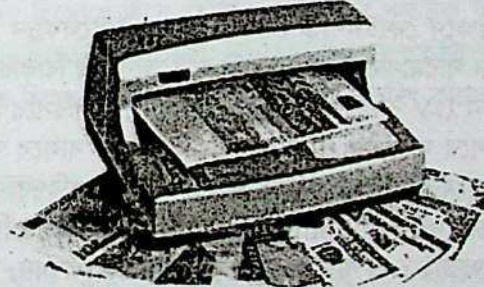
UV রশ্মি দ্বারা জালনোট শনাক্তকরণের মূলনীতি : UV রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য  $\lambda = 10 \text{ nm}$  থেকে  $380 \text{ nm}$  হয়। তবে  $230 \text{ nm} - 375 \text{ nm}$  তরঙ্গদৈর্ঘ্যের UV রশ্মি অপটিকেল সেঙ্গররূপে আসল-নকল কারেন্সি নোট ডিটেক্টর মেসিনে ব্যবহৃত হয়। কারেন্সি নোটে Security device রূপে অপটিকেল সেঙ্গর ফসফোর (phosphor) নামক বিশেষ



রাসায়নিক পদার্থ ব্যবহৃত হয়। UV রশ্মির ক্ষুদ্র তরঙ্গ বা বৃহৎ ফ্রিকুয়েন্সির ফোটন দ্বারা ফসফোর অণুর ইলেকট্রন উত্তেজিত হয়ে উচ্চতর শক্তি স্তরে উত্থিত হয়। পরক্ষণে ফসফোর অণুর উত্তেজিত ইলেকট্রন অস্থিতিশীল উত্তেজিত অবস্থা থেকে সুস্থিত অবস্থায় ফেরার পথে পূর্বের শোষিত শক্তি দৃশ্যমান আলোর নির্দিষ্ট বর্ণের ফ্রিকুয়েন্সিতে বিকিরিত হয়। এ বিকিরণ বর্ণযুক্ত আলো হওয়ায় একে প্রতিপ্রভা বা অনুপ্রভা (fluorescence) বলে। এ নীতির ওপর ভিত্তি করেই জাল টাকা/পাসপোর্ট শনাক্তকরণে UV রশ্মি ব্যবহৃত হয়।

ফসফোর : ফসফোর হলো ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের যেমন 230 nm – 375 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের UV রশ্মি শোষণকারী; কিন্তু দৃশ্যমান আলোর পরিসরে বৃহৎ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অর্থাৎ 380 nm – 780 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মধ্যে ঐ শোষিত শক্তি বিকিরণকারী রাসায়নিক পদার্থ।

রাসায়নিকভাবে ফসফোর তৈরিতে বিভিন্ন জটিল ধাতব অক্সাইড ও ল্যাঙ্কানাইড আয়ন এর মিশ্রণ ব্যবহৃত হয়; যেমন ইটরিয়াম অক্সাইড ও ইউরোপিয়াম আয়ন  $Y_2O_3 : Eu^{3+}$  (লাল বর্ণ বিকিরণ); সেরিয়াম-ম্যাগনেসিয়াম-অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইড ও টারবিয়াম আয়ন,  $CeMgAl_{11}O_{19} : Tb^{3+}$  (সবুজ বর্ণ বিকিরণ);  $BaMgAl_{10}O_{17} : Eu^{2+}$  (নীল বর্ণ বিকিরণ)।



চিত্র-২.২০(ক) : আসল ও নকল কারেন্সি নোট।

চিত্র-২.২০(খ) : আসল কারেন্সি নোট শনাক্তকারী মেশিন।

তাই বিভিন্ন দেশের জাতীয় ব্যাংক কারেন্সি নোট বা কাগজের টাকার ও পাসপোর্টের জাল করা থেকে রক্ষাকবচরূপে ঐ সব ব্যাংক কারেন্সি নোট ও পাসপোর্টের বিশেষ কাগজে 'নিরাপত্তা সূতা' (security thread) ও UV-রশ্মি শনাক্তযোগ্য অদৃশ্য বিশেষ ফসফোর কালি বা UV fluorescent ink ব্যবহৃত হয়। তখন আসল ব্যাংক নোট ও পাসপোর্টের ঐ অদৃশ্য বিশেষ কালিটি UV-রশ্মির সংস্পর্শে নির্দিষ্ট বর্ণের দৃশ্যমান আলো ফুটিয়ে তোলে। জাল পাসপোর্ট ও নকল টাকায় ঐ বিশেষ কালি না থাকায় UV রশ্মির প্রভাবে ঐ নির্দিষ্ট বর্ণের দৃশ্যমান আলো বিকিরণ করবে না। এরূপে আসল ও নকল টাকা, পাসপোর্ট শনাক্তকরণ সম্ভব হয়।

ব্যাংকসমূহে ব্যবহৃত আসল কারেন্সি নোট শনাক্তকারী ফ্লোরোসেন্স স্পেকট্রোমিটার মেশিনটি চিত্র-২.২০(খ) তে দেখানো হয়েছে। বর্তমানে পেন্সিল ব্যাটারিযুক্ত ছোট আকারের পকেট সাইজের UV-ray কলম পাওয়া যায়। তোমরা এ UV-ray কলম সংগ্রহ করে জাল টাকা, জাল পাসপোর্ট ও জাল ক্রেডিট কার্ড ইত্যাদি সহজেই শনাক্ত করতে পারবে।

বাংলাদেশের বিভিন্ন মানের কারেন্সি নোটে ব্যবহৃত ফসফোর সূতায় UV রশ্মি দ্বারা সৃষ্ট প্রতিপ্রভার বর্ণ পরিবর্তন এবং আমেরিকার US-ডলার নোটের নিরাপত্তা ফসফোর সূতায় সৃষ্ট প্রতিপ্রভার বর্ণ পরিবর্তন নিচে দেয়া হলো।

বাংলাদেশের কারেন্সি নোট	UV রশ্মি দ্বারা সৃষ্ট প্রতিপ্রভার বর্ণ
১০০০ টাকার নোট	১। হালকা বেগুনি ও হালকা হলুদ বর্ণের ছড়ানো ছোট আকারের বিভিন্ন রেখা।
৫০০ টাকা ও ১০০ টাকার নোট	২। হালকা লালচে, হালকা বেগুনি ও হালকা হলুদ বর্ণের ছড়ানো ছোট আকারের বিভিন্ন রেখা।

আমেরিকার কারেন্সি নোট	UV রশ্মি দ্বারা সৃষ্ট প্রতিপ্রভার বর্ণ
100 ডলার (\$)	১। কমলা বর্ণ
50 ডলার (\$)	২। হলুদ বর্ণ
20 ডলার (\$)	৩। সবুজ বর্ণ
10 ডলার (\$)	৪। লাল বর্ণ
5 ডলার (\$)	৫। নীল বর্ণ



শিক্ষার্থীর কাজ-২.১২ : UV-রশ্মি ও জালনোট শনাক্তকরণভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.১১(ক) : ফসফোর বলতে কী বোঝ? জাল কারেন্সি নোট শনাক্তকরণে UV-রশ্মি ও ফসফোর-এর ভূমিকা ব্যাখ্যা কর।

প্রশ্ন-২.১১(খ) : প্রতিপ্রভা বা অনুপ্রভা বলতে কী বোঝ?

অধিক জেনে নাও : **Energy saving Fluorescent light bulb** তৈরিতে কীরূপে পারমাণবিক বর্ণালি,

UV রশ্মি ও ফসফোর ব্যবহৃত হয়ে থাকে।

ফ্লোরোসেন্ট লাইট বাল্বে দুটি মূল অংশ থাকে। যেমন— (১) অল্প মারকারি (Hg) বাষ্পসহ আর্গন (Ar) গ্যাস ভর্তি একটি গ্লাস টিউব ও (২) একটি ইলেকট্রনিক ballast—এটি high voltage current সাপ্লাই করে। গ্লাস টিউবের ভেতরের গায়ে ফসফোর পদার্থের আবরণ এবং দুই প্রান্তে দুটি ইলেকট্রোড যুক্ত থাকে। ক্যাথোড প্রান্তে যুক্ত ধাতব ফিলামেন্টে current প্রবাহের ফলে ইলেকট্রন প্রবাহ ঐ গ্যাস মিশ্রণে চলতে থাকে (Cathode-Ray-Tube এর মতো)। উচ্চ গতিশীল ইলেকট্রন মারকারি (Hg) পরমাণুকে আঘাত করলে Hg পরমাণুর ইলেকট্রন উদ্দীপিত হয়ে উচ্চ অরবিটালে স্থানান্তরিত হয়। পরক্ষণে ফোটনশক্তি বিকিরণ করে ঐ ইলেকট্রন Hg পরমাণুর ground state এ ফিরে আসে। তখন বিকিরিত ফোটন শক্তি পারমাণবিক রেখা বর্ণালি সৃষ্টি করে। ঐ বিকিরিত ফোটন শক্তির কিছু পরিমাণ আলোর দৃশ্যমান পরিসরে এবং অধিকাংশ ফোটন UV রশ্মির 254 nm ও 185 nm পরিসরে বিকিরিত হয়। ঐ UV রশ্মি গ্লাসটিউবে থাকা ফসফোর দ্বারা শোষিত এবং পরে দৃশ্যমান পরিসরে বিকিরিত হয়ে বাল্বে আলো সৃষ্টি করে। সাধারণ টাংস্টেন (W) ফিলামেন্ট incandescent বাল্বে মাত্র 5% বিদ্যুৎ শক্তি আলোতে পরিণত হয়। কিন্তু Fluorescent light বাল্বে 20% বিদ্যুৎ শক্তি আলো সৃষ্টি করে। Energy bulb-এ triphosphor মিশ্রণ বিভিন্ন অনুপাতে ব্যবহৃত হয়। Triphosphor মিশ্রণে বিভিন্ন জটিল ধাতব অক্সাইড ও ল্যান্থানাইড আয়ন থাকে। যেমন,  $Y_2O_3 : Eu^{3+}$  (red emitting),  $CeMgAl_{11}O_{19} : Tb^{3+}$  (green) ও  $BaMgAl_{10}O_{17} : Eu^{2+}$  (blue)।

## ২.৯ চিকিৎসাক্ষেত্রে IR-রশ্মির ব্যবহার

### Uses of IR-rays in Medical Treatment

IR রশ্মি [ $\lambda = 780 \text{ nm} - 1.0 \times 10^6 \text{ nm}$ ] : IR-রশ্মিকে মোটামুটিভাবে তিনটি শ্রেণিতে ভাগ করা হয়।

(১) **near-IR** : near-IR রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 780 nm–2500 nm বা,  $0.78 \mu\text{m} - 2.5 \mu\text{m}$  ধরা হয়। এটি দৃশ্যমান আলোর সীমা থেকে শুরু। অদৃশ্য আলোর এ অঞ্চলকে নিকটবর্তী অবলোহিত রশ্মি অঞ্চল বলে। সমগ্র IR-রশ্মির অঞ্চলের মধ্যে এ অঞ্চলের তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষাকৃত ছোট হওয়ায় তাপশক্তি তুলনামূলকভাবে বেশি হয়। চিকিৎসা ক্ষেত্রে near-IR ব্যবহৃত হয়।

(২) **middle-IR** : middle-IR রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 2500 nm–25000 nm বা,  $2.5 \mu\text{m} - 25 \mu\text{m}$  ধরা হয়। অদৃশ্য আলোর এ অঞ্চলকে মধ্যবর্তী অবলোহিত রশ্মি অঞ্চল বলে। এ অঞ্চলের তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষাকৃত বড় হওয়ায় তাপশক্তি near-IR থেকে কম হয়। middle-IR অঞ্চল জৈব যৌগের কার্যকরীমূলক শনাক্তকরণে ব্যবহৃত হয়।

(৩) **far-IR** : far-IR রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 25000 nm– $1.0 \times 10^6 \text{ nm}$  বা,  $25 \mu\text{m} - 1.0 \text{ mm}$  ধরা হয়। এ অঞ্চলকে দূরবর্তী অবলোহিত রশ্মি অঞ্চল বলে। এ অঞ্চলের রশ্মির তাপশক্তি middle-IR থেকে কম হয়।

Far-IR রশ্মি বা FIR এর রয়েছে মায়বিক রোগ-আরোগ্য করার অধিক ক্ষমতা। Far-IR ও near-IR এর মধ্যে পার্থক্য হলো Far-IR তুকে তাপীয় অনুভূতি জাগায়, near-IR তুকে তাপীয় অনুভূতি জাগাতে পারে না বরঞ্চ তুকে বেশি উত্তপ্ত করে। এটিও চিকিৎসা ক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয়।

মানবদেহ ও IR-রশ্মির সম্পর্ক : মানবদেহে স্বাভাবিক বিপাক ক্রিয়া দ্বারা উৎপন্ন তাপের নির্দিষ্ট অংশ দেহ তুকের পৃষ্ঠদেশ থেকে IR-রশ্মি রূপে পরিবেশে বিকিরিত হয়। ঐ IR-রশ্মির বিকিরণ মাত্রা দেহে উৎপন্ন তাপশক্তির সমানুপাতিক। এক্ষেত্রে মানবদেহের বিকিরিত IR-রশ্মির পরিসর হলো  $8 \mu\text{m} - 12 \mu\text{m}$  বা,  $8000 \text{ nm} - 12000 \text{ nm}$ ; যা middle-IR এর মধ্যস্থ দেহ অবলোহিত রশ্মি বা Body-IR রশ্মি নামে পরিচিত।



মেডিকেল IR-imaging বা IR-প্রতিচ্ছবিকে এ দেহ-IR এর পরিসরের Thermal-IR বলে। এটি মানবদেহের বিকিরিত IR-রশ্মি পরিমাপে ব্যবহৃত হয় এবং একে মেডিকেল IR-থার্মোগ্রাফ বলে। IR-থার্মোগ্রাফিক ক্যামেরায় ব্যবহৃত IR-ডিটেক্টর সেন্সর (sensor) দেহের বিকিরিত IR-রশ্মির পরিমাপক অতি সূক্ষ্ম শারীরবৃত্তীয় তাপীয় পরিবর্তনসহ দেহের প্রতিচ্ছবি বা ইমেজ (image) সৃষ্টি করে; একে IR-থার্মোগ্রাফির উৎস বলে।

IR-থার্মোগ্রাফের ব্যবহার : বিভিন্ন রোগে আক্রান্ত বিভিন্ন টিস্যু থেকে বিকিরিত IR-রশ্মির মাত্রা ভিন্ন হওয়ায় রোগীর IR-থার্মোগ্রাফটিও সুস্থদেহের টিস্যুর IR-থার্মোগ্রাফ থেকে ভিন্ন হয়, ফলে মেডিকেল IR-থার্মোগ্রাফ দ্বারা বিভিন্ন রোগ নির্ণয় সম্ভব হয়।

চিকিৎসাক্ষেত্রে near-IR ও far-IR : চিকিৎসাক্ষেত্রে অধিকতর তাপশক্তির ছোট তরঙ্গদৈর্ঘ্যের near-IR রশ্মি এবং কম তাপশক্তির বড় তরঙ্গদৈর্ঘ্যের far-IR রশ্মির প্রয়োগে নিম্নোক্ত রোগ নির্ণয় ও রোগের চিকিৎসা করা হয়।

চিকিৎসাক্ষেত্রে near-IR রশ্মি :

(১) near-IR রশ্মি প্রয়োগ করে মস্তিষ্কের রক্তের হিমোগ্লোবিনে শোষিত অক্সিজেন কতটুকু আছে তা পরিমাপের মাধ্যমে মস্তিষ্কের রোগ নির্ণয় করা হয়। পরে DOT (diffuse optical tomography) পদ্ধতি ব্যবহার করে মাথার খুলির (cortex) কার্যপদ্ধতি নির্ণয় করা যায়। সদ্য প্রসূত শিশুর মস্তিষ্কের ক্ষত নির্ণয়ে সিটি স্ক্যানিং কাজে এটি একটি কার্যকর পদ্ধতি।

চিকিৎসাক্ষেত্রে Far-IR রশ্মি : Far-IR-রশ্মি দেহের ত্বক ভেদ করে 4 cm গভীরে যেতে পারে। দেহে আরামদায়ক উষ্ণতা দেয়। রক্তের শ্বেত-কণিকা ও রোগ প্রতিরোধক শক্তি বৃদ্ধিতে far-IR রশ্মি সহায়তা করে। বিপাক ক্রিয়ার বৃদ্ধির মাধ্যমে দেহকোষ ও টিস্যুর বৃদ্ধি ঘটে। মূলত ব্যথা-বেদনা উপশম ও স্নায়ু গঠন প্রক্রিয়ায় উদ্দীপক হিসেবে Far-IR-রশ্মি ব্যবহৃত হয়।

IR-রশ্মি দ্বারা চিকিৎসা পদ্ধতি নিম্নোক্ত দু কৌশলে করা হয়। যেমন Low emission পদ্ধতি ও High emission পদ্ধতি।

(১) Low emission পদ্ধতিতে far-IR রশ্মি ত্বকের নিচের টিস্যুকে মৃদু উত্তপ্ত করে। তখন ঐ স্থানে রক্ত সঞ্চালন বৃদ্ধি পায়; দেহ কোষ ও মাংসপেশি স্বাভাবিক হয়, জয়েন্টের সচলতা বাড়ে; স্নায়ু-বিন্যাস স্বাভাবিক হয়ে ব্যথা-বেদনার উপশম ঘটে। ঘাড়ের মাংসপেশি শক্ত হওয়া বা frozen Shoulder এর জনপ্রিয় চিকিৎসা পদ্ধতি হলো 'ফিজিওথেরাপি', এতে far-IR রশ্মি প্রয়োগ করে ম্যাসেজ করা হয়।

(২) Laser পদ্ধতি : লেসার পদ্ধতিতে অতি সূক্ষ্ম ও তীব্র IR রশ্মি দেয়া হয়; যা ত্বকের 4 cm গভীরে যেতে পারে। তখন IR-রশ্মি ত্বকের তাপমাত্রা বৃদ্ধির পরিবর্তে আক্রান্ত ও ক্ষতিগ্রস্ত স্থানে নতুন কোষ ও টিস্যুর বৃদ্ধিতে উদ্দীপনা জাগায়। আঘাত প্রাপ্ত ও ক্ষতিগ্রস্ত টিস্যুতে স্নায়ু-জালিকা পুনঃস্থাপনের উদ্দীপকরূপে কাজ করে।

\* বেদনানাশক ওষুধ সংবেদন স্নায়ু বা Sensory nerve এর প্রান্তকে অসাড় করে ফেলে; তাই বেদনা প্রশমনে IR-রশ্মি চিকিৎসা অধিকতর নিরাপদ গণ্য করা হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.১৩ : IR-রশ্মি, UV-রশ্মি ও X-ray ভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.১২ : তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ শক্তির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ক্রম হ্রাসের সাথে মানুষের দেহের ওপর কীরূপ প্রভাব সৃষ্টি করে, তা IR-রশ্মি, UV-রশ্মি ও X-ray এর সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

প্রশ্ন-২.১৩ : চিকিৎসা ক্ষেত্রে near IR-রশ্মি ও far IR রশ্মির ভূমিকা আলোচনা কর।

প্রশ্ন-২.১৪ : দেহ IR-রশ্মি বলতে কী বোঝ? এর উৎস ব্যাখ্যা কর।



## ২.১০ রোগ নির্ণয়ে MRI পরীক্ষার মূলনীতি

### Principle of MRI-Test in Diagnosis of Diseases

**MRI পরীক্ষার কার্যকারিতা :** MRI বা ম্যাগনেটিক রেজোন্যান্স ইমেজিং (magnetic resonance imaging) হলো চিকিৎসা ক্ষেত্রে রোগ নির্ণয়ের একটি অত্যাধুনিক বিশেষ কার্যকর পরীক্ষা পদ্ধতি। এ পদ্ধতিতে MRI মেসিনে শক্তিশালী চৌম্বকক্ষেত্র (magnetic field) ও রেডিও-তরঙ্গদৈর্ঘ্যের শক্তির প্রভাবে ঐ মেসিনে থাকা মানব দেহের অসুস্থ কোষে NMR পরমাণু বা, Nuclear Magnetic Resonance সৃষ্টিকারী পরমাণুযুক্ত পানির ঘনমাত্রার ভিন্নতার ওপর নির্ভর করে পরীক্ষাধীন দেহাংশের অভ্যন্তরের বিভিন্ন তন্ত্র বা অর্গান (organ)-এর ত্রিমাত্রিক (3D) ডিজিটাল ছবি বের হয়ে আসে। এ ত্রিমাত্রিক ছবিকে MRI বলে। MRI মেসিনে ব্যবহৃত রেডিও তরঙ্গসমূহ (ফ্রিকুয়েন্সি,  $\nu \approx 1 \times 10^4$  Hz) উচ্চ ফ্রিকুয়েন্সির A. C. current থেকে সৃষ্টি করা হয়। এসব MRI ডিজিটাল ছবি কম্পিউটারে সংরক্ষণ করা যায়। এক্ষেত্রে রোগাক্রান্ত তন্ত্রের ছবি সুস্থতন্ত্রের ছবি থেকে ভিন্ন হয়। নিচে সুস্থ মস্তিষ্ক ও টিউমার আক্রান্ত মস্তিষ্কের MRI image দেখানো হলো।

**MRI এর ব্যবহার :** মানবদেহের বিভিন্ন তন্ত্রের টিস্যুর অস্বাভাবিক বৃদ্ধিজনিত টিউমার, আঘাতজনিত অভ্যন্তরীণ রক্তকরণ, রক্ত নালিকা সংক্রান্ত রোগ ও জীবাণু সংক্রমণজনিত সমস্যার ক্ষেত্রে MRI ব্যবহৃত হয়। মস্তিষ্কের টিউমার ও কোমল টিস্যু যেমন মেরুমজ্জায় টিউমার শনাক্তকরণে MRI অত্যন্ত কার্যকর।



চিত্র-২.২১ : MRI মেসিন ও মস্তিষ্কের MRI ইমেজ।

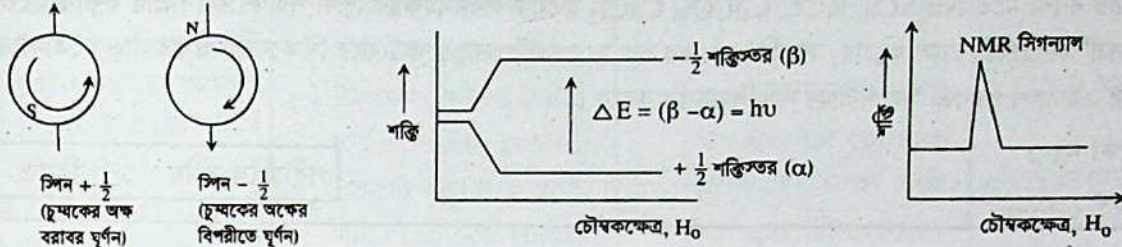
**MCQ-2.26 :** মানব শরীর থেকে কোন্ রশ্মি বিকিরিত হয়?

- (ক) near IR
- (খ) middle IR
- (গ) far IR
- (ঘ) radio wave

**MRI এর মূলনীতি :** NMR পরমাণুর নিউক্লিয়াসের বিজোড় সংখ্যক প্রোটনের বা নিউট্রনের চুম্বকীয় অনুরণন বা ম্যাগনেটিক রেজোন্যান্সের ওপর ভিত্তি করে MRI পদ্ধতি প্রতিষ্ঠিত। বিজোড় সংখ্যক নিউট্রন বা প্রোটনযুক্ত NMR পরমাণুর যেমন  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F}$  এর নিউক্লিয়াসসমূহের দুর্বল ম্যাগনেটিক মোমেন্ট থাকে। আমাদের দেহের প্রায় 70% হলো পানি ( $\text{H}_2\text{O}$ )। পানি অণুর H পরমাণু ( $^1\text{H}$ ) হলো বিজোড় প্রোটনযুক্ত MRI সৃষ্টিকারী NMR পরমাণু। প্রতিটি H পরমাণুর প্রোটনের স্পিনের  $+\frac{1}{2}$  অথবা  $-\frac{1}{2}$  মান থাকে। তাই বহিস্থ চুম্বক ক্ষেত্রের ( $H_0$ ) প্রভাবে H-পরমাণুর নিউক্লিয়াসগুলো দুটি শক্তি স্তরে বিন্যস্ত হয়। এদের একটি স্তর বহিস্থ চৌম্বকক্ষেত্র বরাবর বিন্যস্ত থাকে। সেটি হলো কম শক্তিস্তর যুক্ত parallel-spin এর নিউক্লিয়াস ( $\alpha$  স্তর)। অপরটি বহিস্থ চৌম্বকক্ষেত্রের বিপরীতে উচ্চ শক্তিস্তর যুক্ত anti parallel spin-এর নিউক্লিয়াস ( $\beta$ -স্তর) রূপে থাকে। ধরা যাক, উভয় শক্তিস্তরের পার্থক্য  $\Delta E = (\beta - \alpha) = h\nu$ । এখন MRI পরীক্ষার নমুনা মানুষটির মস্তিষ্কের মধ্য দিয়ে ঐ উপযুক্ত শক্তির ( $\Delta E = h\nu$ ) তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ (যা রেডিও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিকিরণ  $r_f$  এর মধ্যে থাকে তা) প্রবাহিত করলে, তখন নিম্ন শক্তি স্তরে থাকা H পরমাণুর নিউক্লিয়াসসমূহ শক্তি শোষণ করে উচ্চ শক্তিস্তরে ( $\beta$ -স্তরে) অ্যান্টি প্যারারেল স্পিনযুক্ত অবস্থা লাভ করে। ঐ রেডিও তরঙ্গ প্রবাহ বন্ধ করার সাথে ঐ শোষিত শক্তি বিকিরণ করে ঐ প্রোটনসমূহ পুনরায় নিম্নশক্তির প্যারারেল স্পিনযুক্ত হয়। এরূপে প্রোটনসমূহ  $r_f$  থেকে শক্তি শোষণ এবং পরক্ষণে  $r_f$  বন্ধ হলে শক্তি বিকিরণ করে থাকে। তখন প্রোটনসমূহ দোদুল্যমান (oscillate) থাকা অবস্থায় অনুরণন বা রেজোন্যান্স (resonance) এর একটি সিগন্যাল সৃষ্টি করে। অসুস্থ কোষ থেকে একাধিক ভিন্ন সিগন্যাল কম্পিউটারে পাওয়া যায়।



ব্যবহৃত চৌম্বকক্ষেত্র,  $H_0 = 0.5$  থেকে  $3.0$  টেসলা ( $\text{Tesla, NA}^{-1}\text{m}^{-1}$ , নিউটন প্রতি অ্যাম্পিয়ার প্রতি মিটার) হয়ে থাকে।



চিত্র-২.২২ : নিউক্লিয়ার ম্যাগনেটিক রেজোন্যান্স NMR সিগন্যাল থেকে MRI সৃষ্টি।

**MRI ছবির মানের নির্ভরতা :** MRI-পরমাণু দ্বারা  $r_f$  ( $\nu = 1 \times 10^4 \text{ Hz}$ ) শক্তি শোষণ এবং  $r_f$  বন্ধের পর ঐ শক্তি বিকিরণের এ মধ্যবর্তী সময়কে অনুরণন সৃষ্টিকারী প্রোটনের স্বস্তিকাল,  $T_r$  (relaxation time) বলা হয়। MR-Image এর মান নির্ভর করে- (i) রেজোন্যান্স সৃষ্টিকারী নিউক্লিয়াসের স্বস্তিকাল ( $T_r$ ) এবং (ii) রেজোন্যান্স সৃষ্টিকারী নিউক্লিয়াসের ঘনমাত্রার ওপর। যেহেতু ক্ষতিগ্রস্ত বা রোগাক্রান্ত টিস্যুতে পানির পরিমাণ বেড়ে যায়; তখন পার্শ্ববর্তী সুস্থ টিস্যুর চেয়ে ঐ অসুস্থ অংশে রেডিও ফ্রিকুয়েন্সি শোষণ তীব্রতাও বেশি ঘটে। এরূপ মস্তিষ্ক কোষের অসংখ্য  $\text{H}_2\text{O}$  অণুর নিউক্লিয়াস থেকে যে NMR সিগন্যাল পাওয়া যায়; এদেরকে কম্পিউটারে প্রসেস করলে মানুষের মস্তিষ্কের MRI বা ম্যাগনেটিক রেজোন্যান্স ইমেজ পাওয়া যায়। প্রাপ্ত ইমেজকে স্বাভাবিক ইমেজের সাথে তুলনা করে কোষের ধ্বংস বা পরিবর্তন থেকে রোগ শনাক্ত করা হয়। এ MRI পদ্ধতি উদ্ভাবনের জন্য 2003 সালে Paul C. Lauterbur ও Peter Mansfield চিকিৎসা বিজ্ঞানে নোবেল পুরস্কার পান।

**সতর্কতা :** MRI মেশিনে শক্তিশালী চুম্বক থাকে; তাই Heart pacemaker বা কৃত্রিম হৃদস্পন্দন যন্ত্র ব্যবহারকারী রোগীর ক্ষেত্রে MRI করা যাবে না। এছাড়া শ্রবণ সাহায্যকারী ধাতব যন্ত্র ও যেকোনো ধাতব পদার্থ খুলে MRI করতে হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.১৪ : MRI ভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.১৫ : MRI বলতে কী বোঝায়? MRI কীভাবে তৈরি হয়?

প্রশ্ন-২.১৬ : MRI ছবির ব্যবহার আলোচনা কর।

প্রশ্ন-২.১৭ : MRI এর মূলনীতি সংক্ষেপে লেখ।

(ক) MRI এর বেলায়  $r_f$  এর ফ্রিকুয়েন্সির মান কত?

(খ) MRI এর বেলায় স্বস্তিকাল ( $T_r$ ) বলতে কী বোঝায়?

২.১১ শিখা পরীক্ষা দ্বারা ধাতব আয়ন শনাক্তকরণ  
Metal Ion Detection by Flame Test

অনুচ্ছেদ-২.৬ এ তোমরা রেখা বর্ণালি দেখে মৌল শনাক্তকরণ সম্বন্ধে জেনেছ। এখন আমরা দেখব, কিছু কিছু ধাতব যৌগ বুনসেন বার্নারের অনুজ্জ্বল শিখায় বৈশিষ্ট্যপূর্ণ বর্ণ সৃষ্টি করে; যা দেখে ঐ ধাতব আয়ন শনাক্ত করা যায়। বিশেষত ধাতব লবণসমূহের মধ্যে ধাতব ক্রোমাইড অধিক উদারী।

**NMR পরমাণুর বৈশিষ্ট্য হলো :**

- বিজোড় সংখ্যক প্রোটন বা নিউট্রন যুক্ত নিউক্লিয়াস থাকে।
- NMR পরমাণুর নিউক্লিয়াসে দুর্বল ম্যাগনেটিক মোমেন্ট থাকে।
- প্রবল চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে থাকা NMR পরমাণু যুক্ত যৌগ থেকে রেডিও ফ্রিকুয়েন্সির প্রভাবে অনুরণন সিগন্যাল কম্পিউটারে সৃষ্টি হয়।





প্রতিদিনের চাকুরীর মার্কুলার পেতে [এখানে ক্লিক করুন](#)

প্রতি মাসের কারেন্ট অ্যাফেয়ার্স পিডিএফ [এখানে ক্লিক করুন](#)

চাকুরীর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

বিসিএম এর প্রয়োজনীয় পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

প্রতি সপ্তাহের চাকুরী পত্রিকা ডাউনলোড [এখানে ক্লিক করুন](#)

সকল নিয়োগ পরীক্ষার প্রশ্ন সমাধান [এখানে ক্লিক করুন](#)

**বিডিনিয়োগ.কম দেশের মেরা পিডিএফ কালেকশন**

SSC এর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

HSC এর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

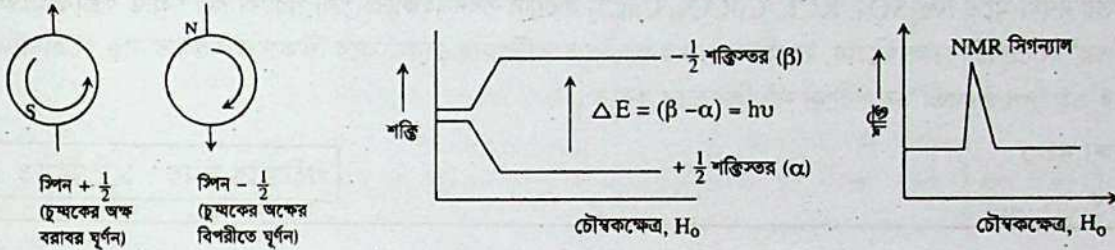
বিশ্ববিদ্যালয় ভর্তির সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

সকল ধরনের **মাজেশন** ডাউনলোড [এখানে ক্লিক করুন](#)





ব্যবহৃত চৌম্বকক্ষেত্র,  $H_0 = 0.5$  থেকে  $3.0$  টেসলা (Tesla,  $NA^{-1}m^{-1}$ , নিউটন প্রতি অ্যাম্পিয়ার প্রতি মিটার) হয়ে থাকে।]



চিত্র-২.২২ : নিউক্লিয়ার ম্যাগনেটিক রেজোন্যান্স NMR সিগন্যাল থেকে MRI সৃষ্টি।

**MRI ছবির মানের নির্ভরতা :** MRI-পরমাণু দ্বারা  $r_f$  ( $\nu = 1 \times 10^4$  Hz) শক্তি শোষণ এবং  $r_f$  বন্ধের পর ঐ শক্তি বিকিরণের এ মধ্যবর্তী সময়কে অনুরণন সৃষ্টিকারী প্রোটনের স্বস্তিকাল,  $T_r$  (relaxation time) বলা হয়। MR-Image এর মান নির্ভর করে- (i) রেজোন্যান্স সৃষ্টিকারী নিউক্লিয়াসের স্বস্তিকাল ( $T_r$ ) এবং (ii) রেজোন্যান্স সৃষ্টিকারী নিউক্লিয়াসের ঘনমাত্রার ওপর। যেহেতু ক্ষতিগ্রস্ত বা রোগাক্রান্ত টিস্যুতে পানির পরিমাণ বেড়ে যায়; তখন পার্শ্ববর্তী সুস্থ টিস্যুর চেয়ে ঐ অসুস্থ অংশে রেডিও ফ্রিকুয়েন্সি শোষণ তীব্রতাও বেশি ঘটে। এরূপ মস্তিষ্ক কোষের অসংখ্য  $H_2O$  অণুর নিউক্লিয়াস থেকে যে NMR সিগন্যাল পাওয়া যায়; এদেরকে কম্পিউটারে প্রসেস করলে মানুষের মস্তিষ্কের MRI বা ম্যাগনেটিক রেজোন্যান্স ইমেজ পাওয়া যায়। প্রাণু ইমেজকে স্বাভাবিক ইমেজের সাথে তুলনা করে কোষের ধ্বংস বা পরিবর্তন থেকে রোগ শনাক্ত করা হয়। এ MRI পদ্ধতি উদ্ভাবনের জন্য 2003 সালে Paul C. Lauterbur ও Peter Mansfield চিকিৎসা বিজ্ঞানে নোবেল পুরস্কার পান।

**সতর্কতা :** MRI মেশিনে শক্তিশালী চুম্বক থাকে; তাই Heart pacemaker বা কৃত্রিম হৃদস্পন্দন যন্ত্র ব্যবহারকারী রোগীর ক্ষেত্রে MRI করা যাবে না। এছাড়া শ্রবণ সাহায্যকারী ধাতব যন্ত্র ও যেকোনো ধাতব পদার্থ খুলে MRI করতে হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.১৪ : MRI ভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.১৫ : MRI বলতে কী বোঝায়? MRI কীভাবে তৈরি হয়?

প্রশ্ন-২.১৬ : MRI ছবির ব্যবহার আলোচনা কর।

প্রশ্ন-২.১৭ : MRI এর মূলনীতি সংক্ষেপে লেখ।

(ক) MRI এর বেলায়  $r_f$  এর ফ্রিকুয়েন্সির মান কত?

(খ) MRI এর বেলায় স্বস্তিকাল ( $T_r$ ) বলতে কী বোঝায়?

## ২.১১ শিখা পরীক্ষা দ্বারা ধাতব আয়ন শনাক্তকরণ Metal Ion Detection by Flame Test

অনুচ্ছেদ-২.৬ এ তোমরা রেখা বর্ণালি দেখে মৌল শনাক্তকরণ সম্বন্ধে জেনেছ। এখন আমরা দেখব, কিছু কিছু ধাতব যৌগ বুনসেন বার্নারের অনুজ্জ্বল শিখায় বৈশিষ্ট্যপূর্ণ বর্ণ সৃষ্টি করে; যা দেখে ঐ ধাতব আয়ন শনাক্ত করা যায়। বিশেষত ধাতব লবণসমূহের মধ্যে ধাতব ক্রোমাইড অধিক উদ্বায়ী।

NMR পরমাণুর বৈশিষ্ট্য হলো :

- বিজোড় সংখ্যক প্রোটন বা নিউট্রন যুক্ত নিউক্লিয়াস থাকে।
- NMR পরমাণুর নিউক্লিয়াসে দুর্বল ম্যাগনেটিক মোমেন্ট থাকে।
- প্রবল চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে থাকা NMR পরমাণু যুক্ত যৌগ থেকে রেডিও ফ্রিকুয়েন্সির প্রভাবে অনুরণন সিগন্যাল কম্পিউটারে সৃষ্টি হয়।



## ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণিশিক্ষকের সহায়তায় ৪ জনের গ্রুপ কর। ল্যাবরেটরিতে উপরোক্ত পরীক্ষার পদ্ধতির বর্ণনা মতে  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{CuCO}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$  ইত্যাদি লবণসহকারে শিখা পরীক্ষা কর। প্রাপ্ত ফলাফল তোমার 'কর্মপত্র' বা প্রেকটিক্যাল খাতায়, সারণি ২.৫ এর ছক মতে তারিখসহ রেকর্ড করে শিক্ষকের দস্তখত নাও। তোমাদের ৪ জনের এই গ্রুপ পরবর্তী সব পরীক্ষা সম্মিলিতভাবে করবে।

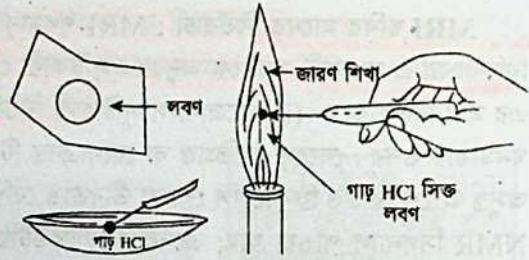
পরীক্ষা নং-১

তারিখ : .....

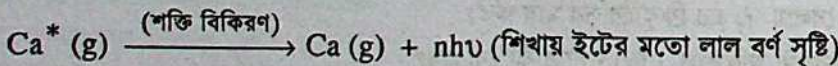
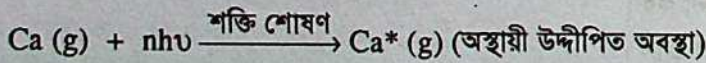
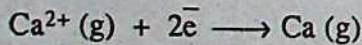
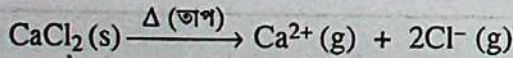
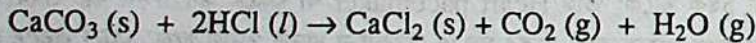
পরীক্ষার সময় : ১ পিরিয়ড

পরীক্ষার নাম : শিখা পরীক্ষা দ্বারা ধাতব আয়ন শনাক্তকরণ

মূলনীতি : ধাতব লবণসমূহের মধ্যে ধাতব ক্লোরাইড অধিক উদ্বায়ী। তাই ধাতব লবণকে গাঢ়  $\text{HCl}$  এসিডে সিক্ত করে বুনসেন বার্নারের অনুজ্জ্বল শিখায় উত্তপ্ত করলে প্রথমে উদ্বায়ী ধাতব ক্লোরাইডে পরিণত হয়। পরে বাষ্পীভূত অবস্থায় ধাতব ক্যাটায়ন নিকটস্থ অ্যানায়ন থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিচ্ছিন্ন ধাতব পরমাণুতে পরিণত হয়। পরে ধাতব পরমাণু শিখা থেকে প্রয়োজনীয় তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো শোষণ করে উদ্দীপিত হয়। পরমাণুর উদ্দীপিত অবস্থা অস্থায়ী হওয়ায় পর মুহূর্তে ঐ শোষিত শক্তি বিকিরিত হয়ে শিখায় বিশেষ বর্ণের আলো সৃষ্টি করে পূর্বাবস্থায় পরমাণুটি ফিরে আসে। এভাবে  $\text{CaCO}_3$  লবণ শিখা পরীক্ষায় নিম্নরূপ পরিবর্তনসহ শিখায় ইটের মতো লাল বর্ণালি সৃষ্টি করে।



চিত্র-২.২৩ : শিখা পরীক্ষায় ধাতব আয়ন শনাক্তকরণ



**MCQ-2.27** : জাল টাকা শনাক্তকরণে কোন তড়িৎ চুম্বকীয় রশ্মি ব্যবহৃত হয়?  
(ক) IR (খ) Radio wave  
(গ) UV (ঘ) Vis-ray

প্রয়োজনীয় রাসায়নিক বস্তু : (১) পরীক্ষণীয় লবণ যেমন  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CuCO}_3$  ইত্যাদি।

(২) গাঢ়  $\text{HCl}$ ।

প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) কাচের ওয়াচ গ্লাস (Watch glass),

(২) প্লাটিনাম তার অথবা দেয়াশলাই কাঠি,

(৩) বুনসেন বার্নার অথবা স্পিরিট ল্যাম্প।

**MCQ-2.28** : শিখা পরীক্ষায় কোন ধাতব মৌল সোনালী হলুদ শিখা দেয়?  
(ক) কপার (খ) ক্যালসিয়াম  
(গ) সোডিয়াম (ঘ) পটাসিয়াম



পরীক্ষা পদ্ধতি : নিচের সারণি মতে ধাতব আয়ন বা ক্যাটায়নের জন্য শিখা পরীক্ষা করা হয় :

শিখা পরীক্ষা (Flame Test) : সারণি-২.৫ : ধাতব আয়নের সৃষ্ট বৈশিষ্ট্যপূর্ণ বর্ণের শিখা

পরীক্ষা	খালি চোখে নিরীক্ষা	কোবাল্ট ব্লু-গ্লাস দিয়ে নিরীক্ষা	সিদ্ধান্ত
একটি ওয়াচ গ্লাসে গাঢ় HCl এসিড নিয়ে ঐ এসিডে একটি বিশুদ্ধ প্লাটিনাম তারের অগ্রভাগ অথবা দেয়াশলাই কাঠির কাঠের অংশ ডুবিয়ে এবং পরে এর মাথায় করে গাঢ় HCl সিক্ত একটু লবণকে অনুজ্জল শিখার কিনারায় ধরা হয়। এবার শিখার বর্ণ দেখা হয়।	১। হালকা বেগুনি শিখা দেখা যায়। (pale violet) ২। নীলাভ সবুজ শিখা দেখা যায়। (bluish green) ৩। সোনালী হলুদ শিখা দেখা যায়। (golden yellow) ৪। ইটের মতো লাল শিখা দেখা যায়। (brick red)	১। গোলাপী লাল শিখা (Pink colour) ২। বিশেষ কোনো বর্ণ নেই। (No special colour) ৩। বিশেষ কোনো বর্ণ নেই। (No special colour) ৪। হালকা সবুজ শিখা (light green)	১। K <sup>+</sup> আয়ন ২। Cu <sup>2+</sup> আয়ন ৩। Na <sup>+</sup> আয়ন ৪। Ca <sup>2+</sup> আয়ন

বিশেষ দ্রষ্টব্য : K, Cu, Na, Ca দ্বারা শিখায় সৃষ্ট বিভিন্ন বর্ণ এ বইয়ের মলাটের পেছনের পৃষ্ঠায় দেখ এবং শিখায় ঐ সব বর্ণ দেখে এ চারটি মৌল শনাক্ত করতে পারবে।

শিখা পরীক্ষায় কোবাল্ট ব্লু-গ্লাস ব্যবহার সুবিধা : (১) কোবাল্ট ব্লু-গ্লাস 'আলো-ছাকনি' বা Optical filter রূপে শিখা পরীক্ষায় ব্যবহৃত হয়। (২) শিখা পরীক্ষায় সোডিয়াম লবণ (NaCl) দ্বারা সৃষ্ট সোনালী হলুদ বর্ণ (yellow colour) কোবাল্ট ব্লু-গ্লাস সম্পূর্ণ শোষণ করে থাকে। তখন বেগুনি ও নীল (violet ও blue) বর্ণ দেখতে সুবিধা হয়। (৩) বিশেষত ব্যবহৃত লবণে Na লবণ মিশ্রিত থাকলে কোবাল্ট ব্লু-গ্লাসের ব্যবহার খুব সুবিধাজনক হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.১৫ : শিখা পরীক্ষাভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.১৮ : শিখা পরীক্ষায় Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> লবণটি বুনসেন শিখায় কীরূপ বর্ণ সৃষ্টি করে তা বিক্রিয়াসহ বর্ণালি সৃষ্টি ব্যাখ্যা কর।

প্রশ্ন-২.১৯(ক) : শিখা পরীক্ষায় CaCl<sub>2</sub> লবণ বুনসেন শিখায় কীরূপ বর্ণ সৃষ্টি করে তা বিক্রিয়াসহ লেখ।

(খ) শিখা পরীক্ষায় গাঢ় HCl ব্যবহার করা হয় কেন ব্যাখ্যা কর। [ঢা. বো. ২০১৭; চ. বো. ২০১৬; সি. বো. ২০১৭]

## ২.১২ আয়নিক যৌগের দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতা গুণফল

### Solubility & Solubility Product of Ionic compounds

আয়নিক যৌগ পানিতে দ্রবীভূত হয়। তবে পানিতে বিভিন্ন আয়নিক যৌগের দ্রবণীয়তা বিভিন্ন পরিমাণে হয়। তাই নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় পানিতে বিভিন্ন আয়নিক যৌগের দ্রবণীয়তা তুলনা করার জন্য 'দ্রাব্যতা' বা Solubility 'পদ' ব্যবহৃত হয়।

নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় 'নির্দিষ্ট পরিমাণ কোনো তরলে' যে পরিমাণ কঠিন দ্রব দ্রবীভূত হয়ে সম্পূর্ণ দ্রবণ তৈরি করে, দ্রবের সে পরিমাণকে ঐ দ্রবের দ্রাব্যতা বলে। বিভিন্ন পদ্ধতিতে দ্রাব্যতা প্রকাশ করা হয়। যেমন, গ্রাম/লিটার দ্রবণ, মোল/লিটার দ্রবণ, গ্রাম/কি. গ্রাম দ্রাবক ইত্যাদি। [Ref : A-Level Chemistry—E.N. Ramsdon; page-197]

দ্রাব্যতার আধুনিক সংজ্ঞা : আয়নিক যৌগের দ্রাব্যতা বলতে 25°C-এ ঐ যৌগের পানিতে প্রতি লিটার সম্পূর্ণ দ্রবণে গ্রাম পরিমাণ অথবা মোল পরিমাণকে বোঝানো হয়। যেমন 25°C-এ সিলভার ক্লোরাইডের দ্রাব্যতা প্রতি লিটার জলীয় দ্রবণে 0.0015 গ্রাম। আবার AgCl এর গ্রাম আণবিক ভর (108 + 35.5) = 143.5। সুতরাং মোল এককে AgCl এর দ্রাব্যতা, S = (0.0015 ÷ 143.5) মোল/লিটার বা 1.05 × 10<sup>-5</sup> molL<sup>-1</sup> ধরা হয়।

$$\text{যৌগের দ্রাব্যতা (g/L}^{-1}\text{), } S = \frac{\text{দ্রবের ভর গ্রাম এককে}}{\text{লিটারে সম্পূর্ণ দ্রবণের আয়তন}}$$

$$\text{যৌগের দ্রাব্যতা (mol/L), } S = \frac{\text{দ্রবের ভর মোল এককে}}{\text{লিটারে সম্পূর্ণ দ্রবণের আয়তন}}$$



**দ্রষ্টব্য :** '100 g দ্রাবকে দ্রবের সম্পৃক্ত দ্রবণ তৈরিতে ব্যবহৃত দ্রবের গ্রাম পরিমাণই দ্রবের দ্রাব্যতা'—এরূপ এককের পরিবর্তে বর্তমানে mol/L দ্রবণ অধিক ব্যবহৃত হয়। দ্রাব্যতার গুণফল থেকে তা সুস্পষ্ট হবে।

আবার আয়নিক যৌগ যেমন অজৈব লবণের ক্ষারকীয় মূলক বা ক্যাটায়নের বিশ্লেষণের বেলায় লবণের আয়নদ্বয়ের দ্রাব্যতা গুণফল নামক পদ ব্যবহৃত হয়।

**দ্রাব্যতার নির্ভরশীলতা :**

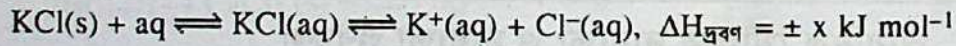
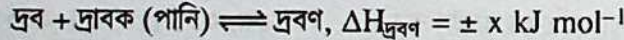
আয়নিক যৌগ (কঠিন পদার্থ)-এর দ্রাব্যতা নিম্নোক্ত তিনটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে।

(ক) দ্রবের প্রকৃতি, (খ) দ্রাবকের প্রকৃতি ও (গ) তাপমাত্রা।

(ক) **দ্রবের প্রকৃতি :** একই দ্রাবকে একই তাপমাত্রায় ভিন্ন ভিন্ন কঠিন দ্রবের দ্রাব্যতা ভিন্ন ভিন্ন হয়। এটি দ্রবের কেলাস গঠনের ওপর নির্ভর করে যেমন- 1000 mL বা 1L পানিতে 30°C তাপমাত্রায় KI, Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KNO<sub>3</sub>, NaCl এর দ্রাব্যতা হলো যথাক্রমে 1500 g, 620 g, 500 g, 450 g, 363 g।

(খ) **দ্রাবকের প্রকৃতি :** 'Like dissolves like'—এ নিয়ম মতে পোলার দ্রাবক (আংশিক ধনাত্মক ও ঋণাত্মক চার্জযুক্ত) পানিতে আয়নিক যৌগ দ্রবীভূত হয়। সমযোজী কঠিন যৌগসমূহ জৈব দ্রাবক তরল হাইড্রোক্যার্বন, অ্যালকোহল, অ্যাসিটোন ইত্যাদিতে অধিক দ্রবণীয়। উল্লেখ্য সমযোজী যৌগ অণু পানি অণুর সাথে H-বন্ধন করার মাধ্যমে দ্রবীভূত হয়। যেমন, গ্লুকোজ (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>), চিনি (C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>) ইত্যাদি। কিন্তু আংশিক পোলার অ্যালকোহলে বা অপোলার দ্রাবকে আয়নিক যৌগের দ্রাব্যতা উল্লেখযোগ্য পরিমাণে হ্রাস পায়। যেমন ইথানলে NaOH পিলেটের দ্রাব্যতার চেয়ে পানিতে NaOH এর দ্রাব্যতা অনেক বেশি হয়।

(গ) **তাপমাত্রা :** কঠিন দ্রবের দ্রাব্যতার ওপর তাপমাত্রার প্রভাব রয়েছে। সাধারণভাবে দ্রাবকের তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে দ্রবের দ্রাব্যতা বৃদ্ধি পায়। এর কারণ অধিক তাপমাত্রায় দ্রাবক অণুর গতি বৃদ্ধি পায়; ফলে অধিক দ্রব পানিতে দ্রবীভূত হতে পারে। উল্লেখ্য দ্রব পানিতে দ্রবীভূত হওয়ার সময় এর কঠিন কেলাস কণা থেকে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নগুলো পানিতে পৃথক হয়ে পড়ে এবং সম্পৃক্ত দ্রবণে দ্রবের দ্রাব্যতা সীমায় নিম্নরূপে সাম্যাবস্থায় থাকে। ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়ন পৃথকভাবে পানি অণু [H<sub>2</sub>O, (aq), aqua] দ্বারা আবদ্ধ থাকে তা নিম্নরূপে বোঝানো হয়। যেমন—



উল্লেখ্য দ্রবের কেলাস কণার ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নগুলো যে তাপশক্তি শোষণ করে কেলাস ল্যাটিস (জালিকা) থেকে মুক্ত হয়; তাকে ল্যাটিস-ভাঙ্গার শক্তি বলে এবং এক মোল কেলাস থেকে পৃথক হওয়া উভয় প্রকার আয়নগুলো মোল অনুপাতে পানি-যোজিত হওয়ার কালে যে তাপশক্তি নির্গত হয়, তাকে আয়নের হাইড্রেশন-শক্তি বলে। হাইড্রেশন-শক্তির মান কেলাসের ল্যাটিস-ভাঙ্গার শক্তির চেয়ে বেশি হলে তবে ঐ আয়নিক যৌগ কক্ষ তাপমাত্রায় পানিতে দ্রবীভূত হয়। সুতরাং কক্ষ তাপমাত্রায় পানিতে আয়নিক যৌগের দ্রবণ প্রক্রিয়া যৌগের কেলাসের ওপর নির্ভর করে তাপশোষী ( $\Delta H = +ve$ ) অথবা তাপোৎপাদী ( $\Delta H = -ve$ ) এ দু'প্রক্রিয়ায় ঘটে।

\* ১ম প্রক্রিয়া বা তাপশোষী প্রক্রিয়ায়, দ্রবণ তাপ,  $\Delta H_{\text{দ্রবণ}} = + x \text{ kJ mol}^{-1}$  হয়, অর্থাৎ  $\Delta H_{\text{দ্রবণ}} > 0$  (ধনাত্মক) হয়। সুতরাং তাপশোষী প্রক্রিয়ায় তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে আয়নিক যৌগের দ্রাব্যতা বৃদ্ধি পায়; এটি লা-শাতেলিয়ানের নীতি অনুসরণ করে; অর্থাৎ তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে দ্রবণ প্রক্রিয়ার সাম্যাবস্থা সম্মুখ দিকে অগ্রসর হয় অর্থাৎ দ্রাব্যতা বৃদ্ধি পায়। এরূপ লবণ হলো NaNO<sub>3</sub>, KNO<sub>3</sub>, KCl, KI, AgNO<sub>3</sub>, Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>Cl, NaCl ইত্যাদি।

\* ২য় প্রক্রিয়া বা তাপোৎপাদী প্রক্রিয়ায়, দ্রবণ তাপ,  $\Delta H_{\text{দ্রবণ}} = - x \text{ kJ mol}^{-1}$  হয়, অর্থাৎ  $\Delta H_{\text{দ্রবণ}} < 0$  (ঋণাত্মক) হয়। সুতরাং তাপোৎপাদী প্রক্রিয়ায় তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে আয়নিক যৌগের দ্রাব্যতা হ্রাস পায়; এটি লা-শাতেলিয়ানের নীতিকে অনুসরণ করে। এরূপ যৌগ হলো Li<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub>, NaOH ইত্যাদি। [দ্রষ্টব্য : ২.১২.২ অনুচ্ছেদ : আয়নিক যৌগের পানিতে দ্রবণীয়তা]



অপরদিকে, গ্লোবার লবণ (Glauber's salt)  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  এর সোদক কেলাসের ক্ষেত্রে তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে প্রথমে দ্রাব্যতার বৃদ্ধি ঘটে; কিন্তু  $32.4^\circ\text{C}$  তাপমাত্রার পর তা নিরূপিত  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  এ পরিণত হয়। তখন নিরূপিত অবস্থায় তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে দ্রাব্যতা ধীরে ধীরে হ্রাস পায়। সোদক কেলাস থেকে নিরূপিত কেলাসে রূপান্তরের কারণে দ্রাব্যতার এরূপ পরিবর্তন ঘটে থাকে।

\*\* জেনে নাও :  $25^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায়  $\text{NaCl}$  এর দ্রাব্যতা  $4.558 \text{ molL}^{-1}$  বলতে কী বোঝায়, তা ব্যাখ্যা কর।

সমাধান :  $25^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায়  $\text{NaCl}$  এর দ্রাব্যতা  $4.558 \text{ molL}^{-1}$  বলতে বোঝা যায় যে,  $25^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় প্রতি লিটার দ্রবণে  $4.558 \text{ mol NaCl}$  বা,  $4.558 \times 58.5 \text{ g} = 266.643 \text{ g NaCl}$  দ্রবীভূত হয়ে সম্পূর্ণ দ্রবণ তৈরি করে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪৬ :  $30^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় প্রস্তুত  $\text{NaCl}$  এর  $200 \text{ mL}$  সম্পূর্ণ দ্রবণকে সূর্যের তাপে বাষ্পীভূত করে  $52.95 \text{ g NaCl}$  পাওয়া গেল। ঐ তাপমাত্রায় প্রতি লিটার সম্পূর্ণ দ্রবণে  $\text{NaCl}$  এর দ্রাব্যতা কত?

দক্ষতা : দ্রাব্যতার আধুনিক সংজ্ঞা মোল এককে ব্যবহৃত হবে।

দ্রবের দ্রাব্যতা ( $\text{molL}^{-1}$ ),  $S = \frac{\text{দ্রবের মোল এককে ভর}}{\text{লিটারে সম্পূর্ণ দ্রবণের আয়তন}}$

দেয়া আছে,

সম্পূর্ণ দ্রবণ =  $200 \text{ mL}$

$\text{NaCl}$  এর ভর =  $52.95 \text{ g}$

$$\therefore \text{NaCl এর দ্রাব্যতা, } S = \frac{0.905 \text{ mol}}{0.200 \text{ L}}$$

$$\text{NaCl এর মোল সংখ্যা} = \frac{52.95 \text{ g}}{(23+35.5) \text{ g}}$$

$$\text{বা, } S = 4.525 \text{ molL}^{-1}$$

$$= \frac{52.95 \text{ g}}{58.5 \text{ g}} = 0.905$$

$$\therefore 30^\circ\text{C তাপমাত্রায় NaCl এর দ্রাব্যতা হলো } 4.525 \text{ mol L}^{-1}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪৭ : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায়  $750 \text{ mL}$  সম্পূর্ণ দ্রবণে  $200 \text{ g NaCl}$  দ্রবীভূত আছে। গ্রাম এককে ও মোল এককে প্রতি লিটার সম্পূর্ণ দ্রবণে  $\text{NaCl}$  এর দ্রাব্যতা গণনা কর।

দক্ষতা : দ্রাব্যতার আধুনিক সংজ্ঞা গ্রাম এককে ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : দ্রবের দ্রাব্যতা ( $\text{g/L}$ ),  $S = \frac{\text{দ্রবের ভর গ্রাম এককে}}{\text{লিটারে সম্পূর্ণ দ্রবণের আয়তন}}$

প্রশ্নমতে সম্পূর্ণ দ্রবণের আয়তন =  $750 \text{ mL} = 0.750 \text{ L}$ ; দ্রবের ভর =  $200 \text{ g}$

$$\therefore \text{দ্রাব্যতা, } S = \frac{200 \text{ g}}{0.75 \text{ L}} = 266.67 \text{ g L}^{-1}$$

আবার  $\text{NaCl}$  এর গ্রাম আণবিক ভর বা  $1 \text{ মোল} = (23 + 35.5) \text{ g mol}^{-1} = 58.5 \text{ g mol}^{-1}$ ।

$$\begin{aligned} \text{সুতরাং NaCl এর মোল এককে দ্রাব্যতা} &= \frac{266.67 \text{ g L}^{-1}}{58.5 \text{ g mol}^{-1}} \\ &= 4.558 \text{ mol L}^{-1} \end{aligned}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪৮ : পানিতে একটি লবণের দ্রাব্যতা  $25^\circ\text{C}$  ও  $45^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় যথাক্রমে  $280 \text{ gL}^{-1}$  এবং  $370 \text{ gL}^{-1}$  হলে  $250 \text{ g}$  সম্পূর্ণ দ্রবণকে উচ্চ তাপমাত্রা হতে নিম্ন তাপমাত্রায় শীতল করলে কত গ্রাম লবণ কেলাসিত হবে? [য. বো. ২০১৭]

দক্ষতা : দ্রাব্যতার আধুনিক সংজ্ঞা মতে, প্রতি লিটার সম্পূর্ণ দ্রবণে দ্রবের গ্রাম পরিমাণ ভর গণনা করা হবে।

সমাধান : দ্রাব্যতার সংজ্ঞা মতে,

$$\text{লবণের দ্রাব্যতা (g/L), } S = \frac{\text{দ্রবের ভর (g)}}{\text{লিটারে সম্পূর্ণ দ্রবণের আয়তন (L)}}$$



প্রদত্ত দ্রবণের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1.0 ধরে 250 g দ্রবণের আয়তন 250 mL বা, 0.25 L হয়।

$$\therefore 45^\circ\text{C-এ লবণটি দ্রাব্যতা, } S_2 = \frac{\text{লবণের ভর (g), } W_2}{\text{লিটারে দ্রবণের আয়তন (L)}}$$

$$\text{বা, } 370 \text{ gL}^{-1} = \frac{W_2}{0.25\text{L}}; \text{ বা, } W_2 = 370 \times 0.25 \text{ g} = \boxed{92.5 \text{ g}}$$

$$\text{এবং } 25^\circ\text{C এ লবণটির দ্রাব্যতা, } S_1 = \frac{\text{লবণের ভর (g), } W_1}{\text{লিটারে দ্রবণের আয়তন (L)}}$$

$$\text{বা, } 280 \text{ gL}^{-1} = \frac{W_1}{0.25\text{L}}; \text{ বা, } W_1 = 280 \times 0.25 \text{ g} = \boxed{70.0 \text{ g}}$$

সুতরাং 45°C থেকে 25°C-এ দ্রবণকে শীতল করলে 250 g সম্পূর্ণ দ্রবণ হতে কেলাসিত লবণ =  $(W_2 - W_1) = (92.5 - 70.0) \text{ g} = 22.5 \text{ g}$  লবণ। (উত্তর)

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪৯ : 75°C তাপমাত্রায় সম্পূর্ণ কোনো লবণের 300 mL দ্রবণকে 25°C এ শীতল করা হলো। এতে কত গ্রাম লবণ কেলাসিত হবে? 75°C ও 25°C এ লবণটির দ্রাব্যতা যথাক্রমে 650 gL<sup>-1</sup> এবং 150 gL<sup>-1</sup> হয়।

দক্ষতা : দ্রাব্যতার আধুনিক সংজ্ঞা মতে, লবণের দ্রাব্যতা g/L এককে হবে।

$$\text{সমাধান : দ্রাব্যতার সংজ্ঞা মতে, লবণের দ্রাব্যতা (g/L), } S = \frac{\text{দ্রবের ভর (g)}}{\text{লিটারে দ্রবণের আয়তন (L)}}$$

প্রশ্ন মতে, সম্পূর্ণ দ্রবণের আয়তন = 300 mL = 0.300 L

$$\therefore 75^\circ\text{C এ লবণটির দ্রাব্যতা, } S_2 = \frac{\text{লবণের ভর (g), } W_2}{\text{লিটারে দ্রবণের আয়তন (L)}}$$

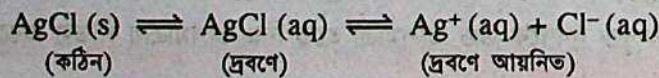
$$\text{বা, } 650 \text{ gL}^{-1} = \frac{W_2}{0.300 \text{ L}}; \text{ বা, } W_2 = 650 \times 0.3 \text{ g} = \boxed{195 \text{ g}}$$

$$\text{এবং } 25^\circ\text{C এ লবণটির দ্রাব্যতা, } S_1 = \frac{\text{লবণের ভর (g), } W_1}{\text{লিটারে দ্রবণের আয়তন (L)}}$$

$$\text{বা, } 150 \text{ gL}^{-1} = \frac{W_1}{0.300 \text{ L}}; \text{ বা, } W_1 = 150 \times 0.3 \text{ g} = \boxed{45 \text{ g}}$$

সুতরাং 75°C থেকে 25°C-এ দ্রবণকে শীতল করলে 300 mL সম্পূর্ণ দ্রবণ হতে কেলাসিত লবণ =  $(W_2 - W_1) = (195 - 45) \text{ g} = 150 \text{ g}$  লবণ। (উত্তর)

দ্রাব্যতা গুণফল : মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ ব্যতীত অন্য পদার্থের তড়িৎ-বিয়োজনের ক্ষেত্রে ভর-ক্রিয়া সূত্রটি প্রযোজ্য হয় না। মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য স্বল্প দ্রবণীয় লবণের সম্পূর্ণ দ্রবণের ক্ষেত্রে (অসীম লঘু দ্রবণরূপে) তা যথেষ্ট সঠিকভাবে প্রযোজ্য হয়। যেমন, AgCl-এর সম্পূর্ণ দ্রবণের ক্ষেত্রে এর বিয়োজনকে নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয় :



$$\text{ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে, } K = \frac{[\text{Ag}^+] \times [\text{Cl}^-]}{[\text{AgCl}]}; \text{ অর্থাৎ } [\text{Ag}^+] \times [\text{Cl}^-] = K \times [\text{AgCl}]$$

সম্পূর্ণ দ্রবণে, AgCl-এর ঘনমাত্রা অপরিবর্তিত থাকে; অর্থাৎ  $[\text{AgCl}] = 1$  ধরা হয়।

$\therefore [\text{Ag}^+] \times [\text{Cl}^-] = K_{sp}$  (ধ্রুবক)। এখানে  $K_{sp}$  ধ্রুবকটিকে AgCl-এর দ্রাব্যতা গুণফল বলে।

#### MCQ-2.29 : MRI কী?

[ব. বো. ২০১৭]

- (ক) চৌম্বকীয় অবলোহিত রশ্মি  
(খ) চৌম্বকীয় অনুরণন প্রতিচ্ছবিকরণ  
(গ) নিউক্লিয়ার চৌম্বকীয় অনুরণন  
(ঘ) চৌম্বকীয় রেডিও প্রতিচ্ছবিকরণ







সুতরাং লবণের দ্রাব্যতা গুণফল এর সংজ্ঞা নিম্নরূপ :

‘কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় (যেমন 25°C) কোনো স্বল্প দ্রবণীয় তড়িৎ বিশ্লেষ্য লবণের সম্পৃক্ত দ্রবণে এর উপাদান আয়নসমূহের মোল প্রতিলিটার এককে ঘনমাত্রার গুণফলকে লবণটির দ্রাব্যতা গুণফল বলা হয়। তবে লবণটির প্রতি অণু বিয়োজনে যে আয়নটি যত সংখ্যায় উৎপন্ন হয়, ঐ আয়নের ঘনমাত্রাকে সে সংখ্যক ঘাতে উন্নীত করা হয়।

নিচের তালিকায় বিভিন্ন সংকেতযুক্ত লবণের দ্রাব্যতা (S) ও দ্রাব্যতা গুণফলের সম্পর্ক দেখানো হলো :

AB বা AgCl এর ক্ষেত্রে $AB \rightleftharpoons A^+ + B^-$	AB <sub>2</sub> বা CaCl <sub>2</sub> এর ক্ষেত্রে $AB_2 \rightleftharpoons A^{2+} + 2B^-$	AB <sub>3</sub> বা AlCl <sub>3</sub> এর ক্ষেত্রে $AB_3 \rightleftharpoons A^{3+} + 3B^-$	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> বা Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> এর ক্ষেত্রে $A_2B_3 \rightleftharpoons 2A^{3+} + 3B^{2-}$
দ্রাব্যতা = S $K_{sp} = S \times S = S^2$	দ্রাব্যতা = S $K_{sp} = S \times (2S)^2 = 4S^3$	দ্রাব্যতা = S $K_{sp} = S \times (3S)^3 = 27S^4$	দ্রাব্যতা = S $K_{sp} = (2S)^2 \times (3S)^3 = 108 S^5$

\* তাপমাত্রার প্রভাব দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতা গুণফল উভয়ের ওপর একই প্রকার হয়।

\* দ্রাব্যতা সব প্রকার যৌগ যেমন আয়নিক, সমযোজী প্রভৃতি প্রতি ক্ষেত্রে সমভাবে প্রযোজ্য। কিন্তু দ্রাব্যতা গুণফল কেবল দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্যের বা স্বল্প দ্রবণীয় আয়নিক যৌগের বেলায় প্রযোজ্য।

\* সমআয়নের প্রভাবে লবণের দ্রাব্যতা হ্রাস পায়; কিন্তু দ্রাব্যতা গুণফল ধ্রুব থাকে।

জেনে নাও :

(ক) 25°C-এ BaSO<sub>4</sub> এর দ্রাব্যতা গুণফল  $1.1 \times 10^{-10}$  বলতে কী বোঝায়; তা ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৭]

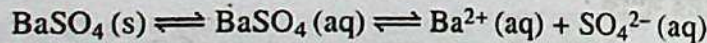
(খ) 25°C তাপমাত্রায় CaCO<sub>3</sub> এর দ্রাব্যতা গুণফল  $8.7 \times 10^{-9}$  বলতে কী বোঝায়; তা ব্যাখ্যা কর।

[দি. বো. ২০১৬]

(গ) 25°C তাপমাত্রায় M(OH)<sub>3</sub> এর দ্রাব্যতা গুণফল  $2.5 \times 10^{-39}$  বলতে কী বোঝায়; তা ব্যাখ্যা কর।

[সি. বো. ২০১৬]

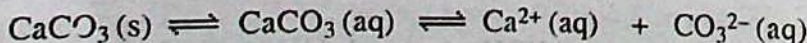
\* সমাধান : (ক) 25°C-এ BaSO<sub>4</sub> এর দ্রাব্যতা গুণফল  $1.1 \times 10^{-10}$  বলতে বোঝা যায় যে, 25°C তাপমাত্রায় BaSO<sub>4</sub> এর প্রতি লিটার সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণে সৃষ্ট এর আয়নদ্বয় যেমন Ba<sup>2+</sup> আয়ন ও SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> আয়নের মোল এককে ঘনমাত্রার গুণফলের মান  $1.1 \times 10^{-10}$  হয়। তখন সম্পৃক্ত দ্রবণে এটির আয়নদ্বয় নিম্নরূপ সাম্যাবস্থায় থাকে :



ধরা যাক, 25°C-এ BaSO<sub>4</sub> এর দ্রাব্যতা s molL<sup>-1</sup>; তখন উপরোক্ত সমীকরণ মতে s মোল BaSO<sub>4</sub> থেকে s মোল Ba<sup>2+</sup> আয়ন ও s মোল SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> আয়ন তৈরি হয়। তাই-

$$BaSO_4 \text{ এর দ্রাব্যতা গুণফল, } K_{sp} = [Ba^{2+}] \times [SO_4^{2-}] = s \times s = 1.1 \times 10^{-10}$$

\* সমাধান : (খ) 25°C তাপমাত্রায় CaCO<sub>3</sub> এর দ্রাব্যতা গুণফল  $8.7 \times 10^{-9}$  বলতে বোঝা যায় যে, 25°C তাপমাত্রায় CaCO<sub>3</sub> এর সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণে সৃষ্ট এর উপাদান আয়ন যেমন Ca<sup>2+</sup> আয়ন ও CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> আয়নসমূহের মোল প্রতি লিটার এককে ঘনমাত্রার গুণফলের মান  $8.7 \times 10^{-9}$  হয়। তখন সম্পৃক্ত দ্রবণে নিম্নরূপ সাম্যাবস্থা থাকে :



ধরা যাক, 25°C -এ CaCO<sub>3</sub> এর দ্রাব্যতা s molL<sup>-1</sup>; তখন উপরোক্ত সমীকরণ মতে s মোল CaCO<sub>3</sub> থেকে s মোল Ca<sup>2+</sup> আয়ন ও s মোল CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> আয়ন তৈরি হয়। তাই-

$$CaCO_3 \text{ এর দ্রাব্যতা গুণফল } K_{sp} = [Ca^{2+}] \times [CO_3^{2-}] = s \times s = 8.7 \times 10^{-9}$$







তাই কোনো লবণের অধঃক্ষেপণ প্রক্রিয়ায় এর দ্রাব্যতা গুণফলের বিশেষ গুরুত্ব আছে। এ তত্ত্বের ওপর ভিত্তি করে কোনো লবণের দ্রবণ থেকে ক্ষারকীয় মূলকের শনাক্তকরণ অধঃক্ষেপণ প্রক্রিয়ায় করা সম্ভব হয়। যেমন,

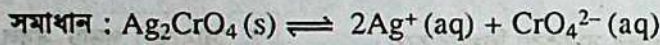
\* (১) যদি লবণের দ্রবণে উভয় আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল  $K_{ip} >$  দ্রাব্যতা গুণফল  $K_{sp}$ , তবেই অধঃক্ষেপণ ঘটবে। তখন দ্রবণটি অতিপৃক্ত (super saturated) রয়েছে। তখন দ্রবটি অধঃক্ষিপ্ত হবে।

\* (২) যদি লবণের দ্রবণে উভয় আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল  $K_{ip} <$  দ্রাব্যতা গুণফল  $K_{sp}$ , তখন অধঃক্ষেপণ ঘটবে না। তখন দ্রবণটি অসম্পৃক্ত (unsaturated) রয়েছে।

উল্লেখ্য পরীক্ষাগারে লবণের দ্রবণসহকারে ক্যাটায়নের শনাক্তকরণের সিক্ত পরীক্ষায় 'দ্রাব্যতা গুণফলের' সাথে 'সম-আয়ন প্রভাব' প্রয়োগ করা হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫১ :  $25^\circ\text{C}$ -এ পানিতে সিলভার ক্রোমেট ( $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ ) এর সম্পৃক্ত দ্রবণে  $[\text{CrO}_4^{2-}] = 6.5 \times 10^{-5} \text{ M}$  হলে ঐ লবণের  $K_{sp}$  কত হবে?

দক্ষতা : সাম্যাবস্থার সমীকরণ থেকে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নের ঘনমাত্রার সম্পর্ক ব্যবহৃত হবে।



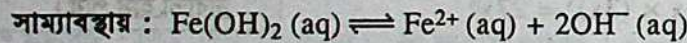
$$\text{এক্ষেত্রে } [\text{Ag}^+] = 2 \times [\text{CrO}_4^{2-}] = 2 \times 6.5 \times 10^{-5} \text{ M} = 1.3 \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$\therefore K_{sp} = [\text{Ag}^+]^2 \times [\text{CrO}_4^{2-}] = (1.3 \times 10^{-4})^2 \times 6.5 \times 10^{-5} = 1.1 \times 10^{-12}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫২ : 100 mL  $2.5 \times 10^{-5} \text{ M}$   $\text{FeCl}_2$  এর জলীয় দ্রবণে 150 mL  $6.7 \times 10^{-5} \text{ M}$   $\text{NaOH}$  দ্রবণ যোগ করলে সবুজ বর্ণের  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  অধঃক্ষিপ্ত হয়।  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  এর আয়নিক গুণফল ( $K_{ip}$ ) কত?

দক্ষতা : মিশ্র দ্রবণে  $\text{Fe}^{2+}$  আয়ন ও  $\text{OH}^-$  আয়নের মোলার ঘনমাত্রা বের করতে হবে।

সমাধান : দ্রবণ দুটি যোগ করলে মিশ্রণের আয়তন  $(100 + 150) = 250 \text{ mL}$  হয় এবং উৎপন্ন  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  নিম্নরূপে আয়নিত থাকে।



$$100 \text{ mL } 2.5 \times 10^{-5} \text{ M } \text{FeCl}_2 \text{ দ্রবণ} \equiv 100 \text{ mL } 2.5 \times 10^{-5} \text{ M } \text{Fe}^{2+} \text{ আয়ন}$$

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মিশ্রণের মোট আয়তন  $(100 + 150) = 250 \text{ mL}$  হওয়ায়  $\text{Fe}^{2+}$  এর ঘনমাত্রা হবে  $M_2$

$$\therefore V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2 \text{ সম্পর্ক মতে পাই-}$$

$$\text{বা, } 100 \times 2.5 \times 10^{-5} = 250 \times M_2; \therefore M_2 = \frac{100 \times 2.5 \times 10^{-5}}{250} = 1.0 \times 10^{-5} \text{ M}$$

$$\therefore \text{মিশ্রণে } [\text{Fe}^{2+}] = 1.0 \times 10^{-5}$$

অনুরূপভাবে, 150 mL  $6.7 \times 10^{-5} \text{ M}$   $\text{NaOH}$  দ্রবণ  $\equiv 150 \text{ mL } 6.7 \times 10^{-5} \text{ OH}^-$  আয়ন

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মিশ্রণের আয়তন 250 mL হওয়ায়  $\text{OH}^-$  এর ঘনমাত্রা হবে  $M_4$

$$\therefore V_3 \times M_3 = V_4 \times M_4$$

$$\text{বা, } 150 \times 6.7 \times 10^{-5} = 250 \times M_4; \therefore M_4 = \frac{150 \times 6.7 \times 10^{-5}}{250} = 4.02 \times 10^{-5} \text{ M}$$

$$\therefore \text{মিশ্রণে } [\text{OH}^-] = 4.02 \times 10^{-5}$$

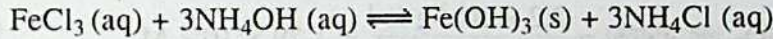
$$\begin{aligned} \text{সুতরাং } \text{Fe}(\text{OH})_2 \text{ এর } K_{ip} &= [\text{Fe}^{2+}] \times [\text{OH}^-]^2 = 1.0 \times 10^{-5} \times (4.02 \times 10^{-5})^2 \\ &= 1.616 \times 10^{-14} \text{ (উঃ)} \end{aligned}$$



সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৩ : 10 mL 0.25M FeCl<sub>3</sub> দ্রবণে 1.0 mL 0.5 M NH<sub>4</sub>OH দ্রবণ যোগ করা হলো। 25°C তাপমাত্রায় Fe(OH)<sub>3</sub> এর দ্রাব্যতা গুণফল  $3.74 \times 10^{-38}$  হলে ঐ মিশ্রণে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে কিনা ব্যাখ্যা কর।

দক্ষতা : মিশ্রণে আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল ( $K_{ip}$ ) এর মান দ্রাব্যতা গুণফলের মান  $K_{sp}$  থেকে বেশি হলে অধঃক্ষেপ পড়বে।

সমাধান : অধঃক্ষেপণের সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ :



দেয়া আছে, Fe(OH)<sub>3</sub> এর  $K_{sp} = 3.74 \times 10^{-38}$

10 mL 0.25 M FeCl<sub>3</sub> দ্রবণ  $\equiv$  10 mL 0.25 M Fe<sup>3+</sup> আয়ন

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন = (10 + 1) = 11 mL হওয়ায় Fe<sup>3+</sup> এর ঘনমাত্রা হবে  $M_2$

$\therefore V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$  সম্পর্ক মতে পাই—

$$10 \times 0.25 = 11 \times M_2; \quad \therefore M_2 = \frac{10 \times 0.25}{11} = \boxed{0.227\text{M}}$$

$\therefore$  মিশ্রণে  $[\text{Fe}^{3+}] = 0.227$

অনুরূপভাবে, 1.0 mL 0.5 M NH<sub>4</sub>OH দ্রবণ  $\equiv$  1.0 mL 0.5M OH<sup>-</sup> আয়ন

মিশ্রণের পর মোট আয়তন 11 mL হওয়ায় OH<sup>-</sup> আয়নের ঘনমাত্রা হবে  $M_4$

$\therefore V_3 \times M_3 = V_4 \times M_4$  সম্পর্ক মতে পাই—

$$1.0 \times 0.5 = 11 \times M_4; \quad \therefore M_4 = \frac{1.0 \times 0.5}{11} = \boxed{0.0454\text{M}}$$

$\therefore$  মিশ্রণে  $[\text{OH}^-] = 0.0454$

Fe(OH)<sub>3</sub> এর দ্রবণে সাম্যাবস্থায় :  $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}(\text{aq}) + 3\text{OH}^-(\text{aq})$

$\therefore$  Fe(OH)<sub>3</sub> এর আয়নিক গুণফল,  $K_{ip} = [\text{Fe}^{3+}] \times [\text{OH}^-]^3$

$$= 0.227 \times (0.0454)^3 = \boxed{2.124 \times 10^{-5}}$$

প্রশ্ন মতে, Fe(OH)<sub>3</sub> এর দ্রাব্যতা গুণফল  $3.74 \times 10^{-38}$  থেকে এর আয়নিক গুণফল ( $2.124 \times 10^{-5}$ ) এর মান বেশি হওয়ায় মিশ্রণে Fe(OH)<sub>3</sub> এর অধঃক্ষেপ পড়বে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৪ : 25°C তাপমাত্রায় ১ম পাত্রে 20 mL 0.02 M AgNO<sub>3</sub> দ্রবণ এবং ২য় পাত্রে 40 mL 0.04 M NaCl দ্রবণ আছে। (ক) ১ম পাত্রের দ্রবণে AgNO<sub>3</sub> এর দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় কর।

(খ) ১ম পাত্রের দ্রবণের মধ্যে ২য় পাত্রের দ্রবণ সম্পূর্ণরূপে মিশালে AgCl এর অধঃক্ষেপ পড়বে কিনা বিশ্লেষণ কর।

25°C- এ AgNO<sub>3</sub> এর দ্রাব্যতা =  $2.2 \times 10^{-3} \text{ gL}^{-1}$  এবং AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল  $1.8 \times 10^{-10}$ ; Ag এর পাঃ ভর = 107.87 [ব. বো ২০১৬]

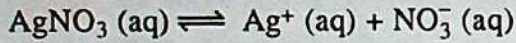
দক্ষতা : AgNO<sub>3</sub> এর দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয়ে সম্পূর্ণ দ্রবণে Ag<sup>+</sup> আয়ন ও NO<sub>3</sub><sup>-</sup> আয়নের মোলার ঘনমাত্রা বের করতে হবে।

**MCQ-2.31** : নিচের কোনটি NMR সক্রিয়? [কু. বো. ২০১৭]  
(ক)  $^{16}_8\text{O}$  (খ)  $^{12}_6\text{C}$   
(গ)  $^{32}_{16}\text{S}$  (ঘ)  $^1_1\text{H}$



সমাধান : (ক)  $\text{AgNO}_3$  দ্রবণের দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় :

$\text{AgNO}_3$  এর সম্পূর্ণ দ্রবণে নিম্নরূপ বিয়োজন ঘটে :



$$\therefore \text{AgNO}_3 \text{ দ্রাব্যতা গুণফল, } K_{sp} = [\text{Ag}^+] \times [\text{NO}_3^-]$$

প্রশ্ন মতে,  $\text{AgNO}_3$  এর দ্রাব্যতা =  $2.2 \times 10^{-3} \text{ gL}^{-1}$

$\text{AgNO}_3$  গ্রাম আণবিক ভর =  $(107.87 + 14 + 16 \times 3) = 169.87 \text{ g mol}^{-1}$

$$\therefore \text{মোল এককে } \text{AgNO}_3 \text{ এর দ্রাব্যতা} = \frac{2.2 \times 10^{-3} \text{ g L}^{-1}}{169.87 \text{ g mol}^{-1}} = 1.29 \times 10^{-5} \text{ M}$$

$$\therefore \text{AgNO}_3 \text{ এর সম্পূর্ণ দ্রবণে } [\text{Ag}^+] = [\text{NO}_3^-] = 1.29 \times 10^{-5} \text{ M}$$

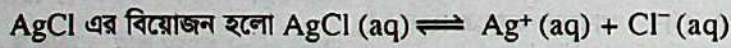
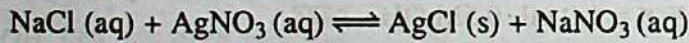
$$\therefore 25^\circ\text{C এ } \text{AgNO}_3 \text{ এর দ্রাব্যতা গুণফল, } K_{sp} = [\text{Ag}^+] \times [\text{NO}_3^-]$$

$$\therefore K_{sp} = (1.29 \times 10^{-5} \times 1.29 \times 10^{-5}) = 1.664 \times 10^{-10} \text{ (উঃ)}$$

সমাধান : (খ) মিশ্রিত দ্রবণে অধঃক্ষেপ পড়বে কী না—

দক্ষতা : প্রথমে  $[\text{Ag}^+]$  ও  $[\text{Cl}^-]$  বের করতে হবে। এরপর  $K_{ip}$  ও  $K_{sp}$  বের করতে হবে।

অধঃক্ষেপণের সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ হবে :



20 mL 0.02M  $\text{AgNO}_3$  দ্রবণ  $\equiv$  20 mL 0.02M  $\text{Ag}^+$  আয়ন

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন =  $(20 + 40) = 60 \text{ mL}$  হওয়ায়  $\text{Ag}^+$  আয়নের ঘনমাত্রা হবে  $M_2$

$$\therefore V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2 \text{ সম্পর্ক মতে পাই—}$$

$$20 \times 0.02 = 60 \times M_2; \therefore M_2 = \frac{20 \times 0.02}{60} = \boxed{6.67 \times 10^{-3} \text{ M}}$$

$$\therefore \text{মিশ্রণে } [\text{Ag}^+] = 6.67 \times 10^{-3}$$

অনুরূপভাবে, 40 mL 0.04 M  $\text{NaCl} \equiv$  40 mL 0.04 M  $\text{Cl}^-$  আয়ন

মিশ্রণের পর মোট আয়তন 60 mL হওয়ায়  $\text{Cl}^-$  আয়নের ঘনমাত্রা হবে  $M_4$

$$\therefore V_3 \times M_3 = V_4 \times M_4 \text{ সম্পর্ক মতে পাই—}$$

$$40 \times 0.04 = 60 \times M_4; \therefore M_4 = \frac{40 \times 0.04}{60} = \boxed{0.027 \text{ M}}$$

$$\therefore \text{মিশ্রণে } [\text{Cl}^-] = 0.027$$

সুতরাং মিশ্রণে  $\text{AgCl}$  এর উভয় আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল

$$K_{ip} = [\text{Ag}^+] \times [\text{Cl}^-] = 6.67 \times 10^{-3} \times 0.027 = 0.18 \times 10^{-3} = 1.8 \times 10^{-4}$$

প্রশ্ন মতে,  $\text{AgCl}$  এর দ্রাব্যতা গুণফল  $K_{sp} = 1.8 \times 10^{-10}$ ।

সুতরাং  $\text{AgCl}$  এর আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল ( $K_{ip}$ ) এর মান দ্রাব্যতা গুণফল ( $K_{sp}$ ) এর মান থেকে বেশি হওয়ায় মিশ্রণে  $\text{AgCl}$  এর অধঃক্ষেপণ ঘটবে। (উঃ)

**MCQ-2.32** :  $25^\circ\text{C}$ -এ  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  এর দ্রাব্যতা গুণফল  $4 \times 10^{-3}$ । তখন  $\text{OH}^-$  আয়নের  $\text{mol L}^{-1}$  ঘনমাত্রা কত? [ঢা. বো. ২০১৭]  
(ক)  $10^{-1}$  (খ)  $10^{-2}$  (গ)  $10^{-3}$  (ঘ)  $10^{-4}$



সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৫ : ১ম পাত্রে AgCl এর সম্পৃক্ত দ্রবণ আছে। 25°C-এ ঐ সম্পৃক্ত দ্রবণে AgCl এর  $K_{sp} = 1.5 \times 10^{-10}$  হয়। ২য় পাত্রে 10 mL 0.02M KCl দ্রবণ ও ৩য় পাত্রে 100 mL 0.01M AgNO<sub>3</sub> এর দ্রবণ আছে। [রা. বো. ২০১৬]

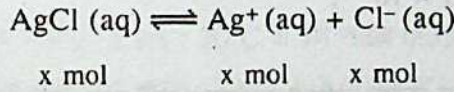
(ক) ১ম পাত্রের দ্রবণে ক্লোরাইড আয়ন (Cl<sup>-</sup>) এর মোলার ঘনমাত্রা নির্ণয় কর।

(খ) ২য় পাত্র ও ৩য় পাত্রের দ্রবণকে মিশ্রিত করলে অধঃক্ষেপ পড়বে কিনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

দক্ষতা : (ক) AgCl এর সম্পৃক্ত দ্রবণে Ag<sup>+</sup> ও Cl<sup>-</sup> আয়নের মোলার ঘনমাত্রা সমান; প্রশ্নে AgCl এর  $K_{sp} = 1.5 \times 10^{-10}$  দেয়া আছে।

(খ) ২য় ও ৩য় পাত্রের মিশ্র দ্রবণে Ag<sup>+</sup> আয়ন ও Cl<sup>-</sup> আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল  $K_{ip}$  এর মান  $K_{sp}$  এর মান থেকে বেশি হলে তবে অধঃক্ষেপ পড়বে।

সমাধান : (ক) AgCl এর সম্পৃক্ত দ্রবণে নিম্নরূপ বিয়োজন ঘটে :



ধরা যাক, 25°C এ AgCl এর দ্রাব্যতা x mol L<sup>-1</sup>; তখন উপরোক্ত সমীকরণ মতে, x mol AgCl থেকে x mol Ag<sup>+</sup> আয়ন ও x mol Cl<sup>-</sup> আয়ন তৈরি হয়। তাই

$$\text{AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল, } K_{sp} = [\text{Ag}^+] \times [\text{Cl}^-] = 1.5 \times 10^{-10}$$

$$\text{বা, } x \times x = 1.5 \times 10^{-10}; \text{ বা, } x^2 = 1.5 \times 10^{-10}$$

$$\therefore x = \sqrt{1.5 \times 10^{-10}} = 1.2247 \times 10^{-5} \text{ M}$$

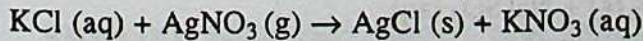
$$\therefore \text{১ম পাত্রে ক্লোরাইড আয়ন (Cl}^-) \text{ এর ঘনমাত্রা} = 1.2247 \times 10^{-5} \text{ M (উত্তর)}$$

**MCQ-2.33** : 25°C-এ Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> এর দ্রাব্যতা s হলে এর আয়নিক গুণফল কোনটি হবে? [রা. বো. ২০১৭]

(ক) s<sup>5</sup>                  (খ) 6s<sup>5</sup>  
(গ) 27s<sup>5</sup>              (ঘ) 108s<sup>5</sup>

সমাধান : (খ) মিশ্রিত দ্রবণে অধঃক্ষেপ পড়বে কিনা—

২য় ও ৩য় পাত্রের দ্রবণকে মিশ্রিত করলে নিম্নরূপ বিক্রিয়া ঘটে :



প্রশ্ন মতে, ২য় পাত্রে KCl এর ঘনমাত্রা, M<sub>1</sub> = 0.02 M, আয়তন V<sub>1</sub> = 10 mL

10 mL 0.02 M KCl দ্রবণ  $\equiv$  10 mL 0.02 M Cl<sup>-</sup> আয়ন

দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন = (10 + 100) = 110 mL হওয়ায় Cl<sup>-</sup> আয়নের ঘনমাত্রা হবে M<sub>2</sub>

$$\therefore V_1 M_1 = V_2 M_2 \text{ সম্পর্ক মতে পাই—}$$

$$10 \times 0.02 = 110 \times M_2; \therefore M_2 = \frac{10 \times 0.02}{110} = \boxed{0.00182 \text{ M}}$$

$$\therefore \text{মিশ্রিত দ্রবণে } [\text{Cl}^-] = 0.00182$$

অনুরূপভাবে, ৩য় পাত্রে 100 mL 0.01M AgNO<sub>3</sub> দ্রবণ  $\equiv$  100 mL 0.01 M Ag<sup>+</sup> আয়ন



১৬২

রসায়ন-প্রথম পত্র

মিশ্রণের পর মোট আয়তন = (10 + 100) = 110 mL হওয়ায়  $Ag^+$  আয়নের ঘনমাত্রা হবে  $M_4$

∴  $V_3 \times M_3 = V_4 \times M_4$  সম্পর্ক মতে পাই—

$$100 \times 0.01 = 110 \times M_4; \therefore M_4 = \frac{100 \times 0.01}{110} = \boxed{0.00909 \text{ M}}$$

∴ মিশ্রিত দ্রবণে,  $[Ag^+] = 0.00909$

∴ মিশ্রিত দ্রবণে উৎপন্ন  $AgCl$  এর উভয় আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল,

$$K_{ip} = [Ag^+] \times [Cl^-] = (0.00909 \times 0.00182) = 1.6543 \times 10^{-5}$$

প্রশ্ন মতে,  $AgCl$  এর দ্রাব্যতা গুণফল,  $K_{sp} = 1.5 \times 10^{-10}$

সুতরাং মিশ্রণে সৃষ্ট  $AgCl$  এর উভয় আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল ( $K_{ip}$ ) এর মান এর দ্রাব্যতা গুণফল ( $K_{sp}$ ) এর মান থেকে বেশি হওয়ায় মিশ্রণে  $AgCl$  এর অধঃক্ষেপণ ঘটবে। (উত্তর)

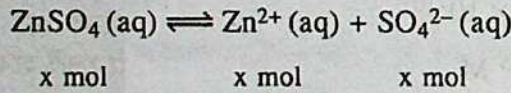
সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৬ : ১ম পাত্রে 50 mL  $6 \times 10^{-4}$  M  $ZnSO_4$  দ্রবণ ও ২য় পাত্রে 40 mL 0.05 M  $NaOH$  দ্রবণ আছে।  $25^\circ C$ -এ  $Zn(OH)_2$  এর  $K_{sp} = 1 \times 10^{-17}$ . [কু. বো. ২০১৬]

(ক) ১ম পাত্রের যৌগের দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় কর।

(খ) ১ম পাত্র ও ২য় পাত্রের দ্রবণ দুটিকে একত্রে মিশ্রিত করলে কোনো অধঃক্ষেপ সৃষ্টি হবে কিনা বিশ্লেষণ কর।

সমাধান : (ক)  $ZnSO_4$  এর দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় :

প্রদত্ত  $ZnSO_4$  দ্রবণটিকে  $ZnSO_4$  এর সম্পূর্ণ দ্রবণ ধরে (কক্ষ তাপমাত্রায়)  $ZnSO_4$  এর সম্পূর্ণ দ্রবণে  $ZnSO_4$  নিম্নরূপে আয়নিত হয় :

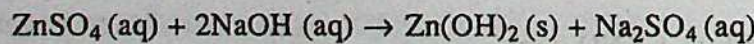


∴  $6 \times 10^{-4}$  M  $ZnSO_4$  দ্রবণে  $[Zn^{2+}] = 6 \times 10^{-4}$  এবং  $[SO_4^{2-}] = 6 \times 10^{-4}$  হয়

∴  $ZnSO_4$  এর দ্রাব্যতা গুণফল,  $K_{sp} = [Zn^{2+}] \times [SO_4^{2-}] = (6 \times 10^{-4} \times 6 \times 10^{-4}) = 36 \times 10^{-8}$  (উঃ)

সমাধান : (খ) মিশ্রিত দ্রবণে অধঃক্ষেপ পড়বে কিনা—

প্রশ্ন মতে, উভয় দ্রবণ মিশ্রিত করলে সম্ভাব্য অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ হবে :



মিশ্রিত দ্রবণে  $Zn(OH)_2$  এর বিয়োজন হলো,  $Zn(OH)_2(aq) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$

প্রশ্ন মতে,  $[Zn^{2+}]$  ও  $[OH^-]$  হিসেব করে  $Zn(OH)_2$  এর  $K_{ip}$  নির্ণয় করতে হবে।

50 mL  $6 \times 10^{-4}$  M  $ZnSO_4$  দ্রবণ  $\equiv$  50 mL  $6 \times 10^{-4}$  M  $Zn^{2+}$  আয়ন

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন = (50 + 40) = 90 mL হওয়ায়  $Zn^{2+}$  আয়নের ঘনমাত্রা হবে  $M_2$

∴  $V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$  সম্পর্ক মতে পাই—

$$50 \times 6 \times 10^{-4} = 90 \times M_2; \therefore M_2 = \frac{50 \times 6 \times 10^{-4}}{90} = \boxed{3.33 \times 10^{-4} \text{ M}}$$

∴ মিশ্রণে  $[Zn^{2+}] = 3.33 \times 10^{-4}$

MCQ-2.34 : $Ag_2C_2O_4$ এর দ্রাব্যতা $s$ হলে এর দ্রাব্যতা গুণফল কত হবে?	
(ক) $2s^2$	(খ) $4s^3$
(গ) $s^3$	(ঘ) $27s^4$



অনুরূপভাবে, 40 mL 0.05 M NaOH দ্রবণ  $\equiv$  40 mL 0.05 M OH<sup>-</sup> আয়ন

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন 90 mL হওয়ায় OH<sup>-</sup> আয়নের ঘনমাত্রা হবে M<sub>4</sub>

$\therefore V_3M_3 = V_4M_4$  সম্পর্ক মতে পাই—

$$40 \times 0.05 = 90 \times M_4; \therefore M_4 = \frac{40 \times 0.05}{90} = \boxed{0.0222 \text{ M}}$$

$\therefore$  মিশ্রণে [OH<sup>-</sup>] = 0.0222

সুতরাং মিশ্রণে Zn(OH)<sub>2</sub> এর উভয় আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল,

$$K_{ip} = [Zn^{2+}] \times [OH^-]^2 = 3.33 \times 10^{-4} \times (0.0222)^2 = 1.64 \times 10^{-7}$$

প্রশ্ন মতে, Zn(OH)<sub>2</sub> এর দ্রাব্যতা গুণফল, K<sub>sp</sub> = 1 × 10<sup>-17</sup>

সুতরাং Zn(OH)<sub>2</sub> এর K<sub>ip</sub> এর মান এর K<sub>sp</sub> এর মান থেকে বেশি হওয়ায় মিশ্রণে Zn(OH)<sub>2</sub> এর অধঃক্ষেপ পড়বে। (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৭ : 20°C এ ১ম পাত্রে 0.3M ঘনমাত্রার AB এর দ্রবণ এবং ২য় পাত্রে 0.1 M ঘনমাত্রার PQ এর দ্রবণ সম-আয়তনে আছে। 20°C-এ AQ এর K<sub>sp</sub> = 3.5 × 10<sup>-4</sup> এবং PB এর K<sub>sp</sub> = 2.5 × 10<sup>-2</sup>.

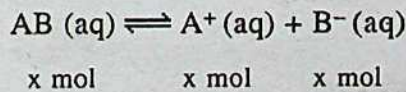
[ঢা. বো. ২০১৬]

(ক) উদ্দীপকের AB দ্রবণটি 20°C এ সম্পৃক্ত হলে এর দ্রাব্যতা গুণফল কত হবে?

(খ) উদ্দীপকের উভয় দ্রবণকে মিশ্রিত করলে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে কিনা তা কারণসহ বিশ্লেষণ কর।

সমাধান (ক) : AB এর দ্রাব্যতা গুণফল, K<sub>sp</sub> নির্ণয় :

সম্পৃক্ত দ্রবণে AB এর সাম্যাবস্থা হলো নিম্নরূপ :



$\therefore$  0.3M AB এর সম্পৃক্ত দ্রবণে [A<sup>+</sup>] = 0.3 এবং [B<sup>-</sup>] = 0.3

$\therefore$  AB এর দ্রাব্যতা গুণফল, K<sub>sp</sub> = [A<sup>+</sup>] × [B<sup>-</sup>] = 0.3 × 0.3 = 0.09 (উত্তর)

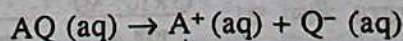
সমাধান (খ) : মিশ্রিত দ্রবণে অধঃক্ষেপ পড়বে কিনা—

সমআয়তনের উভয় দ্রবণ মিশ্রিত করলে নিম্নরূপ বিক্রিয়া ঘটে :



এক্ষেত্রে AQ ও PB উভয়ের K<sub>ip</sub> বের করে উভয়ের K<sub>sp</sub> এর মানের সাথে তুলনা করে কোনটির অধঃক্ষেপ আদৌ ঘটবে কিনা দেখতে হবে।

প্রথম অংশ, (i) AQ দ্রবণে নিম্নরূপে বিয়োজিত হয়ে থাকে :



প্রশ্ন মতে, 0.3 M ঘনমাত্রার x mL AB দ্রবণ  $\equiv$  0.3M x mL A<sup>+</sup> আয়ন



উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন =  $(x + x) = 2x$  mL হওয়ায়  $A^+$  আয়নের ঘনমাত্রা হবে  $M_2$

$\therefore V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$  সম্পর্ক মতে পাই—

$$x \times 0.3 = 2x \times M_2; \therefore M_2 = \frac{x \times 0.3}{2x} = \boxed{0.15 \text{ M}}$$

$\therefore$  মিশ্রণে  $[A^+] = 0.15$

অনুরূপভাবে,  $0.1 \text{ M}$  ঘনমাত্রার  $x$  mL PQ দ্রবণ  $\equiv 0.1 \text{ M}$   $x$  mL  $Q^-$  আয়ন

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন  $2x$  mL হওয়ায়  $Q^-$  আয়নের ঘনমাত্রা হবে  $M_4$

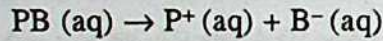
$\therefore V_3 \times M_3 = V_4 \times M_4$  সম্পর্ক মতে পাই—

$$\therefore x \times 0.1 = 2x \times M_4; \therefore M_4 = \frac{x \times 0.1}{2x} = \boxed{0.05 \text{ M}}$$

$\therefore$  মিশ্রণে  $[Q^-] = 0.05$

$$\text{সুতরাং মিশ্রণে } AQ \text{ এর } K_{ip} = [A^+] \times [Q^-] = 0.15 \times 0.05 = \boxed{7.5 \times 10^{-3}}$$

দ্বিতীয় অংশ (ii) PB দ্রবণে নিম্নরূপে বিয়োজিত হয় :



প্রশ্নমতে,  $0.3 \text{ M}$   $x$  mL AB দ্রবণ  $\equiv 0.3 \text{ M}$   $x$  mL  $B^-$  আয়ন,

মিশ্রণের মোট আয়তন  $2x$  mL হওয়ায়  $B^-$  আয়নের ঘনমাত্রা হবে  $M_6$

$\therefore V_5 \times M_5 = V_6 \times M_6$  সম্পর্ক মতে পাই—

$$\therefore x \times 0.3 = 2x \times M_6; \therefore M_6 = \frac{x \times 0.3}{2x} = \boxed{0.15 \text{ M}}$$

অনুরূপভাবে,  $0.1 \text{ M}$   $x$  mL PQ দ্রবণ  $\equiv 0.1 \text{ M}$   $x$  mL  $P^+$  আয়ন,

মিশ্রণের মোট আয়তন  $2x$  mL হওয়ায়  $P^+$  আয়নের ঘনমাত্রা হবে  $M_8$

$\therefore V_7 \times M_7 = V_8 \times M_8$  সম্পর্ক মতে পাই—

$$\therefore x \times 0.1 = 2x \times M_8; \therefore M_8 = \frac{x \times 0.1}{2x} = \boxed{0.05 \text{ M}}$$

$\therefore$  মিশ্রণে PB এর  $K_{ip} = [P^+] \times [B^-] = 0.05 \times 0.15 = \boxed{7.5 \times 10^{-3}}$

বিশ্লেষণ : AQ এর  $K_{ip}$  এর মান  $7.5 \times 10^{-3}$  এবং  $K_{sp}$  এর মান  $3.5 \times 10^{-4}$  মান থেকে বেশি হওয়ায় AQ এর অধঃক্ষেপ পড়বে। অপরদিকে PB এর  $K_{ip}$  এর মান  $7.5 \times 10^{-3}$  এবং  $K_{sp}$  এর মান  $2.5 \times 10^{-2}$  থেকে কম হওয়ায় PB অধঃক্ষিপ্ত হবে না। (উত্তর)

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৮ : নিম্নোক্ত উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।

[অভিন্ন প্রশ্ন (ক সেট) ২০১৮]

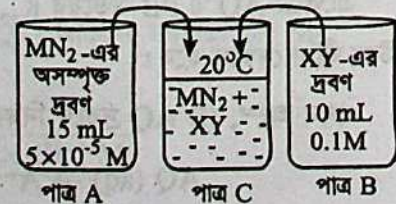
(i)  $MN_2$  এর দ্রাব্যতা  $0.0002 \text{ mol L}^{-1}$

(ii)  $MY_2$  এর  $K_{sp} = 1.85 \times 10^{-8}$

(ক) উদ্দীপকের A পাত্রে লবণটির দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের C পাত্রে  $MY_2$  এর অধঃক্ষেপ পড়বে কিনা তা

গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।



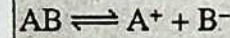
**MCQ-2.35** : নিচের কোনটি অধঃক্ষেপণের শর্ত?

(ক)  $K_{ip} > K_{sp}$  (খ)  $K_{ip} < K_{sp}$

(গ)  $K_{ip} = K_{sp}$  (ঘ) কোনোটিই নয়

**MCQ-2.36** : নিচের সমীকরণ মতে AB এর  $K_{ip}$  কোনটি হবে?

[ব. বো. ২০১৫]



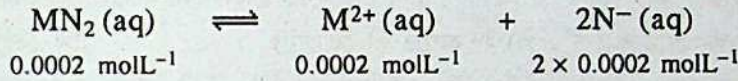
(ক)  $[A^+][B^-]$  (খ)  $A^+B^-$

(গ)  $K_{sp} = s^5$  (ঘ)  $K_{sp} = \sqrt{s}$



সমাধান (ক) :  $MN_2$  লবণের দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় :

সম্পূর্ণ দ্রবণে  $MN_2$  এর সাম্যাবস্থায় নিম্নরূপ আয়নিত থাকে। প্রশ্নমতে দ্রাব্যতা =  $0.0002 \text{ molL}^{-1}$

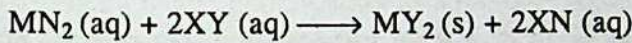


$$\therefore MN_2 \text{ এর দ্রাব্যতা গুণফল, } K_{sp} = [M^{2+}] \times [N^{-}]^2 = (0.0002) \times (2 \times 0.0002)^2$$

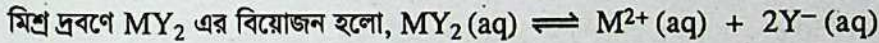
$$\therefore MN_2 \text{ এর } K_{sp} = 0.0002 \times (0.0004)^2 = 3.2 \times 10^{-11} \text{ (উত্তর)}$$

সমাধান (খ) : মিশ্র দ্রবণে  $MY_2$  এর অধঃক্ষেপ পড়বে কিনা—

$MN_2$  ও  $XY$  এর উভয় দ্রবণ মিশ্রিত করলে সম্ভাব্য অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ :



এখন মিশ্র দ্রবণে  $MY_2$  এর  $K_{ip}$  নির্ণয় করতে হবে।



প্রশ্নমতে এখন দ্রবণে  $M^{2+}$  আয়ন ও  $Y^{-}$  আয়ন উভয়ের মোলার ঘনমাত্রা নির্ণয় করে  $MY_2$  এর  $K_{ip}$  নির্ণয় করি। এক্ষেত্রে A পাত্রের  $MN_2$  এর দ্রবণের বেলায়,  $15 \text{ mL } 5 \times 10^{-5}(\text{M}) MN_2$  দ্রবণ  $\equiv 15 \text{ mL } 5 \times 10^{-5}(\text{M}) M^{2+}$  আয়ন আছে।

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন =  $(15 + 10) = 25 \text{ mL}$  হওয়ায়  $M^{2+}$  আয়নের ঘনমাত্রা হবে  $M_2$

$$\therefore V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2 \text{ সম্পর্ক মতে পাই—}$$

$$15 \times 5 \times 10^{-5} = 25 \times M_2; \therefore M_2 = \frac{15 \times 5 \times 10^{-5}}{25} = \boxed{3 \times 10^{-5}(\text{M})}$$

$$\therefore \text{মিশ্র দ্রবণে } [M^{2+}] = 3 \times 10^{-5}$$

অনুরূপভাবে, B পাত্রের  $XY$  এর দ্রবণের বেলায়—

$10 \text{ mL } 0.1(\text{M}) XY$  দ্রবণ  $\equiv 10 \text{ mL } 0.1(\text{M}) Y^{-}$  আয়ন আছে।

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন =  $(15 + 10) = 25 \text{ mL}$  হওয়ায়  $Y^{-}$  আয়নের ঘনমাত্রা হবে  $M_4$

$$\therefore V_3 \times M_3 = V_4 \times M_4 \text{ সম্পর্ক মতে পাই—}$$

$$10 \times 0.1 = 25 \times M_4; \therefore M_4 = \frac{10 \times 0.1}{25} = \boxed{0.04 (\text{M})}$$

$$\therefore \text{মিশ্র দ্রবণে } [Y^{-}] = 0.04$$

সুতরাং মিশ্র দ্রবণে  $MY_2$  এর উভয় আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল,

$$K_{ip} = [M^{2+}] \times [Y^{-}]^2 = 3 \times 10^{-5} \times (0.04)^2 = 4.8 \times 10^{-8}$$

প্রশ্নমতে,  $MY_2$  এর দ্রাব্যতা গুণফল,  $K_{sp} = 1.85 \times 10^{-8}$

সুতরাং প্রশ্নের তথ্য মতে,  $MY_2$  এর  $K_{ip}$  এর মান  $(4.8 \times 10^{-8})$  এর  $K_{sp}$  এর মান  $(1.85 \times 10^{-8})$  থেকে বেশি হওয়ায় ঐ মিশ্রণে  $MY_2$  এর অধঃক্ষেপ পড়বে। এটি গাণিতিকভাবে প্রমাণিত হলো। (উত্তর)



শিক্ষার্থীর কাজ-২.১৬ : দ্রবের দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতা গুণফল সম্পর্কীয় :

প্রশ্ন-২.২০ : লবণের দ্রাব্যতা কী?

[সি. বো. ২০১৭; রা. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-২.২১(ক) : দ্রাব্যতা গুণফল কী?

[দি. বো. ২০১৭; ঢা. বো. ২০১৬; কু. বো. ২০১৬]

(খ)  $25^{\circ}\text{C}$ -এ  $\text{M}(\text{OH})_3$  এর দ্রাব্যতা গুণফল  $2.5 \times 10^{-39}$  বলতে কী বোঝায়?

[সি. বো. ২০১৫]

(গ)  $25^{\circ}\text{C}$ -এ  $\text{BaSO}_4$  এর দ্রাব্যতা গুণফল  $1.1 \times 10^{-10}$  বলতে কী বোঝায়?

[রা. বো. ২০১৭]

(ঘ) কক্ষতাপমাত্রায়  $\text{CaCO}_3$  এর দ্রাব্যতা গুণফল  $8.7 \times 10^{-9}$  বলতে কী বোঝায়?

[দি. বো. ২০১৬]

(ঙ) লবণের আয়নিক গুণফল ও দ্রাব্যতা গুণফলের মধ্যে সম্পর্ক বা পার্থক্য কী?

সমস্যা-২.৩৬(ক) :  $25^{\circ}\text{C}$  এ 300 g পানিতে 75 g  $\text{CuSO}_4$  লবণ দ্রবীভূত করা যায়। ঐ তাপমাত্রায়  $\text{CuSO}_4$  এর দ্রাব্যতা  $\text{g L}^{-1}$  এবং  $\text{mol L}^{-1}$  এ নির্ণয় কর।

[উ:  $250 \text{ g L}^{-1}$ ;  $1.56 \text{ mol L}^{-1}$ ]

সমস্যা-২.৩৬(খ) :  $60^{\circ}\text{C}$  এবং  $30^{\circ}\text{C}$  এ পানিতে কোনো লবণের দ্রাব্যতা যথাক্রমে  $50 \text{ g L}^{-1}$  এবং  $42 \text{ g L}^{-1}$  হয়। উচ্চতর তাপমাত্রায় প্রস্তুত ঐ লবণের 450 g সম্পূর্ণ দ্রবণকে  $30^{\circ}\text{C}$ -এ শীতল করলে কত গ্রাম লবণ কেলাসিত হবে?  $60^{\circ}\text{C}$  এ প্রস্তুত দ্রবণের আপেক্ষিক গুরুত্ব  $1.13 \text{ g cm}^{-3}$ ।

[উ: 3.18 g]

দ্রষ্টব্য : দ্রবণের আয়তন =  $(450 \text{ g} \div 1.13 \text{ g cm}^{-3}) = 398.23 \text{ c.c}$

সমস্যা-২.৩৬(গ) : 95% বিশুদ্ধ খাদ্য লবণ দিয়ে  $80^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায় পানিতে 600 mL সম্পূর্ণ দ্রবণ প্রস্তুত করতে 195 g খাদ্য লবণ প্রয়োজন হয়।  $80^{\circ}\text{C}$ -এ  $\text{NaCl}$  এর দ্রাব্যতা কত? ঐ দ্রবণকে  $25^{\circ}\text{C}$  এ শীতল করলে কত গ্রাম বিশুদ্ধ  $\text{NaCl}$  কেলাসিত হবে।  $25^{\circ}\text{C}$  এ  $\text{NaCl}$  এর দ্রাব্যতা  $240 \text{ g L}^{-1}$ ।

[উ: 164.75g কেলাসিত;  $80^{\circ}\text{C}$  এ দ্রাব্যতা =  $308.75 \text{ g L}^{-1}$ ]

সমস্যা-২.৩৬(ঘ) :  $25^{\circ}\text{C}$ -এ  $\text{MgF}_2$  এর  $K_{sp} = 7.4 \times 10^{-11}$  হয়।  $\text{mol/L}$  ও  $\text{g/L}$  এককে  $25^{\circ}\text{C}$ -এ  $\text{MgF}_2$  এর দ্রাব্যতা গণনা কর।

[উ:  $2.64 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$  ও  $1.64 \times 10^{-2} \text{ g/L}$ ]

সমস্যা-২.৩৬(ঙ)  $35^{\circ}\text{C}$  এ  $\text{AgCl}$  এর দ্রাব্যতা গুণফল  $2.458 \times 10^{-10}$  হলে  $\text{AgCl}$  এর দ্রাব্যতা কত?

[য. বো. ২০১৫] [উ:  $1.5678 \times 10^{-5}$ ]

সমস্যা-২.৩৭ : মর্টার, প্লাস্টার ও সিমেন্টে থাকা কলিচুন,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  সুলভ দ্ধারকরূপে শিল্পে ব্যবহৃত হয়। এটির  $K_{sp} = 6.5 \times 10^{-6}$  হলে  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  এর দ্রাব্যতা  $\text{mol/L}$  কত?

[উ:  $1.175 \times 10^{-2} \text{ M}$ ]

সমস্যা-২.৩৮ : লেড-এসিড কার ব্যাটারির অন্যতম প্রধান উপাদান হলো  $\text{PbSO}_4$ ।  $25^{\circ}\text{C}$ -এ  $\text{PbSO}_4$  এর দ্রাব্যতা হলো  $0.0425 \text{ g/L}$ ।  $\text{PbSO}_4$  এর  $K_{sp}$  কত হবে? ( $\text{Pb} = 207$ )

[উ:  $1.96 \times 10^{-8}$ ]

সমস্যা-২.৩৯ : দাঁতের ক্ষয়রোধে স্বল্প পরিমাণে  $\text{CaF}_2$  টুথপেস্টে মিশানো থাকে।  $25^{\circ}\text{C}$ -এ  $\text{CaF}_2$  এর দ্রাব্যতা  $2.0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$  হলে এটির দ্রাব্যতা-গুণফল কত?

[উ:  $3.2 \times 10^{-11}$ ]

সমস্যা-২.৪০ : গভীর নলকূপের পানিতে থাকা অধিক আয়রন লবণকে  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  রূপে অধঃক্ষিপ্ত করা হয়।  $25^{\circ}\text{C}$  এ  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  এর দ্রাব্যতা গুণফল  $4.5 \times 10^{-22}$  হলে এটির দ্রাব্যতা  $\text{g L}^{-1}$  এককে কত হবে?

[উ:  $2.159 \times 10^{-4} \text{ g L}^{-1}$ ]

সমস্যা-২.৪১ :  $25^{\circ}\text{C}$ -এ  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  এর দ্রাব্যতা  $1.6 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$  হলে এর দ্রাব্যতা গুণফল কত?

[উ:  $1.638 \times 10^{-11}$ ]

সমস্যা-২.৪২ :  $25^{\circ}\text{C}$ -এ 500 mL পানিতে 0.00094 g  $\text{AgCl}$  দ্রবীভূত করে সম্পূর্ণ দ্রবণ তৈরি করা হলো।  $\text{AgCl}$  এর দ্রাব্যতা গুণফল কত হবে? ( $\text{Ag} = 108, \text{Cl} = 35.5$ )।

[উ:  $1.716 \times 10^{-10}$ ]

সমস্যা-২.৪৩ :  $25^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায়  $\text{CaSO}_4$  এর দ্রাব্যতা গুণফল  $2.4 \times 10^{-5}$  হলে ঐ তাপমাত্রায় দ্রবটির দ্রাব্যতা

[উ:  $4.9 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} = 0.67 \text{ g L}^{-1}$ ]

কত?



সমস্যা-২.৪৪ :  $25^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায়  $\text{AgCl}$  এর দ্রাব্যতা  $2.25 \times 10^{-3} \text{g L}^{-1}$  এর দ্রাব্যতা গুণফল কত?

[উ:  $2.465 \times 10^{-10}$ ]।

সমস্যা-২.৪৫ :  $30^{\circ}\text{C}$  এ  $\text{CaCO}_3$  এর দ্রাব্যতা গুণফল  $8.85 \times 10^{-8}$  হলে তখন  $\text{CaCO}_3$  এর  $\text{g L}^{-1}$  ও  $\text{mol L}^{-1}$  এ দ্রাব্যতা কত হবে?

[উ:  $2.9665 \times 10^{-4} \text{mol L}^{-1}$ ;  $2.9665 \times 10^{-2} \text{g L}^{-1}$ ]

সমস্যা-২.৪৬ :  $25^{\circ}\text{C}$ -এ  $\text{Ag}_2\text{CO}_3$  এর সম্পূর্ণ জলীয় দ্রবণে  $[\text{Ag}^+] = 2.56 \times 10^{-4} \text{M}$  হলে তখন দ্রবের  $K_{sp}$  কত?

[উ:  $8.388 \times 10^{-12}$ ]

সমস্যা-২.৪৭ :  $25^{\circ}\text{C}$ -এ  $\text{CaF}_2$  এর সম্পূর্ণ জলীয় দ্রবণে  $\text{F}^-$  আয়নের ঘনমাত্রা  $6.55 \times 10^{-3} \text{g L}^{-1}$  হলে  $\text{CaF}_2$  এর  $K_{sp}$  কত?

[উ:  $2.048 \times 10^{-11}$ ]

সমস্যা-২.৪৮ :  $25^{\circ}\text{C}$ -এ  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  এর সম্পূর্ণ জলীয় দ্রবণে  $\text{OH}^-$  আয়নের ঘনমাত্রা  $9.84 \times 10^{-9} \text{g L}^{-1}$  হলে  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  এর  $K_{sp}$  কত?

[উ:  $3.741 \times 10^{-38}$ ]

সমস্যা-২.৪৯ :  $25^{\circ}\text{C}$ -এ  $\text{Al}(\text{OH})_3$  এর দ্রাব্যতা গুণফল  $3.7 \times 10^{-15} \text{mol L}^{-1}$  হলে ঐ দ্রবণে  $\text{Al}^{3+}$  ও  $\text{OH}^-$  এর ঘনমাত্রা ও  $\text{Al}(\text{OH})_3$  এর দ্রাব্যতা কত হবে?

[উ:  $[\text{Al}^{3+}] = 1.08 \times 10^{-4} \text{mol L}^{-1}$ ;  $[\text{OH}^-] = 3.24 \times 10^{-4} \text{mol L}^{-1}$ ;  $s = 1.08 \times 10^{-4} \text{mol L}^{-1}$ ]

সমস্যা-২.৫০ :  $25^{\circ}\text{C}$ -এ  $\text{M}_2\text{X}_3$  লবণের দ্রাব্যতা  $1.1 \times 10^{-2} \text{mol L}^{-1}$  হলে এর  $K_{sp}$  কত? [উ:  $1.74 \times 10^{-8}$ ]

সমস্যা-২.৫১ :  $18^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায় লেড (II) সালফেট ( $\text{PbSO}_4$ ) এর দ্রাব্যতা গুণফল ( $K_{sp}$ ) হলো  $1.8 \times 10^{-8}$ ।  $40 \text{ mL}$   $1.5 \times 10^{-4} \text{M}$   $\text{Na}_2\text{SO}_4$  এর দ্রবণে  $10 \text{ mL}$   $1.0 \times 10^{-3} \text{M}$  লেড অ্যাসিটেট  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  দ্রবণ মিশ্রিত করলে  $\text{PbSO}_4$  এর অধঃক্ষেপ পড়বে কিনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[উ:  $K_{ip} = 2.4 \times 10^{-8}$ ; তাই অধঃক্ষেপ পড়বে।]

সমস্যা-২.৫২(ক) :  $0.02 \text{M}$   $\text{CaCl}_2$  এর দ্রবণে  $0.0003 \text{M}$   $\text{Na}_2\text{SO}_4$  দ্রবণ সম-আয়তনে মিশ্রিত করা হলো। এর ফলে মিশ্রণে  $\text{CaSO}_4$  এর অধঃক্ষেপ পড়বে কিনা গাণিতিক ব্যাখ্যা কর।  $\text{CaSO}_4$  এর  $K_{sp} = 2.4 \times 10^{-5}$ ।

[উ:  $K_{ip} = 1.5 \times 10^{-6}$  যা  $K_{sp}$  থেকে কম; তাই অধঃক্ষেপ পড়বে না।]

সমস্যা-২.৫২(খ) :  $20^{\circ}\text{C}$  এ  $1 \text{M}$  পাঠে  $0.30 \text{M}$  ঘনমাত্রার  $\text{AB}$  লবণের দ্রবণ এবং  $2 \text{M}$  পাঠে  $0.1 \text{M}$  ঘনমাত্রার  $\text{PQ}$  লবণের দ্রবণ সমআয়তনে আছে।  $20^{\circ}\text{C}$  এ  $\text{AQ}$  এর  $K_{sp} = 3.5 \times 10^{-4}$  এবং  $\text{PB}$  এর  $K_{sp} = 2.5 \times 10^{-2}$ ।

[ঢা. বো. ২০১৬]

(ক) উদ্দীপকের  $\text{AB}$  দ্রবণটি  $20^{\circ}\text{C}$  এ সম্পূর্ণ হলে, তখন  $\text{AB}$  এর দ্রাব্যতা গুণফল কত?

(খ) উদ্দীপকের উভয় দ্রবণকে মিশ্রিত করলে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে কিনা, তা কারণসহ বিশ্লেষণ কর।

[সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৭ দেখো।]

[উ:  $K_{sp} = 0.09$ ;  $\text{AQ}$  এর  $K_{ip} = 7.5 \times 10^{-3}$  যা এর  $K_{sp}$  এর মান  $3.5 \times 10^{-4}$  থেকে বেশি; তাই  $\text{AQ}$  এর অধঃক্ষেপ পড়বে।  $\text{PB}$  এর  $K_{ip}$  এর মান  $7.5 \times 10^{-3}$  যা এর  $K_{sp}$  এর মান  $2.5 \times 10^{-2}$  থেকে কম; তাই  $\text{PB}$  এর অধঃক্ষেপ পড়বে না।]

সমস্যা-২.৫৩(ক) :  $25^{\circ}\text{C}$  এ  $25 \text{ mL}$   $0.02 \text{M}$   $\text{AgNO}_3$  দ্রবণে  $50 \text{ mL}$   $0.04 \text{M}$   $\text{HCl}$  দ্রবণ যোগ করা হলো।  $\text{AgCl}$  এর দ্রাব্যতা গুণফল  $1.8 \times 10^{-10}$  হলে ঐ মিশ্রণে  $\text{AgCl}$  এর অধঃক্ষেপ পড়বে কিনা তা গাণিতিক হারে মূল্যায়ন কর। [উ:  $K_{ip} = 1.78 \times 10^{-4}$ । তাই অধঃক্ষেপ পড়বে।]



সমস্যা-২.৫৩(খ) :  $25^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায়  $1.0\text{L}$   $1.2 \times 10^{-6}\text{M}$   $\text{Na}_2\text{CO}_3$  এর দ্রবণে  $200\text{ mL}$   $1.0 \times 10^{-6}\text{M}$   $\text{BaCl}_2$  দ্রবণ মিশানো হলো। এতে  $\text{BaCO}_3$  এর অধঃক্ষেপ পড়বে কিনা গাণিতিকভাবে তা বিশ্লেষণ কর। এক্ষেত্রে  $\text{BaCO}_3$  এর  $K_{sp} = 8.1 \times 10^{-9}$ ।

[উ:  $K_{ip} = 1.67 \times 10^{-13}$  যা  $K_{sp}$  এর মান থেকে কম। তাই  $\text{BaCO}_3$  অধঃক্ষিপ্ত হবে না।]

সমস্যা-২.৫৪(ক) :  $5\text{ mL}$   $0.5\text{M}$   $\text{AB}$  লবণের দ্রবণে  $0.5\text{mL}$   $0.1\text{M}$   $\text{XY}$  লবণের দ্রবণ যোগ করা হলো।  $\text{AY}_2$  উৎপাদ যোগের  $K_{sp} = 1.85 \times 10^{-8}$  হলে মিশ্রণে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে কিনা গাণিতিকভাবে তা ব্যাখ্যা কর।

[উ:  $K_{ip} = 3.677 \times 10^{-5}$  যা  $K_{sp}$  এর মান থেকে বেশি। তাই  $\text{AY}_2$  অধঃক্ষিপ্ত হবে।]

সমস্যা-২.৫৪(খ) :  $15\text{ mL}$   $5 \times 10^{-5}\text{M}$  ঘনমাত্রার  $\text{MN}_2$  লবণের দ্রবণে  $10\text{ mL}$   $0.1\text{M}$   $\text{XY}$  লবণের দ্রবণ যোগ করা হলো।  $\text{MY}_2$  এর  $K_{sp} = 1.85 \times 10^{-8}$  হলে মিশ্রণে  $\text{MY}_2$  এর অধঃক্ষেপ পড়বে কী? গাণিতিকভাবে তা বিশ্লেষণ কর।  $20^\circ\text{C}$  এ  $\text{MN}_2$  এর দ্রাব্যতা  $0.0002\text{ molL}^{-1}$  হলে  $\text{MN}_2$  লবণটির দ্রাব্যতা গুণফল কত?

[সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৮ দেখো।] [অভিন্ন প্রশ্ন (ক-সেট) ২০১৮]

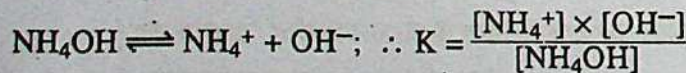
[উ:  $\text{MY}_2$  এর  $K_{ip} = 4.8 \times 10^{-2}$  যা  $K_{sp}$  থেকে বেশি; তাই অধঃক্ষেপ পড়বে।  $\text{MN}_2$  এর  $K_{sp} = 3.2 \times 10^{-11}$ ]

সমস্যা-২.৫৪(গ) :  $50\text{ mL}$   $6 \times 10^{-4}\text{M}$   $\text{ZnSO}_4$  দ্রবণে  $40\text{ mL}$   $0.05\text{M}$   $\text{NaOH}$  দ্রবণ যোগ করা হলো।  $\text{Zn(OH)}_2$  এর দ্রাব্যতা গুণফল  $K_{sp} = 1 \times 10^{-17}$  হলে মিশ্রণে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে কী? এক্ষেত্রে  $\text{Zn(OH)}_2$  এর দ্রাব্যতা কত হবে? [সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৬ দেখো।] [কু. বো. ২০১৬; অভিন্ন প্রশ্ন (খ-সেট) ২০১৮]

[উ:  $\text{Zn(OH)}_2$  এর  $K_{ip} = 1.643 \times 10^{-7}$  যা এর  $K_{sp}$  থেকে বেশি; তাই অধঃক্ষেপ পড়বে। এক্ষেত্রে  $\text{Zn(OH)}_2$  এর দ্রাব্যতা  $1.357 \times 10^{-6}\text{ molL}^{-1}$ ]

### ২.১২.১ দ্রাব্যতার ওপর সম-আয়ন প্রভাব (Common Ion Effect on Solubility)

কোনো দ্রবণে দুটি তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের বিয়োজনের ফলে কোনো একটি নির্দিষ্ট আয়ন যদি উভয় পদার্থ হতে উৎপন্ন হয়ে থাকে, তবে ঐ আয়নটিকে ঐ দ্রবণে ‘সম-আয়ন’ (common ion) বলা হয়। সম-আয়নবিশিষ্ট দুটি তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ যখন একই দ্রবণে দ্রবীভূত থাকে, তখন উভয়ের বিয়োজন মাত্রা তথা দ্রাব্যতা সাধারণত হ্রাস পায়। তবে বিশেষত উভয়ের মধ্যে মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থটির বিয়োজন-মাত্রা অর্থাৎ দ্রাব্যতা যথেষ্ট কমে যায়, তাকে দ্রাব্যতার ওপর ‘সম-আয়ন প্রভাব’ বলে। মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য যৌগটির দ্রাব্যতা-গুণফল ( $K_{sp}$ ) এর স্থির সংখ্যামানটি অপরিবর্তিত রাখার জন্য এরূপ ঘটে। যেমন  $\text{NH}_4\text{OH}$ -এর দ্রবণে তা নিম্নরূপে বিয়োজিত হয় :



এখন ঐ দ্রবণে অপর তড়িৎ-বিশ্লেষ্য  $\text{NH}_4\text{Cl}$  যোগ করার ফলে তা বিয়োজিত হয়ে  $[\text{NH}_4\text{Cl} \longrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{Cl}^-]$  ঐ দ্রবণে  $\text{NH}_4^+$  আয়নের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করে। যদি ঐ বৃদ্ধির পরিমাণ হয়  $x$  তখন,  $\frac{\{[\text{NH}_4^+] + x\} \times [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]} > K$

ফলে পূর্বের সাম্যাবস্থা নষ্ট হয়। পূর্বের সাম্যাবস্থা বজায় রাখতে হলে  $\{[\text{NH}_4^+] + x\}$  এবং  $[\text{OH}^-]$ -এর গুণফলের পরিমাণ কমাতে হবে অথবা  $[\text{NH}_4\text{OH}]$ -এর পরিমাণ বাড়াতে হবে। তা সম্ভব করতে হলে, কিছু  $\text{NH}_4^+$  আয়নের সাথে  $\text{OH}^-$  আয়ন যুক্ত হয়ে  $\text{NH}_4\text{OH}$  অণু গঠন করতে হয়। ফলে  $\text{NH}_4\text{OH}$ -এর আগের বিয়োজন পরিমাণ কমে যায় এবং দ্রবণে  $\text{OH}^-$  আয়নের ঘনমাত্রাও কমে যায়। অর্থাৎ  $\text{NH}_4\text{OH}$  এর দ্রাব্যতা হ্রাস পায়।

বাফার দ্রবণে সম-আয়ন প্রভাব সুস্পষ্টভাবে বোঝা যাবে।



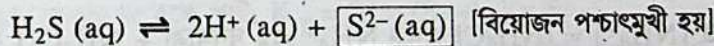
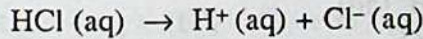
ক্যাটায়ন বিশ্লেষণে 'সম-আয়ন প্রভাব' প্রয়োগ :

\* দুটি তড়িৎ বিশ্লেষ্যের মিশ্র দ্রবণে 'সম-আয়ন প্রভাব' এর ফলে মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্যের দ্রাব্যতা হ্রাস পায়-

- $\text{NH}_4\text{Cl}$  এর দ্রবণে  $\text{NH}_4\text{OH}$  এর বিয়োজন-মাত্রা ও দ্রাব্যতার পরিমাণ, বিশুদ্ধ পানিতে  $\text{NH}_4\text{OH}$  এর বিয়োজন ও দ্রাব্যতার পরিমাণের চেয়ে কম হয়।
- $\text{AgCl}$  এর সম্পৃক্ত দ্রবণে তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্য  $\text{NaCl}$  এর দ্রবণ যোগ করলে  $\text{AgCl}$  এর দ্রাব্যতা হ্রাস পেয়ে  $\text{AgCl}$  এর অধঃক্ষেপ পড়ে।
- $\text{NaCl}$  এর সম্পৃক্ত দ্রবণে তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্য  $\text{HCl}$  এসিড দ্রবণ যোগ করলে  $\text{NaCl}$  এর দ্রাব্যতা হ্রাস পেয়ে  $\text{NaCl}$  কেলসিত হয়।

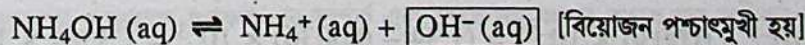
\*\* দুটি ক্যাটায়নের মিশ্র দ্রবণে নির্দিষ্ট একটি ক্যাটায়নকে অধঃক্ষেপণ দ্বারা পৃথক করতে 'সম-আয়ন প্রভাব' প্রয়োগ করে উভয় ক্যাটায়নের প্রয়োজনীয় বিকারকের মোলার ঘনমাত্রা নিয়ন্ত্রণ করা হয়। যেমন—

(i)  $\text{Cu}^{2+}$  ও  $\text{Zn}^{2+}$  আয়নের যৌগ  $\text{CuS}$  ও  $\text{ZnS}$  হলো স্বল্প দ্রবণীয়;  $25^\circ\text{C}$ -এ  $\text{CuS}$  ও  $\text{ZnS}$  এর  $K_{sp}$  হলো যথাক্রমে  $4.0 \times 10^{-38}$  ও  $1.2 \times 10^{-23}$ । তাই ম্যাক্রো বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে  $\text{Cu}^{2+}$  ও  $\text{Zn}^{2+}$  আয়নের মিশ্র দ্রবণে লঘু  $\text{HCl}$  যোগ করে শেষে মূল বিকারক  $\text{H}_2\text{S}$  গ্যাস চালনা করা হয়।  $\text{HCl}$  এসিড ও  $\text{H}_2\text{S}$  এসিড উভয়ের সম-আয়ন যেমন  $\text{H}^+$  আয়নের প্রভাবে  $\text{H}_2\text{S}$  এর বিয়োজন হ্রাস পেয়ে খুব কম সালফাইড ( $\text{S}^{2-}$ ) আয়ন উৎপন্ন হয়।



তখন ঐ কম ঘনমাত্রার  $\text{S}^{2-}$  আয়ন ও  $\text{Cu}^{2+}$  আয়নের 'আয়নিক-গুণফল'  $K_{ip}$  এর মান  $\text{CuS}$  এর  $K_{sp}$  ( $4.0 \times 10^{-38}$ ) এর মানকে অতিক্রম করে; তাই কালো  $\text{CuS}$  অধঃক্ষিপ্ত হয়। কিন্তু ঐ অবস্থায়  $\text{ZnS}$  এর  $K_{ip} < K_{sp}$  থাকায়,  $\text{ZnS}$  দ্রবণে থাকে; অধঃক্ষিপ্ত হয় না।

(ii) অনুরূপভাবে,  $\text{Al(OH)}_3$  ও  $\text{Zn(OH)}_2$  এর  $25^\circ\text{C}$  এ  $K_{sp}$  হলো যথাক্রমে  $3.7 \times 10^{-15}$  ও  $1.8 \times 10^{-11}$  অর্থাৎ  $\text{Al(OH)}_3$  এর দ্রাব্যতা গুণফল কম। তাই  $\text{Al}^{3+}$  আয়ন ও  $\text{Zn}^{2+}$  আয়নের মিশ্র দ্রবণে  $\text{NH}_4\text{Cl}$  দ্রবণ যোগ করে শেষে মূল বিকারক  $\text{NH}_4\text{OH}$  দ্রবণ যোগ করা হয়। এক্ষেত্রে 'সম-আয়ন'  $\text{NH}_4^+$  আয়নের প্রভাবে  $\text{NH}_4\text{OH}$  এর বিয়োজন হ্রাস পায়।



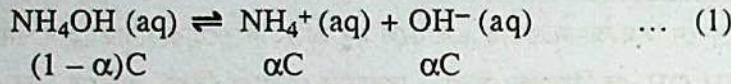
তখন ঐ কম ঘনমাত্রার  $\text{OH}^-$  আয়ন ও  $\text{Al}^{3+}$  আয়নের 'আয়নিক-গুণফল'  $K_{ip}$  এর মান  $\text{Al(OH)}_3$  এর  $K_{sp}$  ( $3.7 \times 10^{-15}$ ) এর মানকে অতিক্রম করে; তাই  $\text{Al(OH)}_3$  এর সাদা জেলির মতো অধঃক্ষেপ পড়ে। কিন্তু ঐ কম ঘনমাত্রার  $\text{OH}^-$  আয়ন ও  $\text{Zn}^{2+}$  আয়নের  $K_{ip} < K_{sp}$  থাকে; তাই  $\text{Zn(OH)}_2$  দ্রবণে থাকে; অধঃক্ষিপ্ত হয় না।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৯ :  $25^\circ\text{C}$ -এ  $0.1\text{M}$   $\text{NH}_4\text{OH}$  এর বিয়োজন ধ্রুবক  $K_b = 1.8 \times 10^{-5}$ । (i)  $0.1\text{M}$   $\text{NH}_4\text{OH}$  দ্রবণে  $\text{OH}^-$  আয়নের ঘনমাত্রা কত? (ii)  $0.1\text{M}$   $\text{NH}_4\text{OH}$  দ্রবণে  $0.5\text{M}$   $\text{NH}_4\text{Cl}$  দ্রবণ যোগ করলে তখন  $\text{OH}^-$  আয়নের ঘনমাত্রা কত হবে? (iii) সাধারণ আয়নের প্রভাবে  $\text{OH}^-$  আয়নের ঘনমাত্রা হ্রাসের পরিমাণ কত হবে?

দক্ষতা : প্রথমে জলীয় দ্রবণে দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য  $\text{NH}_4\text{OH}$  এর বিয়োজন পরিমাণ  $\alpha$  থেকে  $[\text{OH}^-]$  বা  $[\text{NH}_4^+]$  এর  $\alpha\text{C}$  গণনা করা হবে। পরে  $\text{NH}_4\text{Cl}$  এর  $[\text{NH}_4^+]$  এর মান যোগ করে  $\text{NH}_4\text{OH}$  এর হ্রাসপ্রাপ্ত বিয়োজন পরিমাণ  $\alpha'$  গণনা করা হবে।



সমাধান : (i)  $\text{NH}_4\text{OH}$  এর প্রাথমিক মোলার ঘনমাত্রা  $C$  ধরে এর  $\alpha$  অংশ জলীয় দ্রবণে নিম্নরূপে বিয়োজিত হয় :



$$\therefore K_b = \frac{[\text{NH}_4^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]} ; \text{এক্ষেত্রে } K_b = 1.8 \times 10^{-5}; C = 0.1; [\text{NH}_4^+] = [\text{OH}^-] = \alpha C;$$

আবার  $[\text{NH}_4\text{OH}] = (1 - \alpha)C = C$ ; যেহেতু  $\alpha$  এর মান 1 এর তুলনায় খুব ছোট; তাই নগণ্য।

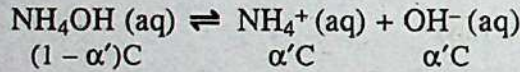
$$\therefore 1.8 \times 10^{-5} = \frac{\alpha C \times \alpha C}{(1 - \alpha)C} = \frac{\alpha^2 C^2}{C} = \alpha^2 C; \text{ বা, } \alpha^2 = \frac{1.8 \times 10^{-5}}{C} = \frac{1.8 \times 10^{-5}}{0.1}$$

$$\text{বা, } \alpha^2 = 1.8 \times 10^{-4}; \text{ বা, } \alpha = \sqrt{1.8 \times 10^{-4}} = 1.34 \times 10^{-2}$$

$$\therefore [\text{OH}^-] = [\text{NH}_4^+] = \alpha C = 1.34 \times 10^{-2} \times 0.1 = \boxed{1.34 \times 10^{-3}}$$

$$\therefore 0.1\text{M } \text{NH}_4\text{OH} \text{ দ্রবণে } \text{OH}^- \text{ আয়নের ঘনমাত্রা} = 1.34 \times 10^{-3} \text{ M}$$

(ii) তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্য  $0.5\text{M } \text{NH}_4\text{Cl}$  দ্রবণে সম্পূর্ণ বিয়োজিত হয়ে ঐ মিশ্র দ্রবণে  $0.5 \text{ mol } \text{NH}_4^+$  আয়ন যোগান দেবে। তখন  $\text{NH}_4\text{OH}$  এর  $K_b$  এর মান স্থির রাখতে পূর্বের সাম্যাবস্থা (1 নং সমীকরণে) পশ্চাৎমুখী হবে। তখন  $\text{NH}_4\text{OH}$  এর বিয়োজন পরিমাণ হ্রাস পেয়ে  $\alpha'$  হবে। যেমন—



সুতরাং মিশ্র দ্রবণে বৃদ্ধিপ্রাপ্ত  $[\text{NH}_4^+] = (\text{NH}_4\text{Cl} \text{ প্রদত্ত } \text{NH}_4^+ \text{ এর ঘনমাত্রা} + \text{NH}_4\text{OH} \text{ প্রদত্ত } \text{NH}_4^+ \text{ এর ঘনমাত্রা})$

$$= (0.5 + \alpha' C) = 0.5; \text{ যেহেতু } \alpha' C \text{ খুবই ছোট; অর্থাৎ নগণ্য}$$

$$\therefore K_b = \frac{[\text{NH}_4^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]} ; = \frac{(0.5 + \alpha' C) \times [\text{OH}^-]}{(1 - \alpha')C} = \frac{0.5 \times [\text{OH}^-]}{C}$$

$$\text{বা, } 1.8 \times 10^{-5} = \frac{0.5 \times [\text{OH}^-]}{0.1}; \text{ বা, } [\text{OH}^-] = \frac{1.8 \times 10^{-5} \times 0.1}{0.5} = \boxed{3.6 \times 10^{-6}}$$

$$\therefore \text{ মিশ্র দ্রবণে } \text{OH}^- \text{ আয়নের ঘনমাত্রা হলো} = 3.6 \times 10^{-6} \text{ M}$$

$$(iii) \text{ সুতরাং } \text{OH}^- \text{ আয়নের ঘনমাত্রা হ্রাস} = (1.34 \times 10^{-3} - 3.6 \times 10^{-6})$$

$$= (1.34 \times 10^{-3} - 0.0036 \times 10^{-3}) = (1.34 - 0.0036) \times 10^{-3} = 1.3364 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

শতকরা হিসাবে :  $0.1 \text{ mol } \text{NH}_4\text{OH}$  জলীয় দ্রবণে বিয়োজিত হয় =  $1.34 \times 10^{-3}$  অংশ

$$\therefore 100 \text{ mol } \text{NH}_4\text{OH} \text{ জলীয় দ্রবণে বিয়োজিত হয়} = \frac{1.34 \times 10^{-3} \times 100}{0.1} = 1.34 \text{ বা, } 1.34\%$$

আবার  $\text{NH}_4\text{Cl}$  মিশ্রিত অবস্থায়  $0.1 \text{ mol } \text{NH}_4\text{OH}$  বিয়োজিত হয় =  $3.6 \times 10^{-6}$  অংশ

$$\therefore \text{NH}_4\text{Cl} \text{ মিশ্রিত অবস্থায় } 100 \text{ mol } \text{NH}_4\text{OH} \text{ বিয়োজিত হয়} = \frac{3.6 \times 10^{-6} \times 100}{0.1} = 3.6 \times 10^{-3}$$

$$\text{বা, } 0.0036\%$$

উত্তর : (i)  $\text{OH}^-$  আয়নের প্রাথমিক ঘনমাত্রা =  $1.34 \times 10^{-3} \text{ M}$

$$\text{OH}^- \text{ আয়নের শেষ ঘনমাত্রা} = 3.6 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$$

(ii)  $\text{OH}^-$  আয়ন হ্রাসের মোট পরিমাণ =  $1.3364 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$

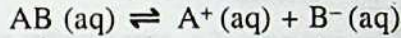
(iii) জলীয় দ্রবণে  $\text{NH}_4\text{OH}$  বিয়োজন পরিমাণ =  $1.34\%$  এবং  $\text{NH}_4\text{Cl}$  মিশ্রিত অবস্থায় বিয়োজন পরিমাণ  $0.0036\%$



সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬০ :  $25^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায় স্বল্প দ্রবণীয় AB লবণের পানিতে দ্রাব্যতা হলো  $S \text{ mol L}^{-1}$ ; ঐ দ্রবণে  $x \text{ mol}^{-1}$  ঘনমাত্রার তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্য AQ লবণের দ্রবণ যোগ করা হলো। ফলে AB এর দ্রাব্যতার কীরূপ পরিবর্তন ঘটবে তার সাধারণ সমীকরণ প্রতিষ্ঠা কর।

দক্ষতা : AB লবণের জলীয় দ্রবণে সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য AQ লবণের দ্রবণ যোগ করায় উভয় লবণ থেকে দ্রবণে 'সম-আয়ন'  $A^{+}$  যোগ হওয়ায় AB এর দ্রাব্যতা হ্রাস পাবে।

সমাধান :  $25^{\circ}\text{C}$  এ AB লবণটি সম্পূর্ণ দ্রবণে নিম্নরূপ সাম্যাবস্থায় থাকে :



AB লবণের দ্রাব্যতা  $S \text{ mol L}^{-1}$  হওয়ায়  $25^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায় AB লবণের দ্রাব্যতা গুণফল,

$$K_{sp} = [A^{+}] \times [B^{-}] = S \times S = S^2 \quad \dots (1)$$

ধরা যাক, AB এর এ সম্পূর্ণ দ্রবণে  $x \text{ mol L}^{-1}$  ঘনমাত্রার তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্য AQ লবণের দ্রবণ সবটা যোগ করা হলো। ফলে AQ ও AB এর মধ্যে  $A^{+}$  আয়নটি সম-আয়ন হওয়ায়, 'সম-আয়নের প্রভাবে' দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য AB লবণের দ্রাব্যতা হ্রাস পায়। ধরা যাক, তখন AB এর হ্রাস প্রাপ্ত দ্রাব্যতা হলো  $S_1 \text{ mol L}^{-1}$ । AQ তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্য হওয়ায় এটি শতভাগ আয়নিত বা বিয়োজিত হয়ে মিশ্র দ্রবণ  $x \text{ mol A}^{+}$  আয়ন যোগান দেবে। মিশ্র দ্রবণে  $A^{+}$  আয়নের মোট ঘনমাত্রা হবে  $(S_1 + x) \text{ mol L}^{-1}$  এবং  $B^{-}$  আয়নের ঘনমাত্রা হবে  $S_1 \text{ mol L}^{-1}$ । যেহেতু নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় স্বল্প দ্রবণীয় AB লবণের দ্রাব্যতা গুণফল, ( $K_{sp}$ ) এর মান ধ্রুব থাকে; তাই এ মিশ্র দ্রবণেও AB লবণের দ্রাব্যতা গুণফল হবে :

$$K_{sp} = [A^{+}] \times [B^{-}] = (S_1 + x) \times S_1 \quad \dots (2)$$

এখন সমীকরণ (1) ও (2) নং হতে পাই,  $K_{sp} = S^2 = (S_1 + x) \times S_1$

এটিই হলো 'সম-আয়ন প্রভাব' যুক্ত স্বল্প দ্রবণীয় AB লবণের দ্রবণে অধিক দ্রবণীয় AQ এর দ্রবণ মিশানোর ফলে AB এর দ্রাব্যতা হ্রাস সম্পর্কীয় সমীকরণ।

এক্ষেত্রে,  $S =$  স্বল্প দ্রবণীয় AB লবণের পানিতে দ্রাব্যতা (নির্দিষ্ট তাপমাত্রায়),

$S_1 =$  ঐ স্বল্প দ্রবণীয় AB লবণের হ্রাস প্রাপ্ত দ্রাব্যতা,

$x =$  অধিক দ্রবণীয় AQ লবণের সম-আয়নটির মোলার ঘনমাত্রা।

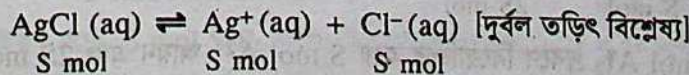
সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬১ :  $25^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায়  $\text{AgCl}$  এর দ্রাব্যতা গুণফল  $K_{sp} = 1.7 \times 10^{-10}$ । ঐ  $\text{AgCl}$  এর সম্পূর্ণ দ্রবণে  $0.1M \text{ NaCl}$  দ্রবণ যোগ করা হলো। (ক)  $25^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায় পানিতে  $\text{AgCl}$  এর দ্রাব্যতা ও (খ) মিশ্র দ্রবণে  $\text{AgCl}$  এর হ্রাসপ্রাপ্ত দ্রাব্যতা নির্ণয় কর।

দক্ষতা : প্রথমে দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতা-গুণফল-এর সম্পর্ক এবং শেষে সম-আয়ন প্রভাব যুক্ত সমীকরণ ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : (ক)  $25^{\circ}\text{C}$  এ  $\text{AgCl}$  এর দ্রাব্যতা নির্ণয় :

ধরা যাক,  $25^{\circ}\text{C}$  এ  $\text{AgCl}$  এর দ্রাব্যতা হলো  $S \text{ mol L}^{-1}$

$\text{AgCl}$  এর সম্পূর্ণ দ্রবণে  $\text{AgCl}$  নিম্নরূপ সাম্যাবস্থায় থাকে :



উপরোক্ত সমীকরণ মতে,  $S \text{ mol AgCl}$  হতে  $S \text{ mol Ag}^{+}$  আয়ন ও  $S \text{ mol Cl}^{-}$  আয়ন তৈরি হয়। তাই,  $[\text{Ag}^{+}] = S$  এবং  $[\text{Cl}^{-}] = S$  হয়।

$$\therefore \text{AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল, } K_{sp} = [\text{Ag}^{+}] \times [\text{Cl}^{-}] = S \times S = S^2$$

$$\therefore \text{প্রশ্ন মতে, } S^2 = 1.7 \times 10^{-10}; \text{ or, } S = \sqrt{1.7 \times 10^{-10}} = 1.3 \times 10^{-5}$$

$$\therefore 25^{\circ}\text{C তাপমাত্রায় } \text{AgCl এর দ্রাব্যতা, } S = 1.3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1} \quad (\text{উত্তর})$$

MCQ-2.37 :  $A_2B_3$  এর দ্রাব্যতা  $S$  হলে এর  $K_{sp}$  কোনটি? [মাদ্রাসা বোর্ড ২০১৮]

(ক)  $8s^3$  (খ)  $16s^4$  (গ)  $108s^5$  (ঘ)  $216s^6$



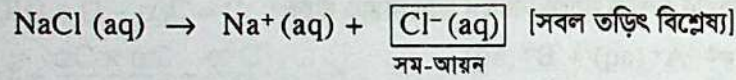
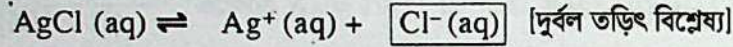
১৭২

রসায়ন-প্রথম পত্র

সমাধান : (খ) মিশ্র দ্রবণে AgCl এর হ্রাস প্রাপ্ত দ্রাব্যতা নির্ণয় :

ধরা যাক, 0.1M NaCl এর দ্রবণ মিশ্রিত AgCl এর হ্রাস প্রাপ্ত দ্রাব্যতা হলো  $S_1 \text{ mol L}^{-1}$ .

উভয় লবণের বিয়োজন নিম্নরূপ :



উপরোক্ত উভয় সমীকরণ মতে,  $\text{Cl}^-$  আয়ন হলো 'সম-আয়ন';  $\text{Ag}^+$  আয়নের ঘনমাত্রা =  $S_1 \text{ mol L}^{-1}$  এবং  $\text{Cl}^-$  আয়নের ঘনমাত্রা হয় =  $(S_1 + 0.1) \text{ mol L}^{-1}$

$\therefore$  মিশ্র দ্রবণে AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল,  $K_{sp} = [\text{Ag}^+] \times [\text{Cl}^-]$

এ সমীকরণে,  $K_{sp} = 1.7 \times 10^{-10}$  এবং  $[\text{Ag}^+] = S_1 \text{ mol L}^{-1}$  ও  $[\text{Cl}^-] = (S_1 + 0.1) \text{ mol L}^{-1}$  মান বসিয়ে পাই,

$$1.7 \times 10^{-10} = S_1 \times (S_1 + 0.1); \text{ বা, } S_1^2 + 0.1S_1 = 1.7 \times 10^{-10}$$

$S_1$  এর মান খুব ছোট হওয়ায়  $S_1^2$  এর মান আরো নগণ্য হয়ে পড়ে। তাই  $S_1^2$  বাদ দিয়ে পাই,

$$0.1S_1 = 1.7 \times 10^{-10}; \text{ বা, } S_1 = \frac{1.7 \times 10^{-10}}{0.1} = 1.7 \times 10^{-9}$$

$\therefore 25^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায়, AgCl এর হ্রাস প্রাপ্ত দ্রাব্যতা,  $\boxed{S_1 = 1.7 \times 10^{-9} \text{ mol L}^{-1}}$  (উত্তর)

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬২ :  $25^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় একটি বিকারে  $\text{Al}_2$  লবণের সম্পৃক্ত দ্রবণ আছে। ঐ দ্রবণে 0.1 M ঘনমাত্রার সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য  $\text{AlCl}_2$  লবণের দ্রবণ যোগ করা হলো।  $\text{Al}_2$  এর  $K_{sp} = 6.3 \times 10^{-6}$ ।

(i)  $25^\circ\text{C}$  এ  $\text{Al}_2$  এর দ্রাব্যতা গণনা কর।

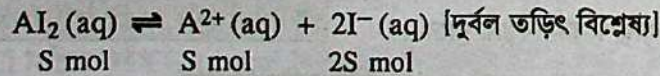
(ii) মিশ্র দ্রবণে  $\text{Al}_2$  এর দ্রাব্যতার কোনো পরিবর্তন হবে কিনা, তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

দক্ষতা : প্রথমে দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতার গুণফলের সম্পর্ক সমীকরণ এবং শেষে সম-আয়ন প্রভাবযুক্ত সমীকরণ ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : (i)  $25^\circ\text{C}$ -এ  $\text{Al}_2$  লবণের দ্রাব্যতা গণনা :

ধরা যাক,  $25^\circ\text{C}$ -এ  $\text{Al}_2$  লবণের দ্রাব্যতা হলো  $S \text{ mol L}^{-1}$

$\text{Al}_2$  লবণের সম্পৃক্ত দ্রবণে নিম্নরূপ সাম্যাবস্থা থাকে :



উপরোক্ত সমীকরণ মতে,  $S \text{ mol Al}_2$  দ্রবণে বিয়োজিত হয়ে  $S \text{ mol A}^{2+}$  আয়ন এবং  $2S \text{ mol I}^-$  আয়ন তৈরি করে। তাই  $[\text{A}^{2+}] = S$  এবং  $[\text{I}^-] = 2S$  হয়।

$$\therefore \text{Al}_2 \text{ এর দ্রাব্যতা গুণফল, } K_{sp} = [\text{A}^{2+}] \times [\text{I}^-]^2 = S \times (2S)^2 = 4S^3$$

$$\text{প্রশ্ন মতে, } 4S^3 = 6.3 \times 10^{-6}; \text{ বা, } S^3 = \frac{6.3 \times 10^{-6}}{4} = 1.575 \times 10^{-6}$$

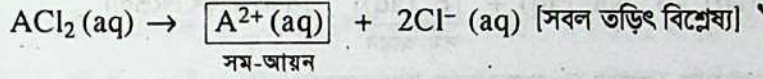
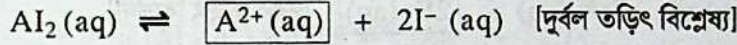
$$\therefore S = \sqrt[3]{1.575 \times 10^{-6}} = 1.1635 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}. \quad \text{(উত্তর)}$$



সমাধান : (ii) মিশ্র দ্রবণে  $Al_2$  এর দ্রাব্যতা-গুণফল গণনা :

ধরা যাক,  $0.1M AlCl_2$  এর দ্রবণ মিশ্রিত  $Al_2$  এর পরিবর্তিত দ্রাব্যতা হলো  $S_1 \text{ mol L}^{-1}$ ।

উভয় লবণের বিয়োজন নিম্নরূপ :



উপরোক্ত উভয় সমীকরণ মতে,  $A^{2+}$  হলো 'সম-আয়ন'; তাই  $A^{2+}$  আয়নের ঘনমাত্রা হয়  $(S_1 + 0.1) \text{ mol L}^{-1}$  এবং  $I^{-}$  আয়নের ঘনমাত্রা হয়  $2S_1 \text{ mol L}^{-1}$ ।

$$\therefore \text{ মিশ্র দ্রবণে, } Al_2 \text{ এর } K_{sp} = [A^{2+}] \times [I^{-}]^2 = (S_1 + 0.1) \times (2S_1)^2$$

এ সমীকরণে  $K_{sp} = 6.3 \times 10^{-6}$  এবং  $[A^{2+}]$  ও  $[I^{-}]$  এর মান বসিয়ে পাই,

$$6.3 \times 10^{-6} = 4S_1^2 (S_1 + 0.1); \text{ বা, } 6.3 \times 10^{-6} = 4S_1^3 + 0.4 S_1^2$$

বা,  $0.4 S_1^2 = 6.3 \times 10^{-6}$  [ $S_1$  এর মান ছোট হওয়ায়  $S_1^2$  এর তুলনায়  $S_1^3$  এর মান নগণ্য হয়।]

$$\text{বা, } S_1^2 = \frac{6.3 \times 10^{-6}}{0.4} = 15.75 \times 10^{-6}; \text{ বা, } S_1 = \sqrt{15.75 \times 10^{-6}}$$

$$\text{বা, } S_1 = 3.968 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$$

$\therefore 25^\circ C$  তাপমাত্রায় মিশ্র দ্রবণে  $Al_2$  এর দ্রাব্যতা হয়  $3.968 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ ; যা, পূর্বের পানিতে  $Al_2$  এর দ্রাব্যতার মান হতে কম। সুতরাং সম-আয়নের প্রভাবে  $Al_2$  এর দ্রাব্যতা হ্রাস পেয়েছে। (উত্তর)

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬৩ :  $25^\circ C$  তাপমাত্রায় একটি বিকারে  $SrF_2$ -এর পানিতে সম্পৃক্ত দ্রবণ আছে।  $SrF_2$  এর দ্রাব্যতা গুণফল হলো  $8.0 \times 10^{-10}$ । ঐ বিকারের দ্রবণে  $0.1M NaF$  দ্রবণ যোগ করা হলো। [দি. বো. ২০১৭]

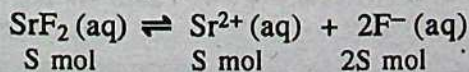
(ক)  $25^\circ C$  তাপমাত্রায় পানিতে  $SrF_2$  এর দ্রাব্যতা গণনা কর।

(খ) পানিতে  $SrF_2$  এর দ্রাব্যতা ও  $0.1M NaF$  দ্রবণ মিশ্রিত মিশ্র দ্রবণে  $SrF_2$  এর দ্রাব্যতা মানের পার্থক্য গণনা কর এবং উভয় অবস্থায় দ্রাব্যতা মানের পার্থক্যের কারণ বিশ্লেষণ কর।

সমাধান : (ক) পানিতে  $SrF_2$  এর দ্রাব্যতা নির্ণয় :

ধরা যাক,  $25^\circ C$  এ  $SrF_2$  এর দ্রাব্যতা হলো  $S \text{ mol L}^{-1}$ ।

$SrF_2$  লবণের সম্পৃক্ত দ্রবণে নিম্নরূপ সাম্যাবস্থা থাকে :



উপরোক্ত সমীকরণ মতে,  $S \text{ mol } SrF_2$  দ্রবণে বিয়োজিত হয়ে  $S \text{ mol } Sr^{2+}$  আয়ন এবং  $2S \text{ mol } F^{-}$  আয়ন তৈরি করে।

$$\therefore \text{ পানিতে } SrF_2 \text{ এর দ্রাব্যতা গুণফল, } K_{sp} = [Sr^{2+}] \times [F^{-}]^2 = S \times (2S)^2 = 4S^3$$

$$\text{প্রশ্ন মতে, } 4S^3 = 8.0 \times 10^{-10}; \text{ বা, } S^3 = \frac{8.0 \times 10^{-10}}{4} = 2.0 \times 10^{-10}$$

$$\therefore S = \sqrt[3]{2.0 \times 10^{-10}} = 5.848 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ (উত্তর)}$$

**MCQ-2.38** :  $CaF_2$  এর দ্রাব্যতা  $0.0002 \text{ mol L}^{-1}$  হলে এর  $K_{sp}$  কত হবে? [অভিন্ন বোর্ড ২০১৮]

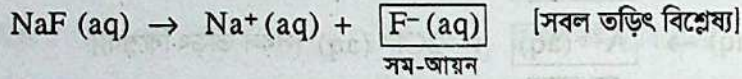
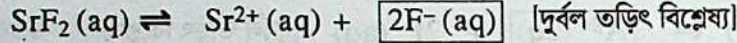
(ক)  $2.3 \times 10^{-11}$  (খ)  $3.2 \times 10^{-11}$   
(গ)  $2.3 \times 10^{10}$  (ঘ)  $3.2 \times 10^{-10}$



সমাধান : (খ) 0.1M NaF মিশ্রিত দ্রবণে  $\text{SrF}_2$  এর দ্রাব্যতা গণনা :

ধরা যাক, 0.1M NaF দ্রবণ মিশ্রিত  $\text{SrF}_2$  এর পরিবর্তিত দ্রাব্যতা হলো  $S_1 \text{ mol L}^{-1}$ ।

উভয় লবণের বিয়োজন নিম্নরূপ :



উপরোক্ত উভয় সমীকরণ মতে, এখানে  $\text{F}^{-}$  আয়ন হলো 'সম-আয়ন';

তাই  $\text{Sr}^{2+}$  আয়নের ঘনমাত্রা হয়  $S_1 \text{ mol L}^{-1}$  এবং  $\text{F}^{-}$  আয়নের ঘনমাত্রা হয়  $(2S_1 + 0.1) \text{ mol L}^{-1}$ ।

$$\therefore \text{মিশ্র দ্রবণে, } \text{SrF}_2 \text{ এর } K_{sp} = [\text{Sr}^{2+}] \times [\text{F}^{-}]^2 = S_1 \times (2S_1 + 0.1)^2$$

$$\therefore 8.0 \times 10^{-10} = S_1(2S_1 + 0.1)^2 = S_1[4S_1^2 + 2 \times 2S_1 \times 0.1 + (0.1)^2]$$

বা,  $8.0 \times 10^{-10} = 4S_1^3 + 0.4S_1^2 + 0.01S_1$ ; এ ক্ষেত্রে  $S_1$  এর মান খুব ছোট হওয়ায় উচ্চ ঘাতযুক্ত  $0.4S_1^2$  ও  $4S_1^3$  পদ দুটির মান আরো ছোট ও নগণ্য হয়। তাই  $4S_1^3$  ও  $0.4S_1^2$  পদ দুটি বাদ দিয়ে সহজভাবে গণনা করা যায়।

$$\text{বা, } 0.01S_1 = 8.0 \times 10^{-10} \text{ হয়; বা, } S_1 = \frac{8.0 \times 10^{-10}}{0.01} = 8.0 \times 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$$

ফলাফল বিশ্লেষণ : (i) পানিতে  $\text{SrF}_2$  এর দ্রাব্যতা ( $25^\circ\text{C}$ -এ)  $= 5.848 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$  এবং

(ii) 0.1M NaF মিশ্রিত অবস্থায়  $\text{SrF}_2$  এর দ্রাব্যতা  $= 8.0 \times 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$  হয়।

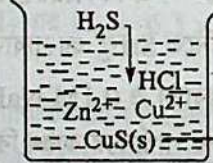
0.1M NaF দ্রবণ মিশ্রিত অবস্থায়  $\text{SrF}_2$  এর দ্রাব্যতা উল্লেখযোগ্য পরিমাণে হ্রাস পেয়েছে। এর কারণ সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য NaF থেকে অধিক  $\text{F}^{-}$  আয়ন যোগ হওয়ায়  $K_{sp}$  এর মান ধ্রুব রাখার জন্য মিশ্র দ্রবণে সম-আয়ন  $\text{F}^{-}$  আয়নের প্রভাবে দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য  $\text{SrF}_2$  এর বিয়োজন এর সাম্যাবস্থা পশ্চাত্মুখী হয় অর্থাৎ বিয়োজন হ্রাস পায়। এটিকে সম-আয়ন প্রভাব বলে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬৪ : নিম্নোক্ত উদ্দীপক মতে সমস্যা সমাধান কর।

[ব. বো. ২০১৭]

(ক) উদ্দীপকের অধঃক্ষিপ্ত যৌগটির দ্রাব্যতা নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপক দ্রবণে বিদ্যমান ক্যাটায়ন দুটি প্রদত্ত বিকারক সহবিক্রিয়ায় একই সাথে অধঃক্ষেপ সৃষ্টি করে না;—এর যুক্তিসহ বিশ্লেষণ কর।



ZnS এর  $K_{sp} = 3 \times 10^{-23}$

CuS এর  $K_{sp} = 5 \times 10^{-38}$

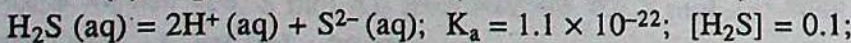
অধঃক্ষিপ্ত;  $1^\circ\text{C} = 25^\circ\text{C}$

দ্রষ্টব্য : প্রশ্নের (ক) অংশটি অর্থাৎ CuS এর দ্রাব্যতা নির্ণয় করা যায়; কারণ CuS এর  $K_{sp}$  প্রশ্নে দেয়া আছে।

কিন্তু (খ) অংশটি সমাধানের জন্য প্রশ্নটি অসম্পূর্ণ। কারণ প্রশ্নে সালফাইড ( $\text{S}^{2-}$ ) আয়নের ঘনমাত্রা নির্ণয়ের জন্য  $\text{H}_2\text{S}$  এর আয়নিকরণ ধ্রুবক,  $K_a = 1.1 \times 10^{-22}$  এবং  $\text{H}_2\text{S}$  এর সম্পূর্ণ দ্রবণের ঘনমাত্রা 0.1M দেয়া নেই এবং HCl এর ঘনমাত্রা 0.3M দেয়া নেই।  $\text{Zn}^{2+}$  আয়ন ও  $\text{Cu}^{2+}$  আয়নের ঘনমাত্রা 0.1M দেয়া নেই। ফলে ZnS এর  $K_{ip}$  এবং CuS এর  $K_{ip}$  গণনা করার সুযোগ নেই।

উপরোক্ত তথ্য যোগ করে প্রশ্নের (খ) অংশটি সমাধান করা হলো।

সমাধান (খ) :  $\text{H}_2\text{S}$  এর বিয়োজন নিম্নরূপ ( $\text{S}^{2-}$  আয়নের ঘনমাত্রা নির্ণয়) :



আবার 0.3M HCl দ্রবণে  $[\text{H}^{+}] = 0.3$ ; এ সব মান নিচের সমীকরণে বসিয়ে পাই;

$$K_a = \frac{[\text{H}^{+}]^2 \times [\text{S}^{2-}]}{[\text{H}_2\text{S}]}; \text{ বা, } 1.1 \times 10^{-22} = \frac{(0.3)^2 \times [\text{S}^{2-}]}{0.1}$$

$$\text{বা, } [\text{S}^{2-}] = \frac{1.1 \times 10^{-22} \times 0.1}{(0.3)^2} = \frac{1.1 \times 10^{-23}}{9 \times 10^{-2}} = \boxed{1.222 \times 10^{-22}}$$

**MCQ-2.39** : সম-আয়ন

প্রভাব বিদ্যমান কোনটিতে?

[অভিন্ন বোর্ড, ২০১৮]

(ক)  $\text{H}_2\text{S}$ , HCl

(খ) NaCl,  $\text{CH}_3\text{Cl}$

(গ)  $\text{CH}_4$ , HCl

(ঘ)  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$



(i) প্রশ্ন মতে,  $0.1M Cu^{2+}$  আয়নের জন্য,  $[Cu^{2+}] = 0.1$

$\therefore CuS$  এর আয়নিক গুণফল,  $K_{ip} = [Cu^{2+}] \times [S^{2-}] = 0.1 \times 1.222 \times 10^{-22} = 1.222 \times 10^{-23}$

প্রশ্ন মতে,  $CuS$  এর  $K_{sp} = 5 \times 10^{-38}$ ;  $\therefore CuS$  এর  $K_{ip} > K_{sp}$  হওয়ায় ঐ দ্রবণে  $CuS$  অধঃক্ষিপ্ত হয়েছে।

(ii) আবার প্রশ্ন মতে,  $0.1M Zn^{2+}$  আয়নের জন্য  $[Zn^{2+}] = 0.1$

$\therefore ZnS$  এর আয়নিক গুণফল,  $K_{ip} = [Zn^{2+}] \times [S^{2-}] = 0.1 \times 1.222 \times 10^{-22} = 1.222 \times 10^{-23}$

প্রশ্ন মতে,  $ZnS$  এর  $K_{sp} = 3 \times 10^{-23}$ ;  $\therefore ZnS$  এর  $K_{ip} < K_{sp}$  হওয়ায় ঐ মিশ্র দ্রবণে  $CuS$  অধঃক্ষিপ্ত হলেও  $ZnS$  একই সাথে অধঃক্ষিপ্ত হবে না।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.১৭ : সম-আয়ন প্রভাবভিত্তিক সমস্যা :

প্রশ্ন-২.২২ (ক) : সম-আয়ন প্রভাব কী? [ঢা. বো. ২০১৬]

(খ) সম-আয়ন প্রভাবের ফলে মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্যের দ্রাব্যতা হ্রাস পায় কেন? [সি. বো. ২০১৭]

(গ) সম-আয়ন প্রভাবযুক্ত স্বল্প দ্রবণীয়  $AB$  লবণের দ্রবণে  $AQ$  এর দ্রবণ মিশালে  $AB$  এর দ্রাব্যতা হ্রাসের সমীকরণ  $K_{sp} = S_2 = (S_1 + x)S_1$  প্রতিষ্ঠা কর।

সমস্যা-২.৫৫ (ক) :  $25^\circ C$  তাপমাত্রায়  $AgCl$  এর সম্পূর্ণ দ্রবণে  $KCl$  এর দ্রবণ যোগ করা হলো যেন মিশ্রণে ক্লোরাইড আয়নের ঘনমাত্রা  $0.05M$  হয়। এতে  $Ag^+$  আয়নের ঘনমাত্রা কীরূপ পরিবর্তিত হবে?  $25^\circ C$ -এ  $AgCl$  এর দ্রাব্যতা গুণফল  $= 1.5 \times 10^{-10}$ ।

[উ: জলীয় দ্রবণে,  $Ag^+ = 1.2247 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ ; মিশ্র দ্রবণে,  $Ag^+ = 3.0 \times 10^{-9} \text{ mol L}^{-1}$ ]

সমস্যা-২.৫৫ (খ) :  $35^\circ C$  তাপমাত্রায়  $AgCl$  এর দ্রাব্যতা গুণফল  $2.458 \times 10^{-10}$ । এর সম্পূর্ণ দ্রবণে  $0.1M NaCl$  দ্রবণ যোগ করলে  $AgCl$  এর দ্রাব্যতার কোনো পরিবর্তন হবে কি? কারণসহ তা বিশ্লেষণ কর। [য. বো. ২০১৫]

[উ: প্রাথমিক দ্রাব্যতা,  $1.5678 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ ,

২য় দ্রাব্যতা  $= 2.458 \times 10^{-9} \text{ mol L}^{-1}$ ; দ্রাব্যতা হ্রাস পেয়েছে।]

সমস্যা-২.৫৫ (গ) :  $25^\circ C$  তাপমাত্রায়  $BaSO_4$  এর দ্রাব্যতার গুণফল হলো  $1.1 \times 10^{-10}$ । এর সম্পূর্ণ দ্রবণে  $0.1M BaCl_2$  দ্রবণ যোগ করা হলো। এতে  $BaSO_4$  এর দ্রাব্যতা কত হবে? [উ:  $1.1 \times 10^{-9} \text{ mol L}^{-1}$ ]

সমস্যা-২.৫৫ (ঘ) :  $25^\circ C$  তাপমাত্রায়  $MgSO_4$  এর দ্রাব্যতা গুণফল হলো  $1.8 \times 10^{-12}$ । এর সম্পূর্ণ দ্রবণে  $0.01(M) MgCl_2$  দ্রবণ মিশ্রিত করা হলো। এতে  $MgSO_4$  এর দ্রাব্যতার কীরূপ পরিবর্তন ঘটবে তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [উ: পানিতে দ্রাব্যতা  $= 1.34 \times 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ ; হ্রাসপ্রাপ্ত দ্রাব্যতা  $= 1.8 \times 10^{-10} \text{ mol L}^{-1}$ ]

সমস্যা-২.৫৫ (ঙ) :  $25^\circ C$  তাপমাত্রায়  $MgI_2$  লবণের দ্রাব্যতা গুণফল হলো  $2.8 \times 10^{-10}$ । এর সম্পূর্ণ দ্রবণে  $0.05 M KI$  দ্রবণ যোগ করা হলো। (i) জলীয় দ্রবণে ও (ii)  $KI$  দ্রবণ মিশ্রিত অবস্থায়  $MgI_2$  লবণের দ্রাব্যতা গণনা কর।

[উ: (i)  $1.673 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ ; (ii)  $5.6 \times 10^{-9} M$ ]

সমস্যা-২.৫৫ (চ) :  $25^\circ C$  তাপমাত্রায়  $Fe(OH)_3$  এর দ্রাব্যতা গুণফল হলো  $3.98 \times 10^{-38}$ । এ দ্রবণে  $0.1M NaOH$  দ্রবণ যোগ করা হলে  $Fe^{3+}$  আয়নের ঘনমাত্রার কীরূপ পরিবর্তন হবে?

[উ: (i) প্রাথমিক দ্রাব্যতা  $= 1.9594 \times 10^{-10} M$ ; (ii) মিশ্র দ্রবণে দ্রাব্যতা  $= 3.98 \times 10^{-35} M$ ]

সমস্যা-২.৫৫ (ছ) :  $25^\circ C$  তাপমাত্রায় এক লিটার দ্রবণে সর্বোচ্চ  $1.0 \times 10^{-3}$  মোল  $PbI_2$  দ্রবীভূত আছে।

(i) এক্ষেত্রে  $PbI_2$  এর দ্রাব্যতা গুণফল কত? (ii)  $I^-(aq)$  আয়নের ঘনমাত্রা হ্রাস করলে  $PbI_2(s)$  এর সাথে সাম্যাবস্থায় থাকা  $Pb^{2+}(aq)$  এর ঘনমাত্রায় কীরূপ প্রভাব পড়বে?

[উ: (i)  $K_{sp} = 4.0 \times 10^{-9}$ ; (ii) দ্রাব্যতা,  $S_1 = \frac{1}{4} \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ ;

সুতরাং  $Pb^{2+}$  আয়নের মোলারিটি পূর্বের এক-চতুর্থাংশ হবে।]



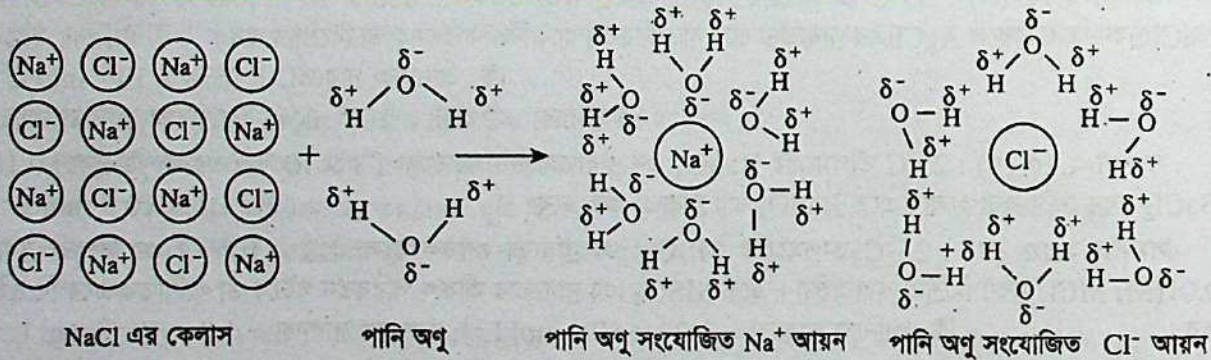
## ২.১২.২ আয়নিক যৌগের পানিতে দ্রবণীয়তা

## Dissolution of Ionic Compounds in Water

'Like dissolves like'—এ নীতিতে বিভিন্ন যৌগ বিভিন্ন দ্রাবকে দ্রবীভূত হয়। এ নীতির অর্থ হলো আয়নিক যৌগ পোলার দ্রাবকে এবং সমযোজী যৌগ অপোলার দ্রাবকে দ্রবীভূত হয়। আয়নিক যৌগ অপোলার (non-polar) দ্রাবকে অদ্রবণীয় হয়। পোলার যৌগ বলতে এমন যৌগকে বোঝায় যার এক প্রান্তে আংশিক ধনাত্মক এবং অন্য প্রান্তে আংশিক ঋণাত্মক আধানের সৃষ্টি হয়, পানি এরূপ একটি পোলার দ্রাবক। তরল  $\text{NH}_3$ , নাইট্রিক এসিড, তরল  $\text{SO}_2$ , তরল  $\text{HX}$  এসিডসমূহ পোলার দ্রাবক। অপোলার দ্রাবকসমূহের মধ্যে কার্বন টেট্রাক্লোরাইড ( $\text{CCl}_4$ ), বেনজিন ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), হেক্সেন ( $\text{C}_7\text{H}_{16}$ ), কেরোসিন, ডিজেল প্রভৃতি উল্লেখযোগ্য।

পোলার দ্রাবক পানিতে আয়নিক যৌগ যেমন  $\text{NaCl}$  বা গ্রুপ-1 এর ধাতুর হ্যালাইডসমূহ কীভাবে দ্রবীভূত হয় তা ২.২৪ নং চিত্রে দেখানো হয়েছে। পোলার দ্রাবকের যেমন পানি অণুর দুই প্রান্তে দুটি মেরু থাকে। আয়নিক যৌগের যেমন,  $\text{NaCl}$  এর ঘনকাকৃতির কেলাসকে দ্রবীভূত করার সময় পানির ঋণাত্মক মেরু  $\text{NaCl}$  এর ধনাত্মক আয়নের দিকে এবং পানির ধনাত্মক মেরু  $\text{NaCl}$  এর ঋণাত্মক আয়নের দিকে আবর্তিত হয়। ফলে  $\text{NaCl}$  এর  $\text{Na}^+$  আয়ন ও  $\text{Cl}^-$  আয়নসমূহ পানি অণু দ্বারা আকর্ষিত হয় এবং কেলাস-ল্যাটিস থেকে ক্রমশ দ্রবণে চলে আসে।  $\text{Na}^+$  ও  $\text{Cl}^-$  আয়নসমূহ দ্রবণে পুরোপুরি মুক্ত থাকে না। তারা দ্রাবক পানি অণুর সাথে সংযোজিত থাকে (solvated)। জলীয় দ্রবণে আয়নিক যৌগের আয়নসমূহের এরূপে পানি অণু সংযোজিত হওয়ার প্রক্রিয়াকে পানি যোজন বা হাইড্রেশন (Hydration) বলা হয়। পানি-যোজন হলো একটি তাপোৎপাদী প্রক্রিয়া।

ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নের সাথে পানি অণুর সংযোগের সময় নির্গত শক্তিকে হাইড্রেশন শক্তি বলে। এ নির্গত তাপ শক্তির প্রভাবে  $\text{NaCl}$  এর কেলাস-ল্যাটিস থেকে আয়নগুলো পৃথক হয়ে পানিতে দ্রবীভূত থাকে।



চিত্র ২.২৪ : পোলার দ্রাবক পানিতে ঘনকাকৃতির  $\text{NaCl}$  কেলাসের দ্রবণ তৈরির প্রক্রিয়া

**দ্রবণীয়তার শর্ত :** সাধারণত আয়নিক যৌগের হাইড্রেশন শক্তি-এর ল্যাটিস-শক্তি বা কেলাস ল্যাটিস ভাঙার শক্তির চেয়ে বেশি হলে তবে ঐ যৌগ পানিতে দ্রবীভূত হয়। যেমন- $\text{AgCl}$ ,  $\text{AgBr}$ ,  $\text{AgI}$ ,  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{PbSO}_4$  ইত্যাদির হাইড্রেশন শক্তি তাদের ল্যাটিস শক্তির চেয়ে কম। তাই এসব যৌগ পানিতে অদ্রবণীয়।

**$\text{AgCl}$ , পানিতে অদ্রবণীয় কিন্তু  $\text{AgF}$  পানিতে দ্রবণীয় ;** এর কারণ ফ্লোরাইড আয়ন ( $\text{F}^-$ ) এর আকার খুব ছোট হওয়ায়  $\text{F}^-$  আয়নের পানি যোজন খুব ঘনিষ্ঠভাবে ঘটে। তাই  $\text{F}^-$  আয়নের হাইড্রেশন শক্তি  $\text{Cl}^-$  আয়নের চেয়ে বেশি হয়। ফলে  $\text{Ag}^+$  ও  $\text{F}^-$  আয়নদ্বয়ের মোট হাইড্রেশন শক্তি তাদের কেলাস ল্যাটিস শক্তির চেয়ে বেশি হয় এবং  $\text{AgF}$  পানিতে দ্রবীভূত হয়। অপরদিকে  $\text{AgCl}$ -এর হাইড্রেশন শক্তি-এর ল্যাটিস শক্তির চেয়ে কম হওয়ায়  $\text{AgCl}$  পানিতে অদ্রবণীয় থাকে।

আবার  $\text{PbCl}_2$  ঠাণ্ডা পানিতে অদ্রবণীয়, কিন্তু গরম পানিতে দ্রবণীয়। এর কারণ  $\text{PbCl}_2$  এর হাইড্রেশন শক্তির চেয়ে ল্যাটিস শক্তি সামান্য বেশি। তাপ প্রয়োগ করলে ঐ তাপ শক্তি হাইড্রেশন শক্তির সহযোগীরূপে ল্যাটিস শক্তিকে অতিক্রম করে এবং উত্তপ্ত অবস্থায়  $\text{PbCl}_2$  গরম পানিতে দ্রবীভূত থাকে।



কেলাস ল্যাটিস (Crystal Lattice) : সব আয়নিক যৌগ কেলাসাকার কঠিন পদার্থ হয়। কক্ষ তাপমাত্রায় কোনো আয়নিক যৌগ তরল বা গ্যাসীয় অবস্থায় থাকে না। কেলাস গঠনকালে সমধর্মী আয়নগুলো পরস্পরকে বিকর্ষণ এবং বিপরীতধর্মী আয়নগুলো পরস্পরকে আকর্ষণ করে স্থির বৈদ্যুতিক আকর্ষণ বল দ্বারা নির্দিষ্ট স্থানে ত্রিমাত্রিকভাবে আবদ্ধ হয়ে পড়ে। উভয় প্রকার আয়নগুলোর কেন্দ্রবিন্দুগুলোকে কাল্পনিক রেখা দ্বারা যুক্ত করলে মৌমাছির মৌচাকের মতো যে জালিকা সৃষ্টি হয়, তাকে কেলাসের জালিকা বা কেলাস ল্যাটিস বলে। কেলাস জালিকা বিভিন্ন জ্যামিতিক আকৃতির হতে পারে।

ল্যাটিস শক্তি (Lattice Energy) : আয়নিক যৌগের কেলাস গঠনকালে বিপরীত আধানযুক্ত ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নগুলো স্থির বৈদ্যুতিক আকর্ষণ বলের দ্বারা আকৃষ্ট হয়ে সম্ভাব্য নিকটে আসে। ফলে এদের মধ্যকার স্থিতিশক্তির মান অপেক্ষাকৃতভাবে হ্রাস পায়। যে পরিমাণ স্থিতি শক্তি হ্রাস পায়, ঠিক সমপরিমাণ শক্তি ঐ যৌগের কেলাস থেকে নির্গত হয়; তাকে ঐ আয়নিক যৌগের কেলাস ল্যাটিস শক্তি বলে। যেমন—



∴ NaCl এর ল্যাটিস শক্তি =  $-788 \text{ kJ mol}^{-1}$  এবং NaCl এর ল্যাটিস ভাঙার শক্তি হবে =  $+788 \text{ kJ mol}^{-1}$ ।

সংজ্ঞা : গ্যাসীয় অবস্থায় ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন থেকে এক মোল (mole) পরিমাণ আয়নিক যৌগের কেলাস গঠনকালে যে পরিমাণ শক্তি নির্গত বা মুক্ত হয়, তাকে ঐ আয়নিক যৌগের কেলাস ল্যাটিস শক্তি বলে। কেলাস গঠনের সময় নির্গত শক্তির পরিমাণ যত বেশি হয়, ঐ আয়নিক কেলাস ততো বেশি সূদৃঢ় হয়।

\* ল্যাটিস শক্তির নির্ভরশীলতা : কেলাসের ল্যাটিস শক্তি উভয় আয়নের আকার ও আয়নত্বের আধানের পরিমাণের ওপর নির্ভর করে।

(১) ক্যাটায়নের ক্ষেত্রে : কোনো একটি সুনির্দিষ্ট অ্যানায়নের সাথে যখন বিভিন্ন ধরনের ক্যাটায়ন যুক্ত হয়ে আয়নিক যৌগ গঠন করে তখন দেখা যায়, ক্যাটায়নের আকার যতো বড় হয় কেলাসের ল্যাটিস শক্তিও ততো অধিক হয়। ল্যাটিস শক্তির মান অধিক হওয়ার কারণে আয়নিক যৌগের বন্ধনের স্থায়িত্ব ও শক্তি অধিক হয়।

অর্থাৎ আয়নিক যৌগের শক্তি ও স্থায়িত্ব  $\propto$  ক্যাটায়নের আকার।

যেমন, NaCl যৌগের ক্ষেত্রে  $\text{Na}^+$  এর আয়নিক ব্যাসার্ধ =  $95 \text{ pm}$ । KCl যৌগের ক্ষেত্রে  $\text{K}^+$  এর আয়নিক ব্যাসার্ধ =  $133 \text{ pm}$ । NaCl ও KCl যৌগ দুটির ক্ষেত্রে  $\text{K}^+$  এর আয়নিক ব্যাসার্ধ  $\text{Na}^+$  এর তুলনায় অধিক হওয়ায় KCl এর ল্যাটিস শক্তি NaCl এর তুলনায় অধিক হয়। KCl এর আয়নিক বন্ধন NaCl এর তুলনায় অধিক শক্তিশালী হয়।

(২) অ্যানায়নের ক্ষেত্রে : কোনো একটি সুনির্দিষ্ট ক্যাটায়নের সাথে যখন বিভিন্ন ধরনের অ্যানায়ন যুক্ত হয়ে আয়নিক যৌগ গঠন করে তখন দেখা যায়, অ্যানায়নের আকার যতো ছোট হয় কেলাসের ল্যাটিস শক্তিও ততো অধিক হয়। ল্যাটিস শক্তির মান অধিক হওয়ার কারণে আয়নিক যৌগের বন্ধনের স্থায়িত্ব ও শক্তি অধিক হয়।

অর্থাৎ আয়নিক যৌগের শক্তি ও স্থায়িত্ব  $\propto \frac{1}{\text{অ্যানায়নের আকার}}$ ।

যেমন, AgF যৌগের ক্ষেত্রে F-এর আয়নিক ব্যাসার্ধ  $135 \text{ pm}$ । AgCl যৌগের ক্ষেত্রে  $\text{Cl}^-$  এর আয়নিক ব্যাসার্ধ  $181 \text{ pm}$ । AgF ও AgCl যৌগ দুটির ক্ষেত্রে F-এর আয়নিক ব্যাসার্ধ  $\text{Cl}^-$  এর তুলনায় ছোট হওয়ায় AgF এর ল্যাটিস শক্তির মান AgCl এর তুলনায় অধিক হয়। ফলে AgF এর আয়নিক বন্ধন AgCl এর তুলনায় অধিক শক্তিশালী হয়। অর্থাৎ পানিতে AgCl এর দ্রাব্যতা AgF এর তুলনায় কম হয়। এর ফলে AgF পানিতে দ্রবণীয় হয়।

আয়নের আধান : আয়নিক যৌগের ক্ষেত্রে আয়নগুলোর আধানের পরিমাণ বেড়ে গেলে কেলাসের ল্যাটিস শক্তির মানও বেড়ে যায়। ফলে কেলাসের মধ্যকার আয়নিক বন্ধনের শক্তি ও স্থায়িত্বের বৃদ্ধি ঘটে।

অর্থাৎ আয়নিক কেলাসের ল্যাটিস শক্তি ও স্থায়িত্ব  $\propto$  আয়নের আধান।

যেমন, NaF যৌগে  $\text{N}^+$  ও  $\text{F}^-$  আয়ন দুটির আধান যথাক্রমে  $+1$  ও  $-1$ ।

CaO যৌগে  $\text{Ca}^{2+}$  ও  $\text{O}^{2-}$  আয়ন যথাক্রমে  $+2$  ও  $-2$ ।

CaO যৌগের ক্ষেত্রে  $\text{Ca}^{2+}$  আয়নের আধানের পরিমাণ NaF যৌগের  $\text{Na}^+$  আয়নের আধানের পরিমাণের চেয়ে বেশি। আবার  $\text{Ca}^{2+}$  আয়নের আকার  $\text{Na}^+$  আয়নের আকারের তুলনায় বড় এবং  $\text{O}^{2-}$  আয়নের আকার ছোট হওয়ায় CaO যৌগের আয়নিক ল্যাটিস শক্তি NaF এর আয়নিক ল্যাটিস শক্তির তুলনায় বেশি হয়।



\*\* ল্যাটিস শক্তির ব্যবহার :

(১) কোনো কেলাসের ল্যাটিস শক্তির মান জানা থাকলে তা থেকে কেলাসটি পোলার দ্রাবকে কীরূপ দ্রবীভূত হবে তা জানা যায়।

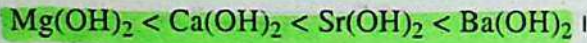
(i) ল্যাটিস শক্তির তুলনায় হাইড্রেশন শক্তি যতো বেশি হবে, আয়নিক যৌগের পানিতে দ্রবণীয়তা ততো বেশি হবে।

(ii) ল্যাটিস শক্তি ও হাইড্রেশন শক্তি উভয়েই ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের চার্জ বা আধানের বৃদ্ধির সাথে বাড়ে এবং তাদের আকার বৃদ্ধির সাথে কমে।

(২) ধাতব হাইড্রক্সাইডসমূহের পানিতে দ্রবণীয়তা ল্যাটিস শক্তি ও হাইড্রেশন শক্তি থেকে ব্যাখ্যা করা যায়। যেমন গ্রুপ-২ এর ১ম ধাতু Be এর হাইড্রক্সাইড Be(OH)<sub>2</sub> পানিতে অদ্রবণীয়; কিন্তু পরবর্তী ধাতুসমূহের হাইড্রক্সাইড যেমন Mg(OH)<sub>2</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub> ইত্যাদি পানিতে দ্রবণীয়।

এক্ষেত্রে অ্যানায়নের চার্জ ও আকার প্রতি ক্ষেত্রে সমান; কিন্তু ধনাত্মক আয়নের আকার ক্রমান্বয়ে বৃদ্ধি পায়। ফলে এদের ল্যাটিস শক্তি ও হাইড্রেশন শক্তি ক্রমাগত হ্রাস পায়। তবে হাইড্রেশন শক্তি অপেক্ষা ল্যাটিস শক্তি কিছুটা দ্রুততর হ্রাস পায়। তখন Be(OH)<sub>2</sub> এর ক্ষেত্রে ল্যাটিস শক্তির পরিমাণ এর হাইড্রেশন শক্তির চেয়ে বেশি থাকে। এ কারণে Be(OH)<sub>2</sub> পানিতে অদ্রবণীয়।

কিন্তু Mg<sup>2+</sup> আয়ন থেকে পরবর্তী Ca<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup> আয়নের আকার বৃদ্ধির সাথে এদের হাইড্রেশন শক্তি ল্যাটিস শক্তির চেয়ে বেশি হয়। ফলে এসব মৌলের হাইড্রক্সাইডের পানিতে দ্রাব্যতা ক্রমাগত বাড়ে। তাই Mg(OH)<sub>2</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub> পানিতে দ্রবণীয়। গ্রুপ-২ এর ধাতুর হাইড্রক্সাইডের পানিতে দ্রাব্যতা বৃদ্ধির ক্রম হলো :



### ব্যবহারিক (Practical)

#### ২.১৩ দ্রবণে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণ

##### Detection of Cations and Anions in Solution

আমরা পূর্বের অনুচ্ছেদ-২.১২-এ আয়নিক যৌগের দ্রাব্যতার গুণফল ও মোলার ঘনমাত্রার সম্পর্ক থেকে অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়ার কারণ জেনেছি। দ্রবণে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের শনাক্তকরণ অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়ার ওপর নির্ভরশীল। এক্ষেত্রে আয়নিক যৌগটির দ্রাব্যতা অনুসারে পানি অথবা লঘু HCl এসিডে দ্রবণ তৈরি করা হয়।

(১) পানিতে লবণের দ্রাব্যতা পরীক্ষা : একটি টেস্ট টিউবে খুব অল্প নমুনা লবণ (0.01 – 0.02g) নিয়ে এতে 4–5 mL -পানি যোগ করে ভালোভাবে ঝাঁকাও। যদি লবণটি ঠাণ্ডা পানিতে দ্রবীভূত না হয়; তবে বুনসেন বার্নারে গরম করে দেখ, ওটি দ্রবীভূত হয় কিনা। গরম পানিতে লবণটি দ্রবীভূত না হলে, বুঝতে হবে লবণটি পানিতে অদ্রবণীয়। একাদশ-দ্বাদশ শ্রেণির সিলেবাস মতে পানিতে দ্রবণীয় ও অদ্রবণীয় এবং লঘু HCl এসিডে দ্রবণীয় লবণসমূহ সারণি-২.৬ থেকে জেনে নাও।

সারণি-২.৬ : আয়নিক লবণের দ্রাব্যতা (পানিতে ও লঘু HCl এসিডে)

1 = পানিতে দ্রবণীয় ; 2 = লঘু HCl এসিডে দ্রবণীয়।

ক্যাটায়ন → অ্যানায়ন ↓	Cu <sup>2+</sup> আয়ন	Al <sup>3+</sup> আয়ন	Fe <sup>2+</sup> আয়ন	Fe <sup>3+</sup> আয়ন	Zn <sup>2+</sup> আয়ন	Ca <sup>2+</sup> আয়ন	Na <sup>+</sup> আয়ন	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> আয়ন
Cl <sup>-</sup> আয়ন	1	1	1	1	1	1	1	1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> আয়ন	1	1	1	1	1	2	1	1
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> আয়ন	2	2	2	2	2	2	1	1

\* সারণি-২.৬ থেকে জেনে নাও; Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> আয়নের সব লবণ পানিতে দ্রবণীয়।

\* উপরোক্ত ছয়টি ক্যাটায়নের কার্বনেট লবণ পানিতে অদ্রবণীয়; কিন্তু লঘু HCl এসিডে দ্রবণীয়।

\* উপরোক্ত আটটি আয়নের মধ্যে Ca<sup>2+</sup> আয়নের সালফেট, CaSO<sub>4</sub> পানিতে অদ্রবণীয়; কিন্তু লঘু HCl এসিডে দ্রবণীয়।



(২) লঘু HCl এসিডে লবণের দ্রাব্যতা পরীক্ষা : একাদশ-দ্বাদশ শ্রেণির সিলেবাস মতে সারণি-২.৬ থেকে জানা যায় ছয়টি কার্বনেট লবণ  $[CuCO_3, Al_2(CO_3)_3, FeCO_3, Fe_2(CO_3)_3, ZnCO_3, CaCO_3]$  পানিতে অদ্রবণীয়; কিন্তু লঘু HCl এসিডে দ্রবণীয়। এ সব লবণ লঘু HCl এসিডে দ্রবীভূত হয়ে বৃদবৃদ আকারে  $CO_2$  গ্যাস তৈরি করে এবং লবণটিতে কার্বনেট মূলক ( $CO_3^{2-}$ ) এর উপস্থিতি নিশ্চিত করে। তখন দ্রবণে লবণটি ক্লোরাইড লবণরূপে থাকবে। তাই পানিতে অদ্রবণীয়; কিন্তু লঘু HCl এসিডে দ্রবণীয় লবণের দ্রবণ দিয়ে  $Cl^-$  আয়ন,  $CO_3^{2-}$  আয়নের সিক্ত পরীক্ষা করা যাবে না।

দ্রবণ প্রস্তুতি : প্রদত্ত লবণটির অল্প পরিমাণ টেস্টটিউবে নিয়ে এর উপযুক্ত 'দ্রাবকে' দ্রবীভূত করে ক্ষারকীয় মূলকের বা ক্যাটায়নের সিক্ত পরীক্ষার জন্যে পরিষ্কার দ্রবণ প্রস্তুত করা হয়। এ প্রস্তুত দ্রবণ দিয়ে নিচের আটটি পরীক্ষা করতে হবে। তাই প্রতি পরীক্ষায় 2-1 mL দ্রবণ ব্যবহার করতে হবে।

এখন প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে ক্যাটায়ন বা ক্ষারকীয় মূলকের সিক্ত পরীক্ষা প্রয়োজনীয় বিকারকসহ করা হবে। এ ক্ষেত্রে বিক্রিয়াসমূহে বিভিন্ন বর্ণের অধঃক্ষেপ বা বর্ণযুক্ত দ্রবণ তৈরি হবে। তা দেখে ক্যাটায়ন শনাক্ত করা সম্ভব হবে।

#### ক্ষারকীয় মূলক বা ক্যাটায়ন-এর সিক্ত পরীক্ষা :

$[Cu^{2+}$  আয়ন,  $Fe^{2+}$  আয়ন,  $Fe^{3+}$  আয়ন,  $Al^{3+}$  আয়ন,  $Zn^{2+}$  আয়ন,  $Ca^{2+}$  আয়ন,  $Na^+$  আয়ন ও  $NH_4^+$  আয়ন-এর পরীক্ষা।]

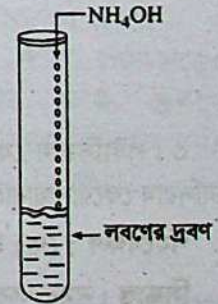
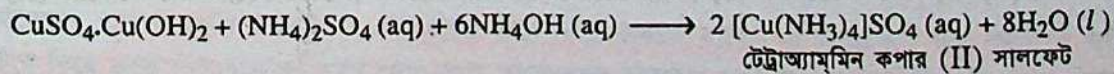
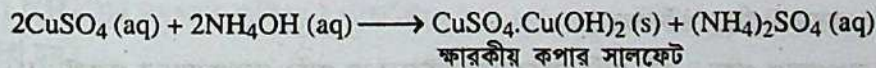
#### দ্রবণে $Cu^{2+}$ আয়ন শনাক্তকরণ :

১।  $NH_4OH$  দ্রবণসহ পরীক্ষা : একটি টেস্টটিউবে 2-1 mL প্রস্তুত রঙিন দ্রবণ নিয়ে এতে অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইড ( $NH_4OH$ ) দ্রবণ ধীরে ধীরে যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : প্রথমে ক্ষারকীয় কপার লবণের হালকা নীল বর্ণের অধঃক্ষেপ পড়ে। এতে অধিক  $NH_4OH$  দ্রবণ যোগ করলে ঐ অধঃক্ষেপ দ্রবীভূত হয়ে গাঢ় নীল বর্ণের টেট্রাঅ্যামিন কপার (II) আয়নের দ্রবণ উৎপন্ন হয়।

সিদ্ধান্ত : প্রদত্ত নমুনায়  $Cu^{2+}$  আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

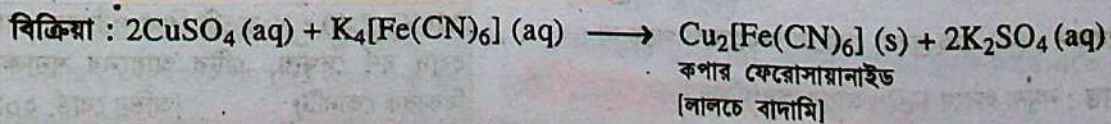
সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া : মনে করি লবণটি  $CuSO_4$ । তখন নিম্নরূপ বিক্রিয়া ঘটে।



২। পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণসহ পরীক্ষা : একটি টেস্টটিউবে 2-1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণ যোগ করা হয়। [এটি  $Cu^{2+}$  আয়নের নিশ্চিতকরণ পরীক্ষা।]

পর্যবেক্ষণ : এতে লালচে বাদামি বর্ণের কপার ফেরোসায়ানাইডের অধঃক্ষেপ পড়ে।

সিদ্ধান্ত : প্রদত্ত নমুনা লবণে  $Cu^{2+}$  আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।



\* **জেনে নাও :** কপার ফেরোসায়ানাইড নামটি এ যৌগের পুরাতন নাম। যৌগটি জটিল যৌগ শ্রেণিভুক্ত। তাই জেনেভা পদ্ধতিতে এর নাম হলো কপার হেক্সাসায়ানোফেরেট (II)।



**দ্রবণে  $Fe^{2+}$  আয়ন ও  $Fe^{3+}$  আয়ন শনাক্তকরণ :**

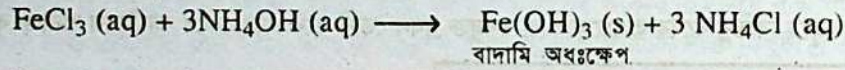
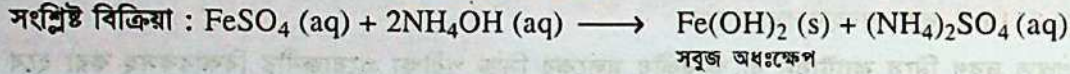
১।  $NH_4OH$  দ্রবণসহ পরীক্ষা : টেস্টটিউবে 2-1 mL প্রস্তুত রঙিন দ্রবণ নিয়ে এতে  $NH_4OH$  দ্রবণ যোগ করা হলো।

পর্যবেক্ষণ : (ক) সবুজ বর্ণের ফেরাস হাইড্রক্সাইডের অধঃক্ষেপ পড়ে।

সিদ্ধান্ত : প্রদত্ত নমুনা লবণে  $Fe^{2+}$  আয়ন উপস্থিত।

পর্যবেক্ষণ : (খ) বাদামি বর্ণের ফেরিক হাইড্রক্সাইডের অধঃক্ষেপ পড়ে।

সিদ্ধান্ত : প্রদত্ত নমুনা লবণে  $Fe^{3+}$  আয়ন উপস্থিত।



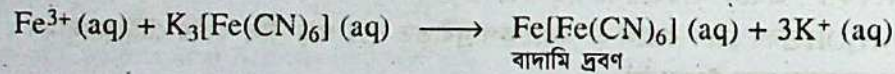
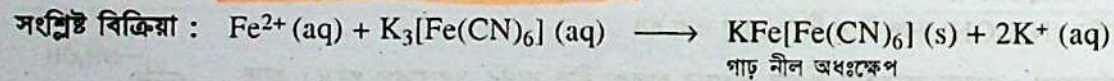
২। পটাসিয়াম ফেরিসায়ানাইড দ্রবণসহ পরীক্ষা : টেস্টটিউবে 2-1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা পটাসিয়াম ফেরিসায়ানাইড দ্রবণ যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : (ক) গাঢ় নীল বর্ণের অধঃক্ষেপ পড়ে। এটি পটাসিয়াম ফেরাস ফেরিসায়ানাইডের অধঃক্ষেপ।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে  $Fe^{2+}$  আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

পর্যবেক্ষণ : (খ) বাদামি দ্রবণ উৎপন্ন হয়। এটি পটাসিয়াম ফেরিক ফেরিসায়ানাইডের দ্রবণ।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে  $Fe^{3+}$  আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।



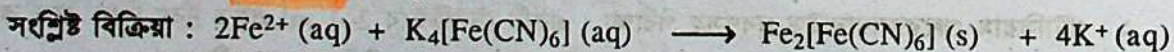
৩। পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণসহ পরীক্ষা : টেস্টটিউবে 2-1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণ যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : (ক) হালকা নীল অধঃক্ষেপ পড়ে। এটি ফেরাস ফেরোসায়ানাইডের অধঃক্ষেপ।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে  $Fe^{2+}$  আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

পর্যবেক্ষণ : (খ) গাঢ় নীল অধঃক্ষেপ পড়ে। এটি ফেরি ফেরোসায়ানাইডের বা ফেরি হেক্সাসায়ানো ফেরেট (II) এর অধঃক্ষেপ।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে  $Fe^{3+}$  আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।



৪। অ্যামোনিয়াম থায়োসায়ানেট দ্রবণসহ পরীক্ষা : টেস্টটিউবে 2-1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা অ্যামোনিয়াম থায়োসায়ানেট দ্রবণ যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : (ক) বস্তু দ্রবণ, কোনো অধঃক্ষেপ পড়ে না।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে  $Fe^{2+}$  আয়ন অনুপস্থিত।

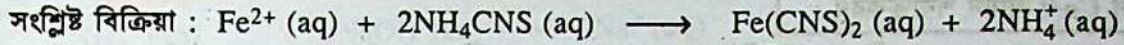
পর্যবেক্ষণ : (খ) রক্ত লাল বর্ণের দ্রবণ উৎপন্ন হয়।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে  $Fe^{3+}$  আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

**MCQ-2.40 :** X ধাতুটি শিখা পরীক্ষায় সোনালি হলুদ বর্ণ দেখায়, এটির আয়নের শনাক্তকারী বিকারক কোনটি? [অভিন্ন বোর্ড, ২০১৮]

(ক)  $K_2H_2Sb_2O_7$  (খ)  $(NH_4)_2C_2O_4$   
(গ)  $K_4[Fe(CN)_6]$  (ঘ)  $NH_4CNS$





বর্ণহীন



রক্ত লাল বর্ণ

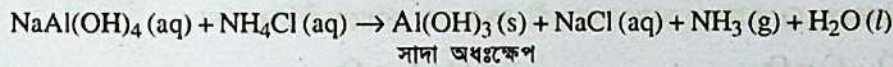
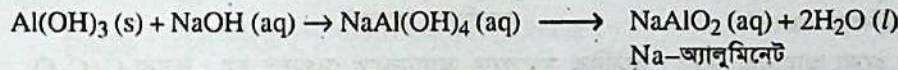
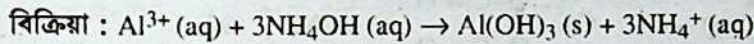
**জেনে নাও :** ওপরের তিনটি পরীক্ষা দ্বারা  $Fe^{2+}$  আয়ন ও  $Fe^{3+}$  আয়নের পার্থক্য নিরূপণ করা হয়।

**দ্রবণে  $Al^{3+}$  আয়ন শনাক্তকরণ :**

১।  $NH_4OH$  দ্রবণসহ পরীক্ষা : টেস্টটিউবে 2-1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা  $NH_4OH$  দ্রবণ যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : সাদা বর্ণের জেলির মতো ভাসমান অধঃক্ষেপ পড়ে। এটি  $Al(OH)_3$  এর অধঃক্ষেপ। ঐ অধঃক্ষেপ অল্প পরিমাণে আরেকটি টেস্টটিউবে নিয়ে এতে গাঢ়  $NaOH$  দ্রবণ যোগ করে ভালোভাবে ঝাঁকানো হয়। অধঃক্ষেপ দ্রবীভূত হয়। এ দ্রবণে গাঢ়  $NH_4Cl$  দ্রবণ যোগ করে উত্তপ্ত করলে পুনরায় সাদা অধঃক্ষেপ দেখা দেয়।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে  $Al^{3+}$  আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।



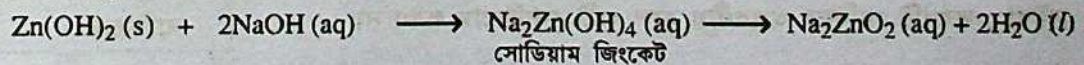
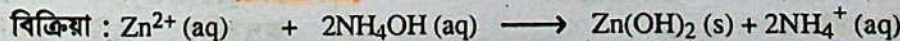
- \* ধাতুর অক্সাইড ও ধাতুর হাইড্রক্সাইড হলো ক্ষারক।
- \* পানিতে দ্রবণীয় ধাতুর হাইড্রক্সাইড হলো ক্ষার যেমন  $NaOH$ ,  $KOH$ ।
- \*  $Al_2O_3$  ক্ষারক হওয়া সত্ত্বেও  $NaOH$  ক্ষার দ্রবণে বিক্রিয়াসহ দ্রবীভূত হয় কেন?

**দ্রবণে  $Zn^{2+}$  আয়ন শনাক্তকরণ :**

১।  $NH_4OH$  দ্রবণসহ পরীক্ষা : টেস্টটিউবে 2-1 mL প্রস্তুত বর্ণহীন দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা  $NH_4OH$  দ্রবণ যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : সাদা বর্ণের অধঃক্ষেপ, এটি ধীরে ধীরে নিচে জমতে থাকে। ঐ অধঃক্ষেপ অল্প পরিমাণে আরেকটি টেস্টটিউবে নিয়ে এতে গাঢ়  $NaOH$  দ্রবণ যোগ করে ভালোভাবে ঝাঁকানো হয়। অধঃক্ষেপ দ্রবীভূত হয়। এ দ্রবণে গাঢ়  $NH_4Cl$  দ্রবণ যোগ করে উত্তপ্ত করলে পুনরায় সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে না।

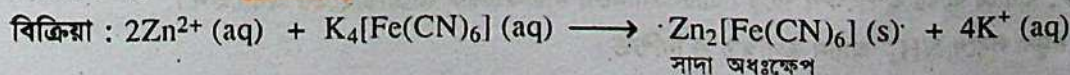
সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে  $Zn^{2+}$  আয়ন উপস্থিত।



২। পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণসহ পরীক্ষা : টেস্টটিউবে 2-1 mL প্রস্তুত বর্ণহীন দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণ যোগ করা হয়। [এটি  $Zn^{2+}$  আয়নের নিশ্চিতকরণ পরীক্ষা।]

পর্যবেক্ষণ : সাদা বর্ণের অধঃক্ষেপ পড়ে। অধঃক্ষেপটি হলো জিংক ফেরোসায়ানাইড।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে  $Zn^{2+}$  আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

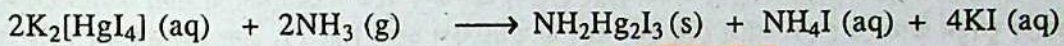
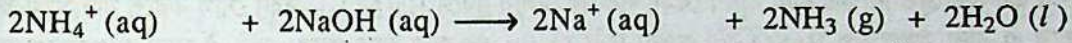








বিক্রিয়া : নেসলার দ্রবণ হলো NaOH দ্রবণ মিশ্রিত ক্ষারীয় পটাসিয়াম টেট্রাআয়োডো মারকিউরেট (II) এর দ্রবণ।



পটাসিয়াম টেট্রাআয়োডো  
মারকিউরেট (II)

বাদামি অধঃক্ষেপ, অ্যামিনো  
মারকিউরিক আয়োডাইড

[বিশেষ দ্রষ্টব্য : নেসলার দ্রবণ বা নেসলার বিকারক হলো NaOH বা KOH দ্রবণ মিশ্রিত ক্ষারীয় পটাসিয়াম টেট্রাআয়োডো মারকিউরেট (II) এর দ্রবণ (NaOH/KOH + K<sub>2</sub>[HgI<sub>4</sub>] মিশ্রণ)। নেসলার দ্রবণ প্রস্তুতি পরের অনুচ্ছেদ-২.১৩.১ এ দেয়া হয়েছে।

#### অম্লীয় মূলক বা অ্যানায়ন-এর সিদ্ধ পরীক্ষা

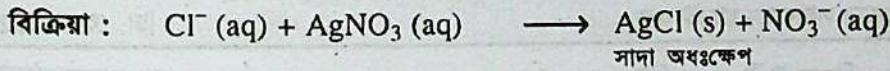
[Cl<sup>-</sup> আয়ন, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> আয়ন, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> আয়ন-এর পরীক্ষা]

পূর্বের প্রস্তুত দ্রবণ দিয়ে অম্লীয় মূলক যেমন, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> আয়নের জন্য নিচের পরীক্ষাসমূহ করা হয়।

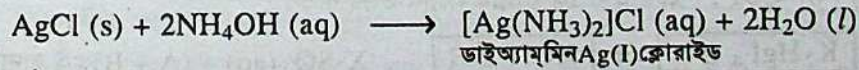
১। সিলভার নাইট্রেট দ্রবণসহ পরীক্ষা : টেস্টটিউবে 2-1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা সিলভার নাইট্রেট (AgNO<sub>3</sub>) দ্রবণ যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : AgCl এর সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে। ঐ অধঃক্ষেপ লঘু HNO<sub>3</sub> এসিডে অদ্রবণীয়; কিন্তু NH<sub>4</sub>OH দ্রবণে সহজেই দ্রবণীয় হয়।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে Cl<sup>-</sup> আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।



সাদা অধঃক্ষেপ



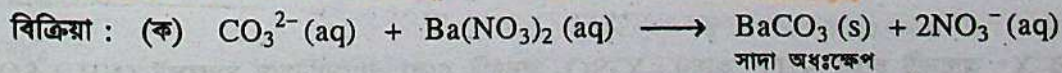
ডাইঅ্যামিন Ag(I) ক্লোরাইড

২। বেরিয়াম নাইট্রেট দ্রবণসহ পরীক্ষা : টেস্টটিউবে 2-1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা বেরিয়াম নাইট্রেট, Ba(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> দ্রবণ যোগ করা হয়।

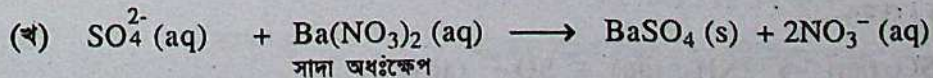
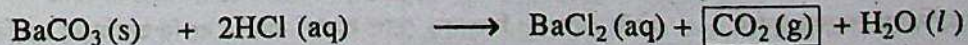
পর্যবেক্ষণ : সাদা অধঃক্ষেপ পড়ল। এ অধঃক্ষেপ বেরিয়াম কার্বনেট অথবা বেরিয়াম সালফেট-এর জন্য হতে পারে। এতে কয়েক ফোঁটা লঘু HCl যোগ করা হলো।

(ক) অধঃক্ষেপ বুদবুদসহ দ্রবীভূত হয়। সিদ্ধান্ত : CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> মূলক উপস্থিত ও নিশ্চিত।

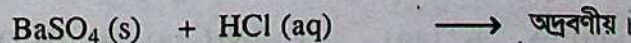
(খ) সাদা অধঃক্ষেপ লঘু HCl-এ অদ্রবণীয়। সিদ্ধান্ত : SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> মূলক উপস্থিত ও নিশ্চিত।



সাদা অধঃক্ষেপ



সাদা অধঃক্ষেপ



পরীক্ষার ফলাফল : প্রদত্ত নমুনায় নিম্নোক্ত দুটি আয়ন আছে :

(১) ক্যাটায়ন :

(২) অ্যানায়ন :



**বিশেষ দ্রষ্টব্য :** একমাত্র  $Ba(NO_3)_2$  বিকারক দ্রবণ দ্বারা দ্রবণে সালফেট আয়ন ( $SO_4^{2-}$ ) ও কার্বনেট আয়ন ( $CO_3^{2-}$ ) এর উপস্থিতি নিশ্চিত করা যায়। যেমন লবণের জলীয় দ্রবণে  $Ba(NO_3)_2$  দ্রবণ যোগ করলে যদি সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে তবে ঐ সাদা অধঃক্ষেপ  $BaSO_4(s)$  অথবা  $BaCO_3(s)$  এর জন্য হতে পারে। যদি ঐ সাদা অধঃক্ষেপে লঘু HCl যোগ করলে বুদবুদ আকারে  $CO_2$  গ্যাস বের হয়, তবে ঐ অধঃক্ষেপ হলো  $BaCO_3$  এবং মূল দ্রবণে  $CO_3^{2-}$  আয়নের উপস্থিতি নিশ্চিত। কিন্তু অধঃক্ষেপ অদ্রবণীয় থাকলে  $SO_4^{2-}$  আয়নের উপস্থিতি নিশ্চিত করে।

**শিক্ষার্থীর কাজ-২.১৮ :** ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণভিত্তিক :

**প্রশ্ন-২.২৩ :** একমাত্র বিকারক  $NH_4OH$  দ্রবণ দ্বারা ছয়টি ক্যাটায়ন শনাক্তকরণ সম্ভব। এর পক্ষে সৃষ্ট উৎপাদ যৌগের বর্ণ ও বিক্রিয়া মাধ্যমে ভৌত অবস্থাসহকারে ব্যাখ্যা কর। এর সাথে উৎপাদ যৌগের বৈশিষ্ট্য অনুসারে NaOH দ্রবণসহ বিক্রিয়া লেখ।

**দ্রষ্টব্য :** ব্যবহারিক রসায়ন : অধ্যাপক হারাধন নাগ।

**প্রশ্ন-২.২৪ :**  $A^{2+}(3d^6)$ ,  $A^{3+}(3d^5)$  আয়ন দুটির দ্রবণে পার্থক্যকরণের দুটি পরীক্ষা সমীকরণসহ লেখ।

**প্রশ্ন-২.২৫ :** একমাত্র  $Ba(NO_3)_2$  বিকারক দ্বারা দ্রবণে  $SO_4^{2-}$  আয়ন অথবা  $CO_3^{2-}$  আয়নের উপস্থিতি নিশ্চিত করা যায়; রাসায়নিক বিক্রিয়াসহকারে এর যথার্থ ব্যাখ্যা কর।

**প্রশ্ন-২.২৬ (ক) :**  $[Ar]ns^0(n-1)d^5$ ; এ উদ্দীপকের d-উপস্তরের সব ইলেকট্রনের স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যার মান একই— ব্যাখ্যা কর। [চ. বো. ২০১৫]

(খ) প্রদত্ত ইলেকট্রন বিন্যাসটি একটি ক্যাটায়নের ইলেকট্রন বিন্যাস; এর সত্যতা নিরূপণ কর। [চ. বো. ২০১৫]

(গ) A মৌলটির যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রনের কোয়ান্টাম সংখ্যাগুলোর মান  $n = 4$ ,  $l = 0$ ,  $m = 0$ ,  $s = \pm \frac{1}{2}$  হলে  $A^{2+}$  আয়নের বর্ণযুক্ত হওয়ার সম্ভাব্যতা যাচাই কর। [চা. বো. ২০১৫]

**সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬৫ :** নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।

[য. বো. ২০১৭]

**উদ্দীপক :**  $K_2HgI_4$  দ্রবণ + KOH দ্রবণ ;  $X_2SO_4(aq) + (A + B) \rightarrow$  বাদামি অধঃক্ষেপ  
A-দ্রবণ B-দ্রবণ

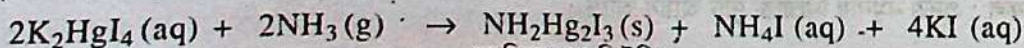
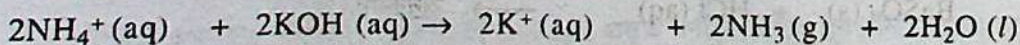
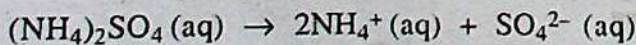
(ক) উদ্দীপকের  $X^+$  আয়নের শনাক্তকরণ বিক্রিয়াসহ লেখ।

(খ) উদ্দীপকের বিকারক মিশ্রণে B দ্রবণের পরিবর্তে  $Ba(OH)_2$  দ্রবণ ব্যবহার করলে  $X^+$  আয়নটি শনাক্তকরণে জটিলতা ঘটবে কিনা, তা সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াসহ বিশ্লেষণ কর।

**সমাধান :** (ক)  $X^+$  আয়ন শনাক্তকরণ :

উদ্দীপকের বিকারক মিশ্রণটি হলো KOH ক্ষার দ্রবণ মিশ্রিত পটাসিয়াম মারকিউরিক আয়োডাইড ( $K_2HgI_4$ )। এ মিশ্রণটিকে নেস্লার বিকারক বলে। নেস্লার বিকারক দ্বারা অ্যামোনিয়াম ( $NH_4^+$ ) আয়ন ও অ্যামোনিয়া গ্যাস ( $NH_3$ ) শনাক্ত করা হয়।

উদ্দীপকের  $X^+$  আয়নটি হলো  $NH_4^+$  আয়ন।  $X_2SO_4$  লবণটি হলো অ্যামোনিয়াম সালফেট  $(NH_4)_2SO_4$ । অ্যামোনিয়াম লবণের দ্রবণে ২-৩ ফোঁটা নেস্লার বিকারক যোগ করলে বাদামি বর্ণের অ্যামিনো মারকিউরিক আয়োডাইড-এর অধঃক্ষেপ পড়ে। যেমন—



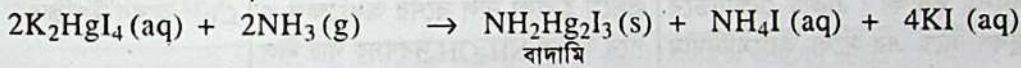
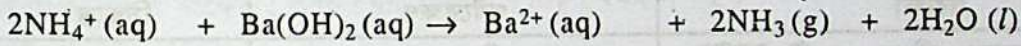
অ্যামিনো মারকিউরিক  
আয়োডাইড (বাদামি অধঃক্ষেপ)



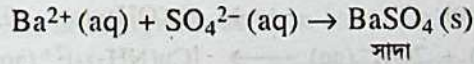
সমাধান : (খ) নেস্‌লার বিকারকে শক্তিশালী ক্ষার KOH দ্রবণ যোগ করার কারণ হলো, KOH ক্ষার দ্রবণের সাথে অ্যামোনিয়াম লবণ বা  $NH_4^+$  আয়ন বিক্রিয়া করে  $NH_3$  গ্যাস উৎপন্ন করে। শেষে  $NH_3$  গ্যাস মূল বিকারক  $K_2HgI_4$  এর সাথে বিক্রিয়া করে অ্যামিনো মারকিউরিক আয়োডাইডের বাদামি অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে।

উদ্দীপক মতে, KOH দ্রবণের পরিবর্তে  $Ba(OH)_2$  দ্রবণ ব্যবহার করা হলে তখন ২টি অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়া ঘটবে। এর ফলে বাদামি বর্ণের অ্যামিনো মারকিউরিক আয়োডাইডের অধঃক্ষেপের সাথে দ্বিতীয় অধঃক্ষেপটি হলো সাদা বর্ণের  $BaSO_4$  এর অধঃক্ষেপ। সাদা বর্ণের  $BaSO_4$  অধঃক্ষেপ গুঁড়া মিশ্রিত হওয়ার কারণে অ্যামোনিয়াম ( $NH_4^+$ ) আয়ন দ্বারা সৃষ্ট বাদামি বর্ণের অধঃক্ষেপ কিছুটা হালকা হবে মাত্র। অন্য কোনো অসুবিধা সৃষ্টি করবে না। যেমন-

(i) উদ্দীপক মতে, KOH দ্রবণের পরিবর্তে  $Ba(OH)_2$  দ্রবণ ব্যবহার করা হলেও KOH ক্ষার দ্রবণের মতো  $Ba(OH)_2$  ক্ষার দ্রবণটি  $NH_4^+$  আয়নের সাথে বিক্রিয়া করে  $NH_3$  গ্যাস উৎপন্ন করে থাকে। উৎপন্ন  $NH_3$  গ্যাস  $K_2HgI_4$  এর সাথে বিক্রিয়া করে বাদামি অধঃক্ষেপ সৃষ্টি করে।



(ii) কিন্তু এ মিশ্রণে  $Ba^{2+}$  আয়ন এবং  $SO_4^{2-}$  আয়ন থাকায় উভয় আয়নের মধ্যে বিক্রিয়ায় অদ্রবণীয়  $BaSO_4$  (বেরিয়াম সালফেট) এর সাদা অধঃক্ষেপ সৃষ্টি করে; যা  $NH_2Hg_2I_3$  এর বাদামি অধঃক্ষেপের সাথে মিশে গিয়ে বাদামি বর্ণকে হালকা করে মাত্র।



ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ :- শ্রেণি শিক্ষকের সহায়তায় পূর্বের ৪ জনের গ্রুপ নিয়ে ল্যাবরেটরিতে ক্যাটায়নের সিক্ত পরীক্ষা এবং অ্যানায়নের সিক্ত পরীক্ষা পদ্ধতি অনুসরণ করে ক্লাস রুটিন মতে নিম্নোক্ত লবণের যে কোনো একটিকে অজানা লবণরূপে নিয়ে পর পর ৭টি পরীক্ষা কর। প্রতিটি পরীক্ষা শেষ করে তোমার 'প্রেক্ষিক্যাল নোট বুক বা রেকর্ড খাতায়' তা রেকর্ড করে পরের ক্লাসে রেকর্ড খাতায় শিক্ষকের দস্তখত নাও।

পরীক্ষা নং (২ - ৮)

পরীক্ষার নাম : অজানা লবণের দ্রবণে আয়ন শনাক্তকরণ

প্রতিটি পরীক্ষার সময় : ১ পিরিয়ড

তারিখ : . . . . .

তারিখ .....

পরীক্ষা নং-২

ব্যবহৃত নমুনা লবণ : কপার লবণ

তারিখ .....

পরীক্ষা নং-৩

ব্যবহৃত নমুনা লবণ : ফেরিক লবণ

ব্যবহৃত নমুনা লবণ : ফেরাস লবণ

তারিখ .....

পরীক্ষা নং-৪

ব্যবহৃত নমুনা লবণ : অ্যালুমিনিয়াম লবণ

তারিখ .....

পরীক্ষা নং-৫

ব্যবহৃত নমুনা লবণ : জিঙ্ক লবণ

তারিখ .....

পরীক্ষা নং-৬

ব্যবহৃত নমুনা লবণ : ক্যালসিয়াম লবণ

তারিখ .....

পরীক্ষা নং-৭

ব্যবহৃত নমুনা লবণ : অ্যামোনিয়াম লবণ

তারিখ .....

পরীক্ষা নং-৮

ব্যবহৃত নমুনা লবণ : সোডিয়াম লবণ



১৮৬

রসায়ন—প্রথম পত্র

### প্রেকটিক্যাল নোট বুক বা রেকর্ড খাতা লেখার নমুনা

পরীক্ষার নাম : নমুনা লবণে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণ

পরীক্ষা নং-২

তারিখ : .....

লবণের ভৌত ধর্ম :

(১) গঠন : দানাদার

(২) বর্ণ : নীল

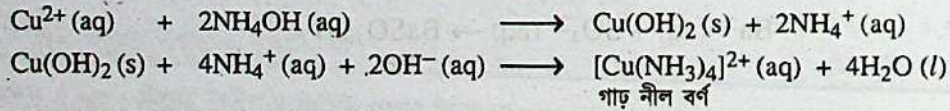
(৩) দ্রাব্যতা : পানিতে দ্রবণীয়

(ক) লবণের দ্রবণে ক্যাটায়ন শনাক্তকরণ :

দ্রবণ প্রস্তুতি : প্রদত্ত নমুনা লবণটির অল্প পরিমাণ টেস্ট টিউবে নিয়ে এতে পানি যোগ করে এবং নেড়ে দেখা গেল তা শীতল পানিতে দ্রবণীয়। তাই শীতল পানিতে প্রদত্ত লবণের দ্রবণ তৈরি করে সিজু পরীক্ষা করা হয়।

পরীক্ষা	পর্যবেক্ষণ	সিদ্ধান্ত
(১) $\text{NH}_4\text{OH}$ দ্রবণসহ পরীক্ষা : একটি টেস্টটিউবে 2-1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এর মধ্যে অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইড ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) দ্রবণ ধীরে ধীরে যোগ করে পরিবর্তন পর্যবেক্ষণ করা হয়।	প্রথমে হালকা নীল বর্ণের অধঃক্ষেপ ও পরে অধিক $\text{NH}_4\text{OH}$ দ্রবণসহ গাঢ় নীল বর্ণের দ্রবণ উৎপন্ন হয়।	$\text{Cu}^{2+}$ আয়ন উপস্থিত।

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া :



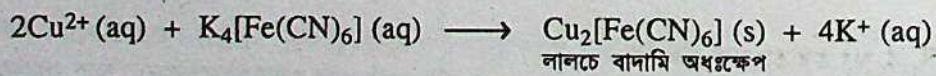
$\text{Cu}^{2+}$  আয়নের নিশ্চিতকরণ পরীক্ষা

(১) পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণসহ পরীক্ষা : একটি টেস্টটিউবে 2-1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে ২/৩ ফোঁটা পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণ যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : লালচে বাদামি বর্ণের কপার ফেরোসায়ানাইডের অধঃক্ষেপ পড়ে।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে  $\text{Cu}^{2+}$  আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া :



(খ) লবণের দ্রবণে অ্যানায়ন শনাক্তকরণ :

(১) সিলভার নাইট্রেট ( $\text{AgNO}_3$ ) দ্রবণসহ পরীক্ষা : একটি টেস্টটিউবে 2-1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ যোগ করা হয়।

অধঃক্ষেপের মধ্যে কয়েক ফোঁটা লঘু  $\text{HCl}$  এসিড যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : কোনো অধঃক্ষেপ পড়েনি।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণের দ্রবণে ক্লোরাইড ( $\text{Cl}^-$ ) আয়ন অনুপস্থিত।

(২) বেরিয়াম নাইট্রেট [ $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ ] দ্রবণসহ পরীক্ষা : একটি টেস্টটিউবে 2-1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা বেরিয়াম নাইট্রেট দ্রবণ যোগ করা হয়।

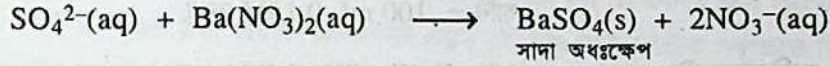
পর্যবেক্ষণ : সাদা বর্ণের অধঃক্ষেপ পড়ে। এ অধঃক্ষেপটি বেরিয়াম কার্বনেট অথবা বেরিয়াম সালফেট হতে পারে। এ

— সাদা অধঃক্ষেপটি লঘু  $\text{HCl}$  এসিডে অদ্রবণীয়। সুতরাং সাদা অধঃক্ষেপটি হলো বেরিয়াম সালফেটের ( $\text{BaSO}_4$ )।



সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে সালফেট ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) অ্যানায়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া :



পরীক্ষার ফলাফল : উপরোক্ত নিশ্চিতকরণ পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণিত হলো যে, প্রদত্ত নমুনা লবণে নিম্নোক্ত দুটি আয়ন আছে।

(১) ক্যাটায়ন : কপার (II) আয়ন,  $\text{Cu}^{2+}$  আয়ন

(২) অ্যানায়ন : সালফেট আয়ন,  $\text{SO}_4^{2-}$  আয়ন

লবণের নাম ও সংকেত : প্রদত্ত নমুনা লবণের বর্ণ নীল হওয়ায়, নমুনা লবণটি হলো পেপ্টা হাইড্রেট কপার (II) সালফেট,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

বি.দ্র. : অনুরূপভাবে পরীক্ষা নং ৩ থেকে পরীক্ষা নং ৮ পর্যন্ত ব্যবহৃত লবণের দ্রবণে ক্যাটায়ন এবং অ্যানায়নের শনাক্তকরণ প্রেকটিক্যাল নোট বুক লিখতে হবে।

### ২.১৩.১ লবণের ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণে ব্যবহৃত বিকারকসমূহের প্রস্তুতি

#### Preparation of Reagents used in Ions' Detection

পাঠ্যসূচিতে অন্তর্ভুক্ত ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণে নিম্নোক্ত বিকারকসমূহ প্রয়োজন। যেমন, (১) লঘু  $\text{HCl}$ , (২) লঘু  $\text{NH}_4\text{OH}$ , (৩) গাঢ়  $\text{NaOH}$ , (৪) গাঢ়  $\text{NH}_4\text{Cl}$  দ্রবণ।

**বিশেষ বিকারক দ্রবণ :**

- (১) পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণ,  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$
- (২) পটাসিয়াম ফেরিসায়ানাইড দ্রবণ,  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$
- (৩) অ্যামোনিয়াম থায়োসায়ানেট দ্রবণ,  $\text{NH}_4\text{CNS}$
- (৪) অ্যামোনিয়াম অক্সালেট দ্রবণ,  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- (৫) পটাসিয়াম পাইরো অ্যান্টিমোনেট দ্রবণ,  $\text{K}_2\text{H}_2\text{Sb}_2\text{O}_7$
- (৬) নেসলার বিকারক বা নেসলার দ্রবণ,  $(\text{KOH}/\text{NaOH} + \text{K}_2[\text{HgI}_4])$  দ্রবণ)
- (৭) সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ,  $\text{AgNO}_3$
- (৮) বেরিয়াম নাইট্রেট দ্রবণ,  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$

**MCQ-2.41 :** নিচের  $\text{A}^{n+}$  আয়ন হবে কোনটি? [অভিন্ন বোর্ড, ২০১৮]

$\text{A}^{n+} + \text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \rightarrow$  সাদা অধঃক্ষেপ  
(ক)  $\text{Ca}^{2+}$  (খ)  $\text{Zn}^{2+}$  (গ)  $\text{Cu}^{2+}$  (ঘ)  $\text{Fe}^{2+}$

সাধারণ বিকারকসমূহের দ্রবণ প্রস্তুতি

১. লঘু  $\text{HCl}$  দ্রবণ : 5 mL গাঢ়  $\text{HCl}$  (10 M, আ. গু. 1.16) এর সাথে 495 mL পানি = 500 mL 0.1 M  $\text{HCl}$ ।
২. লঘু  $\text{NH}_4\text{OH}$  দ্রবণ : 34 mL গাঢ়  $\text{NH}_4\text{OH}$  (লিকার অ্যামোনিয়া, 15 M, আ. গু. 0.88) এর সাথে 66 mL (0.4% আয়নিত হয়) পানি = 100 mL 5 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  দ্রবণ।
৩. গাঢ়  $\text{NaOH}$  দ্রবণ : 4g  $\text{NaOH}$  এর সাথে 100 mL পানি মিশিয়ে = 100 mL 1M  $\text{NaOH}$  দ্রবণ।
৪. গাঢ়  $\text{NH}_4\text{Cl}$  দ্রবণ : 5.4g  $\text{NH}_4\text{Cl}$  এর সাথে 100 mL পানি মিশিয়ে = 100 mL 1M  $\text{NH}_4\text{Cl}$  দ্রবণ।



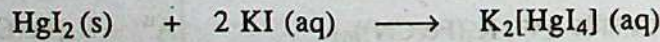
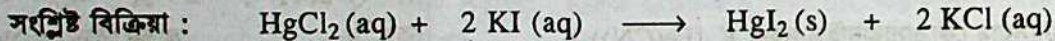
১৮৮

রসায়ন—প্রথম পত্র

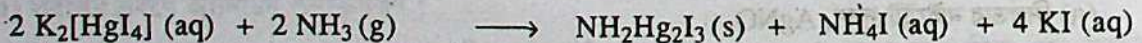
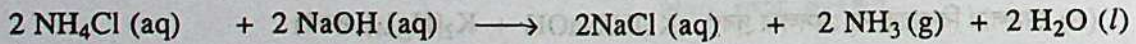
বিশেষ বিকারকসমূহের দ্রবণ প্রস্তুতি

১. পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণ : 6.4g  $K_4[Fe(CN)_6]$  লবণ (আ. ভর 422) এর সাথে 100 mL পানি = 100 mL 0.15M দ্রবণ।
২. পটাসিয়াম ফেরিসায়ানাইড দ্রবণ : 4.9g  $K_3[Fe(CN)_6]$  লবণ (আ. ভর 329) এর সাথে 100 mL পানি = 100 mL 0.15M দ্রবণ।
৩. অ্যামোনিয়াম থায়োসায়ানেট দ্রবণ : 1.2g  $NH_4CNS$  লবণ (আ. ভর 76) এর সাথে 100 mL পানি = 100 mL 0.15M দ্রবণ।
৪. অ্যামোনিয়াম অক্সালেট দ্রবণ : 2.2g  $(NH_4)_2C_2O_4 \cdot H_2O$  লবণ (আ. ভর 142) এর সাথে 100 mL পানি = 100 mL 0.15M দ্রবণ।
৫. পটাসিয়াম পাইরো অ্যাক্টিমোনেট দ্রবণ : 8.7g  $K_2H_2Sb_2O_7$  লবণ (আ. ভর 435.7) এর সাথে 100 mL পানি = 100 mL 0.2M দ্রবণ।

৬. নেসলার দ্রবণ (Nessler's Solution) : 2.7 g  $HgCl_2$  (আ. ভর 271) একটি বিকারে নিয়ে এতে 50 mL পানি মিশাও। দ্বিতীয় বিকারে 6.7 g KI নিয়ে এতে 50 mL পানি মিশাও। এখন KI এর সমস্ত দ্রবণকে ফোঁটায় ফোঁটায় 50 mL  $HgCl_2$  এর দ্রবণে যোগ কর। প্রথমে লাল বর্ণের  $HgI_2$  এর অধঃক্ষেপ পড়ে। শেষে অধিক KI দ্রবণ যোগ করার সাথে ঐ অধঃক্ষেপ দ্রবীভূত হয়ে পটাসিয়াম টেট্রাআয়োডো মারকিউরেট (II) যৌগের  $K_2[HgI_4]$  এর স্বচ্ছ দ্রবণ উৎপন্ন হয়। এ দ্রবণে 10 mL 1M NaOH (পূর্বে প্রস্তুত করা আছে) দ্রবণ যোগ করে অধিক ক্ষারীয় দ্রবণ তৈরি কর।



দ্রষ্টব্য : নেসলার দ্রবণে থাকা অধিক (NaOH) দ্রবণ নমুনা লবণ যেমন  $NH_4Cl$  এর সাথে বিক্রিয়া করে  $NH_3$  গ্যাস উৎপন্ন করে যা পরে  $K_2[HgI_4]$  এর সাথে বিক্রিয়া করে বাদামি বর্ণের অ্যামিনো মারকিউরিক আয়োডাইডের অধঃক্ষেপ সৃষ্টি করে।



পটাসিয়াম টেট্রাআয়োডো  
মারকিউরেট (II)

অ্যামিনো মারকিউরিক  
আয়োডাইড (বাদামি অধঃক্ষেপ)

৭. সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ : 1.7g  $AgNO_3$  লবণ (আ. ভর 170) এর সাথে 100 mL পানি মিশিয়ে = 100 mL 0.1M  $AgNO_3$  দ্রবণ।  $AgNO_3$  দ্রবণকে বাদামি বোতলে রাখতে হয়। আলোর প্রভাবে  $AgNO_3$  খুব ধীরে বিয়োজিত হয়।
৮. বেরিয়াম নাইট্রেট দ্রবণ : 6.5g  $Ba(NO_3)_2$  লবণ (আ. ভর 261.4) এর সাথে 100 mL পানি মিশিয়ে = 100 mL 0.25M  $Ba(NO_3)_2$  দ্রবণ।



## ২.১৪ গুণগত বিশ্লেষণে সাধারণ ল্যাবরেটরি পদ্ধতিসমূহ

### Common Laboratory Methods in Qualitative Analysis

সাধারণ ল্যাবরেটরি পদ্ধতি : যে কোনো জৈব ও অজৈব যৌগের পূর্ণাঙ্গ বৈশিষ্ট্য জানার জন্য পরীক্ষাধীন যৌগটি সম্পূর্ণ বিশুদ্ধ হওয়া দরকার। তাই প্রাকৃতিক উৎস অথবা পরীক্ষাগারে প্রস্তুত যৌগকে যে সব ভৌত পদ্ধতিতে বিশুদ্ধ অবস্থায় পৃথক করা হয়, সে সব পদ্ধতিকে সাধারণ ল্যাবরেটরি পদ্ধতি বলা হয়।

যৌগের বিশুদ্ধকরণ : কোনো যৌগকে সম্পূর্ণ অপরিবর্তিত রেখে অন্য কোনো মিশ্রিত পদার্থ থেকে যে ভৌত প্রক্রিয়ায় পৃথক করা হয়, তাকে ঐ যৌগের বিশুদ্ধকরণ বা বিশোধন বলা হয়। বিশুদ্ধ যৌগের সুনির্দিষ্ট ভৌত ধর্ম দ্বারা যৌগটি বিশুদ্ধ হয়েছে কিনা তা পরীক্ষা করে জানা যায়।

যে সব বৈশিষ্ট্যপূর্ণ ভৌত ধর্মের পরীক্ষা দ্বারা কোনো অজৈব ও জৈব যৌগের বিশুদ্ধতা সম্বন্ধে সুনিশ্চিত হওয়া যায়, তাদেরকে ঐ যৌগের বিশুদ্ধতার মানদণ্ড (Criteria of purity) বলে। যৌগের বিশুদ্ধতার সাধারণ মানদণ্ডসমূহ হলো নিম্নোক্ত ভৌত ধর্ম :

- (১) স্থির গলনাঙ্ক (melting point, m.p.); (২) স্থির স্ফুটনাঙ্ক (boiling point, b.p.);
- (৩) কঠিন পদার্থের কেলাস গঠন (crystallinity); (৪) আপেক্ষিক গুরুত্ব বা ঘনত্ব (sp. density);
- (৫) নির্দিষ্ট প্রতিসরাঙ্ক (refractive index)।

তবে কঠিন জৈব ও অজৈব যৌগের সুনির্দিষ্ট গলনাঙ্ক (m.p.) এবং তরল জৈব ও অজৈব যৌগের সুনির্দিষ্ট স্ফুটনাঙ্ক (b.p.) এদের বিশুদ্ধতার প্রধান মানদণ্ডরূপে গণ্য করা হয়। ভেজালযুক্ত কঠিন যৌগের গলনাঙ্ক সাধারণত  $2^{\circ}$ — $1^{\circ}\text{C}$  হ্রাস পায় এবং অবিশুদ্ধ তরলের স্ফুটনাঙ্ক  $2^{\circ}$ — $1^{\circ}\text{C}$  বৃদ্ধি পায়।

নির্দিষ্ট যৌগের বিশুদ্ধকরণের সাধারণ ল্যাবরেটরি পদ্ধতিসমূহ : বিভিন্ন জৈব ও অজৈব যৌগ কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় অবস্থায় থাকে। তাই কোনো যৌগের বিশোধন বা বিশুদ্ধকরণের জন্য কোন্ ভৌত পদ্ধতি উপযোগী হবে তা ঐ যৌগের ভৌত অবস্থার ওপর নির্ভর করে নিম্নোক্ত উপযুক্ত পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়। যেমন,

- [ক] কঠিন যৌগের বিশুদ্ধকরণের জন্য : ১. কেলাসন; ২. আংশিক কেলাসন; ৩. উর্ধ্বপাতন; ৪. স্টিম পাতন বা বাষ্প পাতন (কঠিন জৈব যৌগ); ৫. দ্রাবক নিষ্কাশন ও ৬. ক্রোমাটোগ্রাফি পদ্ধতি ইত্যাদি।
- [খ] তরল যৌগের বিশুদ্ধকরণের জন্য : ১. পাতন; ২. আংশিক পাতন; ৩. স্টিম বা বাষ্প পাতন; ৪. নিম্নচাপ পাতন; ৫. সমস্ফুটন পাতন; ৬. দ্রাবক নিষ্কাশন।
- [গ] গ্যাসীয় যৌগের বিশুদ্ধকরণের জন্য : ১. শোধন পদ্ধতি; ২. তরলীকরণ ও আংশিক পাতন।

উপরোক্ত বিশুদ্ধকরণ পদ্ধতিসমূহ যৌগের নিম্নোক্ত ভৌত ধর্মের ওপর নির্ভর করে :

- (১) যৌগের উদ্বায়িতার পার্থক্য : উর্ধ্বপাতন (কঠিন পদার্থের)
- (২) যৌগের স্ফুটনাঙ্কের পার্থক্য : বিভিন্ন পাতন (সাধারণ পাতন, আংশিক পাতন)
- (৩) পানিতে অদ্রবণীয় ও স্টিমে উদ্বায়িতা : স্টিম পাতন
- (৪) যৌগের দ্রাব্যতার পার্থক্য : কেলাসন ও দ্রাবক নিষ্কাশন
- (৫) স্থির মাধ্যমে অধিশোধন পার্থক্য : ক্রোমাটোগ্রাফি পদ্ধতি



### ২.১৪.১ কেলাসন পদ্ধতি (Crystallization)

**সংজ্ঞা :** কোনো কঠিন পদার্থের উত্তপ্ত সম্পৃক্ত দ্রবণকে ধীরে ধীরে শীতল করলে নিম্ন তাপমাত্রায় দ্রবণটি অতিপৃক্ত (super saturated) হওয়ার কারণে দ্রবণ থেকে অতিরিক্ত পদার্থ দানাদার কঠিন পদার্থরূপে পৃথক হয়ে পড়ে। একরূপে পৃথক হওয়া কঠিন পদার্থের নির্দিষ্ট জ্যামিতিক গঠন থাকে, তাকে কেলাস বলে এবং প্রক্রিয়াটিকে কেলাসন বলে। কেলাস পৃথক হওয়ার পর প্রাপ্ত দ্রবণটিকে মাতৃদ্রবণ বলে। মাতৃ দ্রবণ হলো সংশ্লিষ্ট পদার্থের একটি সম্পৃক্ত দ্রবণ (saturated solution)। কেলাসিত কঠিন পদার্থ বিশুদ্ধ অবস্থায় ও ভেজাল মুক্ত থাকে।

কোনো কেলাসাকার কঠিন পদার্থের পর পর দু'বার কেলাসন করে প্রাপ্ত শুষ্ক কেলাসের গলনাক্ষ স্তির বা একই হলে তবে ঐ কেলাসাকার পদার্থকে বিশুদ্ধতম ধরা হয়। দুই বা ততোধিক বার কেলাসন করাকে পদার্থের পুনঃকেলাসন (Recrystallization) বলা হয়। বিশুদ্ধ NaCl সাদা ও ঘনক (Cubic) আকৃতির হয়।

**প্রয়োগ :** শিল্পক্ষেত্রে চিনি উৎপাদনে কেলাসন পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়। এছাড়া জৈব যৌগের বিশোধনে কেলাসন প্রক্রিয়া ব্যবহৃত হয়। ভেজালমিশ্রিত অবিশুদ্ধ যৌগকে কেলাসন পদ্ধতিতে বিশুদ্ধ কেলাসরূপে মিশ্রণ থেকে পৃথক করা যায়।

**কেলাসনের মূলনীতি :** কঠিন দ্রবের দ্রাব্যতার পরিমাণ তাপমাত্রার সাথে সরাসরি সম্পর্কিত। তাপশোষী প্রক্রিয়ায় তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে যৌগের দ্রাব্যতা বৃদ্ধি পায়। শীতল করলে ঐ দ্রবণ থেকে অতিরিক্ত দ্রব কেলাস আকারে পৃথক হয়। শীতলকরণ ধীর গতিতে করলে কেলাসের আকার বড় এবং দ্রুত শীতলকরণে কেলাসের আকার অপেক্ষাকৃত ছোট হয়।

আবার ভেজাল মিশ্রিত কঠিন দ্রবের সম্পৃক্ত দ্রবণকে দ্রুত শীতল করলে সৃষ্ট কেলাসে ভেজাল বা অপদ্রব্যের কণা আটকে পড়ে। ফলে সৃষ্ট কেলাস সম্পূর্ণ বিশুদ্ধ হয় না। ধীরে শীতল করলে সৃষ্ট কেলাসের গঠনে অপদ্রব্য কণা থাকে না। তখন ঐ কেলাস স্বচ্ছ বিশুদ্ধ ও নির্দিষ্ট গলনাক্ষ বিশিষ্ট হয়। ভেজালযুক্ত কেলাস অস্বচ্ছ দেখায়।

**দ্রাবক নির্বাচন :** কেলাসন প্রক্রিয়ায় সঠিক দ্রাবক নির্বাচন খুবই গুরুত্বপূর্ণ। সঠিক দ্রাবক নির্বাচনের ওপর সংশ্লিষ্ট দ্রবটির কেলাসনের সফলতা নির্ভর করে। 'Like dissolves Like' নীতি অনুসারে, একই প্রকৃতির দ্রাবকে একই প্রকৃতির দ্রব অধিক দ্রবীভূত হয়। অর্থাৎ পোলার দ্রাবক (যেমন পানি, মিথানল, ইথানল, প্রোপানোন, ইথাইল অ্যাসিটেট, ডাইইথার ইথার) পোলার দ্রব অথবা আয়নিক যৌগের জন্য পোলারিটির মাত্রাভেদে উপযোগী, অপরদিকে অপোলার দ্রাবক (যেমন তরল হাইড্রোকার্বন, বেনজিন, টলুইন,  $CHCl_3$ ,  $CCl_4$  ইত্যাদি) অপোলার দ্রবকে দ্রবীভূত করার জন্য ব্যবহৃত হয়।

সাধারণত ভেজালযুক্ত জৈব যৌগের কেলাস বিবর্ণ হয়। এক্ষেত্রে প্রথমেই সংশ্লিষ্ট যৌগের সম্পৃক্ত দ্রবণকে অল্প পরিমাণ 'সক্রিয় কার্বন' গুঁড়া বা activated charcoal সহ উত্তপ্ত করলে রঙিন ভেজাল বস্তু শোষিত হয়; ফলে সম্পৃক্ত দ্রবণটি বর্ণহীন হয়।

**কেলাস পৃথকীকরণ :** কেলাসন প্রক্রিয়ার শেষ পর্যায়ে কেলাসিত পদার্থকে পরিস্রাবণ পদ্ধতিতে পৃথক করা হয়। ল্যাবরেটরিতে স্বল্প পরিমাণ কেলাসকে দ্রুত পৃথকীকরণের জন্য হ্রাসকৃত চাপে বুখনার ফানেল (Buchner funnel) ব্যবহৃত হয়। পৃথককৃত কেলাসকে অল্প পরিমাণ দ্রাবক দিয়ে ২/৩ বার ধৌত করা হয়। শেষে ডেসিকেটরে রেখে কেলাসকে শুষ্ক করা হয়।

**কেলাসের বিশুদ্ধতার পরীক্ষা :** বিশুদ্ধ কেলাস স্বচ্ছ হয়। শুষ্ক কেলাসের নির্দিষ্ট গলনাক্ষ থাকে। তাই গলনাক্ষ নির্ণয় করে কেলাসিত যৌগটির বিশুদ্ধতা জানা যায়। পরপর দু'বার কেলাসনের পর প্রাপ্ত উভয় কেলাসের গলনাক্ষ একই হলে তখন কেলাসিত যৌগের বিশুদ্ধতা নিশ্চিত হয়।

**কেলাসন পদ্ধতি নিম্নোক্ত ধাপে সম্পন্ন করা হয় :**

(১) উপযুক্ত দ্রাবকে প্রদত্ত নমুনার দ্রবণ প্রস্তুতি, (২) দ্রবণের পরিস্রাবণ বা ফিল্টারকরণ, (৩) সম্পৃক্ত দ্রবণ প্রস্তুতি, (৪) উত্তপ্ত সম্পৃক্ত দ্রবণকে শীতলকরণে কেলাসন, (৫) কেলাস পৃথকীকরণ ও শুষ্ককরণ।



## ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণি শিক্ষকের সহায়তায় চারজনের গ্রুপ করে নিম্নোক্ত মূলনীতি সহকারে উপরোক্ত ধাপ অনুসরণ করে নিচের চিত্রমতে অবিশুদ্ধ খাদ্যলবণ থেকে বিশুদ্ধ লবণের কেলাস তৈরি কর।

পরীক্ষা নং-৯

তারিখ : .....

পরীক্ষার সময় : ১ পিরিয়ড

২.১৫ পরীক্ষার নাম : খাদ্য লবণ বা অবিশুদ্ধ সোডিয়াম ক্লোরাইড থেকে

বিশুদ্ধ সোডিয়াম ক্লোরাইড কেলাস প্রস্তুতি।

(ক) মূলনীতি : প্রদত্ত অবিশুদ্ধ সোডিয়াম ক্লোরাইড বা খাদ্য লবণ-এর গাঢ় জলীয় দ্রবণে বিশুদ্ধ HCl এসিড যোগ করলে উভয়ের 'সাধারণ আয়ন' যেমন ক্লোরাইড আয়ন ( $Cl^-$ ) এর প্রভাবে শুধুমাত্র NaCl কেলাসিত হয়; কিন্তু খাদ্য লবণের অন্যান্য ভেজাল যেমন  $MgCl_2$ ,  $CaCl_2$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $MgSO_4$  ইত্যাদি দ্রবণে থেকে যায়। প্রাপ্ত কেলাসকে পৃথক করে শুষ্ক করে নিলে মোটামুটি বিশুদ্ধ NaCl এর কেলাস পাওয়া যায়।

[যদিও তাত্ত্বিকভাবে ঐ NaCl এর কেলাসকে গাঢ় HCl দিয়ে ধুয়ে ফেলা উচিত এবং তাপ প্রয়োগে গাঢ় HCl দূর করতে হয়। কিন্তু পরীক্ষাগারে শিক্ষার্থীদের জন্য তা বিপজ্জনক ও ক্ষতিকর হবে।]

(খ) প্রয়োজনীয় রাসায়নিক দ্রব্য : প্রদত্ত খাদ্য লবণ, গাঢ় HCl এসিড।

(গ) প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) বিকার ২টি, টেস্টটিউব ১টি, ফানেল, ফিল্টার পেপার, গ্লাস রড;

(২) পোর্সেলিন বেসিন, ত্রিপদী স্ট্যান্ড, বার্নার বা স্পিরিট ল্যাম্প ইত্যাদি।

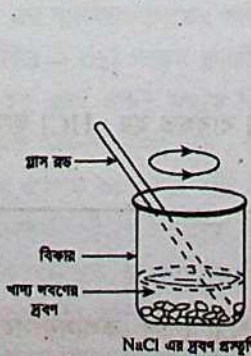
(ঘ) কাজের ধারা : (১) দ্রবণ প্রস্তুতি : প্রথমে খাদ্য লবণকে রাফ-ব্যালাসে মেপে এর ভর  $W_1$  রেকর্ড করা হয়; (মনে করি  $W_1 = 30\text{ g}$ )। এরপর একটি বিকারে 100 mL পানি নিয়ে এর মধ্যে প্রদত্ত খাদ্য লবণের গুঁড়া অল্প অল্প করে যোগ করে ও গ্লাস রড দিয়ে নেড়ে দ্রবণ প্রস্তুত করা হয়।

(২) পরিস্রাবণ : এখন দ্রবণটিকে পরিস্রাবণ করে পরিস্কার পরিস্রুত দ্রবণকে বিকারে নেয়া হয়।

(৩) সম্পৃক্ত দ্রবণ প্রস্তুতি : পরিস্রুত দ্রবণটিকে তাপ দিয়ে সম্পৃক্ত করা হয়। অল্প তণ্ড দ্রবণ টেস্টটিউবে নিয়ে ট্যাপের পানিতে শীতল করলে যদি কেলাস দেখা যায়, তবে দ্রবণটি সম্পৃক্ত হয়েছে ধরা হয়।

(৪) সাধারণ-আয়নরূপে গাঢ় HCl যোগ : এখন একটি শীতল পানির পাত্রে দ্রবণসহ বিকারটিকে রেখে কিছুটা শীতল করা হয়। পরে দ্রবণে ৫-৬ ফোঁটা গাঢ় HCl এসিড যোগ করা হয়। এতে কেলাসন সহজে ঘটে।

(৫) কেলাস পৃথকীকরণ : পরিস্রাবণ করে মাতৃদ্রবণ থেকে কেলাস পৃথক করা হয়। ফিল্টার পেপারের ওপর কেলাসগুলো জমা করা হয়।



চিত্র-২.২৫ : দ্রবণ প্রস্তুতি



চিত্র-২.২৬ : পরিস্রাবণ



চিত্র-২.২৭ : সম্পৃক্তকরণ



(৬) কেলাসের শুষ্ককরণ : ফিল্টার পেপারের ওপর জমা করা কেলাসগুলোকে অপর একটি ফিল্টার পেপার দিয়ে ধীরে ধীরে চেপে কেলাসগুলোর পানি শোষণ করা হয়। এরপর নিরুদক গলিত  $\text{CaCl}_2$  সহ ডেসিকেটর অথবা ভেকুয়াম ডেসিকেটরে কেলাসগুলোকে পোর্সেলিন বেসিনসহ রেখে শুষ্ক করা হয়। [চিত্র-২.২৯-২.৩০]।



চিত্র-২.২৮ : NaCl-এর কেলাসন, চিত্র-২.২৯ : ফিল্টার পেপার চেপে কেলাস শুষ্ককরণ, চিত্র-২.৩০ : ভেকুয়াম ডেসিকেটরে কেলাস শুষ্ককরণ

(৭) কেলাস সংরক্ষণ : টেস্টিউবের গায়ে রোল নং ..... লেখা কাগজ এঁটে দিয়ে এর ভেতর শুষ্ক ঘনক (cubic) আকৃতির NaCl এর কেলাসগুলো রেখে কৰ্ক যুক্ত করা হয়।

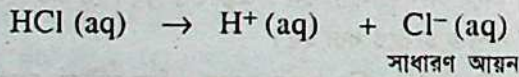
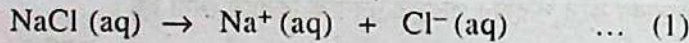
(৮) সতর্কতা : (১) সম্পৃক্ত দ্রবণ প্রস্তুত করতে যথাসম্ভব কম পানি ব্যবহার করা উচিত।

(২) বিকারে দ্রবণকে উত্তপ্ত করার সময় ধীরে ধীরে ও সমভাবে তাপ দেয়া উচিত।

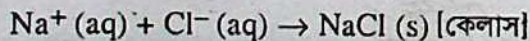
জেনে নাও

বিশুদ্ধ NaCl এর কেলাসন প্রক্রিয়ায় HCl এসিড ব্যবহার করা হয় কেন?

ভেজালযুক্ত খাদ্য লবণের উত্তপ্ত সম্পৃক্ত দ্রবণে NaCl সম্পূর্ণ আয়নিত অবস্থায় থাকে। যখন শীতল করা হয় তখন NaCl এর দ্রাব্যতা কমতে থাকে। এ অবস্থায় সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য HCl এসিড ঐ দ্রবণে যোগ করলে HCl আয়নিত হয়ে দ্রবণে সাধারণ আয়নরূপে  $\text{Cl}^-$  আয়নের ঘনমাত্রা বেড়ে যায়।



প্রথমত, নিম্নতাপমাত্রায় NaCl এর দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতা গুণফল ( $K_{sp}$ ) কমতে থাকে। দ্বিতীয়ত, HCl থেকে যুক্ত সাধারণ আয়ন যেমন ক্লোরাইড আয়ন ( $\text{Cl}^-$ ) এর প্রভাবে NaCl এর আয়নিক গুণফল ( $K_{ip}$ ) এটির দ্রাব্যতা গুণফল ( $K_{sp}$ ) থেকে আরো বেড়ে যায়। ফলে উপরোক্ত (1) নং সমীকরণে বিপরীতভাবে  $\text{Na}^+$  আয়ন ও  $\text{Cl}^-$  আয়ন যুক্ত হয়ে NaCl এর কেলাস দ্রুত সৃষ্টি হয়।



সুতরাং NaCl এর কেলাসন প্রক্রিয়া দ্রুত ও পরিমাণে বৃদ্ধির পাওয়ার জন্য HCl ব্যবহৃত হয়। HCl ছাড়া অতিপৃক্ত দ্রবণে NaCl এর কেলাসন ধীর গতিতে সম্ভব।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.১৯ : কেলাসনভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.২৭ : কেলাসন বলতে কী বোঝ?

প্রশ্ন-২.২৮ : NaCl এর সম্পৃক্ত দ্রবণে গাঢ় HCl এর কয়েক ফোঁটা যোগ করলে NaCl এর কেলাসন সহজে ঘটে; লবণের দ্রাব্যতার গুণফলের ওপর সমআয়নের প্রভাবের সাহায্যে এর ব্যাখ্যা কর।



### ২.১৫.১ আংশিক কেলাসন (Fractional Crystallization)

**সংজ্ঞা :** উপযুক্ত কোনো একটি দ্রাবকে বিভিন্ন দ্রাব্যতা বিশিষ্ট দুই বা ততোধিক কঠিন পদার্থের মিশ্রণের সম্পৃক্ত দ্রবণ থেকে ঐ মিশ্রণের উপাদানগুলোর দ্রাব্যতার পার্থক্যের ওপর ভিত্তি করে প্রত্যেকটি পদার্থকে পর্যায়ক্রমে পৃথকভাবে কেলাস রূপে পৃথক করার পদ্ধতিকে আংশিক কেলাসন বলে।

ব্যবহৃত দ্রাবকে পদার্থগুলোর দ্রাব্যতার পার্থক্য যতো বেশি হয়, আংশিক কেলাসনে তাদের পৃথকীকরণ ততোই সুষ্ঠু হয়।

**বর্ণনা :** মনে করি A ও B দুটি জৈব যৌগ ইথাইল অ্যালকোহলে দ্রবণীয়। কক্ষ তাপমাত্রায় ( $25^{\circ}\text{C}$ -এ) A এর দ্রাব্যতা হলো  $25\text{ gL}^{-1}$  এবং B এর দ্রাব্যতা হলো  $45\text{ gL}^{-1}$ । এখন A ও B যৌগের মিশ্রণটিকে ঐ দ্রাবকে  $50^{\circ}\text{C}$ -এ উত্তপ্ত করে A এর সাপেক্ষে সম্পৃক্ত দ্রবণ তৈরি করা হলো। এরপর ঐ মিশ্র দ্রবণটিকে  $25^{\circ}\text{C}$ -এ শীতল করলে কম দ্রাব্যতা বিশিষ্ট A যৌগটি কেলাসরূপে পৃথক হয়ে পড়ে। এরপর পরিস্রাবণ করে কেলাসিত A যৌগটিকে পৃথক করা হয়। শেষে প্রাপ্ত পরিস্রুত দ্রবণটিকে উত্তপ্ত করে গাঢ় করার পর কক্ষ তাপমাত্রার উর্ধ্বে  $30^{\circ}\text{C}$ -এ শীতল করলে B যৌগটি কেলাসিত হয়। এরপর পরিস্রাবণ করে B যৌগের কেলাসকে পৃথক করা হয়। শেষে A ও B যৌগের কেলাসকে উপযুক্ত পৃথক দ্রাবকে যেমন বেনজিন ও ইথারে দ্রবীভূত করে পুনঃ পুনঃ কেলাসন করলে বিশুদ্ধ A ও B এর কেলাস পাওয়া যায়। সাধারণত আংশিক কেলাসনে ব্যবহৃত দ্রাবক হলো পানি, অ্যালকোহল, ইথার, অ্যাসিটোন ও বেনজিন ইত্যাদি।

**প্রয়োগ :** চিনি বা সুগার শিল্পে প্রাথমিকভাবে কেলাসিত চিনিকে এর জলীয় দ্রবণ থেকে আংশিক কেলাসন প্রক্রিয়ায় অপদ্রব্য থেকে পৃথক করা হয়। এতে চিনির কেলাসের আকার বৃদ্ধির সাথে চিনির মিষ্টতাও বৃদ্ধি পায়।

### ২.১৬ পাতন (Distillation)

**সংজ্ঞা :** যে তরল পদার্থ এর স্ফুটনাঙ্কের মধ্যে বিয়োজিত না হয়ে বাষ্পীভূত হয় এবং সে বাষ্পকে শীতল করার পর একই তরল পদার্থ পাওয়া যায়, তাকে উদ্বায়ী তরল বলে। তাপ প্রয়োগে কোনো তরলকে বাষ্পে রূপান্তর ও শীতলকরণে ঘনীভূত হয়ে একই তরল পদার্থে পরিণত হওয়ার প্রক্রিয়াকে পাতন বলে। পাতন = (তরলের বাষ্পীভবন + বাষ্পের ঘনীভবন)

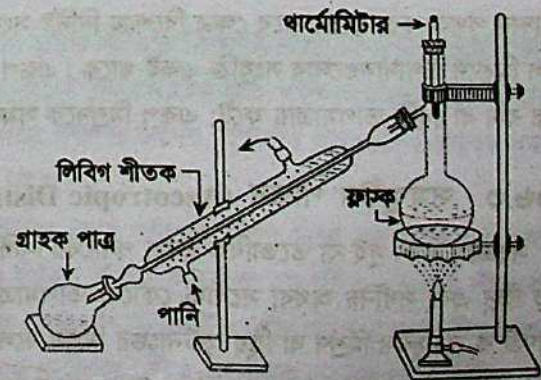
অবস্থাভেদে তরল পদার্থের পাতন পদ্ধতি ৫ শ্রেণিতে বিভক্ত। যেমন—



#### ২.১৬.১ সাধারণ পাতন (Simple distillation)

**সংজ্ঞা :** যে সাধারণ পাতন প্রক্রিয়ার সাহায্যে অনুদ্বায়ী কঠিন ও তরল পদার্থ থেকে উদ্বায়ী তরলকে এবং  $40^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রার অধিক ব্যবধানের স্ফুটনাঙ্কবিশিষ্ট দুই তরল পদার্থের মিশ্রণ থেকে পরস্পরকে বিশুদ্ধ অবস্থায় পৃথক করা যায়; তাকে সাধারণ পাতন বলে।

**সাধারণ পাতনের বর্ণনা :** বিশোধনের জন্য অবিশুদ্ধ তরলকে পাতন ফ্লাস্কে নিয়ে এর মুখে কর্কের মাধ্যমে একটি থার্মোমিটার এর বালবকে ফ্লাস্কের পার্শ্বনলের মুখ বরাবর রেখে যুক্ত করা হয়। [চিত্র-২.৩১] পাতন ফ্লাস্কটিকে তারজালির ওপর রেখে উত্তপ্ত করা হয় এবং একই সময়ে লিবিগ শীতকের ভেতরে ঠাণ্ডা পানির প্রবাহ চালনা করা হয়। ফ্লাস্কে তাপ প্রয়োগ করলে থার্মোমিটারে প্রথমে তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেয়ে পরে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় স্থির থাকে। তখন সে তাপমাত্রায় তরলটি বাষ্পীভূত হতে থাকে এবং শীতকে ঘনীভূত হয়ে বিশুদ্ধ তরলরূপে গ্রাহক পাত্রে জমা হয়। তরল পদার্থের স্ফুটনাঙ্ক  $100-120^{\circ}\text{C}$  এর উর্ধ্বে হলে পানি শীতক বা লিবিগ শীতকের পরিবর্তে  $1\text{ cm}^3$  ব্যাসের  $80\text{ cm}^3$  দীর্ঘ কাচ নির্মিত বায়ু-শীতক ব্যবহৃত হয়।



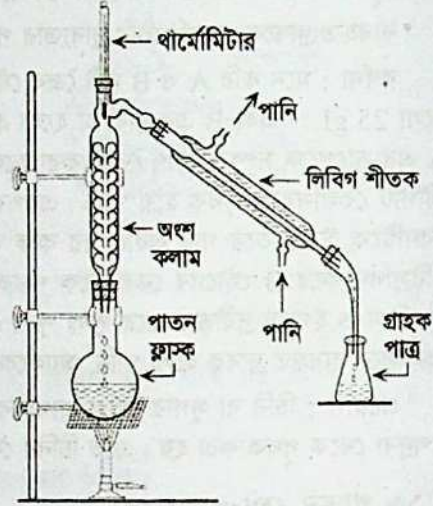
চিত্র-২.৩১ : সাধারণ পাতন পদ্ধতি।



### ২.১৬.২ আংশিক পাতন (Fractional distillation)

**সংজ্ঞা :** কোনো মিশ্র তরল পদার্থের উপাদানসমূহের স্ফুটনাঙ্কের ব্যবধান  $40^{\circ}\text{C}$  এর বেশি হলে সাধারণ পাতন পদ্ধতিতে এদের পৃথক করা সম্ভব। কিন্তু তরল মিশ্রণের উপাদানসমূহের স্ফুটনাঙ্কের ব্যবধান  $40^{\circ}\text{C}$  এর কম হলে তখন পাতন ফ্লাস্ক ও শীতকের মাঝখানে 'অংশ কলাম' (fractionation column) নামক 'সাহায্যকারী শীতক' ব্যবহার করে পাতন প্রক্রিয়ায় তরল উপাদানসমূহের পৃথকীকরণ সম্ভব হয়। 'অংশ কলাম' ব্যবহার করে পাতন প্রক্রিয়ায় মিশ্রণের তরল উপাদানকে পৃথক করার পদ্ধতিকে আংশিক পাতন বলে।

**বর্ণনা :** একটি তরল মিশ্রণে A ও B দুটি জৈব যৌগ আছে। A এর স্ফুটনাঙ্ক হলো  $85^{\circ}\text{C}$  এবং B এর স্ফুটনাঙ্ক হলো  $100^{\circ}\text{C}$ । মিশ্রণটিকে পাতন ফ্লাস্কে নিয়ে ছোট ছোট বাল্ববিশিষ্ট একটি অংশ কলামে যথারীতি যুক্ত করে উত্তপ্ত করা হয়। মিশ্রণটি ফুটে থাকে ও উৎপন্ন বাষ্প অংশ কলামের ভেতর দিয়ে ওপরে উঠলে উক্ত বাষ্পের অপেক্ষাকৃত কম উদ্বায়ী B এর বাষ্প বায়ুর শৈত্যে অংশ কলামের বালবে ঘনীভূত হয়ে নিচে নেমে আসে এবং অধিক উদ্বায়ী যৌগ A এর বাষ্প ক্রমশ ওপরের দিকে উঠতে থাকে। এতে কম উদ্বায়ী ঘনীভূত তরলের একটি নিম্নমুখী প্রবাহ ও অধিক উদ্বায়ী তরলটির বাষ্পের উর্ধ্বমুখী প্রবাহ চলতে থাকে। ফলে কম উদ্বায়ী তরলের বাষ্প ঘনীভূত হয়ে পুনরায় ফ্লাস্কে আসে এবং অধিক উদ্বায়ী তরলের বাষ্প অংশ কলাম পার হয়ে লিবিগ শীতকে প্রবেশ করে ও ঘনীভূত হয়ে পাতিত তরলরূপে গ্রাহক পাত্রে জমা হয়। পরে দুই তরলকে পৃথকভাবে পুনঃপাতন করে বিশুদ্ধ করা হয়।



চিত্র-২.৩২ : আংশিক পাতন পদ্ধতি।

**প্রয়োগ :** আধুনিক রাসায়নিক শিল্পে 'অংশ কলাম' ব্যবহার করে পেট্রোলিয়াম থেকে ডিজেল, পেট্রোল, কেরোসিন পৃথকীকরণ, রেকটিফাইড স্পিরিট উৎপাদন, আলকাতরার অংশ পাতন, লঘু তৈল থেকে বেনজিন, টলুইন প্রভৃতি পৃথকীকরণ উল্লেখযোগ্য।

**জেনে নাও :** দুই বা ততোধিক তরল পদার্থের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে এদের উৎপন্ন মিশ্র বাষ্পে অধিকতর উদ্বায়ী অর্থাৎ কম স্ফুটনাঙ্কবিশিষ্ট তরলটির বাষ্পের পরিমাণ বেশি থাকে এবং কম উদ্বায়ী তরলের বাষ্প কম থাকে। তাই ঐ মিশ্র বাষ্পকে শীতল করলে প্রায় তরল মিশ্রণে অধিক উদ্বায়ী তরলের শতকরা পরিমাণ বেশি হয়। এরূপে পুনঃপুনঃ পাতন করেও মিশ্রণের উপাদান পৃথক করা যায়। তবে ক্ষেত্র বিশেষে নির্দিষ্ট সংযুক্তিবিশিষ্ট তরল-তরল মিশ্রণের বাষ্পে উপাদান তরলের সংযুক্তি ও তরল মিশ্রণে উপাদানগুলোর সংযুক্তি একই থাকে। এরূপ সংযুক্তির তরল-তরল মিশ্রণটি প্রত্যেক উপাদান তরলের স্ফুটনাঙ্কের চেয়ে কম বা বেশি তাপমাত্রায় ফুটে; এরূপ মিশ্রণকে সমস্ফুটন মিশ্রণ বলা হয়।

### ২.১৬.৩ সমস্ফুটন পাতন (Azeotropic Distillation)

**সংজ্ঞা :** যখন দুই বা ততোধিক তরল পদার্থের নির্দিষ্ট শতকরা সংযুক্তির কোনো মিশ্রণ এর প্রত্যেক উপাদানের স্ফুটনাঙ্ক হতে ভিন্ন এবং সর্বনিম্ন অথবা সর্বোচ্চ কোনো তাপমাত্রায় একক বিশুদ্ধ তরলরূপে ফুটে, তখন ঐ নির্দিষ্ট সংযুক্তির তরল মিশ্রণটিকে সমস্ফুটন মিশ্রণ বা স্থির স্ফুটনাঙ্কের মিশ্রণ বলে। এরূপ মিশ্রণের পাতনকে সমস্ফুটন পাতন বলা হয়। যেমন,

(১) সর্বনিম্ন স্ফুটনাঙ্কের সমস্ফুটন মিশ্রণের উদাহরণ হলো 95.6% ইথানল ও 4.4% পানির মিশ্রণ; এ মিশ্রণের স্ফুটনাঙ্ক হলো  $78.15^{\circ}\text{C}$ । কিন্তু বিশুদ্ধ ইথানল ও পানির স্ফুটনাঙ্ক হলো যথাক্রমে  $78.3^{\circ}\text{C}$  এবং  $100^{\circ}\text{C}$ ।



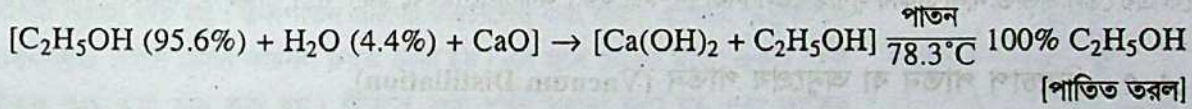
(২) সর্বোচ্চ স্ফুটনাঙ্কের সমস্ফুটন মিশ্রণের উদাহরণ হলো 68.4% HNO<sub>3</sub> ও 31.6% পানির মিশ্রণ; এ মিশ্রণের স্ফুটনাঙ্ক হলো 120.5°C। কিন্তু বিশুদ্ধ HNO<sub>3</sub> ও পানির স্ফুটনাঙ্ক হলো যথাক্রমে 86°C এবং 100°C।

উল্লেখ্য আংশিক পাতন দ্বারা সমস্ফুটন মিশ্রণের উপাদানগুলোকে পৃথক করা যায় না। কারণ সমস্ফুটন মিশ্রণের বাষ্পে উপাদানগুলোর সংযুক্তি এবং এর তরল মিশ্রণের উপাদানগুলোর সংযুক্তি একই থাকে।

উদাহরণ ও বর্ণনা : (i) স্টার্ট হতে ফারমেন্টেশন পদ্ধতিতে প্রস্তুত করা ইথানলের দ্রবণে প্রায় 12 – 15% ইথানলসহ স্বল্প পরিমাণে গ্লিসারিন, অ্যাসিট্যালডিহাইড, অ্যাসিটোন ও অধিকাংশ পানি মিশ্রিত থাকে। ‘অংশ-কলাম’ (fractionating column) ব্যবহার করে এ মিশ্রণকে পাতিত করলে 78.1°C তাপমাত্রায় 95.6% ইথানল ও 4.4% পানির সমস্ফুটন মিশ্রণ পাতিত তরলরূপে পাওয়া যায়। এ মিশ্রণকে রেকটিফাইড-স্পিরিট বলে।

(ii) রেকটিফাইড স্পিরিট বা 95.6% ইথানল থেকে 100% ইথানল প্রস্তুতি :

(ক) পাথুরে চুন (CaO) সহ পাতন : রেকটিফাইড স্পিরিটকে পাথুরে চুন বা কুইক লাইম (CaO) সহ পাতন করলে CaO দ্বারা 4.4% পানি শোষিত হয় এবং 78.3°C এ বিশুদ্ধ ইথানল পাতিত তরলরূপে পাওয়া যায়।



(খ) বেনজিনসহ পাতন : বেনজিনসহ সমস্ফুটন পাতন দ্বারা বিশুদ্ধ ইথানল প্রস্তুত করা যায়। যেমন, রেকটিফাইড স্পিরিটে প্রয়োজনমতো বেনজিন মিশিয়ে পাতন করলে 64.8°C ও 68.2°C তাপমাত্রায় নিম্নোক্ত দুটি সমস্ফুটন মিশ্রণের পাতন শেষে অবশেষরূপে বিশুদ্ধ ইথানল পাওয়া যায়।

১ম সমস্ফুটন মিশ্রণটির সংযুক্তি হলো 7.4% পানি + 18.5% ইথানল ও 74.1% বেনজিন; এটির পাতন তাপমাত্রা হলো 64.8°C। এ পাতন প্রক্রিয়ায় সমস্ত পানি দূর হয়। যদি মিশ্রণে বেনজিন অবশিষ্ট থাকে তখন তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেয়ে 68.2°C হলে ইথানল ও অবশিষ্ট বেনজিনের ২য় সমস্ফুটন মিশ্রণরূপে সমস্ত বেনজিন দূর হয়।

২য় সমস্ফুটন মিশ্রণের সংযুক্তি হলো 32.4% ইথানল ও 67.4% বেনজিন; এটির পাতন তাপমাত্রা হলো 68.2°C। এরপর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেয়ে 78.3°C তাপমাত্রায় 100% বিশুদ্ধ ইথানল পাতিত তরলরূপে সংগ্রহ করা হয়।

### ২.১৬.৪ বাষ্প পাতন বা স্টিম পাতন (Steam Distillation)

সংজ্ঞা : যে সব কঠিন ও তরল জৈব যৌগ পানিতে অদ্রবণীয় এবং ফুটন্ত পানিতে বিয়োজিত হয় না, কিন্তু উত্তম জলীয় বাষ্প বা স্টিমে সহজেই উদ্বায়ী হয় সে অনুদ্বায়ী ভেজাল পদার্থের মিশ্রণ থেকে স্টিম প্রবাহের দ্বারা পৃথক করার পদ্ধতিকে বাষ্প পাতন ও স্টিম পাতন বলে। এক্ষেত্রে উদ্বায়ী পদার্থের বাষ্প চাপ ও জলীয় বাষ্পের চাপের যোগফল বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়। তাই উদ্বায়ী পদার্থটি এর স্ফুটনাঙ্কের নিম্ন তাপমাত্রায় পাতিত হয়ে থাকে।

বর্ণনা : গোলতলি ফ্লাস্কে (F) অল্প পানিসহ অনুদ্বায়ী ভেজাল মিশ্রিত জৈব যৌগের মিশ্রণ নিয়ে এর সঙ্গে এক পার্শ্ব স্টিমের আগম-নল ও অপর পার্শ্ব উদ্বায়ী বাষ্পের নির্গম-নল এর সঙ্গে লিবিগ শীতক যুক্ত করা হয় (চিত্র-২.৩৩)। শীতকের (C) শেষ প্রান্তে গ্রাহক পাত্র থাকে। গোলতলি ফ্লাস্কটিকে স্টিম উৎপাদক পাত্রের দিকে একটু হেলান অবস্থায় রেখে স্টিম চালনা করা হয়, যেন স্ফুটনকালে লাফ দিয়ে নির্গম-নল পর্যন্ত তরলটি পৌঁছতে না পারে। স্টিম-উৎপাদক (B) ও পাতন ফ্লাস্কে (F) এমনভাবে তাপ দেয়া হয় যেন পাতন ফ্লাস্কে প্রবিষ্ট ও তা থেকে নির্গত বাষ্পের পরিমাণ প্রায় সমান থাকে। গ্রাহক ফ্লাস্কে (R)



সঞ্চিত জৈব যৌগের সঙ্গে পানিও জমতে থাকে। তাই কঠিন অদ্রবণীয় জৈব যৌগকে পৃথকীকরণ ফানেলের সাহায্যে পৃথক করা হয়। [চিত্র-২.৩৩ (ক)]



চিত্র-২.৩৩ : বাষ্প পাতন পদ্ধতি।

(ক) পৃথকীকরণ ফানেল।

**প্রয়োগ :** স্টিম.পাতন পদ্ধতিতে সুগন্ধ পুস্প থেকে ফুলের নির্বাস যেমন গোলাপ জল প্রভৃতি এবং ইউকেলিপটাস পাতা থেকে এর তৈল প্রভৃতি নানা প্রকার সুগন্ধি তৈল নিষ্কাশন করা হয়। অ্যানিলিনের বিশোধন বাষ্প পাতনের সাহায্যে করা হয়।

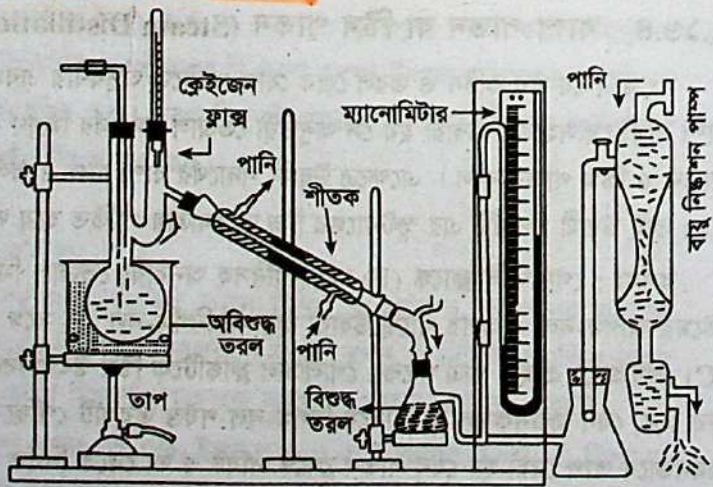
### ২.১৬.৫ নিম্নচাপ পাতন বা অনুপ্রেশ পাতন (Vacuum Distillation)

**সংজ্ঞা :** তরল পদার্থের উপরিস্থিত বায়ুচাপ হ্রাসের মাধ্যমে তরলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্কের চেয়ে নিম্ন তাপমাত্রায় কোনো তরল পদার্থকে পাতন করে কোনো মিশ্রণ হতে পৃথক করার প্রক্রিয়াকে নিম্নচাপ পাতন বা অনুপ্রেশ পাতন বলে।

**প্রয়োগ :** উল্লেখ্য তরল পদার্থের উপরিস্থিত বায়ুচাপ বৃদ্ধি করলে তরলের স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি পায় এবং বায়ুচাপ হ্রাস করলে স্ফুটনাঙ্কও হ্রাস পায়। যে সকল জৈব তরল এদের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্কের তাপমাত্রায় বিয়োজিত হয়ে যায়, সে সব তরল পদার্থকে অপেক্ষাকৃত নিম্নচাপে তথা নিম্নতাপমাত্রায় পাতন করা হয়। যেমন,

স্বাভাবিক বায়ুচাপে [760 mm(Hg)-এ] গ্লিসারিন 290°C তাপমাত্রায় আংশিক বিয়োজনসহ ফুটে ও পাতিত হয়। কিন্তু 12 mm(Hg) নিম্ন চাপে ও 180°C তাপমাত্রায় গ্লিসারিন বিয়োজন ছাড়াই ফুটে ও পাতিত হয়। তাই সাবান শিল্পে বর্জ্য-লাই (spent-lye) হতে গ্লিসারিনকে ঐ নিম্নচাপ ও নিম্ন তাপমাত্রায় পাতিত করে পৃথক করা হয়। এছাড়া ফিনাইল হাইড্রাজিন, ইথাইল ম্যালাইনোটে, ইথাইল অ্যাসিটো অ্যাসিটেট ইত্যাদিকে নিম্নচাপ পাতন করা হয়।

**বর্ণনা :** নিম্নচাপে পাতনের ক্ষেত্রে সাধারণ পাতন ফ্লাস্কের পরিবর্তে দুই মুখওয়ালা ক্রেইজেন ফ্লাস্ক ব্যবহৃত হয়। ক্রেইজেন ফ্লাস্কের সাথে লিবিগ শীতকসহ গ্রাহক ফ্লাস্ক (বিশুদ্ধ তরলের জন্য) যুক্ত করা থাকে। চিত্র মতে (চিত্র-২.৩৪), গ্রাহক ফ্লাস্কটির সাথে বায়ু-নিষ্কাশন পাম্প (vacuum pump) ও ম্যানোমিটার যুক্ত থাকে। ম্যানোমিটার থেকে বায়ুর নিম্নচাপের পরিমাণ জানা যায়। এক্ষেত্রে সব সংযোগ সম্পূর্ণ বায়ুরোধী (airtight) অবস্থায় রাখা হয়।

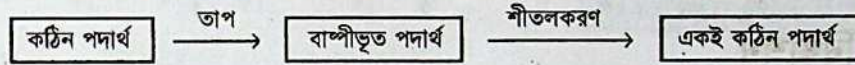


চিত্র-২.৩৪ : নিম্নচাপ পাতন

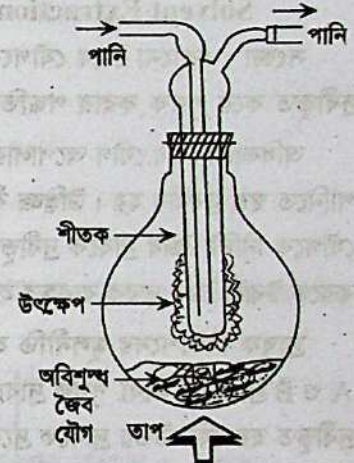


## ২.১৬.৬ উর্ধ্বপাতন (Sublimation)

সংজ্ঞা : যে সব কঠিন পদার্থের গলনাঙ্কের নিম্ন তাপমাত্রায় এদের বাষ্পচাপ বায়ুচাপ অপেক্ষা বেশি হয়, সে সব কঠিন পদার্থ তাপের প্রভাবে কঠিন অবস্থা থেকে সরাসরি বাষ্পে পরিণত হয়। বিপরীতক্রমে ঐ বাষ্পকে শীতল করলে পূর্বের কঠিন পদার্থে পরিণত হয়। এ পদ্ধতিকে উর্ধ্বপাতন বলে। এ কঠিন পদার্থকে উর্ধ্বপাতনযোগ্য পদার্থ বলে। যেমন কপূর, ন্যাফথালিন, বেনজয়িক এসিড এবং উর্ধ্বপাতনে পৃথকীকৃত বস্তুকে উৎক্ষেপ (sublimate) বলে।



বর্ণনা : কোনো অনুদ্বায়ী কঠিন পদার্থ ও উর্ধ্বপাতনযোগ্য জৈব পদার্থের মিশ্রণকে গোলতলি ফ্লাস্কে নেয়া হয়। এরপর চিত্রমতে একটি পানিশীতক ফ্লাস্কের মুখে যুক্ত করা হয়। শীতকে পানি চালনা করে তাকে শীতল রাখা হয়। এখন ফ্লাস্কটিকে উত্তপ্ত করলে উর্ধ্বপাতনযোগ্য পদার্থটি বাষ্পীভূত হয়ে শীতকের সংস্পর্শে কঠিন উৎক্ষেপরূপে শীতকের গায়ে জমা হয়। পরিশেষে শীতকের গা থেকে উৎক্ষেপ পৃথক করে বিশুদ্ধ যৌগটি সংগ্রহ করা হয়। উর্ধ্বপাতন প্রক্রিয়া নিম্নচাপেও করা যায়। এক্ষেত্রে মিশ্রণটিকে পার্শ্বনলযুক্ত একটা মোটা কাচনল ফ্লাস্কে নেয়া হয়। এর মুখে চিত্রের মতো একটি পানি শীতক কর্ক দ্বারা যুক্ত করা হয়। শীতকে ঠাণ্ডা পানি চালনা করা হয় এবং ফ্লাস্কের পার্শ্বনলটি রবার নলের সাহায্যে শোষণ-পাম্পের সঙ্গে যুক্ত করা হয়। ফলে ফ্লাস্কের ভেতর বায়ুচাপ কমে যায় এবং উর্ধ্বপাতনযোগ্য জৈব যৌগ বাষ্পীভূত হয়ে ওপরের শীতকের গায়ে উৎক্ষেপরূপে জমা হয়।



চিত্র-২.৩৫ : উর্ধ্বপাতন

**প্রয়োগ :** কপূর, ন্যাফথালিন, আয়োডিন, বেনজয়িক এসিড প্রভৃতি কঠিন বস্তুকে অনুদ্বায়ী ভেজাল মিশ্রণ থেকে উর্ধ্বপাতন প্রক্রিয়ায় বিশোধন করা হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.২০ : পাতন প্রক্রিয়াভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.২৯ : আংশিক পাতন কী?

প্রশ্ন-২.৩০ : সাধারণ পাতন ও আংশিক পাতনের মধ্যে পার্থক্যগুলো ছক আকারে লেখ।

প্রশ্ন-২.৩১ : বাষ্প পাতন কী?

প্রশ্ন-২.৩২ : আংশিক পাতন ও বাষ্প পাতনের মূল পার্থক্য ও দুটি করে প্রয়োগ বা ব্যবহারিক উদাহরণ দাও।

### জেনে নাও :

- সাধারণ পাতন :** অনুদ্বায়ী কঠিন পদার্থ ও উদ্বায়ী তরলের মিশ্রণ থেকে ঐ তরলকে অথবা দুটি তরলের মিশ্রণে উভয় তরলের স্ফুটনাঙ্কের ব্যবধান  $40^{\circ}\text{C}$  এর বেশি হলে সংশ্লিষ্ট তরলকে সাধারণ পাতন পদ্ধতিতে পৃথক করা সম্ভব।
- আংশিক পাতন :** তরল মিশ্রণের উপাদানসমূহের স্ফুটনাঙ্কের ব্যবধান  $40^{\circ}\text{C}$  এর কম বা কাছাকাছি হলে তখন আংশিক পাতন পদ্ধতিতে তরল উপাদানসমূহ পৃথক করা সম্ভব। যেমন পেট্রোলিয়ামের আংশিক পাতন।
- সমস্ফুটন পাতন :** যখন নির্দিষ্ট সংযুক্তির দুই বা ততোধিক তরল-তরল মিশ্রণের বাষ্প ও তরল মিশ্রণে একই সংযুক্ত থাকে এবং প্রত্যেক তরল উপাদানের স্ফুটনাঙ্কের কম তাপমাত্রায় অথবা সবচেয়ে বেশি তাপমাত্রায় ফুটে থাকে; তখন সমস্ফুটন পাতন পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়।



৪. বাষ্প বা স্টিম পাতন : পানিতে অদ্রবণীয় ও স্টিমে বা উত্তপ্ত পানি বাষ্পে উদ্বায়ী কঠিন ও তরল জৈব যৌগকে স্টিম পাতন দ্বারা বিশোধন করা হয়।
৫. নিম্নচাপ পাতন : বায়ুমণ্ডল চাপে ও স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্কে বিয়োজনযোগ্য তরল জৈব যৌগকে অপেক্ষাকৃত নিম্নচাপে তথা নিম্নতাপমাত্রায় পাতন করা হয়।
৬. উর্ধ্বপাতন : বায়ুমণ্ডল চাপে ও স্বাভাবিক গলনাঙ্কে সরাসরি বাষ্পে পরিবর্তনযোগ্য কঠিন পদার্থকে পৃথক করা যায়।

## ২.১৭ দ্রাবক নিষ্কাশন

### Solvent Extraction

সংজ্ঞা : কোনো জৈব যৌগকে এর জলীয় দ্রবণ অথবা অন্য কোনো মিশ্রিত অবস্থা থেকে একটি উপযুক্ত দ্রাবকে দ্রবীভূত করে পৃথক করার পদ্ধতিকে দ্রাবক নিষ্কাশন বলে।

অধিকাংশ জৈব যৌগ অপোলার হওয়ায় পোলার দ্রাবক পানিতে অদ্রবণীয়। তবে কম সংখ্যক আংশিক পোলার জৈব যৌগ পানিতে স্বল্প দ্রবণীয় হয়। উদ্ভিজ্জ বীজ, ফুল, পাতা, মূল ও বাকল ইত্যাদিতে বিভিন্ন জৈব যৌগ মিশ্রিত থাকে। ঐ সব জৈব যৌগকে নির্দিষ্ট জৈব দ্রাবকে দ্রবীভূত করে নিষ্কাশন করা হয়। পরীক্ষাগারে প্রস্তুত করা জৈব যৌগকে বিশুদ্ধ অবস্থায় পৃথক করতে উদ্বায়ী জৈব দ্রাবক ব্যবহৃত হয়।

দ্রাবক নিষ্কাশনের মূলনীতি হলো নার্নস্টের বন্টননীতি। এ নীতি অনুসারে, স্থির তাপমাত্রায় দুটি পরস্পর অমিশ্রণীয় A ও B দ্রাবকের মধ্যে, পৃথক দ্রাব্যতা বিশিষ্ট কোনো দ্রব যোগ করে ঝাঁকালে ঐ দ্রবটি উভয় দ্রাবকে এমনভাবে বণ্টিত বা দ্রবীভূত হয় যেন উভয় দ্রাবকে দ্রবের ঘনমাত্রার অনুপাত স্থির থাকে। তখন উভয় দ্রাবকে দ্রবটির বিয়োজন বা সংযোজন ঘটবে না। অর্থাৎ

$$\frac{\text{প্রাথমিক A দ্রাবকে দ্রবের ঘনমাত্রা } (C_1)}{\text{দ্বিতীয় B দ্রাবকে দ্রবটির ঘনমাত্রা } (C_2)} = K_D \text{ (ধ্রুবক)}$$

এক্ষেত্রে ধ্রুবক  $K_D$  কে দ্রবটির উভয় দ্রাবকে বন্টন সহগ বা বন্টন ধ্রুবক (distribution co-efficient) বলে।

দ্রাবক নিষ্কাশনের কার্যকারিতা প্রধানত নিম্নোক্ত দুটি ফ্যাক্টর বা বিষয়ের ওপর নির্ভর করে। যেমন,

- (১) যে দ্রাবকে দ্রবটি বা বস্তুটি দ্রবীভূত থাকে, তা অপেক্ষা নিষ্কাশনে ব্যবহৃত দ্বিতীয় দ্রাবকে দ্রবটির দ্রাব্যতা কত বেশি।
- (২) ব্যবহৃত নির্দিষ্ট পরিমাণ দ্রাবক দ্বারা দ্রবটিকে একবার মাত্র নিষ্কাশন করার পরিবর্তে ঐ পরিমাণ দ্রাবকটিকে কয়েকটি সমভাগে ভাগ করে দুয়ের অধিক ধাপে নিষ্কাশন প্রক্রিয়ায় অধিক দ্রব নিষ্কাশন সম্ভব হয়। এক্ষেত্রে সংশ্লিষ্ট সমীকরণটি হলো নিম্নরূপ :

$$x_n = x_0 \left[ \frac{K_D V_1}{K_D V_1 + v_2} \right]^n$$
; এক্ষেত্রে,  $x_n = n$  বার নিষ্কাশনের পর অবশিষ্ট দ্রব;  $x_0 =$  দ্রবের প্রাথমিক ভর;  $V_1 =$  প্রাথমিক দ্রবণের আয়তন;  $v_2 =$  প্রতিবার ব্যবহৃত দ্রাবকের পরিমাণ,  $K_D =$  বন্টন ধ্রুবক।

অধিক ধাপে দ্রাবক নিষ্কাশনে দ্রব বা বস্তুটির পরিমাণ নির্ণয়ের সমীকরণ প্রতিপাদন : যদি প্রথম দ্রাবকের  $V_1$  mL দ্রবণে  $x_0$  g বস্তু দ্রবীভূত থাকে এবং এতে  $v_2$  mL ২য় দ্রাবক যোগ করার ফলে পূর্বের দ্রবণে  $x_1$  g বস্তু অবশিষ্ট থাকে; তখন ১ম দ্রাবকে রয়ে যাওয়া বস্তুর ঘনমাত্রা হয়  $= (x_1/V_1) \text{ g mL}^{-1}$  এবং ২য় দ্রাবকে নিষ্কাশিত বস্তুর ঘনমাত্রা হয়  $= [(x_0 - x_1)/v_2] \text{ g mL}^{-1}$ ।



বন্টন সূত্র মতে,  $\frac{1\text{ম দ্রাবকে দ্রবের ঘনমাত্রা } (C_1)}{2\text{য় দ্রাবকে দ্রবের ঘনমাত্রা } (C_2)} = K_D$  ...

$$\text{অর্থাৎ } \frac{x_1/V_1}{(x_0 - x_1)/V_2} = K_D ;$$

$$\text{বা, } \frac{x_1}{V_1} = K_D \cdot \frac{(x_0 - x_1)}{V_2} = \left[ \frac{K_D \cdot x_0}{V_2} - \frac{K_D \cdot x_1}{V_2} \right];$$

$$\text{বা, } \frac{x_1}{V_1} + \frac{K_D \cdot x_1}{V_2} = \frac{K_D \cdot x_0}{V_2}$$

$$\text{বা, } x_1 \left[ \frac{K_D}{V_2} + \frac{1}{V_1} \right] = K_D \cdot \frac{x_0}{V_2};$$

$$\text{বা, } x_1 \cdot \left[ \frac{K_D V_1 + V_2}{V_1 V_2} \right] = K_D \cdot \frac{x_0}{V_2};$$

$$\text{বা, } x_1 = \frac{x_0 \cdot K_D V_1}{(K_D V_1 + V_2)}; \text{ [উভয় দিকের } V_2 \text{ বাদ দিয়ে বন্ধ গুণন করে পাই]}$$

আবার ২য় বার নিষ্কাশনের বেলায়  $V_2$  mL ২য় দ্রাবক ব্যবহৃত হয়; তখন অনিষ্কাশিত বা ১ম দ্রবণে রয়ে যাওয়া বস্তু  $x_2$  g এর পরিমাণ হবে :

$$x_2 = \frac{x_1 \cdot K_D V_1}{(K_D V_1 + V_2)} = \frac{x_0 \cdot K_D V_1}{(K_D V_1 + V_2)} \cdot \frac{K_D V_1}{(K_D V_1 + V_2)} = x_0 \cdot \left[ \frac{K_D V_1}{K_D V_1 + V_2} \right]^2$$

অনুরূপভাবে  $V_2$  mL ২য় দ্রাবক ব্যবহার করে  $n$  বার নিষ্কাশন করলে তখন অনিষ্কাশিত বস্তুর পরিমাণ  $x_n$  g হবে :

$$x_n = x_0 \cdot \left[ \frac{K_D V_1}{K_D V_1 + V_2} \right]^n; \text{ এক্ষেত্রে ২য় দ্রাবকটি সর্বমোট ব্যবহৃত হয়েছে } n \times V_2 = nV_2 \text{ mL। যদি এ } nV_2$$

mL দ্রাবকটি একবারেই ব্যবহার করে নিষ্কাশন প্রক্রিয়া একবার করা হয়। তখন অনিষ্কাশিত বস্তুর পরিমাণ ( $x_m$ ) হবে,

$$x_m = x_0 \left[ \frac{K_D V_1}{K_D V_1 + nV_2} \right]; \text{ এক্ষেত্রে গণিতের সূত্র মতে, } \frac{K_D V_1}{(K_D V_1 + nV_2)} > \left( \frac{K_D V_1}{K_D V_1 + V_2} \right)^n$$

এক্ষেত্রে  $n$  এর মান যত বড় হবে, উপরের রাশি দুটোর মধ্যে পার্থক্য তত বেশি হবে। সুতরাং  $x_m > x_n$ । অপর কথায়, দুয়ের অধিক দ্রাবক নিষ্কাশনে কম দ্রাবক বার বার ব্যবহার করলে নিষ্কাশিত বস্তুর পরিমাণ বেড়ে যায়; অনিষ্কাশিত বস্তুর পরিমাণ কম হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬৬ : এক লিটার জলীয় দ্রবণে 1g আয়োডিন দ্রবীভূত আছে। (ক) ঐ দ্রবণকে 50 mL  $\text{CCl}_4$  সহ ঝাঁকালে জলীয় দ্রবণে আর কত আয়োডিন অবশিষ্ট থাকবে? (খ) 50 mL  $\text{CCl}_4$  কে 10 mL করে পাঁচবার ব্যবহার করলে জলীয় দ্রবণে আর কত আয়োডিন থাকবে?  $\text{CCl}_4$  ও পানির মধ্যে  $\text{I}_2$  এর বন্টন গুণক হলো 80।

দক্ষতা : বন্টন সূত্র ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : (ক) 50 mL  $\text{CCl}_4$  ব্যবহার করে একবার নিষ্কাশনের বেলায়,  $nV_2 = 50$  mL,  $n = 5$ ,  $V_2 = 10$  mL, ১ম দ্রাবক পানির আয়তন  $V_1 = 1000$  mL। আয়োডিনের প্রাথমিক ভর,  $x_0 = 1$ g, অনিষ্কাশিত  $\text{I}_2$  এর ভর  $x_m = ?$   $\text{CCl}_4$  ও পানির বন্টন গুণক = 80; সুতরাং পানি ও  $\text{CCl}_4$  এর বন্টন গুণক  $K_D = 1/80 = 0.0125$ ।

MCQ-2.42 :  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  বিকারক

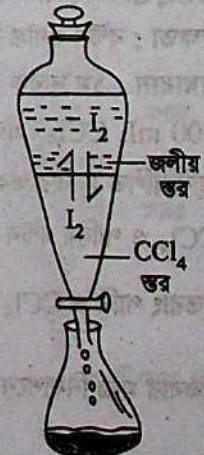
দ্বারা শনাক্ত করা যায়— [কু. বো. ২০১৫]

(i)  $\text{Cu}^{2+}$  (ii)  $\text{Zn}^{2+}$  (iii)  $\text{Fe}^{2+}$

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii

(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii



চিত্র-২.৬৬ : জলীয় দ্রবণ থেকে  $\text{I}_2$  কে  $\text{CCl}_4$  দ্বারা পৃথক করা।



$$\begin{aligned} \text{একবার মাত্র নিষ্কাশনের বেলায়, } x_m &= x_0 \cdot \left[ \frac{K_D \cdot V_1}{K_D \cdot V_1 + n v_2} \right] \\ &= 1 \text{ g} \cdot \frac{0.0125 \times 1000}{(0.0125 \times 1000 + 5 \times 10)} \end{aligned}$$

$$\text{বা, } x_m = \frac{12.5}{62.5} = 0.2 \text{ g (অবশিষ্ট থাকে)।}$$

$$\therefore \text{ নিষ্কাশিত \% পরিমাণ} = \frac{(1.0 - 0.2) \times 100}{1.0} = 80\%$$

(খ) 10 mL  $\text{CCl}_4$  প্রতিবারে ব্যবহার করে 5 বার দ্রাবক নিষ্কাশনের বেলায়, দ্রবণে অবশিষ্ট আয়োডিন থাকে  $x_5 = ?$  এক্ষেত্রে সমীকরণটি হলো :

$$\begin{aligned} x_5 &= x_0 \cdot \left[ \frac{K_D \cdot V_1}{K_D \cdot V_1 + v_2} \right]^5 = 1 \text{ g} \cdot \left[ \frac{0.0125 \times 1000}{(0.0125 \times 1000 + 10)} \right]^5 \\ &= \left( \frac{12.5}{22.5} \right)^5 = (0.555)^5 = 0.053 \text{ g অবশিষ্ট থাকে।} \end{aligned}$$

$$\therefore \text{ নিষ্কাশিত \% পরিমাণ} = \frac{(1.0 - 0.053) \times 100}{1.0} = 94.7\%$$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬৭ : কার্বন টেট্রাক্লোরাইড ও পানিতে  $\text{I}_2$  এর বন্টন গুণক হলো 80। কোনো তাপমাত্রায় প্রতি লিটার পানিতে 0.35 g আয়োডিন সম্পূর্ণ দ্রবণ তৈরি করে। ঐ তাপমাত্রায় কার্বন টেট্রাক্লোরাইডে আয়োডিনের দ্রাব্যতা গণনা কর।

$$\text{সমাধান : } \frac{\text{CCl}_4\text{-এ দ্রাব্যতা (C}_1\text{)}}{\text{H}_2\text{O-এ দ্রাব্যতা (C}_2\text{)}} = K_D$$

$$\text{বা, } \frac{C_1}{0.35 \text{ g L}^{-1}} = 80$$

$$\text{বা, } C_1 = 80 \times 0.35 \text{ g L}^{-1} = 28 \text{ g L}^{-1}$$

$$\therefore \text{ কার্বন টেট্রাক্লোরাইডে আয়োডিনের দ্রাব্যতা} = 28 \text{ g L}^{-1}$$

দেয়া আছে,

$$\frac{\text{CCl}_4\text{-এ দ্রাব্যতা (C}_1\text{)}}{\text{H}_2\text{O-এ দ্রাব্যতা (C}_2\text{)}} = K_D = 8$$

$$\text{পানিতে দ্রাব্যতা (C}_2\text{)} = 0.35 \text{ g L}^{-1}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬৮ :  $27^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় 100 mL জলীয় দ্রবণে 0.012 g  $\text{I}_2$  দ্রবীভূত আছে। এ জলীয় দ্রবণ থেকে  $\text{CCl}_4$  দ্রাবক দ্বারা  $\text{I}_2$  নিষ্কাশন করতে গিয়ে দেখা গেল যে, 100 mL  $\text{CCl}_4$  একবার ব্যবহার করার চেয়ে 50 mL করে  $\text{CCl}_4$  দ্রাবক দু'বার ব্যবহার করাই উত্তম।  $\text{CCl}_4$  পানির বন্টন গুণক,  $K_D = 80$ ।

দক্ষতা : বন্টন গুণক সূত্র ব্যবহার করা হবে।

সমাধান : ১ম দ্রাবক পানির আয়তন,  $V_1 = 100 \text{ mL}$ ; আয়োডিনের প্রাথমিক ভর,  $X_0 = 0.012 \text{ g I}_2$ ,

100 mL  $\text{CCl}_4$  একবার ব্যবহার করে একবার নিষ্কাশন করলে  $n v_2 = 100 \text{ mL}$ ;  $n = 2$  হলে  $v_2 = 50 \text{ mL}$

অনিষ্কাশিত  $\text{I}_2$  এর ভর  $x_m = ?$

$\text{CCl}_4$  ও পানির বন্টন গুণক = 80;

$$\text{সুতরাং পানি ও } \text{CCl}_4 \text{ এর বন্টন গুণক, } K_D = \frac{1}{80} = 0.0125.$$

$$\text{একবার মাত্র নিষ্কাশনের বেলায়, } X_m = X_0 \cdot \left[ \frac{K_D \cdot V_1}{K_D \cdot V_1 + n v_2} \right]$$

$$\text{বা, } X_m = 0.012 \text{ g} \cdot \frac{0.0125 \times 100}{(0.0125 \times 100 + 2 \times 50)}$$

**MCQ-2.43 :**  $[\text{Ar}] 3d^6 4s^2$  ইলেকট্রন বিন্যাসের মৌলটির— [মাদ্রাসা বোর্ড ২০১৮]

(i) জারণ অবস্থা +2, +3 সম্ভব

(ii)  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  দ্বারা এদের পার্থক্য করা যায়।

(iii) জারণ অবস্থা +3 অধিক স্থায়ী কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii

(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii



$$\text{বা, } X_m = \frac{0.015}{101.25} = 0.00014815 \text{ g (অনিষ্কাশিত থাকে)।}$$

$$\therefore \text{নিষ্কাশিত \% পরিমাণ} = \frac{(0.012 - 0.00014815) \text{ g} \times 100}{0.012 \text{ g}} = 98.76\%$$

আবার 50 mL CCl<sub>4</sub> প্রতিবার ব্যবহার করে 2 বার নিষ্কাশনের বেলায় অবশিষ্ট I<sub>2</sub> থাকে X<sub>2</sub> = ?

এক্ষেত্রে সমীকরণটি হলো :

$$X_2 = X_0 \left[ \frac{K_D \cdot V_1}{K_D \cdot V_1 + v_2} \right]^2 = 0.012 \text{ g} \left[ \frac{0.0125 \times 100}{(0.0125 \times 100 + 50)} \right]^2$$

$$\text{বা, } X_2 = 0.012 \text{ g} \times \left( \frac{1.25}{51.25} \right)^2 = 0.012 \text{ g} \times (0.02439)^2$$

$$\text{বা, } X_2 = 0.012 \times 0.000059487 \text{ g} = 0.000000714 \text{ g}$$

$$\therefore \text{দুইবার নিষ্কাশনের \% পরিমাণ} = \frac{(0.012 - 0.000000714) \text{ g} \times 100}{0.012 \text{ g}} = 99.99\%$$

সুতরাং একবারে 100 mL CCl<sub>4</sub> সহযোগে নিষ্কাশনের % পরিমাণ হলো 98.76%; কিন্তু 50 mL করে দু'বার 100 mL CCl<sub>4</sub> ব্যবহার করে নিষ্কাশিত % পরিমাণ হয় 99.98%, যা পূর্বের চেয়ে বেশি। তাই দু'বার 50 mL করে CCl<sub>4</sub> ব্যবহার করাই উত্তম।

দ্রাবক নিষ্কাশনের দ্রাবক : দ্রাবক নিষ্কাশনের জন্য ব্যবহৃত দ্রাবক হলো অধিক উদ্বায়ী ডাইইথাইল ইথার (b.p = 35°C), এছাড়া, বেনজিন, টলুইন, n-হেক্সেন, ক্লোরোফর্ম ও ডাইক্লোরো মিথেন ব্যবহৃত হয়। দ্রাবক নিষ্কাশন প্রক্রিয়া দ্রবের ভৌত অবস্থার ওপর ভিত্তি করে দুটি পদ্ধতিতে করা হয়।

(১) জলীয় দ্রবণ থেকে নিষ্কাশন ও (২) কঠিন পদার্থ থেকে জৈব যৌগ নিষ্কাশন বা সল্ললেট নিষ্কাশন।

(১) জলীয় দ্রবণ থেকে নিষ্কাশন : জৈব যৌগের জলীয় দ্রবণকে একটি পৃথকীকরণ ফানেলে (চিত্র-২.৩৭) নিয়ে ও ইথার যোগ করে ঝাঁকানোর পর স্থিরভাবে রাখা হয়। তখন তরলটি ইথারীয় ও জলীয় ও দু স্তরে বিভক্ত হয়। নিচের ভারী স্তরটিকে স্টপ কক ঘুরিয়ে বের করে নেয়ার পর হালকা স্তরকে ভিনু পাত্রে রাখা হয়। পুনরায় জলীয় স্তরকে ফানেলে নিয়ে আরো কিছু ইথার মিশিয়ে পূর্বের মতো ঝাঁকিয়ে স্থির রাখা হয় এবং অবশিষ্ট পানি স্তরকে পৃথক করা হয়। শেষে উভয় ইথার স্তরকে নিরুদক ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড দ্বারা শুষ্ক করে আংশিক পাতন দ্বারা দ্রাবক ইথার ও জৈব যৌগটি বিসুদ্ধ অবস্থায় পৃথক করা হয়। ক্লোরোফর্ম ও অ্যালকোহল মিশ্রণে পানি যোগ করে ঝাঁকিয়ে স্থির রাখলে ওপরের পানি স্তরে অ্যালকোহল দ্রবীভূত থাকে। নিচের ভারী ক্লোরোফর্ম স্তরকে পৃথক করা হয়। পরে ইথার দ্বারা অ্যালকোহল পৃথক করা যায়।



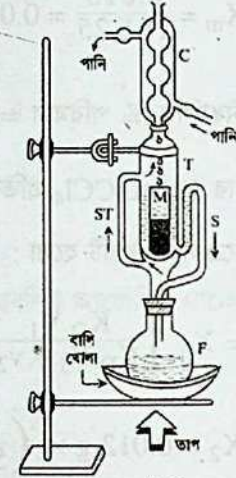
চিত্র-২.৩৭ : পৃথকীকরণ ফানেল।



(২) কঠিন পদার্থ থেকে জৈব যৌগ নিষ্কাশন : সস্কলেট নিষ্কাশন : মূলনীতি : কঠিন পদার্থ থেকে জৈব যৌগ নিষ্কাশনের জন্য মিহিচূর্ণ কঠিন বস্তুকে এমন একটি দ্রাবকে সিঁড়ি ও উত্তপ্ত করা হয় সে দ্রাবকে কেবল উত্তপ্ত ঈঙ্গিত জৈব যৌগটি দ্রবীভূত হলেও অন্যান্য ভেজাল পদার্থ অদ্রবীভূত থাকে। গাছের পাতা, বাকল ও শস্য বীজ থেকে জৈব যৌগ নিষ্কাশন এ পদ্ধতিতে করা হয়।

এজন্য সস্কলেট নিষ্কাশন যন্ত্র (Soxhlet extractor) ব্যবহৃত হয়। সস্কলেট যন্ত্রে তিনটি অংশ থাকে। যেমন, (১) নিচের পাতন ফ্লাস্ক (F), (২) মাঝখানের পার্শ্বনল ও সাইফুনযুক্ত বড় গ্লাস টিউব (T) এবং (৩) ওপরের শীতক অংশ-কলাম (C) (চিত্র-২.৩৮)।

জৈব যৌগের উৎস যেমন, গাছের পাতা, বাকল বা শস্যবীজ গুঁড়া করে পুরু ফিল্টার কাগজের (M) টোপের (thimble) ভর্তি করে মাঝখানের বড় গ্লাস টিউবে (T) এমনভাবে রাখা হয় যেন এর উচ্চতা সাইফুন নলের (S) কিছু উঁচুতে থাকে। এরপর গ্লাসটিউবের আয়তনের দেড় গুণ পরিমাণ দ্রাবক ফ্লাস্কে নিয়ে একে পানিগাহে বা বালিখোলায় উত্তপ্ত করা হয়। দ্রাবকের বাষ্প পার্শ্বনলের (S.T) মাধ্যমে ওপরের শীতকে পৌঁছে এবং তরলীভূত হয়ে ফোঁটায় ফোঁটায় ফিল্টার কাগজের টোপের ওপর পড়ে এবং জৈব যৌগকে দ্রবীভূত করে পরিস্রাবণের পর 'টোপের' ও গ্লাস টিউবের মাঝখানের ফাঁকে দ্রবণরূপে জমা হয়। এরূপে দ্রবণের উচ্চতা সাইফুন নলের উর্ধ্বে পৌঁছলে, ঐ দ্রবণটি সাইফুন টানে নিচের ফ্লাস্কে স্থানান্তরিত হয়। দ্রাবকের এই আবর্তন প্রয়োজন মতো অনেক বার করা হয়। এরপর আংশিক পাতনে দ্রাবক থেকে ঈঙ্গিত জৈব যৌগটিকে পৃথক করা হয়।



চিত্র-২.৩৮ : সস্কলেট নিষ্কাশন যন্ত্র।

**প্রয়োগ :** এ পদ্ধতিতে পেট্রোলকে দ্রাবকরূপে ব্যবহার করে (১) নারিকেলের শাঁসের গুঁড়া থেকে নারিকেল তৈল; (২) শস্যবীজ থেকে সুগন্ধি তৈল; (৩) মরিচের গুঁড়া থেকে ঝাঁঝালো লাল রং; (৪) ধানের তুষ ও চাউলের কুঁড়া থেকে ভোজ্য তেল নিষ্কাশন করা হয়।

## ২.১৮ ক্রোমাটোগ্রাফি Chromatography

বিভিন্ন যৌগের মিশ্রণের দুটি দশা বা সাম্যাবস্থার (phases) মধ্যে বন্টনের (distribution) পার্থক্যের ওপর নির্ভর করে ১৯০৩ খ্রিষ্টাব্দে রুশ বিজ্ঞানী মিখাইল সোয়েট (Mikhail Tswett) উদ্ভিদ থেকে রঞ্জিন পদার্থ যেমন, ক্লোরোফিল, জ্যান্থোফিল নামক উপাদান পৃথক করার কাজে ক্রোমাটোগ্রাফি [chroma অর্থ রং এবং গ্রাফ (graph) অর্থ চিত্রণ] পদ্ধতি উদ্ভাবন করেন।

**ক্রোমাটোগ্রাফির সংজ্ঞা :** যে বিশ্লেষণমূলক পদ্ধতিতে বিশেষ জৈব যৌগের দুই বা ততোধিক উপাদানের কোনো মিশ্রণকে একটি স্থির মাধ্যমে রেখে এবং অপর একটি সচল মাধ্যমকে উক্ত স্থির মাধ্যমের সংস্পর্শে প্রবাহিত করে মিশ্রণের উপাদানগুলোর অধিশোষণ মাত্রা কিংবা বন্টন সহগের ওপর ভিত্তি করে এদেরকে বিভিন্ন স্তরে পৃথক করা সম্ভব হয়, তাকে ক্রোমাটোগ্রাফি বলা হয়।

**ক্রোমাটোগ্রাফির বৈশিষ্ট্য :** ক্রোমাটোগ্রাফিতে প্রয়োজনীয় দুটি সাম্যাবস্থার মধ্যে একটি 'স্থির সাম্যাবস্থা' (stationary phase) এবং অপরটি 'চলনশীল সাম্যাবস্থা' (mobile phase) থাকে। এখানে তরল বা বাষ্পীয় পদার্থ 'চলনশীল সাম্যাবস্থা' রূপে এবং কঠিন বস্তু অথবা কঠিন বস্তুর উপরিস্থিত তরল বস্তু 'স্থির-সাম্যাবস্থা' রূপে ব্যবহৃত হয়।



(১) স্থির মাধ্যমটি যখন কঠিন পদার্থ হয় যেমন অধিশোষকরূপে অ্যালুমিনা ( $Al_2O_3$ ), ম্যাগনেসিয়া ( $MgO$ ),  $MgCO_3$ ,  $CaCO_3$  বা সিলিকা জেল ( $SiO_2$ ), স্টার্চ গুঁড়া হয়; তখন এর দ্বারা অধিশোষণের মাত্রার (extent of absorption) ওপর ভিত্তি করে মিশ্রণের উপাদানগুলো স্থির মাধ্যমের মধ্যে বিভিন্ন স্তরে বিভক্ত হয়। কোনো উপাদান স্থির মাধ্যমের অধিশোষক দ্বারা কতটা অধিশোষিত হবে তা নির্ভর করে সে উপাদানের গঠন প্রকৃতির ওপর। যেমন,

রঙিন মিশ্রণের যে উপাদান যত বেশি পোলার হবে (অর্থাৎ  $-CHO < -NH_2 < -OH < -COOH$  মূলক যুক্ত হবে) সেটি অধিশোষক দ্বারা ততই অধিশোষিত হবে।

(২) সচল মাধ্যমে মিশ্রণের উপাদানগুলোর দ্রবণীয়তা বা বন্টন সহগ (Partition coefficient) এর ওপর ভিত্তি করে উপাদানগুলো বিভিন্ন স্তরে বিভক্ত হয়ে যায়।

ক্রোমাটোগ্রাফির শ্রেণিবিভাগ : বিশ্লেষণযোগ্য উপাদানের দুটি ভৌত ধর্ম যেমন, অধিশোষণ ও দ্রাব্যতার ওপর ভিত্তি করে ক্রোমাটোগ্রাফিকে প্রধানত নিম্নোক্ত শ্রেণিতে বিভক্ত করা যায় :

(ক) অধিশোষণ ক্রোমাটোগ্রাফি	(adsorption chromatography) :	স্থির মাধ্যম	চলনশীল মাধ্যম
১. কলাম ক্রোমাটোগ্রাফি (CC)	(column chromatography) :	কঠিন	তরল
২. পাতলা স্তর ক্রোমাটোগ্রাফি (TLC)	(thin layer chromatography) :	কঠিন	তরল
(খ) বন্টন বা বিভাজন ক্রোমাটোগ্রাফি	(partition chromatography) :		
১. পেপার ক্রোমাটোগ্রাফি (PC)	(paper chromatography) :	তরল	তরল
২. গ্যাস ক্রোমাটোগ্রাফি (GC)	(gas chromatography) :	তরল	গ্যাস

এখানে কলাম ক্রোমাটোগ্রাফি ও পেপার ক্রোমাটোগ্রাফি বর্ণনা করা হলো।

### ২.১৯.১ কলাম ক্রোমাটোগ্রাফি দ্বারা উদ্ভিদের নির্বাস থেকে রঙিন উপাদান পৃথকীকরণ

#### Separation of Plant Extract by Column Chromatography

(ক) মূলনীতি : কলাম ক্রোমাটোগ্রাফি পদ্ধতিতে 'স্থির-সাম্যাবস্থা'-এর কলামরূপে সূক্ষ্ম কণার চকের গুঁড়া বা অ্যালুমিনা ( $Al_2O_3$ ) গুঁড়াকে লম্বা মোটা কাচনলে ভর্তি করা হয়। বিশ্লেষণযোগ্য রঙিন জৈব যৌগের মিশ্রণটিকে ঐ কলামে যোগ করা হয়। শেষে 'চলনশীল সাম্যাবস্থা' রূপে উপযুক্ত দ্রাবকে (যেমন, অ্যালকোহল, পেন্টেন, ইথার ইত্যাদিতে) দ্রবীভূত করে মিশ্রণের উপাদানকে পৃথক করা হয়।

\* কলাম তৈরিতে ব্যবহৃত একই দ্রাবকে প্রস্তুত উদ্ভিদের নির্বাস-দ্রবের মিশ্রণকে ওপর থেকে স্থির সাম্যাবস্থা কলামে ঢেলে দেয়া হয়। কলাম বেয়ে বর্ণযুক্ত যৌগের মিশ্রণটি নেমে আসার সময় অধিক শোষিত দ্রব কলামের উপরিভাগে ও অপেক্ষাকৃত কম শোষিত দ্রবসমূহ ক্রমশ কলামের নিচের দিকে বিভিন্ন রঙের ব্যান্ড (band) তৈরি করে শোষিত হয়।

\* এরপর উপযুক্ত দ্রাবকটিকে কলামের মধ্য দিয়ে চালনা করলে বিভিন্ন 'ব্যান্ড' ঐ দ্রাবকে দ্রবীভূত হয়ে বিভিন্ন 'ধৌত'রূপে বের হয়ে আসে এবং পৃথক পৃথকভাবে সংগ্রহ করা হয়।

\* এক্ষেত্রে সবচেয়ে কম শোষিত অপোলার দ্রবটি প্রথমে ও অধিক শোষিত পোলার দ্রব সব শেষে 'ধৌত'রূপে আসে। ধৌতরূপে আসা দ্রবণকে পাতন করে এর দ্রবসমূহকে পৃথক করা হয়।

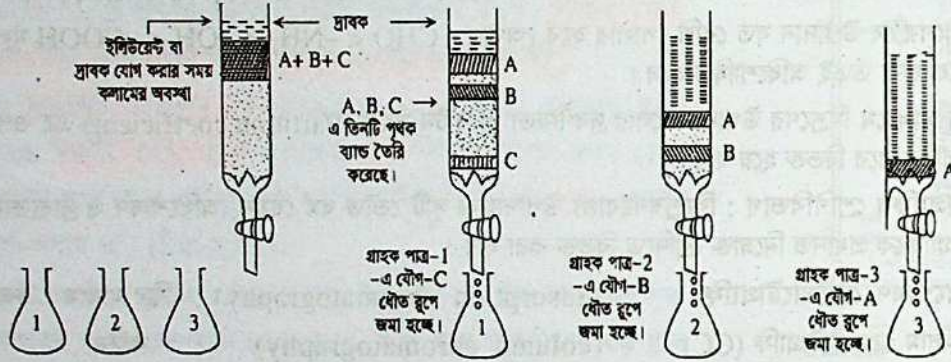
\* নির্দিষ্ট দ্রাবক ব্যবহার করে ক্রোমাটোগ্রাফি প্রক্রিয়ায় "ব্যান্ডযুক্ত দ্রব" তুলোকে ধুয়ে পৃথক করাকে ইলিউশন (elution) বলে এবং ইলিউশন কাজে ব্যবহৃত দ্রাবকটিকে ইলিউয়েন্ট (eluent) বলে।

(খ) প্রয়োজনীয় রাসায়নিক পদার্থ ও উপাদান : (১) উদ্ভিদ যেমন পাভাবাহার পাতা বা এর নির্বাস, (২) ইথানল বা মিথানল, (৩) চক পাউডার, (৪) পানি।

(গ) প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) কাচের ব্যুরেট, (২) কনিকেল ফ্লাস্ক-৩টি, (৩) বিকার-২টি, (৪) ফানেল; (৫) লম্বা গ্লাস রড, (৬) মর্টার ও পেষ্টল, (৭) স্ট্যান্ড-ক্ল্যাম্প, (৮) এক টুকরা কাপড়, (৯) গ্লাস উল বা ফিল্টার পেপার।



(ঘ) কাজের ধারা : (১) নির্ধারিত তৈরি : নমুনা উদ্ভিদের ৫/৬টি পাতার কুচি বা গুঁড়াকে মর্টারে রেখে পেটল দিয়ে পিষে পেটল তৈরি কর। এর মধ্যে অল্প অ্যালকোহল যোগ করে আবারও পিষে নাও। এবার ঐ পাতার পেটকে পাতলা কাপড় টুকরায় চেপে নির্ধারিতকে বিকারে সংগ্রহ কর। এর মধ্যে অল্প চকের গুঁড়া শোষকরূপে যোগ কর।



চিত্র-২.৩৯ : কলাম ক্রোমাটোগ্রাফি দ্বারা উদ্ভিদের নির্ধারিত থাকা রঙিন উপাদান পৃথকীকরণ।

(২) কলাম তৈরি : একটি ব্যুরেটে গ্রাস উল বা ফিল্টার কাগজ টুকরাকে গ্রাস রড দিয়ে ঠেলে ছিদ্রের মুখ বন্ধ কর। এবার বিকারে চকের গুঁড়া নিয়ে ফানেলের মুখে ব্যুরেটে যোগ করে 3 – 4 cm নিচের অংশে পূর্ণ কর। শেষে চকের গুঁড়ায় অ্যালকোহল মিশিয়ে তৈরি কাই বা স্লারি (Slurry) ঢেলে ঐ কলামের উচ্চতা 5 – 6 cm কর। স্ট্যান্ডের সাথে ব্যুরেট কলামটিকে আটকিয়ে নাও।

(৩) এবার নমুনা নির্ধারিত ও চকের গুঁড়ার মিশ্রণকে ফানেলের মুখ দিয়ে ধীরে ধীরে ব্যুরেট-কলামে ঢেলে দাও; যেন কলাম ঠিক থাকে। এবার সচল মাধ্যম বা দ্রাবক বা ইলিউয়েন্ট (eluent) রূপে ইথানলকে ফানেল দিয়ে ব্যুরেটে যোগ কর।

(৪) মনে কর মিশ্রণটিতে A, B, C তিনটি উপাদান আছে। এদের মধ্যে A হলো অধিক পোলার, B হলো মাঝারি পোলার, C হলো সবচেয়ে কম পোলার। অধিক পোলার A যৌগটি চক পাউডারের কলামে বেশি শোষিত হবে এবং C যৌগ কম শোষিত হবে। তাই হালকাভাবে শোষিত C যৌগ দ্রাবক ইথানলে সহজে দ্রবীভূত হয়ে গ্রাহক পাত্র-1 এ ধৌত (washing) রূপে জমা হবে। এরপর আসবে যৌগ B ও সর্বশেষে A-যৌগ ধৌতরূপে গ্রাহক পাত্র-2 ও গ্রাহক পাত্র-3-এ সংগ্রহ করা হবে। কলাম থেকে দ্রাবক বা ইলিউয়েন্ট দ্বারা পৃথক হওয়া ব্যান্ডগুলোকে ধৌতরূপে সংগ্রহ করার পদ্ধতিকে ইলিউশন (elution) বলা হয়।

**কলাম ক্রোমাটোগ্রাফির প্রয়োগ বা ব্যবহার** : উদ্ভিদের নির্ধারিত থেকে উপাদানগুলো, ভিটামিন, অ্যামাইনো এসিড, এন্টার ইত্যাদির পৃথকীকরণ ও বিশোধন এ পদ্ধতিতে করা হয়।

## ২.১৯.২ পেপার ক্রোমাটোগ্রাফি

### Paper Chromatography

(ক) মূলনীতি : পেপার ক্রোমাটোগ্রাফি হলো বন্টন বা বিভাজন শ্রেণির ক্রোমাটোগ্রাফি; এক্ষেত্রে নিষ্ক্রিয় মাধ্যম হোয়াটম্যান (Whatman) ফিল্টার কাগজে শোষিত পানি 'স্থির মাধ্যম' রূপে এবং 'চলনশীল মাধ্যম' বা 'সচল মাধ্যম' রূপে জৈব দ্রাবক ব্যবহৃত হয়। হোয়াটম্যান ফিল্টার কাগজের সেলুলোজ সব সময় অল্প পরিমাণ পানি শোষণ করে রাখে। ফলে হোয়াটম্যান কাগজে স্থাপিত নমুনা মিশ্রণের যৌগসমূহ (জৈব বা অজৈব যৌগ) এক্ষেত্রে দুটি অমিশ্রণীয় দ্রাবক যেমন স্থির মাধ্যমরূপী পানি ও সচল মাধ্যমরূপী জৈব দ্রাবকে এদের দ্রাব্যতার পার্থক্যের ভিত্তিতে পৃথক পৃথকভাবে বিভাজিত হয়ে পড়ে। তখন পানিতে বেশি দ্রবণীয় দ্রব যৌগটি কম বেগে এবং জৈব দ্রাবকে বেশি দ্রবণীয় দ্রব যৌগটি বেশি বেগে গতিশীল দ্রাবকের সাথে প্রবাহিত হয়। দ্রব ও দ্রাবকের গতিবেগের আনুপাতিক হার  $R_f$  (retention factor বা, relation



to front) এর মান থেকে উপাদান যৌগকে শনাক্ত করা হয়। বিভাজন ক্রোমাটোগ্রাফিতে উপাদান যৌগের সর্বাধিক গাঢ়ত্বের ফ্রন্টের দূরত্ব ও সচল মাধ্যম দ্রাবকের ফ্রন্টের দূরত্বের অনুপাতকে যৌগটির  $R_f$  মান বলে।

$$\text{সংক্ষেপে, } R_f = \frac{\text{উপাদান যৌগ কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব}}{\text{গতিশীল দ্রাবক কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব}}$$

**MCQ-2.44 :** ক্রোমাটোগ্রাফির মাধ্যম বা দশা কয়টি? [চ. বো. ২০১৭]  
(ক) 1 (খ) 2 (গ) 3 (ঘ) 4

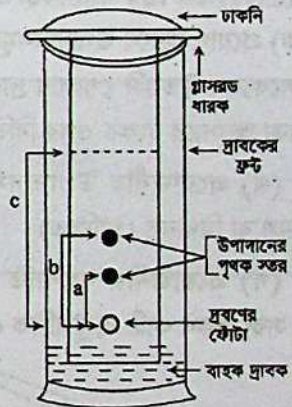
(খ) প্রয়োজনীয় উপাদান : (১) নমুনা মিশ্রণ, (২) জৈব দ্রাবক প্রোপানল বা অ্যাসিটোন বা ফিউরান, পানি।

(গ) প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) হোয়াটম্যান ফিল্টার কাগজ, (২) ঢাকনায়ুক্ত ক্রোমাটোগ্রাফি জার, (৩) ক্যাপিলারি টিউব বা ড্রপার, (৪) স্কেল ও পেন্সিল, (৫) হেয়ার ড্রাইয়ার, (৬) গ্লাস রড ধারক ও ক্লিপ।

(ঘ) কাজের ধারা : (১) ক্রোমাটোগ্রাফি জারের উচ্চতা অনুসারে 15-20 cm দৈর্ঘ্যের ও 2-3 cm প্রস্থের হোয়াটম্যান ফিল্টার কাগজ নাও। এ ফিল্টার কাগজের দু'প্রান্তে 2 cm দূরত্বে পেন্সিল দিয়ে দুটি বেইস লাইন ও ফ্রন্ট লাইন সমান্তরাল করে টান।

(২) নমুনা মিশ্রণে প্রয়োজনে 2-4 ফোঁটা দ্রাবক যোগ করে দ্রবণ তৈরি কর। চিত্র-২.৪০ মতে ফিল্টার কাগজটিকে গ্লাস রড ধারকে ক্লিপযুক্ত কর। এখন ক্যাপিলারি টিউব বা ড্রপারের সাহায্যে নমুনা পদার্থ নিয়ে ফিল্টার কাগজে বেইজ লাইন বরাবর নমুনা পদার্থের দ্রবণের ফোঁটা দাও। এখন হেয়ার ড্রাইয়ার-এর গরম বাতাসে নমুনার ফোঁটা শুকিয়ে নাও।

(৩) এখন ক্রোমাটোগ্রাফি জারে  $1\frac{1}{2}$  cm উচ্চতা পর্যন্ত প্রয়োজনীয় দ্রাবকটি নাও। এর মধ্যে নমুনা পদার্থের ফোঁটায়ুক্ত ফিল্টার কাগজটি জারের মধ্যে এরূপে স্থাপন কর যেন কাগজটির নিচের অংশ দ্রাবকে নিমজ্জিত থাকে এবং নমুনায়ুক্ত ফোঁটাটি দ্রাবকের সামান্য ওপরে থাকে। এখন জারটির ওপর ঢাকনা দাও এবং জারের তলদেশ থেকে দ্রাবকটি ওপরে দেয়া ফ্রন্ট লাইনে না পৌঁছানো পর্যন্ত সিস্টেমটিকে স্থির অবস্থায় রেখে পর্যবেক্ষণ কর।



চিত্র-২.৪০ : পেপার ক্রোমাটোগ্রাফি।

(৪) দ্রাবকটি ওপরের ফ্রন্ট লাইনে পৌঁছলে ফিল্টার কাগজটি বের করে নাও। এখন উপাদান যৌগের ফ্রন্টগুলো পেন্সিল দিয়ে দাগ দাও। এখন দ্রাবকটি শুকিয়ে নাও। উল্লেখ্য বর্ণযুক্ত উপাদান হলে, এদের অবস্থান সুস্পষ্ট হয়। কিন্তু বর্ণহীন উপাদান হলে এদের ক্রোমাটোগ্রাফকে উপযুক্ত বিকারক দ্রবণ স্প্রে করে এদেরকে বর্ণযুক্ত যৌগে পরিণত করা হয়। এখন প্রত্যেক যৌগের  $R_f$  মান গণনা কর।

$$R_f = \frac{\text{উপাদান কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব}}{\text{দ্রাবক কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব}}$$

$$1\text{ম উপাদান (X) এর } R_f = \frac{a}{c}; \quad 2\text{য় উপাদান (Y) এর } R_f = \frac{b}{c}$$

**MCQ-2.45 :** পেপার ক্রোমাটোগ্রাফিতে  $R_f$  এর কোন মানটি যুক্তিযুক্ত? [চ. বো. ২০১৫]  
(ক) 0.15 (খ) 1.0 (গ) 1.5 (ঘ) 2.0

**$R_f$  এর বৈশিষ্ট্য :** (ক)  $R_f$  হলো দুটি দূরত্বের অনুপাত; তাই এর কোনো একক নেই।

(খ) দ্রাবকের চেয়ে উপাদানের স্পটগুলো ধীরে চলে ফলে  $R_f$  এর মান 1 থেকে কম হবে।

(গ)  $R_f$  এর মান থেকে উপাদান শনাক্ত করা যায়।

(ঘ) দ্রাবকের প্রকৃতির ওপর  $R_f$  এর মান নির্ভরশীল। দ্রাবক পরিবর্তন করলে  $R_f$  এর মানের পরিবর্তন ঘটে।

এ পদ্ধতিতে অ্যামাইনো এসিড, লিপিডসমূহ, স্টেরয়েডসমূহ, হরমোনসমূহ, নিউক্লিওসাইড, নিউক্লিওটাইডসমূহ পৃথকীকরণ ও শনাক্তকরণ করা হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.২১ : দ্রাবক নিষ্কাশন ও ক্রোমাটোগ্রাফিভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.৩৩ : দ্রাবক নিষ্কাশন কী?

[সি. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-২.৩৪ : ক্রোমাটোগ্রাফি কী?

[রা. বো. ২০১৫; ব. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-২.৩৫ :  $R_f$  বলতে কী বোঝ?

[দি. বো. ২০১৫]



### ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণি শিক্ষকের সহায়তায় চারজনের গ্রুপ করে নিম্নোক্ত মূলনীতিসহকারে উপরোক্ত ধাপ অনুসরণ করে নিচের চিত্রমতে চক ক্রোমাটোগ্রাফির সাহায্যে মিশ্রণ থেকে যৌগ পৃথক কর।

পরীক্ষা নং-১০

তারিখ : .....

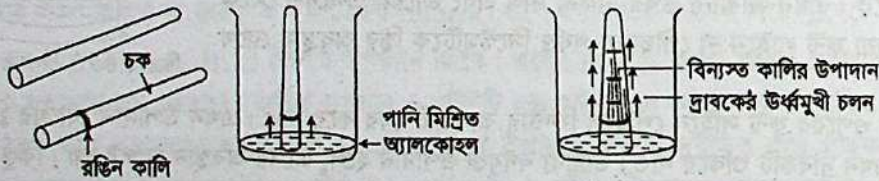
পরীক্ষার সময় : ১ পিরিয়ড

পরীক্ষার নাম : চক ক্রোমাটোগ্রাফির সাহায্যে মিশ্রণ থেকে যৌগ পৃথক করা

(ক) চক ক্রোমাটোগ্রাফির মূলনীতি : চক ক্রোমাটোগ্রাফি হলো একটি কলাম ক্রোমাটোগ্রাফি। কঠিন বস্তু চকের স্টিক ( $\text{CaCO}_3$ ) কে স্থির সাম্যাবস্থা শোষকরূপে ব্যবহার করা যায়। চক স্টিকের ওপর যৌগের মিশ্রণকে (যেমন কালি, খাদ্য-রঞ্জক) প্রয়োগ করলে উপাদানসমূহ প্রকৃতি অনুসারে চক দ্বারা বিভিন্ন মাত্রায় শোষিত হয়। পরে চলনশীল সাম্যাবস্থারূপে পানি, অ্যালকোহল ইত্যাদি পোলার দ্রাবক যখন চকের ওপর দিয়ে প্রবাহিত হয়, তখন মিশ্রণের উপাদানসমূহ ঐ দ্রাবকে এদের দ্রাব্যতা অনুসারে চকের ওপর বিভিন্ন অংশে পৃথক হয়ে পড়ে। এ প্রক্রিয়ার নিট ফলাফল হচ্ছে চক স্টিকটি বর্ণালি হয়ে পড়ে।

(খ) প্রয়োজনীয় উপাদানসমূহ : (১) সাদা চক স্টিক-২টি, (২) কলমের কালি অথবা মার্কার, (৩) পানি, 25% ইথানল বা মিথানল (পানিতে)।

(গ) প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) দুটি বিকার : 100 mL এবং 250 mL, (২) পরিমাপক সিলিন্ডার : 10 mL, (৩) সরু চিকন কাঠি বা টুথপিক (কালি বা রঞ্জক প্রয়োগ মাধ্যম), (৪) স্কেল, পেন্সিল।



চিত্র-২.৪১ : চক ক্রোমাটোগ্রাফির সাহায্যে কালির উপাদান পৃথকীকরণ।

(ঘ) কাজের ধারা :

(১) চিত্র মতে, চক স্টিকের মোটা অংশের তলদেশ একটু ঘষে সমান করে নাও যেন ছোট বিকারে রাখার সময় কাত হয়ে না পড়ে।

(২) চক-স্টিকের মোটা অংশের প্রান্ত থেকে 1.5 cm ওপরে পেন্সিল দিয়ে চারদিক ঘুরিয়ে 'গোল-ভিত্তি রেখা' টান।

(৩) এবার টুথপিক বা সরু চিকন কাঠি দিয়ে চকের গোল ভিত্তি রেখা বরাবর কলমের কালির ফোঁটা গোল আকারে দাও। [অথবা মার্কার কলমের সরু মুখে গোল করে কালি রেখা টান] এবং শুকিয়ে নাও। [মার্কার কালি পানিতে অদ্রবণীয়, অ্যালকোহলে দ্রবণীয়।]

(৪) এবার ছোট বিকারে 25% ইথানল বা মিথানল 1 cm উচ্চতা পর্যন্ত ঢাল। এখন নমুনা কালি যুক্ত চক-স্টিকটি বিকারটিতে ঝাড়া করে রাখ। দেখে নাও কালির স্পট দ্রাবক বা ইলিউয়েন্ট (eluent) এর ওপরে থাকছে কিনা, তা না হলে দ্রাবকের পরিমাণ কমিয়ে নাও।

(৫) চক-স্টিক না নড়ে মতো, বিকারটির ওপর একটি কাগজের টুকরা দিয়ে ঢেকে দাও। এতে দ্রাবকের বাষ্পীভবন রোধ হবে।



- (৬) লক্ষ কর, কালির উপাদান চক-স্টিকের ওপর দিকে ধীরে ধীরে ছড়িয়ে পড়ছে।
- (৭) এবার চক স্টিকের শেষ মাথায় দ্রাবক ফ্রন্ট (solvent front) পৌঁছার সাথে সাথে চক-স্টিকটি উঠিয়ে নাও।
- (৮) এখন পেন্সিলের দাগের গোল ভিত্তি রেখা থেকে চকের ওপরের শেষ প্রান্তের দূরত্ব (c) মেপে নাও। এরপর কালির উপাদানসমূহের অতিক্রান্ত দূরত্ব (a, b) মেপে নাও। চকটিকে শুকিয়ে নাও।
- (৯) পৃথক হওয়া উপাদানসমূহের  $R_f$  মান (Relation to front) এর মান বের কর।

$$R_f \text{ মান} = \frac{\text{প্রত্যেক উপাদান কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব}}{\text{দ্রাবক কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব}} = \frac{a \text{ (cm)}}{c \text{ (cm)}}$$

- (১০) প্রত্যেক উপাদানের  $R_f$  মান নির্দিষ্ট; তাই  $R_f$  মান থেকে উপাদান শনাক্ত করা হয়।

ফলাফল : চক ক্রোমাটোগ্রাফির ফলাফলরূপে কালির রেখা বা স্পটগুলো থেকে উপাদান আলাদা হয়ে চকটিকে বর্ণালী করেছে। এ বর্ণালী চক বোর্ডে লেখার কাজে ব্যবহার করা যাবে।

- জেনে রাখ :**
- (i)  $R_f$  হলো দুটি দূরত্বের অনুপাত; তাই  $R_f$  এর কোনো একক নেই।
  - (ii)  $R_f$  মান স্থির সাম্যাবস্থা ও চলনশীল সাম্যাবস্থা (eluent) এর ওপর নির্ভরশীল।
  - (iii)  $R_f$  এর মান 0 (শূন্য) ও 1 এর মধ্যে থাকে,  $R_f \leq 1$  হয়।
  - (iv)  $R_f$  কে retention factor -ও বলা হয়।

## ২.২০ পদার্থের গুণগত বিশ্লেষণের গুরুত্ব

### Qualitative Analysis of a substance & its Importance

'গুণগত রসায়ন' অধ্যায়ের আলোচনা থেকে আমরা জেনেছি—

- (১) পরমাণুর গঠন উপাদান প্রোটন, নিউট্রন ও ইলেকট্রন এর পরীক্ষার মাধ্যমে শনাক্তকরণ এবং বিন্যাস প্রকরণ।
- (২) ভিডিং চুম্বকীয় বর্ণালির গঠন প্রকরণ, মৌলের পরমাণুর বৈশিষ্ট্যপূর্ণ বর্ণালি সৃষ্টি এবং মৌল শনাক্তকরণে বর্ণালির ভূমিকা।
- (৩) UV রশ্মি দ্বারা জাল টাকা ও পাসপোর্ট শনাক্তকরণ, চিকিৎসা ক্ষেত্রে IR রশ্মির ব্যবহারের সুফল এবং রোগ নির্ণয়ে MRI পরীক্ষার ভূমিকা।
- (৪) রসায়ন পরীক্ষাগারে দ্রবণে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণে আয়নিক যৌগের দ্রাব্যতার গুণফল, আয়নিক গুণফল ও দ্রবণে pH এর ভূমিকা।
- (৫) যৌগের পৃথকীকরণে ও বিশুদ্ধকরণে কেলাসন, উর্ধ্বপাতন, পাতন, আংশিক পাতন, স্তিম পাতন ও দ্রাবক নিষ্কাশন প্রভৃতি ভৌত পদ্ধতির ভূমিকা। এছাড়া ক্রোমাটোগ্রাফি দ্বারা যৌগের পৃথকীকরণ, বিশোধন ও মাত্রিক পরিমাণ নির্ধারণ সম্ভব। এ সবই হলো গুণগত রসায়নের আওতাভুক্ত। আবার বিশুদ্ধ যৌগটি যেমন অজৈব যৌগ অথবা জৈব যৌগ কী কী উপাদান মৌল বা যৌগমূলক দ্বারা গঠিত এদের উপস্থিতি এবং পরিমাণ নির্ণয়ে যে পদ্ধতিগত রাসায়নিক প্রক্রিয়া অনুসরণ করা হয়, তাকে রাসায়নিক বিশ্লেষণ (Chemical analysis) বলা হয়। রাসায়নিক বিশ্লেষণ হলো ব্যবহারিক রসায়ন (Practical Chemistry)-এর অন্তর্ভুক্ত। রাসায়নিক বিশ্লেষণ প্রক্রিয়া দু'শ্রেণিভুক্ত। যেমন-

- (১) গুণগত বিশ্লেষণ (Qualitative analysis) ও
- (২) মাত্রিক বিশ্লেষণ (Quantitative analysis)।



যে বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় কোনো রাসায়নিক পদার্থের উপাদান মৌল, মূলক এবং মিশ্র পদার্থের উপাদান যৌগের উপস্থিতি প্রয়োজনীয় বিক্রিয়ক বা বিকারক (reagent) এর সাথে বিক্রিয়ায় বিশেষ বর্ণযুক্ত যৌগের দ্রবণ বা অধঃক্ষেপ সৃষ্টির মাধ্যমে শনাক্ত করা হয়, তাকে গুণগত বিশ্লেষণ বা আঙ্গিক বিশ্লেষণ বলা হয়। যেমন শিখা পরীক্ষা হলো একটি আঙ্গিক বা গুণগত বিশ্লেষণ। দ্রবণে ধনাত্মক আয়ন বা ক্যাটায়ন এবং ঋণাত্মক আয়ন বা অ্যানায়ন শনাক্তকরণ হলো গুণগত বিশ্লেষণ। গুণগত বিশ্লেষণের পরে ঐ নমুনায় ঐ সব মৌল, মূলক বা যৌগ কী পরিমাণে আছে, তা নির্ণয়ের পদ্ধতিকে মাত্রিক বিশ্লেষণ বলা হয়। ক্রোমাটোগ্রাফি হলো গুণগত বিশ্লেষণ ও মাত্রিক বিশ্লেষণ উভয় শ্রেণিভুক্ত। বাস্তবক্ষেত্রে গুণগত বিশ্লেষণ ও মাত্রিক বিশ্লেষণ উভয়ের গুরুত্ব অপরিসীম। নিম্নোক্ত ক্ষেত্রে তা আলোচনা করা হলো :

(১) কৃষি ক্ষেত্রে : বাংলাদেশ হলো একটি কৃষিপ্রধান দেশ। বিভিন্ন অঞ্চলের কৃষি জমির মাটির নমুনার গুণগত বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় লবণ শনাক্তকরণ এবং শেষে মাত্রিক বিশ্লেষণ দ্বারা উপস্থিত লবণের পরিমাণ বের করা হয়। এরপর কৃষিবিদগণ ঐ জমির উপযোগী ফসল চাষের ও সার ব্যবহারের জন্য উপদেশ দেন।

(২) খাদ্যদ্রব্য সংরক্ষণ ক্ষেত্রে : পচনশীল খাদ্যবস্তু সংরক্ষণে অনুমোদিত প্রিজারভেটিভস্ ছাড়াও অবিবেচক অসাধু বিক্রেতারা খাদ্যবস্তুর পচনরোধক ফরমালিন ব্যবহার করে। এছাড়া কাঁচাফল পাকা করতে কার্বাইড ব্যবহার করে। এসব রাসায়নিক পদার্থ দেহের জন্য ক্ষতিকর। তাই এ সব ক্ষতিকর রাসায়নিক পদার্থ শনাক্তকরণে সহজ যান্ত্রিক পদ্ধতি কিট (Kit) ব্যবহৃত হয়। অনুরূপভাবে নলকূপের পানিতে আর্সেনিক শনাক্তকরণে আর্সেনিক কিট (Kit) ব্যবহৃত হয়। খাদ্যবস্তুতে বিষাক্ত ধাতু যেমন Pb, Cr, Cd, As ইত্যাদির উপস্থিতি শনাক্তকরণ গুণগত বিশ্লেষণের অন্তর্ভুক্ত।

নলকূপের পানিতে অধিক পরিমাণ  $Fe^{2+}$  আয়ন থাকলে তখন ঐ পানি বাসাবাড়ি ও কারখানায় সমস্যা সৃষ্টি করে। তাই আয়রন রিমুভ্যাল প্ল্যান্ট ব্যবহৃত হয়। এক্ষেত্রেও গুণগত বিশ্লেষণ প্রযোজ্য।

(৩) চিকিৎসা ক্ষেত্রে : আধুনিক চিকিৎসায় দেহে রোগ নির্ণয় ও এর চিকিৎসা দেহের বিভিন্ন তরল উপাদানের পরীক্ষানির্ভর প্যাথলজি রিপোর্টের ওপর বিশেষত নির্ভরশীল। যেমন মলমূত্র ও রক্তে জীবাণুর উপস্থিতি শনাক্তকরণ, উপাদান কোষের পরিবর্তন ও এদের প্রতিচ্ছবি গ্রহণ ইত্যাদি গুণগত বিশ্লেষণ দ্বারা করা হয়। এছাড়া ব্যবহৃত ওষুধ বা ড্রাগের বিশুদ্ধতা পরীক্ষায়ও গুণগত বিশ্লেষণ প্রযোজ্য।

(৪) শিল্প ক্ষেত্রে : শিল্পে উৎপাদিত পণ্যের গুণাগুণ ও মান জানার জন্য ঐ পণ্যের গুণগত বিশ্লেষণ দ্বারা সঠিক মান নির্ধারণ করে বাজারজাত করা হয়। এছাড়া শিল্প বর্জ্য দ্বারা পরিবেশ দূষণ রোধ করতে শিল্প বর্জ্যে বিষাক্ত পদার্থের শনাক্তকরণ এবং এর প্রতিকার করতে শিল্প ক্ষেত্রে কনসাইন্ড ইফ্লুয়েন্ট ট্রিটম্যান্ট প্ল্যান্ট (CETP) প্রতিষ্ঠায় গুণগত বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ার গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রয়েছে।

### অধ্যায়ের সার-সংক্ষেপ (Recapitulation)

- \* তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ : সব ধরনের দৃশ্য ও অদৃশ্য আলোর উৎপত্তি বিদ্যুৎ ও চুম্বক শক্তির বিকিরণে ঘটে। দৃশ্যমান আলো হলো বিদ্যুৎ চুম্বকীয় বিকিরণ রশ্মির সামান্য অংশ মাত্র। এ সব তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণকে একত্রে তড়িৎ চুম্বকীয় স্পেকট্রাম (spectrum) বা বর্ণালি বলা হয়।
- \* ফ্রিকুয়েন্সি ও হার্টজ (Hz) : প্রতি একক সময়ে যেমন এক সেকেন্ডে কোনো তরঙ্গ রশ্মি দ্বারা অতিক্রান্ত দূরত্বের মধ্যে যতটি পূর্ণ তরঙ্গ সৃষ্টি করে, ঐ তরঙ্গ সংখ্যাকে ফ্রিকুয়েন্সি ( $\nu$ ) বলে। এর একক হলো সেকেন্ড ইনভার্স ( $s^{-1}$ ); একে হার্টজ (Hertz) বলে।
- \* ফোটন (Photon) : পদার্থ হতে বিকিরিত শক্তি বিচ্ছিন্নভাবে ক্ষুদ্র শক্তির প্যাকেট হিসেবে বের হয়। বিকিরিত শক্তির এ একক পরিমাণকে ফোটন বা আলোর এক কোয়ান্টাম শক্তি বলে।



- \* রেখা বর্ণালি (Line Spectrum) : উদ্দীপিত পরমাণু থেকে নির্গত রশ্মি দ্বারা সৃষ্ট বর্ণালিতে সূর্যালোকের বর্ণালির মত সব বর্ণের আলো থাকে না; কয়েকটি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর সূক্ষ্ম রেখা দেখা যায়। তাই এরূপ রেখার সারিকে পারমাণবিক রেখা বর্ণালি বলে।
- \* কোয়ান্টাম সংখ্যা : ইলেকট্রনের শক্তি স্তরের আকার, আকৃতি ও কক্ষ পথের ত্রিমাত্রিক দিক বিন্যাস নির্দেশক এবং ইলেকট্রনের অক্ষ বরাবর ঘূর্ণন প্রকাশক রাশিকে একত্রে কোয়ান্টাম সংখ্যা বলা হয়।
- \* অরবিট (Orbit) : পরমাণুর নিউক্লিয়াসের চারদিকে দ্বিমাত্রিক বৃত্তাকার পথে ইলেকট্রনের আবর্তন করার এলাকাকে অরবিট বলে।
- \* অরবিটাল ও নোড (node) : যে এলাকায় আবর্তনশীল ও নির্দিষ্ট শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন মেঘের অবস্থানের সম্ভাবনা 90 – 95% থাকে, সে এলাকাকে অরবিটাল বলা হয়। দুটি অরবিটালের মধ্যবর্তী যে এলাকায় ইলেকট্রন মেঘের অবস্থানের সম্ভাবনা প্রায় শূন্য, সে এলাকাকে নোড (node) এলাকা বলা হয়।
- \* আইসোটোপ (Isotopes) : যেসব পরমাণুর নিউক্লিয়াসে প্রোটন সংখ্যা (p) সমান; কিন্তু নিউট্রন সংখ্যা (n) অসমান হওয়ায় ভর সংখ্যা (n + p) অসমান হয়, এদেরকে আইসোটোপ বলে। যেমন,  $^1_1\text{H}$ ,  $^2_1\text{H}$ ,  $^3_1\text{H}$ ।
- \* আইসোবার (Isobar) : যে সব পরমাণুর প্রোটন সংখ্যা অসমান; কিন্তু ভর সংখ্যা সমান এদেরকে আইসোবার বলে। যেমন,  $^{14}_6\text{C}$ ,  $^{14}_7\text{N}$ ।
- \* পাউলির বর্জন নীতি : একটি পরমাণুতে দুটি ইলেকট্রনের চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান কখনো একইরূপ হতে পারে না। অন্ততপক্ষে একটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান ভিন্ন হতে হবে।
- \* আউফবাউ নীতি (Aufbau Principle) : পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাসের সময় ইলেকট্রনসমূহ বিভিন্ন অরবিটালে তাদের শক্তির নিম্নস্তর থেকে উচ্চক্রম অনুসারে প্রবেশ করে।
- \* হুন্ডের নিয়ম (Hund's rule) : একই শক্তিসম্পন্ন বিভিন্ন অরবিটালে ইলেকট্রনগুলো সর্বাধিক সংখ্যায় বিজোড় অবস্থায় থাকতে পারে। এই সব অযুগ্ম ইলেকট্রনের স্পিন একইমুখী হবে।
- \* IR. রশ্মি : IR রশ্মি তিন শ্রেণিতে বিভক্ত; যেমন (i) near-IR, (ii) middle-IR ও (iii) Far-IR রশ্মি। Far-IR রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 25 $\mu\text{m}$  – 1.0 mm হওয়ায় এটি ত্বকে তাপীয় অনুভূতি জাগায়। এটি রক্তের শ্বেতকণিকা বৃদ্ধি ও রোগ প্রতিরোধক শক্তি বৃদ্ধিতে সহায়তা করে।
- \* UV রশ্মি : UV রশ্মি বিভিন্ন শনাক্তকরণ কাজে, জীবাণুনাশকরূপে, মেডিক্যাল ইমেজিং এবং অপটিকেল সেন্সররূপে 230 – 375 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের UV রশ্মি নকল টাকা, পাসপোর্ট শনাক্তকরণ মেশিনে ব্যবহৃত হয়।
- \* UV-fluorescent ink : UV-রশ্মি শনাক্তযোগ্য যে অদৃশ্য বিশেষ কালি ব্যবহৃত হয়, তাকে UV-ফ্লোরেসেন্ট কালি বলা হয়। ঐ অদৃশ্য কালিটি UV-রশ্মির সংস্পর্শে নির্দিষ্ট বর্ণের দৃশ্যমান আলো ফুটিয়ে তোলে।
- \* MRI পরীক্ষা : MRI মেশিনে চৌম্বকক্ষেত্র ও রেডিও তরঙ্গ শক্তির প্রভাবে মানবদেহের  $\text{H}_2\text{O}$  অণুর MRI পরমাণু ( $^1\text{H}$ ) এর প্রোটনসমূহ দ্বারা সৃষ্ট অনুরণন জনিত বিভিন্ন অর্গানের ডিজিটাল ছবি কম্পিউটারের পর্দায় ফুটিয়ে তোলে।
- \* শিখা পরীক্ষা : বার্নারের অনুজ্জ্বল শিখায় উত্তপ্ত ধাতব পরমাণু শিখা থেকে প্রয়োজনীয় তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো শোষণ করে এবং ঐ শোষিত শক্তি বিকিরিত হয়ে শিখায় বিশেষ বর্ণের আলো সৃষ্টি করে।
- \* দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতার গুণফল : পানিতে আয়নিক যৌগের প্রতি লিটার দ্রবণে উপস্থিত মোল পরিমাণ বা গ্রাম পরিমাণকে ঐ যৌগের দ্রাব্যতা বলে। দ্রবণে উপস্থিত ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফলকে ঐ যৌগের দ্রাব্যতার গুণফল  $K_{sp}$  বলে। কোনো দ্রবণে দ্রবের আয়নঘনত্বের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল তার দ্রাব্যতা-গুণফলের মান থেকে বেশি হলেই ঐ দ্রব অধঃক্ষেপ সৃষ্টি করে।



- \* সম-আয়ন প্রভাব : কোনো দুটি তড়িৎ বিশ্লেষ্যের মিশ্র দ্রবণে যে আয়নটি উভয় পদার্থ থেকে উৎপন্ন হয়, তাকে সম-আয়ন বলে। সম-আয়নটি দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থটির বিয়োজন-মাত্রা হ্রাস করে।  
যেমন,  $NH_4OH$  ও  $NH_4Cl$  এর মিশ্র দ্রবণে সম আয়ন হলো  $NH_4^+$  আয়ন।
- \* কেলাসন : উচ্চ তাপমাত্রায় কোনো দ্রবের সম্পৃক্ত দ্রবণকে শীতল করলে ঐ দ্রবটির দ্রাব্যতা হ্রাস পায়। তখন আয়নিক যৌগের আয়নিক গুণফল বেশি থাকায় দ্রবটি কেলাস-আকারে দ্রবণ থেকে আলাদা হয়। এ প্রক্রিয়াকে কেলাসন বলে।
- \* উর্ধ্বপাতন : যে সব কঠিন পদার্থের গলনাঙ্কের চেয়ে কম তাপমাত্রায় এদের বাষ্পচাপ বায়ুমণ্ডল চাপের চেয়ে বেশি হয় এবং ঐ বাষ্পকে শীতল করলে কঠিন পদার্থ পাওয়া যায়। এ প্রক্রিয়াকে উর্ধ্বপাতন বলে।
- \* পাতন : তাপ প্রয়োগে তরল পদার্থকে বাষ্পে রূপান্তর এবং শেষে ঐ বাষ্পকে শীতল করে পুনরায় একই তরলে রূপান্তর করাকে পাতন বলে। এক্ষেত্রে প্রথমে বাষ্পীভবন ও পরে ঘনীভবন প্রক্রিয়া ঘটে।
- \* স্টিম পাতন : যে সব কঠিন ও তরল জৈব যৌগ পানিতে অদ্রবণীয়; কিন্তু স্টিমে উদ্বায়ী হয়; যে সব যৌগকে স্টিম প্রবাহের মাধ্যমে পাতিত করার প্রক্রিয়াকে স্টিম পাতন বলে।
- \* দ্রাবক নিষ্কাশন : উদ্ভিদের ফুলের পাঁপড়ি, পাতা, মূল ও বীজের মধ্যে থাকা জৈব যৌগকে জৈব দ্রাবকে শোষণ করে পৃথক করাকে দ্রাবক নিষ্কাশন বলে।
- \* ক্রোমাটোগ্রাফি : উদ্ভিদের রঙিন বস্তুকে বা বিভিন্ন জৈব যৌগকে একটি স্থির মাধ্যমে শোষণ করে অপর সচল মাধ্যমে দ্রবীভূত হওয়ার প্রবণতা বা বণ্টন সহগভিত্তিক পৃথক করার প্রক্রিয়াকে ক্রোমাটোগ্রাফি বলা হয়।

### MCQ এর উত্তরমালা :

- 2.1 (খ), 2.2 (ঘ), 2.3 (খ), 2.4 (ক), 2.5 (গ), 2.6 (খ), 2.7 (গ), 2.8 (ক), 2.9 (ঘ), 2.10 (খ), 2.11 (খ), 2.12 (গ), 2.13 (গ), 2.14 (খ), 2.15 (ঘ), 2.16 (গ), 2.17 (গ), 2.18 (খ), 2.19 (ঘ), 2.20 (ক), 2.21 (ঘ), 2.22 (ক), 2.23 (খ), 2.24 (গ), 2.25 (ক), 2.26 (খ), 2.27 (গ), 2.28 (গ), 2.29 (খ), 2.30 (গ), 2.31 (ঘ), 2.32 (ক), 2.33 (ঘ), 2.34 (খ), 2.35 (ক), 2.36 (ক), 2.37 (গ), 2.38 (ক), 2.39 (ক), 2.40 (ক), 2.41 (খ), 2.42 (ঘ), 2.43 (ঘ), 2.44 (খ), 2.45 (ক)।

### অনুশীলনী-২

#### ক-বিভাগ : জ্ঞানস্মরণভিত্তিক প্রশ্নাবলি (এক নজরে)

#### \* (১) রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলভিত্তিক :

- ১। আল্ফা কণা কী? [সি. বো. ২০১৬; ২০১৭; রা. বো. ২০১৬, ২০১৯]
- ২।  $\alpha$ - কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষায় কোন্ ধাতুর পাত ব্যবহৃত হয়েছিল?
- ৩। পরমাণুর নিউক্লিয়াস কী?
- ৪। রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলের ভিত্তি কী?
- ৫। ম্যাক্সওয়েলের তত্ত্ব কী?





প্রতিদিনের চাকুরীর মার্কুলার পেতে [এখানে ক্লিক করুন](#)

প্রতি মাসের কারেন্ট অ্যাফেয়ার্স পিডিএফ [এখানে ক্লিক করুন](#)

চাকুরীর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

বিসিএম এর প্রয়োজনীয় পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

প্রতি সপ্তাহের চাকুরী পত্রিকা ডাউনলোড [এখানে ক্লিক করুন](#)

সকল নিয়োগ পরীক্ষার প্রশ্ন সমাধান [এখানে ক্লিক করুন](#)

**বিডিনিয়োগ.কম দেশের মেরা পিডিএফ কালেকশন**

SSC এর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

HSC এর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

বিশ্ববিদ্যালয় ভর্তির সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

সকল ধরনের **মাজেশন** ডাউনলোড [এখানে ক্লিক করুন](#)





তৃত্বীয় আলোচনা = ২১
শ্রেণি কর্মকাণ্ড = ৯
মোট পিরিয়ড = ৩০

## তৃত্বীয় অধ্যায়

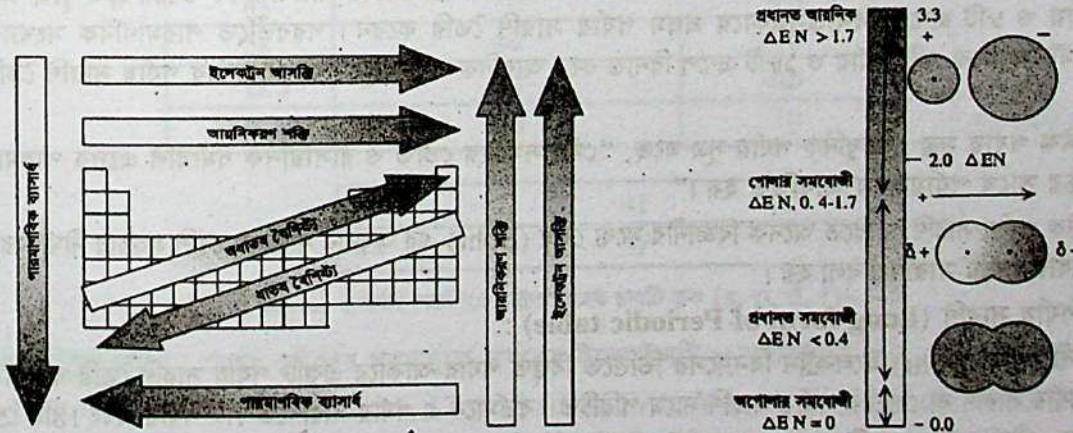
## মৌলের পর্যায়বৃত্ত ধর্ম ও রাসায়নিক বন্ধন

## Periodic Properties and Bonding in Elements

## ভূমিকা (Introduction)

আমরা দ্বিতীয় অধ্যায়ে পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস থেকে জেনেছি যে, মৌলসমূহের ধর্মাবলি ইলেকট্রন বিন্যাসের ওপর নির্ভর করে পরিবর্তিত হয়ে পুনরাবৃত্তি ঘটে। এ কারণে মৌলসমূহের ইলেকট্রন বিন্যাসভিত্তিক পরিবর্তনশীল ধর্মসমূহকে পর্যায়বৃত্ত বা পর্যায়ভিত্তিক ধর্ম বলা হয়। আয়নিকরণ শক্তি ও ইলেকট্রন আসক্তির ওপর নির্ভর করে ধাতু ও অধাতুর মধ্যে আয়নিক বন্ধন, অধাতুর পরমাণুর মধ্যে সমযোজী বন্ধন ঘটে। আবার আয়নিক যৌগে পোলারায়ন ও সমযোজী অণুতে পোলারিটি সৃষ্টির ফলে উভয় শ্রেণির যৌগের মধ্যে বিপরীত মিশ্র রাসায়নিক ধর্মাবলি প্রকাশ পায়। বিভিন্ন শ্রেণি বা গ্রুপের মৌল ও তাদের যৌগের মধ্যে এসব বৈশিষ্ট্য আমরা গভীর আগ্রহসহকারে ধাপে ধাপে লক্ষ্য করবো।

অধ্যায়ের প্রধান শব্দসমূহ (Key Words) : ইলেকট্রন বিন্যাস, অবস্থান্তর মৌল, ক্ষার ধাতু, পর্যায়বৃত্ততা, আয়নিকরণ শক্তি, ইলেকট্রন আসক্তি, তড়িৎ ঋণাত্মকতা, অক্সাইডের pH পর্যায়বৃত্ততা, অরবিটাল সংকরণ, সিগমা ও পাই বন্ধন, অণুর আকৃতি, মুক্তজোড় ইলেকট্রন, সন্নিবেশ বন্ধন, পোলারায়ন, ডাইপোল, ভ্যানডার ওয়ালস বল, H-বন্ধন, H-বন্ধনের গুরুত্ব, অজৈব যৌগের নামকরণে IUPAC পদ্ধতি।



শিখনফল : এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- ইলেকট্রন বিন্যাসের ওপর ভিত্তি করে মৌলসমূহকে s, p, d ও f ব্লকে শ্রেণিবিভাগ করতে পারবে।
- বিভিন্ন ব্লকের মৌলসমূহের সাধারণ ধর্মাবলি জানতে ও বর্ণনা করতে পারবে।
- মৌলসমূহের বিভিন্ন ধর্মের পর্যায়বৃত্ততা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- মৌলের আয়নিকরণ শক্তি, ইলেকট্রন আসক্তি ও তড়িৎ ঋণাত্মকতার ওপর নিয়ামকের (পরমাণুর আকার, উপস্তর, ইলেকট্রন বিন্যাস ইত্যাদির) প্রভাব জানতে ও বর্ণনা করতে পারবে।
- পর্যায় সারণির বিভিন্ন মৌলের (যেমন, ২য় ও ৩য় পর্যায়ের মৌলের) অক্সাইডের ধর্ম ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- ব্যবহারিক : মৌলের দ্রবণীয় অক্সাইডের pH মান 'হাতে-কলমে' কাজের মাধ্যমে নির্ণয় করে তাদের অম্ল-ক্ষার প্রকৃতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- মৌলের পর্যায়বৃত্ত ধর্ম ও রাসায়নিক বন্ধনের মধ্যে সম্পর্ক নির্ণয় করতে পারবে।



৮. অরবিটাল অধিক্রমণের ভিত্তিতে সমযোজী বন্ধনের শ্রেণিবিভাগ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৯. অরবিটালের সংকরণের ধারণা ও সংকর অরবিটালের প্রকারভেদ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১০. সংকর অরবিটালের সাথে সমযোজী যৌগের আকৃতির সম্পর্ক ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১১. অণুর আকৃতি ও বন্ধন কোণের ওপর মুক্তজোড় ইলেকট্রনের প্রভাব ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১২. ছোট ছোট গোল আলু ব্যবহার করে 'হাতে কলমে' বিভিন্ন যৌগের মডেল তৈরি করে দেখাতে পারবে।
১৩. সন্নিবেশ সমযোজী বন্ধনের গঠন কৌশল ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৪. সন্নিবেশ সমযোজী বন্ধন সমযোজী বন্ধনের একটি রূপ তা প্রমাণ করতে পারবে।
১৫. আয়নিক যৌগের সমযোজী বৈশিষ্ট্য ফাজানের সূত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৬. ব্যবহারিক : পরীক্ষার মাধ্যমে পানির ডাইপোলার উপস্থিতি প্রমাণ করতে পারবে।
১৭. ভ্যানডার ওয়ালস বল ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৮. হাইড্রোজেন বন্ধন গঠন ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৯.  $H_2O$  তরল হলেও  $H_2S$  গ্যাস এর কারণ বিশ্লেষণ করতে পারবে।
২০. জীবজগতের টিকে থাকার জন্য হাইড্রোজেন বন্ধনের গুরুত্ব বিশ্লেষণ করতে পারবে।
২১. অজৈব যৌগের নামকরণ করতে পারবে।

### ৩.১ ইলেকট্রন বিন্যাসের ভিত্তিতে মৌলের শ্রেণিবিভাগ

#### Classification of Elements based on Electronic Configuration

আমরা জানি ১৮৬৯ খ্রিষ্টাব্দে সর্বপ্রথম মেন্ডেলিফ জাত ৬৩টি মৌলকে এদের পারমাণবিক ভরের ক্রম বৃদ্ধি অনুসারে ১২টি পর্যায় ও ৮টি গ্রুপে বিন্যাসসহকারে প্রথম পর্যায় সারণি তৈরি করেন। পরবর্তীতে পারমাণবিক সংখ্যার ক্রম অনুসারে মৌলসমূহকে ৭টি পর্যায় ও ১৮টি গ্রুপে বিন্যাস করে আধুনিক পর্যায় সূত্র মতে দীর্ঘাকার পর্যায় সারণি তৈরি করা হয়।

আধুনিক পর্যায় সূত্র : আধুনিক পর্যায় সূত্র মতে, "মৌলসমূহের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মাবলি এদের পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে পর্যায়ক্রমে আবর্তিত হয়।"

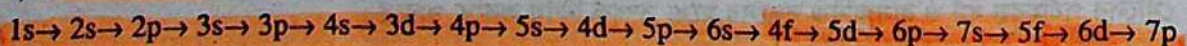
আধুনিক পর্যায় সারণি তৈরিতে অনেক বিজ্ঞানীর মধ্যে বোর (Bohr)-এর অবদান সবচেয়ে বেশি হওয়ায় দীর্ঘাকার পর্যায় সারণিকে বোর পর্যায় সারণিও বলা হয়।

দীর্ঘাকার পর্যায় সারণি (Long form of Periodic table) :

বিজ্ঞানী বোর (Bohr) ইলেকট্রন বিন্যাসের ভিত্তিতে বিস্তৃত পর্যায় আকারে একটি পর্যায় সারণি তৈরি করেন। এটি দীর্ঘাকার পর্যায় সারণি বা বোরের পর্যায় সারণি নামে পরিচিত। বর্তমানে এ পর্যায় সারণিতে ৭টি পর্যায় এবং ১৪টি শ্রেণি বা গ্রুপ রয়েছে। দীর্ঘ পর্যায় ১০টি করে d-ব্লক মৌল পর্যায় সারণির মধ্যভাগে থাকে। প্রতি পর্যায়ের শেষ প্রান্তে নিষ্ক্রিয় গ্যাসগুলোর অবস্থান নির্দিষ্ট করা হয়েছে। ল্যান্থানাইড ও অ্যাক্টিনাইড মৌলগুলোকে পৃথক দুই সিরিজ হিসেবে এ সারণির ষষ্ঠ এবং সপ্তম পর্যায়ের তৃতীয় গ্রুপে রাখা হয়েছে। এটিই হলো আধুনিক পর্যায় সারণি।

আধুনিক পর্যায় সারণির ভিত্তি : আধুনিক পর্যায় সারণিতে মৌলের পর্যায়ভিত্তিক শ্রেণিবদ্ধকরণের মূল ভিত্তি হলো মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা ও ইলেকট্রন বিন্যাস। আবার পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাসের ক্ষেত্রে অরবিটালসমূহের ইলেকট্রন ধারণের ক্রম অনুসারে মৌলসমূহকে চারটি ব্লকে ভাগ করা হয়েছে। নিচের চিত্র-৩.১ এ তা দেখানো হলো। উল্লেখ্য ১০, ১১, ২০, ১৬ পর্যন্ত আবিষ্কৃত ও IUPAC সংস্থা কর্তৃক অনুমোদিত মৌলের সংখ্যা হলো ১১৮টি। ২০১৬ খ্রিষ্টাব্দে অনুমোদিত ১১৩, ১১৫, ১১৭ ও ১১৮ পারমাণবিক সংখ্যার চারটি মৌল দ্বারা সপ্তম পর্যায়টি পূর্ণতা লাভ করলো।

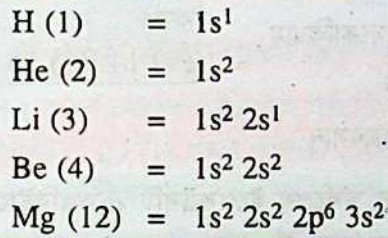
আউকবার্ট নীতি অনুসারে, পর্যায় সারণিতে সর্বোচ্চ বাম দিক থেকে ডানদিকে পর্যায়ক্রমে পরমাণুর অরবিটালসমূহে ইলেকট্রন প্রবেশের ক্রম হলো :





ইলেকট্রন বিন্যাস অনুসারে মৌলসমূহের চারটি ব্লক ও এদের বর্ণনা হলো নিম্নরূপ :

(১) s-ব্লক মৌল : যেসব মৌলের সর্বশেষ ইলেকট্রনটি s-অরবিটালে যায়, তাদেরকে s-ব্লক মৌল বলে। যেসব মৌলের সর্ববহিস্তরে s<sup>1</sup> অথবা s<sup>2</sup> ইলেকট্রন বিন্যাস থাকে। পর্যায় সারণির গ্রুপ-1 ও 2 (IA ও IIA) মৌলসমূহ এবং He এ s-ব্লকের অন্তর্ভুক্ত। s-ব্লকের মৌলের সংখ্যা হলো ১৪টি। যেমন,



**MCQ-3.1** : ২০১৮ সাল পর্যন্ত আবিষ্কৃত ও IUPAC সংস্থা কর্তৃক অনুমোদিত মৌলের সংখ্যা কত?  
(ক) 113 (খ) 115  
(গ) 117 (ঘ) 118

s-ব্লক মৌলসমূহের সর্ববহিস্ত্র শক্তিস্তর বা যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস হলো ns<sup>1</sup> বা ns<sup>2</sup>; এখানে n = 1, 2, 3 ইত্যাদি হলো প্রধান শক্তিস্তর বা অরবিট নির্দেশক সংখ্যা।

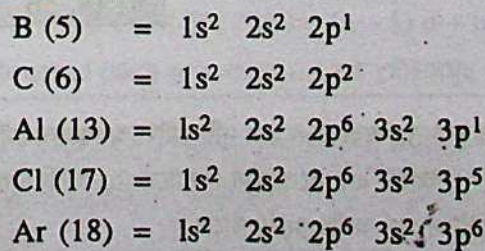
Begin here →

1s			1s
2s		2p	
3s		3p	
4s	3d	4p	
5s	4d	5p	
6s	5d	6p	
7s	6d	7p	
	4f		
	5f		

← End here

চিত্র-৩.১ : পর্যায় সারণিতে মৌলসমূহের চারটি ব্লক (s, p, d, f)।

(২) p-ব্লক মৌল : যেসব মৌলের পরমাণুতে সর্বশেষ ইলেকট্রনটি p অরবিটালে যায়, তাদেরকে p-ব্লক মৌল বলে। পর্যায় সারণির গ্রুপ- 13, 14, 15, 16, 17 ও 18 (IIIA, IVA, VA, VIA, VIIA এবং VIIIA) গ্রুপের He ব্যতীত মৌলসমূহ এ ব্লকের অন্তর্ভুক্ত। এ ছাড়া নতুন আবিষ্কৃত নিহোনিয়াম, Nh(113), ফ্লোরোভিয়াম, Fl (114), মস্কোভিয়াম, Mc (115) ও লিভারমরিয়াম, Lv (116), টেনেসিন, Ts (117) ও ওগানেসান, Og (118) সহ বর্তমানে p-ব্লক মৌলের সংখ্যা ৩৬টি। যেমন,



**MCQ-3.2** : s-ব্লকের মৌল সংখ্যা কত? [ঢা. বো. ২০১৬]  
(ক) 14 (খ) 24 (গ) 26 (ঘ) 36

p-ব্লক মৌলসমূহের সর্ববহিস্ত্র শক্তিস্তর বা যোজ্যতা স্তরের সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাস হলো ns<sup>2</sup>np<sup>1</sup> থেকে ns<sup>2</sup>np<sup>6</sup>। এখানে n = 2, 3, 4, 5 ইত্যাদি সর্ববহিস্ত্র অরবিট হবে।



জেনে নাও :

১০-১১-২০১৬ ইং পর্যন্ত আবিষ্কৃত ও IUPAC সংস্থা কর্তৃক অনুমোদিত 113, 115, 117 ও 118 পারমাণবিক সংখ্যার চারটি মৌলের প্রতীক, ইংরেজি নাম ও নামের উচ্চারণ নিম্নরূপ :

113Nh, Nihonium [nee-HOH-neeum] = নিহোনিয়াম

115Mc, Moscovium [Mah-SKOH-vee-um] = মস্কোভিয়াম

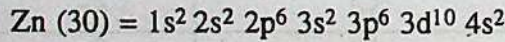
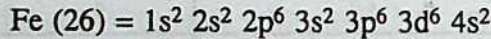
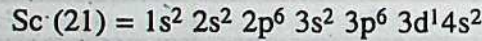
117Ts, Tennessine [TEH-neh-seen] = টেনেসিন

118Og, Oganesson [OH-gah-NEH-sun] = ওগানেসান

MCQ-3.3 : p-ব্লকের মৌল সংখ্যা কত? [য. বো. ২০১৬]  
(ক) 14 (খ) 36 (গ) 41 (ঘ) 27

(৩) d-ব্লক মৌল : যেসব মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাসে সর্বশেষ ইলেকট্রনটি d অরবিটালে যায়, তাদেরকে d-ব্লক মৌল বলে। চতুর্থ পর্যায়ের স্ক্যানডিয়াম, Sc (21) থেকে জিঙ্ক, Zn (30) এবং পঞ্চম পর্যায়ের ইট্রিয়াম, Y (39) থেকে ক্যাডমিয়াম, Cd (48) মৌলগুলো d-ব্লক মৌল। এছাড়া ষষ্ঠ পর্যায় ও সপ্তম পর্যায়ের d ব্লক মৌল আছে। তারা সবই ধাতু। পর্যায় সারণিতে গ্রুপ-3 থেকে 12 অর্থাৎ "B" উপশ্রেণির মৌলসমূহ এ শ্রেণির অন্তর্ভুক্ত। বর্তমানে d-ব্লক মৌলের সংখ্যা থোরিয়াম, Th(90) সহ 81টি। তাদের পরমাণুতে  $d^1$  থেকে  $d^{10}$  ইলেকট্রন থাকে।

যেমন,



d-ব্লক মৌলগুলোর সর্ববহিস্থ শক্তিস্তর বা যোজ্যতান্তরের সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাস হলো  $(n-1)d^{1-10} ns^{1-2}$ । এখানে  $n = 4, 5, 6, 7$  হবে।

d-ব্লক মৌলসমূহের মধ্যে বিশেষ ধর্মবিশিষ্ট কতগুলো মৌলকে অবস্থান্তর মৌল (transition elements) বলে।

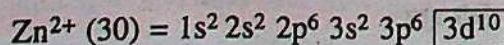
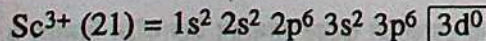
অবস্থান্তর মৌলের সংজ্ঞা : যে সব d-ব্লক মৌল অন্তত এমন একটি আয়ন গঠন করে, যাদের ইলেকট্রন বিন্যাসে d-অরবিটাল আংশিকভাবে পূর্ণ ( $d^1 - d^9$ ) থাকে, তাদেরকে অবস্থান্তর মৌল বলে।

অবস্থান্তর মৌলসমূহের বৈশিষ্ট্য :

- (১) অবস্থান্তর মৌলসমূহের পরিবর্তনশীল যোজ্যতা থাকে;
- (২) তারা রঙিন যৌগ গঠন করে;
- (৩) তারা জটিল যৌগ গঠন করে,
- (৪) তারা প্রভাবকরূপে ক্রিয়া করে,
- (৫) তারা প্যারা চুম্বকীয় ধর্ম প্রদর্শন করে।

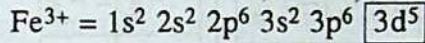
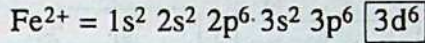
MCQ-3.4 : s-ব্লক ও p-ব্লকের মৌল সংখ্যার ক্রম কৌণটি?  
(ক) 36, 14 (খ) 41, 36  
(গ) 14, 36 (ঘ) 14, 41

অবস্থান্তর মৌলের সংজ্ঞা মতে, ৪র্থ পর্যায়ের d-ব্লকভুক্ত Sc এবং Zn—এ দুটি মৌল অবস্থান্তর মৌল নয়। কারণ তারা কেবল  $\text{Sc}^{3+}$  আয়ন এবং  $\text{Zn}^{2+}$  আয়ন গঠন করে।  $\text{Sc}^{3+}$  আয়ন এর ইলেকট্রন বিন্যাসে 3d অরবিটালে কোনো ইলেকট্রন নেই এবং  $\text{Zn}^{2+}$  আয়ন এর ইলেকট্রন বিন্যাসে 3d অরবিটাল পূর্ণ অর্থাৎ  $3d^{10}$  থাকে।





অপরদিকে Fe হলো d-ব্লক মৌল ও অবস্থান্তর মৌল উভয়ই। কারণ এটির  $Fe^{2+}$  আয়ন ও  $Fe^{3+}$  আয়নের d-অরবিটাল আংশিকভাবে পূর্ণ থাকে। যেমন—



**MCQ-3.5 :** d-ব্লকের মৌল সংখ্যা কত? [ঢা. বো. ২০১৭]  
(ক) 14 (খ) 36 (গ) 41 (ঘ) 27

এজন্য বলা হয়, সব d-ব্লক মৌল অবস্থান্তর মৌল নয়; কিন্তু সব অবস্থান্তর মৌল d-ব্লক মৌল বটে।

(8) f-ব্লক মৌল : এ সব মৌলের পরমাণুতে সর্বশেষ ইলেকট্রন f অরবিটালে যায়। ৬ষ্ঠ পর্যায়ের ল্যান্থানাম, La (57) থেকে পরবর্তী লুটেসিয়াম, Lu (71) পর্যন্ত পনেরটি মৌলকে ল্যান্থানয়ডস (Lanthanoids) বা ল্যান্থানাইড সিরিজ (Lanthanides) এবং অ্যাক্টিনিয়াম, Ac (89) থেকে পরবর্তী লরেনসিয়াম, Lr (103) পর্যন্ত পনেরটি মৌলকে অ্যাক্টিনয়ডস (Actinoids) বা অ্যাক্টিনাইড সিরিজ (Actinides) বলা হয়। এ দু' শ্রেণির অন্তর্ভুক্ত ৩০টি মৌলকে বর্তমানে আধুনিকতম পর্যায় সারণির নিচে লেখা হয়েছে। f-ব্লকের মৌলগুলোর সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাস হলো—

$(n-2)f^{1-14}(n-1)d^{0,1,2}ns^2$ ; এখানে  $n = 6, 7$  হবে।

উল্লেখ্য ল্যান্থানাইড সিরিজের ১ম মৌল La (57) এর সর্বশেষ ইলেকট্রন  $5d^1$  এ এবং অ্যাক্টিনাইড সিরিজের প্রথম মৌল Ac (89) ও ২য় মৌল Th (90) এর সর্বশেষ ইলেকট্রন যথাক্রমে  $6d^1$  ও  $6d^2$  রূপে আছে। তাই তারা f-ব্লক মৌল নয়। সুতরাং প্রকৃতপক্ষে f-ব্লক মৌলের সংখ্যা হলো ২৭টি (পর্যায় সারণি দ্রষ্টব্য)।

অন্তঃঅবস্থান্তর মৌল :

যে সব মৌলের কোনো সুস্থিত আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস  $f^1$  হতে  $f^{13}$  হয়, তাদেরকে অন্তঃঅবস্থান্তর মৌল (Inner transition elements) বলা হয়। তাদের একটি গ্রুপে বা, ল্যান্থানাইড সিরিজভুক্ত মৌলে 4f অরবিটাল অসম্পূর্ণ থাকে এবং তাদের অন্য গ্রুপে বা, অ্যাক্টিনাইড সিরিজভুক্ত মৌলে 5f অরবিটাল আংশিক পূর্ণ থাকে। এক্ষেত্রে অন্তঃঅবস্থান্তর মৌলের উদাহরণ হলো সেরিয়াম ( $_{58}Ce$ ) =  $[Xe] 4f^2 6s^2$ । কারণ এর  $Ce^{3+}$  আয়নটিতে 4f<sup>1</sup> ইলেকট্রন থাকে।

আমরা দেখলাম এ যাবৎ (২০১৬ ইং যাবৎ) আবিষ্কৃত Nh (113), Fl (114), Mc (115), Lv (116), Ts (117) ও Og (118) সহ মোট ১১৮টি মৌলকে পর্যায় সারণিতে এদের ইলেকট্রন বিন্যাস মতে চারটি ব্লক যেমন s-ব্লক, p-ব্লক, d-ব্লক ও f-ব্লকে ভাগ করা হয়েছে। এখন এসব ব্লকের মৌলসমূহের সাধারণ ধর্মাবলি জানতে চেষ্টা করব।

**জেনে নাও :**

- (১) s-ব্লক মৌলগুলোর ক্ষেত্রে গ্রুপ সংখ্যা = সর্ববহিস্থ শক্তিস্তরের ইলেকট্রন সংখ্যা।
- (২) p-ব্লক মৌলগুলোর ক্ষেত্রে গ্রুপ সংখ্যা = 10 + সর্ববহিস্থ শক্তিস্তরের ইলেকট্রন সংখ্যা (ns এবং np)
- (৩) d-ব্লক মৌলগুলোর ক্ষেত্রে গ্রুপ সংখ্যা =  $(n-1)d + ns$  উপস্তরের ইলেকট্রন সংখ্যা।
- (৪) f-ব্লক মৌলগুলোর ক্ষেত্রে গ্রুপ সংখ্যা = f-ব্লক মৌলসমূহ পর্যায় সারণির 3 নং গ্রুপে অবস্থান করবে।

শিক্ষার্থীর কাজ-৩.১ : ইলেকট্রন বিন্যাস থেকে মৌল শনাক্তকরণ :

সমস্যা-৩.১ : নিচের মৌলগুলোর ইলেকট্রন বিন্যাস লেখ এবং কোন মৌলটি কোন ব্লকের তা ব্যাখ্যা কর।

C(6), Na(11), P(15), Ca(20), Cr(24), Fe(26)

সমস্যা-৩.২ : Sc(21) ও Zn(30) মৌল দুটি d-ব্লকভুক্ত মৌল হলেও এরা অবস্থান্তর মৌল নয়—এটা ব্যাখ্যা কর।

[দি. বো. ২০১৫]



**IUPAC অনুমোদিত সর্বাধুনিক পর্যায় সারণি**  
 (যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাসসহ)  
 ধাতু = 94 টি, অধাতু = 18 টি [11 টি গ্যাস, 6 টি কঠিন, 1 টি তরল (Br<sub>2</sub>)]  
 অপর্যায়িত (সর্বসমত) = 6 টি (B, Si, Ge, As, Sb, Te)

← s-ব্লক মৌল →		← p-ব্লক মৌল →										← d-ব্লক মৌল →										← f-ব্লক মৌল →																																																						
↓ পর্যায় ↓	↓	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18																																								
1	H 1s <sup>1</sup>																									3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18																				
2	[He(2)]		Li 2s <sup>1</sup>		Be 2s <sup>2</sup>																						13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35		36			
3	[Ne(10)]		Na 3s <sup>1</sup>		Mg 3s <sup>2</sup>																								13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35		36	
4	[Ar(18)]		K 4s <sup>1</sup>		Ca 4s <sup>2</sup>																								13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35		36	
5	[Kr(36)]		Rb 5s <sup>1</sup>		Sr 5s <sup>2</sup>																								13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35		36	
6	[Xe(54)]		Cs 6s <sup>1</sup>		Ba 6s <sup>2</sup>																								13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35		36	
7	[Rn(86)]		Fr 7s <sup>1</sup>		Ra 7s <sup>2</sup>																								13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35		36	

সংখ্যা : ওপরের সারণিতে দেয়া যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস লক্ষ্য কর এবং এদের মধ্যে ২২টি মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাসে সাধারণ নিয়মের ব্যতিক্রম ঘটেছে, তা চিহ্নিত কর।

নির্দেশিকা : পারমাণবিক সংখ্যা 24, 29, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 57, 58, 64, 78, 79, 89, 90, 91, 92, 93, 96, 110, 111 এবং মৌলের যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস দেখ।



### ৩.১.১ ইলেকট্রন বিন্যাস হতে পর্যায় সারণিতে মৌলের অবস্থান নির্ণয়

#### Position of Elements in Periodic Table from Electronic Configuration

যেহেতু পর্যায় সারণির সত্যিকার ভিত্তি হচ্ছে ইলেকট্রন বিন্যাস, সেহেতু যে কোনো মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাস হতে পর্যায় সারণিতে তার অবস্থান সহজেই বের করা যায়। কোনো মৌলের সত্যিকার ইলেকট্রন বিন্যাস জানা না থাকলেও মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা মতে অরবিটালের শক্তিক্রম অনুযায়ী তার ইলেকট্রন বিন্যাস লিখে পর্যায় সারণিতে এর স্থান নির্ণয় করা হয়। এ ক্ষেত্রে নিম্নোক্ত নিয়ম অনুসরণ করতে হয়।

(ক) পর্যায় সংখ্যা নির্ণয় : মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাসে সর্বোচ্চ প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা  $n$  এর মান মৌলের পর্যায় সংখ্যা নির্দেশ করে। যেমন  $\text{Na}$  (11)-এর ইলেকট্রন বিন্যাস  $\text{Na}$  (11) =  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$  হতে দেখা যায়; এতে সর্বোচ্চ প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা  $n = 3$ । সুতরাং  $\text{Na}$  মৌলটি ৩য় পর্যায়ে অবস্থিত।

(খ) গ্রুপ সংখ্যা নির্ণয় : কোন গ্রুপে মৌলটি অবস্থিত তা নির্ধারণের জন্য মৌলটির ইলেকট্রন বিন্যাসগত ব্লক ও যোজ্যতা ইলেকট্রন সংখ্যা জানা প্রয়োজন। যেমন,

(১) s-ব্লক মৌলসমূহের বেলায় সর্ববহিস্থ s অরবিটাল ( $ns^{1-2}$ ) এর মোট ইলেকট্রন সংখ্যা মৌলটির গ্রুপ সংখ্যা নির্দেশ করে। যেমন,  $ns^1$  দ্বারা গ্রুপ-1 এবং  $ns^2$  দ্বারা গ্রুপ-2 বোঝায়।

(২) p-ব্লক মৌলসমূহের বেলায়  $(10 + ns^2 np^{1-6})$  এর মোট ইলেকট্রন সংখ্যা গ্রুপ সংখ্যা নির্দেশ করে। যেমন,  $ns^2 np^1$  দ্বারা  $(10 + 2 + 1) = 13$  নং গ্রুপ বোঝায়;  $ns^2 np^2$  দ্বারা  $(10 + 2 + 2) = 14$  নং গ্রুপ বোঝায়।

(৩) d-ব্লক মৌলসমূহের বেলায়  $(n-1)d ns$  অরবিটাল দুটির মোট ইলেকট্রন সংখ্যা মৌলটির গ্রুপ সংখ্যা প্রকাশ করে।

(৪) f-ব্লক মৌলসমূহের বেলায় যোজ্যতা স্তরে f অরবিটালে ইলেকট্রন থাকে। f-ব্লকভুক্ত সব মৌল গ্রুপ-3 এর অন্তর্ভুক্ত। নিচে সাতটি উদাহরণ দ্বারা উপরোক্ত নিয়মগুলো ব্যাখ্যা করা হলো। যেমন—

উদাহরণ : $\text{Na}(11) \rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 \boxed{3s^1}$	এর পর্যায় সংখ্যা = 3; গ্রুপ-1
$\text{Cl}(17) \rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 \boxed{3s^2 3p^5}$	এর পর্যায় সংখ্যা = 3; গ্রুপ- $(10 + 7) = 17$
$\text{Ar}(18) \rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 \boxed{3s^2 3p^6}$	এর পর্যায় সংখ্যা = 3; গ্রুপ- $(10 + 8) = 18$
$\text{Cr}(24) \rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 \boxed{3d^5 4s^1}$	এর পর্যায় সংখ্যা = 4; গ্রুপ-6
$\text{Ni}(28) \rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 \boxed{3d^8 4s^2}$	এর পর্যায় সংখ্যা = 4; গ্রুপ-10
$\text{Cu}(29) \rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 \boxed{3d^{10} 4s^1}$	এর পর্যায় সংখ্যা = 4; গ্রুপ-11
$\text{Ce}(58) \rightarrow [\text{Xe}(54)] \boxed{4f^2 6s^2}$	এর পর্যায় সংখ্যা = 6; গ্রুপ-3 [যেহেতু f ব্লকভুক্ত]

**সমাধানকৃত সমস্যা-৩.১ :** পর্যায় সারণিতে নিম্নোক্ত পারমাণবিক সংখ্যা বিশিষ্ট মৌলসমূহের অবস্থান নির্ণয় কর :

(ক) 18 (খ) 22 (গ) 29 (ঘ) 48 (ঙ) 16 (চ) 59

সমাধান : (ক) পারমাণবিক সংখ্যা 18 বিশিষ্ট মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাস  $1s^2 2s^2 2p^6 \boxed{3s^2 3p^6}$ । সুতরাং অষ্টক পূর্ণ থাকায় এটি একটি নিষ্ক্রিয় গ্যাস। অতএব এটির গ্রুপ সংখ্যা 18। যেহেতু ইলেকট্রন বিন্যাসে সর্বোচ্চ প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা 3, সেহেতু মৌলটির অবস্থান ৩য় পর্যায়ে। তাই মৌলটির পর্যায় হলো 3 এবং গ্রুপ-18।

(খ) পারমাণবিক সংখ্যা 22 বিশিষ্ট মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাস  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 \boxed{3d^2 4s^2}$ । যেহেতু এক্ষেত্রে সর্বোচ্চ প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা 4, সেহেতু মৌলটি চতুর্থ পর্যায়ে অবস্থিত। অসম্পূর্ণ d অরবিটাল ( $3d^2$ ) হতে বোঝা যায় যে এটি d-ব্লক মৌল।  $3d$  ও  $4s$  অরবিটালে মোট ইলেকট্রন সংখ্যা  $(2 + 2) = 4$ । অতএব এটির গ্রুপ সংখ্যা 4। তাই মৌলটির পর্যায় হলো 4, গ্রুপ সংখ্যা-4।



২৫০

রসায়ন-প্রথম পত্র

(গ) পারমাণবিক সংখ্যা ২৯ বিশিষ্ট মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাস  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$ । যেহেতু এক্ষেত্রে সর্বোচ্চ প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা ৪, সেহেতু মৌলটি চতুর্থ পর্যায়ে অবস্থিত।  $3d^{10} 4s^1$  ইলেকট্রন বিন্যাস থাকায় এটির গ্রুপ সংখ্যা- ১১। তাই মৌলটির পর্যায় সংখ্যা- ৪, গ্রুপ সংখ্যা- ১১।

(ঘ) পারমাণবিক সংখ্যা ৪৪ বিশিষ্ট মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাস  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2$ । যেহেতু এক্ষেত্রে সর্বোচ্চ প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা ৫, সেহেতু মৌলটি ৫ম পর্যায়ে অবস্থিত।  $4d^{10} 5s^2$  ইলেকট্রন বিন্যাসের কারণে এটির গ্রুপ সংখ্যা-১২।

(ঙ) পারমাণবিক সংখ্যা ১৬ বিশিষ্ট মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাস  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ । সর্বোচ্চ প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা ৩ হওয়ায় মৌলটি ৩য় পর্যায়ে অবস্থিত। এটি একটি প্রতিক্রমী মৌল  $3s$  ও  $3p$  অরবিটালে সর্বমোট ইলেকট্রন সংখ্যা  $(2 + 4) = 6$  হওয়ায় এটি  $(10 + 6) = 16$  গ্রুপে অবস্থিত।

(চ) পারমাণবিক সংখ্যা ৫৯ বিশিষ্ট মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাস  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 4f^3 5s^2 5p^6 6s^2$ । সর্বোচ্চ কোয়ান্টাম সংখ্যা ৬ হওয়ায় মৌলটি ৬ষ্ঠ পর্যায়ে অবস্থিত। আংশিক পূর্ণ  $4f$  অরবিটাল থাকায় এটি একটি অন্তঃঅবস্থান্তর মৌল। অতএব এটি গ্রুপ -৩ এর অন্তর্ভুক্ত।

## ৩.২ বিভিন্ন ব্লকের মৌলের সাধারণ ধর্মাবলি General Properties of Blocks-Elements

s-ব্লক মৌলসমূহ (s-block elements) :

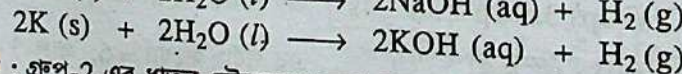
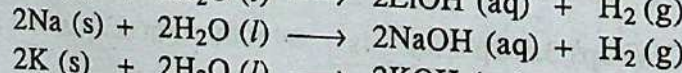
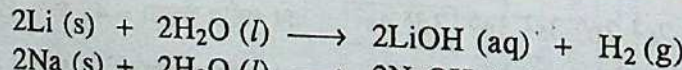
s-ব্লক মৌল : যে সব মৌলের সর্বশেষ ইলেকট্রন s অরবিটালে প্রবেশ করে, তাদেরকে s-ব্লক মৌল বলে। পর্যায় সারণির গ্রুপ-১ ও গ্রুপ-২ এর ১৩টি মৌল ও He সহ মোট ১৪টি মৌল হলো s-ব্লকের মৌল। এদের যোজ্যতা স্তরে বা সর্ববহিস্থ শক্তিস্তরে  $ns^1$  অথবা  $ns^2$  ইলেকট্রন থাকে।

s-ব্লকের ধাতুসমূহ দুটি বিশেষ নামে পরিচিত; যেমন—

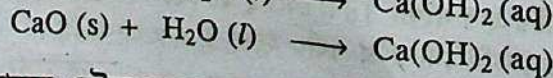
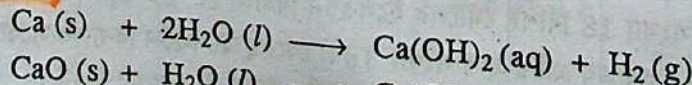
(১) ক্ষার ধাতু বা অ্যালকালি মেটালস (alkali metals) ও

(২) মৃৎ ক্ষার ধাতু বা alkaline earth metals

(১) ক্ষার ধাতু : s-ব্লক মৌলসমূহের মধ্যে গ্রুপ-১ এর মৌলসমূহ যেমন Li, Na, K, Rb, Cs ও Fr ইত্যাদিকে ক্ষার ধাতু বলে। কারণ এসব মৌল পানির সাথে তীব্রভাবে বিক্রিয়া করে সবল ক্ষার ধাতব হাইড্রক্সাইড ও  $H_2$  গ্যাস উৎপন্ন করে। যেমন-



মৃৎ-ক্ষার ধাতু : গ্রুপ-২ এর ধাতব মৌলসমূহ হলো Be, Mg, Ca, Sr, Ba ও Ra। এদের  $ns^2$  যোজ্যতা ইলেকট্রন থাকে। এদেরকে মৃৎ-ক্ষার ধাতু (alkaline earth metals) বলে। কারণ এ ধাতুগুলোর মধ্যে Mg ও Ca এর অক্সাইড ও কার্বনেট লবণ মাটি বা মৃত্তিকায় পাওয়া যায়। এরা পানির সাথে ধীরে বিক্রিয়া করে ধাতব হাইড্রক্সাইড ক্ষারক ও  $H_2$  গ্যাস উৎপন্ন করে।



### ৩.২.১ s-ব্লক ধাতব মৌলসমূহের সাধারণ ধর্মাবলি (General Properties of s-block metals).

(১) s-ব্লকের ধাতব মৌলসমূহ নিম্ন গলনাঙ্ক ও নিম্ন স্ফুটনাঙ্কবিশিষ্ট ধাতু। যেমন, গ্রুপ-১ এর সর্বোচ্চ গলনাঙ্কবিশিষ্ট ধাতু হলো Li; এর গলনাঙ্ক হলো  $180.5^\circ C$  এবং Cs এর গলনাঙ্ক হলো  $28.4^\circ C$ । অপরদিকে Be এর গলনাঙ্ক  $1278^\circ C$ , Ra

MCQ-3.6 : f-ব্লকের মৌল সংখ্যা কত?

[ব. বো. ২০১৬]

(ক) 14 (খ) 41 (গ) 30 (ঘ) 27



(২) s-ব্লকের মৌলসমূহ নরম ও নমনীয় ধাতু; যেমন Na ধাতুকে ছুরি দিয়ে কাটা যায়।

(৩) গ্রুপ-1 এর ধাতুসমূহ, এদের যোজ্যতা ইলেকট্রন ( $ns^1$ ) ত্যাগ করে একক ধনাত্মক আয়ন ( $Li^+, Na^+$ ) এবং গ্রুপ-2 এর ধাতুসমূহ, এদের যোজ্যতা ইলেকট্রন ( $ns^2$ ) ত্যাগ করে দ্বিধনাত্মক আয়ন ( $Be^{2+}, Mg^{2+}$ ) তৈরি করে।

(৪) গ্রুপ-1 ও গ্রুপ-2 এর ক্যাটায়নসমূহে কোনো বিজোড় বা অযুগ্ম ইলেকট্রন না থাকায় এদের যৌগসমূহ বর্ণহীন। কিন্তু ব্যতিক্রম হলো এদের সাথে বর্ণযুক্ত ঋণাত্মক আয়নবিশিষ্ট ডাইক্রোমেট ( $K_2Cr_2O_7$ ), ক্রোমেট ( $K_2CrO_4$ ), ম্যাঙ্গানেট ( $K_2MnO_4$ ) ও পারম্যাঙ্গানেট ( $KMnO_4$ ) লবণসমূহ বর্ণযুক্ত হয়।

(৫) ক্যাটায়নসমূহে বিজোড় ইলেকট্রন না থাকায়, এরা ডায়াম্যাগনেটিক বা চুম্বকক্ষেত্র দ্বারা বিকর্ষিত হয়।

(৬) গ্রুপ-1 এর ধাতুসমূহের আয়নীকরণ শক্তি সবচেয়ে কম; এদের তুলনায় গ্রুপ-2 এর ধাতুসমূহের আয়নীকরণ শক্তি বেশি হয়। [অনুচ্ছেদ ৩.৩ (ঘ) দেখ।]

(৭) s-ব্লক মৌল হলো তীব্র তড়িৎ ধনাত্মক মৌল। এদের সক্রিয়তা একই গ্রুপের নিচের দিকের মৌলসমূহে বৃদ্ধি পায়।

(৮) s-মৌলসমূহ তীব্র বিজারকরূপে ক্রিয়া করে।

(৯) Be ও Mg ব্যতীত s-ব্লকের অন্য সব মৌল বুনসেন শিখায় বৈশিষ্ট্যপূর্ণ বর্ণ সৃষ্টি করে।

\*বেরিলিয়াম ও ম্যাগনেসিয়াম ধাতুর পরমাণু তুলনামূলকভাবে আকারে ছোট। এদের নিউক্লিয়াস দ্বারা যোজ্যতা ইলেকট্রন অধিক আকৃষ্ট থাকে; ফলে এদের আয়নীকরণ শক্তি অন্য সব s ব্লক মৌলের চেয়ে বেশি হয়। বুনসেন শিখার তাপে এসব মৌলের যোজ্যতাস্তরের ইলেকট্রন উদ্দীপিত হয়ে উচ্চতর শক্তিস্তরে উন্নীত হতে পারে না। এ কারণে Be ও Mg এর পরমাণু বা ধাতব লবণ বুনসেন শিখায় কোনো বিশেষ বর্ণ সৃষ্টি করে না।

(১০) Be ব্যতীত s-ব্লকের অন্য সব ধাতু আয়নিক যৌগ গঠন করে।

ছোট আকারের জন্য কখনো  $Be^{2+}$  আয়ন সৃষ্টি হয় না। Li পরমাণু  $Li^+$  আয়ন গঠন করলেও এর অধিক চার্জ ঘনত্বের কারণে পোলার সমযোজী যৌগে পরিণত হয়। এ কারণে Li-লবণ পানিতে কম দ্রবণীয়।  $LiCl, LiBr, LiI$  প্রভৃতি পোলার দ্রাবক অ্যালকোহল ও অ্যাসিটোন প্রভৃতি জৈব দ্রাবকে অধিক দ্রবণীয় হয়।

s-ব্লক মৌলসমূহের প্রত্যেকটির ইলেকট্রন বিন্যাসকে নিষ্ক্রিয় গ্যাসের প্রতীকের সাথে সর্ববহিস্থ শক্তিস্তর বা যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাসসহ নিম্নরূপে দেখানো হয়। [বইয়ের প্রথমে দেয়া পর্যায় সারণি দেখ।]

গ্রুপ-1	H(1) $1s^1$	Li(3) [He] $2s^1$	Na(11) [Ne] $3s^1$	K(19) [Ar] $4s^1$	Rb(37) [Kr] $5s^1$	Cs(55) [Xe] $6s^1$	Fr(87) [Rn] $7s^1$
গ্রুপ-2		Be(4) [He] $2s^2$	Mg(12) [Ne] $3s^2$	Ca(20) [Ar] $4s^2$	Sr(38) [Kr] $5s^2$	Ba(56) [Xe] $6s^2$	Ra(88) [Rn] $7s^2$

গ্রুপ → পর্যায় ↓	1	M.P °C	2	M.P °C
2	${}_3Li$	180.5	${}_4Be$	1278
3	${}_{11}Na$	97.7	${}_{12}Mg$	650
4	${}_{19}K$	63.3	${}_{20}Ca$	842
5	${}_{37}Rb$	39.3	${}_{38}Sr$	777
6	${}_{55}Cs$	28.4	${}_{56}Ba$	727
7	${}_{87}Fr$	—	${}_{88}Ra$	700
ইলেকট্রন বিন্যাস	$ns^1$		$ns^2$	

MCQ-3.7 : কোন্গুলো  
অপধাতু?

(ক) Si, Ge, As

(খ) Na, K, Rb

(গ) Mg, Al, Sb

(ঘ) B, Fe, Ni

জেনে নাও : সবচেয়ে সবল ক্ষার বা, অ্যালকালি  
দ্রবণ হলো KOH, NaOH এবং LiOH দ্রবণ।

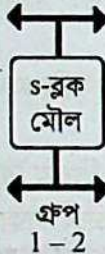
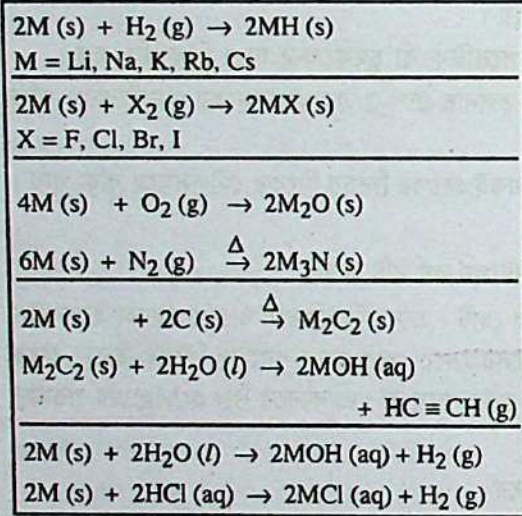


সমাধানকৃত সমস্যা-৩.২ : Be ও Mg ধাতু বুনসেন শিখায় কোনো বিশেষ বর্ণ সৃষ্টি করে না কেন ; ব্যাখ্যা কর।

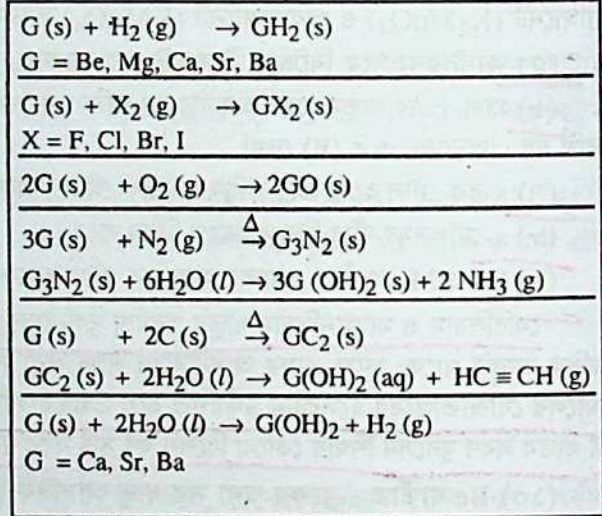
সমাধান : Be ও Mg পরমাণুর আকার অপেক্ষাকৃত ছোট হওয়ায় এদের আয়নীকরণ শক্তি বেশি। বুনসেন শিখার তাপ শক্তি এদের যোজ্যতা-ইলেকট্রনকে উচ্চ শক্তিস্তরে উত্তোলিত করতে পারে না। তাই এরা শিখায় বর্ণ সৃষ্টি করে না।

s-ব্লক মৌলসমূহের রাসায়নিক ধর্ম :

গ্রুপ-1 এর মৌলসমূহের বিক্রিয়াসমূহ :



গ্রুপ-2 এর মৌলসমূহের বিক্রিয়াসমূহ :

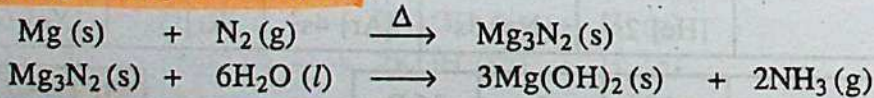


s-ব্লক মৌলসমূহের রাসায়নিক বিক্রিয়া এবং এদের বুঝে মনে রাখার নিয়ম :

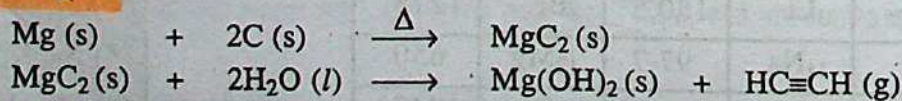
(১) অধাতুসহ আয়নিক যৌগ : s-ব্লকের গ্রুপ-1 ও গ্রুপ-2 এর মৌলসমূহের প্রত্যেকে পর্যায় সারণির অধাতব মৌল  $H_2$ , হ্যালোজেন ( $X_2 = F_2, Cl_2, Br_2, I_2$ ),  $O_2, N_2, C$  ইত্যাদির সাথে আয়নিক যৌগ গঠন করে। [ওপরের চিত্রে দেখ।]

(২) নাইট্রাইড ও কার্বাইডের আর্দ্র বিশ্লেষণ : s-ব্লকের ধাতব নাইট্রাইড ( $M_3N, G_3N_2$ ) ও ধাতব কার্বাইড ( $M_2C_2, GC_2$ ) গরম পানির সংস্পর্শে আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়ে যথাক্রমে  $NH_3, HC \equiv CH$  (অ্যাসিটিলিন) গ্যাস ও ধাতব হাইড্রক্সাইড উৎপন্ন করে। [ওপরের বিক্রিয়া দেখ।]

যেমন Mg ধাতুকে  $N_2$  গ্যাসসহ উত্তপ্ত করলে আয়নিক যৌগ ম্যাগনেসিয়াম নাইট্রাইড ( $Mg_3N_2$ ) গঠন করে।  $Mg_3N_2$  অণুতে নাইট্রাইড আয়নের অধিক পোলারায়নের কারণে এটি সমযোজী যৌগের মতো গরম পানিতে সহজে আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে  $Mg(OH)_2$  ও  $NH_3$  গ্যাস উৎপন্ন করে :



অনুরূপভাবে ম্যাগনেসিয়াম কার্বাইড ( $MgC_2$ ) গঠিত হয় এবং গরম পানির সাথে আর্দ্র বিশ্লেষণ বিক্রিয়ায়  $Mg(OH)_2$  ও অ্যাসিটিলিন গ্যাস উৎপন্ন করে।



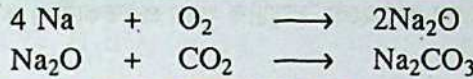
(৩) পানিসহ বিক্রিয়া : গ্রুপ-1 এর অধিক সক্রিয় ধাতুসমূহ প্রবলভাবে পানির সাথে বিক্রিয়া করে স্ফল স্কার যেমন  $NaOH, KOH$  ও  $H_2$  গ্যাস উৎপন্ন করে। এজন্য গ্রুপ-1 এর ধাতুসমূহকে স্কার ধাতু বলে। কিন্তু গ্রুপ-2 এর কম সক্রিয় ধাতুসমূহ পানির সাথে ধীরে বিক্রিয়া করে ধাতুর হাইড্রক্সাইড ও  $H_2$  গ্যাস উৎপন্ন করে। এছাড়া গ্রুপ-2 এর ধাতুর যৌগ মাটির অন্যতম উপাদান হওয়ায় গ্রুপ-2 এর ধাতুসমূহকে মৃৎ-স্কার ধাতু বলে। [ওপরের বিক্রিয়া দেখ।]

(৪) এসিডের H-প্রতিস্থাপন : HCl এসিডের সাথে গ্রুপ-1 ও গ্রুপ-2 এর ধাতুসমূহ প্রবলভাবে বিক্রিয়া করে ধাতব ক্লোরাইড ও  $H_2$  গ্যাস উৎপন্ন করে।



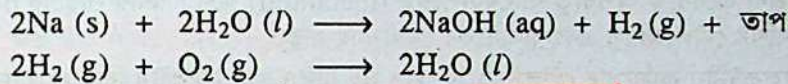
সমাধানকৃত সমস্যা-৩.৩ : সোডিয়াম ধাতুকে কেরোসিনের মধ্যে সংরক্ষণ করা হয় কেন; ব্যাখ্যা কর।

সমাধান : সোডিয়াম ধাতু অত্যন্ত সক্রিয় গ্রুপ-1 এর ধাতু। সোডিয়াম ধাতুকে বাতাসে ও পানিতে রাখা যায় না। কারণ বাতাসের সংস্পর্শে বাতাসের মধ্যস্থ অক্সিজেনের সাথে Na ধাতু বিক্রিয়া করে সোডিয়াম অক্সাইড গঠন করে। পরে উৎপন্ন  $\text{Na}_2\text{O}$  বাতাসের  $\text{CO}_2$  গ্যাসের সাথে বিক্রিয়া করে সোডিয়াম কার্বনেটে পরিণত হয়।



MCQ-3.8 : অপধাতুর সংখ্যা কত?  
(ক) 7 (খ) 8 (গ) 9 (ঘ) 10

আবার সোডিয়াম ধাতুকে পানিতেও রাখা যায় না। পানির সংস্পর্শে সোডিয়াম ধাতু পানির সাথে প্রবলভাবে বিক্রিয়া করে সোডিয়াম হাইড্রক্সাইড ক্ষার ও  $\text{H}_2$  গ্যাস উৎপন্ন করে। এটি তাপোৎপাদী বিক্রিয়া হওয়ায় উৎপন্ন  $\text{H}_2$  গ্যাসে আগুন ধরে যায়। ফলে পানি উৎপন্ন হয়।



তাই সোডিয়াম ধাতুকে নিষ্ক্রিয় তরল পদার্থ কেরোসিনের মধ্যে সংরক্ষণ করা হয়।

### ৩.২.২ p-ব্লকের মৌলসমূহের সাধারণ ধর্মাবলি (General Properties of p-block elements)

প্রতিনিধি মৌল : s-ব্লক ও p-ব্লকের মৌলসমূহকে আদর্শ বা প্রতিনিধি মৌল (normal or representative elements) বলা হয়; কারণ এদের যোজ্যতা স্তরে অরবিটালসমূহ সাধারণ নিয়ম মতে ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ হয়ে থাকে। অর্থাৎ এসব মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাস সাধারণ নিয়ম যেমন আউফবাউ নীতি মেনে চলে।

পর্যায় সারণির গ্রুপ-13 এর মৌলসমূহে  $ns^2 np^1$  ইলেকট্রন বিন্যাস থেকে শুরু করে গ্রুপ-14, 15, 16, 17 ও গ্রুপ-18 এর ( $ns^2 np^6$ ) মৌলসমূহ p-ব্লকে স্থান পেয়েছে। যেমন-

পর্যায় ↓	গ্রুপ →	13	14	15	16	17	18
2		${}_5\text{B}$	${}_6\text{C}$	${}_7\text{N}$	${}_8\text{O}$	${}_9\text{F}$	${}_{10}\text{Ne}$
3		${}_{13}\text{Al}$	${}_{14}\text{Si}$	${}_{15}\text{P}$	${}_{16}\text{S}$	${}_{17}\text{Cl}$	${}_{18}\text{Ar}$
4		${}_{31}\text{Ga}$	${}_{32}\text{Ge}$	${}_{33}\text{As}$	${}_{34}\text{Se}$	${}_{35}\text{Br}$	${}_{36}\text{Kr}$
5		${}_{49}\text{In}$	${}_{50}\text{Sn}$	${}_{51}\text{Sb}$	${}_{52}\text{Te}$	${}_{53}\text{I}$	${}_{54}\text{Xe}$
6		${}_{81}\text{Tl}$	${}_{82}\text{Pb}$	${}_{83}\text{Bi}$	${}_{84}\text{Po}$	${}_{85}\text{At}$	${}_{86}\text{Rn}$
7		${}_{113}\text{Nh}$	${}_{114}\text{Fl}$	${}_{115}\text{Mc}$	${}_{116}\text{Lv}$	${}_{117}\text{Ts}$	${}_{118}\text{Og}$
ইলেকট্রন বিন্যাস		$ns^2np^1$	$ns^2np^2$	$ns^2np^3$	$ns^2np^4$	$ns^2np^5$	$ns^2np^6$

(১) p-ব্লকের মৌল সংখ্যা নবআবিষ্কৃত নিহোনিয়াম Nh (113), ফ্লোরোভিয়াম, Fl (114), মস্কোভিয়াম, Mc (115), লিভারমরিয়াম, Lv (116), টেনেসিন, Ts (117) ও ওগানেসান, Os (118) সহ ৩৬টি। এদের মধ্যে ধাতু, অপধাতু বা মেটালয়েড ও অধাতু রয়েছে।

(২) ধাতু (১২টি) ও গ্রাফাইট (কার্বনের বহুরূপ) ব্যতীত p-ব্লকের অন্য সব মৌল তাপ ও বিদ্যুৎ কু-পরিবাহী। p-ব্লকভুক্ত মোট অপধাতু ৬টি (B, Si, Ge, As, Sb, Te) হলো সেমিকন্ডাক্টর।

(৩) p-ব্লকের বেশির ভাগই তড়িৎ ঋণাত্মক অধাতু।

(৪) একই পর্যায়ে বাম থেকে ডানদিকে মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে যোজ্যতা ইলেকট্রন সংখ্যা বৃদ্ধি পায়; কিন্তু শক্তিস্তর একই থাকে। ফলে মৌলসমূহের পারমাণবিক আকার হ্রাস পায়।

(৫) একই পর্যায়ে বাম থেকে ডান দিকে p-ব্লকের মৌলসমূহের বিজারণ ক্ষমতা ক্রমশ হ্রাস পায়।

(৬) একই পর্যায়ে বাম থেকে ডানদিকে p-ব্লকের মৌলসমূহের জারণ ক্ষমতা ক্রমশ বৃদ্ধি পায়। কিন্তু একই গ্রুপের ওপর থেকে নিচের দিকে মৌলসমূহের জারণ ক্ষমতা হ্রাস পায়।

(৭) একই গ্রুপে ওপর থেকে নিচের দিকে মৌলসমূহের বেলায় পারমাণবিক আকার বৃদ্ধি পায়; আয়নীকরণ বিভব হ্রাস পায় এবং ধাতব ধর্ম ক্রমশ বৃদ্ধি পায়।



(৮) একই গ্রুপে ওপর থেকে নিচের দিকে মৌলসমূহের বিজারণ ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়।

(৯) p-ব্লকের অধাতু মৌলসমূহ নিজেদের মধ্যে সমযোজী যৌগ এবং ধাতুর সাথে আয়নিক যৌগ সৃষ্টি করে।

(১০) p-ব্লকের মৌলসমূহের পরিবর্তনশীল জারণ অবস্থা বিভিন্ন যৌগে দেখা যায়।

\* p-ব্লক মৌলসমূহের মধ্যে  $ns^2 np^5$  ইলেকট্রনীয় কাঠামোর অর্থাৎ গ্রুপ-17 এর মৌলসমূহ হলো হ্যালোজেন যেমন, F, Cl, Br, I ও At। হ্যালোজেন (halogen) শব্দের অর্থ হলো 'সামুদ্রিক লবণ প্রস্তুতকারী'। কারণ এসব মৌলের লবণ NaCl, NaBr, NaI সমুদ্রের লবণাক্ত পানিতে থাকে।

\* অধিকাংশ ধাতু প্রকৃতিতে ধাতব অক্সাইড ও ধাতব সালফাইড আকরিকরূপে থাকে। তাই গ্রুপ-16 এর মৌলসমূহকে (O, S, Se, Te ইত্যাদিকে) চ্যালকোজেন (Chalcogens, ore-forming) বা আকরিক সৃষ্টিকারী মৌল বলা হয়।

\* অধিকাংশ p-ব্লক মৌল অধাতু। তবে এদের মধ্যে B, Si, Ge, As, Sb, Te—এ ছয়টি মৌলে ধাতু ও অধাতু উভয় শ্রেণির ধর্ম প্রকাশ পায়; এজন্য এদেরকে অপধাতু বা মেটালয়েড (metalloid) বলে। পর্যায় সারণির p-ব্লকের মাঝখানের সিডি-রেখার ডানদিকের অবশিষ্ট মৌল অধাতু এবং বামদিকের মৌলসমূহ ধাতু।

\* আবার  $ns^2 np^6$  ইলেকট্রনীয় কাঠামোর মৌলসমূহকে (He সহ যদিও এর ইলেকট্রন বিন্যাস ভিন্নতর) নিষ্ক্রিয় গ্যাস বলে। যেমন, Ne, Ar, Kr, Xe ও Rn নিষ্ক্রিয় গ্যাস। কারণ এদের অধিকতর স্থায়ী  $ns^2 2p^6$  ইলেকট্রন বিন্যাস থাকায় এরা রাসায়নিকভাবে নিষ্ক্রিয় হয়।

**নিষ্ক্রিয় গ্যাসসমূহের বিশেষ ব্যবহার :**

(ক) হিলিয়াম : সবচেয়ে হালকা  $H_2$  গ্যাস। এরপর He গ্যাস, এটি অদাহ্য।  $H_2$  এর তুলনায় He গ্যাসের বেলুন উত্তোলন ক্ষমতা 92%। গভীর পানির নিচে কর্মরত ডুবুরিগণের শ্বাস-প্রশ্বাসে ব্যবহৃত অক্সিজেন সিলিন্ডারে 80% He ও 20%  $O_2$  থাকে।

(খ) নিয়ন : নিয়ন আলো উজ্জ্বল লাল বর্ণের ও কুয়াশার মধ্যেও দৃশ্যমান। তাই উড়ন্ত বিমানে পাইলটগণ উজ্জ্বল লাল বর্ণের নিয়ন আলো-সংকেত ব্যবহার করেন। সবুজ বা নীল বর্ণের বাল্বে অন্যান্য নিষ্ক্রিয় গ্যাস অথবা মার্কারি বাষ্প মিশ্রিত থাকে।

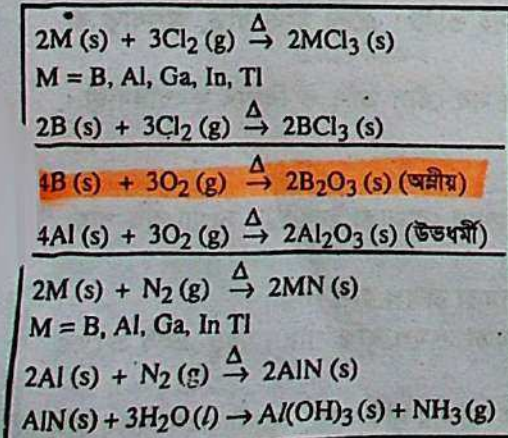
(গ) আর্গন : বায়ুতে নিষ্ক্রিয় গ্যাসসমূহের মধ্যে আর্গনের পরিমাণ বেশি (0.93%)। বৈদ্যুতিক বাল্বে নিষ্ক্রিয় পরিবেশরূপে আর্গন ব্যবহৃত হয়।

(ঘ) ক্রিপটন-জেনন : ফটোগ্রাফিক ফ্লাশ বাল্ব তৈরিতে ক্রিপটন জেনন মিশ্রণ ব্যবহৃত হয়।

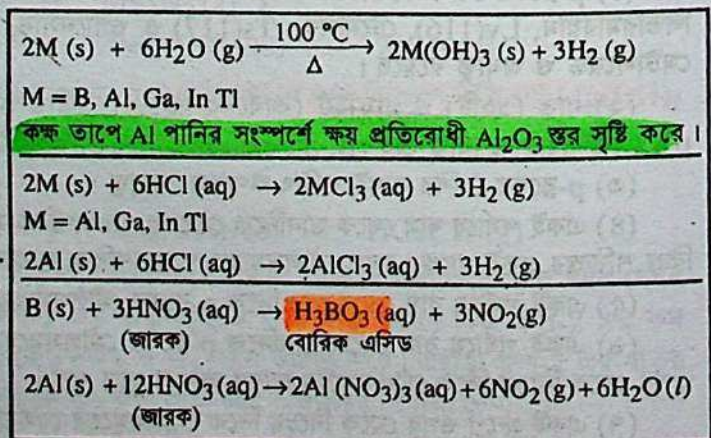
(ঙ) রেডন : তেজস্ক্রিয় রেডন ক্যান্সার চিকিৎসায় ক্যান্সার কোষ ধ্বংস করার কাজে ব্যবহৃত হয়।

(১) p-ব্লক মৌলসমূহের রাসায়নিক ধর্ম (Chemical Properties of p-block elements) :

p-ব্লকভুক্ত ছয়টি গ্রুপ আছে। p-ব্লকের এ ছয়টি গ্রুপে থাকা মৌলের পরমাণুর p-অরবিটালে এক-একটি করে ছয়টি ইলেকট্রন ক্রমান্বয়ে বৃদ্ধি পায়। p-ব্লক মৌলসমূহের সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাস  $ns^2 np^{1-6}$ । p-ব্লকের ছয়টি গ্রুপের রাসায়নিক ধর্মাবলি পৃথকভাবে গ্রুপভিত্তিক দেখানো হলো :



p-ব্লক  
গ্রুপ  
13

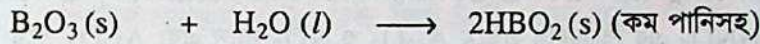




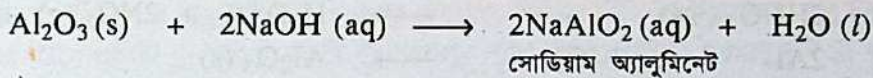
p-ব্লকের গ্রুপ-13 এর মৌলসমূহের রাসায়নিক বিক্রিয়া এবং এদের বুঝে মনে রাখার নিয়ম :

(১) ধাতব ও অধাতব দ্বিমৌল যৌগ গঠন : গ্রুপ-13 এর প্রথম মৌল B হলো অপধাতু, Al, Ga, In, Tl হলো ধাতু। s-ব্লক মৌলের চেয়ে এরা কম সক্রিয়। তাই অধাতব মৌল  $Cl_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$  এর সাথে উচ্চ তাপ প্রয়োগে এরা দ্বিমৌল যৌগ যেমন ক্লোরাইড, অক্সাইড ও নাইট্রাইড গঠন করে। [ওপরের সমীকরণ দেখ]

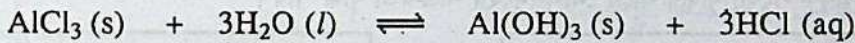
(২) অম্লধর্মী অক্সাইড গঠন : বোরনের অক্সাইড ( $B_2O_3$ ) অম্লীয়। তাই  $B_2O_3$  পানির সাথে বিক্রিয়ায় বোরিক এসিড বা অর্থোবোরিক এসিড,  $H_3BO_3$  (or  $B_2O_3 \cdot 3H_2O$ ) ও মেটাবোরিক এসিড,  $HBO_2$  (or  $B_2O_3 \cdot H_2O$ ) উৎপন্ন করে।



(৩) উভধর্মী অক্সাইড গঠন :  $Al_2O_3$  উভধর্মী অক্সাইড। তাই এটি পৃথকভাবে অম্ল ( $HCl$ ) ও গাঢ় ক্ষার ( $NaOH$ ) দ্রবণের সাথে বিক্রিয়ায় প্রতিক্ষেত্রে লবণ ও পানি উৎপন্ন করে।

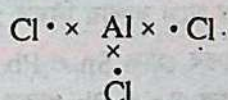


(৪) ধাতব ক্লোরাইড ও নাইট্রাইডের আর্দ্রবিশ্লেষণ : ধাতব ক্লোরাইড ( $AlCl_3$ ) ও ধাতব নাইট্রাইড ( $AlN$ ) অণুতে সর্বাধিক পোলারায়নের কারণে (অনুচ্ছেদ-৩.১৫.২ দেখ), সমযোজী যৌগের মতো  $AlCl_3$  ও  $AlN$  পানিতে আর্দ্রবিশ্লেষিত হয়ে  $Al(OH)_3$ ,  $HCl$  ও  $NH_3$  তৈরি করে।

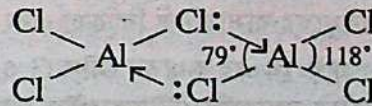


জেনে নাও :  $AlCl_3$  ডাইমার অণু ( $Al_2Cl_6$ ) গঠন করে।

এর কারণ হলো মূলত অ্যালুমিনিয়াম ক্লোরাইড ( $AlCl_3$ ) আয়নিক বন্ধন দ্বারা গঠিত হলেও  $Al^{3+}$  আয়নের চার্জ ঘনত্ব অধিক। [অর্থাৎ আয়নের চার্জ/ব্যাসার্ধ, অনুপাত হলো (3 একক / 0.05 nm) = 60 একক চার্জ  $nm^{-1}$  যা  $Na^+$  আয়ন ও  $Mg^{2+}$  আয়নের 'চার্জ/ব্যাসার্ধ' অনুপাত অপেক্ষা অনেক বেশি। যেমন  $Na^+$  এর চার্জ ঘনত্ব 10 একক চার্জ  $nm^{-1}$  এবং  $Mg^{2+}$  এর চার্জ ঘনত্ব 30 একক চার্জ  $nm^{-1}$ ]। ফলে  $Al^{3+}$  আয়ন দ্বারা ঋণাত্মক আয়ন যেমন  $Cl^-$  আয়নের পোলারায়ন সহজেই ঘটে। এ অবস্থায় ঋণাত্মক আয়ন যেমন  $Cl^-$  আয়নের ইলেকট্রন ঘনত্ব Al পরমাণু ও Cl পরমাণুর দুই নিউক্লিয়াসের মাঝখানে অবস্থান নেয়। তখন Al পরমাণুর যোজ্যতা স্তরে তিন জোড়া বন্ধন ইলেকট্রন থাকে অর্থাৎ অষ্টক অপূর্ণ থাকে। তাই অষ্টক পূরণের জন্য দুটি করে  $AlCl_3$  অণুর Al পরমাণু পার্শ্ববর্তী Cl পরমাণুর নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগলের সাথে সন্নিবেশ বন্ধন দ্বারা ডাইমার অণু ( $Al_2Cl_6$ ) সৃষ্টি করে। তখন ভিতরের বন্ধন কোণ  $\angle ClAlCl = 79^\circ$  এবং এর বিপরীতে বাইরের বন্ধন কোণ  $\angle ClAlCl = 118^\circ$  হয়।



মনোমার ( $AlCl_3$ )

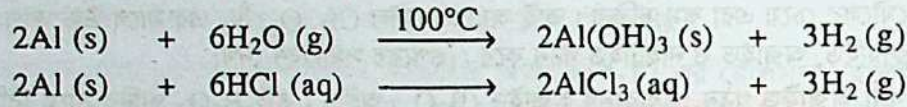


ডাইমার ( $Al_2Cl_6$ )

কঠিন অবস্থায় এই ডাইমার অণুসমূহ মোটামুটি চতুস্তলকীয় গঠন ও শীট আকারে দুর্বল ভ্যানডারওয়াল আকর্ষণ বল দ্বারা কেলাস সৃষ্টি করে। তবে  $180^\circ C$  তাপমাত্রায় ডাইমার অণু ( $Al_2Cl_6$ ) ভেঙ্গে মনোমার অণু ( $AlCl_3$ ) রূপে কঠিন অবস্থা থেকে সরাসরি বাষ্পীয় অবস্থায় উর্ধ্বপাতিত হয়।



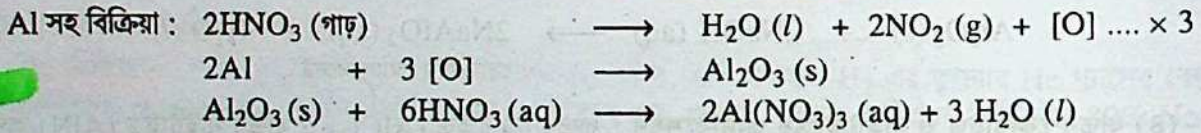
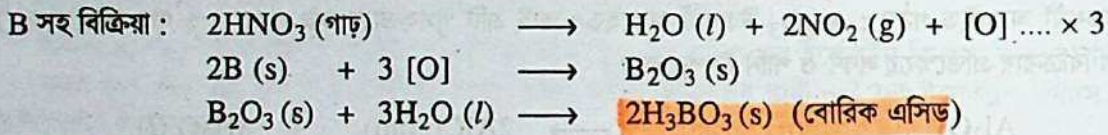
(৫) এসিডের H-প্রতিস্থাপন : কম সক্রিয় হওয়ায় গ্রুপ-13 এর ধাতুসমূহ 100°C এ পানির সাথে বিক্রিয়া করে ধাতব হাইড্রক্সাইড ও H<sub>2</sub> গ্যাস উৎপন্ন করে। এছাড়া এ সব ধাতু HCl এসিড থেকে H<sub>2</sub> উৎপন্ন করে। [সমীকরণ দেখা]



(৬) জারণধর্মী এসিডসহ বিক্রিয়া : জারণধর্মী এসিড গাঢ় HNO<sub>3</sub> দ্বারা B জারিত হয়ে B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> এবং HNO<sub>3</sub> বিজারিত হয়ে বাদামি NO<sub>2</sub> গ্যাস উৎপন্ন হয়। অম্লধর্মী B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> পানির সাথে বিক্রিয়ায় H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> উৎপন্ন করে।

অনুরূপভাবে Al ধাতু ও HNO<sub>3</sub> এর বিক্রিয়ায় প্রথমে Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ও NO<sub>2</sub> গ্যাস এবং Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> পরে HNO<sub>3</sub> এর সাথে বিক্রিয়ায় Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> লবণ ও পানি উৎপন্ন করে। (সমীকরণ দেখা)।

প্রথমে গাঢ় HNO<sub>3</sub> বিয়োজিত হয়ে H<sub>2</sub>O, বাদামি NO<sub>2</sub> গ্যাস ও জায়মান অক্সিজেন [O] উৎপন্ন করে।



(২) p-ব্লকের গ্রুপ-14 এর মৌলসমূহের রাসায়নিক ধর্মাবলি :

গ্রুপ-13 এর মৌলের মতো গ্রুপ-14 এর মৌলসমূহ হ্যালোজেন, অক্সিজেনসহ H<sub>2</sub>, স্টিম, এসিড ও ক্ষার দ্রবণসহ বিক্রিয়া করে। পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে মৌলসমূহের সক্রিয়তা বৃদ্ধি পায়।

$\text{M (s)} + 2\text{Cl}_2\text{ (g)} \xrightarrow{\Delta} \text{MCl}_4\text{ (s)}$ <p>M = C, Si, Ge, Sn, Pb কিন্তু SnCl<sub>2</sub>, PbCl<sub>2</sub> আয়নিক হয়।</p>	<p>↔</p> <p>p-ব্লক</p> <p>↔</p> <p>গ্রুপ-14</p> <p>↔</p>	$\text{C (s)} + \text{H}_2\text{O (স্টিম)} \xrightarrow{1300^\circ\text{C}} [\text{CO (g)} + \text{H}_2\text{ (g)}]$ <p>উত্তপ্ত ওয়াটার গ্যাস</p>
$\text{M (s)} + \text{O}_2\text{ (g)} \rightarrow \text{MO}_2\text{ (s) (অম্লধর্মী)}$ <p>SnO<sub>2</sub>, PbO উভধর্মী অক্সাইড</p> $\text{SnO}_2\text{ (s)} + 2\text{NaOH (aq)} \rightarrow \text{H}_2\text{O (l)} + \text{Na}_2\text{SnO}_3\text{ (aq)}$ <p>স্ট্যান্টে</p>		$\text{Si (s)} + 2\text{H}_2\text{O (স্টিম)} \xrightarrow{\Delta} \text{SiO}_2\text{ (s)} + 2\text{H}_2\text{ (g)}$ $\text{Pb (s)} + 2\text{H}_2\text{O (স্টিম)} \xrightarrow{\Delta} \text{Pb(OH)}_2\text{ (s)} + \text{H}_2\text{ (g)}$
$\text{C (s)} + 2\text{H}_2\text{ (g)} \xrightarrow{\Delta} \text{CH}_4\text{ (g)}$ $\text{Si (s)} + 2\text{H}_2\text{ (g)} \xrightarrow{\Delta} \text{SiH}_4\text{ (g) সিলেন}$ $\text{SiH}_4\text{ (g)} + 2\text{O}_2\text{ (g)} \rightarrow \text{SiO}_2\text{ (s)} + 2\text{H}_2\text{O (l)}$	$\text{Sn (s)} + 2\text{HCl (aq)} \rightarrow \text{SnCl}_2\text{ (aq)} + \text{H}_2\text{ (g)}$ $\text{Pb (s)} + 2\text{HCl (aq)} \rightarrow \text{PbCl}_2\text{ (s)} + \text{H}_2\text{ (g)}$ <p>এসিডের সাথে কেবল এরা বিক্রিয়া করে। গ্রুপের নিচের দিকে ধাতব ধর্মের বৃদ্ধি পায়।</p>	
		$\text{Sn (s)} + 2\text{NaOH (aq)} + \text{H}_2\text{O (l)} \rightarrow 2\text{H}_2\text{ (g)} + \text{Na}_2\text{SnO}_3\text{ (aq) স্ট্যান্টে}$ $\text{Pb (s)} + 2\text{NaOH (aq)} + \text{H}_2\text{O (l)} \rightarrow 2\text{H}_2\text{ (g)} + \text{Na}_2\text{PbO}_3\text{ (aq) প্রাষেট}$

p-ব্লকের গ্রুপ-14 এর মৌলসমূহের রাসায়নিক বিক্রিয়া এবং এদের বুঝে মনে রাখার নিয়ম :

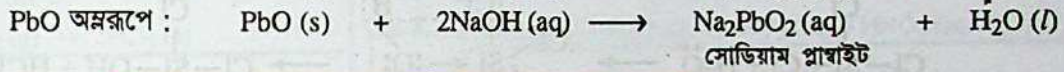
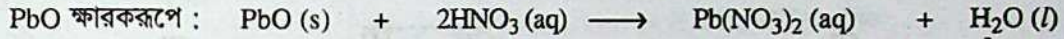
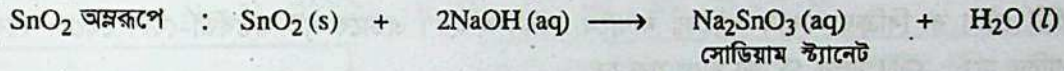
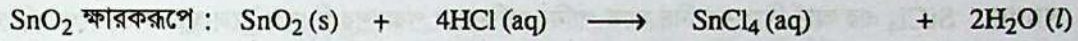
(১) Cl<sub>2</sub> সহ বিক্রিয়া : গ্রুপ-14 এর অধাতব মৌল C ও Si এবং ধাতব মৌল Sn ও Pb প্রত্যেকেই Cl<sub>2</sub> সহ উচ্চ তাপমাত্রায় চতুর্থোজ্যতা সহকারে সমযোজী টেট্রাক্লোরাইড গঠন করে। কিন্তু Sn ও Pb ধাতুর ডাইক্লোরাইড মোটামুটি আয়নিক হয়। [ওপরের সমীকরণ দেখা]।

(২) O<sub>2</sub> সহ বিক্রিয়া : গ্রুপ-14 এর সব মৌল O<sub>2</sub> সহ উচ্চ তাপমাত্রায় চতুর্থোজ্যতাসহ অক্সাইড গঠন করে। যেমন অম্লধর্মী CO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>; জারণধর্মী SnO<sub>2</sub>, PbO<sub>2</sub> উৎপন্ন হয়। তবে SnO<sub>2</sub> ও PbO উভধর্মী অক্সাইডরূপে পৃথকভাবে গাঢ় NaOH দ্রবণ ও HCl এসিডের সাথে বিক্রিয়া করে প্রতি ক্ষেত্রে লবণ ও পানি উৎপন্ন করে।



## মৌলের পর্যায়বৃত্ত ধর্ম ও রাসায়নিক বন্ধন

২৫৭

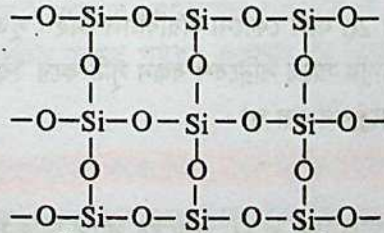
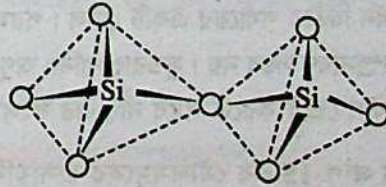


**জেনে নাও :** স্বাভাবিক অবস্থায়  $\text{CO}_2$  গ্যাস, কিন্তু  $\text{SiO}_2$  হলো কঠিন পদার্থ। এর কারণ হলো  $\text{CO}_2$  একটি একক অণু।  $\text{CO}_2$  এর অণুতে একটি কার্বন পরমাণু দুটি অক্সিজেন পরমাণুর সাথে দুই জোড়া ইলেকট্রন শেয়ার করে দ্বিবন্ধন দ্বারা যুক্ত থাকে।  $\text{CO}_2$  এর আণবিক গঠন সরলরেখিক। যেমন,



$\text{CO}_2$  অণুসমূহের মধ্যে কেবল দুর্বল ড্যানডার ওয়ালস বল কার্যকর থাকে। তাই সাধারণ তাপমাত্রায়  $\text{CO}_2$  হলো গ্যাস। এটি একক সমযোজী যৌগ অণু হওয়ায় এর গলনাঙ্ক ও ফুটনাঙ্ক কম। শুষ্ক বরফ বা কঠিন  $\text{CO}_2$  এর গলনাঙ্ক হলো  $-56^\circ\text{C}$ ।

অপরদিকে সিলিকন ডাই অক্সাইড ( $\text{SiO}_2$ ) হলো একটি পলিমার যৌগ ( $\text{SiO}_2$ )<sub>n</sub> অর্থাৎ অসংখ্য  $\text{SiO}_2$  অণু পরস্পর যুক্ত হয়ে বৃহৎ আকারের সুস্থিত গুচ্ছ অণু সৃষ্টি করে। এরূপ যৌগকে পলিমার যৌগ বা দৈত্যাকার অণু (giant molecule) বলে।  $\text{SiO}_2$  পলিমার গঠনে প্রতিটি Si পরমাণু চারটি O পরমাণুর সাথে এবং একটি O পরমাণু দুটি Si পরমাণুর সাথে যুক্ত হয়ে চতুস্তলকীয় গঠন সৃষ্টি করে। প্রতিটি চতুস্তলক O পরমাণু দ্বারা যুক্ত হয়ে পলিমার শিকল ( $\text{SiO}_2$ )<sub>n</sub> গঠন করে। এর পলিমার গঠন নিম্নরূপ :

চিত্র-৩.২ : ( $\text{SiO}_2$ )<sub>n</sub> এর গঠনচিত্র-৩.২(ক) : পলিমার শিকলে  $\text{SiO}_2$  এর চতুস্তলকীয় গঠন

পলিমার যৌগ ( $\text{SiO}_2$ )<sub>n</sub>-এর গলনকালে বহু সমযোজী বন্ধন ভাঙতে হয় এবং অধিক তাপ শক্তি শোষিত হয়। সুতরাং সিলিকন ডাইঅক্সাইড ( $\text{SiO}_2$ )<sub>n</sub>-এর গলনাঙ্ক ও ফুটনাঙ্ক অনেক বেশি; যেমন গলনাঙ্ক  $1610^\circ\text{C}$  ও ফুটনাঙ্ক  $2230^\circ\text{C}$  এবং সাধারণ তাপমাত্রায়  $\text{SiO}_2$  হলো কঠিন কেলাসাকার পদার্থ।

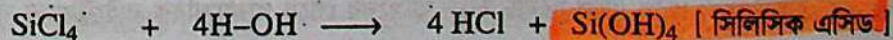
(৩) হাইড্রাইড গঠন : গ্রুপ-14 এর মৌলসমূহ উচ্চ তাপমাত্রায়  $\text{H}_2$  সহ বিক্রিয়া করে টেট্রা হাইড্রাইড গঠন করে। [ওপরের সমীকরণ দেখ।]

(৪) পানির H-প্রতিস্থাপন : উচ্চ তাপমাত্রায় স্টিমের সাথে C, Si, Pb বিক্রিয়া করে  $\text{H}_2$  গ্যাস উৎপন্ন করে। এতে প্রমাণিত হয় H থেকে এদের সক্রিয়তা বেশি। [সমীকরণ দেখ।]

(৫) HCl এসিডের H-প্রতিস্থাপন : ধাতুরূপে Sn, Pb লঘু HCl থেকে  $\text{H}_2$  গ্যাস উৎপন্ন করে। [সমীকরণ দেখ।]

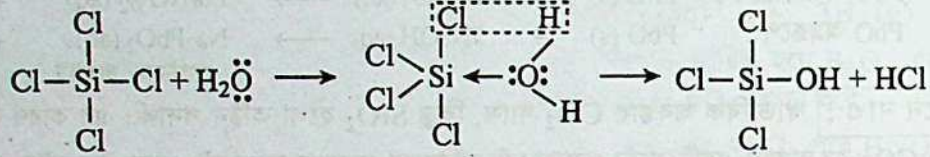
(৬) হ্যালাইডের আর্দ্র বিশ্লেষণ :  $\text{CCl}_4$  ব্যতীত গ্রুপ-14 এর অন্যান্য সমযোজী হ্যালাইড যেমন,  $\text{SiCl}_4$  পানির সংস্পর্শে আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয়। আর্দ্র-বিশ্লেষণের প্রথম শর্ত হলো কেন্দ্রীয় পরমাণুর একটি ফাঁকা d-অরবিটাল থাকা প্রয়োজন। ঐ ফাঁকা d-অরবিটালের সাথে পানি অণুর O-পরমাণুর নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল একটি সন্নিবেশ বন্ধন যেন করতে পারে। দ্বিতীয় পর্যায়ভুক্ত C-পরমাণুতে কোনো d-অরবিটাল থাকে না। তাই  $\text{CCl}_4$  পানিতে আর্দ্র-বিশ্লেষিত হতে পারে না।

অপরদিকে  $\text{SiCl}_4$  এর কেন্দ্রীয় পরমাণু Si তৃতীয় পর্যায়ভুক্ত অধাতব মৌল হওয়ায় এবং এর 3d-অরবিটাল খালি থাকায় এটি পানি অণুর O পরমাণুর সাথে সন্নিবেশ বন্ধন গঠনের মাধ্যমে আর্দ্র-বিশ্লেষিত হয়।

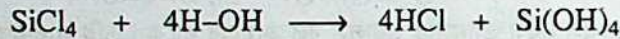




ব্যাখ্যা :  $\text{SiCl}_4$  এর আর্দ্র বিশ্লেষণ নিম্ন মতে পানির অক্সিজেন পরমাণুর নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন সহযোগে সন্নিবেশ বন্ধন দ্বারা অন্তর্বর্তী যৌগ বা বিক্রিয়া-মধ্যক গঠনের মাধ্যমে সংঘটিত হয়। এভাবে সৃষ্ট অন্তর্বর্তী-যৌগ থেকে পরবর্তীতে  $\text{HCl}$  অপসারিত হয়ে  $-\text{OH}$  মূলক  $\text{Si}$  এর সাথে যুক্ত হয়।



এরূপে চার ধাপে পানি অণুর সাথে বিক্রিয়ায়  $\text{SiCl}_4$  এর চারটি  $\text{Cl}$  পরমাণু চারটি  $-\text{OH}$  মূলক দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে থাকে।



প্রাথমিক অবস্থায় এ বিক্রিয়ায় 'বিক্রিয়া-মধ্যকে'  $\text{Si}$  পরমাণুর সর্বশেষ শক্তিস্তরে ১০টি ইলেকট্রন বিদ্যমান থাকে। এর মধ্যে চারটি  $\text{Si}-\text{Cl}$  বন্ধন থেকে চার জোড়া এবং  $\text{Si}-\text{OH}_2$  সন্নিবেশ বন্ধন থেকে এক জোড়া ইলেকট্রন রয়েছে। যেহেতু সিলিকন তৃতীয় পর্যায়ের মৌল সেহেতু তার শূন্য 3d-অরবিটাল আছে, যেখানে  $\text{H}_2\text{O}$  কর্তৃক যোগান ও শেয়ারকৃত ইলেকট্রন যুগল স্থান দেয়া সম্ভব; অন্য কথায়  $\text{Si}$  এর পক্ষে অষ্টক সম্প্রসারণ সম্ভব হয়েছে। পরবর্তীতে  $\text{Si}(\text{OH})_4$  অণুতে অষ্টক বিন্যাস ঘটে থাকে।

কিন্তু কার্বন দ্বিতীয় পর্যায়ের একটি মৌল। পরমাণুর দ্বিতীয় শক্তিস্তরে 2d বলে কোনো অরবিটাল নেই। সুতরাং কার্বনের পক্ষে অষ্টক সম্প্রসারণ সম্ভব নয়। সুতরাং পানির অণু  $\text{CCl}_4$  এর  $\text{C}$  পরমাণুর সাথে সন্নিবেশ বন্ধন সৃষ্টি করে 'বিক্রিয়া-মধ্যক' বা অন্তর্বর্তী-যৌগ তৈরি করতে পারে না। এর ফলে  $\text{CCl}_4$  এর আর্দ্র বিশ্লেষণ হয় না।

(৩) p-ব্লকের গ্রুপ-15 এর মৌলসমূহের রাসায়নিক ধর্মাবলি :

গ্রুপ-14 এর মৌলের মতো গ্রুপ-15 এর মৌলসমূহ হ্যালোজেন, অক্সিজেন ও  $\text{H}_2$  গ্যাসের সাথে বিক্রিয়া করে।  $\text{N}_2$  ও  $\text{Cl}_2$  এর বিক্রিয়ায় কেবল  $\text{NCl}_3$ ; অন্যান্য মৌল পেন্টাক্সোরাইড গঠন করে এদের d-অরবিটাল ব্যবহারের মাধ্যমে অষ্টক সম্প্রসারণ করে।  $\text{N}$  এর 5টি অক্সাইড,  $\text{P}$  এর 4টি অক্সাইড আছে। উভয়ের অক্সাইডে জারণ অবস্থা +3 এবং এর বেশি হলে অসম্ভব হয়। এরা পানিসহ বিক্রিয়ায় অক্সোএসিড যেমন  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  গঠন করে।

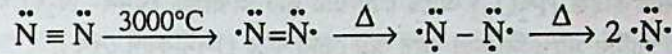
**জেনে নাও :** নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পর সবচেয়ে নিষ্ক্রিয় মৌল হলো  $\text{N}_2$  গ্যাস। তাই  $\text{N}_2$  গ্যাস নিষ্ক্রিয় মাধ্যম হিসেবে ব্যবহৃত হয়। [কু. বো. ২০১৬]

এর ব্যাখ্যা হলো : নাইট্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস  $[\text{N}(7) = 1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1]$  থেকে বোঝা যায়, এতে তিনটি অর্ধপূর্ণ 2p অরবিটাল রয়েছে এবং তা সুস্থ ও অধিক স্থিতিশীল। আবার ২য় শক্তিস্তরে যোজ্যতা স্তর থাকায়  $\text{N}$  পরমাণু আকারে ছোট। তাই দ্বিপারমাণুক ( $\text{N}_2$ ) অণু সৃষ্টির কালে নাইট্রোজেন-নাইট্রোজেন সিগমা ( $\sigma$ ) বন্ধন গঠনের পর উভয়  $\text{N}$  পরমাণুর 1টি করে 2টি p অরবিটালের মধ্যে পাশাপাশি সুষ্ট অধিক্রমণ দ্বারা 2টি  $\pi$  বন্ধন গঠিত হতে পারে ( $\text{N}\equiv\text{N}$ )। তাই নাইট্রোজেন-নাইট্রোজেন ত্রিবন্ধন ( $\text{N}\equiv\text{N}$ ) খুবই দৃঢ় হয়। এ ত্রিবন্ধনের বিয়োজন শক্তি  $945 \text{ kJmol}^{-1}$  এবং বন্ধন দূরত্ব  $0.1098 \text{ nm}$  হয়। এসব কারণে  $\text{N}_2$  অণু রাসায়নিকভাবে অত্যন্ত নিষ্ক্রিয়। বস্তুত নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পর সবচেয়ে নিষ্ক্রিয় মৌল হলো নাইট্রোজেন। তাই  $\text{N}_2$  গ্যাস নিষ্ক্রিয় মাধ্যম হিসেবে ব্যবহৃত হয়। তবে উচ্চ তাপমাত্রায় যেমন,  $3000^\circ\text{C}$  এ  $\text{N}\equiv\text{N}$  ত্রিবন্ধনের এক একটি করে ধাপে ধাপে তিনটি বন্ধন ভাঙনের শেষে পারমাণবিক নাইট্রোজেন সৃষ্টির পর নাইট্রোজেন মৌল সক্রিয় হয়।



মৌলের পর্যায়বৃত্ত ধর্ম ও রাসায়নিক বন্ধন

২৫৯

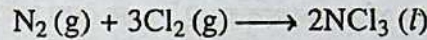


$2M(s) + 3Cl_2(g) \xrightarrow{\Delta} 2MCl_3(s)$ $M = N, P, As, Sb, Bi$ $2P(s) + 5Cl_2(g) \rightarrow 2PCl_5(s)$	<p style="text-align: center;">P-ব্লক গ্রুপ-15</p>	$N_2O_3(g) + H_2O(l) \rightarrow 2HNO_2(aq)$ নাইট্রাস এসিড $N_2O_5 + H_2O \rightarrow 2HNO_3$ নাইট্রিক এসিড $N_2O_4(s) + H_2O(l) \rightarrow HNO_2(aq) + HNO_3(aq)$
$2M + 3O_2(g) \rightarrow M_2O_3$ $2N_2(g) + 5O_2(g) \rightarrow 2N_2O_5(s)$ $P_4(s) + 5O_2(g) \rightarrow 2P_2O_5(s)$		$P_2O_3(s) + 3H_2O(l) \xrightarrow{10^\circ\text{C}} 2H_3PO_3(l)$ $2P_2O_3(s) + 6H_2O(l) \xrightarrow{60^\circ\text{C}} 3H_3PO_4(s) + PH_3(g)$ $P_2O_5(s) + H_2O(l) \xrightarrow{10^\circ\text{C}} 2HPO_3(s)$ মেটাফসফরিক এসিড $P_2O_5(s) + 3H_2O(l) \xrightarrow{60^\circ\text{C}} 2H_3PO_4(s)$ অর্ধোফসফরিক এসিড
$N_2(g) + 3H_2(g) \xrightarrow{\Delta} 2NH_3(g)$ $P_4(s) + 3KOH + 3H_2O \rightarrow PH_3(g) + 3KH_2PO_3$		

p-ব্লকের গ্রুপ-15 এর মৌলসমূহের রাসায়নিক বিক্রিয়া এবং এদের বুঝে মনে রাখার নিয়ম :

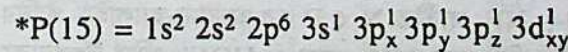
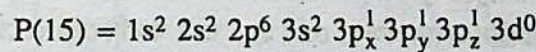
(১) ক্লোরাইড গঠন : ত্রিযোজী N মৌল  $Cl_2$  সহ  $NCl_3$  গঠন করলেও P তৃতীয় পর্যায়ের মৌল হওয়ায় উদ্দীপিত অবস্থায় এর  $3s^2$  থেকে একটি ইলেকট্রন খালি  $3d$ -অরবিটালে উত্তোলিত হলে P পরমাণুতে 5টি বিজোড় ইলেকট্রন হয়। তখন  $PCl_5$  গঠন সম্ভব হয়। এটিকে P এর অষ্টক সম্প্রসারণ বলে।

যেমন, নাইট্রোজেনের ইলেকট্রন বিন্যাস  $N(7) = 1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$  মতে নাইট্রোজেন পরমাণুতে তিনটি বিজোড় ইলেকট্রন থাকায় হ্যালোজেন পরমাণুর (F, Cl, Br, I) সাথে সমযোজ্যতা দ্বারা ট্রাইহ্যালাইড যেমন,  $NF_3$ ,  $NCl_3$ ,  $NBr_3$ ,  $NI_3$  গঠন করতে পারে। এক্ষেত্রে N এর সমযোজ্যতা 3 হয়।

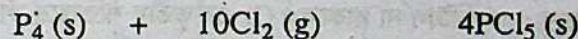
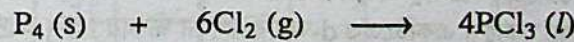


এসব হ্যালাইডের মধ্যে  $NF_3$  বেশ সুস্থিত এবং  $NCl_3$ ,  $NBr_3$  ও  $NI_3$  কিছুটা বিস্ফোরণ প্রবণ হয়।

অনুরূপভাবে ফসফরাসের ইলেকট্রন বিন্যাস মতে P পরমাণুতে 3টি বিজোড় ইলেকট্রন থাকায় P এর সমযোজ্যতা 3 হয়। আবার উদ্দীপিত অবস্থায়  $3s^2$  থেকে একটি ইলেকট্রন খালি  $3d$ -অরবিটালে উত্তোলিত হলে পাঁচটি বিজোড় ইলেকট্রন হয়। তখন P এর সমযোজ্যতা 5 হয়।



তাই ফসফরাস  $F_2$ ,  $Cl_2$ ,  $Br_2$  এর সাথে ট্রাইহ্যালাইড ও পেন্টাহ্যালাইড গঠন করে। কিন্তু আয়োডিনের সাথে  $PI_3$  গঠন করলেও  $PI_5$  গঠন করে না। ফসফরাস সীমিত  $Cl_2$  এর সাথে  $PCl_3$  গঠন করে এবং এর অধিক পরিমাণ  $Cl_2$  প্রবাহে  $PCl_5$  গঠিত হয়।



কিন্তু N পরমাণুর সর্বশেষ ২য় শক্তিস্তরে  $2d$ -অরবিটাল না থাকায় N পরমাণুর সমযোজ্যতা বৃদ্ধি সম্ভব নয়। ফলে  $NCl_5$  গঠিত হয় না।

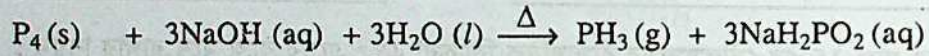
(২) অক্সাইড গঠন : গ্রুপ-15 এর অধাতু N এর 5টি অক্সাইড যেমন নাইট্রাস অক্সাইড ( $N_2O$ ), নাইট্রিক অক্সাইড ( $NO$ ), ডাইনাইট্রোজেন ট্রাইঅক্সাইড ( $N_2O_3$ ), ডাইনাইট্রোজেন টেট্রোঅক্সাইড ( $N_2O_4$ ) বা নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড ( $NO_2$ ) ও ডাইনাইট্রোজেন পেন্টঅক্সাইড ( $N_2O_5$ ) আছে। অপরদিকে P এর 2টি স্থায়ী অক্সাইড যেমন ফসফরাস ট্রাইঅক্সাইড



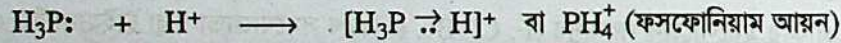
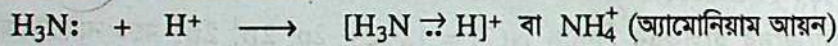
(P<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ও ফসফরাস পেন্টঅক্সাইড (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) আছে। N এর দুটি অক্সাইড যেমন- N<sub>2</sub>O ও NO গ্যাস নিরপেক্ষ; অপর অক্সাইডসমূহ অম্লধর্মী। এরা পানির সাথে বিক্রিয়া করে অম্ল তৈরি করে। [সমীকরণ দেখ।]

\* এসিড অ্যান্‌হাইড্রাইড যেমন P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> কম সংখ্যক পানি অণুসহ এসিড গঠন করলে মেটাফসফরিক এসিড (HPO<sub>3</sub>) এবং অধিক সংখ্যক পানি অণুসহ বিক্রিয়ায় এসিড গঠন করলে অর্থোফসফরিক (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) বা ফসফরিক এসিড নামকরণ হয়।

(৩) হাইড্রাইড গঠন : উচ্চচাপে (200 atm) ও উচ্চ তাপমাত্রায় (500°C) লৌহ গুঁড়া প্রভাবকের উপস্থিতিতে N<sub>2</sub> ও H<sub>2</sub> বিক্রিয়া করে অ্যামোনিয়া (NH<sub>3</sub>) গ্যাস উৎপন্ন করে। কিন্তু গাঢ় NaOH ক্ষার দ্রবণের সাথে শ্বেত ফসফরাসকে উত্তপ্ত করলে ফসফিন (PH<sub>3</sub>) গ্যাস ও সোডিয়াম হাইপোফসফাইট (NaH<sub>2</sub>PO<sub>2</sub>) উৎপন্ন হয়।



$\ddot{N}H_3$  ও  $\ddot{P}H_3$  এর ক্ষারধর্মিতা : অ্যামোনিয়া ( $\ddot{N}H_3$ ) ও ফসফিন ( $\ddot{P}H_3$ ) উভয় যৌগের অণুতে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল থাকায় উভয় যৌগ নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল দ্বারা প্রোটনের সাথে সন্নিবেশ বন্ধন গঠন করতে পারে অর্থাৎ প্রোটন গ্রহণ করে। তাই NH<sub>3</sub> ও PH<sub>3</sub> উভয়ই ক্ষারধর্মী।

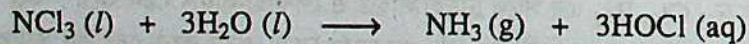


তবে PH<sub>3</sub> অপেক্ষা NH<sub>3</sub> অধিক ক্ষারধর্ম প্রদর্শন করে। এর দুটি কারণ রয়েছে—

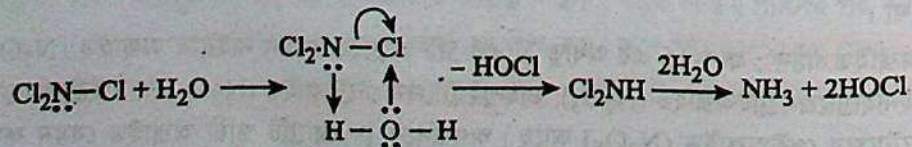
(১) প্রথম কারণ হলো ফসফরাসের তড়িৎ ঋণাত্মকতা (2.1) এর চেয়ে নাইট্রোজেনের তড়িৎ ঋণাত্মকতা (3.0) বেশি; অধিক তড়িৎ ঋণাত্মকতার কারণে P-H এর বন্ধনের তুলনায় N-H এর বন্ধনের ইলেকট্রন মেঘের ঘনত্ব N পরমাণুর দিকে অধিক আকৃষ্ট হয়।

(২) দ্বিতীয় কারণ হলো ফসফরাসের পারমাণবিক ব্যাসার্ধ (0.11 nm) এর তুলনায় নাইট্রোজেনের পারমাণবিক ব্যাসার্ধ (0.075 nm) ছোট হওয়া। ফসফরাসের পরমাণুর তুলনায় N পরমাণুর আকার ছোট হওয়ায় উক্ত বন্ধন ইলেকট্রন মেঘ ও নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন মেঘের নিট ঘনত্ব N পরমাণুতে তুলনামূলকভাবে বেশি থাকে। ফলে  $\ddot{P}H_3$  এর P পরমাণুর তুলনায়  $\ddot{N}H_3$  এর N পরমাণু কর্তৃক প্রোটন গ্রহণ বা ইলেকট্রন প্রদান ক্ষমতা বেশি হয়। তাই ফসফিনের চেয়ে অ্যামোনিয়া তীব্রতর ক্ষার।

(৪) হ্যালাইডের অর্ধ বিশ্লেষণ : NF<sub>3</sub> ব্যতীত N ও P এর অন্যান্য হ্যালাইড পানির সংস্পর্শে অর্ধ বিশ্লেষিত হয়। যেমন, NCl<sub>3</sub> পানির সংস্পর্শে অর্ধ-বিশ্লেষিত হয়ে NH<sub>3</sub> গ্যাস ও HOCl এসিড উৎপন্ন করে।



অর্ধ বিশ্লেষণকালে প্রথমে ট্রাইহ্যালাইড অণু পানি অণুর সাথে একটি নতুন সন্নিবেশ বন্ধন গঠন করে। তখন গ্রুপ-15 এর মৌল অথবা সংশ্লিষ্ট হ্যালাজেন পরমাণু-এ দুটির কোনো একটিতে ফাঁকা d-অরবিটাল থাকা প্রয়োজন। উল্লেখ্য, NF<sub>3</sub> এর N পরমাণু অথবা F পরমাণুর কোনো একটিতেও d-অরবিটাল না থাকায় NF<sub>3</sub> অর্ধ বিশ্লেষিত হয় না। অপরদিকে NCl<sub>3</sub> এর N পরমাণুর দ্বিতীয় শক্তিস্তরে d-অরবিটাল না থাকলেও Cl এর তৃতীয় শক্তিস্তরে ফাঁকা d-অরবিটাল বর্তমান থাকায় NCl<sub>3</sub> অণুর Cl পরমাণুর সাথে H<sub>2</sub>O এর অক্সিজেন পরমাণুর নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল দ্বারা সন্নিবেশ বন্ধন গঠন করতে পারে। পরে নিম্নমতে বন্ধন বিয়োজন ঘটে এবং NH<sub>3</sub> ও HOCl উৎপন্ন হয়।









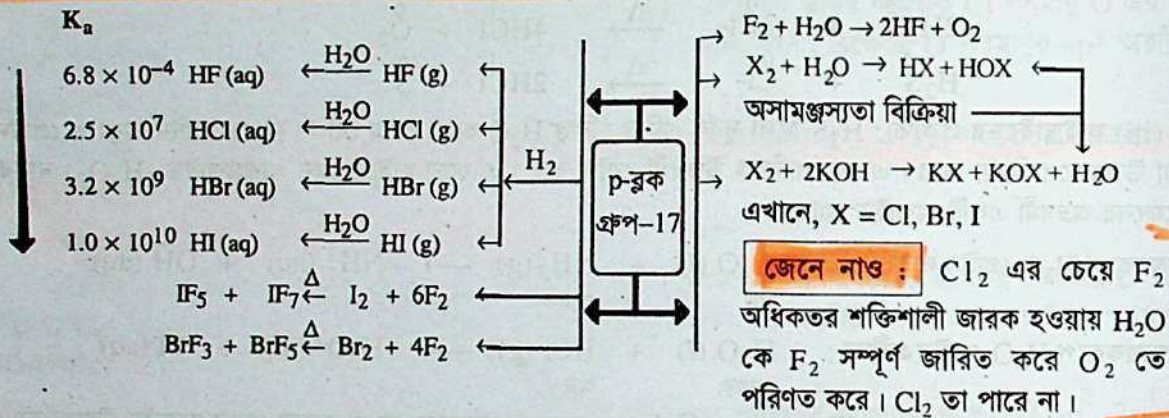








\* কম তড়িৎ ঋণাত্মক হ্যালোজেন বেশি তড়িৎ ঋণাত্মক হ্যালোজেন সদস্যদের সাথে সমযোজী আন্তঃহ্যালাইড গঠন করে। এদেরকে আন্তঃহ্যালোজেন যৌগ বলে। যেমন  $IF_5$  (আয়োডিন পেন্টাফ্লোরাইড),  $IF_7$  (আয়োডিন হেপ্টাফ্লোরাইড)।



p-ব্লকের গ্রুপ-17 এর মৌলসমূহের রাসায়নিক বিক্রিয়া এবং এদের বুঝে মনে রাখার নিয়ম :

(১) HX গঠন :  $H_2$  গ্যাসের সাথে হ্যালোজেন ( $X_2 = F_2, Cl_2, Br_2, I_2$ ) এর বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন হ্যালাইড (HX) উৎপন্ন হয়। উল্লেখ্য H-বন্ধনের কারণে HF অণুসমূহ সংবদ্ধ অণু (associated) রূপে থাকে। তাই HF এর ফুটনাঙ্ক  $19.5^\circ C$  হয়ে থাকে। HX গ্যাসের জলীয় দ্রবণকে হ্যালোজেন হাইড্রাসিড HX (aq) বলা হয়। হ্যালোজেন হাইড্রাসিডের শক্তি ক্রম হলো  $HI (aq) > HBr (aq) > HCl (aq) > HF (aq)$ । এসব এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক  $K_a$  এর মান থেকে তা বোঝা যায়। হ্যালোজেন হাইড্রাসিডের মধ্যে HF সবচেয়ে দুর্বল এসিড বলে এর  $K_a = 6.8 \times 10^{-4}$  হয়েছে। HI এসিড সবচেয়ে সবল এসিড বলে  $K_a = 1.0 \times 10^{10}$  হয়েছে। [ $K_a$  এর মান ওপরে HX (aq) এসিডের পার্শ্বে দেখ।]

(২)  $O_2$  থেকে  $F_2$  অধিক সক্রিয় : অক্সিজেনের চেয়ে  $F_2$  ও  $Cl_2$  অধিক শক্তিশালী জারক। তাই  $F_2$  দ্বারা  $H_2O$  অণু সম্পূর্ণ জারিত হয়ে  $O_2$  গ্যাস ও HF(aq) উৎপন্ন হয়।  $2F_2 (g) + 2H_2O (l) \rightarrow 4HF (aq) + O_2 (g)$

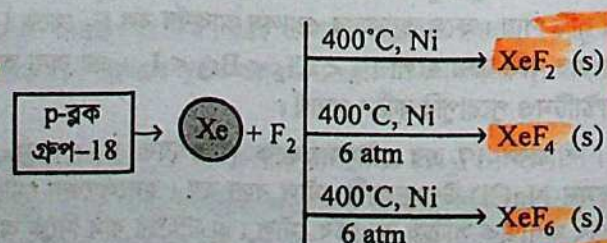
(৩) অসামঞ্জস্যতা বিক্রিয়া : পানির সাথে  $Cl_2$  ধীরে বিক্রিয়া করে হাইড্রোক্লোরিক এসিড HCl(aq) ও ক্লোরিক (I) এসিড HOCl(aq) উৎপন্ন করে। এক্ষেত্রে ক্লোরিনের দুটি পরমাণুর মধ্যে একই সাথে জারণ ও বিজারণ ঘটায়, এ বিক্রিয়াকে অসামঞ্জস্যতা বিক্রিয়া (disproportionation) বলা হয়।  $Cl_2 (g) + H_2O (l) \rightarrow HCl (aq) + HOCl (aq)$

উৎপন্ন HCl এর বেলায় Cl এর জারণ সংখ্যা -1 হওয়ায়, এক্ষেত্রে Cl পরমাণুর বিজারণ ঘটেছে এবং HOCl এর বেলায় Cl এর জারণ সংখ্যা +1 হওয়ায়, এক্ষেত্রে Cl পরমাণুর জারণ ঘটেছে। মৌলিক অবস্থায়  $Cl_2$  এর জারণ সংখ্যা 0 (শূন্য)।

অনুরূপভাবে KOH দ্রবণে  $Cl_2$  এর অসামঞ্জস্যতা বিক্রিয়া দ্বারা পটাসিয়াম ক্লোরাইড (KCl) ও পটাসিয়াম ক্লোরেট (I) লবণ ও পানি উৎপন্ন হয়।  $Cl_2 (g) + 2KOH (aq) \xrightarrow{25^\circ C} KCl (aq) + KOCl (aq) + H_2O (l)$

(৬) p-ব্লকের গ্রুপ-18 এর মৌলসমূহের রাসায়নিক ধর্ম :

গ্রুপ-18 এর মৌলসমূহের সর্ববহিস্ত্র শক্তিস্তর অষ্টক পূর্ণ থাকায় এরা অন্যকোনো মৌলের সাথে বিক্রিয়া করতে চায় না। তবে Xe মৌলটি অধিক সক্রিয়  $F_2$  এর সাথে উচ্চ তাপমাত্রায় Ni প্রভাবকের উপস্থিতিতে জেনন ডাইফ্লোরাইড, টেট্রাফ্লোরাইড ও হেক্সাফ্লোরাইড গঠন করে।

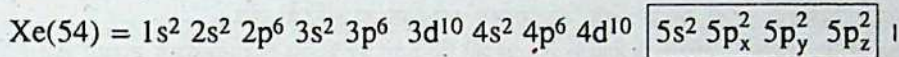




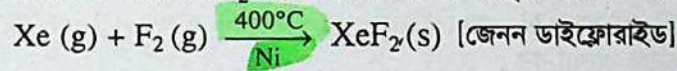
নিষ্ক্রিয় মৌল জেনন (Xe) এর সাথে অতি সক্রিয় মৌল ফ্লোরিন ( $F_2$ ) এর বিক্রিয়ায় বিভিন্ন জেনন ফ্লোরাইড গঠন এবং এর ব্যাখ্যা :

প্রথম পর্যায়ের মৌল জেননের পরমাণুর আকার অন্যসব হ্যালোজেন সদস্যের পরমাণুর আকারের চেয়ে বড়। আকারে বড় হওয়ায় এটির সর্ববহিস্থ কক্ষপথের ইলেকট্রনের ওপর নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ সাধারণ নিয়মে কমে যায়। উচ্চতাপমাত্রায় Ni প্রভাবকের উপস্থিতিতে অতি সক্রিয় ও সর্বাধিক তড়িৎ ঋণাত্মক ফ্লোরিন (F) পরমাণুর উপস্থিতিতে জেননের 5p অরবিটালের ইলেকট্রন যুগল ভেঙ্গে এর 5d-অরবিটালে বিজোড় ইলেকট্রন স্থানান্তরিত হয়। পরে অযুগ্ম বা বিজোড় ইলেকট্রন F পরমাণুর সাথে সমযোজী যৌগ গঠন করে থাকে। তখন জেনন +2, +4, +6 ও +8 জারণ-অবস্থায় থাকে। এসব জারণ-অবস্থা নিম্নরূপে ব্যাখ্যা করা হয়।

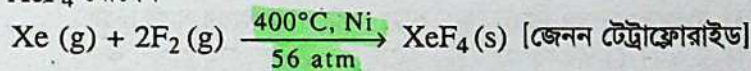
সাধারণ অবস্থায় Xe-এর ইলেকট্রন বিন্যাস নিম্নরূপ :



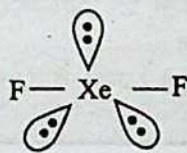
উদ্দীপিত অবস্থায় 5p অরবিটাল থেকে একটি ইলেকট্রন 5d অরবিটালে উত্তোলিত করলে Xe এর প্রথম উদ্দীপিত ইলেকট্রন বিন্যাস দাঁড়ায় ... ..  $5s^2 5p_x^2 5p_y^2 \boxed{5p_z^1 5d_{xy}^1}$ ; যাতে দুটি অযুগ্ম ইলেকট্রন আছে। তখন  $sp^3d$  অরবিটাল সংকরণে সৃষ্ট পাঁচটি সংকর অরবিটাল ( $5\psi_1^2 5\psi_2^2 5\psi_3^2 5\psi_4^1 5\psi_5^1$ ) এর মধ্যে বিজোড় ইলেকট্রন যুক্ত দুটি সংকর অরবিটাল দ্বারা Xe দুটি F পরমাণুর সাথে সমযোজী বন্ধনে  $XeF_2$  গঠন করে। ফলে এ অবস্থায় এর যোজনী 2 হয়।



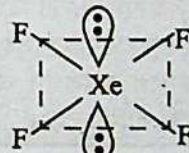
আবার 5p-অরবিটাল থেকে দুটি ইলেকট্রনকে উদ্দীপিত করে 5d-অরবিটালে স্থানান্তরিত করলে Xe-এর দ্বিতীয় উদ্দীপিত ইলেকট্রন বিন্যাস হয়,  $5s^2 5p_x^2 \boxed{5p_y^1 5p_z^1 5d_{xy}^1 5d_{yz}^1}$ । তখন  $sp^3d^2$  সংকরণে সৃষ্ট ছয়টি সংকর অরবিটাল ( $5\psi_1^2 5\psi_2^2 5\psi_3^1 5\psi_4^1 5\psi_5^1 5\psi_6^1$ ) এর মধ্যে চারটি বিজোড় ইলেকট্রন থাকে। এ অবস্থায় চারটি অযুগ্ম ইলেকট্রন থাকায় এর যোজনী 4 হয়, যেমন  $XeF_4$  যৌগে।



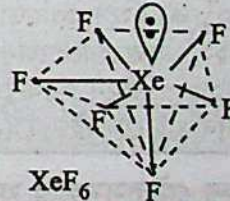
অনুরূপভাবে, তিনটি ইলেকট্রনের স্থানান্তরের মাধ্যমে  $sp^3d^3$  সংকরণের ফলে যোজনী 6 এবং চারটি ইলেকট্রনের স্থানান্তরের মাধ্যমে  $sp^3d^4$  সংকরণের ফলে যোজনী 8 ব্যাখ্যা করা যায়।

XeF<sub>2</sub>

সরলরৈখিক

XeF<sub>4</sub>

সমতলীয় বর্গাকার

XeF<sub>6</sub>

পঞ্চভুজীয় পিরামিড

চিত্র-৩.২(খ) : XeF<sub>2</sub>, XeF<sub>4</sub> ও XeF<sub>6</sub> এর আণবিক গঠন।

আবার প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যার মান যতই বৃদ্ধি পায় বিভিন্ন অরবিটালের মধ্যে শক্তির তারতম্য ততই কম হয়। এ কারণেই জেননের ইলেকট্রনসমূহ সহজেই বিভিন্ন অরবিটালে স্থানান্তরিত করা যায়। স্বভাবতই জেনন অপেক্ষা ক্রিপ্টনের উদ্দীপিত অবস্থা সৃষ্টি অধিকতর কঠিন। কারণ Kr এর সর্বশেষ শক্তিস্তর হলো  $3s^2 3p^6$  অর্থাৎ Ar ও Kr এর সর্বশেষ শক্তিস্তর Xe এর তুলনায় নিউক্লিয়াসের অধিকতর নিকটে। ফলে **ক্রিপ্টনের যৌগসমূহের স্থিতি জেননের যৌগসমূহ অপেক্ষা কম; আর্গনের যৌগসমূহের স্থিতি আরও অনেক কম**। নিয়নের ও হিলিয়ামের ক্ষেত্রে প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যার মান পরিবর্তন ছাড়া ইলেকট্রনকে উত্তোলিত করা সম্ভবপর নয়; ফলে তাদের ক্ষেত্রে প্রচুর শক্তির প্রয়োজন। তাই তাদের কোনো স্থিত যৌগ নেই।

জেনন ও অন্যান্য নিষ্ক্রিয় গ্যাসের ইলেকট্রনকে উচ্চতর স্তরে আনা তখনই সম্ভব, যখন অতি উচ্চ তড়িৎ-ঋণাত্মক মৌলসমূহ এর সাথে সংযুক্ত হয়। এ কারণে নিষ্ক্রিয় গ্যাসের সাথে শুধু ফ্লোরিন অধিকতর স্থিতিশীল যৌগ গঠন করে।



শিক্ষার্থীর কাজ ৩.২ : s-ব্লক ও p-ব্লকের মৌলভিত্তিক সমস্যাবলি :

- সমস্যা-৩.২.১ : Be ও Mg বুনসেন শিখায় কোনো বর্ণ সৃষ্টি করে না কেন; ব্যাখ্যা কর।  
 সমস্যা-৩.২.২ : সোডিয়াম ধাতুকে কেরোসিনের মধ্যে সংরক্ষণ করা হয় কেন; ব্যাখ্যা কর।  
 সমস্যা-৩.২.৩ : Mg ধাতুকে N<sub>2</sub> সহ উত্তপ্ত করলে যে উৎপাদ উৎপন্ন হয়, তাকে গরম পানিতে যোগ করলে কী ঘটে; তা ব্যাখ্যা কর।  
 সমস্যা-৩.২.৪ : Ca ধাতুকে কার্বনসহ উত্তপ্ত করলে যে উৎপাদ উৎপন্ন হয়, তাকে পানিতে যোগ করলে কী ঘটে তা ব্যাখ্যা কর।  
 সমস্যা-৩.২.৫ : বোরনকে অক্সিজেনসহ উত্তপ্ত করলে যে উৎপাদ উৎপন্ন হয়; তাকে পানিতে যোগ করলে কী হয় তা ব্যাখ্যা কর।  
 সমস্যা-৩.২.৬ : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> হলো উভধর্মী যৌগ; তা সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াসহ এর সত্যতা প্রতিষ্ঠা কর।  
 সমস্যা-৩.২.৭ : Al ধাতুকে গাঢ় HNO<sub>3</sub> এসিডে দ্রবীভূত করলে কী বিক্রিয়া ঘটে, তা সমীকরণসহ ব্যাখ্যা কর।  
 সমস্যা-৩.২.৮ : Al ধাতুকে N<sub>2</sub> গ্যাসসহ উত্তপ্ত করে উৎপন্ন যৌগকে গরম পানিতে যোগ করলে কী ঘটে, তা ব্যাখ্যা কর।  
 সমস্যা-৩.২.৯ : CCl<sub>4</sub> পানিতে অর্দ্রবিশ্লেষিত হয় না; কিন্তু SiCl<sub>4</sub> পানিতে অর্দ্র-বিশ্লেষিত হয়; -এর কারণ ব্যাখ্যা কর।  
 সমস্যা-৩.২.১০ : SnO<sub>2</sub> হলো একটি উভধর্মী অক্সাইড; তা রাসায়নিক বিক্রিয়াসহ প্রমাণ কর।  
 সমস্যা-৩.২.১১ : PbO হলো একটি উভধর্মী অক্সাইড; তা রাসায়নিক বিক্রিয়াসহ প্রমাণ কর।  
 সমস্যা-৩.২.১২ : Cl<sub>2</sub> এর সাথে N<sub>2</sub> এর বিক্রিয়ায় NCl<sub>3</sub> গঠিত হলেও Cl<sub>2</sub> এর সাথে P এর বিক্রিয়ায় PCl<sub>3</sub> ও PCl<sub>5</sub> গঠিত হয় এর কারণ ব্যাখ্যা কর।  
 সমস্যা-৩.২.১৩ : NCl<sub>3</sub> অর্দ্রবিশ্লেষিত হলেও NF<sub>3</sub> অর্দ্রবিশ্লেষিত হয় না কেন; ব্যাখ্যা কর।  
 সমস্যা-৩.২.১৪ : PCl<sub>3</sub> পানির সংস্পর্শে অর্দ্র বিশ্লেষিত হয়; এর কারণ ব্যাখ্যা কর।  
 সমস্যা-৩.২.১৫ : NCl<sub>3</sub> এর তুলনায় PCl<sub>3</sub> এর অর্দ্র বিশ্লেষণ দ্রুত ঘটে; এর কারণ ব্যাখ্যা কর।  
 সমস্যা-৩.২.১৬ : NH<sub>3</sub> ও PH<sub>3</sub> উভয় হাইড্রাইড ক্ষারধর্ম প্রকাশ করে, তা সমীকরণসহ ব্যাখ্যা কর।  
 সমস্যা-৩.২.১৭ : PH<sub>3</sub> অপেক্ষা NH<sub>3</sub> অধিক ক্ষারধর্মী; এর কারণ ব্যাখ্যা কর।  
 সমস্যা-৩.২.১৮ : H<sub>2</sub>O হলো তরল; কিন্তু H<sub>2</sub>S হলো গ্যাস; এর কারণ ব্যাখ্যা কর।  
 সমস্যা-৩.২.১৯ : H<sub>2</sub>S ও H<sub>2</sub>O এর বিজারণ ধর্ম আছে, তা উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।  
 সমস্যা-৩.২.২০ : H<sub>2</sub>O হলো উভধর্মী অক্সাইড; তা ব্যাখ্যা কর।  
 সমস্যা-৩.২.২১ : গ্রুপ-17 (বা VIIA) এর মৌলসমূহের ভৌত অবস্থা ব্যাখ্যা কর। [চ. বো. ২০১৭]  
 সমস্যা-৩.২.২১(ক) : অসামঞ্জস্যতা বিক্রিয়া কী? Cl<sub>2</sub> অসামঞ্জস্যতা বিক্রিয়া প্রদর্শন করে; তা উদাহরণসহ প্রমাণ কর।  
 সমস্যা-৩.২.২২ : আন্তঃহ্যালোজেন যৌগ বলতে কী বোঝ? উদাহরণসহ তা ব্যাখ্যা কর।  
 সমস্যা-৩.২.২৩ : জেনন পরমাণুতে সর্ববহিস্থ কক্ষপথে অষ্টকপূর্ণ আছে; তা সত্ত্বেও জেনন কীরূপে F<sub>2</sub> এর সাথে বিক্রিয়ায় জেনন ডাই ফ্লোরাইড (XeF<sub>2</sub>) গঠন করে; তা ব্যাখ্যা কর।

৩.২.৩ d-ব্লকের মৌলসমূহের সাধারণ ধর্মাবলি

d-ব্লক মৌলের বহিস্থ দুটি শক্তিস্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস  $(n-1)d^{1-10} ns^{1-2}$  হয়। অর্থাৎ এসব মৌলের সর্ববহিস্থ n-শক্তিস্তরের s-অরবিটালে 2টি বা 1টি ইলেকট্রন এবং পূর্ববর্তী  $(n-1)$  শক্তিস্তরের d-অরবিটালে 1 থেকে 10টি ইলেকট্রন থাকে। যেমন, Sc(21)  $\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 [3d^1 4s^2]$ ; Fe(26)  $\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 [3d^6 4s^2]$

d-ব্লক মৌলের শ্রেণিবিভাগ :

- 3d-ব্লক মৌল বা ১ম অবস্থান্তর সিরিজ : Sc(21) থেকে Zn(30); এদের ইলেকট্রন বিন্যাস,  $3d^{1-10} 4s^{1-2}$   
 4d-ব্লক মৌল বা ২য় অবস্থান্তর সিরিজ : Y(39) থেকে Cd(48); এদের ইলেকট্রন বিন্যাস,  $4d^{1-10} 5s^{1-2}$   
 5d-ব্লক মৌল বা ৩য় অবস্থান্তর সিরিজ : La(57), Hf(72) - Hg(80); এদের ইলেকট্রন বিন্যাস,  $5d^{1-10} 6s^{1-2}$   
 6d-ব্লক মৌল বা ৪র্থ অবস্থান্তর সিরিজ : Ac(89), Th(90), Rf(104)-Cn(112);  
 ইলেকট্রন বিন্যাস,  $6d^{1-10} 7s^{1-2}$



## মৌলের পর্যায়বৃত্ত ধর্ম ও রাসায়নিক বন্ধন

২৬৭

পর্যায় ↓	ব্লক ↓	ফ্রপ →	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4	3d		21Sc	22Ti	23V	24Cr	25Mn	26Fe	27Co	28Ni	29Cu	30Zn
5	4d		39Y	40Zr	41Nb	42Mo	43Tc	44Ru	45Rh	46Pd	47Ag	48Cd
6	5d		57La	72Hf	73Ta	74W	75Re	76Os	77Ir	78Pt	79Au	80Hg
7	6d		89Ac	104Rf	105Db	106Sg	107Bh	108Hs	109Mt	110Ds	111Rg	112Cn
			90Th	যোজ্যতা স্তরের সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাস $[(n-1)d^{1-10}]ns^{1-2}$								

## d-ব্লকের মৌলসমূহের সাধারণ ধর্মাবলি :

(১) d-ব্লকের সব মৌলই ভারী ধাতু। এদের ঘনত্ব খুব বেশি হয়। এদের মধ্যে স্কেভেনিয়ামের ঘনত্ব সবচেয়ে কম এবং 5d-ব্লকের ইরিডিয়াম Ir(77) এর ঘনত্ব সবচেয়ে বেশি। স্কেভেনিয়ামের ঘনত্ব হলো  $3.4g\text{ cm}^{-3}$ , ইরিডিয়ামের ঘনত্ব হলো  $22.61g\text{ cm}^{-3}$ , এরপর হলো অসমিয়াম Os(76) এর ঘনত্ব  $22.59g\text{ cm}^{-3}$ ।

(২) এদের d-অরবিটাল ইলেকট্রন দ্বারা অপূর্ণ থাকায় (gr-12 বাদে), এদের মধ্যে প্রায় সব মৌলেই পরিবর্তনশীল জারণ অবস্থা দেখা যায়। [ব্যতিক্রম : gr-12 এর Zn ও Cd এর স্থির যোজনী 2 হলেও Hg এর যোজনী 1, 2 হয়।]

(৩) d-ব্লক মৌলসমূহ হলো উচ্চ গলনাঙ্ক ও উচ্চ স্ফুটনাঙ্কবিশিষ্ট ধাতু।

(৪) d-ব্লকের এ সব ভারী ধাতু কঠিন ও শক্ত হয় (ব্যতিক্রম শুধু Hg, তরল)।

(৫) d-ব্লক মৌলসমূহ তাপ ও বিদ্যুৎ সুপরিবাহী।

(৬) d-ব্লক মৌলের আয়নিকরণ শক্তি s-ব্লক মৌল অপেক্ষা বেশি হয়; কিন্তু p-ব্লকের মৌল অপেক্ষা কম।

(৭) d-ব্লক মৌল তড়িৎ-ধনাত্মক ধাতব মৌল হলেও এদের তড়িৎ ধনাত্মকতা s-ব্লক মৌল অপেক্ষা কম।

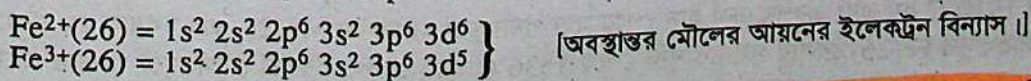
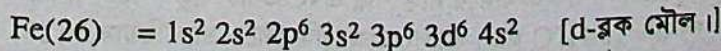
(৮) d-ব্লকের মৌলসমূহ প্যারাম্যাগনেটিক অর্থাৎ চুম্বকক্ষেত্র দ্বারা আকৃষ্ট হয়। এর কারণ হলো এদের d-অরবিটালে বিজোড় ইলেকট্রন থাকে। আয়রন ও কোবাল্ট ধাতুকে চুম্বকে পরিণত করা যায়। তাই এদেরকে ফেরোম্যাগনেটিক বলা হয়। [ব্যতিক্রম :  $Sc^{3+}$ ,  $Ti^{4+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{+}$  আয়ন হলো ডায়াম্যাগনেটিক।]

(৯) d-ব্লকের অধিকাংশ ধাতুর সংমিশ্রণে সংকর-ধাতু তৈরি করে।

(১০) d-ব্লকের অধিকাংশ মৌলকে এদের বিশেষ বৈশিষ্ট্যের জন্য অবস্থান্তর মৌল বলা হয়।

\*\* দ্রষ্টব্য : বর্তমান সিলেবাসে কেবল 3d ব্লক মৌলসমূহ অন্তর্ভুক্ত আছে। 4d, 5d, 6d ব্লকের মৌলসমূহ সিলেবাসে অন্তর্ভুক্ত নয়।

অবস্থান্তর মৌল : d-ব্লকের যেসব মৌলের কোনো সুস্থিত আয়নের d-অরবিটাল আংশিকভাবে (যেমন,  $d^{1-9}$ ) ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ থাকে, তাদেরকে অবস্থান্তর মৌল বলা হয়। যেমন, আয়রন (Fe) হলো d-ব্লক মৌল ও অবস্থান্তর মৌল উভয়ই। প্রথমত এর শেষ ইলেকট্রনটি d-অরবিটালে যায়; দ্বিতীয়ত এর সুস্থিত  $Fe^{2+}$  এবং  $Fe^{3+}$  আয়নে d-অরবিটাল আংশিক পূর্ণ থাকে।



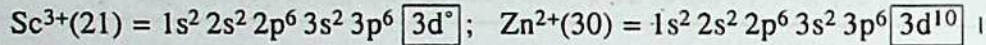
অবস্থান্তর মৌলসমূহের নিম্নোক্ত বৈশিষ্ট্য থাকে। যেমন, (১) পরিবর্তনশীল জারণ অবস্থা; (২) রঙিন আয়ন সৃষ্টি;

(৩) জটিল আয়ন গঠন; (৪) প্রভাবকরূপে ক্রিয়া ও (৫) প্যারাচুম্বকীয় ধর্ম।



**সব d-ব্লক মৌল অবস্থান্তর মৌল নয় :**

যে সব d-ব্লক মৌলের সুস্থিত ক্যাটায়নে d-অরবিটাল আংশিকভাবে পূর্ণ যেমন  $d^{1-9}$  ইলেকট্রন বিন্যাস থাকে, তাদেরকে অবস্থান্তর মৌল বলে। কিন্তু যে সব d-ব্লক মৌলের সুস্থিত আয়নে d-অরবিটাল পূর্ণ ( $d^{10}$ ) অথবা খালি ( $d^0$ ) থাকে, এসব মৌল অবস্থান্তর মৌলের বৈশিষ্ট্য যেমন পরিবর্তনশীল জারণ অবস্থা, রঙিন আয়ন গঠন ইত্যাদি প্রদর্শন করতে পারে না। ফলে এসব মৌল d-ব্লকের মৌল হলেও অবস্থান্তর মৌল নয়। যেমন Sc(21) ও Zn(30) হলো d-ব্লকের মৌল; কিন্তু Sc এর সুস্থিত  $Sc^{3+}$  আয়নে d অরবিটাল খালি ( $d^0$ ) এবং Zn এর  $Zn^{2+}$  আয়নে d অরবিটাল আংশিক পূর্ণ নয় বরঞ্চ পরিপূর্ণ আছে। যেমন—



তাই **Sc ও Zn** অবস্থান্তর মৌল নয়।

শিক্ষার্থীর কাজ-৩.৩ : d-ব্লক মৌল ও অবস্থান্তর মৌলভিত্তিক :

সমস্যা-৩.৩ (ক) : Cr(24), Mn(25), Ni(28), Cu(29), Pd(46), Cd(48) এর ইলেকট্রন বিন্যাস এবং এদের আয়ন  $Cr^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Pd^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  এর ইলেকট্রন বিন্যাস থেকে এরা d-ব্লক মৌল ও অবস্থান্তর মৌল কিনা ব্যাখ্যা কর।

(খ) Cr(24) ও Cu(29) এর ইলেকট্রন বিন্যাস সাধারণ নিয়মের ব্যতিক্রম কেন? বো. ২০১৭; সি. বো. ২০১৫; দি. বো. ২০১৫।

(গ) অবস্থান্তর মৌল কাকে বলে? [ঢা. বো. ২০১৫; য. বো. ২০১৬; ব. বো. ২০১৭]

(ঘ) সব অবস্থান্তর মৌল d ব্লক মৌল; কিন্তু সব d-ব্লক মৌল অবস্থান্তর মৌল নয়; তা ব্যাখ্যা কর। [ঢা. বো. ২০১৭; রা. বো. ২০১৭]

(ঙ) Zn কি অবস্থান্তর মৌল; তা ব্যাখ্যা কর। [কু. বো. ২০১৭]

(চ) Cu ও Zn এর মধ্যে কোনটি অবস্থান্তর মৌল এবং কেন তা ব্যাখ্যা কর।

সমস্যা-৩.৩(ছ) : পর্যায় সারণিতে বর্ণিত আদর্শ মৌল (s ও p ব্লক) এবং অবস্থান্তর মৌলের মধ্যে পার্থক্যসমূহ লেখ।

সমস্যা-৩.৩(জ) : A(24) ও D(30) মৌল দুটির ইলেকট্রন বিন্যাস লিখে তা হতে পর্যায় সারণিতে এদের অবস্থান নির্ণয় কর। [মিত্রাসা বো. ২০১৭]

(ক) 3d মৌলসমূহের ভৌত ধর্ম (Physical Properties of 3d-elements) : 3d ধাতব মৌলসমূহের ভৌত বৈশিষ্ট্যসমূহ হলো— (১) এদের ধাতব ঔজ্জ্বল্য থাকে; (২) পারমাণবিক সংখ্যা (তথা পাঃ ভর) বৃদ্ধির সাথে পাঃ ব্যাস হ্রাসের কারণে ঘনত্ব বৃদ্ধি পায়। সবচেয়ে কম ঘনত্ব হলো স্কেন্ডিয়াম [Sc(21)] এর  $3.4 \text{ g cm}^{-3}$ ; 3d ধাতুর মধ্যে Cu(29) এর ঘনত্ব সবচেয়ে বেশি  $8.9 \text{ g cm}^{-3}$ । আবার সবচেয়ে বেশি ঘনত্বযুক্ত ধাতু হলো 5d ধাতব মৌল ইরিডিয়াম [Ir(77)]; এর ঘনত্ব হলো  $22.61 \text{ g cm}^{-3}$  এবং এর নিকটতম ঘনত্বের মৌল হলো অসমিয়াম [Os(76)]; এর ঘনত্ব হলো  $22.59 \text{ g cm}^{-3}$ । (৩) ধাতব বন্ধন শক্তিভিত্তিক 3d ধাতুসমূহের উচ্চ গলনাঙ্ক (m.p.) ও উচ্চ স্ফুটনাঙ্ক (b.p.) থাকে। (৪) 3d ধাতুর বিশেষ চৌম্বক ধর্ম ও (৫) 3d অবস্থান্তর ধাতুসমূহ রাসায়নিক বিক্রিয়ায় প্রভাবন ধর্ম দেখায়।

(১) 3d ধাতব মৌলের উচ্চ গলনাঙ্ক ও উচ্চ স্ফুটনাঙ্কের ব্যাখ্যা : ৪র্থ পর্যায়ভুক্ত 3d ধাতুসমূহের পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে পর্যায়ের বাম থেকে ডান দিকে ধাতুসমূহের গলনাঙ্ক ক্রমান্বয়ে বৃদ্ধি পায় এবং তিনটি ধাতুর পরে আবার গলনাঙ্ক হ্রাস পায়। 3d ব্লকভুক্ত ১ম ধাতু Sc(21) এর গলনাঙ্ক  $1541^\circ\text{C}$  হয়। এরপর ক্রম বৃদ্ধি পেয়ে ভ্যানাডিয়াম V(23) ধাতুর গলনাঙ্ক সর্বোচ্চ  $1910^\circ\text{C}$  হয় এবং এরপর ক্রম হ্রাস পেয়ে মধ্য পর্যায়ভুক্ত ম্যাঙ্গানিজ Mn(25) এর গলনাঙ্ক হয়  $1245^\circ\text{C}$ । এরপর হঠাৎ লৌহধাতুর Fe(26) বেলায় গলনাঙ্ক বৃদ্ধি পেয়ে  $1536^\circ\text{C}$  হয়। এরপর পরবর্তী মৌলসমূহে গলনাঙ্ক ক্রমে হ্রাস পেয়ে কপার ধাতুর Cu(29) বেলায়  $1083^\circ\text{C}$  এবং সর্বশেষ জিংকের সর্বনিম্ন গলনাঙ্ক  $420^\circ\text{C}$  হয়ে থাকে।

ধাতুর গলনাঙ্ক নির্ভর করে ধাতুর পরমাণুসমূহের মধ্যস্থ ধাতব-বন্ধন শক্তির মাত্রার ওপর। আবার বন্ধনশক্তি নির্ভর করে ধাতুর পরমাণুর সঞ্চারণশীল বিজোড় ইলেকট্রন সংখ্যার ওপর। তাই  $3d^1$  থেকে  $3d^3$  ইলেকট্রন বিন্যাসের অর্থাৎ Sc(21)

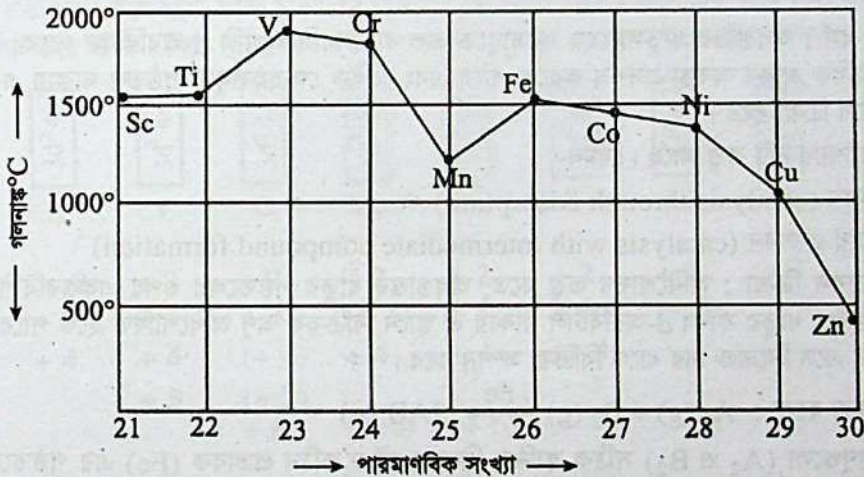


## মৌলের পর্যায়বৃত্ত ধর্ম ও রাসায়নিক বন্ধন

২৬৯

থেকে V(23) ধাতুর গলনাঙ্ক ক্রম বৃদ্ধি পায়। প্রতিসমতায়ুক্ত অধিক স্থায়িত্বের  $d^5$  ইলেকট্রন বিন্যাস কম সঞ্চরণশীল থাকে। তাই Cr(24) ও Mn(25) এর গলনাঙ্ক হ্রাস পায়। নিচের বস্তুভিত্তিক ইলেকট্রন বিন্যাসে তা সুস্পষ্ট হয়।

মৌল,	গলনাঙ্ক °C
Sc(21) → $3d^1 4s^2$	1541°C
Ti(22) → $3d^2 4s^2$	1668°C
V(23) → $3d^3 4s^2$	1910°C
Cr(24) → $3d^5 4s^1$	1875°C
Mn(25) → $3d^5 4s^2$	1245°C
Fe(26) → $3d^6 4s^2$	1536°C
Co(27) → $3d^7 4s^2$	1495°C
Ni(28) → $3d^8 4s^2$	1453°C
Cu(29) → $3d^{10} 4s^1$	1083°C
Zn(30) → $3d^{10} 4s^2$	420°C



নির্দেশিকা :

পাঃ সংখ্যা,	গলনাঙ্ক
21	1541°C
22	1668°C
23	1910°C
24	1875°C
25	1245°C
26	1536°C
27	1495°C
28	1453°C
29	1083°C
30	420°C

চিত্র-৩.২(গ) : 3d মৌলসমূহের গলনাঙ্ক বনাম পাঃ সংখ্যা সম্পর্ক

আবার Fe(26) এর বেলায় সঞ্চরণশীল 4টি বিজোড় ইলেকট্রন থাকায় Fe এর গলনাঙ্ক হঠাৎ বৃদ্ধি পেয়ে 1536°C হয়। পরবর্তীতে সঞ্চরণশীল বিজোড় ইলেকট্রন সংখ্যা হ্রাসের ফলে এদের ধাতব বন্ধন শক্তি হ্রাস পায় তথা গলনাঙ্কও হ্রাস পায়। Cu(29) এর বেলায় কেবল  $4s^1$  বিজোড় ইলেকট্রন থাকে। তাই Cu এর গলনাঙ্ক 1083°C এবং Zn(30) এর বেলায় কোনো সঞ্চরণশীল বিজোড় ইলেকট্রন না থাকায় 3d ধাতুসমূহের সর্বনিম্ন গলনাঙ্ক জিংকের ক্ষেত্রে 420°C হয়।

(২) চৌম্বক ধর্ম : পরমাণুর স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যা থেকে আমরা জানি প্রতিটি ইলেকট্রন নিজের স্পিন গতির কারণে একটি অতি ক্ষুদ্র চুম্বকরূপে মৃদু চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করে। একমুখী স্পিনের অয়ুগা ইলেকট্রন ম্যাগনেটিক মোমেন্ট বা চৌম্বক ড্রামক ( $\mu = Q \times r$ ) সৃষ্টি করে এবং চৌম্বক ধর্ম প্রকাশ করে। অপরদিকে বিপরীত স্পিনের যুগলবদ্ধ ইলেকট্রনের ম্যাগনেটিক মোমেন্ট পরস্পর বিপরীত হওয়ায় সার্বিক চৌম্বক মোমেন্ট শূন্য হয়; তখন ঐ পরমাণু বা আয়নের চৌম্বক ধর্ম থাকে না।



বাহ্যিক চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে পদার্থের আচরণ অনুসারে পদার্থগুলোকে তিন শ্রেণিতে বিভক্ত করা হয়। যেমন- (১) প্যারাম্যাগনেটিক, (২) ফেরোম্যাগনেটিক ও (৩) ডায়াম্যাগনেটিক।

(১) প্যারাম্যাগনেটিক : কোনো পদার্থ বাহ্যিক চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা আকৃষ্ট হলে ঐ সব পদার্থকে প্যারাম্যাগনেটিক বা প্যারাচৌম্বকীয় পদার্থ বলে। পদার্থের পরমাণু বা আয়নে বিজোড় ইলেকট্রন থাকার কারণে ঐ পদার্থে প্যারাম্যাগনেটিক ধর্ম প্রকাশ পায়। মৌলের পরমাণুর প্যারাচৌম্বকীয় আকর্ষণ ধর্ম দ্বারা এর ইলেকট্রন বিন্যাসের মধ্যে কয়টি বিজোড় ইলেকট্রন থাকে তা সঠিকভাবে নির্ণয় করা সম্ভব হয়। যেমন পরমাণুতে বিজোড় ইলেকট্রন সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে ঐ সব পদার্থের ঝুলন্ত টুকরাগুলো স্থায়ী চুম্বক দণ্ড দ্বারা ক্রমান্বয়ে অধিক আকৃষ্ট হয়ে থাকে। বিজোড় ইলেকট্রনযুক্ত সব অবস্থান্তর ধাতুর আয়ন যেমন  $Ti^{3+}$ ,  $V^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  ইত্যাদি হলো প্যারাম্যাগনেটিক বা প্যারাচৌম্বকীয়।

(ii) ফেরোম্যাগনেটিক : যে সব পদার্থ বাহ্যিক চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা অধিক আকৃষ্ট হয়, তাদেরকে ফেরোম্যাগনেটিক পদার্থ বলে। যেমন  $Fe$ ,  $Co$ ,  $Ni$  হলো ফেরোম্যাগনেটিক। এ সব মৌলের পরমাণু বা আয়নে অধিক সংখ্যক বিজোড় ইলেকট্রন থাকে। ফেরোম্যাগনেটিক পদার্থকে চুম্বকে পরিণত করা যায়। মূলত প্যারাম্যাগনেটিক ধর্মের চূড়ান্ত অবস্থা হলো ফেরোম্যাগনেটিক ধর্ম।

(iii) ডায়াম্যাগনেটিক : যে সব পদার্থ বাহ্যিক চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা আকৃষ্ট হয় না; বরঞ্চ মৃদু বিকর্ষিত হয়, তাদেরকে ডায়াম্যাগনেটিক পদার্থ বলে। যে সব পরমাণু বা আয়নে সব ইলেকট্রন যুগলবদ্ধ থাকে, তাদের নিজস্ব কোনো চৌম্বক ধর্ম থাকে না। তাই এসব পদার্থ বাহ্যিক চুম্বক দ্বারা আকৃষ্ট হয় না। গ্রুপ-1 ও গ্রুপ-2 সব ধাতুর আয়ন ডায়াম্যাগনেটিক হয়; কারণ এসব আয়নে অক্টেট সেট পূর্ণ থাকে।

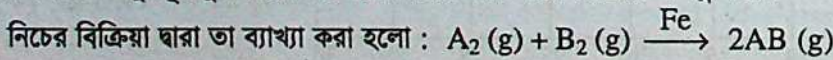
(৩) অবস্থান্তর ধাতুর প্রভাবন ধর্ম : অবস্থান্তর ধাতুসমূহের পরমাণুতে এক বা একাধিক খালি d-অরবিটাল থাকে; এ সব অবস্থান্তর ধাতু যৌগ গঠনে একাধিক জারণ অবস্থা প্রদর্শন করতে পারে এবং অধিক ক্ষেত্রফলযুক্ত পৃষ্ঠতল থাকায় এরা বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়ায় প্রভাবকরূপে ক্রিয়া করে।

অবস্থান্তর ধাতুর প্রভাবন ক্রিয়া ব্যাখ্যার দুটি তত্ত্ব আছে। যেমন-

(১) অধিশোষণের মাধ্যমে প্রভাবন (catalysis through adsorption) ও

(২) অন্তর্বর্তী যৌগ গঠন প্রক্রিয়ায় প্রভাবন (catalysis with intermediate compound formation)

(i) অধিশোষণের মাধ্যমে প্রভাবন ক্রিয়া : অধিশোষণ তত্ত্ব মতে, অবস্থান্তর ধাতুর পৃষ্ঠতলের ওপর একসত্তরবিশিষ্ট বিক্রিয়ক অণু অধিশোষিত হয়। অবস্থান্তর ধাতুর ফাঁকা d-অরবিটাল থাকায় ঐ স্থানে বিক্রিয়ক অণু অধিশোষিত হতে পারে। তখন বিক্রিয়ক অণুসমূহ খুব কাছাকাছি এসে নিম্নোক্ত চার ধাপে বিক্রিয়া সম্পন্ন করে।



১ম ধাপ : গ্যাসীয় বিক্রিয়ক অণুগুলো ( $A_2$  ও  $B_2$ ) সঠিক স্থানিক বিন্যাস মতে কঠিন প্রভাবক ( $Fe$ ) এর পৃষ্ঠতলে রাসায়নিকভাবে অধিশোষিত হয়। অর্থাৎ ধাতুর খালি d-অরবিটালের সাথে দুর্বল রাসায়নিক বন্ধনসহকারে এক-আণবিক স্তর সৃষ্টি করে।

২য় ধাপ : এ ধাপে অধিশোষিত অবস্থায় অণুর সমযোজী বন্ধন দুর্বল হয়ে পড়ে। সঠিক স্থানিক বিন্যাসের ফলে পাশাপাশি অণুর মধ্যে সার্থক সংঘর্ষ সংখ্যা বেড়ে যায় এবং নিম্নশক্তির সক্রিয়ণকৃত জটিল যৌগ গঠন করে।

৩য় ধাপ : এ ধাপে অস্থায়ী সক্রিয়ণকৃত জটিল যৌগ বিয়োজিত হয়ে নতুন অণু সৃষ্টি হয় এবং প্রভাবক পৃষ্ঠে তখনও আটকে থাকে। বিক্রিয়ায় উৎপন্ন শক্তি ধাতব প্রভাবকে শোষিত হয় এবং পরে তা বিক্রিয়ক অণুকে যোগান দেয়।

৪র্থ বা শেষ ধাপ : শেষ ধাপে উৎপাদ অণুসমূহ ( $2AB$ ) প্রভাবকের পৃষ্ঠতল থেকে বিমুক্ত হয়।

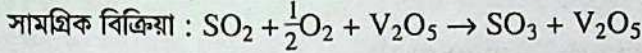
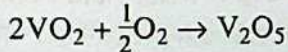
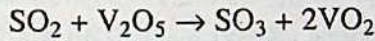
উদাহরণ-(১) : হেবার পদ্ধতিতে নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেন হতে অ্যামোনিয়া সংশ্লেষণে আয়রন  $Fe(26)$  প্রভাবক ব্যবহৃত হয়। এ সময় প্রথমে আয়রন চূর্ণের পৃষ্ঠতলে  $N_2$  ও  $H_2$  রাসায়নিকভাবে অধিশোষিত হয়। এর ফলে  $N_2$  এবং  $H_2$  অণুর মধ্যকার  $N \equiv N$  ও  $H-H$  বন্ধনের দৃঢ়তা হ্রাস পায়। ফলে অধিকতর সহজভাবে তারা প্রথমে  $NH$  এবং পরে দ্রুত  $NH_2$  ও সবশেষে  $NH_3$  অণু উৎপন্ন করে এবং প্রভাবকের পৃষ্ঠতল থেকে মুক্ত হয়।

[অনুচ্ছেদ-৪.৪.১ : অসমসত্ত্ব প্রভাবনের ক্রিয়া কৌশল দেখো।]



উদাহরণ-(২) : অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বনসমূহের ও ভিজিট্যাবল অয়েলের (যেমন soya bean oil এর) হাইড্রোজেনেশন অর্থাৎ  $H_2$  সংযোজন বিক্রিয়ায় Ni(28) ধাতু প্রভাবকরূপে ক্রিয়া করে।

(ii) অন্তর্বর্তী যৌগ গঠন প্রক্রিয়ায় প্রভাবক ক্রিয়া : অন্তর্বর্তী যৌগ গঠন তত্ত্ব মতে, অবস্থান্তর ধাতুর যৌগ যেমন ভ্যানাডিয়াম পেন্টাক্সাইড ( $V_2O_5$ ) বিক্রিয়ার বিক্রিয়কের সাথে যুক্ত হয়ে একটি অস্থায়ী অন্তর্বর্তী যৌগ গঠন করে যা পরে বিয়োজিত হয়ে থাকে। এক্ষেত্রে প্রভাবক ভিন্ন ভিন্ন জারণ অবস্থায় রূপান্তরিত হয় এবং পরে পূর্বের জারণ অবস্থায় ফিরে যায়। অন্তর্বর্তী যৌগ গঠনের মাধ্যমে প্রভাবক বিক্রিয়ায় প্রয়োজনীয় 'সক্রিয়ণ শক্তি' বা **activation energy** এর মান হ্রাস করে বিক্রিয়ার গতিকে বৃদ্ধি করে থাকে। যেমন, স্পর্শ পদ্ধতিতে  $H_2SO_4$  উৎপাদনকালে  $SO_2$  গ্যাসের জারণ ক্রিয়ায়  $V_2O_5$  প্রভাবক ব্যবহৃত হয়। প্রথমে  $V_2O_5$  একটি অন্তর্বর্তী যৌগ গঠন করে  $V^{5+}$  জারণ অবস্থা থেকে  $V^{4+}$  জারণ অবস্থায় রূপান্তরিত হয়; শেষে  $O_2$  এর সাথে বিক্রিয়ায়  $V^{5+}$  জারণ অবস্থায় ফিরে আসে। যেমন,



**MCQ-3.9** : কোন নিষ্ক্রিয় গ্যাসটি p-ব্লকের নয়? [ব. বো. ২০১৭]

(ক) He (খ) Ne  
(গ) Ar (ঘ) Kr

(খ) 3d-ব্লক মৌলসমূহের রাসায়নিক ধর্ম (Chemical properties of 3d-block elements)

(১) পরিবর্তনশীল জারণ অবস্থা : অবস্থান্তর মৌলসমূহের মধ্যে  $(n-1)d$  ও  $ns$  অরবিটালদ্বয়ের শক্তির পার্থক্য  $ns$  ও  $np$  অরবিটালের শক্তির পার্থক্যের তুলনায় অনেক কম। তাই এ সব ধাতুর  $ns$  অরবিটালের ইলেকট্রন ত্যাগের পর  $(n-1)d$  অরবিটালের ইলেকট্রন বন্ধন সৃষ্টিতে সহজেই অংশ নিতে পারে। ফলে এরা ভিন্ন ভিন্ন স্থায়ী জারণ অবস্থাসহকারে স্থায়ী যৌগ গঠন করে থাকে। নিচে 3d ব্লকের ৮টি অবস্থান্তর মৌলের যোজ্যতা ইলেকট্রন, জারণ অবস্থা ও যৌগ দেখানো হলো।

$3d^2 4s^2$	$3d^3 4s^2$	$3d^5 4s^1$	$3d^5 4s^2$	$3d^6 4s^2$	$3d^7 4s^2$	$3d^8 4s^2$	$3d^{10} 4s^1$
Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu
							+ 1
(+ 2)	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2
+ 3	+ 3	+ 3	(+ 3)	+ 3	+ 3	(+ 3)	
+ 4	+ 4	(+ 4)	+ 4	+ 4	(+ 4)		
	+ 5	(+ 5)					
		+ 6	(+ 6)	(+ 6)			
			+ 7				

**MCQ-3.10** :  $^{39}Y$  মৌলটির পর্যায় সারণিতে পর্যায় ও গ্রুপ কত হবে?

(ক) পর্যায়-5, গ্রুপ-1  
(খ) পর্যায়-5, গ্রুপ-2  
(গ) পর্যায়-5, গ্রুপ-3  
(ঘ) পর্যায়-4, গ্রুপ-2

মোট হরফে দেখানো জারণ অবস্থা সংশ্লিষ্ট মৌলের সাধারণ জারণ অবস্থা।

Cr এর বিভিন্ন যৌগ :  $CrCl_2$   $CrCl_3$   $K_2CrO_4$   $K_2Cr_2O_7$

Cr এর জারণ অবস্থা  $\rightarrow$  + 2 + 3 + 6 + 6

Fe এর বিভিন্ন যৌগ :  $FeO$   $Fe_2O_3$

Fe এর জারণ অবস্থা  $\rightarrow$  + 2 + 3

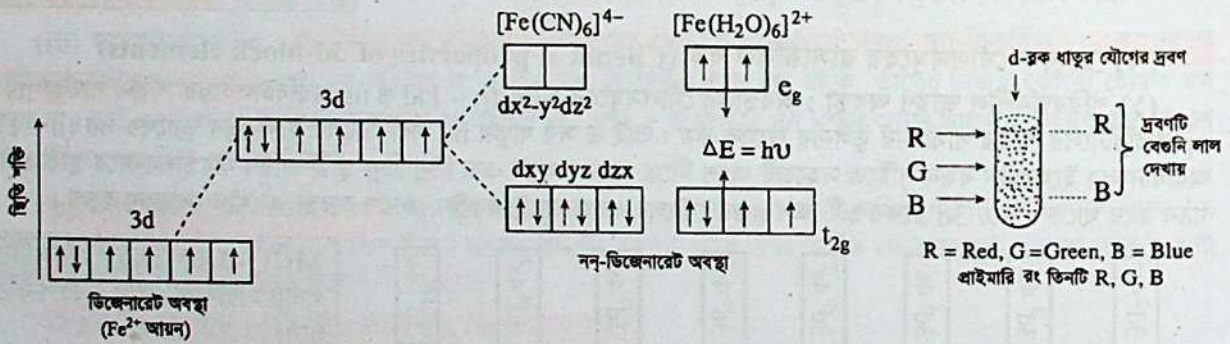
(২) অবস্থান্তর ধাতুর রঙিন আয়ন বা রঙিন যৌগ গঠন : অবস্থান্তর ধাতু ও তাদের ক্যাটায়নে অপরূপ d-অরবিটাল থাকে বলে তারা রঙিন হয়। এছাড়া জটিল আয়ন গঠনকালে পাঁচটি d-অরবিটালে সামান্য পরিমাণে শক্তির তারতম্য ঘটে বলে সৃষ্ট জটিল আয়ন রঙিন হয়। অবস্থান্তর ধাতুর মুক্ত একক পরমাণুতে পাঁচটি d-অরবিটাল সমশক্তিস্তরে থাকে, একে ডিজেনারেট (degenerate) অবস্থা বলা হয়।

অবস্থান্তর ধাতুর আয়নের বর্ণ

$Ti^{3+} (3d^1) \rightarrow$  বেগুনি  
 $V^{4+} (3d^1) \rightarrow$  নীল  
 $V^{3+} (3d^2) \rightarrow$  সবুজ  
 $Cr^{3+} (3d^3) \rightarrow$  বেগুনি  
 $Mn^{3+} (3d^4) \rightarrow$  বেগুনি  
 $Mn^{2+} (3d^5) \rightarrow$  গোলাপি  
 $Fe^{3+} (3d^5) \rightarrow$  হলুদ  
 $Fe^{2+} (3d^6) \rightarrow$  সবুজ  
 $Co^{2+} (3d^7) \rightarrow$  গোলাপি  
 $Ni^{2+} (3d^8) \rightarrow$  সবুজ  
 $Cu^{2+} (3d^9) \rightarrow$  নীল



ক্রিস্টাল ফিল্ড মতবাদ (Crystal Field Theory) মতে, জটিল আয়ন গঠনকালে লিগ্যান্ডের নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল অরবিটালটি ধাতুর ধনাত্মক আয়নের পাঁচটি d-অরবিটালের মূলত x, y ও z অক্ষ বরাবর নিকটবর্তী হলে ঐ তিনটি অক্ষ বরাবরে থাকা  $d_{x^2-y^2}$  ও  $d_{z^2}$  অরবিটালের ইলেকট্রন লিগ্যান্ডের ইলেকট্রন যুগল দ্বারা অধিকতর বিকর্ষিত হয়। এ বিকর্ষণের কারণে পাঁচটি d-অরবিটালের শক্তির মধ্যে সামান্য উর্ধ্বমুখী ও নিম্নমুখী পার্থক্য ঘটে। একে d-অরবিটালসমূহের নন-ডিজেনারেট (non-degenerate) অবস্থা বলা হয়। তখন নিম্নশক্তির  $d_{xy}$ ,  $d_{yz}$  ও  $d_{zx}$  অরবিটালত্রয়কে  $t_{2g}$  শক্তির অরবিটাল সেট এবং উচ্চ শক্তির  $d_{x^2-y^2}$  ও  $d_{z^2}$  অরবিটালদ্বয়কে  $e_g$  শক্তির অরবিটাল সেট বলে। লিগ্যান্ডের প্রভাবে অবস্থান্তর ধাতুর আয়নের পাঁচটি d-অরবিটালের মধ্যে শক্তির সামান্য উর্ধ্বমুখী ও নিম্নমুখী বিভক্তিকরণকে ক্রিস্টাল ফিল্ড ফলাফল (CFE) বলে এবং  $e_g$  সেট ও  $t_{2g}$  সেট অরবিটালের শক্তির পার্থক্য ( $\Delta E$ ) কে ক্রিস্টাল ফিল্ড বিভক্তিকরণ শক্তি বলে। জটিল আয়নের বর্ণ বিভিন্ন দুর্বল ও সবল লিগ্যান্ডের প্রভাবে সৃষ্ট  $\Delta E$  এর মাত্রার ওপর নির্ভর করে। যেমন  $H_2O$  হলো weak-field লিগ্যান্ড এবং  $CN^-$  আয়ন হলো strong field লিগ্যান্ড। উল্লেখ্য weak-field লিগ্যান্ড দ্বারা সৃষ্ট বর্ণ হালকা এবং strong-field লিগ্যান্ড দ্বারা সৃষ্ট বর্ণ গাঢ় হয়।  $Fe^{2+}$  আয়নে ডিজেনারেট ও নন-ডিজেনারেট অরবিটালের মধ্যে শক্তির পার্থক্য ( $\Delta E$ ) দেখানো হলো :



তখন দুটি শক্তিস্তরের ( $e_g$  ও  $t_{2g}$  এর) মধ্যে শক্তির যে পার্থক্য ( $\Delta E$ ) হয়, তা যদি দৃশ্যমান আলোর বর্ণালির নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সঙ্গে সঙ্গতিপূর্ণ হয়, তবে  $t_{2g}$  সেটের জোড় বা বিজোড় d-ইলেকট্রনসমূহ ঐ আলো শোষণ করে  $e_g$  সেটের অরবিটালে লাফিয়ে চলে এবং আলোর অবশিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রং আমাদের চোখে প্রতিফলিত হয়; অর্থাৎ ঐ অবস্থান্তর ধাতুর জটিল আয়ন বর্ণযুক্ত হয়। আয়নের দৃশ্যমান বর্ণ আয়ন দ্বারা শোষিত বর্ণের সম্পূরক হয়। যেমন, যদি সবুজ বর্ণ (green) শোষিত হয়, তবে দ্রবণের বর্ণ বেগুনি-লাল (purple) হয়। যদি নীল বর্ণ (blue) শোষিত হয়, তবে দ্রবণের বর্ণ হবে কমলা (orange)।  $[Fe(CN)_6]^{4-}$  আয়ন হলুদ বর্ণ দেখায় এবং  $[Fe(H_2O)_6]$  আয়ন হালকা সবুজ বর্ণ দেখায়।

**জেনে নাও :** (i) ক্রিস্টাল ফিল্ড বিভক্তিকরণ শক্তি  $\Delta E$  বা, ' $\Delta$ ' এর মাত্রা নির্ভর করে লিগ্যান্ডের প্রকৃতির ওপর। যেমন  $Ni^{2+}$  আয়নটি দুর্বল লিগ্যান্ড  $H_2O$  এর সাথে যুক্ত হয়ে  $[Ni(H_2O)_6]^{2+}$  আয়ন গঠন করে। এটির বর্ণ সবুজ (green); এক্ষেত্রে  $\Delta E$  এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 500 nm হয়। অপরদিকে সবল লিগ্যান্ড  $NH_3$  এর সাথে যুক্ত হয়ে  $[Ni(NH_3)_6]^{2+}$  আয়ন গঠন করে। এটির বর্ণ নীল (blue); এক্ষেত্রে  $\Delta E$  এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 445 nm হয়।

(ii) ক্রিস্টাল ফিল্ড বিভক্তিকরণ শক্তি (splitting of energy of d-orbitals) নিম্নোক্ত ক্রম অনুসারে weak field লিগ্যান্ড থেকে strong field লিগ্যান্ডের পরিবর্তনের ফলে  $\Delta E$  বা ' $\Delta$ ' এর মান বৃদ্ধি পায়; তখন শোষিত শক্তির  $\lambda$  এর মান হ্রাস পায়। ফলে সৃষ্ট জটিল আয়ন অধিক বর্ণযুক্ত হয়।

(Weak field ligand) :  $I^- < Br^- < Cl^- < F^- < H_2O$ ; (Strong field ligand)  $< NH_3 < CN^- < CO$

(iii) উল্লেখ্য  $\Delta E$  বা, ' $\Delta$ ' এর মানের ওপর জটিল আয়নের বর্ণসহ এর চৌম্বক ধর্ম নির্ভর করে।

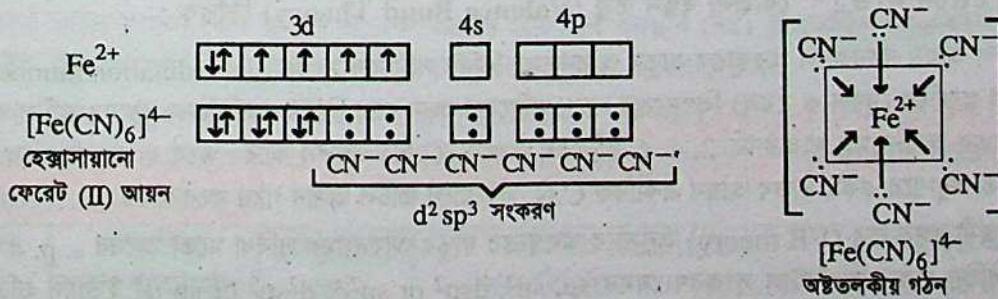
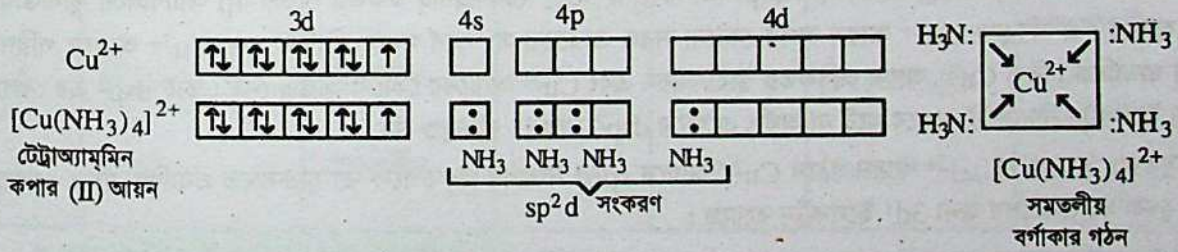


(৩) অবস্থান্তর ধাতুর জটিল আয়ন বা যৌগ গঠন : অবস্থান্তর ধাতুর পরমাণু বা আয়ন এর খালি অরবিটালের সাথে অপর কোনো নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল যুক্ত আয়ন বা অণু সন্নিবেশ বন্ধন দ্বারা যুক্ত হয়ে জটিল কাঠামোর আয়ন গঠন করলে, তাকে জটিল আয়ন বলে। জটিল আয়ন যুক্ত যৌগকে জটিল যৌগ বলে।

জটিল আয়ন বা জটিল যৌগ গঠনকালে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল প্রদানকারী ঋণাত্মক আয়ন বা যৌগ অণুকে দাতা বা লিগ্যান্ড (ligand) বলা হয়। সাধারণ লিগ্যান্ড হলো :  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CN}^-$  ইত্যাদি। যেমন, চারটি অ্যামোনিয়া ( $\text{NH}_3$ ) এর সাথে  $\text{Cu}^{2+}$  আয়ন সন্নিবেশ বন্ধনে আবদ্ধ হয়ে টেট্রাঅ্যামিন কপার (II) আয়ন নামক ধনাত্মক জটিল আয়ন গঠন করে। যেমন,  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ । আবার ছয়টি ঋণাত্মক চার্জযুক্ত  $\text{CN}^-$  আয়ন এর সাথে  $\text{Fe}^{2+}$  আয়ন সন্নিবেশ বন্ধন দ্বারা ঋণাত্মক হেক্সাসায়ানোফেরেট(II) জটিল আয়ন  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  গঠন করে।

সন্নিবেশ সংখ্যা : জটিল যৌগ গঠনকালে সন্নিবেশ বন্ধন গঠনে লিগ্যান্ড প্রদত্ত নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল সংখ্যাকে অবস্থান্তর ধাতুর সন্নিবেশ সংখ্যা বলে। যেমন, Cu ও Fe এর সন্নিবেশ সংখ্যা উপরোক্ত জটিল আয়নে যথাক্রমে 4 ও 6।

জটিল আয়ন গঠনের ব্যাখ্যা : অবস্থান্তর ধাতু ও এর আয়ন দ্বারা লিগ্যান্ডের সাথে জটিল আয়ন সৃষ্টির ব্যাখ্যা 'যোজনী বন্ধন (VB) তত্ত্ব' মতে দেয়া হলো। লিগ্যান্ডের নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগলের প্রভাবে অবস্থান্তর ধাতুর পরমাণু বা আয়নের ইলেকট্রনগুলো যথাসম্ভব যুগলবদ্ধ হয়ে অরবিটাল খালি করে দেয়। এ সব খালি অরবিটালগুলো যেমন 3d, 4s, 4p ও 4d ইত্যাদির মধ্যে বিভিন্ন প্রকার অরবিটাল সংকরণ যেমন সমতলীয় বর্গাকার  $sp^2d$  ( $\text{Cu}^{2+}$  এর বেলায়), অষ্টতলকীয়  $d^2sp^3$  ( $\text{Fe}^{2+}$  এর বেলায়) অথবা  $sp^3d^2$  ইত্যাদি দ্বারা সমশক্তির সংকর অরবিটাল গঠন করে। পরে সৃষ্ট সংকর অরবিটালের সাথে লিগ্যান্ডগুলো সন্নিবেশ বন্ধনে আবদ্ধ হয়ে জটিল আয়ন গঠন করে থাকে।



দ্রষ্টব্য : Systematic পদ্ধতিতে অবস্থান্তর ধাতুর জটিল যৌগের নামকরণ ও সংকেত লিখন এ অধ্যায়ের শেষে, অনুচ্ছেদ-৩.২.১.১ এ দেয়া হয়েছে।

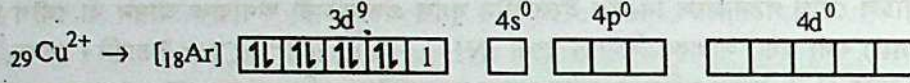
অধিক জেনে নাও :  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  আয়ন গঠনে  $\text{Cu}^{2+}$  আয়নের  $sp^2d$  সংকরীকরণের পক্ষে যুক্তি ও

তথ্য প্রমাণ :

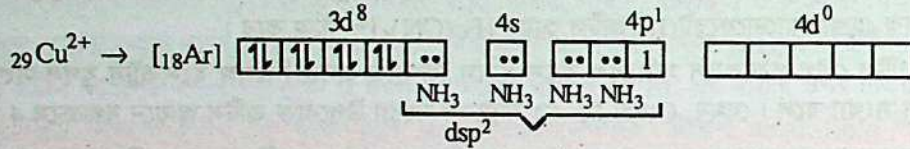
X-ray diffraction analysis পরীক্ষা থেকে জানা যায়  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  জটিল আয়নের জ্যামিতিক গঠন হলো সমতলীয় বর্গাকার (square planar)। এছাড়া এটি হলো দুর্বল চুম্বকধর্মী অর্থাৎ  $\text{Cu}^{2+}$  আয়নে কম সংখ্যক বিজোড় ইলেকট্রন রয়েছে। এক্ষেত্রে  $\text{Cu}^{2+}$  আয়নের চার্জ সংখ্যা হলো +2 এবং সন্নিবেশ-সংখ্যা হলো 4। তাই যোজনী বন্ধন তত্ত্ব



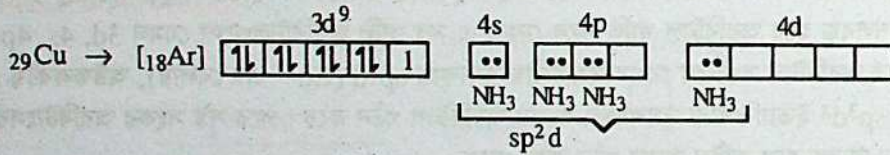
মতে  $\text{Cu}^{2+}$  আয়নে  $\text{dsp}^2$  অথবা,  $\text{sp}^2\text{d}$  সংকরণ দ্বারা ৪টি সংকর অরবিটাল সৃষ্টি হতে পারে; যাতে ৪টি  $\text{NH}_3$  লিগ্যান্ড অণু ৪টি ইলেকট্রন যুগলসহকারে সন্নিবেশ বন্ধন গঠন করে থাকে। এক্ষেত্রে অরবিটাল সংকরণের দুটি সম্ভাবনার মধ্যে কোনটি বাস্তবে ঘটে তা নিচের ইলেকট্রন বিন্যাস থেকে প্রমাণিত হবে।



সংকরণের ১ম সম্ভাবনা (1st Possibility) :  $\text{dsp}^2$  সংকরণ মতে ইলেকট্রন বিন্যাস হলো নিম্নরূপ :



সংকরণের ২য় সম্ভাবনা (2nd Possibility) :  $\text{sp}^2\text{d}$  সংকরণ মতে ইলেকট্রন বিন্যাস হলো নিম্নরূপ :



ব্যাখ্যা : ১ম সম্ভাবনার ক্ষেত্রে অর্থাৎ  $\text{dsp}^2$  এর বেলায়  $3d_{z^2}^1$  ইলেকট্রনটি উচ্চতর শক্তির 4p অরবিটালে স্থানান্তরিত করা হয়েছে। এ অবস্থায়  $\text{Cu}^{2+}$  আয়ন অপর কোনো সবল জারকের সংস্পর্শে সহজে জারিত হয়ে  $\text{Cu}^{3+}$  আয়নে পরিণত হওয়া স্বাভাবিক। কিন্তু  $\text{Cu}^{2+}$  আয়ন অধিকতর স্থায়ী আয়ন এবং  $\text{Cu}^{3+}$  আয়নের কোনো অস্তিত্ব নেই। তাই  $\text{dsp}^2$  এর বেলায় সম্ভাব্য ইলেকট্রন বিন্যাসটি বাস্তবে ঘটে না অর্থাৎ এক্ষেত্রে  $\text{dsp}^2$  সংকরণ যুক্তিসঙ্গত নয়।

সুতরাং  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$  আয়ন গঠনে  $\text{Cu}^{2+}$  আয়নে  $\text{sp}^2\text{d}$  সংকরণ প্রকৃতপক্ষে তা যুক্তিসঙ্গত প্রমাণিত হয়। এক্ষেত্রে দুর্বল চুম্বক ধর্ম প্রকাশের জন্য  $3d^1$  ইলেকট্রন রয়েছে।

**অধিক জেনে নাও :** যোজনী বন্ধন তত্ত্ব (Valence Bond Theory) ভিত্তিক :

\* (i) জটিল আয়ন গঠনকালে অবস্থান্তর ধাতুর আয়নসমূহ নির্দিষ্ট সন্নিবেশ-সংখ্যা (co-ordination number, C.N.) সহযোগে নির্দিষ্ট প্রকৃতির (দুর্বল ও সবল) লিগ্যান্ডের সাথে সন্নিবেশ বন্ধন দ্বারা নির্দিষ্ট জ্যামিতিক-গঠনের জটিল আয়ন সৃষ্টি করে। তখন ধাতব আয়নসমূহ সাধারণত 2, 4, 6 সন্নিবেশ-সংখ্যা (C.N.) প্রদর্শন করে। তবে ধাতব আয়নের প্রকৃতি ও লিগ্যান্ডের প্রকৃতি অনুসারে একই ধাতব আয়ন একাধিক C.N. সহযোগে জটিল আয়ন গঠন করে থাকে।

\* (ii) যোজনী বন্ধন তত্ত্ব (VB theory) অনুসারে অবস্থান্তর ধাতুর আয়নসমূহ সুবিধা মতো তাদের s, p, d অরবিটাল ব্যবহার করে বিভিন্ন প্রকার অরবিটাল সংকরণ যেমন sp,  $\text{sp}^3$ ,  $\text{dsp}^2$  or  $\text{sp}^2\text{d}$ ,  $\text{d}^2\text{sp}^3$  or  $\text{sp}^3\text{d}^2$  ইত্যাদি প্রক্রিয়ায় সৃষ্ট সংকর অরবিটালসমূহে লিগ্যান্ড প্রদত্ত ইলেকট্রন যুগলসমূহকে গ্রহণ করে নির্দিষ্ট জ্যামিতিক গঠনের জটিল আয়ন সৃষ্টি করে; যা X-ray diffraction analysis পরীক্ষা দ্বারা জানা যায়। এ সব ক্ষেত্রে inner (n-1)d orbitals যেমন 3d অথবা outer nd orbitals যেমন 4d অরবিটাল সুবিধামতো সংশ্লিষ্ট 'অরবিটাল সংকরণে' ব্যবহৃত হয়ে থাকে।

সাধারণত এসব জটিল আয়নে ধাতব আয়নের সন্নিবেশ সংখ্যা 2, 4, 6 হয়ে থাকে; যা সংশ্লিষ্ট ধাতব আয়নের চার্জ সংখ্যা বা যোজনী সংখ্যার দ্বিগুণ হয়ে থাকে; তবে এর ব্যতিক্রম নিচের উদাহরণসমূহ থেকে জানা যাবে। এসব ক্ষেত্রে ধাতব আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাসের ধরন এবং দুর্বল লিগ্যান্ড [যেমন  $\text{I}^- < \text{Br}^- < \text{Cl}^- < \text{F}^- < \text{H}_2\text{O}$ ] এবং সবল লিগ্যান্ড [যেমন  $< \text{NH}_3 < \text{en} < \text{CN}^- < \text{CO}$ ] এর প্রভাব থাকে। এক্ষেত্রে 'en' হলো ethylene diamine ( $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$ ) নামক দ্বিদন্তী (bidentate) লিগ্যান্ড বা কিলেটিং এজেন্ট [অনুচ্ছেদ-৫.২.২(গ) দ্রষ্টব্য]। উল্লেখ্য সবল লিগ্যান্ডের



ইলেকট্রন যুগলের বিকর্ষণে 3d-অরবিটালের বিজোড় ইলেকট্রনসমূহ যথাসম্ভব যুগলবদ্ধ হয়ে লিগ্যান্ডের জন্য 3d-অরবিটাল খালি করে দেয়।

সন্নিবেশ সংখ্যা	অরবিটাল সংকরণে d-অরবিটাল	জ্যামিতিক গঠন	ধাতব আয়ন	লিগ্যান্ড	সৃষ্ট জটিল আয়ন	চৌম্বক ধর্ম
2	sp	সরলরৈখিক	Ag <sup>+</sup>	NH <sub>3</sub>	[Ag(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ] <sup>+</sup>	4d <sup>10</sup> ডায়াক্টোম্বকীয়
2	sp	সরলরৈখিক	Cu <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	[CuCl <sub>2</sub> ] <sup>-</sup>	3d <sup>10</sup> ডায়াক্টোম্বকীয়
4	sp <sup>3</sup>	চতুস্তলকীয় (tetrahedral)	Co <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	[CoCl <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup>	3d <sup>2+2+1+1+1</sup> প্যারাচুম্বকীয়
4	dsp <sup>2</sup> or, sp <sup>2</sup> d (d <sub>x<sup>2</sup>-y<sup>2</sup>)</sub>	সমতলীয় বর্গাকার	Ni <sup>2+</sup> dsp <sup>2</sup>	CN <sup>-</sup>	[Ni(CN) <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup>	3d <sup>2+2+2+2+0</sup> ডায়াক্টোম্বকীয়
4	sp <sup>2</sup> d	সমতলীয় বর্গাকার	Cu <sup>2+</sup> sp <sup>2</sup> d	NH <sub>3</sub>	[Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> ] <sup>2+</sup>	3d <sup>2+2+2+2+1</sup> দুর্বল চুম্বকীয়
6	d <sup>2</sup> sp <sup>3</sup>	অষ্টতলকীয়	Fe <sup>2+</sup>	CN <sup>-</sup>	[Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>4-</sup>	3d <sup>2+2+2+0+0</sup> ডায়াক্টোম্বকীয়
6	d <sup>2</sup> sp <sup>3</sup>	অষ্টতলকীয়	Fe <sup>3+</sup>	CN <sup>-</sup>	[Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup>	3d <sup>2+2+1+0+0</sup> দুর্বল চুম্বকীয়
6	sp <sup>3</sup> d <sup>2</sup>	অষ্টতলকীয়	Fe <sup>3+</sup>	F <sup>-</sup>	[FeF <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup>	3d <sup>1+1+1+1+1</sup> প্যারাচুম্বকীয়

\* (iii) জটিল আয়নের চৌম্বক ধর্মের মাত্রা (যেমন high spin complex and low spin complex গঠন অর্থাৎ কীভাবে জটিল আয়নে বেশি বা কম সংখ্যক বিজোড় ইলেকট্রন অবস্থান নেয়) এবং জটিল আয়নের বর্ণ সৃষ্টির প্রকৃত ব্যাখ্যা 'ক্রিস্টাল ফিল্ড মতবাদ' থেকে জানা যায়; VB মতবাদ তা সুষ্ঠুভাবে ব্যাখ্যা দেয় না।

(৪) অবস্থান্তর ধাতুর আয়নের সাথে ক্ষার দ্রবণের বিক্রিয়া : অবস্থান্তর ধাতুর যৌগের দ্রবণে NaOH, KOH অথবা অ্যামোনিয়া দ্রবণ (NH<sub>4</sub>OH) যোগ করলে অবস্থান্তর ধাতুর আয়ন ক্ষারের OH<sup>-</sup> আয়নের সাথে বিক্রিয়া করে অদ্রবণীয় ধাতব হাইড্রক্সাইডরূপে অধঃক্ষিপ্ত হয়। যেমন,

ক্যাটায়ন	অধঃক্ষিপ্ত ধাতব হাইড্রক্সাইড	অধঃক্ষেপের বর্ণ	অতিরিক্ত NaOH দ্রবণের সাথে বিক্রিয়ার ফলে সৃষ্ট আয়ন	অতিরিক্ত অ্যামোনিয়া দ্রবণে সৃষ্ট জটিল আয়ন
Cr <sup>3+</sup> (aq)	Cr(OH) <sub>3</sub>	সবুজ	ক্রোমেট (III) আয়ন, CrO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> (aq)	-
Mn <sup>2+</sup> (aq)	Mn(OH) <sub>2</sub>	ধূসর	-	-
Fe <sup>2+</sup> (aq)	Fe(OH) <sub>2</sub>	সবুজ	-	-
Fe <sup>3+</sup> (aq)	Fe(OH) <sub>3</sub>	বাদামি	-	-
Co <sup>2+</sup> (aq)	Co(OH) <sub>2</sub>	গোলাপী	কোবাল্টেট (II) আয়ন, Co(OH) <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (aq)	[Co(NH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> ] <sup>2+</sup> (aq)
Ni <sup>2+</sup> (aq)	Ni(OH) <sub>2</sub>	সবুজ	-	[Ni(NH <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> ] <sup>2+</sup> (aq)
Cu <sup>2+</sup> (aq)	Cu(OH) <sub>2</sub>	হালকা নীল	-	[Cu(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> ] <sup>2+</sup> (aq)
Zn <sup>2+</sup> (aq)	Zn(OH) <sub>2</sub>	সাদা	জিংকেট (II) আয়ন, Zn(OH) <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (aq)	-



- শিক্ষার্থীর কাজ-৩.৪ : অবস্থান্তর মৌলের ভৌতধর্ম ও রাসায়নিক ধর্মভিত্তিক :
- সমস্যা-৩.৪(ক) : 3d মৌলসমূহের পারমাণবিক সংখ্যার ক্রম বৃদ্ধি অনুসারে এদের উচ্চ গলনাঙ্কের পরিবর্তন ব্যাখ্যা কর। [কু. বো. ২০১৬]
- সমস্যা-৩.৪(খ) : B(23), C(25), D(28) ও E(30)-এ চারটি d-ব্লকের মৌলের গলনাঙ্ক হলো যথাক্রমে 1910°C, 1245°C, 1453°C, 420°C।  
এসব মৌলের এরূপ গলনাঙ্ক হওয়ার কারণ বিশ্লেষণ কর। [কু. বো. ২০১৫]
- সমস্যা-৩.৪(গ) : Z(28) মৌলটি প্রভাবন ধর্ম প্রকাশ করে কি? তোমার উত্তরের পক্ষে বিশ্লেষণ কর। [কু. বো. ২০১৭]
- সমস্যা-৩.৫(ক) : অবস্থান্তর ধাতু রঙিন যৌগ গঠন করে; তা ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৫; ব. বো. ২০১৫]
- সমস্যা-৩.৫(খ) :  $A = (n-1)d^5 ns^1$  এবং  $B = (n-1)d^1 ns^2$ ; এখানে  $n = 4$ । A ও B মৌলদ্বয়ের মধ্যে কোনটি রঙিন যৌগ গঠন করে, তা কারণসহ ব্যাখ্যা কর। [সমাধানকৃত সমস্যা-৩.৪ দেখো।] [চা. বো. ২০১৬]
- সমস্যা-৩.৫(গ) : ৪র্থ পর্যায়ভুক্ত মৌল 'A' এর যোজ্যতা ইলেকট্রন হলো  $(n-1)d^6 ns^2$ । এর  $[A(CN)_6]^{4-}$  আয়নটি রঙিন হবে কি; তা বিশ্লেষণ কর। [সমাধানকৃত সমস্যা-৩.৫ দেখো।] [চ. বো. ২০১৬]
- সমস্যা-৩.৫(ঘ) :  $A(3d^6 4s^2)$ ,  $B(3d^{10} 4s^2)$ ,  $C(3s^2 3p^5)$ -এ তিনটি মৌলের মধ্যে কোন মৌলটি রঙিন আয়ন গঠন করে; তা বিশ্লেষণ কর। [সমাধানকৃত সমস্যা-৩.৫ দেখো।] [কু. বো. ২০১৭]
- সমস্যা-৩.৫(ঙ) : A(24), B(30)-এ দুটি মৌলের মধ্যে কোনটির যৌগ রঙিন হবে; তা বিশ্লেষণ কর। [সমাধানকৃত সমস্যা-৩.৪ দেখো।] [মাদ্রাসা বো. ২০১৭]
- সমস্যা-৩.৬(ক) : অবস্থান্তর ধাতু কীরূপে জটিল আয়ন গঠন করে, তা ব্যাখ্যা কর।
- সমস্যা-৩.৬(খ) :  $[29M(NH_3)_4]^{2+}$  আয়নের দ্রবণের প্রকৃতি বিশ্লেষণ কর। [সি. বো. ২০১৫]
- সমস্যা-৩.৭(ক) :  $CuSO_4$  এর জলীয় দ্রবণে  $NH_4OH$  দ্রবণ যোগ করলে কী ঘটে, তা বিশ্লেষণ কর।
- সমস্যা-৩.৭(খ) :  $[29M(NH_3)_4]^{2+}$  আয়নের মধ্যস্থ  $M^{2+}$  আয়ন শনাক্তকরণ পরীক্ষা সমীকরণসহ লেখ। [সি. বো. ২০১৫]
- সমস্যা-৩.৮ :  $FeSO_4$  ও  $FeCl_3$  এর জলীয় দ্রবণে  $NH_4OH$  দ্রবণ যোগ করলে কীরূপ বর্ণ পরিবর্তন ঘটে তা সমীকরণসহ লেখ।
- সমস্যা-৩.৯ :  $ZnSO_4$  এর জলীয় দ্রবণে ধীরে ধীরে  $NaOH$  দ্রবণ যোগ করলে কী ঘটে, তা সমীকরণসহ লেখ।
- সমস্যা-৩.১০ : একটি ধাতব মৌল 'A' এর অক্সাইড ও ক্রোমাইডের সংকেত হলো  $AO$ ,  $A_2O_3$  এবং  $ACl_2$ ,  $ACl_3$ । মৌলটি পর্যায় সারণির কোন শ্রেণিভুক্ত হবে, তা ব্যাখ্যা কর।

সমাধানকৃত সমস্যা-৩.৪ :  $A = (n-1)d^5 ns^1$  [মাদ্রাসা বোর্ড ২০১৭; চা. বো. ২০১৬]

$$B = (n-1)d^1 ns^2, \text{ এখানে } n = 4$$

(ক) A মৌলের সর্বশেষ ইলেকট্রনটির চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান নির্ণয় কর।

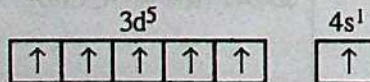
(খ) A ও B মৌলের মধ্যে কোনটি রঙিন যৌগ গঠন করে তা কারণসহ বিশ্লেষণ কর।

সমাধান-(ক) : A মৌলের সর্বশেষ ইলেকট্রনটির চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান নির্ণয় :

উদ্দীপক মতে,  $A = (n-1)d^5 ns^1$  এখানে  $n = 4$

∴ A এর যোজ্যতাস্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস হলো,  $A = 3d^5 4s^1$

∴ A মৌলটি হলো ক্রোমিয়াম, Cr(24)। Cr(24) এর যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস বস্তু পদ্ধতিতে হলো,



এক্ষেত্রে সর্বশেষ ইলেকট্রন বলতে  $4s^1$  ইলেকট্রনটিকে বোঝানো হয়েছে।

$4s^1$  ইলেকট্রনের বেলায়,

প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা,  $n = 4$

সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা,  $l = 0$  (s অরবিটালের জন্য)

চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা,  $m = 0$

স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যা,  $s = +\frac{1}{2}$

MCQ-3.11 : বিজোড় ইলেকট্রন সংখ্যার

কোন ক্রমটি সঠিক? [দি. বো. ২০১৭]

(ক)  $Mn^{2+} > Fe^{2+} > Cr^{3+}$

(খ)  $Mn^{2+} > Cr^{3+} > Fe^{2+}$

(গ)  $Fe^{2+} > Cr^{3+} > Mn^{2+}$

(ঘ)  $Cr^{3+} > Mn^{2+} > Fe^{2+}$



সমাধান : (খ) A ও B মৌলের মধ্যে কোনটি রঙিন যৌগ গঠন করে এর ব্যাখ্যা :

$$\text{উদ্দীপক মতে, } A = (n-1)d^5 ns^1 = (4-1)d^5 4s^1 = 3d^5 4s^1$$

∴ A মৌলটি হলো Cr (24)।

$$\text{আবার, } B = (n-1)d^1 ns^2 = (4-1)d^1 4s^2 = 3d^1 4s^2$$

∴ B মৌলটি হলো Sc (21)।

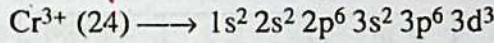
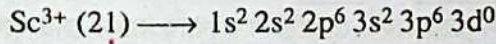
**MCQ-3.12** : নিচের কোন দুটি মৌলই অষ্টক সম্পূর্ণ করে?

কি. বো. ২০১৫।

(ক) Al, S (খ) Al, Si

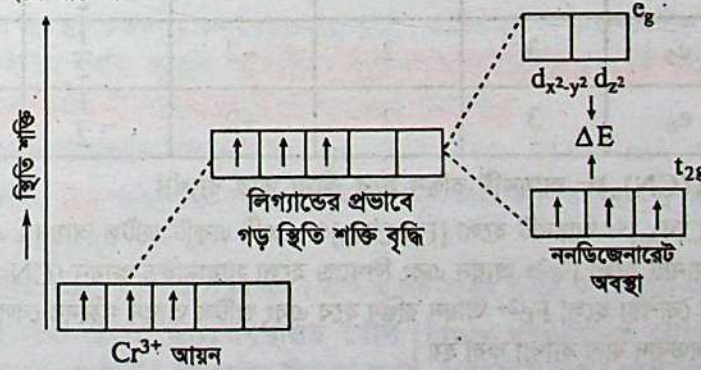
(গ) Al, Sb (ঘ) Si, P

Cr (24) ও Sc (21) এ মৌল দুটির মধ্যে Cr (24) হলো অবস্থান্তর মৌল এবং Sc (21) হলো d-ব্লক মৌল বটে, কিন্তু অবস্থান্তর মৌল নয়। কারণ অবস্থান্তর মৌলের সংজ্ঞা মতে, যে সব d-ব্লক মৌলের সুস্থিত ধনাত্মক আয়নে d-অরবিটাল আংশিকভাবে পূর্ণ থাকে অর্থাৎ  $d^1-d^9$  ইলেকট্রন বিন্যাস থাকে, তাদেরকে অবস্থান্তর মৌল বলা হয়। Sc (21) এর সুস্থিত আয়ন হলো  $Sc^{3+}$  আয়ন এবং Cr (24) এর সুস্থিত আয়ন হলো  $Cr^{3+}$  আয়ন। উভয় আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস হলো :



উপরোক্ত ইলেকট্রন বিন্যাস মতে,  $Sc^{3+}$  আয়নে d অরবিটালে কোনো ইলেকট্রন নেই, তাই Sc অবস্থান্তর মৌল নয়। অপরদিকে  $Cr^{3+}$  আয়নে  $d^3$  ইলেকট্রন আছে, যা  $d^1-d^9$  এর মধ্যে রয়েছে। তাই Cr (24) মৌলটি হলো অবস্থান্তর মৌল। অবস্থান্তর মৌলের অন্যতম প্রধান বৈশিষ্ট্য হলো রঙিন যৌগ গঠন করা। এজন্য Cr (24) মৌলটি রঙিন যৌগ গঠন করে থাকে। কিন্তু Sc (21) অবস্থান্তর মৌল না হওয়ায় কোনো রঙিন যৌগ গঠন করতে পারে না।

অবস্থান্তর ধাতু Cr ও এর ক্যাটায়ন  $Cr^{3+}$  আয়নে অপূর্ণ d-অরবিটাল থাকে বলে তারা রঙিন হয়। এছাড়া জটিল আয়ন গঠনকালে লিগ্যান্ডের প্রভাবে পাঁচটি d-অরবিটালে সামান্য পরিমাণে শক্তির তারতম্য ঘটে, যা দৃশ্যমান আলো থেকে শোষিত হয়। তাই জটিল আয়ন রঙিন হয়ে থাকে।



চিত্র-৩.৪ (ক) : লিগ্যান্ডের প্রভাবে d-অরবিটালসমূহের গড় স্থিতিশক্তি বৃদ্ধি ও দুটি পৃথক শক্তিস্তরে বিভক্তিকরণ

ক্রিস্টাল ফিল্ড মতবাদ অনুসারে, জটিল আয়ন গঠনকালে লিগ্যান্ডের নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল অরবিটালটি Cr ধাতুর ধনাত্মক আয়ন  $Cr^{3+}$  আয়নের পাঁচটি d-অরবিটালের মূলত x, y, z অক্ষ বরাবর নিকটবর্তী হলে ঐ তিনটি অক্ষ বরাবরে থাকা  $d_{x^2-y^2}$  ও  $d_{z^2}$  অরবিটালের ইলেকট্রন লিগ্যান্ডের ইলেকট্রন যুগল দ্বারা অধিকতর বিকর্ষিত হয়। এ বিকর্ষণের কারণে পাঁচটি d-অরবিটালের শক্তির মধ্যে সামান্য উর্ধ্বমুখী ও নিম্নমুখী পার্থক্য ঘটে। একে d-অরবিটালসমূহের নন-ডিজেনারেট অবস্থা বলা হয়। তখন নিম্নশক্তির  $d_{xy}$ ,  $d_{yz}$  ও  $d_{zx}$  অরবিটালত্রয়কে  $t_{2g}$  শক্তির অরবিটাল সেট এবং উচ্চশক্তির  $d_{x^2-y^2}$  ও  $d_{z^2}$  অরবিটালদ্বয়কে  $e_g$  শক্তির অরবিটাল সেট বলে। লিগ্যান্ডের প্রভাবে অবস্থান্তর ধাতুর আয়নের পাঁচটি d-অরবিটালের মধ্যে শক্তির সামান্য উর্ধ্বমুখী ও নিম্নমুখী বিভক্তিকরণকে ক্রিস্টাল ফিল্ড ফলাফল বলে এবং  $e_g$  সেট ও  $t_{2g}$  সেট অরবিটালের শক্তির পার্থক্য ( $\Delta E$ ) কে ক্রিস্টাল ফিল্ড বিভক্তিকরণ শক্তি বলে। তখন দুটি শক্তিস্তরের মধ্যে যে পার্থক্য ( $\Delta E$ ) হয়, তা যদি দৃশ্যমান আলোর বর্ণালির নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সঙ্গে মিল হয়, তবে  $t_{2g}$  সেটের জোড় বা বিজোড় d-ইলেকট্রন ঐ আলো শোষণ করে  $e_g$  সেটের অরবিটালে লাফিয়ে চলে এবং আলোর অবশিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রং আমাদের চোখে প্রতিফলিত হয়; অর্থাৎ অবস্থান্তর ধাতু  $Cr^{3+}$  এর জটিল যৌগ যেমন  $[Cr(H_2O)_3Cl_3]$  বেগুনি বর্ণের রঙিন হয়।



২৭৮

রসায়ন-প্রথম পত্র

সমাধানকৃত সমস্যা-৩.৫ : পর্যায় সারণির চতুর্থ পর্যায়ভুক্ত মৌল 'A' এর যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস হলো  $(n-1)d^6 ns^2$ । [কু. বো. ২০১৭; চ. বো. ২০১৬]

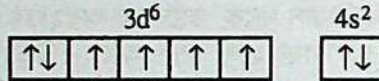
(ক) A মৌলের d-উপস্তরের ইলেকট্রনগুলোর জন্য চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মানের সেট নির্ণয় কর।

(খ)  $[A(CN)_6]^{4-}$  আয়নটি রঙিন হবে কিনা উদ্দীপকের আলোকে তা বিশ্লেষণ কর।

সমাধান : (ক) A মৌলের d-উপস্তরের ইলেকট্রনগুলোর জন্য চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মানের সেট নিম্নরূপ :  
উদ্দীপক মতে,  $A = (n-1)d^6 ns^2$ , এখানে  $n = 4$

∴ A এর যোজ্যতা স্তরে ইলেকট্রন বিন্যাস হলো,  $A = 3d^6 4s^2$

∴ A মৌলটি হলো আয়রন, Fe(26)। Fe(26) এর যোজ্যতাস্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস বক্স পদ্ধতিতে হলো,



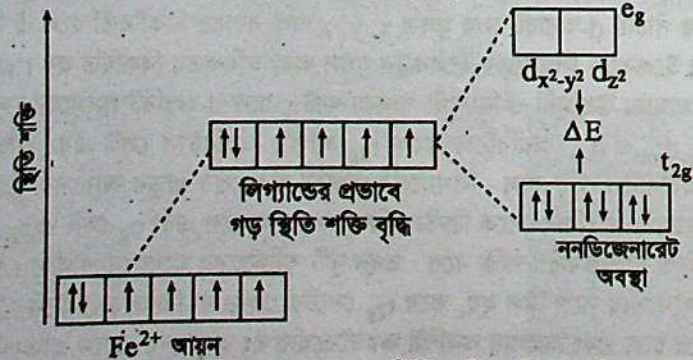
A মৌল বা Fe(26) এর d উপস্তরের  $3d^6$  ইলেকট্রনসমূহের চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মানের সেট হলো নিম্নরূপ :

ইলেকট্রন	n	l	m	s	অরবিটাল
e <sub>1</sub>	3	2	+2	$+\frac{1}{2}$	d <sub>xy</sub>
e <sub>2</sub>	3	2	+1	$+\frac{1}{2}$	d <sub>yz</sub>
e <sub>3</sub>	3	2	0	$+\frac{1}{2}$	d <sub>zx</sub>
e <sub>4</sub>	3	2	-1	$+\frac{1}{2}$	d <sub>x<sup>2</sup>-y<sup>2</sup></sub>
e <sub>5</sub>	3	2	-2	$+\frac{1}{2}$	d <sub>z<sup>2</sup></sub>
e <sub>6</sub>	3	2	+2	$-\frac{1}{2}$	d <sub>xy</sub>

সমাধান : (খ)  $[A(CN)_6]^{4-}$  আয়নটি রঙিন হবে কিনা তার ব্যাখ্যা :

উদ্দীপক মতে  $[A(CN)_6]^{4-}$  আয়নটি হলো  $[Fe(CN)_6]^{4-}$ । এটি একটি জটিল আয়ন। এ জটিল আয়নটিতে অবস্থান্তর মৌল Fe এর সুস্থিত আয়নটি হলো Fe<sup>2+</sup> আয়ন এবং লিগ্যান্ড হলো সায়ানাইড আয়ন (CN<sup>-</sup>)। Fe হলো অবস্থান্তর ধাতু। অবস্থান্তর ধাতুর অন্যতম বৈশিষ্ট্য হলো Fe<sup>2+</sup> আয়ন রঙিন হবে এবং জটিল আয়ন গঠনের বেলায়ও রঙিন আয়ন সৃষ্টি করবে। এর কারণ ক্রিস্টাল ফিল্ড মতবাদ দ্বারা ব্যাখ্যা করা হয়।

ক্রিস্টাল ফিল্ড মতবাদ মতে, জটিল আয়ন গঠনকালে লিগ্যান্ডের নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল অরবিটালটি ধাতুর যেমন Fe এর ধনাত্মক আয়ন Fe<sup>2+</sup> এর নিকটবর্তী হলে তখন পাঁচটি d-অরবিটালের মূলত x, y ও z অক্ষ বরাবরে থাকা d<sub>x<sup>2</sup>-y<sup>2</sup></sub> ও d<sub>z<sup>2</sup></sub>



চিত্র-৩.৪ (খ) : লিগ্যান্ডের প্রভাবে d-অরবিটালসমূহের গড় স্থিতি শক্তি বৃদ্ধি ও দুটি পৃথক শক্তিস্তরে বিভক্তিকরণ



অরবিটালের ইলেকট্রন লিগ্যান্ডের ইলেকট্রন দ্বারা অধিকতর বিকর্ষিত হয়। এ বিকর্ষণের কারণে পাঁচটি d-অরবিটালের শক্তির মধ্যে সামান্য উর্ধ্বমুখী ও নিম্নমুখী পার্থক্য ঘটে। একে d-অরবিটালসমূহের নন ডিজেনারেট অবস্থা বলা হয়। তখন নিম্ন শক্তির  $d_{xy}$ ,  $d_{yz}$  ও  $d_{zx}$  অরবিটালত্রয়  $t_{2g}$  শক্তির অরবিটাল সেট এবং উচ্চ শক্তির  $d_{x^2-y^2}$  ও  $d_{z^2}$  অরবিটালদ্বয়কে  $e_g$  শক্তির অরবিটাল সেট বলে। এক্ষেত্রে  $e_g$  সেট ও  $t_{2g}$  সেট অরবিটালের শক্তির পার্থক্য ( $\Delta E$ ) কে ক্রিস্টাল ফিল্ড বিভক্তিকরণ শক্তি বলে। এ ক্রিস্টাল ফিল্ড বিভক্তিকরণ শক্তি ( $\Delta E$ ) যদি দৃশ্যমান আলোর বর্ণালির নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সঙ্গে সঙ্গতিপূর্ণ হয়, তবে  $t_{2g}$  সেটের ঐ জোড় বা বিজোড় d-ইলেকট্রনসমূহ ঐ আলো শোষণ করে  $e_g$  সেটের অরবিটালে লাফিয়ে চলে এবং আলোর অবশিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রং আমাদের চোখে প্রতিফলিত হয়। এরূপে জটিল আয়ন বর্ণযুক্ত হয়। এক্ষেত্রে  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  আয়ন হলুদ বর্ণযুক্ত হয়ে থাকে।

### ৩.২.৪ f-ব্লকের মৌলসমূহের সাধারণ ধর্মাবলি (General Properties of f-block elements)

পর্যায় সারণিতে f-ব্লকে অন্তর্ভুক্ত মৌলসমূহের পরমাণুতে সর্ববহিস্থ শক্তিস্তরের ns-অরবিটাল বা উপশক্তিস্তর পূর্ণ থাকে; কিন্তু  $(n-1)d$  অরবিটাল অপূর্ণ রেখে শেষ ইলেকট্রন ক্রমান্বয়ে  $(n-2)f$  অরবিটালে প্রবেশ করতে থাকে। এর মূলে রয়েছে উচ্চ শক্তিস্তরে d-অরবিটাল ও f-অরবিটালের মধ্যে ন্যূনতম পার্থক্য। এখানে  $n = 6$  ও  $7$  হয়।

পর্যায়	ইলেকট্রন বিন্যাস : $(n-2)f^{(1-14)}, (n-1)d^{0,1} ns^2; n = 6, 7$													
6(4f)	58Ce	59Pr	60Nd	61Pm	62Sm	63Eu	64Gd	65Tb	66Dy	67Ho	68Er	69Tm	70Yb	71Lu
7(5f)		91Pa	92U	93Np	94Pu	95Am	96Cm	97Bk	98Cf	99Es	100Fm	101Md	102No	103Lw

f-ব্লক মৌলসমূহ (১) ল্যান্থানাইড ও (২) অ্যাক্টিনাইড—এই দুটি সিরিজে বিভক্ত :

(১) ল্যান্থানাইড সিরিজ (Lanthanide Series) : পর্যায় সারণির ৬ষ্ঠ পর্যায়ের ও গ্রুপ-3 (3B) এর অন্তর্ভুক্ত ল্যান্থানাম ( $_{57}\text{La}$ ) ও এর পরবর্তী সেরিয়াম ( $_{58}\text{Ce}$ ) থেকে লুটেসিয়াম ( $_{71}\text{Lu}$ ) পর্যন্ত 14টি মৌলসহ মোট 15টি মৌলকে একত্রে ল্যান্থানাইড সিরিজ বা ল্যান্থানয়ডস (Lanthanoids) বলে। এদের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মে খুবই মিল থাকায় এদেরকে পর্যায় সারণিতে একই স্থানে রাখা হয়েছে। প্রকৃতিতে ল্যান্থানয়ড মৌলসমূহ খুব কম পরিমাণে যৌগরূপে পাওয়া যায় বলে এদেরকে বিরল মৃত্তিকা মৌল বা Rear earth elementsও বলা হয়।

ল্যান্থানাইড সিরিজের সাধারণ ইলেকট্রন বিন্যাস হলো :  $(n-2)f^{1-14} (n-1)d^{0-1} ns^2$ ; এক্ষেত্রে  $n = 6$  হয়।

ল্যান্থানাইডসমূহের ধর্মাবলি : (১) ল্যান্থানাইডসমূহ হলো ভারী ধাতু। এরা তাপ ও বিদ্যুৎ সুপরিবাহী।

(২) এদের ঘনত্ব, গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক বেশি হয়।

(৩) এদের আয়নিকরণ শক্তি d-ব্লক মৌল অপেক্ষা কম। তাই এ সব ধাতুর তড়িৎ ধনাত্মকতা ধর্ম বেশি থাকে।

(৪) f-ব্লক মৌলসমূহের মধ্যে রয়েছে অন্তঃঅবস্থান্তর মৌল (Inner transition elements)। যেসব f-ব্লক মৌলের কোনো সুস্থিত আয়নে  $f^1$  থেকে  $f^{13}$  ইলেকট্রন বিন্যাস থাকে, তাদেরকে অন্তঃঅবস্থান্তর মৌল বলে। যেমন-  $\text{Ce}(58)$  এর  $4f^1$  যুক্ত  $\text{Ce}^{3+}$  আয়ন আছে। এদের আয়ন বর্ণযুক্ত হয় এবং জটিল আয়ন গঠন করে।

(৫) এদের প্রধান ও অধিকতর স্থায়ী জারণ অবস্থা হলো +3। তবে +2 ও +4 জারণ অবস্থাও দেখা যায়। যেমন  $\text{Eu}^{2+}(4f^7)$ ,  $\text{Tb}^{4+}(4f^7)$ ।

(৬) ল্যান্থানাইডসমূহ অতিবেগুনি ও অবলোহিত রশ্মিকে শোষণ করে দৃশ্যমান আলোর পরিসরে বিকিরণ করতে পারে। তাই এদের বিভিন্ন অক্সাইড সানগ্লাস ও ওয়েল্ডিং কাজে ব্যবহৃত গগলস তৈরিতে ব্যবহৃত হয়।

(৭) ল্যান্থানাইড মৌলসমূহের ত্রিধনাত্মক আয়ন ( $M^{3+}$ ) এর ব্যাসার্ধ La থেকে Lu পর্যন্ত নিয়মিতভাবে হ্রাস পেতে থাকে। একে ল্যান্থানাইড সংকোচন বলে।

ল্যান্থানাইড সংকোচনের কারণ : এদের ইলেকট্রন বিন্যাস হলো  $4f^{2-14} 5s^2 5p^6 5d^{0-1} 6s^2$ । পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে নতুন ইলেকট্রনটি এদের যোজ্যতা স্তর ষষ্ঠ শক্তিস্তরে প্রবেশ না করে 4f-উপশক্তিস্তরে প্রবেশ করে। তখন f-অরবিটালের গঠন প্রকৃতি মতে বিস্তৃত এলাকায় ইলেকট্রন মেঘ ছড়িয়ে থাকে (diffused)। ফলে নিউক্লিয়াসে ক্রম বৃদ্ধি পাওয়া ধনাত্মক চার্জকে সম্পূর্ণভাবে আবৃত করতে না পারায় নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ পরবর্তী উপশক্তিস্তরকে আকৃষ্ট করে। ফলে এদের পারমাণবিক ও আয়নিক ব্যাসার্ধে ক্রম হ্রাস ঘটে; যা ল্যান্থানাইড সংকোচন নামে পরিচিত।



(২) অ্যাক্টিনাইড সিরিজ (Actinide Series) : পর্যায় সারণির ৭ম পর্যায়ের ও গ্রুপ-3 (3B) এর অন্তর্ভুক্ত অ্যাক্টিনিয়াম ( ${}_{89}\text{Ac}$ ) ও এর পরবর্তী  ${}_{90}\text{Th}$  থেকে  ${}_{103}\text{Lr}$  পর্যন্ত 14টি মৌলসহ মোট 15টি মৌলকে একত্রে অ্যাক্টিনাইড সিরিজ বা অ্যাক্টিনয়ডস বলে। এদের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মে খুবই মিল থাকায় এদেরকে পর্যায় সারণিতে একই স্থানে রাখা হয়েছে। অ্যাক্টিনাইড সিরিজকে বর্তমানে IUPAC নিয়ম মতে অ্যাক্টিনয়ডস (actinoids)ও বলা হয়।

কারণ ঋণাত্মক আয়নের বেলায়, মৌলের পরমাণুর নামের শেষে 'ide' বিভক্তি বা suffix বসে যেমন ক্লোরাইড (chloride) আয়ন ( $\text{Cl}^-$ )। তাই ল্যাটিনাইড-এর পরিবর্তে 'ল্যাটিনয়ড' এবং অ্যাক্টিনাইড-এর পরিবর্তে 'অ্যাক্টিনয়ড' নতুন নামকরণ অনুমোদন দেয়া হয়েছে।

অ্যাক্টিনাইডসমূহের ধর্মাবলি :

- (১) অ্যাক্টিনাইড মৌলসমূহ তেজস্ক্রিয় মৌল।
- (২) এদের ঘনত্ব খুব বেশি। (ব্যতিক্রম থোরিয়াম sp.gr. 10.11)
- (৩) এদের উচ্চ গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক আছে।
- (৪) অ্যাক্টিনাইডসমূহ অধিক তড়িৎ ধনাত্মক ধাতু। এরা +3, +4, +5, +6 জারণ অবস্থা প্রদর্শন করে। এদের আয়নীকরণ শক্তি কম।
- (৫) এরা বাতাসের সংস্পর্শে মলিন ও কম সক্রিয় হয়ে যায়।
- (৬) সূক্ষ্ম চূর্ণ অবস্থায় অ্যাক্টিনাইড মৌলসমূহ অত্যন্ত সক্রিয় থাকে। উত্তপ্ত পানি এবং লঘু এসিডের সাথে বিক্রিয়া করে  $\text{H}_2$  গ্যাস উৎপন্ন করে।
- (৭) এদের ওপর ক্ষার দ্রবণে প্রভাব নেই। এদের যৌগসমূহ সাধারণত বেশি ক্ষারীয় হয়।
- (৮) থোরিয়া ( $\text{ThO}_2$ ) ও সেরিয়া ( $\text{CeO}_2$ ) মিশ্রণ সূক্ষ্ম কণারূপে গাড়ির হেড লাইট, জাহাজ ও রেলগাড়ির সার্চ লাইটে থাকে।

MCQ-3.13 : নিচের কোন আয়নটি রঙিন যৌগ গঠন করে? [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]

(ক)  $\text{Sc}^{3+}$  (খ)  $\text{Mg}^{2+}$   
(গ)  $\text{Zn}^{3+}$  (ঘ)  $\text{Ni}^{2+}$

জেনে রাখ : পর্যায় সারণির ১১৮টি মৌলের মধ্যে (২০১৬ সাল পর্যন্ত) ধাতু = ৯৪টি; অপধাতু (সর্বসম্মত) = ৬টি (B, Si, Ge, As, Sb, Te); অধাতু = ১৮টি [১১টি গ্যাস, ১টি তরল ( $\text{Br}_2$ ), ৬টি কঠিন কক্ষ তাপমাত্রায় (C, P, S, Se, I, At)]।

### ৩.৩ মৌলের পর্যায়বৃত্ত ধর্মসমূহ

#### Periodic Properties of Elements

পর্যায়বৃত্ত ধর্ম : মৌলসমূহের ইলেকট্রন বিন্যাস এদের পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে পরিবর্তিত হয়ে থাকে এবং নির্দিষ্ট সংখ্যা যেমন ২, ৮, ৮, ১৮, ১৮, ৩২ এর ব্যবধানের পর পর্যায়ক্রমিকভাবে অনুরূপ ধরনের হয়। মৌলসমূহের অনেক ধর্মেও একইভাবে পুনরাবৃত্তি ঘটে। এ কারণে মৌলসমূহের ইলেকট্রন বিন্যাসভিত্তিক পরিবর্তনশীল ধর্মসমূহকে পর্যায়বৃত্ত ধর্ম বলে। এখানে মৌলসমূহের কিছু পর্যায়বৃত্ত ধর্ম যেমন- (ক) গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক, (খ) পরমাণুর আকার, (গ) যোজ্যতা, (ঘ) আয়নীকরণ শক্তি, (ঙ) ইলেকট্রন আসক্তি, (চ) তড়িৎ ঋণাত্মকতা ও (ছ) ধাতব ধর্ম বিশেষভাবে আলোচনা করা হলো।

অবস্থান্তর ও অন্তঃঅবস্থান্তর মৌলসমূহে ধর্ম প্রধানত তাঁদের আংশিক পূর্ণ d ও f অরবিটালে অবস্থিত ইলেকট্রন দ্বারা বিশেষভাবে প্রভাবান্বিত হয়। এজন্য পারমাণবিক সংখ্যার পরিবর্তনের সাথে এদের অনেক ধর্মের পরিবর্তন বিশেষভাবে পরিলক্ষিত হয় না।

#### (ক) গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক (Melting Point & Boiling Point)

গ্রুপ-1 (বা IA) এর ক্ষারধাতুসমূহের একটি করে যোজ্যতা ইলেকট্রন থাকায় এদের ধাতব বন্ধন দুর্বল হয়। তাই এ ধাতুগুলো নরম ধাতু, নিম্নগলনাঙ্কবিশিষ্ট হয়। একই গ্রুপে পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে সাথে পরমাণুর আকার বৃদ্ধি পায় এবং যোজ্যতা স্তরে ইলেকট্রন মেঘের ঘনত্ব কমে যায়। ফলে পরমাণুর বন্ধন আকর্ষণ কমে যায় বলে গ্রুপ-1 (বা IA) মৌলসমূহের গলনাঙ্ক ধীরে ধীরে কমে। তবে Li পরমাণুর আকার খুবই ছোট হওয়ায় এর ধাতব বন্ধন তুলনামূলকভাবে দৃঢ় হয়। এজন্য Li এর গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক এ গ্রুপের অন্যদের তুলনায় বেশি হয়।

যে তাপমাত্রায় কঠিন পদার্থ গলে যায়, একে ঐ পদার্থের গলনাঙ্ক এবং 1 atm চাপে যে তাপমাত্রায় পদার্থটি বৃদ্ধবৃদ্ধসহ ফুটে থাকে, একে ঐ পদার্থের স্ফুটনাঙ্ক বলে।



সারণি-৩.১ : গ্রুপ-I এর মৌলসমূহের গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক :

মৌল :	Li	Na	K	Rb	Cs
গলনাঙ্ক, °C	180.5	97.7	63.3	39.3	28.4
স্ফুটনাঙ্ক, °C	1342	883	759	688	678.4

একই পর্যায়ে মৌলসমূহের গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্কের ক্ষেত্রে কোনো সরল ধারাবাহিকতা দেখা যায় না। যেমন তৃতীয় পর্যায়ের মৌলসমূহের ক্ষেত্রে গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক নিম্নরূপ :

সারণি-৩.২ : তৃতীয় পর্যায়ের মৌলসমূহের গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক

মৌল →	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
গলনাঙ্ক, (°C)	97.8	649	660	1410	44	112.8	- 101	- 189.3
স্ফুটনাঙ্ক, (°C)	883	1090	2519	2355	280	444.67	- 34.6	- 185.7

সোডিয়াম থেকে অ্যালুমিনিয়াম পর্যন্ত ধাতব বন্ধন বিদ্যমান। সোডিয়ামের কেলাসে  $\text{Na}^+$  আয়ন বিদ্যমান; এ আয়নের আকার বড় এবং মুক্ত একটি মাত্র ইলেকট্রনের ওপর আকর্ষণ কম। এ কারণে এ কেলাসের গলনের জন্য খুব বেশি শক্তির প্রয়োজন হয় না; অর্থাৎ Na এর গলনাঙ্ক কম। ম্যাগনেসিয়াম কেলাসে দ্বি-আধানবিশিষ্ট  $\text{Mg}^{2+}$  আয়নে দুটি মুক্ত ইলেকট্রন থাকে এবং অ্যালুমিনিয়ামের কেলাসে ত্রিআধানবিশিষ্ট  $\text{Al}^{3+}$  আয়ন ও তিনটি মুক্ত ইলেকট্রন বিদ্যমান। মুক্ত ইলেকট্রনের ওপর এদের আকর্ষণ বেশি। এ কারণে এদের ধাতব বন্ধনের দৃঢ়তা বৃদ্ধির সাথে গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক অধিক হয়।

সিলিকনের কেলাসে অতি বৃহৎ অণু বিদ্যমান, যা Si-Si বন্ধনের মাধ্যমে ত্রিমাত্রিক জাল হিসেবে গঠিত। এ কেলাসকে গলনের জন্য অনেক Si-Si বন্ধন ভাঙা প্রয়োজন, তাতে অনেক শক্তির প্রয়োজন। অতএব সিলিকনের গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্কও অনেক বেশি।

পরবর্তী মৌল ফসফরাস এর রূপভেদে  $\text{P}_4$  অণু হিসেবে থাকে। এ অণু বিশুদ্ধ সমযোজী প্রকৃতির। বিভিন্ন অণুর মধ্যে দুর্বল ভ্যানডার ওয়ালস শক্তি আন্তঃআণবিক বল হিসেবে বিদ্যমান। সেহেতু এর গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক অনেক কম।

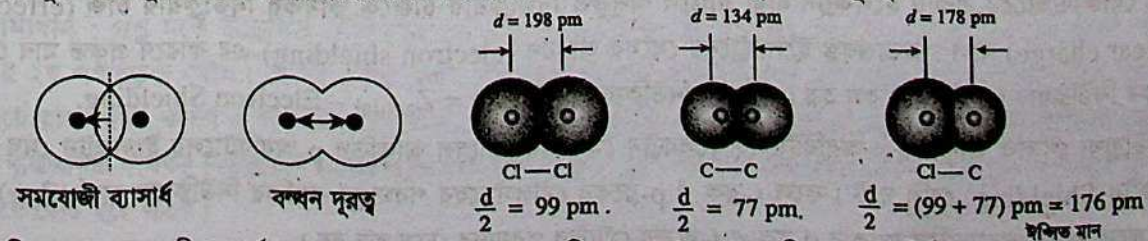
সালফারের অণু  $\text{S}_8$  হিসেবে বিদ্যমান। একই মৌলের পরমাণু দ্বারা সৃষ্ট হওয়ায় সালফারের অণু সমযোজী। ফলে বিভিন্ন অণুর মধ্যে দুর্বল ভ্যানডার ওয়ালস শক্তি আন্তঃআণবিক শক্তি হিসেবে বিদ্যমান। তাই এর গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক কম।

ক্লোরিন অণু দুটি পরমাণু দ্বারা সৃষ্ট। একই মৌলের পরমাণু দ্বারা সৃষ্ট হওয়ায়  $\text{Cl}_2$  অণু পুরোপুরি অপোলার সমযোজী। ফলে বিভিন্ন  $\text{Cl}_2$  অণুর মধ্যে দুর্বল ভ্যানডার ওয়ালস শক্তি আন্তঃআণবিক শক্তি হিসেবে বিদ্যমান। এ কারণে  $\text{Cl}_2$  এর গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক অনেক কম।

### (খ) পরমাণুর আকার (Atomic Size)

পরমাণুর আকার তুলনা করার ক্ষেত্রে সাধারণভাবে কোনো পরমাণুর নিউক্লিয়াসের কেন্দ্র ও এর সর্ববহিস্থ ইলেকট্রন স্তরের মধ্যবর্তী দূরত্বকে পারমাণবিক ব্যাসার্ধ ধরা হয়। বাস্তবে পরমাণুর কেন্দ্র বহির্ভূত ইলেকট্রন মেঘের সঠিক অবস্থান জানা অনিশ্চিত বলে এ দূরত্ব নির্ণয় করা বেশ কঠিন। মৌলের প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে পরমাণুর আকার নিম্নোক্ত দু'ভাবে প্রকাশ করা হয় : (১) সমযোজী ব্যাসার্ধ ও (২) ধাতব ব্যাসার্ধ।

(১) সমযোজী ব্যাসার্ধ : কোনো মৌলের দুটি পরমাণুর একক সমযোজী বন্ধনে উভয় পরমাণুর নিউক্লিয়াসের মধ্যকার দূরত্বের অর্ধেককে ঐ পরমাণুর সমযোজী ব্যাসার্ধ বলে। সমযোজী ব্যাসার্ধকে পারমাণবিক ব্যাসার্ধ হিসেবে ধরা হয়। মৌলের দুটি পরমাণুর সমযোজী ব্যাসার্ধের যোগফল হলো তাদের দ্বারা গঠিত অণুর বন্ধন দূরত্ব।



চিত্র-৩.৫ : সমযোজী ব্যাসার্ধ ও বন্ধন দূরত্ব।

চিত্র-৩.৫(ক) : পারমাণবিক ব্যাসার্ধ নির্ণয়।







## মৌলের পর্যায়বৃত্ত ধর্ম ও রাসায়নিক বন্ধন

২৮৩

তৃতীয় পর্যায়ভুক্ত বিভিন্ন মৌলের আপেক্ষিক পারমাণবিক ব্যাসার্ধ pm এককে দেখানো হলো (চিত্র-৩.৮)।

৩য় পর্যায়ের মৌল	Na(11)	Mg(12)	Al(13)	Si(14)	P(15)	S(16)	Cl(17)
ইলেকট্রন বিন্যাস	2.8.1	2.8.2	2.8.3	2.8.4	2.8.5	2.8.6	2.8.7
পারমাণবিক ব্যাসার্ধ (pm)	186	160	143	117	110	104	99
পরমাণুর আপেক্ষিক আকার							

চিত্র-৩.৮ : তৃতীয় পর্যায়ের মৌলসমূহের ইলেকট্রন বিন্যাস ও তাদের পারমাণবিক ব্যাসার্ধ।

অপরদিকে ৪র্থ থেকে ৭ম পর্যায়ভুক্ত মৌলসমূহে d ও f অরবিটালের মেঘ দ্বারা ইলেকট্রন Shielding কম ঘটে; তাই d-ব্লক ও f-ব্লক মৌলের পরমাণুর ক্ষেত্রে কার্যকর নিউক্লিয়ার চার্জ ( $Z_{eff}$ ) এর আকর্ষণ বেশি থাকে। ফলে d-ব্লক ও f-ব্লকের পরমাণুর আকার s-ব্লক ও p-ব্লকের মৌলের পরমাণুর আকারের চেয়ে ছোট হয়।

গ্রুপভিত্তিক বিভিন্ন মৌলের পরমাণুর আকারের সম্পর্ক : একই গ্রুপের মৌলসমূহের বেলায় নিচের দিকের পরমাণুর ইলেকট্রনের জন্য নতুন কক্ষপথ বা শক্তিস্তর যুক্ত হয়, ফলে পারমাণবিক ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি পায়। যেমন, গ্রুপ-1 এর ক্ষেত্রে মৌলসমূহের পারমাণবিক ব্যাসার্ধ ক্রম বৃদ্ধি পায়। চিত্র-৩.৯ দেখ।

গ্রুপ-1 মৌল	ইলেকট্রন বিন্যাস স্তর	পারমাণবিক ব্যাসার্ধ (pm)	আপেক্ষিক পাঃ আকার
Li (3)	2,1	152	
Na (11)	2,8,1	186	
K (19)	2,8,8,1	227	
Rb (37)	2,8,18,8,1	248	
Cs (55)	2,8,18,18,8,1	265	

চিত্র-৩.৯ : গ্রুপ-1 এর মৌলসমূহের ইলেকট্রন বিন্যাস ও তাদের পারমাণবিক ব্যাসার্ধ।

শিক্ষার্থী নিজে সমাধান কর-৩.৫ : পরমাণুর আকারভিত্তিক :

সমস্যা-৩.১১ : নিচের দুটি করে পরমাণুর মধ্যে কোনটির আকার ছোট হবে তা কারণসহ ব্যাখ্যা কর।

(ক) Mg ও Ba (খ) Si ও Sn (গ) Si ও Cl (ঘ) Cl ও I

সমস্যা-৩.১২ : Li(3), Be(4), B(5), C(6), N(7), O(8), F(9) মৌলসমূহের পরমাণুর আকারে কীরূপ পরিবর্তন ঘটে, তা ব্যাখ্যা কর। [ব. বো. ২০১৭]

সমাধানকৃত সমস্যা-৩.৬ : Li (3), Be (4), B (5), C (6), N (7), O (8), F (9)-এ মৌলসমূহের পরমাণুর আকারে কীরূপ পরিবর্তন ঘটে; তা ব্যাখ্যা কর। [ব. বো. ২০১৭]

সমাধান : প্রশ্ন মতে উল্লেখিত মৌলসমূহ Li (3), Be (4), B (5), C (6), N (7), O (8), F (9) হলো পর্যায় সারণির ২য় পর্যায়ভুক্ত মৌল। এ সব মৌল একই পর্যায়ভুক্ত হওয়ায় পর্যায়ভিত্তিক ধর্ম মতে এদের পারমাণবিক আকার ক্রমান্বয়ে হ্রাস পায়। কারণ এ সব মৌল s-ব্লক ও p-ব্লকভুক্ত হওয়ায় এদের electron shielding এর তুলনায় প্রোটন সংখ্যা বৃদ্ধিজনিত কার্যকর নিউক্লিয়ার চার্জের আকর্ষণ বেশি থাকে। ফলে পর্যায়ের বাম দিক থেকে ডানদিকে পরমাণুর আকার ক্রমান্বয়ে ছোট হয়ে থাকে।



## (গ) পরমাণুর যোজ্যতা (Valency of an Atom)

একটি যৌগ গঠনে কোনো মৌলের পরমাণু অন্য মৌলের পরমাণুর সাথে যুক্ত হওয়ার ক্ষমতাকে মৌলটির যোজ্যতা বলে। কোনো মৌলের অক্সিজেনের সাথে যুক্ত হওয়ার ক্ষমতাকে ঐ মৌলের 'অক্সিজেন-যোজ্যতা' বলে। অপরদিকে কোনো মৌলের H-পরমাণুর সাথে যুক্ত হওয়ার ক্ষমতাকে ঐ মৌলের 'হাইড্রোজেন-যোজ্যতা' বলে। গ্রুপ-1A থেকে গ্রুপ-4A এর মৌলসমূহের সর্ববহিস্থ ইলেকট্রন সংখ্যা এদের যোজ্যতা নির্দেশ করে। আবার গ্রুপ-5A থেকে গ্রুপ-7A পর্যন্ত মৌলসমূহের পরমাণুর বেলায় H-স্কেল অনুসারে কমতে থাকে এবং অক্সিজেন স্কেল অনুসারে বাড়তে থাকে। ৩য় পর্যায়ের মৌলসমূহের যৌগ গঠনে এদের যোজ্যতা নিম্নরূপ হয় :

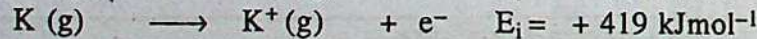
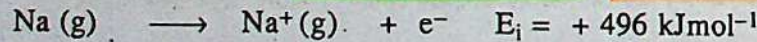
সারণি-৩.৩ : অক্সিজেন স্কেল ও H-স্কেল মতে ৩য় পর্যায়ের মৌলের যোজ্যতা

যৌগ গঠন :	গ্রুপ-1A	গ্রুপ-2A	গ্রুপ-3A	গ্রুপ-4A	গ্রুপ-5A	গ্রুপ-6A	গ্রুপ-7A
অক্সাইড গঠন :	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
মৌলের যোজ্যতা : (অক্সিজেন স্কেলে)	1	2	3	4	5	6	7
হাইড্রাইড গঠন :	NaH	MgH <sub>2</sub>	AlH <sub>3</sub>	SiH <sub>4</sub>	PH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> S	HCl
মৌলের যোজ্যতা :	1	2	3	4	3	2	1
H-স্কেল :	পরমাণুতে সর্বশেষ কক্ষপথে ইলেকট্রন সংখ্যা = যোজ্যতা সংখ্যা				(8 - সর্বশেষ কক্ষপথে ইলেকট্রন সংখ্যা) = যোজ্যতা সংখ্যা		

## (ঘ) আয়নিকরণ শক্তি (Ionisation Energy)

আমরা ২য় অধ্যায়ে জেনেছি যে, পরমাণু কর্তৃক তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ শোষিত হলে যোজ্যতা ইলেকট্রন উচ্চতর শক্তি স্তরে (n এর মান অধিক) স্থানান্তরিত হয়। ফলে পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাসে পরিবর্তন ঘটে। যদি এর চেয়েও প্রচুর শক্তি শোষিত হয়, তখন ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের প্রভাব মুক্ত হয়ে বের হয়ে পড়ে; ফলে ধনাত্মক আয়ন সৃষ্টি হয়।

**সংজ্ঞা :** গ্যাসীয় অবস্থায় কোনো মৌলের এক মোল বিচ্ছিন্ন পরমাণু থেকে একটি করে ইলেকট্রন সরিয়ে একে গ্যাসীয় বিচ্ছিন্ন এক মোল একক ধনাত্মক আয়নে পরিণত করতে যে পরিমাণ শক্তির প্রয়োজন হয়, তাকে সেই মৌলের আয়নিকরণ শক্তি বা বিভব বলা হয়। একে  $E_i$  দ্বারা প্রকাশ করা হয়।  $E_i$  এর মান সব সময় ধনাত্মক।



Cs এর  $E_i$  হলো সর্বনিম্ন যেমন 375.7 kJ/mol এবং He এর  $E_i$  হলো সর্বাধিক যেমন 2372 kJ/mol.

এক মোল একক চার্জবিশিষ্ট ধনাত্মক আয়ন থেকে এক মোল দ্বিচার্জবিশিষ্ট ধনাত্মক আয়ন সৃষ্টির জন্য প্রয়োজনীয় শক্তিকে দ্বিতীয় আয়নিকরণ শক্তি বলা হয়। যেমন,



\*  $\text{Na}^+$  ও  $\text{K}^+$  এর ২য় আয়নিকরণ শক্তির মান অষ্টক পূর্ণ Ne(10) এর আয়নিকরণ শক্তি ( $E_i = 2080 \text{ kJmol}^{-1}$ ) থেকে অনেক বেশি হয়; কারণ এক্ষেত্রে এদের স্থায়ী অষ্টক ইলেকট্রন বিন্যাস ভাঙতে হয়। তাই  $\text{Na}^{2+}$  আয়ন ও  $\text{K}^{2+}$  আয়ন অবাস্তব বা এসব দ্বিধনাত্মক আয়ন গঠিত হয় না।

মৌলের আয়নিকরণ শক্তির ওপর বিভিন্ন নিয়ামকের প্রভাব :

- পরমাণুর আকার বৃদ্ধিতে আয়নিকরণ শক্তি হ্রাস পায় - গ্রুপভিত্তিক সম্পর্ক।
- উপশক্তিস্তর বৃদ্ধিতে আয়নিকরণ শক্তি বৃদ্ধি পায় - এটি পর্যায়ভিত্তিক সম্পর্ক।
- পূর্ণ ও অর্ধপূর্ণ অরবিটালযুক্ত পরমাণুর অধিক সুস্থিতির কারণে পর্যায়ভিত্তিক সম্পর্কে ব্যতিক্রম ঘটে।



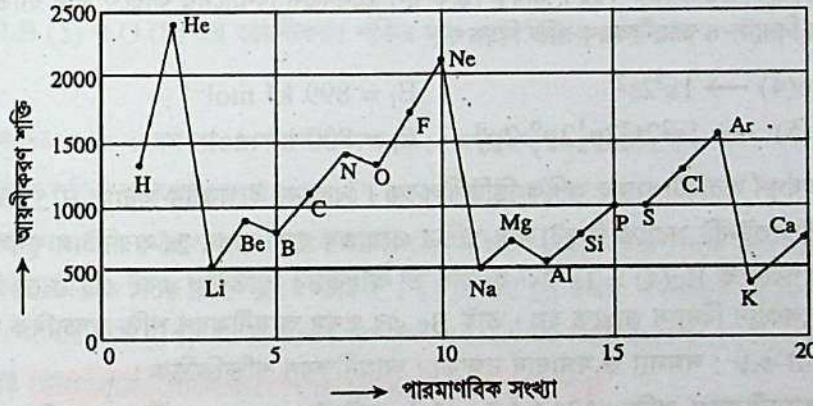
## মৌলের পর্যায়বৃত্ত ধর্ম ও রাসায়নিক বন্ধন

২৮৫

**গ্রুপভিত্তিক সম্পর্ক :** একই গ্রুপে মৌলসমূহের পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে ইলেকট্রনের শক্তিস্তর বাড়ে সর্ববহিস্থ ইলেকট্রন নিউক্লিয়াস থেকে ক্রমশ দূরবর্তী হয় এবং এর ওপর নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ কমে। তাই আয়নীকরণ শক্তি কম হয়; যেমন,

$$\text{Li} = 520 \text{ kJ}, \text{Na} = 496 \text{ kJ}, \text{K} = 419 \text{ kJ}, \text{Rb} = 403 \text{ kJ}, \text{Cs} = 376 \text{ kJ}.$$

**পর্যায়ভিত্তিক সম্পর্ক :** একই পর্যায়ে পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে মৌলের আয়নীকরণ শক্তি ক্রমশ বাড়ে (কেয়েকটি ব্যতিক্রমসহ)। কোনো একটি পর্যায়ে মৌলসমূহের পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির ফলে ইলেকট্রন এর শক্তিস্তর বাড়ে না, উপশক্তিস্তর বাড়ে; ফলে নিউক্লিয়াস থেকে সর্ববহিস্থ ইলেকট্রনের দূরত্ব বাড়ে না, বরঞ্চ কিছু কমে যায়। উপরন্তু নিউক্লিয়াসের চার্জ বৃদ্ধির ফলে সর্ববহিস্থ ইলেকট্রনটি অধিকতর দৃঢ়ভাবে আকৃষ্ট হয় অর্থাৎ তা অপসারণের জন্য অধিকতর শক্তির প্রয়োজন হয়। এতে বোঝা যায় যে, যে কোনো পর্যায়ে গ্রুপ-1 মৌলসমূহের আয়নীকরণ শক্তি সবচেয়ে কম এবং তা ক্রমান্বয়ে বৃদ্ধি পেয়ে কিছু ব্যতিক্রমসহ নিষ্ক্রিয় গ্যাসসমূহের আয়নীকরণ শক্তি সবচেয়ে বেশি হয়। [চিত্র-৩.১০ দেখো]



চিত্র-৩.১০ : ২০টি মৌলের আয়নীকরণ শক্তি বনাম পারমাণবিক সংখ্যার লেখ (পারমাণবিক সংখ্যা ১—২০)।

\* অধিক স্থিতিশীল ইলেকট্রন বিন্যাসের মৌলের আয়নীকরণ শক্তির চেয়ে কম স্থিতিশীল ইলেকট্রন বিন্যাসের মৌলের আয়নীকরণ শক্তি কম হয়। এজন্য ২য় পর্যায়ের গ্রুপ-13 এর B(5) এবং ৩য় পর্যায়ের গ্রুপ-13 এর Al(13) এর আয়নীকরণ শক্তি ক্রম বৃদ্ধি না পেয়ে হঠাৎ হ্রাস পায়।

\* অনুরূপভাবে গ্রুপ-15 এর মৌলসমূহের অর্ধপূর্ণ ইলেকট্রন বিন্যাস অধিক স্থিতিশীল হওয়ায় এদের আয়নীকরণ শক্তির চেয়ে পরবর্তী ২য় পর্যায়ের গ্রুপ-16 এর O(8) এবং ৩য় পর্যায়ের S(16) এর আয়নীকরণ শক্তির মান ক্রমবৃদ্ধির পরিবর্তে হঠাৎ হ্রাস পায়।

সারণি-৩.৪ : ২য় পর্যায়ের মৌলসমূহের আয়নীকরণ শক্তি :

২য় পর্যায়ের মৌল		Li(3)	Be(4)	B(5)	C(6)	N(7)	O(8)	F(9)	Ne.(10)
আয়নীকরণ শক্তি	$E_1$	520	899	800	1086	1402	1314	1681	2080
(kJmol <sup>-1</sup> )	$E_2$	7297	1757	2426	2352	2855	3388	3375	3963
	$E_3$	11,810	14,845	3659	4714	4576	5296	6045	6130

সারণি-৩.৪(ক) : ৩য় পর্যায় ও ৪র্থ পর্যায়ের (s ও p ব্লক) মৌলসমূহের আয়নীকরণ শক্তি :

৩য় পর্যায়ের মৌল		Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
আয়নীকরণ শক্তি	$E_1$	496	738	578	786	1062	1000	1260	
(kJmol <sup>-1</sup> )	$E_2$	4562	1450	1882	—	—	—	—	
৪র্থ পর্যায়ের মৌল		K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
আয়নীকরণ শক্তি	$E_1$	419	590	579	760	945	948	1140	
(kJmol <sup>-1</sup> )	$E_2$	3051	1145	2083	—	—	—	—	



আয়নীকরণ শক্তি মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাসের ওপরও নির্ভরশীল। তাই একই পর্যায়ে আয়নীকরণ শক্তির ক্রমশ বৃদ্ধির ক্ষেত্রে কিছু ব্যতিক্রম পরিলক্ষিত হয়। যেমন—

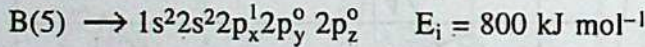
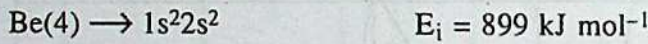
\* বোরনের আয়নীকরণ শক্তি বেরিলিয়াম অপেক্ষা কম। [চিত্র-৩.১০ মতে]

\* অক্সিজেনের আয়নীকরণ শক্তি নাইট্রোজেন অপেক্ষা কম। [চিত্র-৩.১০ মতে]

সমাধানকৃত সমস্যা- ৩.৭ : সমস্যা ও সমাধান দক্ষতা : আয়নীকরণ শক্তিভিত্তিক :

\* B(5) এর আয়নীকরণ শক্তি  $800 \text{ kJmol}^{-1}$ ; কিন্তু Be (4) এর আয়নীকরণ শক্তি  $899 \text{ kJmol}^{-1}$  কেন; ব্যাখ্যা কর।

সমাধান : সাধারণত একই পর্যায়ে পাঃ সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে আয়নীকরণ শক্তি বৃদ্ধি পায়। তবে পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাসের ওপর আয়নীকরণ শক্তি নির্ভর করে। অধিক স্থিতিশীল ইলেকট্রন বিন্যাসের কারণে কিছু ব্যতিক্রম হয়। বোরন ও বেরিলিয়ামের ইলেকট্রন বিন্যাস ও আয়নীকরণ শক্তি নিম্নরূপ :

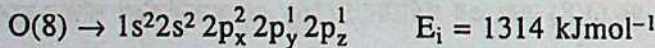
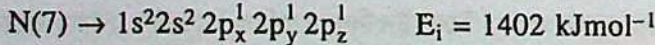


পরমাণুর পূর্ণ ও অর্ধপূর্ণ অরবিটালসমূহ অধিক স্থিতিশীল হয়। বোরনের ইলেকট্রন বিন্যাস  $\text{B}(5) = 1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^0 2p_z^0$ । এক্ষেত্রে  $2p_x^1$  ইলেকট্রনটি সরাসরি কিছুটা কম শক্তির প্রয়োজন হয়। তখন  $2s$  অরবিটাল যুগলবদ্ধ হয়ে স্থিতিশীল বিন্যাস অর্জিত হয়। অপরদিকে  $\text{Be}(4) = 1s^2 2s^2$  হওয়ায় তা অধিকতর স্থিতিশীল এবং এটি থেকে ইলেকট্রন অপসারণ করলে যুগলবদ্ধ  $2s^2$  ইলেকট্রন বিন্যাস ভাঙতে হয়। তাই Be এর প্রথম আয়নীকরণ শক্তি স্বাভাবিক অপেক্ষা বেশি।

সমাধানকৃত সমস্যা-৩.৮ : সমস্যা ও সমাধান দক্ষতা : আয়নীকরণ শক্তিভিত্তিক :

\* অক্সিজেনের আয়নীকরণ শক্তি ( $1314 \text{ kJmol}^{-1}$ ) নাইট্রোজেনের আয়নীকরণ শক্তি ( $1402 \text{ kJmol}^{-1}$ ) অপেক্ষা কম কেন, ব্যাখ্যা কর।

সমাধান : পর্যায়ভিত্তিক আয়নীকরণ শক্তি বাম থেকে ডান দিকে বাড়ে; কিন্তু অধিক স্থিতিশীল ইলেকট্রন বিন্যাসের কারণে ব্যতিক্রম হয়। অক্সিজেন ও নাইট্রোজেনের ইলেকট্রন বিন্যাস ও আয়নীকরণ শক্তি নিম্নরূপ :



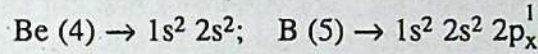
অক্সিজেনের ইলেকট্রন বিন্যাস  $\text{O}(8) = 1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^1 2p_z^1$  হওয়ায় তা থেকে একটি ইলেকট্রন অপসারণ করলে ইলেকট্রন বিন্যাস দাঁড়ায়  $1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$ । একক ধনাত্মক চার্জযুক্ত অক্সিজেন  $\text{O}^+$  আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাসে অর্ধপূর্ণ  $2p$  অরবিটালসমূহ থাকায় তা তুলনামূলকভাবে অধিকতর স্থিতিশীল। ফলে অক্সিজেন-এর প্রথম আয়নীকরণ শক্তি তুলনামূলকভাবে কম। অপরদিকে নাইট্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস হচ্ছে  $\text{N}(7) = 1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$  যা অর্ধপূর্ণ তিনটি  $2p$  অরবিটালের কারণে তুলনামূলকভাবে অধিক স্থিতিশীল। এটি থেকে একটি ইলেকট্রন অপসারণ করলে এ স্থিতিশীলতা ভঙ্গ হয়। ফলে নাইট্রোজেনের আয়নীকরণ শক্তি স্বাভাবিক অপেক্ষা কিছু বেশি হয়। এ কারণে নাইট্রোজেন অপেক্ষা অক্সিজেনের পারমাণবিক সংখ্যা বেশি হলেও নাইট্রোজেনের প্রথম আয়নীকরণ শক্তি অক্সিজেনের প্রথম আয়নীকরণ শক্তি অপেক্ষা বেশি এবং অক্সিজেনের আয়নীকরণ শক্তি কম হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা-৩.৯ : Li (3), Be (4), B (5), C (6), N (7), O (8), F (9)-এ মৌলসমূহের আয়নীকরণ শক্তির ক্রম পরিবর্তন ব্যতিক্রম পরিলক্ষিত হয়; তা বিশ্লেষণ কর। [ব. বো. ২০১৭]

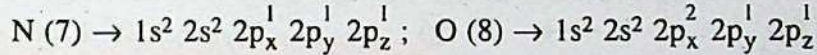
সমাধান : প্রশ্ন মতে, উল্লেখিত মৌলসমূহ যেমন Li (3), Be (4), B (5), C (6), N (7), O (8), F (9) ইত্যাদি হলো পর্যায় সারণির ২য় পর্যায়ভুক্ত আদর্শ মৌল। পর্যায়ভিত্তিক ধর্ম অনুসারে একই পর্যায়ে মৌলসমূহের পাঃ সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে মৌলের আয়নীকরণ শক্তি ক্রমশ বৃদ্ধি পায়। তাই গ্রুপ-1 এর মৌল Li (3) এর আয়নীকরণ শক্তি সবচেয়ে কম  $520 \text{ kJmol}^{-1}$  এবং এ পর্যায়ের ডানদিকের মৌল F (9) এর বেলায় আয়নীকরণ শক্তি বৃদ্ধি পেয়ে  $1681 \text{ kJmol}^{-1}$  হয়।



তবে কম স্থিতিশীল ইলেকট্রন বিন্যাসের কারণে B (5) এর আয়নীকরণ শক্তি Be (4) থেকে কম হয়। তখন B (5) এর  $2p_x^1$  ইলেকট্রন কম শক্তি প্রয়োগে অপসারণে অধিক স্থিতিশীল ইলেকট্রন বিন্যাস Be(4) এর মতো  $B^+$  অর্জন করে।



অনুরূপভাবে N (7) এর চেয়ে O (8) এর ১ম আয়নীকরণ শক্তি কম হয়। এক্ষেত্রে N (7) এর বেলায় অধিক স্থিতিশীল অর্ধপূর্ণ  $2p$  অরবিটাল আছে। কিন্তু O (8) এর বেলায় কম স্থিতিশীল ইলেকট্রন বিন্যাস থেকে একটি ইলেকট্রন কম শক্তি প্রয়োগে অপসারণের পর অধিক স্থিতিশীল অর্ধপূর্ণ  $2p$  অরবিটাল N(7) এর মতো  $O^+$  আয়ন অর্জন করে।



উপরোক্ত কারণে B (5) ও O (8) এর আয়নীকরণ শক্তির মান পর্যায়ভিত্তিক আয়নীকরণ শক্তির ক্রম পরিবর্তনে ব্যতিক্রম সৃষ্টি করেছে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৩.১০ : সমস্যা ও সমাধান দক্ষতা : আয়নীকরণ শক্তিভিত্তিক :

যুক্তিসহ আয়নীকরণ শক্তির বৃদ্ধিক্রম অনুসারে Se, Cl ও S মৌল তিনটিকে সাজাও।

দক্ষতা : (i) পর্যায়গতভাবে মৌলসমূহের আয়নীকরণ শক্তি সাধারণত বাম দিক থেকে ডানদিকে বৃদ্ধি পায়; কিন্তু তা গ্রুপভিত্তিক ওপর থেকে নিচের দিকে হ্রাস পায়। তাই Cl (17) এর  $E_i$  একই পর্যায়ভুক্ত বামে অবস্থিত S (16) এর  $E_i$  থেকে বেশি হবে। আবার Se (34) এর  $E_i$  একই গ্রুপভুক্ত S (16) এর নিচে হওয়ায় S (16) অপেক্ষা কম হবে।

সমাধান : সংশ্লিষ্ট মৌলসমূহের আয়নীকরণ শক্তি ক্রম হলো  $Se < S < Cl$ ।

শিক্ষার্থী নিজে সমাধান কর-৩.৬ : আয়নীকরণ শক্তিভিত্তিক :

সমস্যা-৩.১৩ : পর্যায় সারণির সাহায্য নিয়ে নিচের মৌল যুগলের মধ্যে কোনটির আয়নীকরণ শক্তি বেশি হবে তা ব্যাখ্যা কর। (ক) K ও Br (খ) Ne ও Sr (গ) S ও Te (ঘ) Be ও C

সমস্যা-৩.১৪ : A(7), C(15); B(8), D(16)-এ মৌল চারটির গ্রুপভিত্তিক ও পর্যায়ভিত্তিক আয়নীকরণ শক্তির পরিবর্তন ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৭]

সমস্যা-৩.১৫ : Li(3), Be(4); B(5), C(6), N(7), O(8), F(9)-এ মৌলসমূহের আয়নীকরণ শক্তির ক্রম পরিবর্তনে ব্যতিক্রম পরিলক্ষিত হয়; তা বিশ্লেষণ কর। [সমাধানকৃত সমস্যা-৩.৯ দেখো] [ব. বো. ২০১৭]

সমস্যা-৩.১৬ : তৃতীয় পর্যায়ের মৌলগুলোর বাম থেকে ডানে আয়নীকরণ শক্তির মানের পরিবর্তন ব্যাখ্যা কর। [ঢা. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৩.১৭ (ক) :  $Na^+$  আয়ন গঠিত হলেও  $Na^{2+}$  আয়ন গঠিত হয় না কেন? ব্যাখ্যা কর : [চ. বো. ২০১৫]

(খ)  $Na^+$  এর ২য় আয়নীকরণ শক্তি ও Ne এর আয়নীকরণ শক্তির মধ্যে কোনটির মান বেশি হবে ব্যাখ্যা কর। [দি. বো. ২০১৫]

(গ) N এর ১ম আয়নীকরণ শক্তি O এর ১ম আয়নীকরণ শক্তির চেয়ে বেশি কেন? [দি. বো. ২০১৭; চ. বো. ২০১৬; সি. বো. ২০১৫]

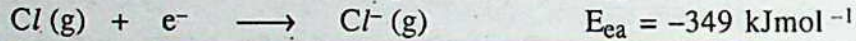
(ঘ)  $D(ns^2)$ ,  $G(n+2)s^2$  এ মৌলদ্বয়ের মধ্যে D অপেক্ষা G এর আয়নীকরণ শক্তি বা বিভব কম কেন;—ব্যাখ্যা কর। [এখানে  $n = 2$ ] [ঢা. বো. ২০১৬]



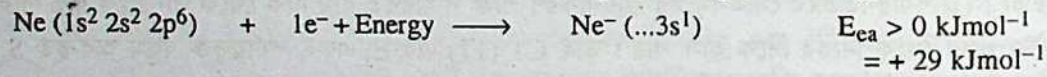
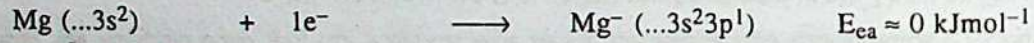
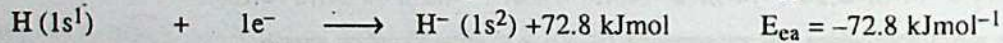
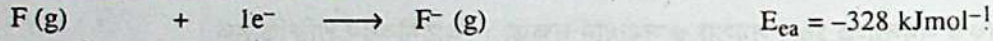
**(ঙ) ইলেকট্রন আসক্তি (Electron Affinity)**

আমরা এর আগের অনুচ্ছেদে জেনেছি যে, পরমাণুর যোজ্যতা স্তরের একটি ইলেকট্রনকে অপসারণ করে ধনাত্মক আয়নে পরিণত করতে প্রয়োজনীয় শক্তি মাপা যায়। একে আয়নীকরণ শক্তি বলা হয়। অনুরূপভাবে পরমাণুতে একটি ইলেকট্রন যুক্ত করে ঋণাত্মক আয়নে পরিণত করতে যে শক্তির পরিবর্তন ঘটে তাও মাপা যায়। এরূপ শক্তির পরিবর্তনকে মৌলটির ইলেকট্রন আসক্তি বলে। যেমন—

সংজ্ঞা : গ্যাসীয় অবস্থায় কোনো মৌলের এক মোল বিচ্ছিন্ন পরমাণু প্রত্যেকে একটি করে এক মোল ইলেকট্রনের সাথে যুক্ত হয়ে গ্যাসীয় বিচ্ছিন্ন এক মোল একক ঋণাত্মক চার্জযুক্ত আয়ন সৃষ্টি করতে যে পরিমাণ শক্তি নির্গত হয়, তাকে সেই মৌলের ইলেকট্রন আসক্তি বলে। একে  $E_{ea}$  দ্বারা প্রকাশ করা হয়।  $E_{ea}$  এর মান ঋণাত্মক হয়।



ইলেকট্রন আসক্তির মান ঋণাত্মক হবে নাকি ধনাত্মক হবে তা পরমাণুটির ইলেকট্রন বিন্যাস ও ইলেকট্রন গ্রহণ করে সৃষ্ট ঋণাত্মক আয়নের স্থায়িত্বের ওপর নির্ভর করে। যেমন,



(i) অপূর্ণ p-অরবিটালযুক্ত পরমাণুসমূহ ইলেকট্রন গ্রহণ করে সৃষ্ট ঋণাত্মক আয়ন অধিকতর স্থায়িত্ব লাভ করে। তাই এদের ইলেকট্রন গ্রহণের আসক্তি বেশি থাকে; এদের  $E_{ea}$  এর মান বেশি ঋণাত্মক হয়।

(ii) s-রক্তের ধাতুসমূহের পরমাণুতে কার্যকর নিউক্লিয়ার চার্জ ( $Z_{eff}$ ) কম থাকে। তাই এরা ইলেকট্রন গ্রহণ করতে আসক্তি দেখায় না। তাই s রক্তের ধাতুর পরমাণুর ইলেকট্রন আসক্তির মান কম হয় (1A গ্রুপের মৌলে) অথবা প্রায় শূন্য হয় (2A গ্রুপের মৌলে)।

(iii) পূর্ণ p-অরবিটালের ( $ns^2 np^6$ ) পরমাণু যেমন নোভেল গ্যাসের বেলায় কার্যকর নিউক্লিয়ার চার্জ  $ns^2 np^6$  ইলেকট্রন মেঘ দ্বারা রুদ্ধ হয়ে যায়। তাই Ne, Ar, Kr, Xe ইত্যাদির ইলেকট্রন আসক্তির মান ধনাত্মক হতে বাধ্য।

1A (1)	2A (2)	3A (13)	4A (14)	5A (15)	6A (16)	7A (17)	8A (18)
H -72.8							He (0.0)
Li -59.6	Be ≤0	B -26.7	C -122	N +7	O -141	F -328	Ne (+29)
Na -52.4	Mg ≤0	Al -42.5	Si -134	P -72.0	S -200	Cl -349	Ar (+35)
K -48.4	Ca -2.37	Ga -28.9	Ge -119	As -78.2	Se -195	Br -325	Kr (+39)
Rb -46.9	Sr -5.03	In -28.9	Sn -107	Sb -103	Te -190	I -295	Xe (+41)
Cs -45.5	Ba -13.95	Tl -19.3	Pb -35.1	Bi -91.3	Po -183	At -270	Rn (+41)

চিত্র-৩.১১ : প্রধান গ্রুপসমূহের মৌলের ইলেকট্রন আসক্তির মান।

মৌলের ইলেকট্রন আসক্তির ওপর বিভিন্ন নিয়ামকের প্রভাব :

মৌলের ইলেকট্রন আসক্তি নিম্নোক্ত বিষয়ের ওপর নির্ভরশীল : (i) পরমাণুর আকার বৃদ্ধিতে ইলেকট্রন আসক্তি হ্রাস পায়—এটি হলো গ্রুপভিত্তিক সম্পর্ক।

(ii) যোজ্যতা স্তরে ইলেকট্রনের ঘনত্ব বৃদ্ধিতে ইলেকট্রন আসক্তি হ্রাস পায় - এটি 7A বা 17 গ্রুপে দেখা যায়। কিন্তু হ্যালোজেনের ইলেকট্রন আসক্তির ক্রম হলো  $Cl > F > Br > I$

(iii) নিউক্লিয়াসে চার্জ বৃদ্ধিতে ইলেকট্রন আসক্তি বৃদ্ধি পায়; এটি পর্যায়ভিত্তিক সম্পর্ক।



জেনে নাও : ইলেকট্রন আসক্তিভিত্তিক বৈশিষ্ট্য :

- কোনো মৌলের ইলেকট্রন আসক্তির মান যতো বেশি সে মৌলটির জারণ ক্ষমতা ততো বেশি হবে। হ্যালোজেন মৌলগুলোর ইলেকট্রন আসক্তির মান বেশি, সেজন্য এরা জারক পদার্থরূপে বিক্রিয়া করে।
- কোনো মৌলের ইলেকট্রন আসক্তির মান যতো বেশি হয়, মৌলটির আয়নিক বন্ধন গঠন করার ক্ষমতা ততো বেড়ে যায়।
- কোনো মৌলের ইলেকট্রন আসক্তির মান বেশি হলে, মৌলটির তড়িৎ ঋণাত্মকতা ধর্ম বৃদ্ধি পায়।

সমাধানকৃত সমস্যা-৩.১১ : সমস্যা ও সমাধান দক্ষতা : ইলেকট্রন আসক্তিভিত্তিক :

\* ফ্লোরিনের ইলেকট্রন আসক্তি ক্লোরিনের চেয়ে কম কেন?

দক্ষতা : (i) F হলো ২য় শক্তিস্তরের মৌল, এতে  $2s^2 2p^5$  যোজ্যতা ইলেকট্রন আছে,

(ii) Cl হলো ৩য় শক্তিস্তরের মৌল, এতে  $3s^2 3p^5$  যোজ্যতা ইলেকট্রন আছে।

সমাধান : ফ্লোরিনের ইলেকট্রন আসক্তি ক্লোরিন অপেক্ষা কম। এর কারণ ফ্লোরিন পরমাণুর ক্ষুদ্র আকার। ফ্লোরিনের ইলেকট্রন বিন্যাসের সর্বশেষ শক্তিস্তর হলো দ্বিতীয় শক্তিস্তর। তৃতীয় শক্তি স্তরের তুলনায় দ্বিতীয় শক্তি স্তরের আকার ছোট হওয়ায় এবং ক্ষুদ্র পরিসরে সাতটি ইলেকট্রন থাকায় তাতে ইলেকট্রন মেঘের ঘনত্ব তুলনামূলকভাবে অনেক বেশি। ফলে আগমনকারী ইলেকট্রনের প্রতি দ্বিতীয় শক্তি স্তরের ইলেকট্রনসমূহের পারস্পরিক বিকর্ষণ বেশি হওয়ায় সামগ্রিকভাবে ফ্লোরিনের ইলেকট্রন আসক্তির মান কম হয়।

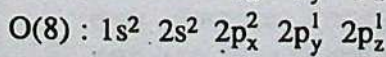
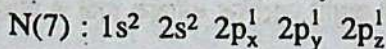
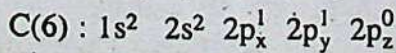
অপরদিকে ক্লোরিনের তৃতীয় শক্তিস্তর বড় হওয়ায় এতে যোজ্যতা স্তরের সাতটি ইলেকট্রন সহজে স্থান করে নেয়। ইলেকট্রন মেঘের ঘনত্ব হ্রাস পাওয়ায় ইলেকট্রন-ইলেকট্রন বিকর্ষণ কম হয়। এতে আগমনকারী ইলেকট্রন সহজে যোজ্যতা স্তরে প্রবেশ করতে পারে। ফলে ক্লোরিনের ইলেকট্রন আসক্তির মান ফ্লোরিনের চেয়ে বেশি হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা- ৩.১২ : সমস্যা ও সমাধান দক্ষতা : ইলেকট্রন আসক্তিভিত্তিক :

\* নাইট্রোজেনের ইলেকট্রন আসক্তি এর বাম ও ডান উভয়দিকের সদস্যদ্বয় C ও O এর চেয়ে কম কেন?

দক্ষতা : মৌলের পরমাণুর ইলেকট্রন আসক্তির পরিমাণ এর যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাসের ওপর নির্ভরশীল।

সমাধান : C, N, O এর ইলেকট্রন বিন্যাস নিম্নরূপ :



(i) C পরমাণুতে 2p উপশক্তিস্তরে দুটি ইলেকট্রন আছে এবং সহজেই বাইর থেকে একটি ইলেকট্রন এর খালি 2p<sub>z</sub> অরবিটালে স্থান করে নিতে পারে।

(ii) N পরমাণুতে অর্ধপূর্ণ 2p উপশক্তিস্তর আছে; নতুন একটি ইলেকট্রন প্রবেশ করতে একটি 2p অরবিটালে যুগলবদ্ধ হতে হয়। তখন উপস্থিত ইলেকট্রন দ্বারা কিছুটা বিকর্ষিত হয়। তাই C পরমাণুর চেয়ে N পরমাণুর ইলেকট্রন আসক্তির মান কম হয়। আবার O-পরমাণুর বেলায় একইভাবে একটি ইলেকট্রন 2p অরবিটালে যুগলবদ্ধ হতে হয়। কিন্তু পর্যায়গতভাবে O-এর কার্যকর নিউক্লিয়ার চার্জ বেশি হওয়ায় উপস্থিত ইলেকট্রন-ইলেকট্রন বিকর্ষণকে নষ্ট করে দেয়। ফলে কার্যকর নিউক্লিয়ার চার্জ N-পরমাণুর চেয়ে বেশি হওয়ায় O এর ইলেকট্রন আসক্তিও বেশি হয়।

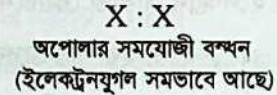
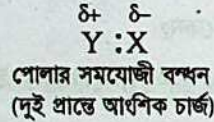
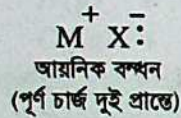
শিকারীর কাজ-৩.৭ : ইলেকট্রন আসক্তিভিত্তিক :

সমস্যা-৩.১৮ : মৌলের ইলেকট্রন আসক্তি ঋণাত্মক, ধনাত্মক ও এমনকি শূন্যও হতে পারে; তা উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।



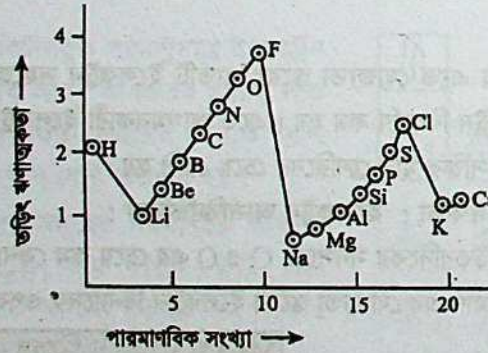
## (চ) তড়িৎ ঋণাত্মকতা (Electronegativity)

আমরা জানি, ধাতু ও অধাতু পরমাণুদ্বয়ের মধ্যে ইলেকট্রন স্থানান্তরের মাধ্যমে আয়নিক বন্ধন ঘটে। অপরদিকে দুটি অধাতব পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রন যুগল শেয়ার করার মাধ্যমে বিশুদ্ধ সমযোজী বন্ধন সৃষ্টি হয়। আবার অসম্পূর্ণ স্থানান্তরিত ইলেকট্রন মেঘ অথবা অসম শেয়ারভুক্ত ইলেকট্রন উভয় পরমাণুর নিউক্লিয়াসের অধীনে অসমভাবে থাকে। এরূপ বন্ধনকে পোলার সমযোজী বন্ধন বলা হয়। তখন বন্ধনে আবদ্ধ দুই পরমাণুর যেটিতে কম ইলেকট্রন মেঘ শেয়ার করে এতে আংশিক ধনাত্মক চার্জ বা ডেল্টা প্রাস ( $\delta+$ ) এবং অপরটিতে আংশিক ঋণাত্মক চার্জ বা ডেল্টা মাইনাস ( $\delta-$ ) চিহ্ন দেয়া হয়। যেমন,



সংজ্ঞা : কোনো সমযোজী যৌগের অণুতে দুটি ভিন্ন মৌলের পরমাণুর মধ্যে শেয়ারকৃত বন্ধন ইলেকট্রন যুগলকে একটি পরমাণু নিজের দিকে বেশি আকর্ষণ করার ক্ষমতাকে সেই মৌলের তড়িৎ ঋণাত্মকতা বলে।

যেমন, সমযোজী H-Cl অণুতে এরূপ ঘটেছে। ফলে HCl অণুটির H-প্রান্তে আংশিক ধনাত্মক চার্জ ( $\delta+$ ) এবং Cl-প্রান্তে আংশিক ঋণাত্মক চার্জ ( $\delta-$ ) সৃষ্টি হয়। তাই Cl-পরমাণুকে অধিক তড়িৎ ঋণাত্মক পরমাণু বলে। সমযোজী অণুর উভয়

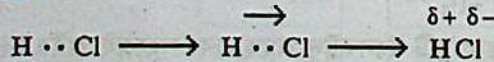


MCQ-3.15 :  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  আয়নের কেন্দ্রীয় পরমাণুর কী ধরনের সংকরণ ঘটে?  
[ঢা. বো. ২০১৭]

(ক)  $sp^2d^2$  (খ)  $sp^3d$   
(গ)  $sp^3d^3$  (ঘ)  $d^2sp^3$

চিত্র-৩.১২ : পারমাণবিক সংখ্যার সাথে তড়িৎ ঋণাত্মকতার পরিবর্তন।

পরমাণুর তড়িৎ ঋণাত্মকতার পার্থক্য 0.5 থেকে 1.9 এর মধ্যে হলে ঐ সমযোজী অণুটি আংশিক ধনাত্মক চার্জ ও আংশিক ঋণাত্মক চার্জ যুক্ত হয়ে পোলার অণু হয়।



## মৌলের তড়িৎ ঋণাত্মকতার ওপর বিভিন্ন নিয়ামকের প্রভাব

মৌলের তড়িৎ ঋণাত্মকতা নিম্নোক্ত বিষয়ের ওপর নির্ভরশীল :

(i) পরমাণুর আকার বৃদ্ধিতে তড়িৎ ঋণাত্মকতা হ্রাস পায় - এটি হলো ঝুপভিত্তিক সম্পর্ক।

(ii) নিউক্লিয়াসে চার্জ বৃদ্ধিতে তড়িৎ ঋণাত্মকতা বৃদ্ধি পায় - এটি হলো পর্যায়ভিত্তিক সম্পর্ক।

পর্যায় সারণির ২য় পর্যায়ের সর্বশেষ ডানে ও গ্রুপ -17(7A) এর সবচেয়ে ওপরে স্থান প্রাপ্ত হওয়ায় ক্ষুদ্রাকার ও অতীব সক্রিয় মৌল হলো F। তাই সমযোজী যৌগ অণুতে শেয়ারকৃত ইলেকট্রনের ওপর ফ্লোরিনের নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ সবচেয়ে বেশি হয়। অর্থাৎ F এর তড়িৎ ঋণাত্মকতা সর্বাধিক হয়। পাউলিং স্কেল মতে F এর তড়িৎ ঋণাত্মকতার মান হলো 4.0।



## মৌলের পর্যায়বৃত্ত ধর্ম ও রাসায়নিক বন্ধন

২৯১

তড়িৎ ঋণাত্মকতা বাম থেকে ডান দিকে  
বৃদ্ধি পায়

H 2.1																	He
Li 1.0	Be 1.5											B 2.0	C 2.5	N 3.0	O 3.5	F 4.0	Ne
Na 0.9	Mg 1.2											Al 1.5	Si 1.8	P 2.1	S 2.5	Cl 3.0	Ar
K 0.8	Ca 1.0	Sc 1.3	Ti 1.5	V 1.6	Cr 1.6	Mn 1.5	Fe 1.8	Co 1.9	Ni 1.9	Cu 1.9	Zn 1.6	Ga 1.6	Ge 1.8	As 2.0	Se 2.4	Br 2.8	Kr
Rb 0.8	Sr 1.0	Y 1.2	Zr 1.4	Nb 1.6	Mo 1.8	Tc 1.9	Ru 2.2	Rh 2.2	Pd 2.2	Ag 1.9	Cd 1.7	In 1.7	Sn 1.8	Sb 1.9	Te 2.1	I 2.5	Xe
Cs 0.7	Ba 0.9	Lu 1.1	Hf 1.3	Ta 1.5	W 1.7	Re 1.9	Os 2.2	Ir 2.2	Pt 2.2	Au 2.4	Hg 1.9	Tl 1.8	Pb 1.9	Bi 1.9	Po 2.0	At 2.1	Rn

উপর থেকে  
নিচের দিকে  
হ্রাস পায়

চিত্র-৩.১৩ : মৌলসমূহের তড়িৎ ঋণাত্মকতার মান।

\* যে কোনো পর্যায়ে বামদিক থেকে যতই ডানদিকে যাওয়া যায়, মৌলের তড়িৎ ঋণাত্মকতা ততই বৃদ্ধি পায়। এর কারণ হচ্ছে একই পর্যায়ে কার্যকর নিউক্লিয়ার চার্জ বৃদ্ধি পায়। ফলে শেয়ারকৃত ইলেকট্রন যুগলকে ঐ পরমাণুর নিউক্লিয়াস অধিক আকৃষ্ট করে এবং তড়িৎ ঋণাত্মকতা বৃদ্ধি পায়। পাউলিং স্কেল মতে, ২য় পর্যায়ের মৌলসমূহের তড়িৎ ঋণাত্মকতা হলো :  
Li = 1.0, Be = 1.5, B = 2.0, C = 2.5, N = 3.0, O = 3.5, F = 4.0

মৌলের ইলেকট্রন আসক্তি ও তড়িৎ ঋণাত্মকতা ধর্মের মধ্যে নিম্নরূপ সম্পর্ক দেখা যায় :

ইলেকট্রন আসক্তি	তড়িৎ ঋণাত্মকতা
১। সংজ্ঞা : গ্যাসীয় অবস্থায় কোনো মৌলের এক মোল বিচ্ছিন্ন পরমাণুর প্রত্যেকে একটি করে ইলেকট্রন যুক্ত করে এক মোল ঋণাত্মক আয়নে পরিণত হতে যে পরিমাণ শক্তি নির্গত হয়, তাকে ঐ মৌলের ইলেকট্রন আসক্তি বলে। এটির একক হলো— $\text{kJmol}^{-1}$	১। সংজ্ঞা : কোনো সমযোজী বৌগের অণুতে দুটি ভিন্ন পরমাণুর মধ্যে শেয়ারকৃত ইলেকট্রন যুগলকে একটি পরমাণু নিজের দিকে বেশি আকর্ষণ করার ক্ষমতাকে ঐ মৌলের তড়িৎ ঋণাত্মকতা বলা হয়। এটির মান একক শূন্য।
২। পর্যায়গত সম্পর্ক : মৌলের ইলেকট্রন আসক্তি একই পর্যায়ের মৌলসমূহের মধ্যে বাম থেকে ডানদিকে বৃদ্ধি পায়। যেমন, P (-72), S (-200) Cl (-349)।	২। পর্যায়গত সম্পর্ক : মৌলের তড়িৎ ঋণাত্মকতা একই পর্যায়ের মৌলসমূহের মধ্যে বাম থেকে ডানদিকে বৃদ্ধি পায়। যেমন, N (3.0), O (3.5), F (4)।
৩। গ্রুপ বা শ্রেণীগত সম্পর্ক: পর্যায় সারণির একই গ্রুপে মৌলসমূহের ইলেকট্রন আসক্তি সাধারণত ওপর থেকে নিচের দিকে হ্রাস পায়। তবে এ ক্রমের ব্যতিক্রমও আছে। যেমন, গ্রুপ-16 এর O (-141), S (-200), Se (-195), Te (-190), Pb (-183)।	৩। গ্রুপ বা শ্রেণীগত সম্পর্ক : একই গ্রুপে অধাতুসমূহের তড়িৎ ঋণাত্মকতা ওপর দিক থেকে নিচের দিকে হ্রাস পায়। তবে p ব্লক ও d ব্লকের ধাতুসমূহের মধ্যে এর ব্যতিক্রমও দেখা যায়। যেমন, B (2.0), Al (1.5), Ga (1.6), In (1.7), Tl (1.8)।
৪। ইলেকট্রন আসক্তির মান : মৌলের ইলেকট্রন আসক্তির মান বিভিন্ন মৌলভেদে ঋণাত্মক, ধনাত্মক ও শূন্য হতে পারে। যেমন, F (-328), N (+7), He (0.0), Be ( $\leq 0$ )।	৪। তড়িৎ ঋণাত্মকতার মান : মৌলের তড়িৎ ঋণাত্মকতা সব মৌলের বেলায় ধনাত্মক মান হয়। তড়িৎ ঋণাত্মকতা শূন্য বা ঋণাত্মক মানের হয় না। যেমন, F (4.0), N (3.0), Be (1.5)।
৫। জারণ-বিজারণ ধর্ম : কোনো মৌলের ইলেকট্রন আসক্তির মান যতো বেশি, সে মৌলটির জারণ ক্ষমতাও ততো বেশি হয়। তবে F ও Cl এর মধ্যে ব্যতিক্রম।	৫। জারণ-বিজারণ ধর্ম : কোনো মৌলের তড়িৎ ঋণাত্মকতা যতো বেশি, সে মৌলটি ততো বেশি শক্তিশালী জারক হয়। যেমন, $F > Cl > Br > I$ ।



ইলেকট্রন আসক্তি	তড়িৎ ঋণাত্মকতা
<p>৬। ইলেকট্রন স্থানান্তর : আয়নিক বন্ধন গঠনকালে ও রিডক্স বিক্রিয়াকালে ইলেকট্রন আসক্তি কার্যকর থাকে। তখন কম ইলেকট্রন আসক্তির পরমাণু থেকে বেশি ইলেকট্রন আসক্তির পরমাণুতে ইলেকট্রন স্থানান্তর ঘটে। ফলে পূর্ণ চার্জ সৃষ্টি হয়। যেমন,</p> $\text{Na} \cdot + \cdot \ddot{\text{Cl}} : \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^- \rightarrow \text{Na}^+ \text{Cl}^-$	<p>৬। ইলেকট্রন চার্জ শিফট : সমযোজী যৌগ গঠনের পর কম ইলেকট্রন চার্জ শিফটের মাধ্যমে তড়িৎ ঋণাত্মকতা কার্যকর হয়। এক্ষেত্রেও কম ইলেকট্রন আসক্তির পরমাণু থেকে বন্ধন ইলেকট্রন যুগলের আংশিক চার্জ বেশি ইলেকট্রন আসক্তির পরমাণু দ্বারা অধিক আকৃষ্ট হয়ে থাকে। ফলে আংশিক ধনাত্মক (+δ) ও আংশিক ঋণাত্মক (-δ) চার্জ সৃষ্টি হয়। যেমন- <math>\overset{\delta+}{\text{H}} \cdot \cdot \overset{\delta-}{\text{Cl}}</math>।</p>
<p>৭। শেষ ফল : অধাতব মৌলের ইলেকট্রন আসক্তির মাত্রা ঐ পরমাণুর অ্যানায়ন গঠনের প্রবণতা সম্পর্কে ধারণা দেয়। ফলে আয়নিক যৌগ গঠনে ঐ মৌল অধিক সক্রিয় হয়।</p>	<p>৭। শেষ ফল : সমযোজী যৌগ অণুতে দুটি পরমাণুর তড়িৎ ঋণাত্মকতার পার্থক্য থেকে ঐ অণুতে সৃষ্ট পোলারিটির মাত্রা সম্পর্কে ধারণা দেয়।</p>

শিক্ষার্থীর কাজ-৩.৮ : ইলেকট্রন আসক্তি ও তড়িৎ ঋণাত্মকতা ভিত্তিক :

সমস্যা-৩.১৯ : তড়িৎ ঋণাত্মকতার চিত্র-৩.১৩ এর সাহায্য নিয়ে ব্যাখ্যা কর। নিচের কোন যৌগ সমযোজী বা আয়নিক অথবা সমযোজী পোলার যৌগ হবে? (১)  $\text{SiCl}_4$  (২)  $\text{CsBr}$  (৩)  $\text{CH}_4$  (৪)  $\text{FeBr}_3$

সমস্যা-৩.১৯(ক) : নিচে লিখিত যৌগের সংকেত থেকে এসব যৌগে এদের বন্ধনের আয়নিক বৈশিষ্ট্যের ক্রম বৃদ্ধি অনুসারে যুক্তিসহ সাজাও। (১)  $\text{CCl}_4$  (২)  $\text{BaCl}_2$  (৩)  $\text{TiCl}_3$  (৪)  $\text{Cl}_2\text{O}$

সমস্যা-৩.২০ (ক) : ফ্লোরিনের ইলেকট্রন আসক্তি ফ্লোরিনের চেয়ে কম কেন; ব্যাখ্যা কর। [ঢা. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৩.২০ (খ) : ফ্লোরিন সবচেয়ে তড়িৎ ঋণাত্মক মৌল; ব্যাখ্যা কর। [সি. বো. ২০১৬; রা. বো. ২০১৬]

সমস্যা-৩.২০ (গ) : E(3), Z(12), A(6), R(8)—এ মৌলগুলোর তড়িৎ ঋণাত্মকতার ক্রম বিশ্লেষণ কর। [চ. বো. ২০১৭]

সমস্যা-৩.২১ (ক) : মৌলের ইলেকট্রন আসক্তি ও তড়িৎ ঋণাত্মকতার মধ্যে গ্রুপ ও পর্যায়ভিত্তিক সম্পর্ক এবং বন্ধন গঠনের ক্ষেত্রে এদের প্রভাব সারণিতে দেখাও।

\* নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও :

মৌল →	F	Cl	Br	I
ইলেকট্রন আসক্তি $\text{kJmol}^{-1}$	-328	-349	-325	-295
তড়িৎ ঋণাত্মকতা	4.0	3.0	2.8	2.5

সমস্যা-৩.২১ (খ) : উদ্দীপকের মৌলসমূহের ইলেকট্রন আসক্তির এরূপ পরিবর্তনের ব্যাখ্যা কর।

সমস্যা-৩.২১ (গ) উদ্দীপকের মৌলসমূহের ইলেকট্রন আসক্তি ও তড়িৎ ঋণাত্মকতার পরিবর্তনের ওপর নিয়ামকের প্রভাব ব্যাখ্যা কর।

### (ছ) ধাতব ধর্ম (Metallic Properties)

পর্যায়ভিত্তিক সম্পর্ক : এর মধ্যে আমরা জেনেছি, (১) একই পর্যায়ে মৌলসমূহের পরমাণুতে বহিঃস্তরে কার্যকর নিউক্লিয়ার চার্জ ( $Z_{\text{eff}}$ ) বামদিক থেকে ডানদিকে ক্রমাগত বাড়তে থাকে। ফলে মৌলের পরমাণুর যোজ্যতা ইলেকট্রন অধিকতরভাবে নিউক্লিয়াস দ্বারা আকৃষ্ট হয়, পারমাণবিক ব্যাসার্ধ হ্রাস পায়, আয়নীকরণ শক্তি, ইলেকট্রন আসক্তি ও তড়িৎ ঋণাত্মকতা সাধারণত বৃদ্ধি পায়। (২) তখন পর্যায় সারণির বামদিকের মৌলসমূহ ইলেকট্রন ত্যাগ করে ধনাত্মক আয়ন এবং অপরদিকে ডানদিকের মৌলসমূহ ইলেকট্রন গ্রহণ করে ঋণাত্মক আয়ন সৃষ্টি করে। (৩) এরূপে পর্যায় সারণির বাম দিক



থেকে ডানদিকের মৌলসমূহে ধাতব ধর্ম হ্রাস পায় এবং অধাতব ধর্ম ক্রমাগত বৃদ্ধি পায়। যেমন ৩য় পর্যায়ের বেলায় Na, Mg Al হলো ধাতু; Si হলো অপধাতু এবং P, S ও Cl হলো অধাতু।

$Z_{\text{eff}}$ , আয়নীকরণ শক্তি, তড়িৎ ঋণাত্মকতা ও অধাতব বৈশিষ্ট্যের বৃদ্ধি

I 1A								18 8A
H	2 2A	13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	He	
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Fl 114			Lv 116			

এ সিঁড়ি লাইন দ্বারা ধাতু অধাতু পৃথক হয়েছে

চিত্র-৩.১৪ : পর্যায়ভিত্তিক মৌলের অধাতব বৈশিষ্ট্য বৃদ্ধি ও গ্রুপভিত্তিক ধাতব বৈশিষ্ট্যের বৃদ্ধি।

**গ্রুপভিত্তিক সম্পর্ক :** (১) পর্যায় সারণির একই গ্রুপে ওপর থেকে নিচের দিকে মৌলের পরমাণুতে ইলেকট্রনের নতুন শক্তিস্তর যুক্ত হয় ও পারমাণবিক ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি পায়। ফলে যোজ্যতা ইলেকট্রন নিউক্লিয়াস থেকে ক্রমাগত দূরে থাকে, আয়নীকরণ শক্তি ও ঋণাত্মকতা হ্রাস পায়। (২) তখন মৌলের ধাতব ধর্ম ওপর দিক থেকে নিচের দিকে বৃদ্ধি পায় ও অধাতব ধর্ম হ্রাস পায়। পর্যায় সারণির বাম দিকের সর্বনিম্ন মৌল ফ্রান্সিয়াম (Fr) হলো সর্বাধিক সক্রিয় ধাতব মৌল। তবে Fr তেজস্ক্রিয় অস্থায়ী ধাতব মৌল হওয়ায়, স্থায়ী সর্বাধিক সক্রিয় ধাতু হলো Cs। (৩) পর্যায় সারণির মাঝখানের বোরন থেকে ডানদিকে যাওয়ার সিঁড়ির আকারে চিহ্নিত রেখার নিকটস্থ B, Si, Ge, As, Sb, Te ইত্যাদি ছয়টি মৌল হলো (সর্বসম্মতভাবে) অপধাতু বা মেটালয়েড বা সেমিমেটেল (semimetals)।

শিক্ষার্থীর কাজ-৩.৯ : ধাতু, অধাতু ও অপধাতুভিত্তিক :

সমস্যা-৩.২২: (ক) নিচের প্রতিটি যুগলের মধ্যে কোনটিতে ধাতব ধর্ম বেশি হবে, তা ব্যাখ্যা কর :

(1) B ও Al (2) Ge ও Br (3) Cl ও Te (4) In ও Se

সমস্যা-৩.২২: (খ) অপধাতু বা মেটালয়েড কী? এদের সংখ্যা ও নাম লেখ। কোন্ কোন্ পর্যায়ে অপধাতুর সংখ্যা বেশি রয়েছে?

**জেনে রাখ :** মৌলের রাসায়নিক ধর্মের ওপর আয়নীকরণ শক্তি ও ইলেকট্রন আসক্তির প্রভাব :

(ক) মৌলের আয়নীকরণ শক্তির মান যতো কম হবে—

\* মৌলটির ধাতব ধর্ম ততো প্রবল হবে, বিজারণ ক্ষমতা ততো বেশি হবে অর্থাৎ ঐ মৌলটি প্রবল বিজারক হবে।  
যেমন-  $Cs > Rb > K > Na > Li$ ।

\* ধাতব মৌলটি ততো সহজে ইলেকট্রন ত্যাগ করে ধনাত্মক আয়নে পরিণত হয়ে আয়নিক বন্ধন গঠন করবে।

(খ) মৌলের ইলেকট্রন আসক্তির মান যতো সংখ্যাগত বেশি হবে—

\* মৌলটির অধাতব ধর্ম ততো প্রবল হবে, জারণ ক্ষমতা ততো বেশি হবে অর্থাৎ ঐ মৌলটি প্রবল জারক হবে।  
যেমন- হ্যালোজেনসমূহ।

\* অধাতব মৌলটি ততো সহজে ইলেকট্রন গ্রহণ করে ঋণাত্মক আয়নে পরিণত হয়ে আয়নিক বন্ধন গঠন করবে।



### ৩.৪ আয়নীকরণ শক্তি, ইলেকট্রন আসক্তি, তড়িৎ ঋণাত্মকতার ওপর বিভিন্ন নিয়ামকের প্রভাব

#### Effect of different factors on Ionisation Energy, Electron affinity & Electronegativity

মৌলসমূহের তিনটি প্রধান পর্যায়বৃত্ত ধর্ম আয়নীকরণ শক্তি, ইলেকট্রন আসক্তি ও তড়িৎ ঋণাত্মকতার ওপর বিভিন্ন নিয়ামক যেমন পরমাণুর আকার, বিভিন্ন উপশক্তিস্তর ও ইলেকট্রন বিন্যাসের প্রভাব রয়েছে। নিচে তা ব্যাখ্যা করা হলো :

#### ৩.৪.১ আয়নীকরণ শক্তির ওপর পরমাণুর আকারের প্রভাব

পরমাণুর আকার মূলত প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা ( $n$ ) এর মান দ্বারা বোঝানো হয়।  $n$  এর মান যতটা বেশি হবে পরমাণুর আকার ততটা বড় হবে। তখন যোজ্যতা স্তরের ওপর নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ কমবে। ফলে মৌলের আয়নীকরণ শক্তি কম হবে। তাই একই গ্রুপে ওপর থেকে নিচের দিকে আয়নীকরণ শক্তি কমতে থাকে। যেমন, গ্রুপ-I এর ধাতুসমূহের পরমাণুর আকার বৃদ্ধির সাথে আয়নীকরণ শক্তি কমতে থাকে।

$$Li = 530 \text{ kJ}, Na = 496 \text{ kJ}, K = 418 \text{ kJ}, Rb = 403 \text{ kJ}, Cs = 376 \text{ kJ}$$

আয়নীকরণ শক্তির ওপর উপশক্তিস্তরের প্রভাব :

উপশক্তিস্তর বলতে  $s, p, d, f$  অরবিটালসমূহকে বোঝানো হয়। পর্যায়ভিত্তিক মৌলসমূহে  $n$  এর মান একই থাকে; কিন্তু একই পর্যায়ের মৌলসমূহের যোজ্যতা ইলেকট্রন বিভিন্ন উপশক্তিস্তরে বা  $s, p, d, f$  অরবিটালে থাকে। একই পর্যায়ের মৌলসমূহের পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে নিউক্লিয়াসে ধনাত্মক চার্জের সংখ্যা বৃদ্ধি পায়। তখন একই অরবিট বা শক্তিস্তরে  $s$ -অরবিটালের ইলেকট্রনের চেয়ে  $p$ -অরবিটালে ইলেকট্রনের প্রতি নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ বেশি থাকে। অনুরূপভাবে  $d$ -অরবিটালের ইলেকট্রনের প্রতি নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ বেশি থাকে। এক্ষেত্রে আয়নীকরণ শক্তি পর্যায়ভিত্তিক বৃদ্ধি পায়। যেমন-  $d$ -উপশক্তিস্তর  $>$   $p$ -উপশক্তিস্তর  $>$   $s$ -উপশক্তিস্তর।

আয়নীকরণ শক্তির ওপর ইলেকট্রন বিন্যাসের প্রভাব :

পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাসে সর্ববহিস্থ শক্তিস্তরের উপশক্তিস্তর বা অরবিটালসমূহ ইলেকট্রন দ্বারা অর্ধপূর্ণ (যেমন  $p^3, d^5$ ) অথবা পরিপূর্ণ (যেমন  $p^6, d^{10}$ ) থাকলে, সে পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস অধিক স্থায়িত্ব লাভ করে। তখন ঐ সব অর্ধপূর্ণ বা পরিপূর্ণ অরবিটালের ইলেকট্রন অপসারণ করতে অধিক পরিমাণ শক্তির প্রয়োজন হয়। সুতরাং উপশক্তিস্তরভিত্তিক আয়নীকরণ শক্তির ক্রম হলো : পূর্ণ উপশক্তিস্তর  $>$  অর্ধপূর্ণ উপশক্তিস্তর  $>$  আংশিক পূর্ণ উপশক্তিস্তর।

#### ৩.৪.২ ইলেকট্রন আসক্তির ওপর পরমাণুর আকারের প্রভাব

পরমাণুর নিউক্লিয়াস থেকে বহিস্থ শক্তিস্তরের দূরত্ব যতটা কম হয়, ইলেকট্রনের প্রতি ঐ নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ ততটা বেশি হয়। তখন অধিক আকর্ষণ শক্তিসহকারে বাইর থেকে আগত ইলেকট্রনটি পরমাণুর যোজ্যতাস্তরে আকৃষ্ট হয়। ফলে নির্গত শক্তির পরিমাণ অধিক হয়। তাই যে পরমাণুর আকার যত ছোট সে পরমাণুর ইলেকট্রন আসক্তি তত বেশি হয়। একই পর্যায়ের মৌলসমূহের পরমাণুর আকার বাম দিক থেকে ডানদিকে ছোট হতে থাকে বলে মৌলের ইলেকট্রন আসক্তির মান বৃদ্ধি পায়। যেমন ২য় পর্যায়ের O পরমাণুর ইলেকট্রন আসক্তি,  $E_{ea} = -141 \text{ kJmol}^{-1}$  এবং এর ডানদিকে অবস্থিত ছোট আকারের F পরমাণুর বেলায় ইলেকট্রন আসক্তি বৃদ্ধি পেয়ে,  $E_{ea} = -328 \text{ kJmol}^{-1}$  হয়েছে।

কিন্তু ফ্লোরিন পরমাণু সবচেয়ে ছোট হওয়া সত্ত্বেও ফ্লোরিনের ইলেকট্রন আসক্তি ( $E_{ea} = -328 \text{ kJmol}^{-1}$ ) ক্লোরিনের ইলেকট্রন আসক্তি ( $E_{ea} = -349 \text{ kJmol}^{-1}$ ) অপেক্ষা কম। এর কারণ ফ্লোরিন পরমাণুর সবচেয়ে ক্ষুদ্র আকার। ফ্লোরিনের ইলেকট্রন বিন্যাসের সর্বশেষ শক্তিস্তর হলো দ্বিতীয় শক্তিস্তর। ক্লোরিন পরমাণুর তৃতীয় শক্তিস্তরের তুলনায় ফ্লোরিনের দ্বিতীয় শক্তিস্তরের আকার ছোট হওয়ায় এবং ২য় শক্তিস্তরের ক্ষুদ্র পরিসরে সাতটি ইলেকট্রন থাকায় তাতে ইলেকট্রন মেঘের ঘনত্ব



তুলনামূলকভাবে অনেক বেশি। ফলে আগমনকারী ইলেকট্রনের প্রতি দ্বিতীয় শক্তি স্তরের ইলেকট্রনসমূহের পারস্পরিক বিকর্ষণ বেশি হওয়ায় সামগ্রিকভাবে ফ্লোরিনের ইলেকট্রন আসক্তির মান ক্লোরিনের চেয়ে কম হয়।

ইলেকট্রন আসক্তির ওপর উপশক্তিস্তরের প্রভাব :

কোনো মৌলের ইলেকট্রন আসক্তি মৌলটির পরমাণুর উপশক্তি-স্তরের ওপর অনেকটা নির্ভর করে। মৌলের সর্ববহিস্থ শক্তিস্তরের ইলেকট্রনের ওপর নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ মধ্যবর্তী উপশক্তি-স্তরের ইলেকট্রন মেঘ দ্বারা আচ্ছাদন ঘটে বা প্রতিহত (shielding) হয়। তাই পরমাণুতে উপশক্তিস্তর যতো বেশি হবে, পরমাণুর যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রনের ওপর নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ ততো কম হবে। ফলে মৌলের ইলেকট্রন আসক্তি কম হবে। এজন্য ২য় ও ৩য় পর্যায়ের মৌলসমূহের ইলেকট্রন আসক্তির মানের চেয়ে ৪র্থ ও ৫ম পর্যায়ের মৌলের ইলেকট্রন আসক্তির মান কম হয়। ইলেকট্রন আসক্তির ওপর উপশক্তিস্তরের এরূপ প্রভাবকে উপশক্তিস্তরের আচ্ছাদন বা শিল্ডিং (shielding) প্রভাব বলা হয়।

ইলেকট্রন আসক্তির ওপর ইলেকট্রন বিন্যাসের প্রভাব :

মৌলের ইলেকট্রন আসক্তি মৌলটির পরমাণুর সর্বশেষ শক্তিস্তরের ইলেকট্রন বিন্যাসের অষ্টক পূর্ণ করার প্রবণতাকে বোঝায়। তাই মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাসের সর্ববহিস্থ স্তরে অষ্টক পূর্ণ হওয়া থেকে ইলেকট্রনের ঘাটতি যতো কম থাকে, মৌলটির ইলেকট্রন আসক্তি ততো বেশি হয়। একই পর্যায়ে বাম দিক থেকে ডান দিকে যতোই অগ্রসর হওয়া যায়, মৌলসমূহের পরমাণুর অষ্টক পূর্ণতা থেকে ইলেকট্রন ঘাটতির সংখ্যা ততো কম হতে থাকে। ফলে মৌলের ইলেকট্রন আসক্তি ততো বৃদ্ধি পায়। তবে F পরমাণুর আকার খুব ছোট হওয়ায় এবং ২য় শক্তিস্তরে ইলেকট্রন ঘনত্বের আধিক্য থাকায় ইলেকট্রনসমূহের মধ্যে বিকর্ষণ প্রভাব অধিক কার্যকরী থাকে। তাই F এর ইলেকট্রন আসক্তি ৩য় শক্তিস্তরের Cl পরমাণুর তুলনায় কম হয়।

### ৩.৪.৩ তড়িৎ ঋণাত্মকতার ওপর পরমাণুর আকার, উপশক্তিস্তর ও ইলেকট্রন বিন্যাসের প্রভাব

পরমাণুর আকার বৃদ্ধির সাথে মৌলের তড়িৎ ঋণাত্মকতা হ্রাস পায়। এটি হলো মৌলের গ্রুপভিত্তিক সম্পর্ক। একই গ্রুপে ওপর থেকে নিচের দিকে মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে প্রধান শক্তিস্তরে উপশক্তিস্তরও বাড়তে থাকে। ফলে নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ যোজ্যতা স্তরের ওপর কমতে থাকে। তাই গ্রুপ-17 এর হ্যালোজেন মৌলসমূহের তড়িৎ ঋণাত্মকতার মান নিম্নরূপে হ্রাস পায় : F = 4.0, Cl = 3.0, Br = 2.8, I = 2.5

ইলেকট্রন বিন্যাস ও উপশক্তিস্তরের প্রভাবও একই রকম থাকে।

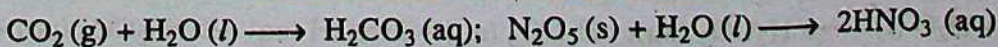
### ৩.৫ ২য় ও ৩য় পর্যায়ের মৌলের অক্সাইডের অম্ল-ক্ষারক ধর্ম

#### Acid-Base Properties of Oxides of 2nd & 3rd Periods' Elements

পর্যায় সারণির ২য় ও ৩য় পর্যায়ের মৌলসমূহের অক্সাইডের অম্ল-ক্ষারক ধর্ম মৌলসমূহের আয়নীকরণ শক্তি, ইলেকট্রন আসক্তি ও তড়িৎ ঋণাত্মকতা প্রভৃতি ধর্মের পার্থক্যের ওপর নির্ভরশীল। পর্যায়ভিত্তিক এসব ধর্মের আলোচনা থেকে আমরা জেনেছি যে,

(১) ২য় পর্যায়ভুক্ত Li, Be এবং ৩য় পর্যায়ভুক্ত Na, Mg, Al হলো ধাতু। অক্সিজেনের সাথে এসব মৌল ইলেকট্রন স্থানান্তরের মাধ্যমে আয়নিক ধাতব অক্সাইড গঠন করে। ধাতব অক্সাইডসমূহ ক্ষারধর্মী হয়। আবার একই পর্যায়ে বাম দিক থেকে ডানদিকে ক্রমান্বয়ে ধাতব ধর্ম হ্রাস পেতে থাকে এবং ডানদিকের শেষ ধাতুটির মধ্যে ধাতব-অধাতব মিশ্র ধর্ম প্রকাশ পায়। Al ধাতুর অক্সাইডের বেলায় তা আমরা দেখতে পাব।

(২) আবার ২য় পর্যায়ভুক্ত B, C, N মৌলের তড়িৎ ঋণাত্মকতা ২ এর অধিক হওয়ায় এসব অধাতব মৌল এবং ৩য় পর্যায়ের Si, P, S প্রভৃতি অনুরূপভাবে অধিক তড়িৎ ঋণাত্মক হওয়ায় এ সব অধাতব মৌল অক্সিজেনের সাথে ইলেকট্রন শেয়ারের মাধ্যমে সমযোজী অক্সাইড গঠন করে। অধাতব সমযোজী অক্সাইডসমূহের মধ্যে উচ্চ জারণ-সংখ্যা যুক্ত অক্সাইড পানির সাথে বিক্রিয়ায় অম্ল উৎপন্ন করে। তাই এদেরকে অম্লধর্মী অক্সাইড ও এসিড অ্যান্‌হাইড্রাইড বলা হয়। যেমন—





নিম্ন জারণ সংখ্যার অধাতব অক্সাইড সাধারণত নিরপেক্ষ হয়। যেমন- CO, N<sub>2</sub>O, NO ইত্যাদি হলো নিরপেক্ষ অক্সাইড।

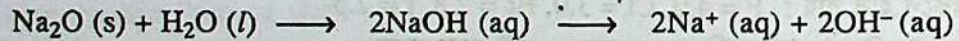
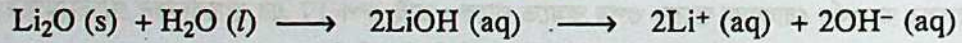
সারণি-৩.৫ : ২য় ও ৩য় পর্যায়ের মৌলের অক্সাইড

		সমযোজী বৈশিষ্ট্যের বৃদ্ধি ক্রম							
		1	2	13	14	15	16	17	18
		1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A
আয়নিক বৈশিষ্ট্যের বৃদ্ধি ক্রম ↓	কার্বনের বৃদ্ধি ক্রম ↓	Li ধাতু Li <sub>2</sub> O সবল ক্ষার	Be ধাতু BeO উভধর্মী	B অধাতু B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C অধাতু CO <sub>2</sub>	N অধাতু N <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			
		Na ধাতু Na <sub>2</sub> O সবল ক্ষার	Mg ধাতু MgO দুর্বল ক্ষারক	Al ধাতু Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> উভধর্মী	Si অধাতু SiO <sub>2</sub> মৃদুঅম্লীয়	P অধাতু P <sub>4</sub> O <sub>10</sub> P <sub>4</sub> O <sub>6</sub>	S অধাতু SO <sub>3</sub> SO <sub>2</sub>	Cl অধাতু Cl <sub>2</sub> O <sub>7</sub> Cl <sub>2</sub> O	
		সবল অম্লধর্মী অক্সাইড							

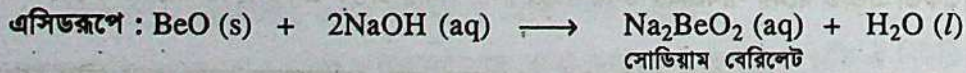
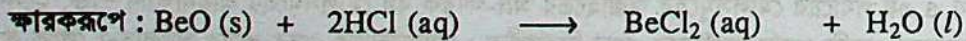
দ্রষ্টব্য : অধাতুর দুটি অক্সাইডের বেলায় উচ্চ জারণ সংখ্যার অক্সাইড অধিকতর অম্লধর্মী ও সবল এসিড তৈরি করে; কিন্তু নিম্নজারণ সংখ্যার অক্সাইড মৃদু অম্লীয় হয় এবং দুর্বল অম্ল তৈরি করে।

পানির সাথে একই পর্যায়ের মৌলসমূহের অক্সাইডের বিক্রিয়ায় ক্ষার ও অম্ল গঠন :

(১) একই পর্যায়ের বিভিন্ন মৌলের অক্সাইডের সাথে পানির বিক্রিয়ায় এদের ক্ষার ধর্ম থেকে অম্লধর্মে ক্রমপরিবর্তনের প্রমাণ মিলে। যেমন, ২য় পর্যায়ের Li<sub>2</sub>O পানির সাথে বিক্রিয়ায় দ্রবণীয় লিথিয়াম হাইড্রক্সাইড (LiOH) সবল ক্ষার এবং ৩য় পর্যায়ের Na<sub>2</sub>O পানির সাথে বিক্রিয়ায় দ্রবণীয় NaOH সবল ক্ষার উৎপন্ন করে।



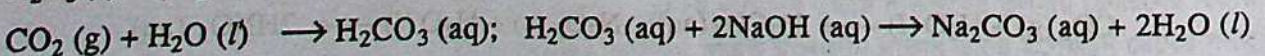
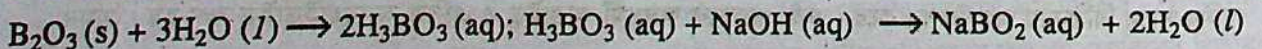
(২) ২য় পর্যায়ের বেরিলিয়াম অক্সাইড (BeO) ও ৩য় পর্যায়ের MgO উভয়েই পানিতে অদ্রবণীয়। তাই এরা পানির সাথে কোনো বিক্রিয়া করে না বলে কোনো ক্ষার দ্রবণ উৎপন্ন হয় না। তবে BeO উভধর্মী অক্সাইডরূপে এসিডের সাথে লবণ ও পানি এবং গাঢ় NaOH দ্রবণের সাথে বেরিলেট লবণ উৎপন্ন করে।



অপরদিকে তৃতীয় পর্যায়ভুক্ত Mg এর অক্সাইড MgO পানিতে অদ্রবণীয় ও পানির সাথে কোনো বিক্রিয়া করে না; কিন্তু দুর্বল ক্ষাররূপে এসিডের সাথে বিক্রিয়ায় লবণ ও পানি উৎপন্ন করে।

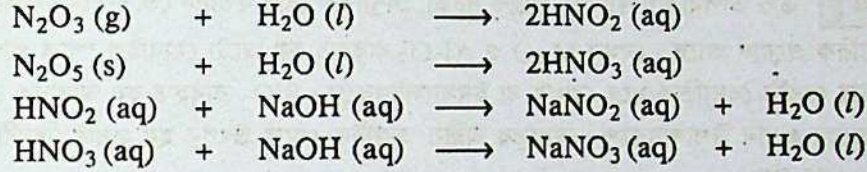


(৩) ২য় পর্যায়ের B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ও CO<sub>2</sub> মৃদু অম্লীয়; উভয় অক্সাইড পানির সাথে বিক্রিয়ায় অস্থায়ী এসিড ও ক্ষার দ্রবণের সাথে বিক্রিয়ায় লবণ ও পানি উৎপন্ন করে। B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> পানিতে অর্ধোবোরিক এসিড ও ক্ষারের সাথে বিক্রিয়ায় মেটাবোরেট উৎপন্ন করে।

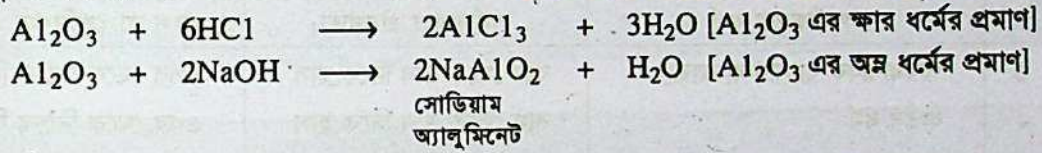




(৪) ২য় পর্যায়ভুক্ত N মৌলের দুটি অক্সাইড  $N_2O_3$  ও  $N_2O_5$  উভয়ই অম্লীয় অক্সাইড। পানির সাথে  $N_2O_3$  এর বিক্রিয়ায় অস্থায়ী নাইট্রাস এসিড ( $HNO_2$ ); কিন্তু  $NaOH$  সহ স্থায়ী লবণ সোডিয়াম নাইট্রাইট ( $NaNO_2$ ) উৎপন্ন করে। কিন্তু  $N_2O_5$  পানিসহ সবল নাইট্রিক এসিড ও স্ফারসহ নাইট্রেট লবণ উৎপন্ন করে।



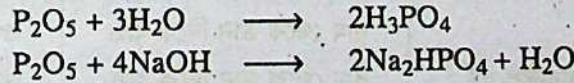
(৫) ৩য় পর্যায়ভুক্ত অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইড ( $Al_2O_3$ ) পানির সাথে বিক্রিয়া করে না, কিন্তু এটি অম্ল ও সবল ক্ষার দ্রবণ উভয়ের সাথে পৃথকভাবে বিক্রিয়া করে লবণ ও পানি উৎপন্ন করে। তাই অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইড উভধর্মী অক্সাইড।



(৬) সিলিকন ডাইঅক্সাইড ( $SiO_2$ ) পানি বা অম্লের সাথে বিক্রিয়া করে না; কিন্তু এটি সবল ক্ষারের সাথে বিক্রিয়া করে সোডিয়াম সিলিকেট লবণ ও পানি উৎপন্ন করে। অর্থাৎ সিলিকন ডাইঅক্সাইড ( $SiO_2$ ) অম্লধর্মী অক্সাইড।



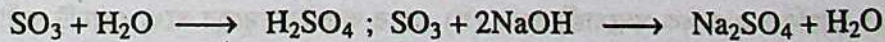
(৭) ডাইফসফরাস পেন্টাঅক্সাইড ( $P_2O_5$ ) পানির সাথে বিক্রিয়া করে দুর্বল অম্ল ফসফরিক এসিড ( $H_3PO_4$ ) উৎপন্ন করে। ক্ষারের সাথে এটির বিক্রিয়ায় ফসফেট লবণ ও পানি উৎপন্ন হয়। সুতরাং  $P_2O_5$  হলো অম্লধর্মী অক্সাইড।



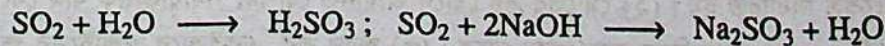
ফসফরাসের আরেকটি অক্সাইড  $P_2O_3$  পানির সাথে বিক্রিয়া করে ফসফরাস এসিড উৎপন্ন করে।



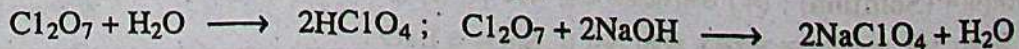
(৮) সালফার ট্রাইঅক্সাইড ( $SO_3$ ) পানির সাথে বিক্রিয়া করে সবল অম্ল সালফিউরিক এসিড ( $H_2SO_4$ ) উৎপন্ন করে। ক্ষারের সাথে এটির বিক্রিয়ায় সালফেট লবণ ও পানি উৎপন্ন হয়। সুতরাং  $SO_3$  হলো অম্লধর্মী অক্সাইড।



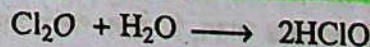
সালফারের আরেকটি অক্সাইড  $SO_2$  পানির সাথে বিক্রিয়ায় সালফিউরাস এসিড ( $H_2SO_3$ ) এবং ক্ষারের সাথে বিক্রিয়ায় সালফাইট লবণ ও পানি উৎপন্ন করে। সুতরাং  $SO_2$  হলো অম্লধর্মী অক্সাইড।



(৯) ডাইক্লোরিন হেপ্টাঅক্সাইড ( $Cl_2O_7$ ) পানির সাথে বিক্রিয়ায় পারক্লোরিক এসিড ( $HClO_4$ ) উৎপন্ন করে।  $Cl_2O_7$  ও ক্ষারের বিক্রিয়ায় পারক্লোরেট লবণ ও পানি উৎপন্ন হয়। তাই  $Cl_2O_7$  হলো অম্লধর্মী।



আবার ক্লোরিন মনোঅক্সাইড ( $Cl_2O$ ) পানির সাথে বিক্রিয়া করে হাইপোক্লোরাস এসিড ( $HClO$ ) উৎপন্ন করে।





উল্লেখ্য যে, ধাতুর অক্সাইড ক্ষারধর্মী; অধাতুর অক্সাইড অম্লধর্মী। এটি হলো মৌলের অক্সাইডসমূহের pH পর্যায়বৃত্ততা ধর্ম। সূত্রাং ২য় ও ৩য় পর্যায়ের মৌলসমূহের অক্সাইডসমূহের ধর্ম থেকে বোঝা যায় যে, একই পর্যায়ে যতোই ডানদিকে যাওয়া যায়, ততোই মৌলসমূহের ধাতু ধর্ম হ্রাস পায় এবং অধাতু ধর্ম বৃদ্ধি পায়।

**জেনে নাও :** উচ্চ তাপমাত্রায় স্থায়িত্ব, যান্ত্রিক দৃঢ়তা, বৈদ্যুতিক রোধ ইত্যাদি ভৌত ধর্মের ওপর ভিত্তি করে বিভিন্ন অক্সাইডের ব্যবহারিক প্রয়োগ আছে। যেমন MgO ও Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ব্যবহৃত হয় অটো মোবাইল স্পার্ক প্লাগ, উচ্চ তাপমাত্রার ইলেকট্রিকেল হিটার প্রভৃতি বৈদ্যুতিক যন্ত্রে রোধক বা ইনসুলেটররূপে। SiO<sub>2</sub> ব্যবহৃত হয় আধুনিক যোগাযোগ ব্যবস্থার অপটিকেল ফাইবারের প্রধান উপাদানরূপে। অধাতুর অম্লীয় অক্সাইড থেকে উৎপন্ন হয় প্রধান তিনটি বাণিজ্যিক এসিড H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub> ও H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>।

এক নজরে :

	পর্যায়বৃত্ত ধর্ম	পর্যায়গত প্রবণতা	গ্রুপ বা শ্রেণীগত প্রবণতা
১	পারমাণবিক ব্যাসার্ধ বা আকার	বাম থেকে ডান দিকে হ্রাস	ওপর থেকে নিচের দিকে বৃদ্ধি
২	ধাতব ধর্ম	বাম থেকে ডান দিকে হ্রাস	ওপর থেকে নিচের দিকে বৃদ্ধি
৩	অধাতব ধর্ম	বাম থেকে ডান দিকে বৃদ্ধি	ওপর থেকে নিচের দিকে হ্রাস
৪	জারণ ক্ষমতা	বাম থেকে ডান দিকে বৃদ্ধি	ওপর থেকে নিচের দিকে হ্রাস
৫	বিজারণ ক্ষমতা	বাম থেকে ডান দিকে হ্রাস	ওপর থেকে নিচের দিকে বৃদ্ধি
৬	যোজ্যতা	বাম থেকে ডান দিকে বৃদ্ধি	কোনো পরিবর্তন হয় না
৭	আয়নীকরণ শক্তি	বাম থেকে ডান দিকে বৃদ্ধি	ওপর থেকে নিচের দিকে হ্রাস
৮	ইলেকট্রন আসক্তি	বাম থেকে ডান দিকে বৃদ্ধি	ওপর থেকে নিচের দিকে হ্রাস
৯	তড়িৎ ঋণাত্মকতা	বাম থেকে ডান দিকে বৃদ্ধি	ওপর থেকে নিচের দিকে হ্রাস
১০	অক্সাইড যৌগের ক্ষারকীয় ধর্ম	বাম থেকে ডান দিকে হ্রাস	ওপর থেকে নিচের দিকে বৃদ্ধি
১১	অক্সাইড যৌগের অম্লীয় ধর্ম	বাম থেকে ডান দিকে বৃদ্ধি	ওপর থেকে নিচের দিকে হ্রাস

সমাধানকৃত সমস্যা-৩.১৩ : সমস্যা ও সমাধান দক্ষতাভিত্তিক :

তিনটি মৌল A, B, C হলো যথাক্রমে ২য় পর্যায়ের গ্রুপ-15(5A); ৫ম পর্যায়ের গ্রুপ-14(4A) ও ৬ষ্ঠ পর্যায়ের গ্রুপ-2(2A) এর। এ তথ্য থেকে (ক) এদের সম্ভাব্য উচ্চ জারণ সংখ্যা বিশিষ্ট অক্সাইডের সংকেত লেখ। (খ) এদের কোনটি অধিক আয়নিক ও অধিক সমযোজী হবে? (গ) এদের অক্সাইডসমূহের মধ্যে কোনটি অম্লীয়, ক্ষারীয় ও নিরপেক্ষ অক্সাইড হবে?

**দক্ষতা (Strategy) :** (১) পর্যায় সারণিতে মৌলের অবস্থান থেকে প্রধানত গ্রুপের মৌলের সর্বোচ্চ জারণ সংখ্যা ও এর অক্সাইডের সংকেত নির্ধারিত হয়। (২) মৌলের সৃষ্ট যৌগে আয়নিক বৈশিষ্ট্য পর্যায়ভিত্তিক বাম থেকে ডানদিকে এবং গ্রুপভিত্তিক নিচের দিক থেকে ওপর দিকে হ্রাস পেয়ে থাকে। (৩) স্মরণ কর, একইভাবে অক্সাইডের ক্ষার ধর্ম থেকে অম্ল ধর্মে পরিবর্তন পর্যায়গতভাবে বাম থেকে ডানদিকে এবং গ্রুপভিত্তিক নিচের দিক থেকে ওপরদিকে ঘটে থাকে।

**সমাধান (Solution) :** (ক) উদ্দীপকের তথ্য মতে A, B, C মৌল তিনটি যথাক্রমে N, Sn ও Ba। এদের সর্বোচ্চ জারণ সংখ্যা যুক্ত অক্সাইডের সংকেত হলো N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, SnO<sub>2</sub> ও BaO।

(খ) BaO হলো সবচেয়ে বেশি আয়নিক; কারণ Ba হলো পর্যায় সারণির বাম দিকের অন্যতম প্রধান গ্রুপ-2(2A) এর মৌল। N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> হলো সবচেয়ে বেশি সমযোজী অক্সাইড কারণ, N হলো পর্যায় সারণির ডানদিকস্থ ওপরের মৌল।



(গ) BaO হলো ক্ষারধর্মী;  $N_2O_5$  হলো অম্লধর্মী এবং  $SnO_2$  হলো উভধর্মী অক্সাইড। লক্ষণীয় যে, Sn হলো প্রধান-গ্রুপ (main group) এর পাঁচটি মৌলের অন্যতম মৌল যারা উভধর্মী অক্সাইড গঠন করে। (যেমন, BeO,  $Al_2O_3$ ,  $Ga_2O_3$ ,  $SnO_2$ ,  $PbO_2$ )

শিক্ষার্থী নিজে সমাধান কর-৩.১০ : অক্সাইডের রাসায়নিক ধর্মভিত্তিক :

সমস্যা-৩.২৩ : নিচের বিক্রিয়াসমূহের সমতায়ুক্ত আয়নিক সমীকরণ লেখ :

(ক) পানিতে কঠিন  $Li_2O$  এর দ্রবণ তৈরিকরণ। (খ) পানিতে  $SO_3$  গ্যাসের দ্রবীভূত হওয়া।

(গ) সবল এসিডে উভধর্মী  $Cr_2O_3$  এর দ্রবীভূত হওয়া।

(ঘ) সবল ক্ষার দ্রবণে  $Co(OH)_2$  এর বিক্রিয়ায়  $Co(OH)_4^{2-}$  সৃষ্টিকরণ।

(ঙ)  $ZnO$  সবল ক্ষার দ্রবণ ও সবল এসিডে দ্রবীভূত হয় কেন ব্যাখ্যা কর।

সমস্যা-৩.২৪ : তৃতীয় পর্যায়ের মৌলগুলোর অক্সাইডের অম্ল-ক্ষার ধর্ম আলোচনা কর।

[ঢা. বো. ২০১৫]

### ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণি শিক্ষকের সহায়তায় চারজনের গ্রুপ করে নিম্নোক্ত মূলনীতি সহকারে উপরোক্ত ধাপ অনুসরণ করে নিচের চিত্রমতে মৌলের দ্রবণীয় অক্সাইডের অম্ল-ক্ষার প্রকৃতি নির্ণয় কর।

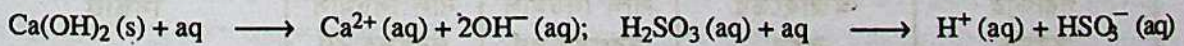
পরীক্ষা নং-১১

তারিখ : .....

পরীক্ষার সময় : ২ পিরিয়ড

### ৩.৬ পরীক্ষার নাম : মৌলের দ্রবণীয় অক্সাইডের অম্ল-ক্ষার প্রকৃতি নির্ণয়

মূলনীতি : দ্রবণীয় ধাতব অক্সাইড পানির সাথে বিক্রিয়া করে ধাতব হাইড্রোক্সাইড উৎপন্ন করে, যা পরে আয়নিত হয়ে পানিতে  $OH^-$  আয়ন সৃষ্টি করে। উৎপন্ন  $OH^-$  আয়ন লাল লিটমাসকে নীল বর্ণ অথবা ইউনিভার্সাল নির্দেশককে নীল বা বেগুনি বর্ণ করে। অপরদিকে অধাতব অক্সাইড পানিতে দ্রবীভূত হয়ে মৃদু এসিড বা সবল এসিড উৎপন্ন করে, যা পানিতে আয়নিত হয়ে হাইড্রোজেন আয়ন বা প্রোটন ( $H^+$ ) সৃষ্টি করে। উৎপন্ন  $H^+$  আয়ন নীল লিটমাসকে লাল বর্ণ অথবা ইউনিভার্সাল নির্দেশককে লাল বা হলুদ বর্ণ করে।



প্রয়োজনীয় অক্সাইড যৌগ : (১) চুন বা ক্যালসিয়াম অক্সাইড ( $CaO$ ), (২) বেরিয়াম অক্সাইড ( $BaO$ ),

(৩) কার্বন ডাইঅক্সাইড ( $CO_2$ ) গ্যাস, (৪) সালফার ডাইঅক্সাইড ( $SO_2$ ) গ্যাস।

প্রয়োজনীয় রাসায়নিক পদার্থ : (১) সোডিয়াম সালফাইট ( $Na_2SO_3$ ), (২)  $HCl$  এসিড, (৩) চূনাপাথর ( $CaCO_3$ ),

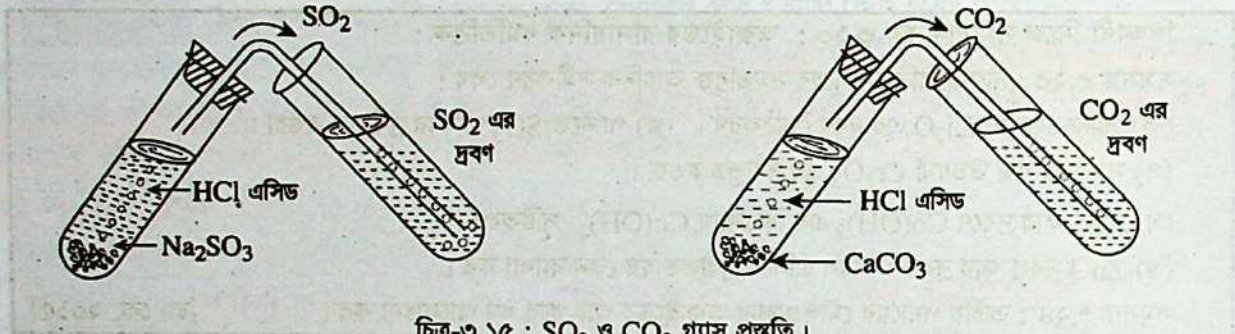
(৪) ডিসটিল্ড ওয়াটার বা বিশুদ্ধ পানি।

প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) টেস্টটিউব, (২) গ্যাস ডেলিভারি বাঁকা নল (কর্কযুক্ত), (৩) লিটমাস পেপার (লাল ও নীল)।

কাজের ধারা : পরীক্ষা নং-(১) : অল্প চূনের গুঁড়া একটি টেস্টটিউবে নিয়ে 10 mL বিশুদ্ধ পানি যোগ করে টেস্টটিউব অর্ধেক পূর্ণ করে মিশ্রণটিকে ভালোভাবে নেড়ে  $CaO$  গুঁড়াকে দ্রবীভূত করা হয়। উৎপন্ন দ্রবণে প্রথমে লাল লিটমাস ও শেষে



নীল লিটমাস পেপার যোগ করে দেখা হয়। লাল লিটমাস নীল ও নীল লিটমাস নীল থাকে। এতে প্রমাণিত হয় চূনের জলীয় দ্রবণ ক্ষারধর্মী। দ্রবণের pH মান 7 থেকে বেশি। নিচের ছকে তা রেকর্ড করা হলো।



পরীক্ষা নং-(২) : পরীক্ষা নং ১ এর মতো অল্প বেরিয়াম অক্সাইড নিয়ে দ্রবণ তৈরি করা হয়। উৎপন্ন দ্রবণে প্রথমে লাল লিটমাস ও পরে নীল লিটমাস পেপার যোগ করা হয়। উভয় ক্ষেত্রে লিটমাস পেপার নীল থাকে। প্রমাণিত হলো বেরিয়াম অক্সাইডের জলীয় দ্রবণ ক্ষারধর্মী। দ্রবণের pH মান 7 থেকে বেশি। নিচের ছকে তা রেকর্ড করা হলো।

পরীক্ষা নং-(৩) : একটি টেস্টটিউবে অল্প সোডিয়াম সালফাইট (Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>) গুঁড়া নিয়ে HCl এসিড যোগ করে গ্যাস ডেলিভারি নল কর্কযুক্ত করা হয়। নির্গত SO<sub>2</sub> গ্যাসকে অপর একটি টেস্টটিউবে নেয়া পানিতে চালনা করা হলো। এবার SO<sub>2</sub> গ্যাসের জলীয় দ্রবণে লাল লিটমাস ও নীল লিটমাস পেপার যোগ করা হলো। উভয় লিটমাস লাল থাকে। এতে প্রমাণিত হয় SO<sub>2</sub> গ্যাসের জলীয় দ্রবণ অম্লধর্মী। দ্রবণের pH মান 7 থেকে কম।

$$\text{SO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_3(\text{l})$$

সালফিউরাস এসিড

পরীক্ষা নং (৪) : পরীক্ষা নং-৩ এর মতো চূনাপাথর থেকে CO<sub>2</sub> গ্যাস তৈরি করে এবং এর জলীয় দ্রবণে লাল লিটমাস ও নীল লিটমাস যোগ করে দেখা গেল উভয় লিটমাস লাল হয়। প্রমাণিত হলো CO<sub>2</sub> এর জলীয় দ্রবণ অম্লধর্মী। দ্রবণের pH মান 7 থেকে কম।

$$\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \longrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3(\text{l})$$

কার্বনিক এসিড

সারণি-৩.৬ : পরীক্ষা, পর্যবেক্ষণ ডাটার চার্ট ও সিদ্ধান্ত

পরীক্ষার ক্রমিক	অক্সাইডের দ্রবণ	লাল লিটমাস দ্রবণসহ বর্ণ	নীল লিটমাস দ্রবণসহ বর্ণ	সিদ্ধান্ত
(১) নং পরীক্ষা :	CaO এর দ্রবণ	নীল	নীল	CaO এর দ্রবণ ক্ষারধর্মী; pH মান 7 থেকে বেশি।
(২) নং পরীক্ষা :	BaO এর দ্রবণ	নীল	নীল	BaO এর দ্রবণ ক্ষারধর্মী; pH মান 7 থেকে বেশি।
(৩) নং পরীক্ষা :	SO <sub>2</sub> এর দ্রবণ	লাল	লাল	SO <sub>2</sub> এর দ্রবণ অম্লধর্মী; pH মান 7 থেকে কম।
(৪) নং পরীক্ষা :	CO <sub>2</sub> এর দ্রবণ	লাল	লাল	CO <sub>2</sub> এর দ্রবণ অম্লধর্মী; pH মান 7 থেকে কম।





আরো দেখুন

প্রতিদিনের চাকুরীর মার্কুলার পেতে [এখানে ক্লিক করুন](#)

প্রতি মাসের কারেন্ট অ্যাফেয়ার্স পিডিএফ [এখানে ক্লিক করুন](#)

চাকুরীর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

বিসিএম এর প্রয়োজনীয় পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

প্রতি সপ্তাহের চাকুরী পত্রিকা ডাউনলোড [এখানে ক্লিক করুন](#)

সকল নিয়োগ পরীক্ষার প্রশ্ন সমাধান [এখানে ক্লিক করুন](#)

**বিডিনিয়োগ.কম দেশের মেরা পিডিএফ কালেকশন**

SSC এর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

HSC এর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

বিশ্ববিদ্যালয় ভর্তির সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

সকল ধরনের **মাজেশন** ডাউনলোড [এখানে ক্লিক করুন](#)





### ৩.৭ মৌলের পর্যায়বৃত্ত ধর্ম ও রাসায়নিক বন্ধনের সম্পর্ক

#### Relation between Periodic Properties and Bond Formation

মৌলের পর্যায়বৃত্ত ধর্মের সাথে রাসায়নিক বন্ধন গঠনের সম্পর্ক বলতে s-ব্লক মৌল ও p-ব্লক মৌলসমূহের যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাসভিত্তিক রাসায়নিক বন্ধনের অষ্টক তত্ত্ব মতে আয়নিক যৌগ ও সমযোজী অণু গঠন সম্বন্ধে বোঝা যায়। এর সাথে আয়নিকরণ শক্তি ও ইলেকট্রন আসক্তি—মৌলের এ দুটি পর্যায়ভিত্তিক ধর্ম জড়িত আছে।

রাসায়নিক বন্ধন : রাসায়নিক বন্ধন হলো পরমাণুসমূহের মধ্যে ইলেকট্রন ত্যাগ ও গ্রহণ অথবা শেয়ার করার মাধ্যমে নিকটস্থ নিষ্ক্রিয় গ্যাসের মতো অধিক স্থায়ী ইলেকট্রন বিন্যাস লাভ করে অণু গঠন করা।

পরমাণুর সর্ববহিস্থ শক্তিস্তরের অর্থাৎ যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন সংখ্যা মৌলটির পর্যায়বৃত্ত ধর্ম প্রকাশ করে। তাই মৌলের রাসায়নিক বন্ধন গঠন মৌলের পর্যায়বৃত্ত ধর্মের সাথে সম্পর্কযুক্ত। রাসায়নিক বন্ধনের অষ্টক তত্ত্ব মতে আয়নিক বন্ধন ও সমযোজী বন্ধন ব্যাখ্যা করা হয়।

(ধাতু + অধাতু) → আয়নিক বন্ধন; (অধাতু + অধাতু) → সমযোজী বন্ধন

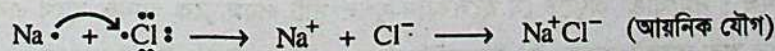
আয়নিক বন্ধন : ধাতু ও অধাতু পরমাণুর যোজ্যতাস্তরে ইলেকট্রন প্রদান ও গ্রহণের মাধ্যমে নিকটস্থ নিষ্ক্রিয় মৌলের মতো অধিক স্থায়ী ইলেকট্রন বিন্যাস অর্জন করে আয়নিক বন্ধন গঠন করে। যেমন,

আয়নিক বন্ধন গঠনে গ্রুপভিত্তিক সম্পর্ক : পর্যায় সারণির গ্রুপ-1 ও গ্রুপ-2 এর যথাক্রমে ক্ষার ধাতু ও মৃৎক্ষার ধাতুসমূহের যোজ্যতা স্তরে যথাক্রমে  $ns^1$  ও  $ns^2$  ইলেকট্রন আছে। অপরদিকে গ্রুপ-17 ও গ্রুপ-16 এর মৌলসমূহে যোজ্যতা স্তরে যথাক্রমে  $ns^2 np^5$  এবং  $ns^2 np^4$  ইলেকট্রনসমূহ আছে।

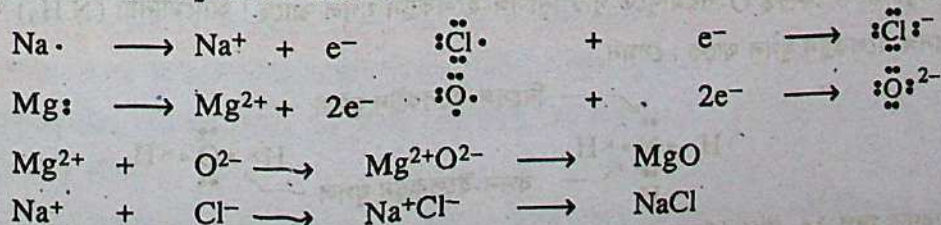
আবার গ্রুপ-1 এর ক্ষার ধাতুসমূহের আয়নিকরণ শক্তি সবচেয়ে কম অর্থাৎ এদের ইলেকট্রন ত্যাগের প্রবণতা সবচেয়ে বেশি এবং গ্রুপ-17 এর হ্যালোজেনসমূহের ইলেকট্রন আসক্তি অর্থাৎ এদের ইলেকট্রন গ্রহণের প্রবণতা সবচেয়ে বেশি।

এতে বোঝা যায়, গ্রুপ-1 এর ধাতুসমূহ এদের  $ns^1$  ইলেকট্রন সহজেই ত্যাগ করে  $M^+$  আয়ন সৃষ্টি করতে পারে এবং সেই ত্যাগ করা ইলেকট্রন গ্রুপ-17 এর মৌল গ্রহণ করে  $X^-$  আয়নে পরিণত হতে পারে।

যেমন, লুইস প্রতীকের মাধ্যমে সোডিয়াম পরমাণু ( $Na\cdot$ ) ও ক্লোরিন পরমাণুর ( $:\ddot{Cl}\cdot$ ) ইলেকট্রন ত্যাগ ও গ্রহণের মাধ্যমে নিম্নরূপে  $NaCl$  অণু গঠিত হয়।



অনুরূপভাবে গ্রুপ-2 এর মৌল  $ns^2$  ইলেকট্রনদ্বয় ত্যাগ করে  $M^{2+}$  আয়ন সৃষ্টি করতে সক্ষম। গ্রুপ-16 এর মৌলসমূহ দুটি ইলেকট্রন গ্রহণ করে  $X^{2-}$  আয়নে পরিণত হতে পারে। এক্ষেত্রে প্রত্যেক  $M^+$ ,  $M^{2+}$ ,  $X^-$  ও  $X^{2-}$  আয়নসমূহ এদের নিকটস্থ নিষ্ক্রিয় গ্যাসের পরমাণুর মতো ইলেকট্রন বিন্যাসে অষ্টক পূর্ণ করেছে। শেষে ধনাত্মক আয়ন ও ঋণাত্মক আয়নসমূহ চার্জ সংখ্যা মতে যুক্ত হয়ে  $MX$ ,  $MX_2$  ইত্যাদি আয়নিক যৌগ গঠন করতে পারে।



বৈশিষ্ট্য : (১) একই গ্রুপে যতো নিচের দিকে পারমাণবিক সংখ্যা মতে যাওয়া যায়, এসব মৌলের সৃষ্ট আয়নের আকার ততোই বৃদ্ধি পায়। আয়নিক আকার যতোই বৃদ্ধি পায়, সৃষ্ট আয়নিক বন্ধন ততোই দুর্বল হয়।

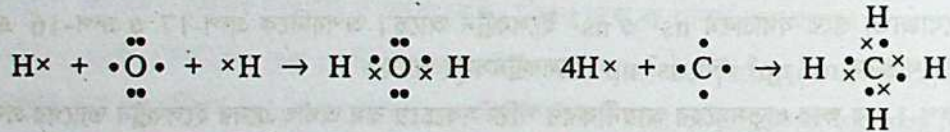


(২) 'Like dissolves like' নিয়ম মতে আয়নিক যৌগগুলো পোলার পানিতে দ্রবীভূত হয়। কিন্তু বিশুদ্ধ সমযোজী যৌগ অণুতে কোনো পোল (pole) বা ধনাত্মক ও ঋণাত্মক মেরু সৃষ্টি হয় না বলে এরা পানিতে অদ্রবণীয়। এরা অপোলার জৈব দ্রাবক বেনজিন ও কেরোসিনে দ্রবণীয়। যেমন কেরোসিন নামক হাইড্রোকার্বন ( $C_{11}H_{24}$ ) পানিতে অদ্রবণীয়।

(৩) ধাতুর পরমাণুসমূহ ১টি বা ২টি বা ৩টি ইলেকট্রন ত্যাগ করতে যে আয়নিকরণ শক্তির প্রয়োজন হয়; এর চেয়ে বেশি ৪টি ইলেকট্রন ত্যাগ করার প্রয়োজনীয় শক্তি পরিবেশ থেকে পাওয়া দুষ্কর। তাই অনেক মৌল ইলেকট্রন শেয়ার করে নিকটস্থ নিষ্ক্রিয় গ্যাসের স্থায়ী ইলেকট্রন বিন্যাস লাভ করে বন্ধনে আবদ্ধ হয়; এরূপ বন্ধনকে সমযোজী বন্ধন বলে।

সমযোজী বন্ধন : অধাতব পরমাণুসমূহ ইলেকট্রন যুগল শেয়ারের মাধ্যমে সমযোজী অণু গঠন করে। রাসায়নিক পরিবেশে অধাতব পরমাণুসমূহ প্রত্যেকে সমসংখ্যক ইলেকট্রন যোগান দিয়ে প্রথমে 'ইলেকট্রন-যুগল' গঠন করে এবং পরে ঐ 'ইলেকট্রন-যুগল' উভয় পরমাণু 'শেয়ার করে' নিকটস্থ নিষ্ক্রিয় মৌলের মতো ইলেকট্রন বিন্যাস লাভ করে বন্ধনে আবদ্ধ হয়; এরূপ বন্ধনকে সমযোজী বন্ধন বলে। যেমন,

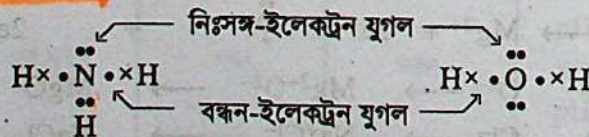
H পরমাণু ও O পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রন যুগল গঠন ও শেয়ার করার মাধ্যমে সমযোজী পানি ( $H_2O$ ) অণু গঠন এবং কার্বন (C) পরমাণু ও H পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রন যুগল শেয়ার করে সমযোজী মিথেন ( $CH_4$ ) অণু গঠন 'লুইস-প্রতীক'-এর মাধ্যমে নিচে দেখানো হলো :



লক্ষ্যণীয়, কোনো কোনো সমযোজী অণুতে 'লুইস প্রতীকে' অষ্টক তত্ত্ব মতে কেন্দ্রীয় পরমাণুর প্রতীকের চার পার্শ্বে 'বন্ধন-ইলেকট্রন যুগল' (bond pair-electrons) ও 'নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল' (Lone pair-electrons) উভয়ই থাকে। আবার কোনো সমযোজী অণুতে কেবল বন্ধন-ইলেকট্রন যুগল থাকে; নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল থাকে না। যেমন  $H_2O$  অণুতে O পরমাণুর ওপর ও নিচে দুটি নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল এবং দু'পার্শ্বে দুটি বন্ধন-ইলেকট্রন যুগল আছে। কিন্তু  $CH_4$  অণুতে চারটি বন্ধন-ইলেকট্রন যুগল আছে; কোনো নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল নেই।

বন্ধন-ইলেকট্রন যুগল : সমযোজী অণুতে যে ইলেকট্রন-যুগল দুটি পরমাণুকে আবদ্ধ রাখে এবং ঐ ইলেকট্রন-যুগল উভয় পরমাণুর নিউক্লিয়াস দ্বারা আকৃষ্ট থাকে, সে ইলেকট্রন যুগলকে বন্ধন-ইলেকট্রন যুগল বলে। যেমন পানি ( $H_2O$ ) অণুতে দুটি করে বন্ধন-ইলেকট্রন যুগল আছে এবং  $CH_4$  অণুতে চারটি বন্ধন-ইলেকট্রন যুগল আছে।

নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল : সমযোজী অণুতে যে ইলেকট্রন যুগল কেবল কেন্দ্রীয় পরমাণুর নিউক্লিয়াস দ্বারা আকৃষ্ট থাকে এবং ইলেকট্রনের অক্টেট-সেট গণনায় ভূমিকা রাখে, সে ইলেকট্রন যুগলকে নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল বলে। যেমন পানি ( $H_2\ddot{O}$ ) অণুর মধ্যে কেন্দ্রস্থ O-পরমাণুতে দুটি নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল আছে। অ্যামোনিয়া ( $\ddot{N}H_3$ ) অণুর N-পরমাণুতে একটি নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল থাকে। যেমন,



সাধারণত গ্রুপ-14, গ্রুপ-15, গ্রুপ-16 ও গ্রুপ-17 এর মৌলসমূহের মধ্যে ইলেকট্রন শেয়ার করার মাধ্যমে সমযোজী বন্ধন গঠিত হয়।



### ৩.৮ সমযোজী বন্ধনের অরবিটাল অধিক্রমণ : যোজনী বন্ধন মতবাদ

#### Orbital Overlapping in Covalent Bond : Valence Bond Theory

\* অরবিটালের অধিক্রমণ বলতে দুটি পরমাণুর দুটি অরবিটালের পারস্পরিক উপরিস্থাপনকে বোঝায়। পরমাণুর সর্ববহিস্থ শক্তিস্তরের মোট অর্ধপূর্ণ অরবিটাল (বা বিজোড় ইলেকট্রন) সংখ্যা ঐ মৌলের যোজন অরবিটাল সংখ্যা প্রকাশ করে। যেমন— উদ্দীপিত কার্বন পরমাণু (\*C) এর চারটি অর্ধপূর্ণ অরবিটাল আছে।  $*C(6) = 1s^2 \boxed{2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1}$

\* দুটি পরমাণুর একটি করে অর্ধপূর্ণ যোজন অরবিটাল পরস্পর অধিক্রমণের ফলে একটি সমযোজী বন্ধন সৃষ্টি হয়। এক্ষেত্রে দুটি অর্ধপূর্ণ অরবিটাল বিপরীত স্পিনযুক্ত হতে হয়। উল্লেখ্য একই অরবিটালে প্রবেশের জন্য দুটি ইলেকট্রনের স্পিন প্রয়োজনে পুনর্বিন্যাস করে বিপরীত স্পিনযুক্ত হতে হয়; নতুবা অধিক্রমণ ঘটে না।



\* অরবিটালের অধিক্রমণ উভয় অরবিটালের অক্ষ বরাবর হতে হবে। অরবিটালদ্বয়ের অধিক্রমণের পরিমাণ যতটা বেশি হবে সৃষ্ট বন্ধনের শক্তি ততটা বেশি হবে। উভয় অরবিটালের অধিক্রমণের ফলে পরমাণু দুটির নিউক্লিয়াসের মাঝামাঝি স্থানে ইলেকট্রন মেঘের সাধারণ ঘনত্ববিশিষ্ট একটি ক্ষেত্র সৃষ্টি হয়; এটাকে আণবিক অরবিটাল বলা হয়।

\* আণবিক অরবিটালে উভয় পরমাণুর নিট আকর্ষণ শক্তি সবচেয়ে বেশি অর্থাৎ স্থিতিশক্তি সবচেয়ে কম হয়। পরমাণুর পারমাণবিক অরবিটাল যে শক্তিয়ুক্ত থাকে সৃষ্ট আণবিক অরবিটালের শক্তি যদি তার চেয়ে কম হয়, তবেই স্থিতিশীল সমযোজী বন্ধন গঠিত হয়।

#### ৩.৮.১ সমযোজী বন্ধনের শ্রেণিবিভাগ

##### Classification of Co-valent Bonds

\* দুটি পরমাণুর দুটি অরবিটালের অধিক্রমণ সামনা-সামনি অথবা পাশাপাশি দু'ভাবে ঘটতে পারে। দুটি অরবিটালের মধ্যে সামনা-সামনি অধিক্রমণ ঘটলে তাদের অক্ষ বরাবর সর্বাধিক ইলেকট্রন ঘনত্ববিশিষ্ট বন্ধন সৃষ্টি হয়, একে সিগমা ( $\sigma$ ) বন্ধন বলা হয়। অপরদিকে দুটি পরমাণুর মধ্যে সিগমা বন্ধন গঠনের পর উভয় পরমাণুর দুটি সমান্তরাল p অরবিটালের পাশাপাশি অধিক্রমণ ঘটলে সৃষ্ট বন্ধনে ইলেকট্রনের ঘনত্ব কম থাকে, একে পাই ( $\pi$ ) বন্ধন বলে। যেহেতু দুটি পরমাণুর একটি করে অর্ধপূর্ণ যোজন অরবিটাল পরস্পর অধিক্রমণের ফলে একটি সমযোজী বন্ধন সৃষ্টি হয়; সেহেতু সিগমা বন্ধন ও পাই বন্ধন উভয়েই মূলত সমযোজী বন্ধন।

(ক) সিগমা ( $\sigma$ ) বন্ধন (Sigma bond) : সমযোজী বন্ধন সৃষ্টির সময় যখন দুটি পরমাণুর যোজ্যতা স্তরের দুটি অরবিটালের পরস্পরের সাথে সামনাসামনি অধিক্রমণ ঘটে, তখন উৎপন্ন বন্ধনকে সিগমা ( $\sigma$ ) বন্ধন বলা হয়। দুটি s অরবিটাল (s-s), একটি s ও একটি p অরবিটাল (s-p) এবং দুটি p অরবিটালের (p-p) সামনাসামনি অধিক্রমণের ফলে  $\sigma$  বন্ধনের সৃষ্টি হতে পারে। ৩.১৬ নং চিত্রে বিভিন্ন অরবিটালের অধিক্রমণ দেখানো হলো।

উদাহরণ : তিনটি চিত্রে  $H_2$  অণু গঠনে s-s সিগমা ( $\sigma$ ) বন্ধন,  $F_2$  অণু গঠনে p-p সিগমা ( $\sigma$ ) বন্ধন ও HCl অণু গঠনে s-p সিগমা বন্ধন থাকে।

উল্লেখ্য বিশুদ্ধ s ও p অরবিটাল সিগমা  $\sigma$  বন্ধন গঠন করে। এ ছাড়া বিভিন্ন ধরনের সংকর অরবিটালও  $\sigma$  বন্ধন সৃষ্টিতে অংশগ্রহণ করে থাকে।







বন্ধন ও একটি পাই বন্ধন বিদ্যমান। সব C-H বন্ধন সিগমা বন্ধন। অ্যাসিটিলিন যৌগের অণুতে দুটি কার্বন পরমাণুর মধ্যে একটি সিগমা এবং দুটি পাই বন্ধন বিদ্যমান [৩.১৯ নং চিত্র]।

**পাই ( $\pi$ ) বন্ধনের বৈশিষ্ট্য :** দুটি পরমাণু সিগমা বন্ধনে আবদ্ধ হওয়ার পর উভয় পরমাণুর সমান্তরাল অক্ষবিশিষ্ট দুটি অরবিটালের পাশাপাশি অধিক্রমণে পাই বন্ধন ঘটে। পাশাপাশি অধিক্রমণ এলাকায় ইলেকট্রন মেঘের ঘনত্ব কম থাকে; তাই পাই ( $\pi$ ) বন্ধন সিগমা ( $\sigma$ ) বন্ধন থেকে দুর্বল হয়। সংকর অরবিটালে পাই ( $\pi$ ) বন্ধন ঘটে না; s-অরবিটাল ছাড়া বিশুদ্ধ অন্য অরবিটালে ঘটে।

শিক্ষার্থীর কাজ-৩.১১ : রাসায়নিক বন্ধনভিত্তিক :

সমস্যা-৩.২৫(ক) : সমযোজী বন্ধন কী?

(খ) ব্যাখ্যা কর : (১) বন্ধন-ইলেকট্রন যুগল, (২) নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল।

(গ) সিগমা বন্ধন কী?

[জ. বো. ২০১৭; চ. বো. ২০১৫]

(ঘ) সিগমা বন্ধন মূলত সমযোজী বন্ধন; ব্যাখ্যা কর।

[রা.. বো. ২০১৬]

(ঙ) পাই বন্ধন কাকে বলে; ব্যাখ্যা কর।

(চ) সিগমা বন্ধন অপেক্ষা পাই বন্ধন দুর্বল হয় কেন?

(ছ) একটি  $p_y$  ও একটি  $p_z$  অরবিটালের মধ্যে পাই বন্ধন গঠন সম্ভব কীনা ব্যাখ্যা কর।

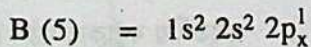
### ৩.৯ অরবিটাল সংকরণ বা হাইব্রিডাইজেশন

#### Hybridisation of Orbitals

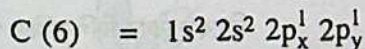
পারমাণবিক অরবিটাল তত্ত্ব মতে পরমাণুর যোজ্যতা স্তরে যে কয়টি বিজোড় ইলেকট্রন থাকে, সে সংখ্যাই ঐ মৌলের যোজনী হয়। অর্থাৎ সমযোজী বন্ধন গঠনে যোজ্যতা স্তরে বিজোড় ইলেকট্রন থাকে। যেমন H, Cl এর প্রত্যেকের যোজ্যতা স্তরে ১টি করে বিজোড় ইলেকট্রন আছে; O পরমাণুর ২টি বিজোড় ইলেকট্রন আছে। তাই H, Cl, O এর যোজনী যথাক্রমে 1, 1, 2। কিন্তু Be, B, C প্রভৃতি পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাসের সাথে তাদের প্রকৃত যোজনী সংখ্যার ব্যাখ্যা পাওয়া যায় না। তাদের ইলেকট্রন বিন্যাস নিম্নরূপ :



লক্ষ্য কর, এতে বিজোড় ইলেকট্রন নেই।

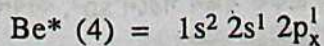


লক্ষ্য কর, এতে ১টি বিজোড় ইলেকট্রন আছে।

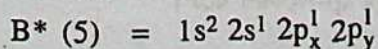


লক্ষ্য কর, এতে ২টি বিজোড় ইলেকট্রন আছে।

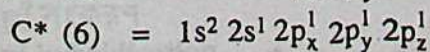
কিন্তু বাস্তবে  $\text{BeCl}_2$ ,  $\text{BCl}_3$ ,  $\text{CH}_4$  প্রভৃতি যৌগে Be, B, C এর যোজনী যথাক্রমে 2, 3, 4 হয়েছে। এর ব্যাখ্যায় বিজ্ঞানীরা বলেন, বিক্রিয়াকালে পরমাণুসমূহ প্রয়োজনীয় শক্তি পেয়ে উদ্দীপিত হওয়ার কালে তাদের যোজ্যতা স্তরের জোড়বদ্ধ  $2s^2$  ইলেকট্রন বিজোড় হয়ে একই শক্তিস্তরের পৃথক  $2p$  অরবিটালে স্থানান্তরিত হয়। ফলে বিজোড় অরবিটাল গঠন করে। উদ্দীপিত অবস্থায় তাদের ইলেকট্রন বিন্যাস নিম্নরূপ :



লক্ষ্য কর, এতে ২টি বিজোড় ইলেকট্রন আছে।



লক্ষ্য কর, এতে ৩টি বিজোড় ইলেকট্রন আছে।



লক্ষ্য কর, এতে ৪টি বিজোড় ইলেকট্রন আছে।

এরূপ ব্যাখ্যায় Be, B, C এর যোজনী সংখ্যা 2, 3, 4 হওয়ার ব্যাখ্যা মিলে। কিন্তু তাদের  $2s^1$ ,  $2p_x^1$ ,  $2p_y^1$ ,  $2p_z^1$  অরবিটালের ইলেকট্রন দ্বারা গঠিত অণুতে প্রত্যেক সমযোজী বন্ধন শক্তি এবং বন্ধন কোণ সমান হতে পারে না। পরীক্ষালব্ধ



তথ্য মতে  $\text{CH}_4$  অণুতে চারটি C-H সমযোজী বন্ধনই সমশক্তিসম্পন্ন ( $415 \text{ kJmol}^{-1}$ ) এবং চারটি বন্ধন কোণ পরস্পর সমান ( $109^\circ 28'$ )।

প্রচলিত অরবিটাল তত্ত্ব ও পরীক্ষালব্ধ ফলাফলের মধ্যে এ পার্থক্য নিরসন করে এবং পরমাণুর বন্ধন গঠনের প্রবণতা, সৃষ্ট যৌগ অণুর আকৃতি ও বন্ধন শক্তি ব্যাখ্যার উপযুক্ত করে 1931 খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী লিনাস পলিং অরবিটাল সংকরণ বা হাইব্রিডিজেশন মতবাদ প্রদান করেন। বিক্রিয়াকালে কোনো পরমাণুর যোজ্যতা স্তরের বিভিন্ন শক্তির অরবিটালসমূহ পরস্পরের সাথে মিশ্রিত হয়ে পরে সমশক্তির অরবিটাল সৃষ্টির প্রক্রিয়াকে অরবিটালসমূহের সংকরণ বা হাইব্রিডিজেশন বলা হয়। সংকরণ প্রক্রিয়ায় সৃষ্ট অরবিটালসমূহকে সংকর অরবিটাল (hybrid orbitals) বলা হয়।

অরবিটাল সংকরণ মতবাদের সারসংক্ষেপ হলো নিম্নরূপ :

(১) শুধুমাত্র একক বিচ্ছিন্ন পরমাণুর অরবিটালের সংকরণ ঘটতে পারে।

(২) একই শক্তিস্তরের প্রায় সমশক্তিসম্পন্ন অরবিটালসমূহ সংকরণে অংশ গ্রহণ করে।

সংকরণে যতগুলো অরবিটাল অংশগ্রহণ করে, ঠিক ততটি সমশক্তির সংকর অরবিটাল সৃষ্টি হয়। (এটি সমশক্তি বন্ধন সৃষ্টি ব্যাখ্যা দেয়।) সংকরণের ফলে সৃষ্ট অরবিটালসমূহের শক্তি সমান হওয়ায় তারা পরস্পরকে বিকর্ষণ করে সমান কৌণিক দূরত্ব সৃষ্টি করে। ফলে তাদের দিক নির্দেশনা বিভিন্ন হয়। সংকরণের প্রকৃতি থেকে অণুর আকৃতি ও অণুর মধ্যকার বন্ধন কোণ সম্পর্কে ধারণা করা সম্ভব। পারমাণবিক অরবিটালের মতো সংকর অরবিটালেও সর্বাধিক দুটো ইলেকট্রন থাকতে পারে। সংকর অরবিটালসমূহ বিস্তৃত পারমাণবিক অরবিটাল অপেক্ষা ভিন্ন পরমাণুর অরবিটালসমূহের সাথে অধিকতরভাবে অধিক্রমণ হতে পারে। ফলে সংকর অরবিটালসমূহ থেকে সৃষ্ট বন্ধনসমূহ অধিকতর শক্তিশালী হয়। অরবিটালের সংকরণ ঘটে; ইলেকট্রনের নয়। প্রত্যেক সংকর অরবিটালেও বিপরীত স্পিনের দুটি করে ইলেকট্রন থাকে।

### ৩.৯.১ সংকর অরবিটালের প্রকারভেদ

#### Different Types of Hybrid Orbitals

অরবিটালসমূহের বিভিন্ন ধরনের সংকরণ হতে পারে; যেমন—

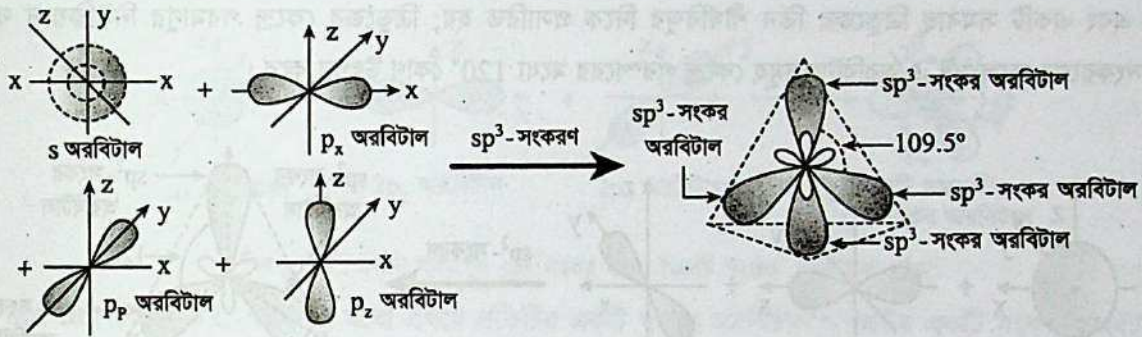
(১) $sp^3$ সংকরণ	( $\text{CH}_4$ অণু গঠনে)	:	চতুস্তলকীয় গঠন।
(২) $sp^2$ সংকরণ	( $\text{CH}_2 = \text{CH}_2$ অণু গঠনে)	:	সমতলীয় ত্রিভুজাকার গঠন।
(৩) $sp$ সংকরণ	( $\text{CH} \equiv \text{CH}$ অণু গঠনে)	:	সরলরৈখিক গঠন।
(৪) $sp^2d$ সংকরণ	( $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ আয়নে)	:	সমতলীয় বর্গাকার গঠন।
(৫) $sp^3d$ সংকরণ	( $\text{PCl}_5$ অণু গঠনে)	:	ত্রিকোণাকার দ্বিপিরামিড গঠন।
(৬) $sp^3d^2$ সংকরণ	( $\text{SF}_6$ অণু গঠনে)	:	অষ্টতলকীয় গঠন।
(৭) $sp^3d^3$ সংকরণ	( $\text{IF}_7$ অণু গঠনে)	:	পঞ্চভুজীয় দ্বিপিরামিড গঠন।
(৮) $d^2sp^3$ অথবা $sp^3d^2$ সংকরণ	( $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ আয়ন গঠনে)	:	অষ্টতলকীয় গঠন।

তবে কার্বন পরমাণুতে কেবল তিন প্রকার সংকরণ ঘটে। যেমন—  $sp^3$ ,  $sp^2$ ,  $sp$  সংকরণ। এখানে কার্বন পরমাণুর তিন প্রকার সংকরণ দ্বারা বিভিন্ন যৌগ গঠন আলোচনা করা হলো। কার্বন-কার্বন একক বন্ধন গঠনে  $sp^3$ , কার্বন-কার্বন দ্বিবন্ধন গঠনে  $sp^2$  এবং কার্বন-কার্বন ত্রিবন্ধন গঠনের বেলায় প্রতিটি C-পরমাণুর  $sp$ -সংকরণ ঘটে।

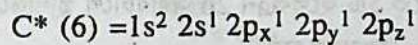
#### $sp^3$ সংকরণ ( $sp^3$ Hybridisation)

বিক্রিয়াকালে কোনো পরমাণুর যোজ্যতা স্তরের একটি s অরবিটাল ও তিনটি p অরবিটাল-এর মধ্যে সংমিশ্রণ ও পরে চারটি সমশক্তির অরবিটাল সৃষ্টির প্রক্রিয়াকে  $sp^3$  সংকরণ বলা হয়। সৃষ্ট চারটি সংকর অরবিটাল সুসম চতুস্তলকের শীর্ষবিন্দুর দিকে প্রসারিত থাকে এবং কেন্দ্রে  $109^\circ 28'$  কোণ উৎপন্ন করে। যেমন,

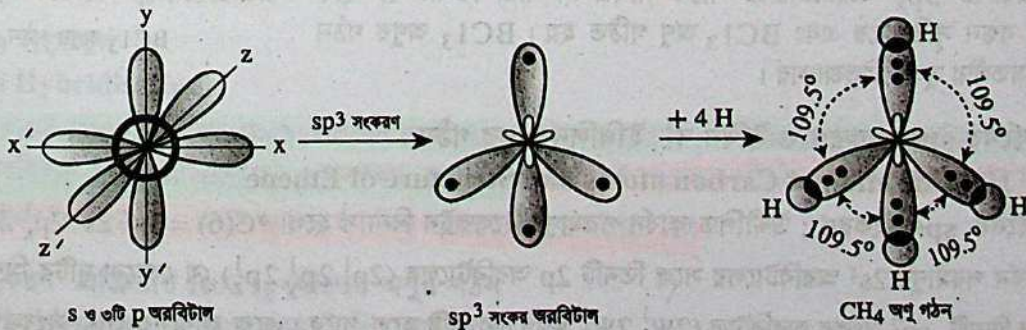


চিত্র-৩.২০ :  $sp^3$  সংকরণ দ্বারা ৪টি  $sp^3$  সংকর অরবিটাল গঠন।কার্বনের  $sp^3$  সংকরণ ও মিথেন অণু গঠন $sp^3$  hybridisation of C-atom and Structure of  $CH_4$ 

কার্বন পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস হচ্ছে  $C(6) = 1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^0$ ; এতে দুটি বিজোড় ইলেকট্রন আছে। যৌগ গঠনকালে শক্তি শোষণ করে উদ্দীপিত কার্বন পরমাণু এর 2s অরবিটাল থেকে একটি ইলেকট্রন খালি  $2p_z$  অরবিটালে স্থানান্তরিত করে। যেমন,



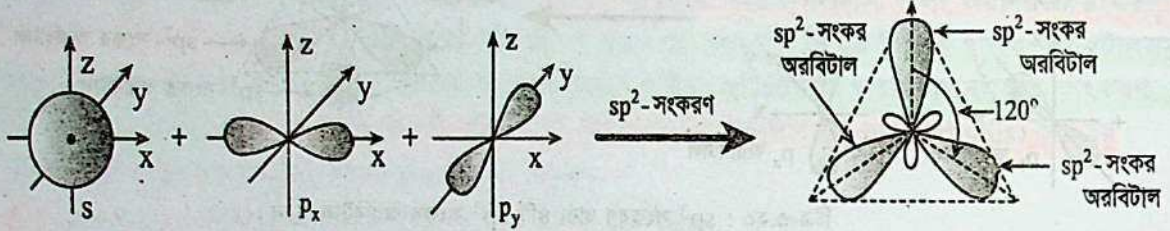
এ অবস্থায় কার্বন পরমাণুর যোজ্যতা স্তরের একটি 2s ও তিনটি 2p অরবিটাল সংমিশ্রিত হয়ে নতুন চারটি সমশক্তির সংকর অরবিটাল  $2\psi_1^1, 2\psi_2^1, 2\psi_3^1, 2\psi_4^1$  তৈরি করে। এরূপ  $sp^3$  সংকরণে সৃষ্ট সংকর অরবিটালসমূহ একটি চতুস্তলকের শীর্ষবিন্দুর দিকে প্রসারিত থাকে। এ সমশক্তির সংকর অরবিটালসমূহ পরবর্তীতে চারটি H-পরমাণুর  $1s^1$  অরবিটালসমূহের সাথে মুখোমুখি অধিক্রমণ করে মিথেন অণু ( $CH_4$ ) সৃষ্টি করে। ফলে আদর্শ অবস্থায় এ  $sp^3$  সংকরণের ফলে সৃষ্ট অণুতে বন্ধন কোণসমূহ  $109^\circ 28'$  হয়। নিচে C-পরমাণুর  $sp^3$  সংকরণ ও H-পরমাণুর সাথে  $CH_4$  অণু সৃষ্টি সুস্বম চতুস্তলকীয় গঠন দেখানো হলো।

চিত্র-৩.২১ : কার্বন পরমাণুর  $sp^3$  সংকরণের মাধ্যমে চতুস্তলকীয়  $CH_4$  অণুর সৃষ্টি।৩.৯.২  $sp^2$  সংকরণ $sp^2$  hybridisation

বিক্রিয়াকালে কোনো পরমাণুর যোজ্যতা স্তরের একটি s অরবিটাল ও দুটি p অরবিটালের মধ্যে সংমিশ্রণ ও পরে তিনটি সমশক্তির অরবিটাল সৃষ্টির প্রক্রিয়াকে  $sp^2$  সংকরণ বলা হয়। এতে সৃষ্ট সংকর অরবিটাল তিনটি একই সমতলে অবস্থান



করে এবং একটি সমবাহু ত্রিভুজের তিন শীর্ষবিন্দুর দিকে প্রসারিত হয়; ত্রিভুজের কেন্দ্রে পরমাণুর নিউক্লিয়াস থাকে।  $sp^2$  সংকরণের ফলে সৃষ্ট এ অরবিটালসমূহ কেন্দ্রে পরস্পরের মধ্যে  $120^\circ$  কোণ উৎপন্ন করে।



চিত্র-৩.২২ :  $sp^2$  সংকরণ দ্বারা ৩টি সংকর অরবিটাল গঠন।

(১) বোরনের  $sp^2$  সংকরণ প্রক্রিয়ায়  $BCl_3$  যৌগের গঠন।

( $sp^2$  hybridisation of B-atom & Structure of  $BCl_3$ )

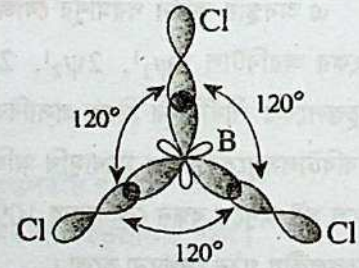
বোরন (B) পরমাণুর স্বাভাবিক ইলেকট্রন বিন্যাসে ১টি অযুগ্ম ইলেকট্রন আছে। যেমন B (5) =  $1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^0 2p_z^0$ । B পরমাণুর 2s অরবিটাল থেকে ১টি ইলেকট্রন 2p অরবিটালে স্থানান্তরের ফলে এতে তিনটি অযুগ্ম ইলেকট্রন হয়ে থাকে। এর পরে বোরন পরমাণুতে  $sp^2$  সংকরণ ঘটে :

স্বাভাবিক অবস্থায় : B (5) :  $1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^0 2p_z^0$

উদ্দীপিত অবস্থায় : B\* (5) :  $1s^2 2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^0$

সংকরিত অবস্থায় : B (5) :  $1s^2, 2\psi_1^1, 2\psi_2^1, 2\psi_3^1$

এখানে  $\psi_1^1, \psi_2^1, \psi_3^1$  হলো বোরনের সংকর অরবিটালসমূহ। উৎপন্ন তিনটি সংকর অরবিটাল একটি ত্রিভুজের তিনটি শীর্ষবিন্দুর দিকে প্রসারিত হয়ে পরস্পর  $120^\circ$  কোণ গঠন করে। এরা তিনটি ক্লোরিন পরমাণুর এক ইলেকট্রনবিশিষ্ট  $3p_z^1$  অরবিটালের সাথে অধিক্রমণ দ্বারা তিনটি B-Cl সমযোজী বন্ধন সৃষ্টি করে এবং  $BCl_3$  অণু গঠিত হয়।  $BCl_3$  অণুর গঠন আকৃতি সমতলীয় সুম্ব ত্রিভুজাকার।

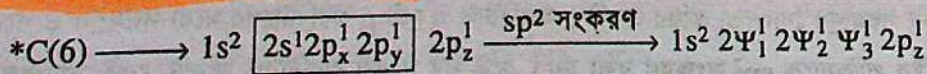


চিত্র-৩.২৩ :  $sp^2$  সংকরণে ত্রিভুজ আকৃতির  $BCl_3$  অণুর গঠন।

(২) কার্বনের  $sp^2$  সংকরণ ও ইথিন বা ইথিলিন অণুর গঠন

$sp^2$  Hybridisation of Carbon atoms and Structure of Ethene

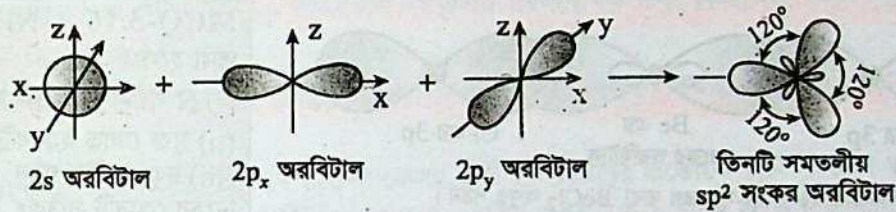
কার্বনের  $sp^2$  সংকরণ : উদ্দীপিত কার্বন পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস হলো  $*C(6) = 1s^2 2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$ । তখন কার্বন পরমাণুর 2s অরবিটালের সঙ্গে তিনটি 2p অরবিটালের ( $2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$ ) যে কোনো দুটির মিশ্রণের ফলে সমশক্তির তিনটি  $sp^2$  সংকর অরবিটাল ( $2\psi_1^1 2\psi_2^1 \psi_3^1$ ) এর সৃষ্টি হতে পারে। একে কার্বনের  $sp^2$  সংকরণ বলে। এ অবস্থায় C পরমাণুর একটি 2p অরবিটাল অপরিবর্তিত অর্থাৎ বিশুদ্ধ অবস্থায় থেকে যায়। তখন তিনটি  $sp^2$  সংকর অরবিটাল একই সমতলে থাকে এবং পরস্পরের সঙ্গে  $120^\circ$  কোণ উৎপন্ন করে। প্রত্যেকটি  $sp^2$  সংকর অরবিটালে 33.3% s-চরিত্র ও 66.7% p-চরিত্র থাকে। যেমন—



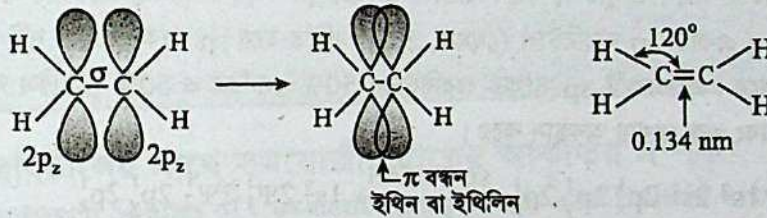


মৌলের পর্যায়বৃত্ত ধর্ম ও রাসায়নিক বন্ধন

৩০৯

চিত্র-২.২৪ : কার্বন পরমাণুর sp<sup>2</sup> সংকর দ্বারা তিনটি সংকর অরবিটাল গঠন।

sp<sup>2</sup> সংকরিত দুটি C-পরমাণুর মধ্যে প্রথমে প্রতিটির একটি সংকর অরবিটাল অপরটির একটি সংকর অরবিটালের অক্ষ বরাবর অধিক্রমণ দ্বারা C-C সিগমা বন্ধন গঠিত হয়। পরে প্রতিটি C-পরমাণুর অবশিষ্ট দুটি করে মোট চারটি সংকর অরবিটালের প্রতিটির সাথে একটি করে H-পরমাণুর 1s<sup>1</sup> অরবিটালের অধিক্রমণ দ্বারা চারটি C-H সিগমা বন্ধন সৃষ্টি হয়। এটিই ইথিলিন অণুর প্রাথমিক কাঠামো। কিন্তু তখন প্রত্যেক কার্বন পরমাণুতে একটি করে বিসৃত 2p<sub>z</sub><sup>1</sup> অরবিটাল দুটি C পরমাণুর তলের ওপর ও নিচে লম্বভাবে পরস্পর সমান্তরাল অবস্থায় থাকে। এর ফলে 2p<sub>z</sub><sup>1</sup> অরবিটাল দুটির মধ্যে

চিত্র-৩.২৫ : ইথিন বা ইথিলিন অণুর মধ্যে দুটি 2p<sub>z</sub><sup>1</sup> অরবিটালের পাশাপাশি অধিক্রমণ দ্বারা পাই (π) বন্ধনের সৃষ্টি।

পাশাপাশি-অধিক্রমণ সম্ভব হয়। এভাবে ডায়েল আকৃতিবিশিষ্ট দুটি 2p<sub>z</sub><sup>1</sup> অরবিটালের পাশাপাশি আংশিকভাবে অধিক্রমণ দ্বারা ঐ দুটি C পরমাণুর মধ্যে একটি দুর্বল সমযোজী বন্ধনের সৃষ্টি হয়, একে কার্বন-কার্বন π বন্ধন বলে। সুতরাং ইথিলিন অণুর দুটি C পরমাণুর মধ্যে দুটি সমযোজী বন্ধন থাকে; এদের একটি হলো দুটি C পরমাণুর অক্ষ বরাবর, sp<sup>2</sup> - sp<sup>2</sup> সিগমা (σ) বন্ধন ও একটি পাই (π) বন্ধন মিলে একটি কার্বন-কার্বন দ্বিবন্ধন সৃষ্টি হয়।

জ্যামিতিক আকৃতির দিক থেকে তিনটি sp<sup>2</sup> অরবিটাল সমতলীয় সুসম ত্রিকোণাকার হয়ে থাকে এবং ∠H-C-H বা, ∠H-C-C সমান 120° এবং C=C দ্বিবন্ধন দূরত্ব 0.134 nm হয়ে থাকে।

### ৩.৯.৩ sp সংকরণ

#### sp Hybridisation

বিক্রিয়াকালে কোনো পরমাণুর যোজ্যতা স্তরের একটি s অরবিটাল ও একটি p অরবিটালের মধ্যে সংমিশ্রণ ও পরে দুটি সমশক্তির অরবিটাল সৃষ্টির প্রক্রিয়াকে sp সংকরণ বলা হয়। এতে সৃষ্ট সংকর অরবিটালদ্বয় পরস্পরের বিপরীত দিকে সরলরেখা বরাবর অবস্থিত হয়। অর্থাৎ তাদের মধ্যকার কোণের পরিমাণ 180° হয়।

#### (১) sp সংকরণ প্রক্রিয়ায় BeCl<sub>2</sub> যৌগের অণুর গঠন

##### sp hybridisation of Be-atom & Structure of BeCl<sub>2</sub>

বেরিলিয়াম Be(4) পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস 1s<sup>2</sup> 2s<sup>2</sup>, যাতে প্রথম দৃষ্টিতে মনে হয় Be মৌলের যোজনী শূন্য। কারণ এতে কোনো অযুগ্ম ইলেকট্রন নেই। উদ্দীপিত অবস্থায় বেরিলিয়াম পরমাণুর 2s অরবিটাল থেকে 2p অরবিটালে একটি ইলেকট্রন স্থানান্তরের ফলে এর ইলেকট্রন বিন্যাস দাঁড়ায় 1s<sup>2</sup> 2s<sup>1</sup> 2p<sub>x</sub><sup>1</sup>।

এ অবস্থায় বেরিলিয়াম পরমাণুতে sp সংকরণ হয়। উৎপন্ন দুটি সংকর অরবিটালে একটি করে ইলেকট্রন থাকে এবং এরা দুটি ক্লোরিন পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাসের (3s<sup>2</sup> 3p<sub>x</sub><sup>2</sup> 3p<sub>y</sub><sup>2</sup> 3p<sub>z</sub><sup>1</sup>) এক ইলেকট্রনবিশিষ্ট 3p<sub>z</sub><sup>1</sup> অরবিটালের সাথে অধিক্রমণ প্রক্রিয়ায় দুটি Be-Cl বন্ধন সৃষ্টি করে। ফলে BeCl<sub>2</sub> অণু গঠিত হয়।





চিত্র-৩.২৬ : sp-সংকরণ দ্বারা BeCl<sub>2</sub> অণুর গঠন।

এক্ষেত্রে sp সংকরণ হওয়ায়  $\angle \text{ClBeCl} = 180^\circ$ ।

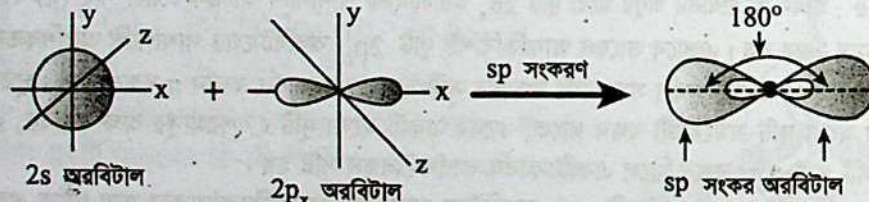
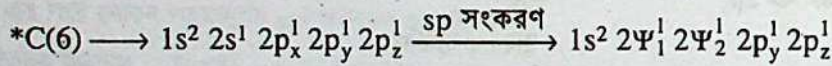
অর্থাৎ BeCl<sub>2</sub> অণুর আকৃতি সরল রৈখিক।

MCQ-3.16 : NH<sub>3</sub> অণুর ক্ষেত্রে তথ্য হলো :

- (i) N পরমাণুতে sp<sup>3</sup> সংরক্ষণ ঘটেছে  
(ii) মুক্ত জোড় ইলেকট্রন আছে  
(iii) চতুস্তলকীয় গঠন  
নিচের কোনটি সঠিক?  
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii  
(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

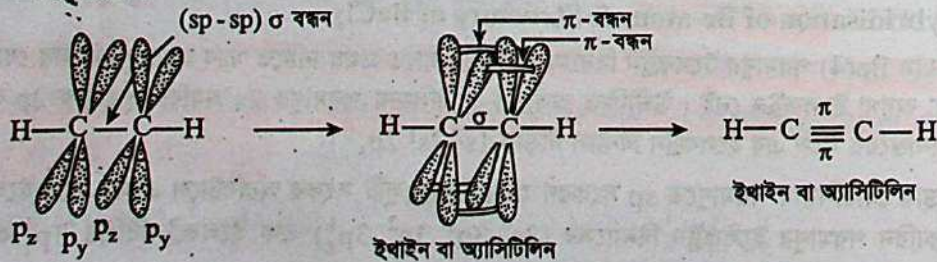
## (২) কার্বনের sp সংকরণ ও ইথাইন বা অ্যাসিটিলিন অণুর গঠনাকৃতি sp Hybridisation of Carbon atoms and Structure of Ethyne

ইথাইন বা অ্যাসিটিলিন অণুর (H-C≡C-H) মধ্যে দুটি কার্বন পরমাণু পরস্পর ত্রিবন্ধনে আবদ্ধ থাকে। এই ত্রিবন্ধনের মধ্যে একটি σ বন্ধন ও দুটি π বন্ধন থাকে। একত্রে দুটি কার্বন পরমাণু প্রত্যেকে প্রথমে উদ্দীপিত অবস্থায় একটি 2s অরবিটাল ও একটি 2p অরবিটাল (যেমন, 2p<sub>x</sub>) মিশ্রিত হয়ে sp সংকরণ দ্বারা দুটি করে সংকর অরবিটাল (2Ψ<sub>1</sub> 2Ψ<sub>2</sub>) সৃষ্টি করে। প্রত্যেকটি sp সংকর অরবিটালে 50% s-চরিত্র ও 50% p-চরিত্র থাকে। এই দুটি সংকর অরবিটাল সমতলীয় এবং এক রেখায় অবস্থান করে।



চিত্র-৩.২৭ : C-পরমাণুর sp সংকরণ

sp সংকরিত দু'টি C-পরমাণুর ইথাইন অণু গঠন : sp সংকরিত C পরমাণুর দু'টি করে সংকর অরবিটাল (2Ψ<sub>1</sub> 2Ψ<sub>2</sub>) থাকে। এরূপ দুটি C-পরমাণুর মধ্যে প্রথমে উভয় C-পরমাণুর একটি সংকর অরবিটালের মুখোমুখি অধিক্রমণ দ্বারা σ বন্ধন উৎপন্ন করে। এছাড়াও ঐ দুটি কার্বন পরমাণু তাদের দ্বিতীয় সংকর অরবিটাল দ্বারা পৃথকভাবে দুটি H পরমাণুর সাথে দুটি σ বন্ধন গঠন করে। কিন্তু অসংকরিত 2p<sub>y</sub> এবং 2p<sub>z</sub> অরবিটাল দুটি অবিকৃত অবস্থায় থাকে। তখন উভয় কার্বন পরমাণুর সমান্তরাল ও অসংকরিত একটি করে দুটি অরবিটালের পাশাপাশি ও আংশিকভাবে অধিক্রমণ দ্বারা দুটি π বন্ধন উৎপন্ন করে। অতএব ইথাইন বা অ্যাসিটিলিন অণুর মধ্যে তিনটি σ বন্ধন (দুটি C-H ও একটি C-C সিগমা বন্ধন) এবং দুই কার্বন পরমাণুর মধ্যে দুটি π বন্ধন অবস্থান করে। π বন্ধনের ইলেকট্রনগুলো এই σ বন্ধনের মূল কাঠামোকে বেষ্টিত করে রাখে।



চিত্র-৩.২৮ : sp সংকরিত দুটি কার্বনের মধ্যে একটি সিগমা ও দুটি পাই (π) বন্ধন দ্বারা ইথাইন অণুর গঠন।



জ্যামিতিক আকৃতির দিক থেকে দুটি  $sp$  অরবিটাল সমতলীয় সরলরৈখিক এবং  $H-C-C$  কোণ  $180^\circ$  এবং  $C\equiv C$  দ্বিবন্ধন দূরত্ব হলো  $0.120\text{ nm}$ ।

দ্রষ্টব্য : কার্বন-কার্বন দ্বিবন্ধন দূরত্ব ( $0.120\text{ nm}$ ) কার্বন-কার্বন দ্বিবন্ধন দূরত্ব ( $0.134\text{ nm}$ ) অপেক্ষা কম হয়।

এর কারণ ব্যাখ্যা : কার্বন-কার্বন দ্বিবন্ধন গঠনের বেলায়, দুটি  $C$ -পরমাণুর প্রত্যেকে  $sp^2$  সংকরণ দ্বারা তিনটি করে সংকর অরবিটাল সৃষ্টি করে। এসব সংকর অরবিটালে  $33.3\%$   $s$ -চরিত্র ও  $66.7\%$   $p$  চরিত্র থাকে। অপরদিকে কার্বন-কার্বন দ্বিবন্ধনের বেলায় দুটি  $C$ -পরমাণুর প্রত্যেকে  $sp$  সংকরণ দ্বারা দুটি করে সংকর অরবিটাল সৃষ্টি করে। এসব  $sp$  সংকর অরবিটালে  $50\%$   $s$ -চরিত্র ও  $50\%$   $p$ -চরিত্র থাকে। সুতরাং  $sp^2$  সংকরণে সৃষ্ট সংকর অরবিটালের তুলনায়  $sp$  সংকরণে সৃষ্ট সংকর অরবিটালে  $s$ -চরিত্র বেশি হওয়ায় তাদের দ্বারা সৃষ্ট দ্বিবন্ধনের কার্বন-কার্বন সিগমা বন্ধনে উভয় কার্বন নিউক্লিয়াস অধিকতর আকৃষ্ট হয়ে দূরত্ব হ্রাস পায়। তাই কার্বন-কার্বন দ্বিবন্ধন ( $C\equiv C$ ) দূরত্ব ( $0.120\text{ nm}$ ) কার্বন-কার্বন দ্বিবন্ধন ( $C=C$ ) দূরত্ব ( $0.134\text{ nm}$ ) অপেক্ষা কম হয়।

শিক্ষার্থী নিজে কর-৩.১২ : অরবিটাল সংকরণভিত্তিক :

সমস্যা-৩.২৬ : ফরম্যালডিহাইড অণু ( $H_2C=O$ ) গঠনে  $C$ -পরমাণুর অরবিটাল সংকরণ বর্ণনা কর।

সমস্যা-৩.২৭ : অ্যাসিটিলিন ( $H-C\equiv C-H$ ) অণু গঠনে  $C$ -পরমাণুর অরবিটাল সংকরণ বর্ণনা কর।

### ৩.১০ সংকর অরবিটালের সাথে সমযোজী যৌগের আকৃতির সম্পর্ক

#### Relation between Shapes of Covalent Compounds and Hybrid orbitals

যে কোনো সমযোজী যৌগের কেন্দ্রীয় পরমাণুর সংকর অরবিটালসমূহের নির্দিষ্ট দিক ঐ যৌগ অণুর আকৃতি নির্দিষ্ট করে। কেন্দ্রীয় পরমাণুর অরবিটালের বিভিন্ন প্রকার সংকরণ যেমন  $sp^3$  সংকরণ,  $sp^2$  সংকরণ,  $sp$  সংকরণ ইত্যাদির প্রকৃতির উপর তাদের দ্বারা সৃষ্ট সমযোজী সিগমা ( $\sigma$ ) বন্ধন অণুর আকৃতি ও বন্ধন কোণ নির্ধারণ করে। আবার কেন্দ্রীয় পরমাণুর যোজ্যতা স্তরে উপস্থিত নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগলের সংখ্যা এবং বন্ধন-ইলেকট্রন যুগলের সংখ্যা অণুর স্বাভাবিক আকৃতিকে বিকৃত করে নতুন আকৃতি প্রদান করে। বন্ধন-ইলেকট্রন যুগল ও নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল অনুসারে সমযোজী অণুর আকৃতি নিম্নরূপ হয়ে থাকে।

যৌগের কেন্দ্রীয় পরমাণুর যোজ্যতা স্তরে—

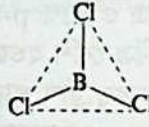
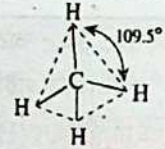
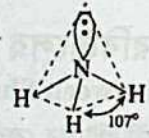
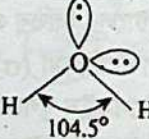
- দুটি ইলেকট্রন যুগল বা দুটি সংকর অরবিটাল থাকলে অণুর আকৃতি সমতলীয় সরলরৈখিক হয়। যেমন,  $BeCl_2$ ,  $CH\equiv CH$  অণুর গঠন। এক্ষেত্রে কেন্দ্রীয় পরমাণুর অরবিটালে  $sp$  সংকরণ ঘটে। তখন বন্ধন কোণ  $180^\circ$  হয়।
- তিনটি ইলেকট্রন যুগল বা তিনটি সংকর অরবিটাল থাকলে অণুর আকৃতি সমতলীয় ত্রিভুজ আকৃতির হয়। যেমন  $BCl_3$ । এক্ষেত্রে কেন্দ্রীয় পরমাণুর অরবিটালে  $sp^2$  সংকরণ ঘটে। তখন বন্ধন কোণ  $120^\circ$  হয়।
- চারটি ইলেকট্রন যুগল বা চারটি সংকর অরবিটাল থাকলে অণুর আকৃতি চতুষ্তলকীয় হয়। যেমন  $CH_4$ ,  $BF_4^-$ ,  $NH_4^+$ । এক্ষেত্রে কেন্দ্রীয় পরমাণুর অরবিটালে  $sp^3$  সংকরণ ঘটে; বন্ধন কোণ  $109^\circ 28'$  হয়।

চারটি ইলেকট্রন যুগলের মধ্যে একটি নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল থাকলে, অণুর আকৃতি চতুষ্তলকীয় থেকে বিকৃত হয়ে ত্রিকোণাকার পিরামিড; বন্ধন কোণ  $107^\circ$  হয়। এর গঠন নিচের ছকে দেখানো হলো। যেমন,  $NH_3$ ।

চারটি ইলেকট্রন যুগলের মধ্যে দুটি নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল থাকলে তখন অণুর আকৃতি আরো বিকৃত হয়ে ইংরেজি  $V$ -অক্ষরের আকৃতি লাভ করে। তখন বন্ধন কোণ  $104.5^\circ$  এর মতো হয়। যেমন,  $H_2O$ ।

এছাড়া পাঁচটি সংকর অরবিটাল থাকলে ত্রিভুজাকার দ্বিপিরামিড ( $PCl_5$ ), ছয়টি সংকর অরবিটাল থাকলে অষ্টতলকীয় ( $SF_6$ ), সাতটি সংকর অরবিটাল থাকলে অণুর গঠন পঞ্চভুজাকার দ্বিপিরামিড ( $IF_7$ ) হয়।



যৌগের অণু	অণুতে ইলেকট্রন বিন্যাস	অরবিটাল সংকরণ	যোজ্যতা স্তরে ইলেকট্রন জোড়	অণুর আকৃতির নাম	অণুর গঠন আকৃতি	অণুতে বন্ধন কোণ
BeCl <sub>2</sub>	$:\ddot{\text{Cl}} \cdot \times \text{Be} \cdot \times \ddot{\text{Cl}}:$	sp	২ জোড়া	সরলরৈখিক	Cl—Be—Cl	180°
BCl <sub>3</sub>	$\begin{array}{c} \ddot{\text{Cl}}: \\   \\ \text{B} \\   \\ \ddot{\text{Cl}}: \\ \ddot{\text{Cl}}: \end{array}$	sp <sup>2</sup>	৩ জোড়া	সমতলীয় ত্রিভুজাকার		120°
CH <sub>4</sub>	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H} \cdot \cdot \text{C} \cdot \cdot \text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	sp <sup>3</sup>	৪ জোড়া	চতুষ্তলকীয় বা টেট্রাহেড্রাল		109.5°
NH <sub>3</sub>	$\begin{array}{c} \text{H} \cdot \cdot \ddot{\text{N}} \cdot \cdot \text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	sp <sup>3</sup>	৪ জোড়া ১টি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল	বিকৃত চতুষ্তলকের ত্রিকোণাকার পিরামিড আকৃতি		107°
H <sub>2</sub> O	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H} \cdot \cdot \ddot{\text{O}}: \end{array}$	sp <sup>3</sup>	৪ জোড়া (২টি নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল)	বিকৃত চতুষ্তলকের V আকৃতি		104.5°

### ৩.১০.১ সমযোজী যৌগের কেন্দ্রীয় পরমাণুর সংকরণ অবস্থা নির্ণয়

#### Determination of Hybridisation State of Central atom in Covalent Compd.

যৌগের কেন্দ্রীয় পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস থেকে মৌলটির পরমাণুর মধ্যে বিক্রিয়াকালে কীরূপ অরবিটাল সংকরণ ঘটতে পারে তা আমরা পূর্বে আলোচিত যৌগ অণুর গঠন থেকে জেনেছি। এখন নিচে প্রদত্ত (১) নং সাধারণ ফর্মুলা সাহায্যে একটি যৌগ অণুর ও আয়নের কেন্দ্রীয় পরমাণুর অরবিটাল সংকরণে অংশগ্রহণকারী অরবিটাল সংখ্যা (H) নির্ণয় করা যায়। পরে তা থেকে কেন্দ্রীয় পরমাণুটির অরবিটাল সংকরণ অবস্থা এবং অণুটির বা আয়নটির গঠন জানা যায়। যেমন,

$$(১) H = \frac{1}{2} \times \left[ \begin{array}{|l} \text{যোজ্যতা স্তরে থাকা} \\ \text{ইলেকট্রন সংখ্যা (V)} \end{array} + \begin{array}{|l} \text{একযোজী পরমাণুর} \\ \text{সংখ্যা (X)} \end{array} - \begin{array}{|l} \text{ক্যাটায়নের ওপর,} \\ \text{চার্জের সংখ্যা (C)} \end{array} + \begin{array}{|l} \text{অ্যানায়নের ওপর} \\ \text{চার্জের সংখ্যা (A)} \end{array} \right]$$

$$\text{বা, } H = \frac{1}{2} (V + X - C + A)^{\circ}$$

H-এর মান →	2	3	4	5	6	7
সংকরণ →	sp	sp <sup>2</sup>	sp <sup>3</sup>	sp <sup>3</sup> d	sp <sup>3</sup> d <sup>2</sup>	sp <sup>3</sup> d <sup>3</sup>
অণুর গঠন →	সরলরৈখিক গঠন	সমতলীয় ত্রিভুজাকার	চতুষ্তলকীয় গঠন	ত্রিকোণাকার দ্বিপিরামিড	অষ্টতলকীয় গঠন	পঞ্চভুজীয় দ্বিপিরামিড



- \* সংকর অরবিটালে নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল থাকলে উপরোক্ত সাধারণ আণবিক গঠন পরিবর্তিত হয়। যেমন,
- \*  $sp^3d^3$  সংকরিত  $XeF_6$  অণুতে নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল থাকায় এর গঠন পঞ্চভুজীয় পিরামিড আকৃতি হয়। [চিত্র-৩.২(খ) দেখো।]

(২) কেন্দ্রীয় পরমাণুর সংকর অরবিটালে উপস্থিত নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন জোড়ের সংখ্যা নিম্নোক্ত সাধারণ ফর্মুলার সাহায্যে জানা যায় :

$$L = H - X - D \text{ (এখানে D হলো দ্বিযোজী পরমাণুর সংখ্যা)}$$

নিচের পাঁচটি উদাহরণ থেকে কয়েকটি অণু ও আয়নের কেন্দ্রীয় পরমাণুর সংকরণ অবস্থা এবং সৃষ্ট সংকর অরবিটালে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় সংখ্যা জানা যাবে।

বিভিন্ন সমযোজী অণু ও আয়নের কেন্দ্রীয় পরমাণুর সংকরণ অবস্থা, নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন জোড় সংখ্যা ও গঠন নির্ণয় :

অণুর প্রকৃতি	সংশ্লিষ্ট যৌগ	উদাহরণসহ সংকরণ অবস্থা ও গঠন আকৃতি নির্ণয়
(১) যৌগ অণুর কেন্দ্রীয় পরমাণুতে শুধুমাত্র একযোজী পরমাণু যুক্ত থাকে।	$BeCl_2, BF_3, CH_4, NH_3, H_2O, PCl_3, PCl_5, SF_4$ ইত্যাদি।	> যৌগ : $CH_4$ ; এক্ষেত্রে $H = \frac{1}{2} [V + X - C + A] = \frac{1}{2} [4 + 4 - 0 + 0] = 4$ ∴ কেন্দ্রীয় পরমাণু C এর সংকরণ অবস্থা : $sp^3$ , আবার $L = 4 - 4 - 0 = 0$ ∴ কেন্দ্রীয় পরমাণু C তে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড়ের সংখ্যা = 0 ∴ অণুটির গঠনাকৃতি : চতুস্তলকীয় $CH_4$ অণু।
(২) যৌগ অণুর কেন্দ্রীয় পরমাণুতে শুধুমাত্র দ্বিযোজী পরমাণু যুক্ত থাকে।	$CO_2, CS_2, SO_2, SO_3$ ইত্যাদি।	> যৌগ : $SO_3$ , এক্ষেত্রে, $H = \frac{1}{2} [V + X - C + A] = \frac{1}{2} [6 + 0 - 0 + 0] = 3$ ∴ কেন্দ্রীয় পরমাণু S এর সংকরণ অবস্থা : $sp^2$ , আবার $L = 3 - 0 - 3 = 0$ ∴ কেন্দ্রীয় পরমাণু S তে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড়ের সংখ্যা = 0 ∴ অণুটির গঠনাকৃতি : সমতলীয় ত্রিভুজাকার $SO_3$ অণু।
(৩) যৌগ অণুর কেন্দ্রীয় পরমাণুতে একযোজী ও দ্বিযোজী পরমাণু যুক্ত থাকে।	$COCl_2, POCl_3, HCHO$ ইত্যাদি।	> যৌগ : $HCHO$ , এক্ষেত্রে, $H = \frac{1}{2} [4 + 2 - 0 + 0] = 3$ ∴ কেন্দ্রীয় পরমাণু C এর সংকরণ অবস্থা : $sp^2$ , আবার $L = 3 - 2 - 1 = 0$ ∴ কেন্দ্রীয় পরমাণু C তে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড়ের সংখ্যা = 0 ∴ অণুটির গঠনাকৃতি : সমতলীয় ত্রিভুজাকার $HCHO$ অণু।
(৪) ক্যাটায়নের ক্ষেত্রে।	$NH_4^+, CH_3^+, H_3O^+$ ইত্যাদি।	> যৌগ আয়ন : $NH_4^+$ , এক্ষেত্রে, $H = \frac{1}{2} [5 + 4 - 1 + 0] = 4$ ∴ কেন্দ্রীয় পরমাণু N এর সংকরণ অবস্থা : $sp^3$ , আবার $L = 4 - 4 - 0 = 0$ ∴ কেন্দ্রীয় পরমাণু N তে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড়ের সংখ্যা = 0 ∴ আয়নের গঠনাকৃতি : চতুস্তলকীয় $NH_4^+$ আয়ন।
(৫) অ্যানায়নের ক্ষেত্রে।	$BCl_4^-, BF_4^-, CO_3^{2-}, NO_3^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-}$ ইত্যাদি।	> যৌগ আয়ন : $BF_4^-$ , এক্ষেত্রে, $H = \frac{1}{2} [3 + 4 - 0 + 1] = 4$ ∴ কেন্দ্রীয় পরমাণু B এর সংকরণ অবস্থা : $sp^3$ , আবার $L = 4 - 4 - 0 = 0$ ∴ কেন্দ্রীয় পরমাণু B তে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড়ের সংখ্যা = 0 ∴ আয়নের গঠনাকৃতি : চতুস্তলকীয় $BF_4^-$ আয়ন।

### ৩.১১ সমযোজী অণুর আকৃতি ও বন্ধন কোণের ওপর নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগলের প্রভাব Impact of Lone pair Electrons on Molecular shapes

সমযোজী যৌগের কেন্দ্রীয় পরমাণুর যোজ্যতা স্তরে নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রনযুগল বা মুক্তজোড় ইলেকট্রন থাকলে তাদের বিকর্ষণের ফলে অণুতে বন্ধন কোণসমূহ আদর্শ মান থেকে হ্রাস পায়।

ইলেকট্রনসমূহ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে এবং এ বিকর্ষণের পরিমাণ কেন্দ্রীয় পরমাণুর নিকট বিভিন্ন অরবিটালে ইলেকট্রন মেঘের ঘনত্বের ওপর নির্ভর করে। বন্ধন সৃষ্টিতে ব্যবহৃত বন্ধন ইলেকট্রনযুগল (bp) দুটি পরমাণুর কেন্দ্রকে প্রদক্ষিণ করে।



অপরদিকে কেন্দ্রীয় পরমাণুর নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রনযুগল (lp) শুধুমাত্র সে পরমাণুকে প্রদক্ষিণ করে। এ কারণে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রনযুগলবিশিষ্ট অরবিটালে ইলেকট্রন মেঘের ঘনত্ব কেন্দ্রীয় পরমাণুর নিকট শেয়ারকৃত ইলেকট্রনযুগল অপেক্ষা বেশি হয়। দুটি ইলেকট্রনযুগলের মধ্যকার বিকর্ষণের পরিমাণ ইলেকট্রন যুগলদ্বয়ের ইলেকট্রন মেঘের ঘনত্বের গুণফলের ওপর নির্ভর করে। ফলে তাদের মধ্যকার বিকর্ষণের পরিমাণ নিম্নরূপ হয় :

নিঃসঙ্গ ইলেকট্রনযুগল-নিঃসঙ্গ ইলেকট্রনযুগল বিকর্ষণ > নিঃসঙ্গ ইলেকট্রনযুগল-বন্ধন ইলেকট্রনযুগল বিকর্ষণ > বন্ধন ইলেকট্রনযুগল-বন্ধন ইলেকট্রনযুগল বিকর্ষণ; বা,  $(lp - lp) > (lp - bp) > (bp - bp)$ ।

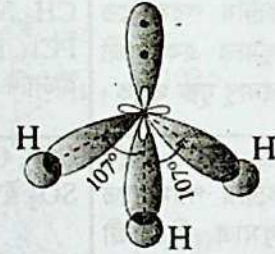
উপরিউক্ত সিদ্ধান্তের পরিপ্রেক্ষিতে  $NH_3$ ,  $H_2O$ ,  $NH_4^+$ , প্রভৃতি যৌগ ও আয়নের বন্ধন ও অকৃতি আলোচনা করা হলো।

(ক) বন্ধন কোণের ওপর নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগলের প্রভাব :

### (১) অ্যামোনিয়া ( $NH_3$ ) অণুর গঠনে $sp^3$ সংকরণ (Formation of $NH_3$ with $sp^3$ )

নাইট্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস,  $N (7) = 1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$ । এর  $sp^3$  সংকরণের ফলে যে চারটি সমতুল্য সংকর অরবিটাল সৃষ্টি হয়, তাদেরকে  $\psi_1, \psi_2, \psi_3$  ও  $\psi_4$  দ্বারা চিহ্নিত করলে সংকরিত অবস্থায় N-পরমাণুর যোজ্যতা স্তরে ইলেকট্রন বিন্যাস হয়  $\psi_1^2, \psi_2^1, \psi_3^1, \psi_4^1$ । এক্ষেত্রে  $\psi_2^1, \psi_3^1, \psi_4^1$  সংকর অরবিটালে একটি করে ইলেকট্রন থাকায় তারা প্রত্যেকে একটি করে H পরমাণুর  $1s^1$  অরবিটালের সাথে মুখোমুখি অধিক্রমণ দ্বারা তিনটি N-H সিগমা ( $\sigma$ )-বন্ধন সৃষ্টি করে এবং এভাবে  $NH_3$  অণু সৃষ্টি হয়।  $\psi_2, \psi_3, \psi_4$  ও অরবিটালসমূহের বন্ধন ইলেকট্রন যুগলের মধ্যকার বিকর্ষণ অপেক্ষা  $\psi_1^2$  এর নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রনযুগল দ্বারা তাদের ওপর বিকর্ষণ বেশি হয়। ফলে

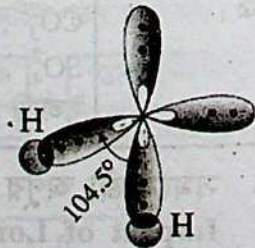
অ্যামোনিয়া অণুতে বন্ধন কোণ  $\angle HNH$  এর মান  $109.5^\circ$  থেকে কমে  $107^\circ$  হয়। অ্যামোনিয়া অণুর গঠন একটি ত্রিকোণাকার পিরামিডের ন্যায়, যার কেন্দ্র বিন্দুতে N পরমাণু এবং তলের কৌণিক বিন্দুসমূহে H পরমাণুসমূহ অবস্থিত।



চিত্র-৩.২৯ :  $NH_3$  অণুর গঠন ও বন্ধন কোণ।

### (২) পানির অণুর গঠনে $sp^3$ সংকরণ প্রক্রিয়া (Formation of $H_2O$ with $sp^3$ )

পানির কেন্দ্রীয় পরমাণু অক্সিজেনের ইলেকট্রন বিন্যাস  $O (8) = 1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^1 2p_z^1$ । অক্সিজেন পরমাণুর  $2s$  ও  $2p$  অরবিটালসমূহের  $sp^3$  সংকরণ হয়। উৎপন্ন চারটি সংকর অরবিটাল একটি চতুস্তলকের শীর্ষবিন্দুর দিকে প্রসারিত থাকে। এ চতুস্তলকের কেন্দ্রে অক্সিজেন পরমাণুর অবস্থান। চারটি সংকর অরবিটালের যেমন  $\psi_1^2, \psi_2^2, \psi_3^1, \psi_4^1$  এর প্রথম দুটিতে আছে নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রনযুগল। এরা বন্ধন সৃষ্টিতে ব্যবহৃত হয় না। অপর দুটি অরবিটালে যেমন  $\psi_3^1, \psi_4^1$  -এ একটি করে ইলেকট্রন। এ অরবিটাল দুটি হাইড্রোজেন পরমাণুর  $1s^1$  অরবিটালের সাথে অধিক্রমণ করে দুটি O-H বন্ধন সৃষ্টি করে; এভাবেই পানির অণু সৃষ্টি হয়। অক্সিজেন পরমাণুর দুটি নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রনযুগল পানি অণুর বন্ধন ইলেকট্রন যুগলকে অধিকতর বিকর্ষণ করে বলে বন্ধন কোণ  $\angle HOH$  এর মান আদর্শ চতুস্তলকের কোণের মান  $109.5^\circ$  থেকে কমে  $104.5^\circ$  (বা,  $104^\circ 28'$ ) হয়। যেহেতু পরীক্ষায় শুধুমাত্র নিউক্লিয়াসসমূহের অবস্থান ধরা পড়ে, সেহেতু পরমাণুর নিউক্লিয়াসসমূহের অবস্থান অনুসারে পানির অণুর আকার ইংরেজি V-অক্ষরের আকৃতির ন্যায় দেখায়।



চিত্র-৩.৩০ :  $H_2O$  অণুর গঠন ও বন্ধন কোণ।



(খ) বন্ধন কোণের ওপর নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল ও পরমাণুর তড়িৎ ঋণাত্মকতার প্রভাব :

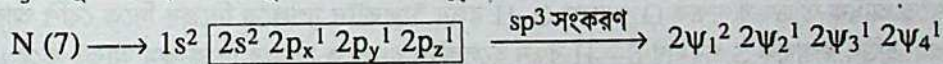
নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রনযুক্ত যৌগ অণু,  $AB_3L$  (যেমন-  $\ddot{N}H_3$ ,  $\ddot{N}F_3$ ,  $\ddot{P}H_3$ ) ও  $AB_2L_2$  (যেমন-  $H_2\ddot{O}$ ,  $H_2\ddot{S}$ ) এর বেলায় বন্ধন কোণের ওপর সংশ্লিষ্ট পরমাণুর তড়িৎ ঋণাত্মকতার প্রভাব রয়েছে। এক্ষেত্রে A = কেন্দ্রীয় পরমাণু, B = বন্ধনযুক্ত প্রান্তীয় পরমাণু ও L = নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল। উপরোক্ত  $AB_3L$  ও  $AB_2L_2$  সংকেত যুক্ত প্রত্যেক যৌগের কেন্দ্রীয় পরমাণুর মধ্যে  $sp^3$  সংকরণ ঘটে; তাই চতুস্তলকীয় গঠন ও বন্ধন কোণ  $109^\circ 28'$  হওয়ার কথা। কিন্তু কেন্দ্রীয় পরমাণুতে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল থাকায় বন্ধন কোণ  $lp - bp$  এর বিকর্ষণের কারণে  $109^\circ 28'$  থেকে হ্রাস পায়। এছাড়া সংশ্লিষ্ট কেন্দ্রীয় পরমাণু ও বন্ধনযুক্ত প্রান্তীয় পরমাণুর তড়িৎ ঋণাত্মকতার পার্থক্যের কারণেও বন্ধন ইলেকট্রন যুগলদ্বয়ের  $(bp - bp)$  মধ্যে বিকর্ষণের মাত্রা কমবেশি হয়ে থাকে।

(i) যৌগ অণুর কেন্দ্রীয় পরমাণুর তড়িৎ ঋণাত্মকতা প্রান্তীয় পরমাণুর চেয়ে যত বেশি হয়, বন্ধন ইলেকট্রন যুগল কেন্দ্রীয় পরমাণুর দিকে তত বেশি সরে আসে। ফলে বন্ধন ইলেকট্রন যুগলদ্বয়ের  $(bp - bp)$  মধ্যে বিকর্ষণ বেশি হয় এবং বন্ধন কোণের পরিমাণ বেড়ে যায়।

(ii) অপরদিকে, কেন্দ্রীয় পরমাণুর চেয়ে প্রান্তীয় পরমাণুর তড়িৎ ঋণাত্মকতা যত বেশি হয়, বন্ধন ইলেকট্রন যুগল কেন্দ্রীয় পরমাণুর চেয়ে প্রান্তীয় পরমাণুর দিকে তত বেশি সরে আসে। ফলে বন্ধন ইলেকট্রন যুগলদ্বয়ের  $(bp - bp)$  মধ্যে বিকর্ষণ কম হয় এবং বন্ধন কোণের পরিমাণ কমে যায়। যেমন—

(১)  $NH_3$  এর বন্ধন কোণ  $107^\circ$  হলেও  $NF_3$  এর বন্ধন কোণ  $102^\circ 29'$  বা  $102.5^\circ$  হয় কেন?—এর ব্যাখ্যা :

$\ddot{N}H_3$  ও  $\ddot{N}F_3$  অণুতে কেন্দ্রীয় পরমাণু N এর মধ্যে  $sp^3$  সংকরণ ঘটে।



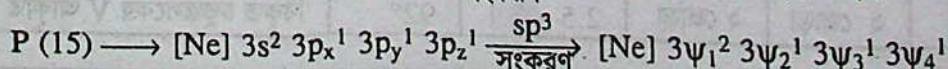
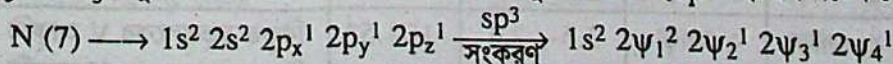
N পরমাণুর সৃষ্ট চারটি সংকর অরবিটালের মধ্যে একটিতে নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল ( $2\psi_1^2$ ) আছে।

তাই  $\ddot{N}H_3$  ও  $\ddot{N}F_3$  অণুতে নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল ও বন্ধন-ইলেকট্রন যুগল চতুস্তলকীয়ভাবে বিন্যস্ত না থেকে ত্রিকোণাকার পিরামিডের আকার ধারণ করে। আবার প্রত্যেক অণুতে উভয় পরমাণুর তড়িৎ ঋণাত্মকতার পার্থক্যের ওপর নির্ভর করে দুটি বন্ধন ইলেকট্রন যুগলের  $(bp - bp)$  মধ্যে বিকর্ষণের মাত্রা ভিন্ন হয়ে থাকে। যেমন,

$NF_3$  অণুতে অধিক তড়িৎ ঋণাত্মক F পরমাণু N-F বন্ধনের ইলেকট্রন যুগলকে বেশি মাত্রায় নিজের দিকে আকর্ষণ করে। কিন্তু  $NH_3$  অণুতে অধিক তড়িৎ ঋণাত্মক N পরমাণু N-H বন্ধনের ইলেকট্রন যুগলকে বেশি মাত্রায় নিজের কেন্দ্রের দিকে আকর্ষণ করে রাখে। তাই  $bp - bp$  বিকর্ষণের মাত্রা  $NF_3$  এর চেয়ে  $NH_3$  এর ক্ষেত্রে বেশি হয়। এছাড়া সংকর অরবিটালের নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল  $NH_3$  অণুর চেয়ে  $NF_3$  অণুর  $bp$  এর ওপর বেশি বিকর্ষণ ( $lp - bp$ ) ঘটিয়ে বন্ধন কোণকে অধিক হ্রাস করতে পারে। এজন্য  $NH_3$  অণুর বন্ধন কোণ  $\angle HNH$  এর মান  $107^\circ$  হয় এবং  $NF_3$  অণুর বন্ধন কোণ  $\angle FNF$  এর মান অধিক হ্রাস পেয়ে  $102.5^\circ$  হয়ে থাকে।

(২)  $NH_3$  এর বন্ধন কোণ  $107^\circ$  হলেও  $PH_3$  এর বন্ধন কোণ  $94^\circ$  হয় কেন?—এর ব্যাখ্যা :

$NH_3$  ও  $PH_3$  অণু গঠনকালে প্রতি ক্ষেত্রে কেন্দ্রীয় পরমাণু N ও P এর  $sp^3$  সংকরণ ঘটে। যেমন—



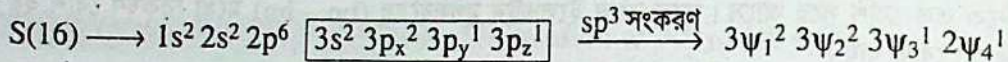
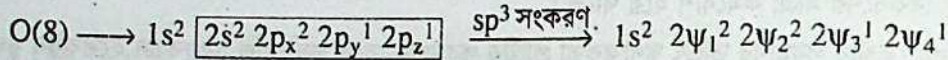
$\ddot{N}H_3$  ও  $\ddot{P}H_3$  অণুতে কেন্দ্রীয় পরমাণু N ও P এর মধ্যে  $sp^3$  সংকরণ ঘটে। তাই  $NH_3$  ও  $PH_3$  অণুর গঠন চতুস্তলকীয় হওয়ার কথা। কিন্তু এক্ষেত্রে  $NH_3$  ও  $PH_3$  অণুতে প্রতিক্ষেত্রে কেন্দ্রীয় পরমাণু যেমন N ও P পরমাণুতে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল থাকায় বন্ধন কোণ  $109^\circ 28'$  থেকে হ্রাস পায়। আবার আমরা জানি, নিঃসঙ্গ ইলেকট্রনযুক্ত যৌগ অণু  $AB_3L$  এর বেলায় কেন্দ্রীয় পরমাণু (যেমন- A) এর তড়িৎ ঋণাত্মকতা বেশি এবং আকার ছোট অর্থাৎ ২য় পর্যায়ভুক্ত মৌল হলে এক্ষেত্রে বন্ধন কোণ তুলনামূলকভাবে ৩য় পর্যায়ভুক্ত একই গ্রুপের মৌলের যৌগ থেকে বেশি হয়। এক্ষেত্রে N ও P এর তড়িৎ ঋণাত্মকতা হলো যথাক্রমে 3.0 ও 2.1।



$\text{NH}_3$  অণুতে অধিক তড়িৎ ঋণাত্মক N পরমাণু N-H বন্ধন ইলেকট্রন যুগলকে নিজের দিকে বেশি আকৃষ্ট করে। কিন্তু  $\text{PH}_3$  অণুতে কম তড়িৎ ঋণাত্মক P পরমাণু P-H বন্ধন ইলেকট্রন যুগলকে নিজের দিকে কম আকৃষ্ট করে। তাই  $\text{PH}_3$  এর চেয়ে  $\text{NH}_3$  এর ক্ষেত্রে দুটি বন্ধন ইলেকট্রন যুগল (bp - bp) এর মধ্যে বিকর্ষণের মাত্রা বেশি হয়। এজন্য  $\text{NH}_3$  এর বন্ধন কোণ  $\angle\text{HNH}$  এর মান  $107^\circ$  এবং  $\text{PH}_3$  এর বন্ধন কোণ  $\angle\text{HPH}$  এর মান  $94^\circ$  হয়ে থাকে।

(৩)  $\text{H}_2\text{O}$  এর বন্ধন কোণ  $104^\circ 28'$  হলেও  $\text{H}_2\text{S}$  এর বন্ধন কোণ  $90^\circ$  হয় কেন?—এর ব্যাখ্যা :

$\text{H}_2\text{O}$  ও  $\text{H}_2\text{S}$  উভয় অণুতে কেন্দ্রীয় পরমাণু O ও S এর মধ্যে  $sp^3$  সংকরণ ঘটে এবং উভয় অণুতে দুটি করে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল আছে। যেমন,



উভয় ক্ষেত্রে  $sp^3$  সংকরণ থাকা সত্ত্বেও  $\text{H}_2\text{O}$  ও  $\text{H}_2\text{S}$  এর প্রত্যেকের বেলায় দুটি করে নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল ও বন্ধন ইলেকট্রন যুগল (lp - bp) এর মধ্যে বিকর্ষণের ফলে বন্ধন কোণ  $109^\circ 28'$  থেকে হ্রাস পায়। আবার আমরা জানি, নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগলযুক্ত যৌগ অণু  $\text{AB}_2\text{L}_2$  এ বেলায় কেন্দ্রীয় পরমাণু (যেমন A) এর তড়িৎ ঋণাত্মকতা বেশি ও আকার ছোট অর্থাৎ ২য় পর্যায়ভুক্ত মৌল হলে তখন বন্ধন কোণ তুলনামূলকভাবে ৩য় পর্যায়ভুক্ত একই গ্রুপের মৌলের যৌগ থেকে বেশি হয়। এক্ষেত্রে O ও S এর তড়িৎ ঋণাত্মকতা হলো যথাক্রমে 3.5 ও 2.5।

$\text{H}_2\text{O}$  অণুতে অধিক তড়িৎ ঋণাত্মক O পরমাণু O-H বন্ধন ইলেকট্রন যুগলকে নিজের দিকে বেশি আকৃষ্ট করে। কিন্তু  $\text{H}_2\text{S}$  অণুতে কম তড়িৎ ঋণাত্মক S পরমাণু S-H বন্ধন ইলেকট্রন যুগলকে নিজের দিকে কম আকৃষ্ট করে। তাই  $\text{H}_2\text{S}$  এর চেয়ে  $\text{H}_2\text{O}$  এর ক্ষেত্রে দুটি বন্ধন ইলেকট্রন যুগল (bp - bp) এর মধ্যে বিকর্ষণের মাত্রা বেশি হয়। এজন্য  $\text{H}_2\text{O}$  এর বন্ধন কোণ  $\angle\text{HOH}$  এর মান  $104^\circ 28'$  বা,  $104.5^\circ$  হয়; কিন্তু  $\text{H}_2\text{S}$  এর বন্ধন কোণ  $\angle\text{HSH}$  এর মান হ্রাস পেয়ে  $92^\circ$  হয়ে থাকে।

$sp^3$  সংকরিত কেন্দ্রীয় পরমাণুতে নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল ও তড়িৎ ঋণাত্মকতার প্রভাবে যৌগ অণুর আকৃতি ও বন্ধন কোণের পরিবর্তন :

যৌগ অণু	অরবিটাল সংকরণ	বন্ধন ইলেকট্রন জোড়া	নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড়া	তড়িৎ ঋণাত্মকতা	বন্ধন কোণ	অণুর গঠন আকৃতি
$\text{NH}_3$	$sp^3$	৩ জোড়া	১ জোড়া	3.0—2.1	$107^\circ$	ত্রিকোণাকার পিরামিড
$\text{NF}_3$	$sp^3$	৩ জোড়া	১ জোড়া	3.0—4.0	$102.5^\circ$	ত্রিকোণাকার পিরামিড
$\text{NH}_3$	$sp^3$	৩ জোড়া	১ জোড়া	3.0—2.1	$107^\circ$	ত্রিকোণাকার পিরামিড
$\text{PH}_3$	$sp^3$	৩ জোড়া	১ জোড়া	2.1—2.1	$94^\circ$	ত্রিকোণাকার পিরামিড
$\text{H}_2\text{O}$	$sp^3$	২ জোড়া	২ জোড়া	3.5—2.1	$104.5^\circ$	বিকৃত চতুস্তলকের V আকৃতি
$\text{H}_2\text{S}$	$sp^3$	২ জোড়া	২ জোড়া	2.5—2.1	$92^\circ$	বিকৃত চতুস্তলকের V আকৃতি

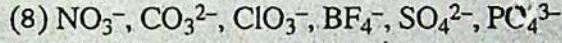
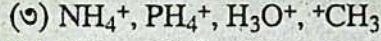
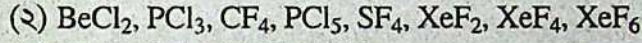
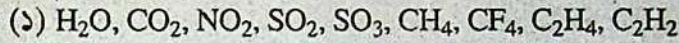
শিক্ষার্থীর কাজ-৩.১৩ : অরবিটাল সংকরণ ও অণুর আকৃতিভিত্তিক :

সমস্যা-৩.২৮(ক) : A ও B মৌলের যোজ্যতা ইলেকট্রন হলো যথাক্রমে  $ns^2np^3$  এবং  $ns^2np^4$  ( $n = 2$ )। A ও B এর হাইড্রাইড গঠনে অরবিটাল সংকরণ একই হওয়া সত্ত্বেও এদের আকৃতি ভিন্ন কেন, বিশ্লেষণ কর। [দি.বো. ২০১৫]

সমস্যা-৩.২৮(খ) : X ও Y মৌলের যোজ্যতা ইলেকট্রন হলো যথাক্রমে  $ns^2np^2$  এবং  $ns^2np^4$  ( $n = 2$ )। X ও Y এর হাইড্রাইড গঠনে কেন্দ্রীয় পরমাণুর অরবিটাল সংকরণ একই প্রকার হলে উভয় যৌগের গঠন ও বন্ধন কোণ কী রূপ হবে তা বিশ্লেষণ কর।



সমস্যা-৩.২৮(গ) : নিম্নোক্ত যৌগের অণুতে ও আয়নের কেন্দ্রীয় পরমাণুর সংকরণ অবস্থা নির্ণয় কর এবং তা হতে প্রত্যেকের গঠন আকৃতি কীরূপ হবে তা নির্ধারণ কর :



সমস্যা-৩.২৯(ক) :  $NH_3$  এর বন্ধন কোণ  $107^\circ$  হলেও  $NF_3$  অণুর বন্ধন কোণ  $102.5^\circ$  হয় কেন; এর ব্যাখ্যা কর।

সমস্যা-৩.২৯(খ) :  $NH_3$  এর বন্ধন কোণ  $107^\circ$ ; কিন্তু  $PH_3$  অণুর বন্ধন কোণ  $94^\circ$  হয়; এর কারণ ব্যাখ্যা কর।

সমস্যা-৩.২৯(গ) :  $H_2O$  এর বন্ধন কোণ  $104.5^\circ$ ; কিন্তু  $H_2S$  অণুর বন্ধন কোণ  $92^\circ$  হয় কেন; তা ব্যাখ্যা কর।

সমস্যা-৩.৩০ : নিচের যৌগসমূহের অণুতে প্রতিটি C-পরমাণুর সংকরণ প্রকৃতি এবং অণুতে সিগমা ( $\sigma$ ) ও পাই ( $\pi$ ) বন্ধনের সংখ্যা উল্লেখ কর : (a)  $CH_3-CH_3$ , (b)  $CH_3-CH=CH_2$ , (c)  $CH_2=C=CH_2$ , (d)  $CH_3-CHO$ .

প্রশ্ন-৩.৩১(ক) :  $BeCl_2$  যৌগের অরবিটাল সংকরণ বর্ণনা কর।

[য. বো. ২০১৬]

প্রশ্ন-৩.৩১(খ) : সমযোজী বন্ধনগুলো দিক-নির্দেশক ধর্মবিশিষ্ট হয় কেন?

### ৩.১২ সমযোজী যৌগ অণুর মডেল তৈরি

#### To make Molecular models of Covalent Compounds

শিক্ষার্থীর গ্রুপভিত্তিক কাজ : সমযোজী বন্ধনভিত্তিক :

সময় : ১ পিরিয়ড

১। অনুচ্ছেদ-৩.৩ এর চিত্র-৩.৭ থেকে Be, B, C, N ও H এর তুলনামূলক পারমাণবিক আকারের ধারণা নাও। এ ধারণা মাথায় রেখে ঐ তিন প্রকারের পরমাণুর জন্য ছোট, বড় গোল আলু ও পরমাণুর বন্ধন বোঝানোর জন্য লোহার তারকে দেড় ইঞ্চি করে কেটে নাও অথবা দিয়াশলাই কাঠি সংগ্রহ কর। দিয়াশলাই কাঠি অথবা লোহার তার দ্বারা দুই পরমাণুর মধ্যে একক সিগমা বন্ধন দেখানো যাবে।

২। এবার পর্যায় সারণিতে ঐসব মৌলের অবস্থান ঠিক করে এদের সর্বোচ্চ যোজনী জেনে নাও।

৩। সমযোজী যৌগের অণুর আকৃতি ও বন্ধন কোণের ওপর তোমাদের অর্জিত জ্ঞানকে কাজে লাগিয়ে নিচে উল্লেখিত যৌগের মডেল তৈরি কর এবং নিজেদের মধ্যে আলোচনা কর।

(ক) মিথেন অণু (খ) ইথেন অণু (গ)  $BeCl_2$  অণু (ঘ)  $BCl_3$  অণু (ঙ) অ্যামোনিয়া অণু।

৪। বোঝার সুবিধার জন্য কিছু পরমাণু মডেল এবং ঐ সব পরমাণু দ্বারা সিগমা বন্ধন সহযোগে সমযোজী অণুর গঠন মডেল বল ও স্টিক পদ্ধতিতে দেখানো হলো।



বড় আকারের আলু  
(কেন্দ্রীয় পরমাণুর মডেল)



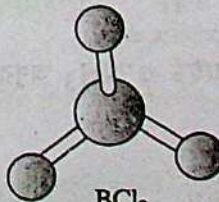
মাঝারি আকারের আলু  
[O, Cl পরমাণুর মডেল]



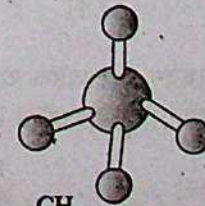
ছোট আকারের আলু  
[H-পরমাণুর মডেল]



$Cl-Be-Cl$   
সরলরৈখিক



$BCl_3$   
সুষম ত্রিভুজাকার



$CH_4$   
সুষম চতুষ্তলকীয়

চিত্র-৩.৩১ :  $BeCl_2$ ,  $BCl_3$  ও  $CH_4$  এর অণুর মডেল।



জেনে নাও :

\* মিথেন ( $\text{CH}_4$ ), ইথেন ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) ইত্যাদি সব সম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন বা অ্যালকেন ( $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ ) এর সব C-পরমাণু  $\text{sp}^3$  সংকরিত। তাই এরা কম সক্রিয় হয়।

\* হীরক বা ডায়মন্ড কেলাসে সব C-পরমাণু  $\text{sp}^3$  সংকরিত এবং সমযোজী বন্ধনে আবদ্ধ থাকে। এতে কোনো মুক্ত ইলেকট্রন থাকে না বলে হীরক বিদ্যুৎ অপরিবাহী।

\* গ্রাফাইট কার্বনে সব C-পরমাণু  $\text{sp}^2$  সংকরিত এবং প্রত্যেক C-পরমাণুতে একটি করে সঞ্চরণশীল ইলেকট্রন থাকে। তাই গ্রাফাইট বিদ্যুৎ সুপরিবাহী অধাতব মৌল। অপরদিকে সব ধাতুতে ধাতব-বন্ধনে ক্রিয়াশীল সব ধাতব পরমাণুর সঞ্চরণশীল ইলেকট্রন থাকে।

\* দ্বিবন্ধনযুক্ত C-পরমাণুর অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন বা অ্যালকিন ( $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ )-এর দ্বিবন্ধনের উভয় C-পরমাণু  $\text{sp}^2$  সংকরিত এবং দুই C-পরমাণুর মাঝখানে একটি সিগমা বন্ধনসহ একটি পাই ( $\pi$ ) বন্ধন থাকে। পাই ( $\pi$ ) বন্ধন থাকার কারণে অ্যালকিন অধিক সক্রিয়।

\* বেনজিন ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) অণুতে প্রত্যেক C-পরমাণু  $\text{sp}^2$  সংকরিত এবং বেনজিনের ছয় C-পরমাণুবিধিষ্ট বলয়ে ছয় C-পরমাণুর ছয়টি সঞ্চরণশীল পাই ( $\pi$ ) ইলেকট্রন থাকে। বেনজিন বলয়ে তিনটি দ্বিবন্ধনের সমতুল্য ছয়টি সঞ্চরণশীল ইলেকট্রন আবদ্ধ অবস্থায় থাকে বলে বেনজিন গ্রাফাইটের মতো বিদ্যুৎ পরিবাহী নয়।

\* অনুরূপভাবে ত্রিবন্ধন যুক্ত হাইড্রোকার্বন বা অ্যালকাইন  $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$  এর ত্রিবন্ধনের উভয় C-পরমাণু  $\text{sp}$  সংকরিত। ত্রিবন্ধনযুক্ত উভয় C-পরমাণুর মাঝখানে একটি সিগমা বন্ধনসহ দুটি পাই ( $\pi$ ) বন্ধন থাকে। পাই ( $\pi$ ) বন্ধন থাকার কারণে অ্যালকাইন অধিক সক্রিয় হয়।

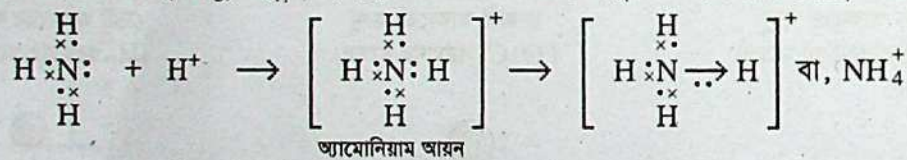
### ৩.১৩ সন্নিবেশ সমযোজী বন্ধন

#### Coordinate Covalent Bond

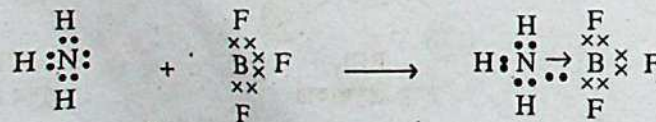
সমযোজী বন্ধন গঠনকালে বন্ধনে অংশগ্রহণকারী প্রতিটি পরমাণু সমান সংখ্যক ইলেকট্রন যোগান দিয়ে ইলেকট্রনযুগল সৃষ্টি করে। তোমরা অ্যামোনিয়াম আয়ন  $\text{NH}_4^+$  লিখে থাকো, এতে  $\text{NH}_3$  অণুর N পরমাণুর নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল বা মুক্তজোড় (Ione pair) ইলেকট্রন দ্বারা  $\text{H}^+$  আয়ন কোনো ইলেকট্রন না দিয়েও সমযোজী বন্ধনে আবদ্ধ হয়। সুতরাং দুটি পরমাণুর মধ্যে সমযোজী বন্ধন সৃষ্টির জন্য প্রয়োজনীয় ইলেকট্রন যুগল কোনো কোনো ক্ষেত্রে একটি মাত্র পরমাণু সরবরাহ করে থাকে এবং অপর পরমাণু কোনো ইলেকট্রন যোগান না দিয়ে ঐ ইলেকট্রন যুগল সরবরাহকারী পরমাণুর সাথে সমভাবে শেয়ার করে বন্ধনে আবদ্ধ হয়। এভাবে সৃষ্ট বন্ধনকে সন্নিবেশ বন্ধন বা সন্নিবেশ সমযোজী বন্ধন বলা হয়।

যে পরমাণু তার মুক্তজোড় ইলেকট্রনযুগল সরবরাহ করে তাকে দাতা পরমাণু (donor atom) এবং যে পরমাণু তা শেয়ার করে তাকে গ্রহীতা পরমাণু (acceptor atom) বলা হয়। এক্ষেত্রে দাতা পরমাণু ও গ্রহীতা পরমাণুর মধ্যে একটি তীর চিহ্ন ( $\rightarrow$ ) দেয়া হয়।

উদাহরণ-১। অ্যামোনিয়া ( $\text{NH}_3$ ) অণু ও হাইড্রোজেন আয়নের মধ্যে সন্নিবেশ বন্ধন দ্বারা  $\text{NH}_4^+$  আয়ন সৃষ্টি হয়।



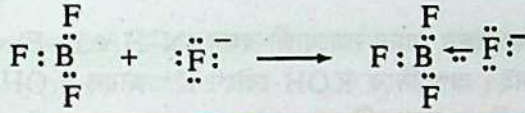
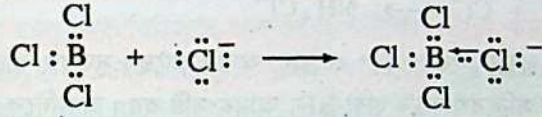
উদাহরণ-২। অষ্টক অপূর্ণ বোরন ট্রাইফ্লোরাইড ও  $\text{NH}_3$  অণুর মধ্যে সন্নিবেশ বন্ধন দ্বারা উভয় যৌগ যুক্ত হয়ে অ্যামোনিয়া বোরো ফ্লোরাইড উৎপন্ন করে।



অনুরূপভাবে,  $\text{BCl}_3$ ,  $\text{BF}_3$  ও  $\text{NH}_3$  এর মধ্যে সন্নিবেশ বন্ধন ঘটে থাকে।



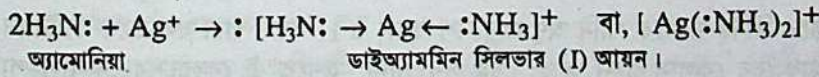
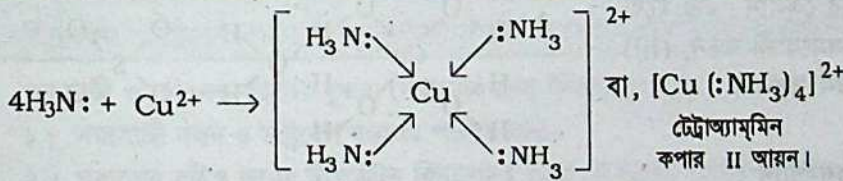
উদাহরণ-৩। অষ্টক অপূর্ণ  $\text{BCl}_3$  ও  $\text{BF}_3$  এর সাথে ক্লোরাইড আয়ন ( $\text{Cl}^-$ ) ও ফ্লোরাইড আয়ন ( $\text{F}^-$ ) সন্নিবেশ বন্ধন দ্বারা যথাক্রমে  $\text{BCl}_4^-$  আয়ন ও  $\text{BF}_4^-$  আয়ন গঠন করে। যেমন,



**MCQ-3.17 :** নিচের কোনটির আকার সবচেয়ে ছোট?  
[কু. বো. ২০১৭]  
(ক) O (খ) N (গ) C (ঘ) Li

জেনে নাও : সন্নিবেশ বন্ধন দ্বারা সৃষ্ট  $\text{BCl}_4^-$  আয়ন ও  $\text{BF}_4^-$  আয়ন গঠনকালে কেন্দ্রীয় পরমাণু B এর  $sp^2$  সংকরণ ( $\text{BCl}_3$ -তে) পরিবর্তিত হয়ে নতুনভাবে  $sp^3$  অরবিটাল সংকরণ ঘটে।

সন্নিবেশ বন্ধনের সবচেয়ে বেশি উদাহরণ পাওয়া যায় জটিল ধাতব যৌগে। এ সব জটিল যৌগে বা জটিল আয়নে বিভিন্ন লিগ্যান্ড d-ব্লক মৌলের ধাতব আয়নসমূহকে ইলেকট্রনযুগল সরবরাহ করে সন্নিবেশ বন্ধন সৃষ্টি করে। জটিল আয়ন বা যৌগ গঠনে নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যোগানকারী ঋণাত্মক আয়ন বা প্রশম অণুকে লিগ্যান্ড (ligand) বলে। যেমন, নিচের উদাহরণে টেট্রাঅ্যামিন কপার (II) আয়ন ও ডাইঅ্যামিন সিলভার (I) আয়ন গঠনকালে  $\text{NH}_3$  অণু হলো লিগ্যান্ড।



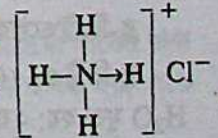
**MCQ-3.18 :**  
[ $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4$ ] $^{2+}$  এর মধ্যে কী কী প্রকারের বন্ধন আছে?  
[কু. বো. ২০১৫]  
(i) আয়নিক (ii) সমযোজী  
(iii) সন্নিবেশ বন্ধন  
নিচের কোনটি সঠিক?  
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii  
(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

### ৩.১৩.১ একই যৌগে বিভিন্ন ধরনের বন্ধনের উপস্থিতি

#### Presence of Different Types of bonds in the Same Compound

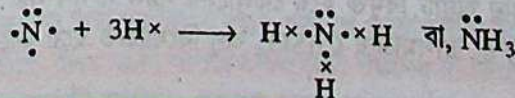
বিভিন্ন বন্ধনযুক্ত যৌগ : অনেক যৌগে একই সাথে বিভিন্ন ধরনের বন্ধন থাকতে পারে; যেমন,

উদাহরণ-১।  $\text{NH}_4\text{Cl}$  এর মধ্যে তিন প্রকার বন্ধন যেমন— (i) সমযোজী বন্ধন, (ii) সন্নিবেশ বন্ধন ও (iii) আয়নিক বন্ধন আছে। এ যৌগের  $\text{NH}_4^+$  আয়নে তিনটি N—H বন্ধন সমযোজী এবং একটি N→H বন্ধন সন্নিবেশ সমযোজী।

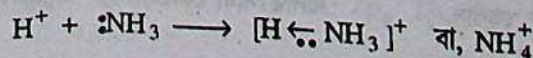


আবার  $\text{NH}_4^+$  আয়ন ও  $\text{Cl}^-$  আয়ন এর সাথে আয়নিক বন্ধন আছে। নিচে তা ব্যাখ্যা করা হলো :

(i) সমযোজী বন্ধন দ্বারা  $\text{NH}_3$  অণু গঠন : একটি N পরমাণু তিনটি H পরমাণুর সাথে তিনটি সমযোজী N—H বন্ধন সহযোগে  $\text{NH}_3$  অণু গঠন করে।



(ii) সন্নিবেশ সমযোজী বন্ধন দ্বারা  $\text{NH}_4^+$  আয়ন গঠন : অ্যামোনিয়া অণু ( $\text{NH}_3$ ) এর নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল সহযোগে একটি হাইড্রোজেন আয়ন ( $\text{H}^+$ ) সন্নিবেশ বন্ধনে আবদ্ধ হয়।





(iii) আয়নিক বন্ধন দ্বারা  $\text{NH}_4\text{Cl}$  গঠন : ধনাত্মক  $\text{NH}_4^+$  আয়ন ও ঋণাত্মক  $\text{Cl}^-$  আয়ন স্থির বৈদ্যুতিক আকর্ষণ দ্বারা আয়নিক বন্ধনে আবদ্ধ হয়ে  $\text{NH}_4\text{Cl}$  গঠন করে।



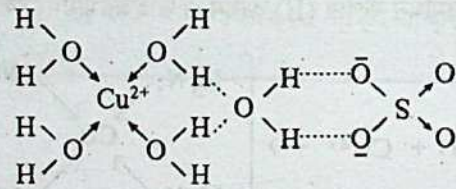
একইভাবে, পটাসিয়াম বোরন টেট্রাফ্লোরাইড  $\text{KBF}_4$  যৌগে  $\text{K}^+$  ও  $\text{BF}_4^-$  আয়ন আছে। সুতরাং তাদের মধ্যে আয়নিক বন্ধন বিদ্যমান। আবার  $\text{BF}_3$  ও  $\text{F}^-$  আয়নের মধ্যে সন্নিবেশ বন্ধন দ্বারা  $\text{BF}_4^-$  আয়ন সৃষ্টি হয়। অন্যদিকে  $\text{BF}_3$  অংশে B-F বন্ধনসমূহ সমযোজী বন্ধন।

উদাহরণ-২।  $\text{H}_3\text{N} \rightarrow \text{BF}_3$  যৌগে দুই ধরনের বন্ধন যেমন সমযোজী বন্ধন (N-H ও B-F) এবং সন্নিবেশ বন্ধন (N→B) আছে। এতে কোনো আয়নিক বন্ধন নেই। অপরদিকে  $\text{KOH}$  যৌগে  $\text{K}^+$  আয়ন ও  $\text{OH}^-$  আয়ন এর মধ্যে আয়নিক বন্ধন এবং  $\text{OH}^-$  অংশে O ও H এর মধ্যে বিসৃঙ্খ সমযোজী বন্ধন আছে।

উদাহরণ-৩। হেঞ্জা-অ্যাম্মিন কোবাল্ট (III) ক্লোরাইড  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$  যৌগে অ্যামোনিয়া অংশে N-H বন্ধনসমূহ সমযোজী। আবার  $\text{Co}^{3+}$  আয়নের সাথে ছয়টি  $\text{NH}_3$ -লিগ্যান্ডের (বা নাইট্রোজেন পরমাণুর) বন্ধন সন্নিবেশ বন্ধন। তৃতীয়ত,  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$  যৌগটি প্রকৃতপক্ষে হেঞ্জা-অ্যাম্মিন কোবাল্ট (iii) আয়ন  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$  এবং  $3\text{Cl}^-$  আয়ন দ্বারা গঠিত। সুতরাং এ দুই অংশের মধ্যে আয়নিক বন্ধন।

একইভাবে  $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  প্রভৃতি বহু যৌগে তিন প্রকারের বন্ধন আছে।

উদাহরণ-৪। সোদক কপার সালফেট বা তুঁতে ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) হলো নীল বর্ণের কেলাস। এর মধ্যে (i) সমযোজী বন্ধন, (ii) সন্নিবেশ সমযোজী বন্ধন, (iii) আয়নিক বন্ধন ও (iv) হাইড্রোজেন বন্ধন (.....) আছে। তা পার্শ্বে দেখানো হলো।



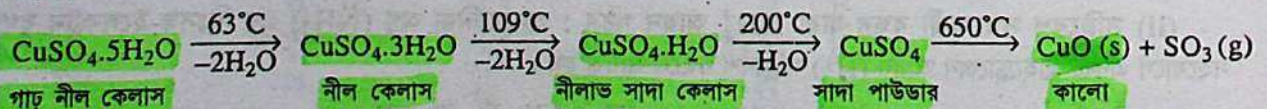
কেলাস-পানি ও কেলাসের গঠন-পানি :

যে সব অজৈব লবণের কেলাস গঠনে নির্দিষ্ট সংখ্যক পানি অণু সন্নিবেশ বন্ধন ও H-বন্ধন দ্বারা যথাক্রমে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের সাথে যুক্ত থেকে নির্দিষ্ট আকারের কেলাস গঠন করে; সেই সব পানি অণুকে ঐ কেলাসের কেলাস-পানি (water of crystallization) বলা হয়। যেমন ব্লু-ভিট্রিওল (blue vitriol) বা নীল বর্ণের তুঁতে ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )।

ব্লু-ভিট্রিওলের কেলাস-ল্যাটিসে ৪টি  $\text{H}_2\text{O}$  অণু  $\text{Cu}^{2+}$  আয়নের সাথে সন্নিবেশ বন্ধন দ্বারা এবং পঞ্চম  $\text{H}_2\text{O}$  অণুটি কেন্দ্রীয়ভাবে একদিকে  $\text{SO}_4^{2-}$  আয়নের সাথে ২টি H-বন্ধন দ্বারা এবং অপরদিকে  $\text{Cu}^{2+}$  আয়নের সাথে সন্নিবেশ বন্ধনে যুক্ত ২টি  $\text{H}_2\text{O}$  অণুসহ ২টি H বন্ধনসহকারে মোট ৪টি H বন্ধনে আবদ্ধ থাকে (গঠন চিত্র দেখো)।

ব্লু-ভিট্রিওলের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব :

ব্লু-ভিট্রিওল ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) কে উত্তপ্ত করলে ১ম ধাপে  $63^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায়  $\text{Cu}^{2+}$  সহ সন্নিবেশ বন্ধনে আবদ্ধ ২টি  $\text{H}_2\text{O}$  মুক্ত হয়; ২য় ধাপে  $109^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায়  $\text{Cu}^{2+}$  এর অপর ২টি  $\text{H}_2\text{O}$  মুক্ত হয়ে হালকা নীলাভ সাদা বর্ণের কপার (II) সালফেট মনোহাইড্রেট ( $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) কেলাস তৈরি হয়। এক্ষেত্রে একক পানি অণুটি  $\text{Cu}^{2+}$  আয়নের সাথে ২টি সন্নিবেশ বন্ধন এবং  $\text{SO}_4^{2-}$  আয়নের সাথে ২টি H-বন্ধন দ্বারা আবদ্ধ থেকে কেলাস গঠন স্থির রাখে। তখন কেলাসের গঠন রক্ষাকারী পানি অণুকে সংশ্লিষ্ট 'কেলাসের গঠন-পানি' (Water of constitution) বলে। এরপর  $200^\circ\text{C}$  (বা,  $392\text{F}$ ) তাপমাত্রায় ঐ কেলাসের গঠন পানি অণুটি বিমুক্ত হয়ে কেলাসের গঠন সম্পূর্ণ নষ্ট ও সাদা বর্ণের নিরুদ্ধিত  $\text{CuSO}_4$  এর পাউডার উৎপন্ন হয়। এরপর  $650^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায়  $\text{CuSO}_4$  অণু বিয়োজিত হয়ে কালো বর্ণের  $\text{CuO}$  ও  $\text{SO}_3$  গ্যাস উৎপন্ন করে।





বিভিন্ন বন্ধনযুক্ত যৌগের ধর্ম : (১) অনেক অজৈব লবণে আয়নিক ও সমযোজী বন্ধন একত্রে বিদ্যমান। যেহেতু এসব যৌগে বিপরীতধর্মী আয়নসমূহ বিদ্যমান, সেহেতু এ সব যৌগ আয়নিক যৌগের ধর্ম প্রদর্শন করে। যেমন উচ্চ গলনাঙ্ক ও স্ফুটনাঙ্ক, তড়িৎ পরিবাহিতা, আয়নসমূহের স্বকীয়তা প্রভৃতি।

(i) যদি কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় আয়নসমূহ অবিকৃত থাকে, তবে সে বিক্রিয়া খুব দ্রুত সম্পন্ন হবে। যেমন, তিন প্রকারের বন্ধনযুক্ত  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  আয়নগুলো দ্রবণে অবিকৃত থাকে, তাই  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  দ্রবণে  $\text{BaCl}_2$  দ্রবণ যোগ করলে সাথে সাথে  $\text{BaSO}_4$  এর অধঃক্ষেপ পড়ে। অনুরূপভাবে,  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$  এর সাথে  $\text{AgNO}_3$  এর বিক্রিয়ায় তাৎক্ষণিকভাবে  $\text{AgCl}$ -এর অধঃক্ষেপ পড়ে।

(ii) অপরদিকে যদি কোনো বিক্রিয়ায় কোনো আয়নের অভ্যন্তরে সমযোজী বন্ধন ভাঙা বা গড়া হয়, তবে তা ততো দ্রুত হবে না। যেমন  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  কে বিজারিত করে  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  বা,  $\text{Na}_2\text{S}$  করতে হলে S-O সমযোজী বন্ধন ভাঙতে হবে। সেক্ষেত্রে বিক্রিয়া ধীরগতিতে এবং উচ্চ তাপমাত্রায় সংঘটিত হবে।

(২) সাধারণভাবে কোনো যৌগে সমযোজী ও সন্নিবেশ বন্ধনের সাথে আয়নিক বন্ধন থাকলে এতে আয়নিক যৌগের ধর্মাবলি প্রাধান্য পায়। সে ধরনের যৌগকে সাধারণভাবে আয়নিক যৌগ হিসেবেই চিহ্নিত করা হয়। যেমন,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$  প্রভৃতিতে বিভিন্ন ধরনের বন্ধন থাকলেও এরা আয়নিক যৌগ হিসেবে পরিচিত।

শিক্ষার্থীর কাজ :

### ৩.১৪ সন্নিবেশ সমযোজী বন্ধন ও সমযোজী বন্ধনের তুলনা

#### Comparison between Covalent and Coordinate Bonds

শিখনফল : সন্নিবেশ সমযোজী বন্ধন হলো সমযোজী বন্ধনের একটি বিশেষ রূপ, তা প্রমাণ করতে হবে।

সমযোজী ও সন্নিবেশ বন্ধনের তুলনা দেখানোর জন্য নিম্নোক্ত বিষয়ের ওপর তুলনা কর। যেমন—

- ১। সমযোজী বন্ধন ও সন্নিবেশ বন্ধনের পরিচয় দাও।
- ২। পরমাণুর বহিস্থ স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাসসহ  $\text{NH}_3$  ও  $\text{NH}_4^+$  আয়নের গঠন দেখাও। এতে সমযোজী ও সন্নিবেশ বন্ধন গঠন হয়েছে ব্যাখ্যা কর।
- ৩। এবার  $\text{NH}_3$  অণুতে তিনটি N-H বন্ধনের সাথে  $\text{NH}_4^+$  আয়নে চারটি N-H বন্ধনের কোনো পার্থক্য নেই তা ব্যাখ্যা কর।
- ৪। সবশেষে  $\text{NH}_4^+$  আয়নে  $\angle\text{H-N-H} = 109^\circ 28'$  কোণটি আদর্শ চতুস্তলকের কোণের সমান হওয়ায় প্রতিটি সমযোজী বন্ধনে ইলেকট্রন ঘনত্ব সমান রয়েছে প্রমাণ করে।
- ৫। সমযোজী বন্ধন ও সন্নিবেশ বন্ধন সমতুল্য প্রমাণ করা হলো।

উপরোক্ত বিষয়ভিত্তিক আলোচনা হলো—

সমযোজী বন্ধন : নিকটস্থ নিষ্ক্রিয় গ্যাসের স্থিতিশীল ইলেকট্রন বিন্যাস যেমন দ্বিত্বক অথবা অষ্টক কাঠামো লাভের জন্য দুটি অধাতব পরমাণু প্রত্যেকে সমসংখ্যক ইলেকট্রন যোগান দিয়ে যুগল গঠন ও শেয়ার করে যে বন্ধনে আবদ্ধ হয়, একে সমযোজী বন্ধন বলা হয়।

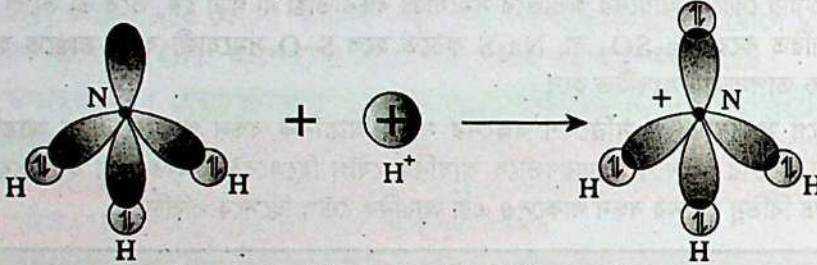
সন্নিবেশ বন্ধন : আবার যৌগ অণু গঠনের সময় সমযোজী বন্ধন গঠনের প্রয়োজনীয় ইলেকট্রন যুগল কেবলমাত্র একটি পরমাণু সরবরাহ করে এবং অপর পরমাণু কোনো ইলেকট্রন যোগান না দিয়েও ঐ প্রথম পরমাণুর যোগান দেয়া ইলেকট্রন যুগল শেয়ার করে দ্বিত্বক অথবা অষ্টক পূর্ণ করে বন্ধনে আবদ্ধ হয়, একে সন্নিবেশ সমযোজী বন্ধন বলা হয়।

সমযোজী বন্ধন ও সন্নিবেশ বন্ধনের সমতুল্যতা : বন্ধন গঠনের প্রয়োজনীয় ইলেকট্রন যুগলের উৎস ভিন্ন হলেও প্রকৃতপক্ষে বন্ধন শেষে সন্নিবেশ সমযোজী বন্ধন হলো সাধারণ সমযোজী বন্ধনের বা সিগমা বন্ধনের একটি বিশেষ রূপমাত্র। অর্থাৎ সন্নিবেশ বন্ধন প্রকৃতপক্ষে সমযোজী বন্ধন। এক্ষেত্রে  $\text{NH}_3$  অণুর গঠন ও  $\text{NH}_4^+$  আয়ন গঠনের মধ্যে তুলনা থেকে তা সুস্পষ্ট হবে।

নাইট্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস হলো;  $\text{N}(7) = 1s^2 2s^2 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$



অ্যামোনিয়া (NH<sub>3</sub>) যৌগ গঠনের পূর্বে নাইট্রোজেন পরমাণুর অরবিটালে sp<sup>3</sup> সংকরণ ঘটে। এর ফলে চারটি সমতুল্য সংকর অরবিটাল (যেমন  $\psi_1, \psi_2, \psi_3, \psi_4$ ) সৃষ্টি হয়, যার তিনটিতে একটি করে এবং চতুর্থটিতে দুটি ইলেকট্রন থাকে। এক ইলেকট্রনবিশিষ্ট সংকর অরবিটাল তিনটি (যেমন  $\psi_2, \psi_3, \psi_4$ ) তিনটি হাইড্রোজেন পরমাণুর 1s<sup>1</sup> অরবিটাল এর সাথে অধিক্রমণ করে তিনটি N-H সমযোজী সিগমা বন্ধন সৃষ্টি করে। অ্যামোনিয়া যৌগে নাইট্রোজেন পরমাণুতে চতুর্থ সংকর অরবিটালে (যেমন  $\psi_1$ ) নিঃসঙ্গ-ইলেকট্রন যুগল বা মুক্তজোড় ইলেকট্রন অবস্থান করে। অ্যামোনিয়াম (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) আয়ন গঠনের সময় এ চতুর্থ সংকর অরবিটালটি একটি হাইড্রোজেন আয়নের (H<sup>+</sup> এর) ইলেকট্রনবিহীন 1s অরবিটালের সাথে অধিক্রমণ করে সন্নিবেশ বন্ধন সৃষ্টি করে :



চিত্র-৩.৩২ : সন্নিবেশ বন্ধন দ্বারা NH<sub>4</sub><sup>+</sup> আয়ন গঠন।

**MCQ-3.19 : NH<sub>4</sub>Cl**

অণুতে কী কী প্রকারের বন্ধন

আছে? [ঢা. বো. ২০১৫]

(i) আয়নিক (ii) সমযোজী

(iii) সন্নিবেশ বন্ধন

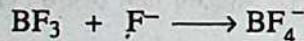
নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii

(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

সন্নিবেশ বন্ধন গঠনের ফলে N পরমাণুতে ধনাত্মক আধানের সৃষ্টি হয়। হাইড্রোজেন পরমাণুতে যে ঋণাত্মক আধানের সৃষ্টি হওয়ার কথা, তা পূর্ব থেকে অবস্থানরত ধনাত্মক আধানের সাথে মিলিত হয়ে প্রশমিত হয়। সুতরাং চতুর্থ N-H বন্ধনের সাথে অপর তিনটি N-H বন্ধনের আর কোনো পার্থক্য থাকে না। অ্যামোনিয়াম আয়নে প্রতিটি হাইড্রোজেন পরমাণু এবং N-H বন্ধন সমতুল্য এবং প্রতিটি  $\angle\text{HNH} = 109^\circ 28'$  অর্থাৎ আদর্শ চতুস্তলকের কোণ  $109.5^\circ$  এর সমান।

সমাধানকৃত সমস্যা-৩.১৪ : দ্বিতীয় পর্যায়ভুক্ত গ্রুপ-13 বা 3A এর একটি মৌল B এর ফ্লোরাইড BF<sub>3</sub> যৌগটি নিম্নরূপে BF<sub>4</sub><sup>-</sup> আয়নায়ন গঠন করে :

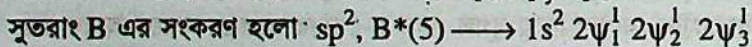
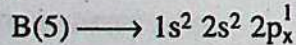


(ক) BF<sub>3</sub> ও F<sup>-</sup> আয়নের সাথে কোন্ প্রকারের বন্ধন গঠিত হয় তা ব্যাখ্যা কর।

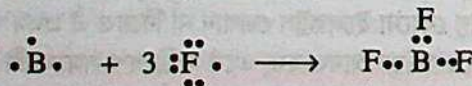
(খ) উদ্দীপকের বিক্রিয়ার মাধ্যমে B পরমাণুর সংকরণ অবস্থার পরিবর্তন ঘটে কীনা তা যাচাই কর।

সমাধান : (ক) BF<sub>3</sub> ও F<sup>-</sup> আয়নের মধ্যে বন্ধন গঠনের ব্যাখ্যা :

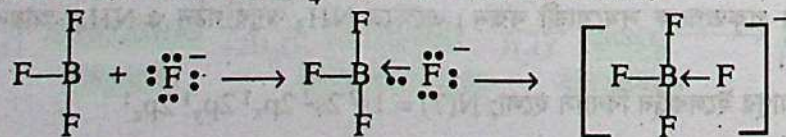
উদ্দীপক মতে, B হলো ২য় পর্যায়ভুক্ত গ্রুপ-13 বা 3A এর মৌল। তাই মৌলটি হলো বোরন, B(5)। মৌলটির ইলেকট্রন বিন্যাস হলো :



sp<sup>2</sup> সংকরিত B পরমাণুর তিনটি সংকর অরবিটালের সাথে তিনটি ফ্লোরিন পরমাণু সমযোজী বন্ধনে আবদ্ধ হয়ে BF<sub>3</sub> অণু গঠিত হয়। লুইস প্রতীকের মাধ্যমে বন্ধন গঠনটি হলো নিম্নরূপ :



উৎপন্ন BF<sub>3</sub> যৌগ অণুতে অষ্টক অপূর্ণ আছে। তাই উদ্দীপক মতে ফ্লোরাইড আয়ন (F<sup>-</sup>) নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন জোড় যোগান দিয়ে BF<sub>3</sub> এর সাথে সন্নিবেশ বন্ধন দ্বারা BF<sub>4</sub><sup>-</sup> আয়ন গঠন করে থাকে। যেমন,





সমাধান : (খ) B পরমাণুর সংকরণ অবস্থার পরিবর্তন ঘটে কিনা তার ব্যাখ্যা : আমরা জানি  $BF_3$  অণু গঠনে B পরমাণুর  $sp^2$  সংকরণ ঘটেছে। উদ্দীপক মতে,  $BF_3$  অণু ও ফ্লোরাইড আয়ন ( $F^-$ ) এর মধ্যে সন্নিবেশ বন্ধন দ্বারা  $BF_4^-$  অ্যানায়ন গঠিত হয়ে থাকে। তখন B পরমাণুর খালি  $2p_z^0$  অরবিটালে একটি ইলেকট্রন যুক্ত হয়ে পড়ে। এ অবস্থায় B- আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস হয়,  $B^- (5) \longrightarrow 1s^2 2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$

তখন  $B^-$  আয়নে নতুনভাবে  $sp^3$  অরবিটাল সংকরণ ঘটে থাকে।

$sp^3$  সংকরণের পর  $B^- (5) \longrightarrow 1s^2 2\psi_1^1 2\psi_2^1 2\psi_3^1 2\psi_4^1$  হয়। তখন চারটি সংকর অরবিটালে চতুর্থ F পরমাণু সিগমা বন্ধনে আবদ্ধ হয়ে পড়ে। সুতরাং উদ্দীপকের বিক্রিয়ার মাধ্যমে B এর  $sp^2$  সংকরণ অবস্থার পরিবর্তন ঘটে  $sp^3$  সংকর অবস্থায়  $BF_4^-$  অ্যানায়ন গঠিত হয়। তখন চতুস্তলকীয় গঠন হয়ে থাকে।

সত্যতা যাচাই : নিচের সাধারণ ফর্মুলার সাহায্যে যৌগ বা অ্যানায়নের কেন্দ্রীয় পরমাণুর সংকরণে অংশগ্রহণকারী অরবিটাল সংখ্যা (H) নির্ণয় করা যায় এবং সংকরণ অবস্থা থেকে গঠনাকৃতিও জানা যায়। যেমন—

$$H = \frac{1}{2} \left[ \begin{array}{cccc} \text{যোজ্যতা স্তরে} & + & \text{একযোজী পরমাণুর} & - & \text{ক্যাটায়নের} & + & \text{অ্যানায়নের} \\ \text{ইলেকট্রন সংখ্যা (V)} & & \text{সংখ্যা (X)} & & \text{চার্জ সংখ্যা (C)} & & \text{চার্জ সংখ্যা (A)} \end{array} \right]$$

$$\text{বা, } H = \frac{1}{2} [V + X - C + A]$$

$BF_4^-$  আয়নের বেলায় সংকরণে অংশগ্রহণকারী অরবিটাল সংখ্যা :

$$H = \frac{1}{2} [3 + 4 - 0 + 1] = 4$$

সুতরাং এক্ষেত্রে চারটি অরবিটাল যেমন 2s ও তিনটি 2p অরবিটাল সংকরণে অংশ নিয়েছে। তাই  $BF_4^-$  আয়ন গঠনে  $sp^3$  সংকরণ ঘটেছে। বিক্রিয়ার পূর্বে  $BF_3$  অণুতে B এর  $sp^2$  সংকরণ ছিল এবং সন্নিবেশ বন্ধনে  $F^-$  আয়নের সাথে যুক্ত হওয়ার কালে সংকরণের পরিবর্তনের মাধ্যমে নতুন সংকরণ  $sp^3$  ঘটেছে, তা যাচাই করা হলো এবং এর সত্যতা প্রমাণিত হলো।

শিক্ষার্থীর কাজ-৩.১৪ : বন্ধন প্রকৃতির ব্যাখ্যাভিত্তিক :

প্রশ্ন-৩.৩২(ক)।  $NH_4Cl$  যৌগের বন্ধন প্রকৃতি ব্যাখ্যা কর।

[ঢা. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-৩.৩২(খ)। A ও D মৌলের যোজ্যতা ইলেকট্রন হলো যথাক্রমে  $ns^2np^1$  ও  $ns^2np^3$ ।  $AlCl_3$  এর সাথে

$DH_3$  এর মধ্যে কোন ধরনের বন্ধন গঠন সম্ভব তা ব্যাখ্যা কর।

[ব. বো. ২০১৫]

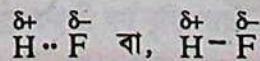
প্রশ্ন-৩.৩২(গ)। সন্নিবেশ বন্ধন প্রকৃতপক্ষে সমযোজী বন্ধন; ব্যাখ্যা কর।

[চ. বো. ২০১৭]

### ৩.১৫ সমযোজী বন্ধনের পোলারিটি : তড়িৎ ঋণাত্মকতার প্রভাব

#### Polarity in Covalent Compounds : Electronegativity Effect

সমযোজী বন্ধনের শেয়ারকৃত ইলেকট্রন যুগলকে কোনো পরমাণু কর্তৃক নিজের দিকে অধিক আকর্ষণ করার ক্ষমতাকে ঐ পরমাণুর তড়িৎ ঋণাত্মকতা বলা হয়। অধাতুর তড়িৎ ঋণাত্মকতা বেশি এবং ধাতুর তড়িৎ ঋণাত্মকতা কম। ফ্লোরিনের তড়িৎ ঋণাত্মকতা সবচেয়ে বেশি, তারপর অক্সিজেন, ক্লোরিন, নাইট্রোজেন পরমাণুর স্থান। শেয়ারকৃত ইলেকট্রন মেঘের ঘনত্ব অধিক তড়িৎ ঋণাত্মক পরমাণুর দিকে বেশি আকৃষ্ট হয়। ফলে ঐ পরমাণুতে আংশিক ঋণাত্মক চার্জ ( $\delta^-$ ) এবং অপর পরমাণুতে আংশিক ধনাত্মক চার্জ ( $\delta^+$ ) সৃষ্টি হয়। যেমন,



সর্বাধিক তড়িৎ ঋণাত্মক পরমাণু

N	O	F
3.0	3.5	4.0
	S	Cl
	2.5	3.0
		Br
		2.8
		I
		2.5

পার্ডেলিং স্কেল অনুসারে কয়েকটি মৌলের তড়িৎ ঋণাত্মকতার মান হলো,  $F = 4$ ,  $O = 3.5$ ,  $Cl = 3.0$ ,  $N = 3.0$ ,

$Br = 2.8$ ,  $I = 2.5$ ,  $C = 2.5$ ,  $H = 2.1$



ডাইপোল ও পোলারিটি : সমযোজী যৌগের সংশ্লিষ্ট দুই পরমাণুর তড়িৎ ঋণাত্মকতার অধিক পার্থক্যের কারণে (সাধারণত 0.5 – 1.9 এর মধ্যে হলে) অণুর দুই প্রান্তে দুটি ভিন্ন চার্জের বা মেরুর সৃষ্টি হয়, উভয় মেরুকে একত্রে ডাইপোল (dipole) বলা হয়। সমযোজী যৌগের অণুতে ডাইপোল সৃষ্টির ধর্মকে ঐ যৌগের পোলারিটি (polarity) বলা হয়। অণুর দুই প্রান্তে আংশিক ধনাত্মক ( $\delta+$ ) ও আংশিক ঋণাত্মক ( $\delta-$ ) দুটি ভিন্ন মেরু সৃষ্টি হওয়ায় ঐ অণুকে পোলার অণু বা পোলার যৌগ বলা হয়। HF, H<sub>2</sub>O হলো পোলার যৌগ।

HF একটি সর্বাধিক পোলার অণু; কারণ F ও H পরমাণুদ্বয়ের তড়িৎ ঋণাত্মকতার পার্থক্য  $(4 - 2.1) = 1.9$  যা দ্বারা পোলার অণুসমূহের মধ্যে সর্বাধিক পোলারিটি প্রকাশ পায়। হ্যালাজেনসমূহের মধ্যে F সর্বাধিক তড়িৎ ঋণাত্মক বলে HF সর্বাধিক পোলার অণু। হাইড্রোজেন হ্যালাইডের অণুগুলোর মেরু প্রবণতা ক্রম হলো  $HF > HCl > HBr > HI$ ; মূলকথা বন্ধনে আবদ্ধ পরমাণুদ্বয়ের ঋণাত্মকতার পার্থক্য যত বেশি হবে সমযোজী যৌগে আয়নিক বৈশিষ্ট্য তত বেশি প্রকাশ পায়।

জেনে রাখ; বাস্তবে 100% আয়নিক কোনো যৌগ নেই। তদ্রূপ 100% সমযোজী যৌগ নেই। NaCl যৌগে প্রায় 80% আয়নিক বৈশিষ্ট্য রয়েছে। নিচের সারণিতে পরমাণুর তড়িৎ ঋণাত্মকতার পার্থক্য এবং তাদের দ্বারা সৃষ্ট যৌগে আয়নিক বৈশিষ্ট্যের মোটামুটি শতকরা মাত্রা দেখানো হলো। যেমন,

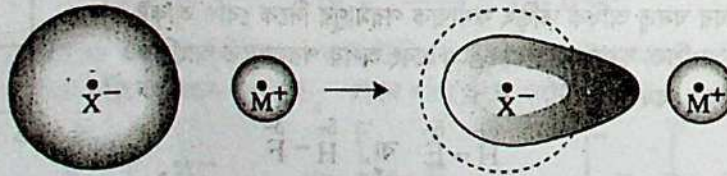
তড়িৎ ঋণাত্মকতার পার্থক্যের পরিমাণ :	0.1	0.2	0.6	1.1	1.7	2.0	2.1	3
শতকরা মাত্রায় গড় আয়নিক বৈশিষ্ট্য :	0.5	1.0	10	25	50	75	80	90

সমযোজী অণুতে আংশিক ধনাত্মক ও ঋণাত্মক তড়িৎ চার্জ সৃষ্টির কারণে ঐ সব যৌগে আংশিক আয়নিক যৌগের বৈশিষ্ট্য প্রকাশ পায়। H-পরমাণুযুক্ত পোলার অণুর মধ্যে হাইড্রোজেন বন্ধন নামে নতুন আন্তঃআণবিক বল সৃষ্টি হয়। তখন এ সব যৌগের অণু সংবদ্ধ (associated) থাকে। H-বন্ধনের কারণে যৌগের মধ্যে পার্থক্য দেখা দেয়। যেমন ঐ সব যৌগে ভৌত অবস্থা, গলনাঙ্ক, ঘনত্ব ইত্যাদি ধর্মে আংশিক আয়নিক যৌগের বৈশিষ্ট্য দেখা যায়। গ্রুপ-16 (6A) এর অক্সিজেন ও সালফারের হাইড্রাইড হলো যথাক্রমে H<sub>2</sub>O ও H<sub>2</sub>S। এক্ষেত্রে পোলার H<sub>2</sub>O তরল, কিন্তু অপোলার H<sub>2</sub>S হলো গ্যাস। HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub> ইত্যাদি এসিড অণু হলো পোলার। এরা পানিতে H<sup>+</sup> আয়ন দেয়, অম্লধর্ম প্রকাশ করে। NaCl এর জলীয় দ্রবণের মতো এ সব এসিডের জলীয় দ্রবণ বিদ্যুৎ পরিবাহী হয়। জলীয় দ্রবণে আয়নিক যৌগের বিক্রিয়া যেমন খুব দ্রুত ঘটে। অনুরূপভাবে এসব পোলার সমযোজী যৌগ পানিতে দ্রবীভূত অবস্থায় দ্রুত বিক্রিয়া করে থাকে। বিশুদ্ধ সমযোজী যৌগের মধ্যে বিক্রিয়া আয়নিক যৌগের বিক্রিয়ার তুলনায় ধীরে ঘটে।

### ৩.১৫.১ পোলারায়ন বা আয়নের বিকৃতি

#### Polarization of Ions

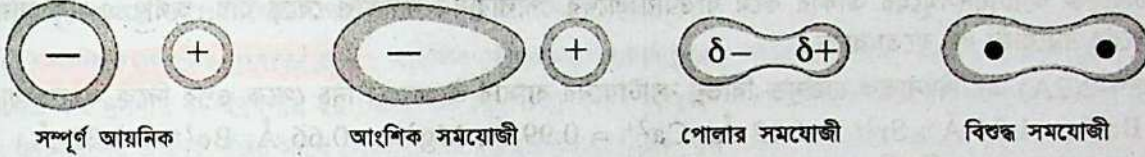
পোলারায়ন : যখন কোনো ক্যাটায়ন একটি অ্যানায়নের খুব নিকটে আসে, তখন ক্যাটায়নের নিউক্লিয়াস তথা সামগ্রিক ধনাত্মক চার্জ অ্যানায়নের ইলেকট্রন মেঘকে নিজের দিকে আকর্ষণ করে। একই সাথে ক্যাটায়নটি অ্যানায়নের নিউক্লিয়াসকে বিকর্ষণ করে। এ আকর্ষণ ও বিকর্ষণের ফলে অ্যানায়নের ইলেকট্রন মেঘ ক্যাটায়নের দিকে সরে আসে। একে ক্যাটায়ন দ্বারা অ্যানায়নের বিকৃতি বা পোলারায়ন বলা হয়। তখন ক্যাটায়ন দ্বারা অ্যানায়নটি পোলারায়িত হয়েছে বলা হয়। অ্যানায়নকে এভাবে পোলারায়িত করার ক্ষমতাকে ক্যাটায়নের পোলারায়ন ক্ষমতা বলে।



চিত্র-৩.৩৩ : M<sup>+</sup> ক্যাটায়ন কর্তৃক X<sup>-</sup> অ্যানায়নের পোলারায়ন।



সম্পূর্ণ আয়নিক বন্ধনে আয়নদ্বয়ের অবস্থা, পোলারায়নের ফলে অ্যানায়নে ইলেকট্রন মেঘের বিকৃতি, পোলার সমযোজী বন্ধন ও বিশুদ্ধ সমযোজী বন্ধনে ইলেকট্রন মেঘের অবস্থা নিচের চিত্র দ্বারা ধারণা দেয়া হলো :



চিত্র-৩.৩৪ : বিভিন্ন বন্ধনে ইলেকট্রন মেঘের বিভিন্ন অবস্থা।

### ৩.১৫.২ আয়নিক যৌগে সমযোজী বৈশিষ্ট্য

#### Covalent Character in Ionic Compounds

অ্যানায়নের পোলারায়ন নিঃসন্দেহে আদর্শ আয়নিক যৌগের ধর্ম থেকে বিচ্যুতি। এ কারণে পোলারায়নের পরিমাণ বৃদ্ধির সাথে সাথে আয়নিক যৌগের বিভিন্ন ধর্মের (যেমন, উচ্চ গলনাঙ্ক, উচ্চ স্ফুটনাঙ্ক, উদ্বায়িতা, পানিতে অধিক দ্রবণীয়তা প্রভৃতির) ক্রম হ্রাস ও সমযোজী যৌগের বৈশিষ্ট্যের ক্রম বৃদ্ধি ঘটে। ধাতব কার্বনেট লবণসমূহে অধিক পোলারায়ন ঘটলে এদের সুস্থিতি হ্রাস পায় এবং অল্প তাপে বিয়োজিত হয়।

ফাজানের নিয়ম : আয়নিক যৌগে ক্যাটায়ন দ্বারা অ্যানায়নের পোলারায়নের পরিমাণ কয়েকটি শর্ত যেমন আয়নের চার্জ, আয়নের আকার ও আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস ইত্যাদি দ্বারা নির্ধারিত হয়। এ সব শর্তকে ফাজানের পোলারায়ন নিয়ম বলা হয়। এ সব শর্তের ভূমিকা হলো—

- \* (i) ক্যাটায়নের ও অ্যানায়নের চার্জের পরিমাণ যতো বেশি হয় পোলারায়ন ততো বেশি হয়।
- \* (ii) ক্যাটায়নের আকার যতো ছোট হয় এবং অ্যানায়নের আকার যতো বড় হয় পোলারায়ন ততো বেশি ঘটে। এছাড়া
- \* (iii) যে সব ক্যাটায়নের ইলেকট্রন বিন্যাসে  $ns^2 np^6 nd^{1-10}$  ইলেকট্রন বিন্যাস থাকে; সে সব ক্ষেত্রে  $ns^2 2p^6$  এর তুলনায় অ্যানায়নের বিকৃতি বা পোলারায়ন বেশি মাত্রায় ঘটে। যেমন,

#### ফাজানের পোলারায়ন নিয়ম বা শর্তাবলির ব্যাখ্যা

(১) পোলারায়নের ১ম নিয়ম : ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের চার্জের পরিমাণ : কোনো ক্যাটায়ন কর্তৃক

অ্যানায়নকে পোলারায়ন করার ক্ষমতা ক্যাটায়নের ধনাত্মক চার্জ বৃদ্ধির সাথে বৃদ্ধি পায়।

পর্যায়ভিত্তিক সম্পর্ক : পর্যায় সারণির যে কোনো পর্যায়ে বাম দিক থেকে যতোই ডান দিকে যাওয়া যায়, ক্যাটায়নসমূহের ধনাত্মক চার্জও ততো বৃদ্ধি পায়; ফলে অধিক চার্জযুক্ত ক্যাটায়নের পোলারায়ন ক্ষমতাও ততোই বৃদ্ধি পায়। ফলে যৌগটিতে সমযোজী বৈশিষ্ট্য বৃদ্ধি পায়। তাই সংশ্লিষ্ট যৌগের গলনাঙ্ক হ্রাস পায়।

তৃতীয় পর্যায়ে  $Na^+$  আয়ন এর চেয়ে  $Mg^{2+}$  আয়নের পোলারায়ন ক্ষমতা বেশি।  $Mg^{2+}$  আয়ন অপেক্ষা  $Al^{3+}$  আয়নের পোলারায়ন ক্ষমতা আরো বেশি। তাই এসব আয়নের যৌগসমূহে সমযোজী ধর্ম ক্রমানুসারে বৃদ্ধি পায় এবং যৌগসমূহের গলনাঙ্ক (এবং স্ফুটনাঙ্ক) ক্রমশ হ্রাস পায়। যেমন,

$NaCl$  (গলনাঙ্ক  $801^\circ C$ )  $>$   $MgCl_2$  (গলনাঙ্ক  $714^\circ C$ )  $>$   $AlCl_3$  (গলনাঙ্ক  $190^\circ C$ )।

একই ধাতব পরমাণু বিভিন্ন চার্জযুক্ত ক্যাটায়ন সৃষ্টি করলে কম চার্জবিশিষ্ট ক্যাটায়নের পোলারায়ন ক্ষমতা কম হবে এবং বেশি চার্জের ক্যাটায়নের পোলারায়ন ক্ষমতা বেশি হবে। যেমন, অনর্দ্র ফেরাস ক্লোরাইড ( $FeCl_2$ ) এর গলনাঙ্ক  $670^\circ C$  অথচ অনর্দ্র ফেরিক ক্লোরাইড ( $FeCl_3$ ) এর গলনাঙ্ক মাত্র  $306^\circ C$ । ফেরিক ক্লোরাইড  $FeCl_3$  এ ক্যাটায়নের চার্জ এক একক বৃদ্ধি পাওয়ায় যৌগের সমযোজী ধর্ম বৃদ্ধি পায়। ফলে গলনাঙ্ক কমে।

অ্যানায়নসমূহের ঋণাত্মক চার্জের বৃদ্ধির সাথে পোলারায়িত হওয়ার প্রবণতা বৃদ্ধি পায়। যেমন, ফ্লোরাইড ( $F^-$ ) আয়ন অপেক্ষা অক্সাইড ( $O^{2-}$ ) আয়ন বেশি পোলারায়িত হয় এবং নাইট্রাইড ( $N^{3-}$ ) আয়ন আরও বেশি পোলারায়িত হয়। ফলে  $CaF_2$  অপেক্ষা  $CaO$  অধিক সমযোজী প্রকৃতির হয়।



৩২৬

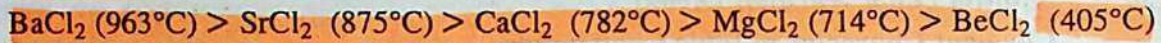
রসায়ন-প্রথম পত্র

(২) পোলারায়নের ২য় নিয়ম :

ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের আকার : কোনো ক্যাটায়নের অ্যানায়নকে পোলারায়ন করার ক্ষমতা এর আকার হ্রাসের সাথে বাড়ে। পর্যায় সারণিতে একই গ্রুপে যতই নিচ থেকে ওপরের দিকে যাওয়া যায়, একই চার্জযুক্ত ক্যাটায়নসমূহের আকার কমে যাওয়ায় এদের পোলারায়ন ক্ষমতাও বেড়ে যায়, অর্থাৎ এ সব আয়নের যৌগসমূহের সমযোজী ধর্ম ততো বাড়ে।

গ্রুপ-2(2A) এর দ্বিধনাত্মক চার্জযুক্ত বিভিন্ন ক্যাটায়নের ব্যাসার্ধ ঐ গ্রুপের নিচ থেকে ওপর দিকে কমে থাকে। যেমন  $Ba^{2+} = 1.34 \text{ \AA}$ ;  $Sr^{2+} = 1.12 \text{ \AA}$ ;  $Ca^{2+} = 0.99 \text{ \AA}$ ;  $Mg^{2+} = 0.66 \text{ \AA}$ ;  $Be^{2+} = 0.35 \text{ \AA}$ । তাই তাদের পোলারায়ন ক্ষমতা বিপরীতভাবে কমে : যেমন  $Be^{2+} > Mg^{2+} > Ca^{2+} > Sr^{2+} > Ba^{2+}$

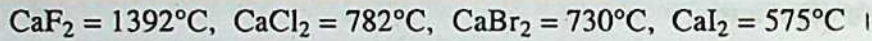
তাদের অনর্দ্র ক্লোরাইডসমূহের সমযোজী বৈশিষ্ট্যের বৃদ্ধি বা গলনাঙ্কের হ্রাসের ক্রম হলো নিম্নরূপ :



আবার অ্যানায়নের আকার বৃদ্ধির সাথে পোলারায়িত হওয়ার প্রবণতা বৃদ্ধি পায়। অ্যানায়নের ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি পেলে সর্ববহিস্ত্র স্তরের ইলেকট্রনের সাথে নিউক্লিয়াসের গড় দূরত্ব বৃদ্ধি পায়। ফলে ইলেকট্রনের ওপর অ্যানায়নের নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ হ্রাস পায়। তখন ক্যাটায়ন সহজেই অ্যানায়নকে পোলারায়িত করতে পারে। একই গ্রুপে ওপর থেকে নিচের দিকে অ্যানায়নের পোলারায়িত হওয়ার প্রবণতা বাড়ে। যেমন,



ক্যালসিয়ামের হ্যালাইডসমূহের মধ্যে  $CaI_2$ -এ সমযোজী বৈশিষ্ট্য সবচেয়ে বেশি। এদের গলনাঙ্ক নিম্নরূপ :



(৩) পোলারায়নের ৩য় নিয়ম :

ক্যাটায়নের ইলেকট্রন বিন্যাস : সমচার্জের ও প্রায় সমআকারের দুটি ক্যাটায়নের মধ্যে  $ns^2np^6$  ইলেকট্রন বিন্যাসবিশিষ্ট ক্যাটায়ন অপেক্ষা  $ns^2np^6(n-1)d^{10}$  বিশিষ্ট ক্যাটায়নের (নিউক্লিয়াসে থাকা অধিক সংখ্যক প্রোটনের অধিক আকর্ষণের কারণে) পোলারায়ন ক্ষমতা বেশি হয়। যেমন,  $NaCl$  এর গলনাঙ্ক  $801^\circ C$ ; অথচ কপার (I) ক্লোরাইড  $CuCl$  এর গলনাঙ্ক মাত্র  $422^\circ C$  যা দ্বারা শেযুক্ত যৌগে সমযোজী ধর্মের প্রাধান্য বোঝা যায়। যদিও  $Na^+$  (0.095 nm) ও  $Cu^+$  (0.096 nm) এর আকার প্রায় সমান।

শিক্ষার্থীর কাজ-৩.১৫ : ফাজানের পোলারায়ন নিয়মভিত্তিক :

- সমস্যা-৩.৩৩ (ক)  $NaCl$  অপেক্ষা  $CuCl$  এর গলনাঙ্ক কম কেন? [ঢা. বো. ২০১৬]
- (খ)  $CaCl_2$  ও  $AlCl_3$  লবণদ্বয়ের মধ্যে কোনটি পানিতে অধিক দ্রবণীয় এবং কেন? [ঢা. বো. ২০১৬]
- (গ)  $FeCl_2$  ও  $FeCl_3$  লবণদ্বয়ের মধ্যে কোনটির গলনাঙ্ক কম হবে এবং কেন? [ঢা. বো. ২০১৫; ব. বো. ২০১৬]
- (ঘ)  $BeCO_3$ ,  $MgCO_3$  ও  $CaCO_3$  এর মধ্যে বিয়োজন তাপমাত্রার ক্রম কীরূপ হবে এবং কেন তা ব্যাখ্যা কর। [ঢা. বো. ২০১৬]
- (ঙ)  $AgF$  পানিতে দ্রবণীয়, কিন্তু  $AgCl$  পানিতে অদ্রবণীয়;— এর ব্যাখ্যা কর।
- (চ)  $AgCl$  হলো সাদা, কিন্তু  $AgI$  হলুদ কেন?
- (ছ)  $PbCl_2$  হলো সাদা, কিন্তু  $PbI_2$  সোনালী হলুদ কেন?

### ৩.১৫.৩ আয়নিক বিভব বা আয়নিক পটেনসিয়াল (Ionic Potential)

ফাজানের পোলারায়ন নিয়ম মতে, ক্যাটায়ন দ্বারা অ্যানায়নকে পোলারায়ন করার ক্ষমতা ক্যাটায়নের চার্জ বৃদ্ধির সাথে বাড়ে এবং ক্যাটায়নের ব্যাসার্ধ বৃদ্ধির সাথে কমে। বিভিন্ন ক্যাটায়নের পোলারায়ন ক্ষমতা তুলনা করার জন্য ‘আয়নিক পটেনসিয়াল’ পদ ব্যবহৃত হয় :

$$\text{ক্যাটায়নের আয়নিক পটেনসিয়াল, } \phi = \frac{\text{ক্যাটায়নের চার্জ}}{\text{ক্যাটায়নের ব্যাসার্ধ}}$$



ক্যাটায়নের  $\phi$  এর মান বৃদ্ধির সাথে (i) আয়নিক লবণের গলনাঙ্ক ও স্কুটনাঙ্ক ক্রম হ্রাস পায়, তা ফাজানের ১ম নিয়মে উদাহরণ দেয়া হয়েছে। এছাড়া (ii) লবণের পানিতে দ্রাব্যতা হ্রাস পায়, (iii) যৌগসমূহ বর্ণযুক্ত হয়, (iv) ধাতব কার্বনেটসমূহের অল্প তাপে বিয়োজন ঘটে ইত্যাদি বৈশিষ্ট্য প্রকাশ পায়।

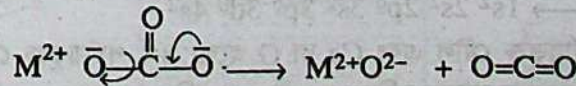
(১) পানিতে লবণের দ্রাব্যতা হ্রাস : আয়নিক যৌগসমূহ পোলার দ্রাবক পানিতে দ্রবণীয়; কিন্তু সমযোজী যৌগ পানিতে সাধারণত কম দ্রবণীয় বা অদ্রবণীয় হয়। আয়নিক যৌগে অ্যানায়ন খুব বেশি পোলারায়িত হলে যৌগটির সমযোজী ধর্ম বৃদ্ধি পায়। অ্যানায়নের আকার বৃদ্ধির সাথে পোলারায়িত হওয়ার প্রবণতা বৃদ্ধি পায়। ফলে সে যৌগ পানিতে অদ্রবণীয় হয়। যেমন—  $AgF$ ,  $AgCl$ ,  $AgBr$  ও  $AgI$  এ চারটি যৌগের মধ্যে  $AgF$  এ অ্যানায়নের পোলারায়ন সবচেয়ে কম ঘটে। কারণ  $F^-$  আয়নের আকার সবচেয়ে ছোট। তাই  $AgF$  এ আয়নিক বৈশিষ্ট্য বেশি থাকে এবং এটি পানিতে দ্রবণীয়; অন্য হ্যালাইডসমূহে অ্যানায়নের পোলারায়ন বেশি ঘটে; তাই এরা পানিতে অদ্রবণীয় হয়।

(২) যৌগের বর্ণ : সাধারণত  $d$  ও  $f$  অরবিটালে অযুগ্ম ইলেকট্রনবিশিষ্ট আয়নের যৌগসমূহ বর্ণযুক্ত হয়। যৌগের বর্ণযুক্ত হওয়ার অন্যতম কারণ হলো অ্যানায়নের বেশি পোলারায়ন। অক্সাইড, সালফাইড প্রভৃতি আয়নের পোলারায়িত হওয়ার প্রবণতা বেশি। ক্যাটায়ন যেমন  $Hg^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  প্রভৃতির সাথে উপরিউক্ত অ্যানায়নসমূহের যৌগে অ্যানায়নসমূহ খুব বেশি পোলারায়িত হয়; ফলে এ সব যৌগ বর্ণযুক্ত হয়। যেমন  $CuS$ ,  $PbS$ ,  $HgS$  কালো,  $CdS$  হলুদ।

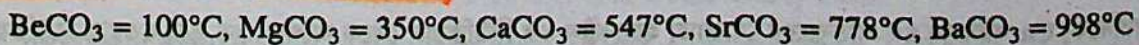
$AgF$ ,  $AgCl$ ,  $AgBr$  ও  $AgI$  সিরিজে  $Ag^+$  আয়নের পোলারায়ন ক্ষমতা বেশি। হ্যালাইড আয়নসমূহের মধ্যে  $F^-$  ও  $Cl^-$  আয়ন কম পোলারায়িত হয়; তাই  $AgF$ ,  $AgCl$  বর্ণহীন বা সাদা;  $Br^-$  আয়ন বেশি পোলারায়িত হওয়ায়  $AgBr$  হালকা হলুদ। আয়োডাইড ( $I^-$ ) আয়ন আরও বেশি পোলারায়িত হওয়ায়  $AgI$  গাঢ় হলুদ হয়।

পোলারায়িত অবস্থায় বর্ণ সৃষ্টির মূল কারণ হলো—অ্যানায়নের আকার বৃদ্ধির সাথে পোলারায়ন যেমন সহজে ঘটে, তেমনি অ্যানায়নের পূর্ণ অরবিটাল থেকে ক্যাটায়নের খালি করা অরবিটালে ইলেকট্রনের ক্ষণিক স্থানান্তর সহজে ঘটে থাকে। তখন প্রয়োজনীয় কম শক্তি দৃশ্যমান আলো থেকে শোষিত হয় এবং অবশিষ্ট আলোর বর্ণে যৌগটি বর্ণযুক্ত হয়। অপরদিকে অ্যানায়নের আকার ছোট হলে পোলারায়ন কম ঘটে। তখন ঐ ছোট অ্যানায়ন থেকে ক্যাটায়নের দিকে ইলেকট্রনের ক্ষণিক স্থানান্তর (যা বিস্তারণ বা লন্ডন বল নামে পরিচিত) ঘটানোর জন্য অপেক্ষাকৃত বেশি শক্তি প্রয়োজন হয়। তখন অধিক ফ্রিকুয়েন্সি যুক্ত UV রশ্মি থেকে শক্তি শোষিত হয় এবং যৌগটি বর্ণহীন বা সাদা দেখায়। যেমন  $AgCl$  সাদা, কিন্তু  $AgI$  হলুদ;  $HgCl_2$  সাদা, কিন্তু  $HgI_2$  লাল;  $PbCl_2$  সাদা, কিন্তু  $PbI_2$  সোনালি হলুদ হয়ে থাকে।

(৩) ধাতব কার্বনেটের তাপীয় স্থিতি : ক্যাটায়নের আয়নিক পটেনসিয়াল বেশি হলে তখন কার্বনেট অ্যানায়নের ইলেকট্রন মেঘ ক্যাটায়ন দ্বারা বেশি আকৃষ্ট হয়। তখন কার্বনেট লবণের তাপীয় স্থিতি হ্রাস পায়। ফলে অল্প তাপে কার্বনেট লবণ বিয়োজিত হয়ে ধাতব অক্সাইড ও  $CO_2$  উৎপন্ন করে। যেমন—



গ্রুপ-২ এর ধাতব আয়ন ( $M^{2+}$ ) সমূহের আয়নিক পটেনসিয়াল এদের আকার বৃদ্ধির সাথে গ্রুপের ওপর থেকে নিচের দিকে কমে। যেমন,  $Be^{2+} > Mg^{2+} > Ca^{2+} > Sr^{2+} > Ba^{2+}$ । তাই এসব ক্যাটায়নের কার্বনেটের স্থিতি তথা কার্বনেট যৌগের গলনাঙ্ক একই ক্রমানুসারে বাড়তে থাকে। অর্থাৎ এদের বিয়োজন তাপমাত্রা ক্রমশ বাড়তে থাকে। যেমন—

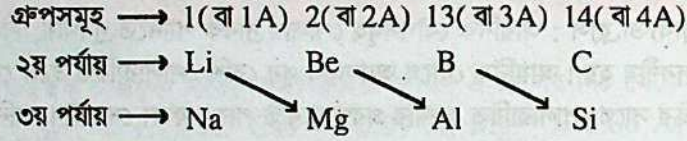


### ৩.১৫.৪ মৌলের কর্ণ সম্পর্ক (Diagonal Relationship of the Elements)

পর্যায় সারণির দ্বিতীয় পর্যায়ভুক্ত বিভিন্ন গ্রুপের মৌলসমূহের কিছু পর্যায়বৃত্ত ধর্ম একই গ্রুপভুক্ত মৌলের চেয়ে পরবর্তী তৃতীয় পর্যায়ভুক্ত তাদের ডানদিকের মৌলের সাথে অর্থাৎ কোনাকুনিভাবে অবস্থিত মৌলের ধর্মের সাথে অধিকতর মিল দেখা যায়। এ দুটি পর্যায়ের মধ্যে কোনাকুনি অবস্থানের দুটি মৌলের ধর্মের সাদৃশ্যকে মৌলের কর্ণ সম্পর্ক বলে। যেমন,



দ্বিতীয় পর্যায়ভুক্ত গ্রুপ-1 (বা 1A) এর মৌল Li এর সাথে তৃতীয় পর্যায়ভুক্ত গ্রুপ-2 (বা 2A) এর মৌল Mg এর ধর্মে যথেষ্ট সাদৃশ্য দেখা যায়। অনুরূপভাবে Be এর সাথে Al এবং B এর সাথে Si এর ধর্মে বেশ সাদৃশ্য রয়েছে। তাদেরকে নিম্নরূপে দেখানো হয়।



কর্ণ সম্পর্কিত মৌলসমূহ (Li ও Mg; Be ও Al; B ও Si) এর ধর্মে সাদৃশ্যের কারণ :

(১) আয়নিক ব্যাসার্ধ : প্রতি জোড়া মৌলের পরমাণুর আয়নিক ব্যাসার্ধ খুব কাছাকাছি হয়। যেমন—

$$\text{Li}^+ = 0.068 \text{ nm} \text{ এবং } \text{Mg}^{2+} = 0.078 \text{ nm}; \text{Be}^{2+} = 0.034 \text{ nm} \text{ এবং } \text{Al}^{3+} = 0.050 \text{ nm}$$

(২) আয়নিকরণ শক্তি : তাদের আয়নিকরণ শক্তির পরিমাণ প্রায় কাছাকাছি। যেমন, Li ও Mg এর ১ম আয়নিকরণ শক্তির মান যথাক্রমে  $520 \text{ kJmol}^{-1}$  ও  $738 \text{ kJmol}^{-1}$ । Be ও Al এর ১ম আয়নিকরণ শক্তি যথাক্রমে  $899 \text{ kJmol}^{-1}$  ও  $578 \text{ kJmol}^{-1}$ ।

(৩) তড়িৎ ঋণাত্মকতা : তাদের তড়িৎ ঋণাত্মকতার পার্থক্য খুব কম। যেমন, Li ও Mg এর তড়িৎ ঋণাত্মকতার মান যথাক্রমে 1.0 ও 1.2। Be ও Al এর তড়িৎ ঋণাত্মকতা হলো যথাক্রমে 1.5 ও 1.5।

(৪) পোলারিকরণ ক্ষমতা : তাদের পোলারিকরণ ক্ষমতা প্রায় সমান হয়।

(৫) আয়নিক চার্জের ঘনত্ব : তাদের আয়নিক চার্জের ঘনত্ব পরস্পরের কাছাকাছি।

সমাধানকৃত সমস্যা-৩.১৫ : নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও :

[ঢা. বো. ২০১৬]

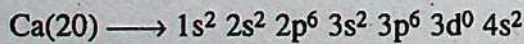
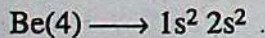
মৌলসমূহ $\rightarrow$	D	E	G	
যোজ্যতা ইলেকট্রন $\rightarrow$	$n s^2$	$(n + 1) s^2$	$(n + 2) s^2$	$n = 2$

(ক) উদ্দীপকের D অপেক্ষা G এর আয়নিকরণ শক্তি বা আয়নিকরণ বিভব কম কেন; ব্যাখ্যা কর।

(খ) উদ্দীপকের  $\text{DCO}_3$ ,  $\text{ECO}_3$ ,  $\text{GCO}_3$  এর মধ্যে কোনটির বিয়োজন তাপমাত্রা সবচেয়ে কম; তা বিশ্লেষণ কর।

সমাধান : (ক) D অপেক্ষা G এর আয়নিকরণ শক্তি কম কেন; এর ব্যাখ্যা :

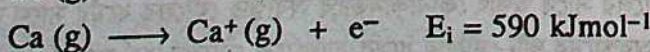
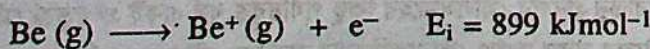
উদ্দীপক মতে, D হলো  $ns^2$  বা  $2s^2$  যোজ্যতা ইলেকট্রনবিশিষ্ট Be(4) পরমাণু এবং G হলো  $4s^2$  যোজ্যতা ইলেকট্রনবিশিষ্ট Ca(20) পরমাণু। উভয়েই গ্রুপ-2 এর মৌল। এদের ইলেকট্রন বিন্যাস হলো :



Be বা D হলো ২য় পর্যায়ভুক্ত মৌল এবং Ca বা G হলো ৪র্থ পর্যায়ভুক্ত মৌল। একই গ্রুপভিত্তিক মৌলের আয়নিকরণ শক্তির সম্পর্ক মতে পরমাণুর আকার বৃদ্ধিতে আয়নিকরণ শক্তি হ্রাস পায়।

এক্ষেত্রে Be পরমাণুর দ্বিতীয় শক্তিস্তরের যোজ্যতা ইলেকট্রন নিউক্লিয়াস দ্বারা অধিক আকৃষ্ট থাকে। তাই গ্যাসীয় অবস্থায় এক মোল Be পরমাণু থেকে একটি করে ইলেকট্রন সরিয়ে গ্যাসীয় অবস্থায় এক মোল  $\text{Be}^+$  আয়ন তৈরিতে অধিক শক্তি ব্যয় হয়।

অপরদিকে, Ca পরমাণুর ৪র্থ শক্তিস্তরের যোজ্যতা ইলেকট্রন এর নিউক্লিয়াস থেকে অপেক্ষাকৃত দূরে হওয়ায় নিউক্লিয়াস দ্বারা কম আকৃষ্ট থাকে। তাই গ্যাসীয় অবস্থায় এক মোল Ca পরমাণু থেকে একটি করে ইলেকট্রন সরিয়ে গ্যাসীয় অবস্থায় এক মোল  $\text{Ca}^+$  আয়ন তৈরি করতে তুলনামূলক কম শক্তি প্রয়োজন হয়। যেমন,



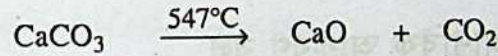
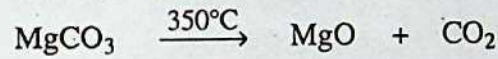
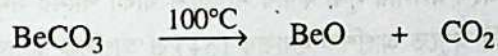


মৌলের পর্যায়বৃত্ত ধর্ম ও রাসায়নিক বন্ধন

৩২৯

সমাধান (খ)  $\text{DCO}_3$ ,  $\text{ECO}_3$  ও  $\text{GCO}_3$  এর বিয়োজন তাপমাত্রার ব্যাখ্যা :

উদ্দীপক মতে, D হলো Be(4), E হলো Mg(12) এবং G হলো Ca(20)। সুতরাং  $\text{DCO}_3$  হলো  $\text{BeCO}_3$ ,  $\text{ECO}_3$  হলো  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{GCO}_3$  হলো  $\text{CaCO}_3$ । এক্ষেত্রে Be, Mg ও Ca মৌলগুলো গ্রুপ-2 এর অন্তর্ভুক্ত। গ্রুপ-2 এর ধাতব আয়নসমূহ ( $\text{Be}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) এর আয়নিক পটেনসিয়াল এদের আকার বৃদ্ধির সাথে গ্রুপের ওপর থেকে নিচের দিকে কমে। যেমন  $\text{Be}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ । তাই এসব ক্যাটায়নের কার্বনেটের স্থিতি একই ক্রমানুসারে বাড়তে থাকে অর্থাৎ এদের বিয়োজন তাপমাত্রা ক্রমশ বাড়তে থাকে। সুতরাং উদ্দীপকের তিনটি ধাতব কার্বনেটের তাপ বিয়োজন তাপমাত্রার ক্রম হলো  $\text{CaCO}_3 > \text{MgCO}_3 > \text{BeCO}_3$  অর্থাৎ  $\text{BeCO}_3$  এর বিয়োজন তাপমাত্রা সবচেয়ে কম হবে এবং তা হলো  $100^\circ\text{C}$ ।



### ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণি শিক্ষকের সহায়তায় চারজনের গ্রুপ করে নিম্নোক্ত মূলনীতি সহকারে কাজের ধারা অনুসরণ করে নিচের চিত্রমতে পানির ডাইপোলার উপস্থিতি প্রমাণ কর।

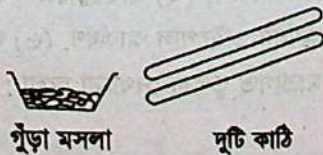
পরীক্ষা নং-১২

তারিখ : .....

পরীক্ষার সময় : ১ পিরিয়ড

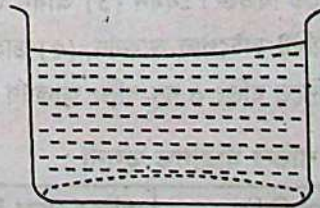
### ৩.১৬ পরীক্ষার নাম : পানির ডাইপোলার উপস্থিতি প্রমাণ-এর পরীক্ষা

মূলনীতি : পানি একটি পোলার সমযোজী যৌগ অণু। অক্সিজেন পরমাণুর তড়িৎ ঋণাত্মকতা 3.5 এবং হাইড্রোজেন পরমাণুর তড়িৎ ঋণাত্মকতা 2.1; উভয় পরমাণুর তড়িৎ ঋণাত্মকতার পার্থক্য হলো  $(3.5 - 2.1) = 1.4$ , যা 0.5 থেকে 1.9 এর মধ্যে রয়েছে। শর্ত অনুসারে পানি অণু পোলার ( $\text{H}_2\text{O}$ ) হয়েছে। তাই সাবানের ঋণাত্মক আয়ন স্টিয়ারেট আয়ন ( $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO}^-$ ) দ্বারা পানি অণু বিকর্ষিত হয় এবং চার্জযুক্ত প্লাস্টিক রড দ্বারা পানি অণু আকৃষ্ট হয়ে থাকে।



গুঁড়া মসলা

দুটি কাঠি



বড় বিকারে পানি



ছোট বিকারে সাবানের পানি



হ্যান্ড ওয়াশ তরল সাবান

চিত্র-৩.৩৫ : পানিতে ডাইপোলার উপস্থিতি প্রমাণের পরীক্ষা।

প্রয়োজনীয় উপকরণ : (১) ১টি বড় বিকার অথবা বড় বাটি ও ১টি ছোট বিকার, (২) সামান্য পরিমাণ মসলা যেমন মরিচ-গুঁড়া অথবা হলুদ-গুঁড়া, (৩) হ্যান্ড ওয়াশ (তরল সাবান), (৪) দুটি সরু কাঠি বা দেয়াশলাই কাঠি, (৫) পানি।

কাজের ধারা : (১) বড় বিকারে বা বড় বাটিতে পানি ঢেলে নাও।

(২) ঐ পানির ওপর এক চিমটা হলুদের গুঁড়া অথবা মরিচের গুঁড়া বা উভয়ের গুঁড়া ছড়িয়ে দাও। দেখতে পাবে পানির ওপর মসলার সূক্ষ্ম গুঁড়া পাতলা স্তররূপে ভাসমান আছে। ভারী গুঁড়াগুলো পানির তলায় পড়ে আছে।



(৩) ছোট বিকারটিতে পানি নিয়ে একটু সাবান গুলিয়ে নাও।

(৪) দুটি ছোট কাঠির একটির মাথা সাবানের পানিতে ভিজিয়ে নাও এবং বড় বিকারে নেয়া মসলার পানিতে ঢুকাও। লক্ষ কর মসলার গুঁড়ার পাতলা স্তরে কোনো নড়াচড়া হচ্ছে কী-না।

পর্যবেক্ষণ : এখন সাবানের কাঠি পানিতে ঢুকানোর সাথে সাথে মসলার কণাগুলো দূরে সরে যাচ্ছে। এরপর দ্বিতীয় কাঠিকে বাম হাতে নিয়ে সরাসরি মসলার পানিতে ঢুকাও। এবার মসলার গুঁড়ার স্তর সরে যায় না। দ্বিতীয় কাঠিটি ডুবানো অবস্থায় রেখে প্রথম কাঠিটি সাবানের পানিতে ভিজিয়ে আবার মসলার পানিতে ডুবাও। এবার কিন্তু মসলার গুঁড়ার স্তর সরে যাচ্ছে।

সিদ্ধান্ত : (১) তরল সাবানের ঋণাত্মক আয়নিক অংশ মসলার সূক্ষ্ম কণার সংস্পর্শে থাকা পানির সদৃশ মেরুকে বিকর্ষণ করছে। এতে প্রমাণিত হয় পানি পোলার অণু অর্থাৎ পানি অণুতে আংশিক ধনাত্মক ( $\delta+$ ) ও আংশিক ঋণাত্মক ( $\delta-$ ) ডাইপোল আছে।

### ৩.১৭ ভ্যানডার ওয়ালস বল : আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল Vander Waals Force : Inter-Molecular Force

আমরা জানি, রাসায়নিক বন্ধন শক্তি বা আন্তঃপারমাণবিক আকর্ষণ বল (Bonding forces) ও আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল—এ উভয় প্রকার বলের প্রকৃতি হলো বিপরীত চার্জের স্থিরবৈদ্যুতিক আকর্ষণ বল। বন্ধন শক্তি হলো—(১) ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের মধ্যে আকর্ষণ (আয়নিক বন্ধনে), (২) নিউক্লিয়াসদ্বয় ও ইলেকট্রন যুগলের মধ্যে আকর্ষণ (সমযোজী বন্ধনে) অথবা (৩) ধাতুর ক্যাটায়ন ও সঞ্চরণশীল যোজ্যতা ইলেকট্রনের মধ্যে আকর্ষণ (ধাতব বন্ধনে)।

অপরদিকে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল অণুসমূহের মধ্যে আংশিক চার্জ সৃষ্টির কারণে অথবা আয়ন ও অণুর মধ্যে আকর্ষণের কারণে উদ্ভব ঘটে। এ উভয় প্রকার বল মূলত আকর্ষণ শক্তির মাত্রায় ভিন্ন হয় মাত্র।

ভ্যানডার ওয়ালস বলের সংজ্ঞা : রাসায়নিক বন্ধন শক্তি বা আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল (intra molecular force) ছাড়া অণুসমূহের মধ্যে যত প্রকার কার্যকর বল রয়েছে তাদেরকে একত্রে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল বা সাধারণভাবে ভ্যানডার ওয়ালস বলও বলা হয়। তবে অপোলার সমযোজী অণুসমূহের আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বলকে ভ্যানডার ওয়ালস আকর্ষণ বল বলা হয়।

ননবন্ডিং আন্তঃআণবিক বল নিম্নোক্ত শ্রেণিতে বিভক্ত। যেমন (১) আয়ন-ডাইপোল আকর্ষণ, (২) হাইড্রোজেন বন্ধন, (৩) ডাইপোল-ডাইপোল আকর্ষণ, (৪) আয়ন-আবিষ্ট ডাইপোল আকর্ষণ, (৫) ডাইপোল-আবিষ্ট ডাইপোল আকর্ষণ, (৬) লন্ডন বল বা বিস্তারণ (dispersion) বল। নিচের সারণিতে বন্ডিং ও নন-বন্ডিং আকর্ষণ শক্তির মাত্রাগত তুলনা দেখানো হলো :

সারণি-৩.৭ : বন্ডিং ও ননবন্ডিং আকর্ষণ শক্তির মাত্রাগত তুলনা :

কার্যকর আকর্ষণ শক্তি	বন্ধনের ভিত্তি	শক্তির মাত্রা kJ/mol	উদাহরণ
বন্ডিং এর বেলায় :			
(১) আয়নিক বন্ধন :	ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন :	400 - 4000	NaCl এর কেলাসে।
(২) সমযোজী বন্ধন :	নিউক্লিয়াসদ্বয় ও শেয়ারকৃত ইলেকট্রন যুগল :	150 - 1100	H-H অণুতে।
(৩) ধাতব বন্ধন :	ক্যাটায়ন ও সঞ্চরণশীল যোজ্যতা ইলেকট্রন :	75 - 1000	Fe ও ধাতুসমূহে।



কার্যকর আকর্ষণ শক্তি	বন্ধনের ভিত্তি	শক্তির মাত্রা kJ/mol	উদাহরণ
ননবন্ডিং-এর বেলায় : (১) আয়ন-ডাইপোল আকর্ষণ :	আয়ন চার্জ ও ডাইপোল চার্জ	10 - 50	$\text{Na}^+ \cdots \cdots \delta^- \text{O} \begin{matrix} \delta^+ \text{H} \\ \delta^+ \text{H} \end{matrix}$
(২) H-বন্ধন (পোলার অণু) [N, O, F যৌগসমূহে]	পোলার বন্ড ও H-ডাইপোল চার্জ	10 - 40	$\delta^+ \text{H} \cdots \cdots \delta^- \text{O} \cdots \cdots \delta^+ \text{H} \cdots \cdots \delta^- \text{O} \cdots \cdots \delta^+ \text{H}$
(৩) ডাইপোল-ডাইপোল	ডাইপোল চার্জসমূহ	3 - 4	$\delta^- \text{Cl} \cdots \cdots \delta^+ \text{I} \cdots \cdots \delta^- \text{Cl} \cdots \cdots \delta^+ \text{I}$
(৪) আয়ন-আবিষ্ট ডাইপোল	আয়নের চার্জসমূহ ও পোলারাইজ $e^-$ মেঘ	3 - 15	$\text{Fe}^{2+} \cdots \cdots \text{O}_2$
(৫) ডাইপোল-আবিষ্ট ডাইপোল	ডাইপোল চার্জ ও পোলারাইজ $e^-$ মেঘ	2 - 10	$\delta^+ \text{H} \cdots \cdots \delta^- \text{Cl} \cdots \cdots \text{Cl} \cdots \cdots \text{Cl}$
(৬) লন্ডন বল বা বিস্তারণ বল	পোলারাইজযোগ্য $e^-$ মেঘ	1 - 10	$\text{F}-\text{F} \cdots \cdots \text{F}-\text{F}$

ভ্যানডার ওয়ালস আকর্ষণ বল উৎস অনুসারে দু শ্রেণিতে বিভক্ত। যেমন, (ক) স্থায়ী ডাইপোল ও আবিষ্ট ডাইপোল আকর্ষণ, (খ) বিস্তারণ বল বা লন্ডন বল।

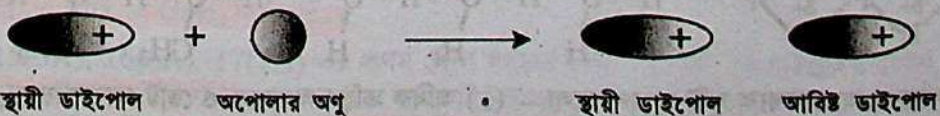
আয়ন-ডাইপোল আকর্ষণ : যখন একটি আয়ন ও পোলার তরল নিকটে আসে, তখন আয়ন-ডাইপোল আকর্ষণের উদ্ভব ঘটে। যেমন পানিতে  $\text{Na}^+$  আয়ন ও পানি অণুর ঋণাত্মক প্রান্ত অক্সিজেন পরমাণুর মধ্যে এবং অপরদিকে  $\text{Cl}^-$  আয়ন ও পানি অণুর ধনাত্মক প্রান্ত H-পরমাণুর মধ্যে আয়ন-ডাইপোল আকর্ষণ সৃষ্টি হয়। এ আকর্ষণ বলের পরিমাণ (E) নির্ভর করে—

(i) আয়নের চার্জ (z), (ii) পোলার অণুর ডাইপোল মোমেন্ট ( $\mu$ ) এবং (iii) আয়ন ও ডাইপোলের মধ্যবর্তী দূরত্ব (r) এর বর্গের ব্যস্তানুপাতিক হারে :  $E \propto \mu z / r^2$ । আবার ডাইপোল মোমেন্ট,  $\mu = Q \times r$ ; এ ক্ষেত্রে Q = ইলেকট্রনের চার্জ  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ , r = বিপরীত চার্জের দূরত্ব মিটার এককে। ডাইপোল মোমেন্ট ( $\mu$ ) এর একক হলো ডিবাই (D) :  $1 \text{ D} = 3.336 \times 10^{-30} \text{ coulomb meters (C.m)}$ । পোলার অণুতে পোলারিটির পরিমাণগত মাত্রাকে ডাইপোল মোমেন্ট ( $\mu$ ) বলে, যা বিপরীত চার্জের দূরত্ব (r) ও চার্জের মাত্রার (Q) গুণফলের সমান;  $\mu = Q \times r$

(২) ডাইপোল-ডাইপোল আকর্ষণ : অধিক তড়িৎ ঋণাত্মক মৌলদ্বয়ের মধ্যে সৃষ্ট সমযোজী যৌগ অণুতে সৃষ্ট ভিন্ন চার্জ বা মেরুকে ডাইপোল বলে। ডাইপোল দু প্রকার। যেমন, (i) স্থায়ী ডাইপোল ও (ii) অস্থায়ী ডাইপোল। স্থায়ী ডাইপোলার অণু হলো  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_3$ ।

ডাইপোল-ডাইপোল আকর্ষণকে অনেক সময় স্থিতিশীল ডাইপোল-স্থিতিশীল ডাইপোল আকর্ষণও বলা হয় এবং এ আকর্ষণ কেবল পোলার অণুর বেলায় ঘটে।

(৩) স্থায়ী ডাইপোল ও আবিষ্ট ডাইপোলের মধ্যে আকর্ষণ : যখন কোনো অণু বা আয়নের ইলেকট্রন মেঘ বৃহৎ স্থান দখল করে থাকে (diffuse) এবং আরেকটি অণু বা আয়নের একটি ধনাত্মক চার্জযুক্ত প্রান্ত তার নিকটে আসে, তখন প্রথম অণু বা আয়নের ইলেকট্রন মেঘ সেদিকে আকৃষ্ট হয় এবং ফলে সেদিকে আংশিক ঋণাত্মক চার্জের সৃষ্টি হয়। এর ফলে অন্য প্রান্তে আংশিক ধনাত্মক চার্জের সৃষ্টি হয়। এভাবে আবিষ্ট চার্জ সৃষ্টি হওয়াকে পোলারায়ন (polarisation) বলা হয়।



চিত্র-৩.৩৬ : স্থায়ী ডাইপোল ও আবিষ্ট ডাইপোলের মধ্যে আকর্ষণ সৃষ্টি।



(৪) বিস্তারণ বল বা লভন বল : বিস্তারণ বলকে ক্ষণস্থায়ী ডাইপোল প্রভাবিত আবিষ্ট ডাইপোল আকর্ষণও বলা হয়। এটি সব ধরনের অপোলার অণু ও পরমাণুর বেলায় কার্যকর। তবে একটি পরমাণু বা অণুতে ইলেকট্রন সংখ্যা যত বেশি হয় এবং বহিস্থ ইলেকট্রনের ওপর নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ যত কম হয়, ততই বিস্তারণ বল বা লভন বল বাড়ে। পদার্থবিদ Fritz London এর নামানুসারে এরূপ নামকরণ।



চিত্র-৩.৩৭ : বিস্তারণ বলের সৃষ্টি।

যে কোনো অণু বা পরমাণুতে দ্রুত ঘূর্ণনরত ইলেকট্রনসমূহের বিস্তারণ যে কোনো মুহূর্তে সব অবস্থানে সমভাবে হতে পারে না। নিউক্লিয়াসের কোনো একটি অংশে ইলেকট্রন মেঘ-এর ঘনত্ব বেশি হবে, অর্থাৎ ইলেকট্রন মেঘের ক্ষণিক বিকৃতি ঘটে এবং সে স্থানে আংশিক ঋণাত্মক চার্জের সৃষ্টি হয়, যা খুবই ক্ষণস্থায়ী। একই সাথে অন্যত্র ইলেকট্রন মেঘের ঘনত্ব হ্রাস পায়, সেখানে ক্ষণস্থায়ী আংশিক ধনাত্মক চার্জের সৃষ্টি হয়।

**বিস্তারণ বল বা লভন বলের সংজ্ঞা :** কোনো অপোলার অণু বা পরমাণুতে ইলেকট্রন মেঘের ক্ষণিক অসম বিস্তৃতি বা ক্ষণিক বিকৃতির কারণে সৃষ্ট 'ক্ষণস্থায়ী ডাইপোল' প্রভাবিত 'আবিষ্ট ডাইপোল' এর আকর্ষণ বলকে বিস্তারণ বল বা লভন বল বলে।

**বিস্তারণ বলের প্রভাব :** অপোলার অণুতে বা পরমাণুতে ইলেকট্রন মেঘের বিকৃত হওয়ার ক্ষমতাকে পোলারায়ন ক্ষমতা বলা হয়। যে অণু বা পরমাণু সার্বিকভাবে পুরোপুরি অপোলার তাতেও সর্বদা ক্ষণস্থায়ী ডাইপোল সৃষ্টি হয়। এর ফলে নিকটস্থ আরেকটি অণু বা পরমাণুতেও আবিষ্ট ডাইপোল সৃষ্টি এবং এদের মধ্যে আকর্ষণের সৃষ্টি হয়। এরূপ ক্ষণস্থায়ী ডাইপোল প্রভাবিত আবিষ্ট ডাইপোল সৃষ্টি ও আকর্ষণকে বিস্তারণ বল বা লভন বল বলে। এরূপে বিস্তারণ বল অণু বা পরমাণুতে সব সময় ঘটতে থাকে।

(১) হ্যালোজেন সদস্যদের গ্যাসীয়, তরল ও কঠিন ভৌত অবস্থা বিস্তারণ বল প্রভাবিত।

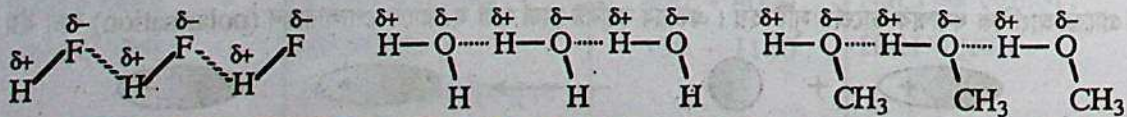
(২) বিস্তারণ বলের প্রভাবে ন্যানো স্কেলের সূক্ষ্ম গুঁড়া সাসপেনশন তৈরি করে; যেমন গোল্ড সাসপেনশন।

**হ্যালোজেনের ভৌত অবস্থার ওপর বিস্তারণ বলের প্রভাব :** হ্যালোজেন অণুসমূহের আণবিক ভর বৃদ্ধির সাথে ইলেকট্রন সংখ্যাও বৃদ্ধি পায়। ফলে বিস্তারণ বলজনিত অণুতে পোলারায়ন ক্ষমতাও বৃদ্ধি পায়। তাই এদের ভৌত অবস্থা গ্যাস থেকে তরল ও শেষে আয়োডিন কঠিন অবস্থা লাভ করে।

### ৩.১৮ হাইড্রোজেন বন্ধন Hydrogen Bond

**সংজ্ঞা :** হাইড্রোজেন পরমাণু ও নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল যুক্ত অধিক তড়িৎ ঋণাত্মক ছোট আকারের পরমাণু যেমন N, O এবং F; এর মধ্যে সৃষ্ট H—N, H—O, H—F বন্ধন অধিকতর পোলার হয়। ফলে H-পরমাণুর ইলেকট্রন মেঘের ঘনত্ব অধিক হ্রাস পায়। এরূপ পোলার অণুসমূহের মধ্যে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক প্রান্তে নতুনভাবে এক আকর্ষণ বল সৃষ্টি হয়, তাকে হাইড্রোজেন বন্ধন বলে। H-বন্ধনকে ডট ডট “....” চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

হাইড্রোজেন ফ্লোরাইড ( $\delta^+ \delta^-$ ), পানি ( $\delta^+ \delta^-$ ) ও মিথানল ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) অণুর মধ্যে H-বন্ধন ঘটে। যেমন,



**H-বন্ধন গঠনের অত্যাবশ্যিক দুটি কারণ হলো—** (১) অধিক তড়িৎ ঋণাত্মক ও ছোট আকারের N, O, F এর সাথে H-পরমাণুর সমযোজী বন্ধনের অধিক পোলারায়ন ঘটে। (২) ছোট আকারের N, O, F পরমাণুর নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল H-পরমাণুর নিকটে এসে দুর্বল H-বন্ধন করতে পারে।



\* H-বন্ধনের শক্তিক্রম হলো  $H \dots F > H \dots O > H \dots N$

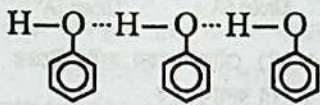
\* একটি HF অণু অপর দুটি HF অণুর সাথে H-বন্ধন করতে পারে। তাই HF এর স্ফুটনাঙ্ক হলো  $19.5^\circ C$ । একটি  $H_2O$  অণুর সাথে অপর চারটি  $H_2O$  অণুর H-বন্ধন ঘটে; তাই  $H_2O$  এর স্ফুটনাঙ্ক  $100^\circ C$  হয়।

\* অর্থাৎ একটি HF অণুকে মুক্ত করতে দুইটি H-বন্ধন ভাঙতে হয় এবং এজন্য যে তাপশক্তি প্রয়োজন হয়; এর তুলনায় একটি  $H_2O$  অণুকে মুক্ত করতে চারটি H-বন্ধন ভাঙার প্রয়োজন হয় এবং তাপশক্তি HF এর তুলনায় প্রায় দ্বিগুণ ব্যয়িত হয়। এজন্য পানির ( $H_2O$  এর) স্ফুটনাঙ্ক HF এর স্ফুটনাঙ্কের চেয়ে বেশি। কক্ষতাপমাত্রায় বা  $25^\circ C$  তাপমাত্রায় পানি তরল; কিন্তু HF গ্যাসীয় অবস্থায় থাকে।

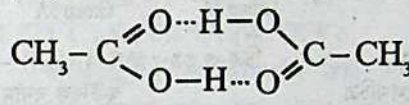
H-বন্ধন দু'প্রকার- যেমন আন্তঃআণবিক H-বন্ধন ও অন্তঃআণবিক H-বন্ধন।

১। আন্তঃআণবিক H-বন্ধন পাশাপাশি দুটি বা বহু অণুর মধ্যে ঘটে থাকে। (১) যেমন HF,  $H_2O$ , অ্যালকোহল ( $CH_3OH$ ) ও ফেনল ( $C_6H_5OH$ ) ইত্যাদির মধ্যে ঘটে। কিন্তু (২) অ্যাসিটিক এসিড ( $CH_3COOH$ ) এর দুটি অণুর দুটি  $-COOH$  গ্রুপের মধ্যে আন্তঃআণবিক H-বন্ধন দ্বারা বলয় সৃষ্টি করে ডাইমার অণু গঠিত হয়।

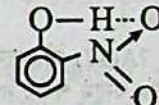
২। অন্তঃআণবিক H-বন্ধন একই অণুর দুটি ভিন্ন মূলকের মধ্যে ঘটে বলয় সৃষ্টি করে। যেমন— (১) অর্থো নাইট্রো ফেনলের  $-OH$  ও  $-NO_2$  গ্রুপের মধ্যে এবং (২) স্যালিসাইল অ্যালডিহাইড বা অর্থো হাইড্রক্সি বেনজ্যালডিহাইডের  $-OH$  ও  $-CHO$  গ্রুপের মধ্যে বলয় সৃষ্টি হয়। একইভাবে (৩) স্যালিসাইলিক এসিড বা অর্থো হাইড্রক্সি বেনজয়িক এসিডের মধ্যে অন্তঃআণবিক H বন্ধন একই অণুর মধ্যে ঘটে।



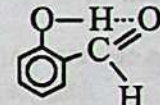
ফেনলে আন্তঃআণবিক H-বন্ধন



অ্যাসিটিক এসিডের H-বন্ধনে ডাইমার

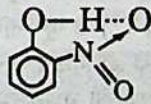


অন্তঃআণবিক H-বন্ধন অর্থো নাইট্রোফেনলে

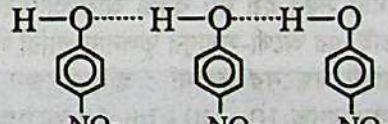


অন্তঃআণবিক H-বন্ধন অর্থো হাইড্রক্সি বেনজ্যালডিহাইডে

\* অর্থোনাইট্রো ফেনলের মধ্যে একই অণুতে অন্তঃআণবিক H-বন্ধন দ্বারা বলয় সৃষ্টি হয়। তখন এসব অণু একক অণুরূপে থাকে। অপরদিকে প্যারানাইট্রো ফেনল অণুসমূহের পাশাপাশি দুটি  $-OH$  মূলকের মধ্যে আন্তঃআণবিক H-বন্ধন গঠন সম্ভব হয়। তখন প্যারানাইট্রো ফেনল অণুসমূহ গুচ্ছ অণুরূপে থাকে। তাই প্যারানাইট্রো ফেনলের গলনাঙ্ক বেশি হয়। কারণ আন্তঃআণবিক H-বন্ধন ভাঙার জন্য কিছু তাপ-শক্তি প্রয়োজন হয়। অর্থো নাইট্রোফেনলের গলনাঙ্ক কম হয়।



অর্থোনাইট্রো ফেনলে অন্তঃআণবিক H-বন্ধন (....)



প্যারা নাইট্রো ফেনলে আন্তঃআণবিক H-বন্ধন (....)

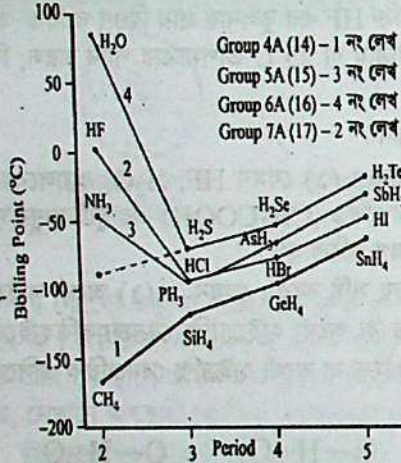
ফলে প্যারানাইট্রোফেনলের গলনাঙ্ক অর্থোনাইট্রোফেনলের গলনাঙ্ক থেকে বেশি হয়। কারণ আন্তঃআণবিক H-বন্ধন ভাঙতে কিছু তাপশক্তি ব্যয়িত হয়। অর্থোনাইট্রোফেনলের গলনাঙ্কের বেলায় অন্তঃআণবিক H-বন্ধনের কোনো প্রভাব নেই।

যৌগের ভৌতধর্মের ওপর H-বন্ধনের প্রভাব : গ্রুপভিত্তিক মৌলসমূহের হাইড্রাইডের ভৌতধর্ম (ভৌত অবস্থা, স্ফুটনাঙ্ক, গলনাঙ্ক) এর ওপর H-বন্ধনের ব্যতিক্রমধর্মী প্রভাব রয়েছে। সাধারণত একই গ্রুপের ওপর থেকে নিচের দিকের মৌলসমূহের হাইড্রাইডের স্ফুটনাঙ্ক ও গলনাঙ্ক এদের মৌলার ভর বৃদ্ধির সাথে ক্রমান্বয়ে বৃদ্ধি পায়। এর কারণ অণুসমূহের মৌলার ভর বৃদ্ধির সাথে এদের লন্ডন বল বা বিস্তারণ বল বৃদ্ধি পায়। গ্রুপ-14(4A) এর মৌলসমূহের হাইড্রাইডে তা সুস্পষ্ট [চিত্র ৩.৩৮];  $CH_4 < SiH_4 < GeH_4 < SnH_4$ ।

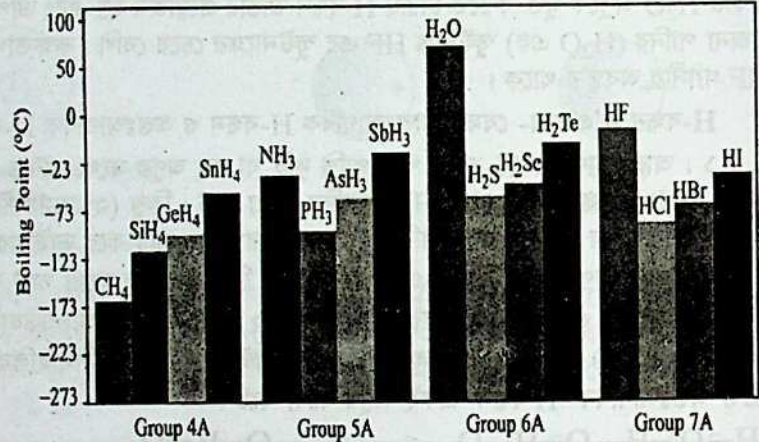
কিন্তু গ্রুপ 15(5A), 16(6A), 17(7A) এর প্রথম মৌল যথাক্রমে N, O ও F এর হাইড্রাইড যেমন,  $NH_3$ ,  $H_2O$  ও HF এর বেলায় ব্যতিক্রম দেখা যায়। এর কারণ এ সব হাইড্রাইডের অণুসমূহের মধ্যে কার্যকর আন্তঃআণবিক H-বন্ধন থাকায় আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল বৃদ্ধি পায়। ফলে  $NH_3$ ,  $H_2O$  ও HF এর স্ফুটনাঙ্ক ও গলনাঙ্ক একই গ্রুপের অন্যসব হাইড্রাইডের তুলনায় বেশি হয়ে থাকে, (চিত্র-৩.৩৯)।



বিশেষত গ্রুপ-6A(16) এর মৌলসমূহের হাইড্রাইডের লেখচিত্র ও কলাম গ্রাফ থেকে জানা যায়  $H_2S$  এর ফুটনাঙ্ক হলো  $-60.7^\circ C$  এবং  $H_2O$  হলো গ্যাস; কিন্তু  $H_2O$  হলো তরল এর ফুটনাঙ্ক হলো  $100^\circ C$ । গ্রুপ-6A(16) এর হাইড্রাইডের বর্ধিত লেখ (ডেশ লাইন) থেকে সুস্পষ্ট যে,  $H_2O$  এর মধ্যে যদি H-বন্ধন না থাকতো, তবে পানির বর্তমান ফুটনাঙ্ক প্রায়  $200^\circ C$  হ্রাস পেয়ে প্রায়  $-100^\circ C$  এর কাছাকাছি হতো।



চিত্র-৩.৩৮ : গ্রুপ-4A(14) – 7A(17) মৌলসমূহের হাইড্রাইডের ফুটনাঙ্ক বনাম পর্যায় নম্বর লেখচিত্র



চিত্র-৩.৩৯ : গ্রুপ-4A(14) – 7A(17) মৌলসমূহের হাইড্রাইডের ফুটনাঙ্ক বনাম গ্রুপ নম্বর কলাম গ্রাফ

অনুরূপভাবে, অন্তঃআণবিক H-বন্ধনের কারণে একই অ্যারোমেটিক জৈব অণুর মধ্যে নতুন রিং (ring) বা বলয় সৃষ্টি হয়, একে H-বন্ধনের কিলেশন (chelation উচ্চারণ key-lation) বলে। এর ফলে জৈব অ্যারোমেটিক যৌগের অর্ধো সমাপুর গলনাঙ্ক ও ফুটনাঙ্ক প্যারা সমাপুর গলনাঙ্ক ও ফুটনাঙ্ক থেকে কম হয়। যেমন,

অর্ধোনাইট্রো ফেনলের গলনাঙ্ক  $45^\circ C$ , কিন্তু এটির প্যারা সমাপুর গলনাঙ্ক  $114^\circ C$  হয়। এর কারণ হলো অর্ধো নাইট্রোফেনলের বেলায়  $-OH$  ও  $-NO_2$  গ্রুপ বেনজিন বলয়ে খুব নিকটে দুটি C-পরমাণুতে 1:2 অবস্থানে থাকায় উভয় গ্রুপের মধ্যে অন্তঃআণবিক H-বন্ধন দ্বারা বলয় সৃষ্টি এবং একক অণুরূপে থাকে। অপরদিকে,

প্যারা নাইট্রোফেনলের অণুতে  $-OH$  ও  $-NO_2$  গ্রুপ বেনজিন বলয়ে সবচেয়ে দূরে 1:4 অবস্থানে থাকায় অন্তঃআণবিক H-বন্ধন ঘটা সম্ভব হয় না; বরঞ্চ অন্তঃআণবিক H-বন্ধন দ্বারা বহু সংখ্যক অণু পরস্পরের সাথে 'সংবদ্ধ' (associated) থাকে। তাই এর অর্ধো-সমাপুর তুলনায় প্যারা সমাপুর গলনাঙ্ক ( $114^\circ C$ ) ও ফুটনাঙ্ক বেশি হয়।

**H-বন্ধন ও সমযোজী বন্ধনের তুলনা** : হাইড্রোজেন বন্ধন স্থির বৈদ্যুতিক প্রকৃতির এবং দুর্বল প্রকৃতির বন্ধন। হাইড্রোজেন বন্ধন শক্তি সাধারণত  $10 - 40 \text{ kJmol}^{-1}$  অপেক্ষা বেশি হয় না। সমযোজী বন্ধনসমূহ বহুগুণ বেশি শক্তিশালী (সাধারণত  $150 - 1100 \text{ kJmol}^{-1}$ )। H-বন্ধনের উপস্থিতির ফলে সমযোজী যৌগের ধর্মে বিশেষ পরিবর্তন ঘটে। তাই যৌগের ধর্ম নির্ণয়ে ও ব্যাখ্যায় এটি বিশেষভাবে গুরুত্বপূর্ণ।

**H-বন্ধন ও ভ্যানডার ওয়ালস বলের তুলনা** : H-বন্ধনশক্তি অবস্থাভেদে প্রায়  $10 - 40 \text{ kJmol}^{-1}$  পর্যন্ত হয়। অপরদিকে অন্যান্য ননবন্ডিং ভ্যানডার ওয়ালস বল যেমন আয়ন-ডাইপোল আকর্ষণ বল  $10 - 50 \text{ kJmol}^{-1}$  এবং বিভিন্ন প্রকার ডাইপোল-আবিষ্ট ডাইপোলের মধ্যে আকর্ষণ বল  $2 - 10 \text{ kJmol}^{-1}$ ; বিস্তারণ বলের মান  $1 - 10 \text{ kJmol}^{-1}$  পর্যন্ত হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ :

### ৩.১৯ $H_2O$ এবং $H_2S$ এর বন্ধন, H-বন্ধন ও ভ্যানডার ওয়ালস বলের তুলনা Comparison Among Bonds in $H_2O$ , $H_2S$ , H-Bond and Vander Waals' force

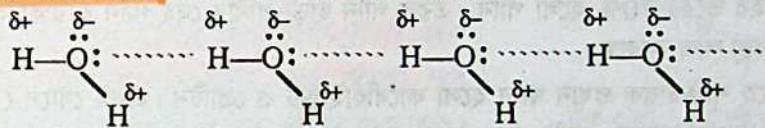
নিম্নোক্ত তিনটি বিষয়ের ভিত্তিতে তুলনা করতে হবে। যেমন—

(১)  $H_2O$  এবং  $H_2S$  হলো গ্রুপ-16 এর মৌল O এবং S এর হাইড্রাইড। গ্রুপভিত্তিক উভয় হাইড্রাইডের ধর্মে মিল থাকার কথা। (২) বাস্তবে  $H_2O$  তরল; কিন্তু  $H_2S$  হলো গ্যাস। এর কারণ উভয়ের মধ্যে কেবল  $H_2O$  অণুতে H-বন্ধন ঘটে। (৩) এছাড়া অন্তঃআণবিক আকর্ষণ বলরূপে H-বন্ধন ও ভ্যানডার ওয়ালস বলের মধ্যে পার্থক্য উভয় যৌগের ভৌত অবস্থার নিয়ামকরূপে কাজ করে।



পানি অণু ( $H_2O$ ) হলো পোলার; কিন্তু  $H_2S$  হলো অপোলার। এর কারণ, O ও H এর তড়িৎ ঋণাত্মকতার পার্থক্য হলো  $(3.5 - 2.1) = 1.4$ , যা সমযোজী পোলার অণু গঠনের শর্ত পূরণ করে। কিন্তু S ও H এর মধ্যে তড়িৎ ঋণাত্মকতার পার্থক্য হলো  $(2.5 - 2.1) = 0.4$ , যা অপোলার সমযোজী অণুর শর্ত পূরণ করে। তাই পোলার  $H_2O$  অণুসমূহের মধ্যে H-বন্ধন গঠন সম্ভব। অপোলার  $H_2S$  অণুর মধ্যে H-বন্ধন সম্ভব নয়।

হাইড্রোজেন বন্ধন উপস্থিত থাকার ফলে  $H_2O$  অণুসমূহ পরস্পরকে আকৃষ্ট করে সংবদ্ধ বা গুচ্ছ অণু  $(H_2O)_n$  আকারে রাখে। ফলে  $H_2O$  তরল অবস্থা প্রাপ্ত হয়। অপরদিকে  $H_2S$  পৃথক একক অণুরূপে গ্যাসীয় অবস্থায় থাকে।  $H_2S$  অণুগুলোর মধ্যে দুর্বল ভ্যানডার ওয়ালস বল থাকে। এর পরিমাণ হলো  $1 - 10 \text{ kJ/mol}$  মাত্র।



চিত্র-৩.৪০ : পানি অণুর মধ্যে H-বন্ধন

আবার H-বন্ধন শক্তির পরিমাণ ভ্যানডার ওয়ালস বলের তুলনায় বেশি। H-বন্ধন শক্তি পোলারিটির মাত্রাভেদে  $10 - 40 \text{ kJ/mol}$  হয়। HF এর বেলায় H-বন্ধন শক্তি সর্বাধিক হয় এবং এরপর তা  $H_2O$  এর বেলায় প্রযোজ্য।

HCl, HBr, HI সাধারণ তাপমাত্রায় গ্যাসীয় দ্বিপরিমাণিক অণু হিসেবে থাকলেও HF অণুসমূহ আন্তঃআণবিক H-বন্ধন দ্বারা সংযোজিত অণু  $(HF)_n$  রূপে (associated) থাকে এবং HF এর স্ফুটনাঙ্ক  $19.5$  হয়। অর্থাৎ  $19.5^\circ\text{C}$  নিচে HF তরল অবস্থায় এবং কক্ষতাপমাত্রায় ( $25^\circ\text{C}$ ) গ্যাসীয় অবস্থায় থাকে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৩.১৬ : আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল শনাক্তকরণভিত্তিক : নিম্নোক্ত পদার্থে উপস্থিত আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বলকে শ্রেণিগতভাবে শনাক্ত কর : (ক) HCl, (খ)  $CH_3CH_3$ , (গ)  $CH_3NH_2$ , (ঘ) Kr।

দক্ষতা (Strategy) : প্রত্যেকের আণবিক গঠন জেনে আন্তঃআণবিক বল শনাক্ত কর। সব প্রকারের অণুর মধ্যে থাকে—বিস্তারণ বল; পোলার অণুর মধ্যে থাকে ডাইপোল-ডাইপোল আকর্ষণ বল এবং O-H, N-H ও H-F এর মধ্যে থাকে H-বন্ধন।

সমাধান : (ক) HCl হলো পোলার অণু; কিন্তু H-বন্ধন করতে পারে না। এটির অণুতে ডাইপোল-ডাইপোল আকর্ষণ বল এবং বিস্তারণ বল থাকে।

(খ)  $CH_3CH_3$  হলো অপোলার; এর অণুতে কেবল বিস্তারণ বল থাকে।

(গ)  $CH_3NH_2$  হলো পোলার অণু; এর অণুতে H-বন্ধন, ডাইপোল-ডাইপোল আকর্ষণ বল ও বিস্তারণ বল থাকে।

(ঘ) Kr হলো অপোলার; এতে কেবল বিস্তারণ বল থাকে।

শিক্ষার্থী নিজে কর-৩.১৬ : H-বন্ধনভিত্তিক সমস্যা :

প্রশ্ন-৩.৩৪। হাইড্রোজেন বন্ধন কী? [ঢা. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-৩.৩৫।  $H_2O$  তরল, কিন্তু  $H_2S$  গ্যাস; এর কারণ ব্যাখ্যা কর। [ঢা. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৬; ঢা. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-৩.৩৬(ক)। কক্ষ তাপমাত্রায়  $H_2O$  ও  $CO_2$  এর ভৌত অবস্থা ভিন্ন কেন—ব্যাখ্যা কর। [সি. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-৩.৩৬(খ)। অর্থোনাইট্রোফেনল ও প্যারানাইট্রোফেনলের মধ্যে কোনটির গলনাঙ্ক বেশি হবে ও কেন তা ব্যাখ্যা কর। [কু. বো. ২০১৬]

প্রশ্ন-৩.৩৬(গ)। কক্ষ তাপমাত্রায়  $H_2O$  তরল; কিন্তু HF গ্যাস কেন; ব্যাখ্যা কর।

অথবা, HF এর স্ফুটনাঙ্ক ( $19.5^\circ\text{C}$ ) পানির স্ফুটনাঙ্কের চেয়ে কম কেন; ব্যাখ্যা কর। [য. বো. ২০১৭]

সমস্যা-৩.৩৭ :  $CCl_4$ ,  $Cl_2$ , Ar ও  $HNO_3$  এর মধ্যে—

(ক) কোনটির সবচেয়ে বেশি ডাইপোল-ডাইপোল আকর্ষণ বল রয়েছে?

(খ) কোনটির সবচেয়ে বেশি H-বন্ধন আকর্ষণ বল আছে?

(গ) কোনটিতে সবচেয়ে কম বিস্তারণ বল থাকে?

সমস্যা-৩.৩৮ : নিম্নোক্ত অণুতে কোন প্রকারের আন্তঃআণবিক বল কার্যকর আছে? এর ভিত্তিতে এদের স্ফুটনাঙ্কের ক্রমবৃদ্ধি দেখাও : (ক)  $H_2S$  (34 amu), (খ)  $CH_3OH$  (32 amu), (গ)  $C_2H_6$  (30 amu), (ঘ) Ar (40 amu).



### ৩.২০ হাইড্রোজেন বন্ধনের গুরুত্ব

#### Importance of H-bond

তোমরা কী জান এ H-বন্ধন বায়োলজিকেল সিস্টেমকে কীভাবে প্রভাবিত করে জীবজগতের টিকে থাকার জন্য অনন্য ভূমিকা পালন করে চলেছে। তিনটি প্রধান বায়োঅণু যেমন প্রোটিন, নিউক্লিক এসিড (DNA, RNA) ও কার্বোহাইড্রেট যৌগসমূহে H-বন্ধনের প্রধান ভূমিকা রয়েছে, (যা তোমরা উচ্চতর শ্রেণিতে অধিক জানতে পারবে।) নিচে কিছু H-বন্ধনের গুরুত্ব উল্লেখ করা হলো।

(i) আমাদের দেহের ভরের 70% হলো পানি। তরল পানি ছাড়া প্রাণীর দেহ গঠন ও রক্ষা অসম্ভব। আর H-বন্ধনের কারণেই পানি তরল অবস্থা লাভ করেছে।

(ii) আমাদের দেহে শক্তিদায়ক প্রধান খাদ্য হলো কার্বোহাইড্রেট ও প্রোটিন। প্রথম যৌগে O এবং ২য় যৌগে O, N, ইত্যাদি তড়িৎ ঋণাত্মক পরমাণু রয়েছে। তাই এদের অণুতে H-বন্ধন বিশেষ ভূমিকা পালন করে।

(iii) প্রাণিদেহের বিভিন্ন তন্ত্র যেমন চর্ম, অস্থি, টিস্যু, রক্ত, চুল ইত্যাদির প্রোটিন গঠনে H-বন্ধনের ভূমিকা বর্তমান। প্রতিটি কোষের DNA ও RNA তে রয়েছে H-বন্ধনের ভূমিকা। বায়োকেমিস্ট্রির আলোচিত বায়োঅণুসমূহের আণবিক গঠনভিত্তিক ধর্ম যেমন টারসিয়ারি প্রোটিনভুক্ত এনজাইমের ও হরমোনসমূহের ভূমিকা এদের গঠনের ওপর নির্ভরশীল, যা H-বন্ধন দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ :

হাইড্রোজেন বন্ধনের গুরুত্ব

শিখনফল : জীবজগতে টিকে থাকার জন্য হাইড্রোজেন বন্ধনের গুরুত্ব বিশ্লেষণ করতে হবে।

জীবজগৎ বলতে উদ্ভিদ ও প্রাণী জগতকে বোঝায়। এ পরিমণ্ডল বিবেচনায় রেখে নিম্নোক্ত বিষয়সমূহে হাইড্রোজেন বন্ধনের গুরুত্ব আলোচনা করতে হবে। যেমন—

(১) দেহের গঠনগত এককরূপে উদ্ভিদ ও প্রাণীর রয়েছে যথাক্রমে উদ্ভিদ কোষ ও প্রাণিকোষ।

(২) জীবনধারণের জন্য প্রত্যেক জীবের খাদ্য প্রয়োজন।

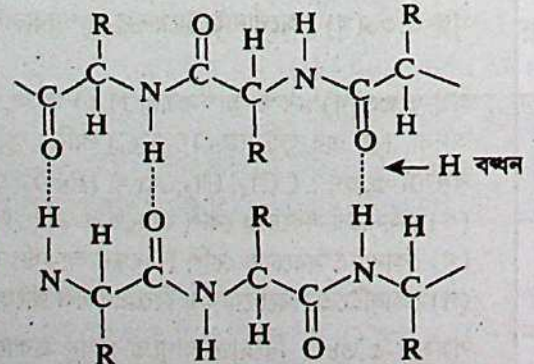
(৩) খাদ্যের পরে মানুষের জন্য বস্ত্র, বাসস্থান, শিক্ষা, চিকিৎসা ইত্যাদি উন্নত জীবনযাপনের জন্য অপরিহার্য বিভিন্ন উপকরণের প্রয়োজন রয়েছে।

উপরোক্ত বিষয়ের আলোকে হাইড্রোজেন বন্ধনের গুরুত্ব বিশ্লেষণ করতে হবে।

(১) জীবজগতের উৎপত্তি ও অস্তিত্বের মূলে রয়েছে উপাদানগত পানি। যে সব গ্রহে পানি নেই সেখানে প্রাণের বা জীবের অস্তিত্ব নেই। তাই বলা হয়, 'পানির অপর নাম জীবন'। পানির অণুতে রয়েছে হাইড্রোজেন বন্ধন। এ কারণেই পানি তরল অবস্থায় থাকে। তরল পানির মাধ্যমে উদ্ভিদ ও প্রাণিজগতের জীবনের উদ্ভব, জীবন-ধারণ ও জীবন প্রবাহ অনাদিকাল বয়ে চলেছে। তাই জীবন-রসায়নেই হাইড্রোজেন বন্ধনের গুরুত্ব রয়েছে।

(২) সব প্রাণীর দেহ কাঠামোর 'একক কোষ' প্রোটিন অণু দ্বারা গঠিত। প্রোটিন হলো বিভিন্ন অ্যামাইনো এসিড  $[R-CH(NH_2)-COOH]$  সমূহের অ্যামাইড বন্ধনে গঠিত প্রাকৃতিক পলিমার। প্রোটিনের পলি-অ্যামাইড শিকলের সেকেন্ডারি ও টারসিয়ারি কাঠামোতে রয়েছে হাইড্রোজেন বন্ধন।

(৩) তরল পদার্থ জমাট বেঁধে কঠিন হলে আয়তনে কমে এবং ঘনত্ব বাড়ে। কিন্তু পানির বেলায় নিম্ন তাপমাত্রায় পানি জমাট বেঁধে বরফ হয়; এতে বরফের ঘনত্ব কম হয়। বরফ পানির ওপর ভাসে। এর মূলে রয়েছে পানির অণুতে হাইড্রোজেন বন্ধন গঠনের ভূমিকা। বরফ কাঠামোতে সব পানি অণু সর্বাধিক সংখ্যক H-বন্ধন দ্বারা আবদ্ধ

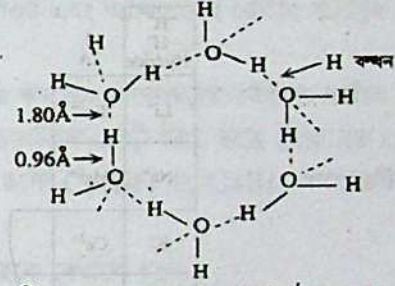


চিত্র-৩.৪১ : প্রোটিনের সেকেন্ডারি গঠনে H-বন্ধন।

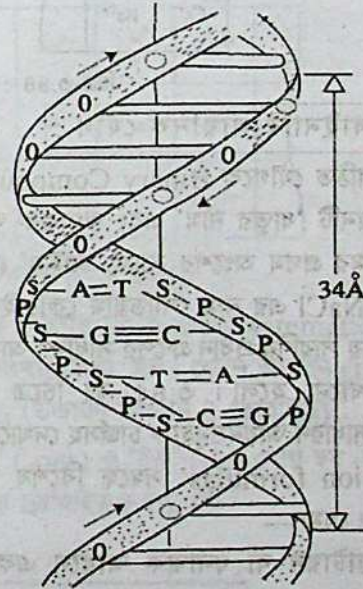
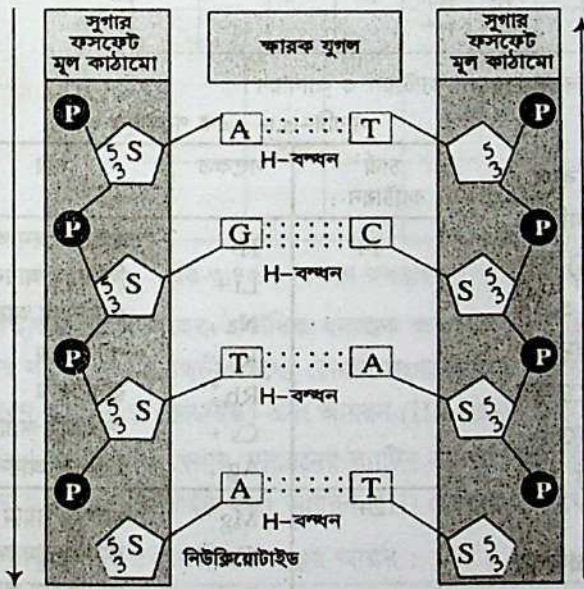


থাকে। তখন বরফের কেলাস গঠনে ফাঁকা স্থান থাকে। তখন পানির আয়তনের তুলনায় বরফের আয়তন বাড়ে, ঘনত্ব কমে যায়। এ অবস্থায় বরফ খণ্ড পানির ওপর ভেসে থাকে এবং এর নিচের পানি তরল অবস্থায় থাকে। তাই শীতপ্রধান মেরু অঞ্চলের সব জলাশয়ে জলজ প্রাণীর অস্তিত্ব সম্ভব হয়েছে।

(৪) প্রাণিকোষের নিউক্লিয়ারের রয়েছে জেনেটিক উপাদান দুটি নিউক্লিক এসিড DNA ও RNA (DNA = ডিঅক্সিরাইবো নিউক্লিক এসিড; RNA = রাইবো নিউক্লিক এসিড)। নিউক্লিক এসিডের দ্বিহেলিক্স বা জোড়-কুণ্ডলীতে রয়েছে ক্ষারক যুগলের মধ্যে H-বন্ধন। ক্ষারক যুগল এডিনিন-থাইমিন (A-T) এর মধ্যে থাকে দুটি H-বন্ধন এবং গুয়ানিন-সাইটোসিন (G-C) এর মধ্যে থাকে তিনটি করে H-বন্ধন। এ H-বন্ধন দ্বারা DNA এর দ্বি-হেলিক্স সৃষ্টি লাভ করে।



চিত্র-৩.৪২ : বরফের কেলাস গঠন একক।



চিত্র-৩.৪৩: DNA এর রাসায়নিক রৈখিক গঠনচিত্র। (এডিনিন-থাইমিন (A-T) দুটি এবং গুয়ানিন-সাইটোসিন (G-C) তিনটি হাইড্রোজেন বন্ধনের সাহায্যে সংযুক্ত।

DNA এর দ্বিহেলিক্স মডেল (... H-বন্ধন)।

এখানে S = ডিঅক্সি রাইবোজ চিনি P = ফসফেট

A = এডিনিন; G = গুয়ানিন; T = থাইমিন; C = সাইটোসিন

(৫) উদ্ভিদের দেহ কাঠামোতে রয়েছে প্রাকৃতিক গ্লুকোজ পলিমার সেলুলোজ এবং উদ্ভিদ ও প্রাণীর প্রধান খাদ্য হলো স্টার্চ পলিমার। এসব গ্লুকোজ পলিমারে ঋণাত্মক অক্সিজেন পরমাণুর সাথে H-বন্ধন রয়েছে। এ H-বন্ধন সেলুলোজকে দিয়েছে কাঠামোগত দৃঢ়তা। আর উদ্ভিদের দেহের দৃঢ় কাঠামো ব্যবহার করে মানুষ তৈরি করেছে নিজের বসবাসের গৃহ এবং ব্যবহারের বিভিন্ন আসবাবপত্র। এ সব কাঠামোতে রয়েছে H-বন্ধনের ভূমিকা।

(৬) সভ্য মানুষের পরিধেয় বস্ত্র তৈরি হয় কার্পাস তুলা, উল, কৃত্রিম সিল্ক এবং বিভিন্ন সাংশ্লেষিক তন্তু থেকে। এসব তন্তুর আঁশের দৃঢ়তার মূলে রয়েছে এদের গঠনগত রাসায়নিক পদার্থের আণবিক গঠনে H-বন্ধনের উপস্থিতি।

এরূপে জীবজগতের টিকে থাকার প্রধান ভূমিকায় রয়েছে সংশ্লিষ্ট সব উপাদানের মধ্যে H-বন্ধনের গুরুত্ব।



## ৩.২১ অজৈব যৌগের নামকরণ

## Nomenclature of Inorganic Compounds

1 1A							18 8A
H <sup>+</sup> H <sup>-</sup> Hydride	2 2A	13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	
Li <sup>+</sup>	Be <sup>2+</sup>			N <sup>3-</sup> Nitride	O <sup>2-</sup> Oxide	F <sup>-</sup> Fluoride	
Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>			S <sup>2-</sup> Sulfide	Cl <sup>-</sup> Chloride	
K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Ga <sup>3+</sup>			Se <sup>2-</sup> Selenide	Br <sup>-</sup> Bromide	
Rb <sup>+</sup>	Sr <sup>2+</sup>	In <sup>3+</sup>	Sn <sup>2+</sup> Sn <sup>4+</sup>		Te <sup>2-</sup> Telluride	I <sup>-</sup> Iodide	
Cs <sup>+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Tl <sup>+</sup> Tl <sup>3+</sup>	Pb <sup>2+</sup> Pb <sup>4+</sup>				

চিত্র-৩.৪৪ : প্রধান গ্রুপসমূহের ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন।

(ক) বাইনারি আয়নিক যৌগ : দুটি মাত্র

মৌল দ্বারা গঠিত যৌগকে Binary Compound বলে। ধনাত্মক আয়নটি 'ধাতুর নাম' এবং ঋণাত্মক আয়নটিতে অধাতুর নামের প্রথম অংশের সাথে 'আইড' (ide) যুক্ত হয়। যেমন NaCl এর নাম সোডিয়াম ক্লোরাইড। ৩.৪৪ নং চিত্রে পর্যায় সারণির প্রধান গ্রুপের সাধারণ আয়নসমূহকে চার্জসহ দেখানো হলো। ৩.৪৫ নং চিত্রে অবস্থান্তর ধাতুসমূহের সাধারণ আয়নসমূহকে চার্জসহ দেখানো হলো।

এখন 'ion formulas' সম্বন্ধে বিশেষ তথ্য মনে রাখতে হবে। যেমন—

(১) ক্যাটায়ন বা ধনাত্মক আয়নে একই গ্রুপের মৌলসমূহের আয়নের চার্জ গ্রুপ সংখ্যার সমান হয়। যেমন গ্রুপ-1A এর সব মৌল একক ধনাত্মক আয়ন (M<sup>+</sup>), গ্রুপ-2A এর মৌল দ্বি-ধনাত্মক আয়ন (M<sup>2+</sup>), গ্রুপ-3A এর মৌল ত্রিধনাত্মক আয়ন Al<sup>3+</sup>, ব্যতিক্রম গ্রুপ-4A এর মৌলের বেলায় Sn<sup>2+</sup>, Sn<sup>4+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Pb<sup>4+</sup> চিত্র-৩.৪৪ দেখ।

(২) ঋণাত্মক আয়ন বা অ্যানায়নে, আয়নের চার্জ = (গ্রুপ সংখ্যা - ৮)। যেমন S হলো গ্রুপ-6A এর মৌল। সুতরাং S এর আয়নের চার্জ হবে (6 - ৮) = -2 অর্থাৎ আয়নটি হবে S<sup>2-</sup>। গ্রুপ-7A এর হ্যালোজেনের বেলায় আয়নের চার্জ সংখ্যা = (7 - ৮) = -1 অর্থাৎ আয়ন হবে F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>।

সারণি-৩.৮ : এক পরমাণুক আয়ন

চার্জ ক্যাটায়ন :	সংকেত	নাম
1+	H <sup>+</sup> Li <sup>+</sup> Na <sup>+</sup> K <sup>+</sup> Rb <sup>+</sup> Cs <sup>+</sup> Ag <sup>+</sup>	হাইড্রোজেন আয়ন লিথিয়াম আয়ন সোডিয়াম আয়ন পটাসিয়াম রুবিডিয়াম সিজিয়াম আয়ন সিলভার আয়ন
2+	Mg <sup>2+</sup> Ca <sup>2+</sup> Sr <sup>2+</sup> Ba <sup>2+</sup> Zn <sup>2+</sup> Cd <sup>2+</sup>	ম্যাগনেসিয়াম আয়ন ক্যালসিয়াম আয়ন স্ট্রোন্টিয়াম আয়ন বেরিয়াম আয়ন জিঙ্ক আয়ন ক্যাডমিয়াম আয়ন
3+	Al <sup>3+</sup>	অ্যালুমিনিয়াম আয়ন
অ্যানায়ন :		
1-	H <sup>-</sup> F <sup>-</sup> Cl <sup>-</sup> Br <sup>-</sup> I <sup>-</sup>	হাইড্রাইড আয়ন ফ্লোরাইড আয়ন ক্লোরাইড আয়ন ব্রোমাইড আয়ন আয়োডাইড আয়ন
2-	O <sup>2-</sup> S <sup>2-</sup>	অক্সাইড আয়ন সালফাইড আয়ন
3-	N <sup>3-</sup>	নাইট্রাইড আয়ন



কীরূপে এ সব আয়নের নাম ও সংকেত মনে রাখবে সে সম্বন্ধে কিছু সাজেশন :

(১) একপরমাণুক আয়নসমূহ (monatomic ions) থেকে বাইনারি আয়নিক যৌগের নামকরণের বেলায়— (ক) ক্যাটায়নের নাম আগে ও অ্যানায়নের নাম পরে হয়। ধাতুর নামানুসারে ক্যাটায়ন এবং অ্যানায়নের বেলায় অধাতুর নামের প্রথম অংশের সাথে 'আইড' (-ide) যোগ হয়।

(২) বাইনারি আয়নিক যৌগের সংকেত লেখার বেলায় ধনাত্মক আয়ন ও ঋণাত্মক আয়নদ্বয়ের মৌলের প্রতীক লেখার পর আয়নদ্বয়ের চার্জ সংখ্যা দুয়কে (চিহ্নবাদের) বিপরীতভাবে উভয় প্রতীকের ডানদিকে একটু নিচে করে লেখা হয়। যেমন, ক্যালসিয়াম আয়ন ( $Ca^{2+}$ ) ও ব্রোমাইড আয়ন ( $Br^{-}$ ) এর যৌগের সংকেত হলো  $Ca_1Br_2$  বা,  $CaBr_2$  এবং এটির নাম ক্যালসিয়াম ব্রোমাইড।

(৩) চিত্র-৩.৪৫ এ সাধারণ অবস্থান্তর ধাতুর জলীয় দ্রবণে সুস্থিত আয়নসমূহকে দেখানো হলো।

3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8 8B	9 9B	10 10B	11 11B	12 12B
$Sc^{3+}$	$Ti^{3+}$	$V^{3+}$	$Cr^{2+}$ $Cr^{3+}$	$Mn^{2+}$	$Fe^{2+}$ $Fe^{3+}$	$Co^{2+}$	$Ni^{2+}$	$Cu^{+}$ $Cu^{2+}$	$Zn^{2+}$
$Y^{3+}$					$Ru^{3+}$	$Rh^{3+}$	$Pd^{2+}$	$Ag^{+}$	$Cd^{2+}$
									$Hg^{2+}$

চিত্র-৩.৪৫ : সাধারণ অবস্থান্তর ধাতুর আয়নসমূহ (জলীয় দ্রবণে সুস্থিত)

(৪) অবস্থান্তর ধাতুসমূহের একাধিক ধনাত্মক আয়ন থাকে। এ সব যৌগের নামকরণে (Systematic name এ) ধাতুর আয়নের নামের শেষে বন্ধনীর মধ্যে রোমান সংখ্যায় আয়নের চার্জ সংখ্যা লেখা হয়। যেমন আয়রন (II) ক্রোরাইড,  $FeCl_2$  (উচ্চারণ আয়রন-২ ক্রোরাইড) এবং আয়রন (III) ক্রোরাইড  $FeCl_3$  (উচ্চারণ আয়রন-৩ ক্রোরাইড)

Common name এর বেলায় আয়রনের ল্যাটিন নামের শেষে 'আস' (-ous) ও 'ইক' (-ic) যোগ হয়। তাই আয়রন (II) ক্রোরাইডকে ফেরাস ক্রোরাইড এবং আয়রন (III) ক্রোরাইডকে ফেরিক ক্রোরাইডও বলা হয়।

সারণি-৩.৯ : অবস্থান্তর ধাতুর আয়ন :

Ion	Systematic name	Common name
$Cr^{2+}$	ক্রোমিয়াম (II) আয়ন	ক্রোমাস আয়ন
$Cr^{3+}$	ক্রোমিয়াম (III) আয়ন	ক্রোমিক আয়ন
$Fe^{2+}$	আয়রন (II) আয়ন	ফেরাস আয়ন
$Fe^{3+}$	আয়রন (III) আয়ন	ফেরিক আয়ন
$Cu^{+}$	কপার (I) আয়ন	কিউপ্রাস আয়ন
$Cu^{2+}$	কপার (II) আয়ন	কিউপ্রিক আয়ন

সমাধানকৃত সমস্যা-৩.১৭ : বাইনারি আয়নিক যৌগের নামকরণভিত্তিক :

Systematic নামকরণ পদ্ধতিতে নিচের যৌগসমূহের নাম লেখ।

(ক)  $BaCl_2$

(খ)  $CrCl_3$

(গ)  $PbS$

(ঘ)  $Fe_2O_3$

দক্ষতা (Strategy) : অ্যানায়নের সংখ্যা ও চার্জ থেকে মোট ঋণাত্মক চার্জের সংখ্যা গণনা করে প্রতিটি ক্যাটায়নে ধনাত্মক চার্জের সংখ্যা ঠিক কর। প্রয়োজনে চিত্র-৩.৪৪ ও চিত্র-৩.৪৫ ব্যবহার কর।



সমাধান (Solution) :

(ক)  $BaCl_2$  : বেরিয়াম ক্লোরাইড :  $Ba^{2+}$  গ্রুপ-2A এর মৌল হওয়ায়; একটি মাত্র আয়ন সম্ভব। তাই রোমান সংখ্যা ব্যবহার করতে হয় না।

(খ)  $CrCl_3$  : ক্রোমিয়াম (III) ক্লোরাইড : Cr অবস্থান্তর মৌল হওয়ায় এটির একাধিক আয়ন সম্ভব। তাই এক্ষেত্রে  $Cr^{3+}$  আয়নের জন্য রোমান সংখ্যা (III) ব্যবহার আবশ্যিক হয়েছে।

(গ)  $PbS$  : লেড (II) সালফাইড : Pb এর দুটি আয়ন আছে। এক্ষেত্রে সালফাইড আয়ন ( $S^{2-}$ ) এর দুটি ঋণাত্মক চার্জ থাকায় ক্যাটায়নের নামে রোমান সংখ্যা আবশ্যিক হয়েছে।

(ঘ)  $Fe_2O_3$  : আয়রন (III) অক্সাইড : তিনটি অক্সাইড আয়নে ( $O^{2-}$ ) মোট ছয়টি ঋণাত্মক চার্জ আছে। তাই দুটি আয়রন ক্যাটায়নেও ছয়টি ধনাত্মক চার্জ হবে। তাই প্রতি ক্যাটায়ন  $Fe(III)$  হয়েছে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৩.১৮ : নাম থেকে বাইনারি যৌগের সংকেত লিখনভিত্তিক : নিচের নাম থেকে যৌগের আণবিক সংকেত লেখ : (ক) ম্যাগনেসিয়াম ফ্লোরাইড, (খ) আয়রন (III) সালফাইড, (গ) টিন (IV) অক্সাইড।

দক্ষতা (Strategy) : একাধিক জারণ অবস্থায়ুক্ত ধাতুর নামে রোমান সংখ্যা ক্যাটায়নের চার্জ নির্দেশ করছে। অ্যানায়নের চার্জ জেনে উভয় প্রকার চার্জ সংখ্যা সমান করার জন্য আয়ন সংখ্যা বিপরীত ক্রমে জেনে নাও।

সমাধান (Solution) :

(ক) ম্যাগনেসিয়াম ফ্লোরাইড,  $MgF_2$  : Mg হলো গ্রুপ-2A মৌল ; এটির একটিমাত্র আয়ন সম্ভব, চার্জ সংখ্যা  $2+$ , তাই একক ঋণাত্মক চার্জের দুটি ফ্লোরাইড ( $F^-$ ) আয়ন দ্বারা উভয় প্রকার চার্জ সংখ্যা সমান করতে হয়েছে।

(খ) আয়রন (III) সালফাইড :  $Fe_2S_3$  : আয়রন (III) এর  $3+$  চার্জ আছে এবং সালফাইড আয়ন ( $S^{2-}$ ) এর  $2-$  চার্জ আছে। তাই বিপরীতক্রমে দুটি আয়রন ও তিনটি সালফার নিয়ে চার্জ সংখ্যা সমান করতে হয়েছে।

(গ) টিন (IV) অক্সাইড :  $SnO_2$  : টিন (IV) এর  $4+$  চার্জ আছে; তাই দ্বিঋণাত্মক চার্জের দুটি অক্সাইড আয়ন ( $O^{2-}$ ) দ্বারা মোট চার্জ সংখ্যা সমান করা হয়েছে।

শিক্ষার্থী নিজে সমাধান কর-৩.১৭ : যৌগের নামকরণ :

সমস্যা-৩.৩৯ : Systematic নামকরণ পদ্ধতিতে নিচের যৌগসমূহের নাম লেখ :

(ক)  $CsF$  (খ)  $K_2O$  (গ)  $CuO$  (ঘ)  $BaS$

সমস্যা-৩.৪০ : Systematic নামকরণ পদ্ধতিতে নিচের যৌগের নাম থেকে সংকেত লেখ :

(ক) ম্যাঙ্গানিজ (IV) অক্সাইড, (খ) অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইড, (গ) কপার (II) সালফাইড।

(খ) পলি অ্যাটমিক আয়নসহ যৌগসমূহ :

বন্ধনে আবদ্ধ ও চার্জযুক্ত দুই বা ততোধিক পরমাণুর গ্রুপকে পলি অ্যাটমিক আয়ন বলে। যেমন  $NH_4^+$  (অ্যামোনিয়াম আয়ন),  $NO_3^-$  (নাইট্রেট আয়ন) হলো যথাক্রমে পলি অ্যাটমিক ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন। সারণি-৩.১০ এ দেয়া পলি অ্যাটমিক আয়নসমূহের নাম ও সংকেত মুখস্থ রেখে যৌগের নামকরণে অগ্রসর হতে হবে। ঐ সব অ্যানায়নের নামের বৈশিষ্ট্য ও মনে রাখার নিয়ম নিচে দেয়া হলো—

(১) লক্ষ কর অধিকাংশ পলি অ্যাটমিক আয়নের নামের শেষে 'আইট' ((ite)) ও 'এট' (-ate) আছে। যেমন নাইট্রাইট (Nitrite)  $NO_2^-$  ও নাইট্রেট (Nitrate)  $NO_3^-$  আয়ন। কেবল হাইড্রক্সাইড ( $OH^-$ ), সায়ানাইড ( $CN^-$ ), পার অক্সাইড ( $O_2^{2-}$ ) আয়নের শেষে '-আইড' (ide) আছে।

(২) অক্সিজেনযুক্ত আয়ন বা অক্সোঅ্যানায়ন (oxoanion) সমূহে কোনো একটি মৌলের সাথে বিভিন্ন সংখ্যক O-পরমাণুযুক্ত আছে; এদের (কম O পরমাণু থাকলে) নামের শেষে '-আইট' (-ite) বেশি O পরমাণু থাকলে - 'এট' (-ate) যুক্ত হয়। যেমন  $SO_3^{2-}$ -এর নাম সালফাইট (Sulphite),  $SO_4^{2-}$  এর নাম সালফেট (Sulphate)।



(৩) একই মৌলের যেমন হ্যালোজেনের (Cl, Br, I এর) দুয়ের চেয়ে বেশি অক্সোঅ্যানায়ন থাকলে এদেরকে প্রথমে O-পরমাণুর সংখ্যা মতে 'আইট' ও 'এট' আয়নরূপে দু-ভাগ করা হয়। পরে দুটি 'আইট' আয়নের যেটিতে সবচেয়ে কম O-পরমাণু আছে এর ক্ষেত্রে -'আইট' আয়নের নামের প্রথমেই 'হাইপো'- (hypo অর্থ less than) বসে। আবার সবচেয়ে বেশি O-পরমাণুযুক্ত অক্সো অ্যানায়নের নামের প্রথমে 'পার' (per অর্থ more than) বসে। যেমন—

**ClO<sup>-</sup> আয়ন :** এর নাম হাইপো ক্লোরাইট আয়ন (Hypochlorite ion)

**ClO<sub>2</sub><sup>-</sup> আয়ন :** এর নাম (শুধু) ক্লোরাইট আয়ন (Chlorite ion)

**ClO<sub>3</sub><sup>-</sup> আয়ন :** এর নাম (শুধু) ক্লোরেট আয়ন (Chlorate ion)

**ClO<sub>4</sub><sup>-</sup> আয়ন :** এর নাম পারক্লোরেট আয়ন (Per chlorate ion)

**MCQ-3.21 :** XeF<sub>2</sub> এর Xe পরমাণুতে কোন প্রকারের সংকরণ ঘটে? [দি. বো. ২০১৭]

(ক) sp (খ) sp<sup>2</sup>d  
(গ) sp<sup>3</sup>d<sup>2</sup> (ঘ) sp<sup>3</sup>d

(৪) একই এসিড থেকে উৎপন্ন অক্সোঅ্যানায়নযুগল যেমন HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ও CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> এবং HSO<sub>4</sub><sup>-</sup> ও SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> আয়নদ্বয়ের একটিতে H<sup>+</sup> আয়নযুক্ত আছে; অপরটিতে তা নেই। এদের নামকরণের বেলায়, যেটিতে H<sup>+</sup> আয়নযুক্ত আছে; এর নামের পূর্বে 'বাই'-(bi-) অথবা 'হাইড্রোজেন' শব্দ যোগ হয়। যেমন,

CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> হলো কার্বনেট আয়ন, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> হলো হাইড্রোজেন কার্বনেট (বাই কার্বনেট) আয়ন

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> হলো সালফেট আয়ন, HSO<sub>4</sub><sup>-</sup> হলো হাইড্রোজেন সালফেট (বাই সালফেট) আয়ন

সারণি-৩.১০ : কিছু সংখ্যক সাধারণ পলিঅ্যাটমিক আয়ন :

সংকেত	আয়নের নাম	সংকেত	আয়নের নাম
ক্যাটায়ন :		ClO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	পারক্লোরেট
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	অ্যামোনিয়াম	MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	পারম্যাঙ্গানেট
একক চার্জের	অ্যানায়নসমূহ :	CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	অ্যাসিটেট
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	নাইট্রাইট	বিচার্জযুক্ত	অ্যানায়নসমূহ :
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	নাইট্রেট	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	কার্বনেট
OH <sup>-</sup>	হাইড্রক্সাইড	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	সালফাইট
CN <sup>-</sup>	সায়ানাইড	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	সালফেট
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	হাইড্রোজেন কার্বনেট	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	থায়োসালফেট
HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	হাইড্রোজেন সালফেট	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	হাইড্রোজেন ফসফেট
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	ডাইহাইড্রোজেন ফসফেট	CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	ক্রোমেট
ClO <sup>-</sup>	হাইপো ক্লোরাইট	Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>	ডাইক্রোমেট
ClO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	ক্লোরাইট	O <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	পারঅক্সাইড
ClO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	ক্লোরেট	ত্রিচার্জযুক্ত	অ্যানায়ন :
		PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	ফসফেট

সমাধানকৃত সমস্যা-৩.১৯ : পলিঅ্যাটমিক আয়নযুক্ত যৌগের নামকরণভিত্তিক :

নিচের যৌগসমূহের নামকরণ Systematic পদ্ধতিতে কর :

(ক) LiNO<sub>3</sub>

(খ) KHSO<sub>4</sub>

(গ) CuCO<sub>3</sub>

(ঘ) Fe(ClO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>

দক্ষতা (Strategy) : সাধারণ পলিঅ্যাটমিক আয়নসমূহের নাম ও চার্জযুক্ত সংকেত স্বরণে রেখে অথবা প্রয়োজনে সারণি-৩.১০ এর সাহায্য নিয়ে নামকরণ করা যাবে।



## সমাধান (Solution) :

(ক)  $\text{LiNO}_3$  : লিথিয়াম নাইট্রেট : লিথিয়াম (Li) গ্রুপ-IA এর মৌল; এর একমাত্র আয়ন  $\text{Li}^+$  হওয়ায় নামকরণে রোমান সংখ্যা অপ্রয়োজনীয়।

(খ)  $\text{KHSO}_4$  : পটাসিয়াম হাইড্রোজেন সালফেট : K গ্রুপ-IA এর মৌল; এটির একমাত্র আয়ন  $\text{K}^+$ ।

(গ)  $\text{CuCO}_3$  : কপার (II) কার্বনেট : এক্ষেত্রে কার্বনেট ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) আয়নের চার্জ হলো 2-; তাই কপার পরমাণুর আয়নের চার্জ 2+ হতে হবে। Cu এর দুটি আয়ন সম্ভব। তাই নামকরণে চার্জসংখ্যা রোমান সংখ্যায় ব্যবহার করা হয়েছে।

(ঘ)  $\text{Fe}(\text{ClO}_4)_3$  : আয়রন (III) পারক্লোরেট : তিনটি পারক্লোরেট আয়ন ( $\text{ClO}_4^-$ ) আছে, প্রত্যেকের চার্জ 1- হওয়ায় আয়রন আয়নে চার্জ 3+ হবে। এটি অবস্থান্তর মৌল, তাই রোমান সংখ্যা ব্যবহৃত হয়েছে।

## (গ) অক্সো-এসিডসমূহ ও এদের নামকরণ (Oxo-acids &amp; Their Nomenclature) :

অক্সো-এসিড : যে সব অল্পধর্মবিশিষ্ট যৌগের অণুতে হাইড্রোজেন (H), অক্সিজেন (O) ও অপর একটি কেন্দ্রীয় অধাতব বা ধাতব মৌল থাকে, তাদের অক্সো-এসিড বলে। সাধারণত অধাতব অক্সো-এসিডসমূহ স্থায়ী যেমন,  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; কিন্তু ধাতব অক্সো-এসিডসমূহ তুলনামূলক কম স্থায়ী এবং এদের লবণসমূহ স্থায়ী যেমন অ্যালুমিনিক এসিড ( $\text{HAlO}_2$ ) ও এর লবণ সোডিয়াম অ্যালুমিনেট ( $\text{NaAlO}_2$ ), ক্রোমিক এসিড ( $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) ও এর লবণ পটাসিয়াম ডাইক্রোমেট [ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ]। সাধারণত বেশির ভাগ ক্ষেত্রে অধাতব মৌলের একাধিক অক্সো-এসিড থাকে। যেমন,

ক্লোরিন (Cl) এর হাইড্রাসিড হাইড্রোক্লোরিক এসিড [ $\text{HCl}(\text{aq})$ ] ছাড়া আরো ৪টি অক্সো-এসিড যেমন,  $\text{HClO}$ ,  $\text{HClO}_2$ ,  $\text{HClO}_3$ ,  $\text{HClO}_4$  আছে। একই মৌলের একাধিক অক্সো-এসিডের নামকরণের বেলায় কেন্দ্রীয় মৌলের জারণ-সংখ্যাকে ভিত্তি ধরা হয়। উপরোক্ত ক্লোরিনের ৪টি অক্সো-এসিডের অণুতে ক্রমান্বয়ে অক্সিজেন পরমাণু বেড়েছে। ফলে কেন্দ্রীয় পরমাণু Cl এর জারণ সংখ্যাও দুই একক করে বেড়েছে। যেমন-  $\text{HClO}^+1$ ,  $\text{HClO}_2^+3$ ,  $\text{HClO}_3^+5$ ,  $\text{HClO}_4^+7$ । এসব অক্সো-এসিডের নামকরণ নিম্নোক্ত নিয়ম অনুসরণ করা হয়।

(১) যে অক্সো-এসিডের মধ্যে তৃতীয় অধাতব মৌলের জারণ মান তুলনামূলকভাবে সবচেয়ে কম এর নামকরণের ক্ষেত্রে (হাইপো + তৃতীয় মৌল + আস্ এসিড) এ নিয়ম অনুসরণ করা হয়। যেমন :

$\text{HClO}$ হাইপোক্লোরাস এসিড, এখানে Cl এর জারণ-সংখ্যা	= +1
$\text{HBrO}$ হাইপোব্রোমাস এসিড, এখানে Br এর জারণ সংখ্যা	= +1
$\text{HIO}$ হাইপোআয়োডাস এসিড, এখানে I এর জারণ সংখ্যা	= +1
$\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2$ (হাইপোনাইট্রাস এসিড, এখানে N এর জারণ-সংখ্যা	= +1

MCQ-3.22 : নিচের কোনটি অধিক সমযোজী?	
[চ. বো. ২০১৭]	
(ক) LiCl	(খ) NaCl
(গ) KCl	(ঘ) CsCl

(২) যে অক্সো-এসিডের তৃতীয় মৌলের জারণ সংখ্যা হাইপো-এসিড অপেক্ষা বেশি এর ক্ষেত্রে (তৃতীয় মৌল + আস্ এসিড) নিয়ম অনুসরণ করা হয়।

যেমন- $\text{HClO}_2$ ক্লোরাস এসিড,	এখানে Cl এর জারণ-সংখ্যা	= + 3
$\text{HBrO}_2$ ব্রোমাস এসিড,	এখানে Br এর জারণ-সংখ্যা	= + 3
$\text{HIO}_2$ আয়োডাস এসিড,	এখানে I এর জারণ-সংখ্যা	= + 3
$\text{H}_2\text{SO}_3$ সালফিউরাস এসিড,	এখানে S এর জারণ-সংখ্যা	= + 4

(৩) যে অক্সো-এসিডের তৃতীয় মৌলের জারণ সংখ্যা আস্ এসিড অপেক্ষা বেশি এর ক্ষেত্রে (তৃতীয় মৌল + ইক্ এসিড) নিয়ম অনুসরণ করা হয়।

যেমন : $\text{HClO}_3$ ক্লোরিক এসিড,	এখানে Cl-এর জারণ-সংখ্যা	= + 5
$\text{HBrO}_3$ ব্রোমিক এসিড,	এখানে Br এর জারণ-সংখ্যা	= + 5
$\text{HIO}_3$ আয়োডিক এসিড,	এখানে I এর জারণ-সংখ্যা	= + 5
$\text{H}_2\text{SO}_4$ সালফিরিক এসিড,	এখানে S এর জারণ-সংখ্যা	= + 6

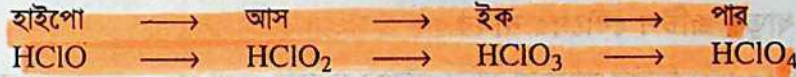


(৪) যে অক্সো-এসিডের তৃতীয় মৌলের জারণ সংখ্যা ইক এসিড অপেক্ষা বেশি এর ক্ষেত্রে (পার + তৃতীয় মৌল + ইক এসিড) নিয়ম অনুসরণ করা হয়।

যেমন :  $\text{HClO}_4$  পারক্লোরিক এসিড, এখানে Cl এর জারণ-সংখ্যা = + 7

$\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8$  পারসালফিউরিক এসিড, এখানে S এর জারণ-সংখ্যা = + 7

উপরোক্ত নিয়ম মতে দেখা যায় অক্সো-এসিডসমূহের জারণ সংখ্যা বৃদ্ধির ক্রম অনুসারে এদের নামকরণের ক্রম পরিবর্তন হলো :



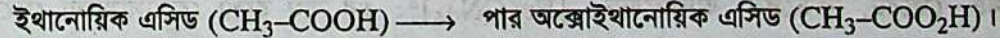
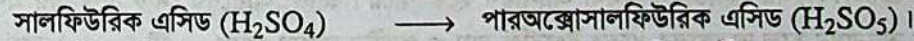
(৫) অধাতব মৌলের অম্লধর্মী অক্সাইডের অণুতে বিভিন্ন পানি অণুর সংখ্যা যুক্ত হওয়ার উপর ভিত্তি করে উৎপন্ন একাধিক অক্সো-এসিডে কেন্দ্রীয় মৌলের জারণ-সংখ্যা সমান হলে তখন এদের নিম্ন মতে নামকরণ করা হয়।

অক্সাইডের সাথে সবচেয়ে বেশি সংখ্যক পানির অণুর সংযোজন ঘটলে মূল এসিডের নামের পূর্বে 'অর্থো', কম পানির অণুর সংযোজন ঘটলে 'মেটা' এবং এ দুইয়ের মাঝামাঝি সংখ্যায় পানির অণুর সংযোজন ঘটলে 'পাইরো' শব্দ যুক্ত করে নামকরণ করা হয়। যেমন :

$\text{P}_2\text{O}_5$  হলো একটি অম্লধর্মী অক্সাইড। এর সাথে বিভিন্ন সংখ্যক পানি অণুর সংযোজনের মাধ্যমে উৎপন্ন এসিডের নামকরণ নিচে দেয়া হলো।



(৬) পার অক্সো-এসিড : অক্সো-ইক এসিডের একটি অক্সিজেন পরমাণু পার-অক্সাইড (-O-O-) গ্রুপ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হলে পার অক্সো-এসিড উৎপন্ন হয়।



\* হ্যালোজেনের অক্সোএসিড : (F এর অক্সো-এসিড নেই।)

১. হাইপোহ্যালাস এসিড : হাইপোক্লোরাস এসিড (HOCl), হাইপোব্রোমাস এসিড (HOBr), হাইপোআয়োডাস এসিড (HOI)।

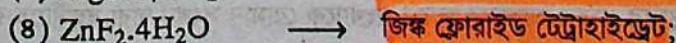
২. হ্যালাস এসিড : ক্লোরাস এসিড ( $\text{HClO}_2$ ), ব্রোমাস এসিড ( $\text{HBrO}_2$ ), আয়োডাস এসিড ( $\text{HIO}_2$ )।

৩. হ্যালিক এসিড : ক্লোরিক এসিড ( $\text{HClO}_3$ ), ব্রোমিক এসিড ( $\text{HBrO}_3$ ), আয়োডিক এসিড ( $\text{HIO}_3$ )।

৪. পারহ্যালিক এসিড : পারক্লোরিক এসিড ( $\text{HClO}_4$ ), পারআয়োডিক এসিড ( $\text{HIO}_4$ )।

\* পারক্লোরিক এসিড ( $\text{HClO}_4$ ) অক্সো-এসিডগুলোর মধ্যে সবচেয়ে তীব্র এসিড।

(৭) হাইড্রেট যৌগের নামকরণ :



MCQ-3.23 : নিচের কোনটি  
অপোলার যৌগ? চি. বো. ২০১৭।  
(ক)  $\text{CCl}_4$  (খ)  $\text{CHCl}_3$   
(গ)  $\text{CH}_3\text{OH}$  (ঘ) HF



শিক্ষার্থী নিজে সমাধান কর-৩.১৮ : Systematic নামকরণ পদ্ধতি :

সমস্যা-৩.৪১ : Systematic নামকরণ পদ্ধতিতে নিচের যৌগসমূহের নাম লেখ :

(ক)  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  (খ)  $\text{Ag}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (গ)  $\text{Sn}(\text{NO}_3)_2$  (ঘ)  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_2$  (ঙ)  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  (চ)  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .

সমস্যা-৩.৪২ : Systematic নামকরণ পদ্ধতিতে নিচের যৌগসমূহের সংকেত লেখ : (ক) লিথিয়াম ফসফেট, (খ) ম্যাগনেসিয়াম হাইড্রোজেন সালফেট, (গ) ম্যাঙ্গানিজ (II) নাইট্রেট, (ঘ) ক্রোমিয়াম (III) সালফেট।

### ৩.২১.১ অবস্থান্তর ধাতুর জটিল যৌগের নামকরণ ও সংকেত লিখন

নিম্নোক্ত তিনটি নিয়ম (rules) ভিত্তিক সন্নিবেশ জটিল যৌগের সংকেত লেখা হয়। এদের প্রথম দুটি নিয়ম আয়নিক যৌগের সংকেত লেখার মতো।

\* ১। আণবিক সংকেতে ক্যাটায়নের পর অ্যানায়ন থাকে।

\* ২। ক্যাটায়নের মোট চার্জ সংখ্যা ও অ্যানায়নের মোট চার্জ সংখ্যা পরস্পর সমান থাকে।

\* ৩। জটিল আয়নে প্রথমে কেন্দ্রীয় ধাতব পরমাণু, এরপর নিরপেক্ষ লিগ্যান্ড ও শেষে অ্যানায়ন লিগ্যান্ড লিখতে হয়। সমগ্র জটিল আয়নটিকে তৃতীয় বন্ধনী দ্বারা ঘিরে রাখা হয়।

অন্যান্য নিয়মসমূহ :

১। একাধিক লিগ্যান্ডকে এদের ইংরেজি নামের বর্ণ ক্রমানুসারে এবং সংখ্যাকে ডাই, ট্রাই, টেট্রা, পেণ্টা, হেক্সা ইত্যাদি উপসর্গ দ্বারা লিখতে হয়। লিগ্যান্ড ঋণাত্মক হলে নামের শেষে ওকার যুক্ত হয়। যেমন  $\text{OH}^-$  আয়ন লিগ্যান্ডকে হাইড্রক্সো (hydroxo),  $\text{Cl}^-$  আয়নকে ক্লোরো (chloro),  $\text{CN}^-$  আয়নকে সায়ানো (cyano) রূপে লেখা হয়। প্রশম বা নিরপেক্ষ লিগ্যান্ড  $\text{NH}_3$  কে 'অ্যাম্মিন' (ammine),  $\text{H}_2\text{O}$  কে 'অ্যাকুয়া' (aqua) লেখা হয়।

২। সমগ্র জটিল আয়নটি ক্যাটায়ন অথবা অ্যানায়ন হতে পারে। জটিল আয়নের মোট চার্জ-এর প্রকৃতি নির্ধারণ করে; জটিল আয়নটি অ্যানায়ন হলে অবস্থান্তর ধাতুর ইংরেজি নাম ও ল্যাটিন নামের শেষে - এট (-ate) বসে। যেমন- জিংকেট, ক্রোমেট, ফেরেট, কিউপ্রেট, আর্জেন্টেট।  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  এর নাম হলো হেক্সাসায়ানো ফেরেট (II) আয়ন।  $[\text{Pt}(\text{NH}_3)\text{Cl}_5]^-$  এর নাম হলো অ্যাম্মিন পেন্টাক্লোরো প্রাটিনেট (IV) আয়ন।

জটিল আয়নের চার্জ = (অবস্থান্তর ধাতব আয়নের চার্জ + লিগ্যান্ডসমূহের মোট চার্জ)।

উদাহরণ :  $\text{K}_2[\text{Co}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_4]$  এর বেলায় দুটি  $\text{K}^+$  আয়নের দুটি ধনাত্মক চার্জ দ্বারা জটিল আয়নটির দুটি ঋণাত্মক চার্জ প্রশমিত হয়েছে। জটিল আয়নটি হলো  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_4]^{2-}$ ; এক্ষেত্রে দুটি নিরপেক্ষ লিগ্যান্ড  $\text{NH}_3$ , চারটি একক ঋণাত্মক  $\text{Cl}^-$  আয়ন থাকায় এর কেন্দ্রীয় ধাতব আয়ন  $\text{Co}$  এর চার্জ + 2 হবে অর্থাৎ অবস্থান্তর ধাতুর আয়নটি  $\text{Co}^{2+}$  হবে। অর্থাৎ  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_4]^{2-}$  আয়নটির বেলায়—

জটিল আয়নের চার্জ = (ধাতব আয়নের চার্জ + লিগ্যান্ডসমূহের মোট চার্জ)

$$2- = \text{ধাতব আয়নের চার্জ} + [(2 \times 0) + 4(1-)]$$

$$\therefore \text{ধাতব আয়নের চার্জ} = (2-) - (4-) = 2+$$

তাই যৌগটির নাম হলো পটাসিয়াম ডাইঅ্যাম্মিন টেট্রাক্লোরো কোবাল্টেট (II)।

৩। জটিল আয়নের নামকরণে কেন্দ্রীয় অবস্থান্তর ধাতব আয়নের জারণ সংখ্যাকে রোমান সংখ্যা দ্বারা বন্ধনীতে রাখা হয়।

৪। জটিল আয়নের মোট লিগ্যান্ড সংখ্যাকে কেন্দ্রীয় ধাতব আয়নের সন্নিবেশ সংখ্যা (Co-ordination number) বলে। যেমন  $[\text{Co}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_4]^{2-}$  আয়নে  $\text{Co}^{2+}$  আয়নের সন্নিবেশ সংখ্যা হলো 6।

**MCQ-3.24 :** কোনটি রাসায়নিক বৈশিষ্ট্য? [য. বো. ২০১৭]

(ক) ঘনত্ব (খ) দ্রাব্যতা  
(গ) অম্লত্ব (ঘ) গলনাক্ষ



সারণি-৩.১১ : কয়েকটি নিরপেক্ষ ও ঋণাত্মক লিগ্যান্ডের এবং জটিল ঋণাত্মক আয়নের নাম :

নিরপেক্ষ লিগ্যান্ড	লিগ্যান্ডের নাম	অ্যানায়ন লিগ্যান্ড	লিগ্যান্ডের নাম	জটিল আয়নে ধাতব আয়ন	জটিল ঋণাত্মক আয়নের নাম
H <sub>2</sub> O	অ্যাকুয়া	F <sup>-</sup>	ফ্লোরো	আয়রন	ফেরেট
NH <sub>3</sub>	অ্যাম্মিন	Cl <sup>-</sup>	ক্লোরো	কপার	কিউপ্রেট
CO	কার্বনিল	Br <sup>-</sup>	ব্রোমো	লেড	প্লাম্বেট
NO	নাইট্রোসিল	I <sup>-</sup>	আয়োডো	সিলভার	আর্জেন্টেট
		OH <sup>-</sup>	হাইড্রক্সো	গোল্ড	অরেট
		CN <sup>-</sup>	সায়ানো	টিন	স্ট্যান্টেট

উল্লেখ্য জটিল ঋণাত্মক আয়নের নামকরণের বেলায় ধাতব আয়নের ধাতব মৌলটির ল্যাটিন নাম-এর শেষের 'um' বাদ দিয়ে -ate (-এট) যোগ করা হয়। যেমন,

Ferrum - um + ate = Ferrate (ফেরেট); Cuprum - um + ate = Cuprate; Plumbum - um + ate = Plumbate; Argentum - um + ate = Argentate; Aurum - um + ate = Aurate; Stannum - um + ate = Stannate.

জটিল যৌগের নামকরণের কিছু উদাহরণ নিচে দেয়া হলো :

(১) যদি কোনো জটিল যৌগে একই ধরনের একাধিক লিগ্যান্ড যুক্ত থাকে এবং জটিল আয়নটি ক্যাটায়ন হয়, তবে সেক্ষেত্রে জটিল যৌগের নামকরণের ক্ষেত্রে লিগ্যান্ডের সংখ্যানুসারে (মনো বা ডাই বা ট্রাই বা টেট্রা ইত্যাদি + লিগ্যান্ডের নাম + কেন্দ্রীয় ধাতব আয়নের জারণ মান + অ্যানায়নের নাম) এ নিয়ম অনুসরণ করা হয়। যেমন—

[Cu(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]SO<sub>4</sub> টেট্রা অ্যাম্মিন কপার (II) সালফেট

[Co(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]Cl<sub>3</sub> হেক্সা অ্যাম্মিন কোবাল্ট (III) ক্লোরাইড

[Ag(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]Cl ডাই অ্যাম্মিন সিলভার (I) ক্লোরাইড

MCQ-3.25 : কোনটি 'হাইপো' এসিড?	
[ঢা. বো. ২০১৬]	
(ক) H <sub>3</sub> PO <sub>3</sub>	(খ) H <sub>3</sub> PO <sub>2</sub>
(গ) H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	(ঘ) HPO <sub>3</sub>

(২) জটিল ক্যাটায়নবিশিষ্ট তড়িৎ বিশ্লেষ্য জটিল যৌগগুলোর নাম দুই শব্দবিশিষ্ট হয়। প্রথমে ক্যাটায়ন ও পরে অ্যানায়নের নাম উল্লেখ করতে হয়। কিন্তু তড়িৎ অবিশ্লেষ্য জটিল যৌগের নাম এক শব্দবিশিষ্ট হয়। এক্ষেত্রে কেন্দ্রীয় ধাতব আয়নের জারণ অবস্থা প্রকাশের জন্য নামের শেষে রোমান সংখ্যা ব্যবহার করা হয়।

তড়িৎ-অবিশ্লেষ্য জটিল যৌগের ক্ষেত্রে সব ঋণাত্মক লিগ্যান্ড কেন্দ্রীয় ধাতব আয়নের সাথে সন্নিবেশ বন্ধনে আবদ্ধ থাকে এবং তৃতীয় বন্ধনীর মধ্যে লেখা হয়। সন্নিবেশ বন্ধনে আবদ্ধ লিগ্যান্ডরূপী ঋণাত্মক আয়ন পানিতে আয়নিত অবস্থায় থাকে না, বরঞ্চ 'সন্নিবেশ-বলয়' বা Co-ordination sphere এর মধ্যে আবদ্ধ থাকে। তাই ঐ সব ঋণাত্মক আয়ন জলীয় দ্রবণে পৃথক হতে পারে না। নিচের (খ) ও (ঘ) নং উদাহরণ হলো ঐরূপ তড়িৎ অবিশ্লেষ্য জটিল যৌগ। এক্ষেত্রে ঐ সব তড়িৎ-অবিশ্লেষ্য যৌগের দ্রবণের মধ্যে সিলভার নাইট্রেট (AgNO<sub>3</sub>) দ্রবণ যোগ করলে AgCl এর সাদা অধঃক্ষেপ পড়বে না। কিন্তু অপর দুইটি উদাহরণ যেমন— (ক) এর বেলায় তিনটি Cl<sup>-</sup> আয়ন দ্রবণে আয়নিত হবে; (গ) এর বেলায় একটি Cl<sup>-</sup> আয়ন দ্রবণে আয়নিত হবে; এরা AgNO<sub>3</sub> দ্রবণের সাথে বিক্রিয়ায় AgCl এর সাদা অধঃক্ষেপ দেয়।

(ক) তড়িৎ বিশ্লেষ্য জটিল যৌগ → [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]Cl<sub>3</sub> হেক্সাঅ্যাম্মিন কোবাল্ট (III) ক্লোরাইড

(খ) তড়িৎ অবিশ্লেষ্য জটিল যৌগ → [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>] ট্রাইঅ্যাম্মিন ট্রাইক্লোরো কোবাল্ট (III) ক্লোরাইড

(গ) তড়িৎ বিশ্লেষ্য জটিল যৌগ → [Cr(H<sub>2</sub>O)<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub>]Cl টেট্রাঅ্যাকোয়াডাইক্লোরো ক্রোমিয়াম (III) ক্লোরাইড

(ঘ) তড়িৎ অবিশ্লেষ্য জটিল যৌগ → [Cr(H<sub>2</sub>O)<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>] ট্রাইঅ্যাকোয়াট্রাইক্লোরো ক্রোমিয়াম (III) ক্লোরাইড

যেমন, [Co(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]Cl<sub>3</sub>(aq) + 3AgNO<sub>3</sub>(aq) → 3AgCl(s) + (Co(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>)<sup>3+</sup>(aq)

[Co(NH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>Cl<sub>3</sub>](aq) + AgNO<sub>3</sub>(aq) → অধঃক্ষেপ পড়ে না।



### অধ্যায়ের সার-সংক্ষেপ (Recapitulation)

- ⊛ ক্ষারধাতু : গ্রুপ-1 এর ধাতুগুলো পানিসহ বিক্রিয়ায় ক্ষার তৈরি করে বলে এদেরকে ক্ষার ধাতু বলে।
- ⊛ মৃৎ-ক্ষারধাতু : গ্রুপ-2 এর ধাতুগুলো ক্ষার তৈরি করে এবং এদের যৌগ মাটির উপাদান বলে এরূপ নামকরণ হয়েছে।
- ⊛ অবস্থান্তর ধাতু : যে সব d ব্লকভুক্ত ধাতু, এদের কোনো স্থায়ী আয়নে d অরবিটাল আংশিক পূর্ণ থাকে।
- ⊛ পর্যায়বৃত্ত ধর্ম : পর্যায় সারণির ইলেকট্রন বিন্যাসভিত্তিক পরমাণুর আকার নির্ভর ভৌত ধর্ম ও রাসায়নিক ধর্ম যেমন, গলনাঙ্ক, স্ফুটনাঙ্ক, যোজ্যতা, আয়নীকরণ শক্তি, ইলেকট্রন আসক্তি, তড়িৎ ঋণাত্মকতা, ধাতব-অধাতব ধর্ম ইত্যাদিকে মৌলের পর্যায়বৃত্ত ধর্ম বলে।
- ⊛ অরবিটাল অধিক্রমণ : কোয়ান্টাম মতবাদ মতে, পরমাণুগুলো বন্ধন গঠনকালে পরমাণুর বিজোড় ইলেকট্রনযুক্ত অরবিটাল বিপরীত স্পিন অবস্থায় অধিক্রমণ ঘটায়। তখন দুটি নিউক্লিয়াসের প্রভাবে থেকে ঐ পারমাণবিক অরবিটালদ্বয়ের বন্ধন ইলেকট্রন মেঘ আণবিক অরবিটাল গঠন করে।
- ⊛ অরবিটাল সংকরণ : বিক্রিয়ার পূর্বে পরমাণুর একই শক্তিস্তরের প্রায় সমশক্তির অরবিটালগুলো মিশ্রিত ও সম শক্তিতে বিভক্ত হয়ে সমসংখ্যক অরবিটাল গঠন করাকে অরবিটাল সংকরণ বলে।
- ⊛ সন্নিবেশ বন্ধন : নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল দ্বারা দুটি পরমাণু সমযোজী বন্ধন গঠন করলে একে সন্নিবেশ বন্ধন বলে। মুক্তজোড় ইলেকট্রন যুক্ত পরমাণুটি একই বন্ধনের প্রয়োজনীয় ইলেকট্রন যোগান দেয়; তাই এটিকে দাতা পরমাণু ও অপর পরমাণুকে, যেটি কোনো ইলেকট্রন দেয় না, গ্রহীতা পরমাণু বলে।
- ⊛ পোলারায়ন : যৌগ অণুতে ক্যাটায়নের আকর্ষণে অ্যানায়নের ইলেকট্রন মেঘ ক্যাটায়নের দিকে সরে আসাকে অ্যানায়নের পোলারায়ন বলে। এর ফলে আয়নিক যৌগে সমযোজী বৈশিষ্ট্য প্রকাশ পায়।
- ⊛ ভ্যানডার ওয়ালস্ বল : ননবন্ডিং আন্তঃআণবিক বল বা আকর্ষণ- এ শ্রেণিভুক্ত; যেমন আয়ন-ডাইপোল আকর্ষণ, হাইড্রোজেন বন্ধন, ডাইপোল- ডাইপোল আকর্ষণ, বিস্তারণ বল ইত্যাদি।
- ⊛ হাইড্রোজেন বন্ধন : অধিক তড়িৎ ঋণাত্মক পরমাণু F, O, N এর সাথে যুক্ত H পরমাণুর মধ্যবর্তী বন্ধন অধিকতর পোলার হয়। এরূপ দুটি পোলার অণুর মধ্যে ধনাত্মক প্রান্ত ও ঋণাত্মক প্রান্তে এক দুর্বল বন্ধন সৃষ্টি হয়। এরূপ বন্ধনকে H-বন্ধন বলা হয়। H-বন্ধনের শক্তিমাত্রা প্রায়  $10 - 40 \text{ kJmol}^{-1}$  হয়।
- ⊛ H-বন্ধনের গুরুত্ব : জীবজগতের টিকে থাকার জন্য যে সব বায়োঅণু ভূমিকা পালন করে সে সব জৈব অণু ও পানি ইত্যাদিতে H-বন্ধন আছে। তাই বায়োলজিক্যাল প্রক্রিয়ায় H-বন্ধনের ভূমিকা অনন্য।
- ⊛ অজৈব যৌগের নামকরণ : পুরাতন Common name পদ্ধতিতে অজৈব যৌগের নামকরণের পরিবর্তে বর্তমানে IUPAC-এর Systematic Name পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়।

#### MCQ-এর উত্তরমালা :

- 3.1 (ঘ), 3.2 (ক), 3.3 (খ); 3.4 (গ), 3.5 (গ), 3.6 (ঘ), 3.7 (ক), 3.8 (ক), 3.9 (ক), 3.10 (গ), 3.11 (ক), 3.12 (ঘ), 3.13 (ঘ), 3.14 (গ), 3.15 (ঘ), 3.16 (ক), 3.17 (ক), 3.18 (খ), 3.19 (ঘ), 3.20 (গ), 3.21 (ঘ), 3.22 (ক), 3.23 (ক), 3.24 (গ), 3.25 (খ)।





প্রতিদিনের চাকুরীর মার্কুলার পেতে [এখানে ক্লিক করুন](#)

প্রতি মাসের কারেন্ট অ্যাফেয়ার্স পিডিএফ [এখানে ক্লিক করুন](#)

চাকুরীর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

বিসিএম এর প্রয়োজনীয় পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

প্রতি সপ্তাহের চাকুরী পত্রিকা ডাউনলোড [এখানে ক্লিক করুন](#)

সকল নিয়োগ পরীক্ষার প্রশ্ন সমাধান [এখানে ক্লিক করুন](#)

**বিডিনিয়োগ.কম দেশের মেরা পিডিএফ কালেকশন**

SSC এর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

HSC এর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

বিশ্ববিদ্যালয় ভর্তির সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

সকল ধরনের **মাজেশন** ডাউনলোড [এখানে ক্লিক করুন](#)





তত্ত্বীয় আলোচনা	= ২০
শ্রেণি কর্মকাণ্ড	= ৮
মোট পিরিয়ড	= ২৮

## চতুর্থ অধ্যায় রাসায়নিক পরিবর্তন Chemical Change

### ভূমিকা (Introduction)

আয়নিক ও পোলার যৌগসমূহ পানিতে দ্রবণের মাধ্যমে সাধারণত একমুখী বিক্রিয়া যেমন অধঃক্ষেপণ, অম্ল-ক্ষারক প্রশমন ও রিডক্স বিক্রিয়া সহযোগে সম্পন্ন হয়। সমযোজী কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় পদার্থের উভমুখী সংশ্লেষণ, বিয়োজন, প্রতিস্থাপন ইত্যাদি বিক্রিয়া দ্বারা এবং ক্ষেত্রবিশেষে জৈব দ্রাবক ও ভারী ধাতুর প্রভাবক ব্যবহার করে আধুনিককালে অপরিহার্য ওষুধ, রাসায়নিক সার, কীটনাশক পদার্থ, টেক্সটাইল রঞ্জক, বিভিন্ন সামগ্রী ও পলিমার বস্তু বিভিন্ন রাসায়নিক শিল্পে উৎপাদিত হয়। এ সব শিল্পের বিষাক্ত ও ক্ষতিকারক দ্রাবক, উপজাত, কিছু বিক্রিয়ক ও ধাতব প্রভাবক বায়ুতে ও স্থলভাগে বর্জ্যরূপে পরিবেশের মারাত্মক ক্ষতি করেছে। তাই এ সব শিল্প বর্জ্য দ্বারা পরিবেশের বিপদজনক ক্ষতির মাত্রা হ্রাস বা দূরীকরণে বিশ্বব্যাপী রসায়নবিদেরা বিভিন্ন শিল্পে তাত্ত্বিক ও ব্যবহারিক প্রয়োগে উন্নততর 'পরিবেশবান্ধব পদ্ধতি' উদ্ভাবনে সচেষ্ট রয়েছেন; যা গ্রিন কেমিস্ট্রি (green chemistry) বা সবুজ রসায়ন নামে বর্তমানে পরিচিত।

অধ্যায়ের প্রধান শব্দসমূহ (Key Words): গ্রিন কেমিস্ট্রি, বিক্রিয়ার হার, সক্রিয়ণ শক্তি, প্রভাবক, এনজাইম, সাম্যাবস্থা, সক্রিয় ভর, সাম্যক্ষরক, পানির আয়নিক গুণফল, এসিড ও ক্ষারের বিয়োজন প্রবক, অনুবন্ধী এসিড ও ক্ষারক, দ্রবণের pH, বাফার দ্রবণ, অভ্যন্তরীণ শক্তি, এনথালপি, প্রশমন তাপ, গঠনতাপ, বিক্রিয়া তাপ, দ্রবণ তাপ, বন্ধন শক্তি।



(A) সাম্যাবস্থায়  $N_2$   
 $H_2$  ও  $NH_3$  গ্যাস  
( $Q_c = K_c$ )

চাপ বাড়ালে  
আমতন কমে

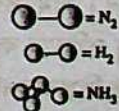


(B) চাপ বৃদ্ধি করতে  
আমতন হ্রাস পায়:  
সাম্যাবস্থা থাকে না  
( $Q_c < K_c$ )।

নিট বিক্রিয়ার  
উৎপাদ বৃদ্ধি



(C) নিট বিক্রিয়ার বিক্রিয়ক উৎপাদ  
তৈরি করে অপূর সংখ্যা কমান,  
ফলে নতুন সাম্যাবস্থা ঘটে।  
( $Q_c = K_c$ )



শিখনফল : এই অধ্যায়ের পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

১. বিক্রিয়া সংঘটনে গ্রিন কেমিস্ট্রি ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
২. বিক্রিয়ার দিক যেমন একমুখী ও উভমুখী বিক্রিয়া বর্ণনা করতে পারবে।
৩. বিক্রিয়ার গতির ওপর তাপ, চাপ ও ঘনত্ব পরিবর্তনের প্রভাব মূল্যায়ন করতে পারবে।
৪. প্রভাবক ব্যবহার করে বিক্রিয়ার গতি নিয়ন্ত্রণে প্রভাবকের ক্রিয়া কৌশল ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৫. উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা ও গতিশীলতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৬. লা-শাতেলিয়ালের নীতি প্রয়োগ করে বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার কাজিক্ত পরিবর্তন ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৭. শিল্প উৎপাদনে লা-শাতেলিয়ালের নীতির গুরুত্ব বিশ্লেষণ করতে পারবে।

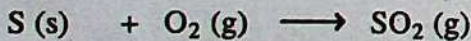


৮. ভর ক্রিয়ার সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৯. ভর ক্রিয়ার সূত্র থেকে সাম্যক্ষুবক  $K_c$ ,  $K_p$  এর রাশিমালা প্রতিপাদন ও এদের মধ্যে সম্পর্ক ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১০. পানির আয়নিক গুণফল ( $K_w$ ), এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক ( $K_a$ ) ও ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক ( $K_b$ ) এর ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১১. বিয়োজন ধ্রুবকের সাহায্যে এসিড ও ক্ষারকের তীব্রতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১২. দ্রবণের pH ও pOH স্কেল প্রতিষ্ঠা ও ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৩. বাফার দ্রবণ ও বাফার দ্রবণের ক্রিয়া কৌশল ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৪. ব্যবহারিক : কার্বনেট বাফার দ্রবণ তৈরি ও এতে এসিড ও ক্ষার পৃথকভাবে যোগ করে এর কার্যকারিতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৫. মানুষের রক্তে pH এর গুরুত্ব ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৬. কৃষিতে, রসায়নশিল্পে, টয়লেট্রিজ উৎপাদনে, ওষুধ সেবনে pH এর ভূমিকা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৭. pH পরিমাপ করে উপযুক্ত প্রসাধন সামগ্রী নির্বাচন করতে পারবে।
১৮. ভর ও শক্তির নিত্যতা সূত্র এবং তাপীয় পরিবর্তন (বিক্রিয়া তাপ, অবস্থা পরিবর্তন তাপ, পরমাণুকরণ তাপ, দ্রবণ তাপ, প্রশমন তাপ) ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৯. তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপ ধ্রুবক;-এর ব্যাখ্যা করতে পারবে।
২০. বন্ধন শক্তি ব্যবহার করে বিক্রিয়া তাপ গণনা করতে পারবে।
২১. ল্যাভয়সিয়ে ও হেসের সূত্র প্রয়োগ করে বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় করতে পারবে।
২২. ব্যবহারিক : ক্যালরিমিতিক পদ্ধতিতে অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তাপ নির্ণয় করতে পারবে।

## ৪.১ রাসায়নিক বিক্রিয়া ও গ্রিন কেমিস্ট্রি

### Chemical Reactions & Green Chemistry

অতীতের চেয়ে বর্তমানে আমাদের জীবনের আয়ুষ্কাল দীর্ঘতর, নিরাপদ ও আরামদায়ক হওয়ার মূলে রয়েছে রসায়নের অবদান। আমাদের প্রয়োজনে ব্যবহৃত ওষুধ, রাসায়নিক সার, কীটনাশক, টেক্সটাইল সামগ্রীর রঞ্জক পদার্থ, বিভিন্ন সামগ্রী ও বিভিন্ন পলিমার বস্তু আসে বিভিন্ন রাসায়নিক শিল্প কারখানা থেকে। রসায়ন শিল্পের জীবন ঘনিষ্ঠ এ শুভ অবদানের পাশাপাশি রয়েছে শিল্পকারখানার পরিত্যক্ত বিষাক্ত বর্জ্যপদার্থ, যা পরিবেশের মারাত্মক ক্ষতিসাধন করে জীবজগতের অস্তিত্বকে সংকটে ফেলেছে। যেমন শিল্প কারখানায় জ্বালানি হিসেবে প্রাকৃতিক গ্যাস ( $CH_4$ ) ও কয়লা পোড়ানো হয়। কয়লাতে সালফার থাকে। এ সব জ্বালানির রাসায়নিক বিক্রিয়ার সমীকরণগুলো নিম্নরূপ :



**MCQ-4.1** : আন্তর্জাতিকভাবে রসায়নবিদদের দ্বারা অনুমোদিত সবুজ রসায়ন নীতি কয়টি?  
(ক) 7 (খ) 10 (গ) 12 (ঘ) 13

তোমরা জান, এ সব বিক্রিয়ায় উৎপন্ন  $CO_2$  ও  $SO_2$  গ্যাস দুটো বাতাসে মিশে যায় এবং  $CO_2$  ও  $SO_2$  গ্যাস দুটিই হলো বায়ুদূষক। এক্ষেত্রে  $CO_2$  গ্যাস 'গ্রিন হাউজ গ্যাস'রূপে গ্রোবাল ওয়ার্মিং ঘটায় এবং অল্পধর্মী  $SO_2$  গ্যাস 'এসিড-বৃষ্টি' ঘটাতে ভূমিকা রাখে। এরূপে উভয় গ্যাস প্রাকৃতিক দূষণ ঘটায়।

গ্রিন কেমিস্ট্রি বা সবুজ রসায়নের সংজ্ঞা : পৃথিবীব্যাপী রসায়নবিদেরা শিল্প ক্ষেত্রে তাত্ত্বিক ও ব্যবহারিক প্রয়োগে ক্ষতিকর বর্জ্য পদার্থ উৎপন্ন যথাসম্ভব হ্রাস করে নতুন ও উন্নততর পরিবেশবান্ধব পদ্ধতি উদ্ভাবনে সচেষ্ট রয়েছেন। পরিবেশবান্ধব এরূপ রাসায়নিক পদ্ধতিকে গ্রিন কেমিস্ট্রি বা সবুজ রসায়ন বলা হয়। এ গ্রিন কেমিস্ট্রির উদ্দেশ্য বাস্তবায়নে ১২টি নীতি আন্তর্জাতিকভাবে রসায়নবিদদের দ্বারা নির্ধারিত হয়েছে। যেমন,

(১) বর্জ্য পদার্থ রোধকরণ (Prevent Waste) : শিল্প বিক্রিয়ায় বর্জ্য উৎপাদ রোধ হয় এমন পদ্ধতি ব্যবহার।



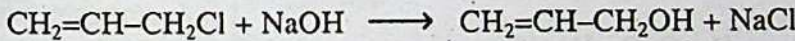
(২) সর্বোত্তম এটম ইকন্যামি (**Maximize atom-economy**) : বিক্রিয়কের সব বা সর্বাধিক পরমাণুকে কার্জিত উৎপাদে সংরক্ষণ পদ্ধতি উদ্ভাবন। এক্ষেত্রে বিক্রিয়াকে একরূপে সংঘটিত করা হয়, যেন কার্জিত উৎপাদে বিক্রিয়কের সর্বোচ্চ পরিমাণ পরমাণু যুক্ত থাকে। শিল্পক্ষেত্রে ব্যবহৃত কোনো পদ্ধতির বিক্রিয়ার শতকরা এটম ইকন্যামি (% AE) দ্বারা ঐ পদ্ধতির সফলতার মাত্রা জানা যায়। শতকরা এটম ইকন্যামিকে নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয়।

$$\% \text{ AE} = \frac{\text{কার্জিত উৎপাদের মোট মোল সংখ্যা} \times \text{সংকেত ভর} \times 100}{\text{সব বিক্রিয়কের বা উৎপাদের মোল সংখ্যাসহ সংকেত ভরের সমষ্টি}}$$

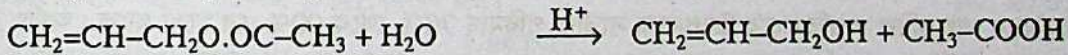
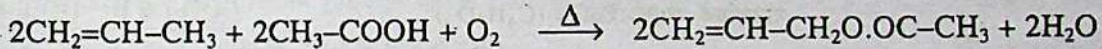
(৩) ন্যূনতম ঝুঁকির পদ্ধতির ব্যবহার (**Useless hazardous process**) : ননটক্সিক বিকারক ও ননটক্সিক বর্জ্য সংশ্লিষ্ট সংশ্লেষণ পদ্ধতি ব্যবহার। এর দ্বারা শিল্পক্ষেত্রে কর্মজীবীদের নিরাপত্তা বিধান ও পরিবেশ দূষণ হ্রাস পাবে।

যেমন, অ্যালাইল অ্যালকোহল ( $\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{OH}$ ) যৌগটি প্রোপিন থেকে দুটি পদ্ধতিতে উৎপাদন করা যায়।

১। প্রচলিত পদ্ধতি : প্রোপিনের ক্লোরিনেশন করে অ্যালাইল ক্লোরাইড এবং পরে উৎপন্ন যৌগের ক্ষারীয় অর্ধবিশ্লেষণে অ্যালাইল অ্যালকোহল উৎপাদন করা হয় :



২। শিনার পদ্ধতি : এ পদ্ধতির উদ্দেশ্য হলো পরিবেশ দূষক ক্লোরিনকে বর্জন। এক্ষেত্রে প্রথমে প্রোপিন, ইথানয়িক এসিড ও অক্সিজেন এর বিক্রিয়ায় অ্যালাইল ইথানোয়েট তৈরি করা হয়।



পরে অ্যালাইল ইথানোয়েটের অম্লীয় অর্ধবিশ্লেষণে অ্যালাইল অ্যালকোহল ও ইথানয়িক এসিড উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়া শেষে উৎপন্ন ইথানয়িক এসিড পৃথক করে পুনরায় ব্যবহার করা যায়। এক্ষেত্রে ন্যূনতম ঝুঁকির পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়েছে।

(৪) নিরাপদ কেমিক্যাল পরিকল্পনা (**Design Safer Chemicals**) : কেমিক্যাল প্রোডাক্ট উৎপাদন পরিকল্পনায় বিকারক ন্যূনতম টক্সিক বা নির্দোষ হবে। এর দ্বারা কর্মজীবীদের স্বাস্থ্যের ক্ষতি এবং পরিবেশ দূষণ ঘটবে না।

(৫) নিরাপদ দ্রাবক ব্যবহার (**Use safer Solvents**) : বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত দ্রাবক ও সহায়ক পদার্থ নিরাপদ ও ন্যূনতম হবে।

(৬) বিক্রিয়ার শক্তি দক্ষতা পরিকল্পনা (**Design for energy efficiency**) : কক্ষতাপমাত্রায় বা ন্যূনতম শক্তি ব্যয়ে উৎপাদন প্রক্রিয়া অনুসরণ। এতে বিদ্যুৎ ও তাপ শক্তির অপচয় রোধ হবে এবং শিল্পে উৎপাদন ব্যয় হ্রাস পাবে।

(৭) নবায়নযোগ্য কাঁচামাল ব্যবহার (**Use renewable Feed stocks**) : সম্ভাব্য নবায়নযোগ্য কাঁচামাল ব্যবহার। বর্তমানে পেট্রোলিয়ামজাত মনোমার থেকে বিভিন্ন পলিমার উৎপাদন করা হয়। পেট্রোলিয়াম নবায়নযোগ্য কাঁচামাল নয়। এক্ষেত্রে উদ্ভিজ্জ কাঁচামাল ব্যবহার পদ্ধতি প্রয়োজন।

(৮) ন্যূনতম উপজাতক (**Minimize derivatives**) : সংশ্লেষণ পদ্ধতিতে ন্যূনতম ধাপ ও উপজাতক থাকবে। এজন্য ভৌত ও রাসায়নিক প্রক্রিয়ার পরিমার্জন এবং বিক্রিয়ার শর্তাবলি পরিবর্তনসহ শিল্প পদ্ধতিতে পরিবর্তন দরকার হবে।

(৯) প্রভাবন প্রয়োগ (**Use catalysts**) : বিক্রিয়ায় প্রয়োজনীয় প্রভাবক ব্যবহার। নতুন অধিক কার্যকর প্রভাবক উদ্ভাবনসহ শিল্প প্রক্রিয়ার উন্নয়ন করে উৎপাদ বৃদ্ধি করতে হবে।

(১০) প্রাকৃতিক রূপান্তর পরিকল্পনা (**Design for bio-degradation**) : শিল্পজাত হতে হবে ব্যাকটেরিয়া-নাশ প্রবণ (biodegradable)। বর্তমানে উৎপাদিত অধিকাংশ পলিমার পেট্রোলিয়ামজাত হওয়ায় বায়োডিগ্রেডেবল নয়।



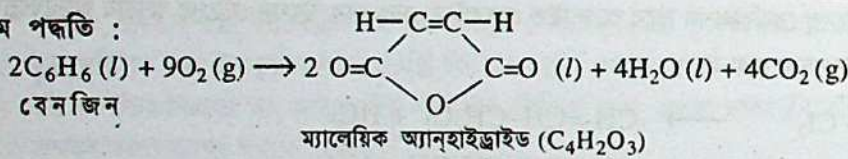
(১১) যথাসময়ে দূষণ নিয়ন্ত্রণ (Monitor pollution in real time) : টেক্সিক উৎপাদের ক্ষেত্রে যথাসময়ে প্রক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ। বিষাক্ত পদার্থ যেন বায়ুমণ্ডলে ছড়িয়ে না পড়ে, তার যথাযথ নিয়ন্ত্রণ ব্যবস্থা মনিটরিং করতে হবে।

(১২) দুর্ঘটনা প্রতিরোধ (Prevent accidents) : রাসায়নিক পদার্থ ও পদ্ধতিগত অগ্নিসংঘটন, বিস্ফোরণ ও অন্য দুর্ঘটনা রোধের যথাযথ ব্যবস্থা শিল্পক্ষেত্রে থাকতে হবে।

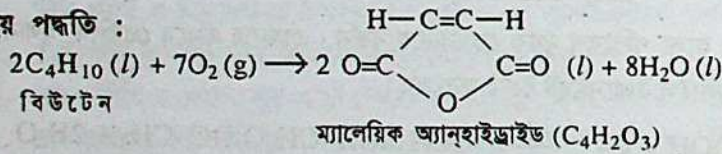
নিচে গ্রিন কেমিস্ট্রি সহায়ক তিনটি নীতি সমর্থক যেমন— (১) বর্জ্য পদার্থ রোধকরণ, (২) সর্বোত্তম এটম ইকন্যামি অর্জন ও (৩) ন্যূনতম ঝুঁকির পদ্ধতি ব্যবহার অনুসরণে একটি শিল্প পদ্ধতি দেখানো হলো। যেমন,

ম্যালেরিক অ্যানহাইড্রাইড উৎপাদন, এটি হলো অন্যতম প্রধান শিল্প-কেমিক্যাল যা থেকে উৎপাদিত হয় ওষুধ, কীটনাশক, রঞ্জক, বিভিন্ন পলিমার ও অন্যান্য প্রয়োজনীয় প্রোডাক্ট। ম্যালেরিক অ্যানহাইড্রাইড ( $C_4H_2O_3$ ) সংশ্লেষণের দুটি পদ্ধতি আছে। একটি হলো (১) বেনজিনের জারণ পদ্ধতি এবং অপরটি হলো (২) বিউটেনের জারণ পদ্ধতি। যেমন—

১ম পদ্ধতি :



২য় পদ্ধতি :



MCQ-4.2 : গ্রিন বা সবুজ রসায়নের মূলে রয়েছে—

- (i) ক্ষতিকর বর্জ্য উৎপাদন রোধ  
(ii) সর্বাধিক উৎপাদ তৈরি  
(iii) নবায়নযোগ্য কাঁচামাল ব্যবহার।  
কোনটি সঠিক হবে?  
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii  
(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

বর্তমানে সাংশ্লেষিক পদ্ধতিসমূহে উৎপাদের সর্বোচ্চ পরিমাণ 70% থেকে 90% এর মধ্যে থাকে। অর্থাৎ 30% থেকে 10% বিক্রিয়ক মূল উৎপাদ তৈরি না করে বিক্রিয়াবিহীন থাকে। গ্রিন কেমিস্ট্রির অন্যতম নীতি এটম ইকন্যামি হলো কাঙ্ক্ষিত উৎপাদে বিক্রিয়কের সর্বোচ্চ পরিমাণ পরমাণু অন্তর্ভুক্ত করা। কোনো বিক্রিয়ার শতকরা এটম ইকন্যামি (% AE) কে নিম্নোক্তভাবে প্রকাশ করা হয়।

$$\% AE = \frac{\text{কাঙ্ক্ষিত উৎপাদের মোট মোল সংখ্যা} \times \text{সংকেত ভর} \times 100}{\text{সব বিক্রিয়কের বা উৎপাদের মোল সংখ্যাসহ সংকেত ভরের সমষ্টি}}$$

এখন শতকরা 'এটম ইকন্যামি' হিসাব করে উপরোক্ত উভয় পদ্ধতির 'দক্ষতা' তুলনা করা হলো :

$$\begin{aligned} \text{১ম পদ্ধতির বেলায়; \% এটম ইকন্যামি} &= \frac{2 \text{ mol } C_4H_2O_3 \times 100}{(2 \text{ mol } C_4H_2O_3 + 4 \text{ mol } H_2O + 4 \text{ mol } CO_2)} \\ &= \frac{2 \times 98.06 \text{ g} \times 100}{(2 \times 98.06 \text{ g} + 4 \times 18.02 \text{ g} + 4 \times 44.01 \text{ g})} = 44.15\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{২য় পদ্ধতির বেলায়; \% এটম ইকন্যামি} &= \frac{2 \text{ mol } C_4H_2O_3 \times 100}{(2 \text{ mol } C_4H_2O_3 + 8 \text{ mol } H_2O)} \\ &= \frac{2 \times 98.06 \text{ g} \times 100}{(2 \times 98.06 \text{ g} + 8 \times 18.02 \text{ g})} = 57.63\% \end{aligned}$$

সিদ্ধান্ত : শতকরা এটম ইকন্যামির মান থেকে সুস্পষ্ট যে,

(i) ২য় পদ্ধতিতে ম্যালেরিক অ্যানহাইড্রাইড সংশ্লেষণ অধিকতর সুবিধাজনক; কারণ % পরিমাণে অধিক সংখ্যক বিক্রিয়ক-পরমাণু কাঙ্ক্ষিত উৎপাদে সংরক্ষিত হয়েছে।

(ii) ২য় পদ্ধতিতে ১ম পদ্ধতির মতো টেক্সিক বেনজিন বিক্রিয়ক ব্যবহৃত হয়নি।



(iii) ২য় পদ্ধতিতে ১ম পদ্ধতির মতো CO<sub>2</sub> উৎপন্ন না হওয়ায় 'গ্লোবাল ওয়ার্মিং' থেকে মুক্ত এ ২য় পদ্ধতি হলো একটি পরিবেশবান্ধব 'হিনার' পদ্ধতি।

হিনার কেমিস্ট্রি এখন শিল্পে পরিবেশবান্ধব জৈব দ্রাবক ব্যবহারে সচেষ্ট আছেন। বর্তমানে রাসায়নিক পেইন্টার্স, ক্রিনিং এজেন্ট, হেয়ার স্প্রে, লুব্রিকেন্টস্, কুকিং অয়েলস্ ইত্যাদিতে উদ্বায়ী জৈব দ্রাবক ব্যবহৃত হয়। এসব উদ্বায়ী জৈব দ্রাবক পরিবেশে 'Smog' সৃষ্টি করে বায়ু দূষণ ঘটায় এবং স্বাস্থ্যে বিরূপ প্রভাব ফেলে। বাতাসে সৃষ্ট Smog এর বেলায় আর্দ্র-বায়ুতে pH প্রায় 2 হয়, এতে SO<sub>2</sub> গ্যাস থাকে। Smog শব্দটি 'smoke' ও 'fog' শব্দ থেকে সৃষ্ট। পরিবেশের বাতাসে Smog সৃষ্টি হলে লোক ব্রঙ্কাইটিস্ ও নিউমোনিয়ায় আক্রান্ত হয়। এজন্য হিনার শিল্প প্রক্রিয়ায় দ্রাবকরূপে—

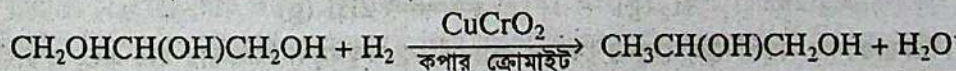
(১) অনুদ্বায়ী জৈব দ্রাবক ব্যবহার, (২) অজলীয় আয়নিক দ্রাবক উদ্ভাবন, (৩) জৈব দ্রাবকবিহীন উৎপাদন পদ্ধতি ও (৪) পানি ব্যবহারভিত্তিক পদ্ধতি প্রয়োগে রাসায়নবিদেরা সচেষ্ট আছেন।

এছাড়া পেট্রোলিয়ামজাত মনোমার ইথিলিন ও প্রতিস্থাপিত ইথিলিন থেকে বিভিন্ন পলিমার উৎপাদন করা হয়। এর পরিবর্তে হিন-কেমিস্ট্রি শস্যাদানা, ইক্ষু বা সুগারকেন ও কাজু বাদামের খোসা থেকে পলিমার উৎপাদন পদ্ধতি উদ্ভাবন করেছেন। এসব উদ্ভাবিত পদ্ধতি হলো পরিবেশবান্ধব 'হিনার' পদ্ধতি।

শিক্ষার্থীর কাজ-৪.১ : হিন কেমিস্ট্রিভিত্তিক :

সমস্যা-৪.১ : সবুজ রসায়ন কী? [কু. বো. ২০১৭; দি. বো. ২০১৭; চ. বো. ২০১৫; সি. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.২(ক) : ভিজিটেবল অয়েল থেকে বায়োডিজেল তৈরি করতে উপজাতরূপে গ্লিসারিন পাওয়া যায়। এ গ্লিসারিনকে নিম্ন সমীকরণ মতে প্রোপালিন গ্লাইকলে রূপান্তরিত করা হয়; যা অটোমোবাইল ইঞ্জিনে অ্যান্টিফ্রিজরূপে ব্যবহৃত হয়। এটি একটি হিনার পদ্ধতি; এক্ষেত্রে % AE হিসাব কর। [উ: 80.85%]

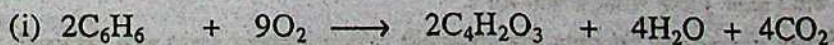


সমস্যা-৪.২(খ) : প্রচলিত পুরাতন পদ্ধতি ও নতুন হিনার পদ্ধতিতে নিম্ন সমীকরণ মতে, ইথিলিন থেকে ইথিলিন অক্সাইড (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O) উৎপাদন করা হয়। ইথিলিন অক্সাইড ধূম্রজাল সৃষ্টিকারক এবং আর্দ্রবিশ্লেষণে অ্যান্টিফ্রিজ ইথিলিন গ্লাইকল উৎপন্ন করে। প্রতিক্ষেত্রে % AE হিসাব কর।

(ক) পুরাতন পদ্ধতি : C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> + Cl<sub>2</sub> + Ca(OH)<sub>2</sub> → C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O + CaCl<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O [উ: 25.43%]

(খ) হিনার পদ্ধতি : C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> +  $\frac{1}{2}$  O<sub>2</sub>  $\xrightarrow[250^\circ\text{C}]{\text{Ag-catalyst}}$  C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O [উ: 100%]

সমস্যা-৪.২(গ) : ম্যাগ্নেটিক অ্যানহাইড্রাইড সংশ্লেষণের দুটি পদ্ধতি হলো নিম্নরূপ :



কোন পদ্ধতিটি হিনার পদ্ধতি হবে, তা % এটম ইরুনিয়ামি থেকে ব্যাখ্যা কর। [অনুধাবনভিত্তিক প্রশ্ন]

## ৪.২ বিক্রিয়ার দিক-একমুখী ও উভমুখী বিক্রিয়া

### Reaction Direction-Irreversible and Reversible

তোমরা নবম-দশম শ্রেণিতে পাঠ্যপুস্তকে জেনেছ, আবদ্ধ পাত্রের চূনাপাথরের তাপীয় বিয়োজন একটি উভমুখী বিক্রিয়া। উপযুক্ত পরিবেশে সব বিক্রিয়াকে উভমুখী বলে গণ্য করা হয়। তবে অনেক বিক্রিয়ায় পশ্চাত্বর্তী বিক্রিয়ার হার সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার হারের তুলনায় অত্যন্ত নগণ্য। এ সব ক্ষেত্রে বাস্তবে ঐ বিক্রিয়াকে একমুখী বিক্রিয়া গণ্য করা হয়।

একমুখী বিক্রিয়া (Irreversible reaction) : কোনো বিক্রিয়ার সমস্ত বিক্রিয়ক পদার্থ যখন উৎপাদে পরিণত হয় অর্থাৎ বিক্রিয়াটি শুধু সম্মুখ দিকে ঘটতে থাকে, তখন ঐ বিক্রিয়াটিকে একমুখী বিক্রিয়া বলা হয়। এ



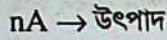






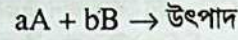


ক্ষেত্রে 'আংশিক চাপ' বোঝায়। সুতরাং বিক্রিয়ার হার প্রতিটি বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার সমানুপাতিক এবং তা বিক্রিয়কের মোলভিত্তিক ঘনমাত্রার ঘাতরূপে আসে। এক্ষেত্রে দুটি সাধারণ বিক্রিয়ার সমীকরণ মতে,



$$\therefore \text{বিক্রিয়ার হার} \propto [A]^n$$

$$\text{বা, } \frac{-dc}{dt} = \frac{dx}{dt} = k \times [A]^n \dots (1)$$



$$\therefore \text{বিক্রিয়ার হার} \propto [A]^a \times [B]^b$$

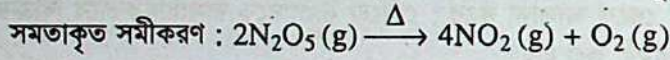
$$\text{বা, বিক্রিয়ার হার} = k \times [A]^a \times [B]^b \dots (2)$$

সমীকরণ (1) ও (2) হলো বিক্রিয়ার সাধারণ হার সমীকরণ এবং k হলো সমানুপাতিক ধ্রুবক।

একইভাবে ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে,  $2A + B \rightarrow C + 3D$  বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে, বিক্রিয়ার-হার =  $k \times [A]^2 \times [B]$  হয়।

ব্যতিক্রম : অনেক ক্ষেত্রে ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে বিক্রিয়ার হার-সমীকরণটি বিক্রিয়াটির প্রকৃত পরীক্ষালব্ধ ফলাফলভিত্তিক বিক্রিয়ার-হার সমীকরণের সাথে সঙ্গতিপূর্ণ বা একই নাও হতে পারে। যেমন,

উত্তপ্ত  $N_2O_5(g)$  এর তাপীয় বিয়োজন বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে সমতায়ুক্ত সমীকরণ ও ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে হার সমীকরণটি প্রকৃত পরীক্ষালব্ধ ফলাফলভিত্তিক বিক্রিয়া-হার সমীকরণের সাথে সঙ্গতিপূর্ণ নয়।



$$* \text{ ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে বিক্রিয়া-হার} = k \times [N_2O_5]^2;$$

$$* \text{ পরীক্ষালব্ধ ফলাফলভিত্তিক বিক্রিয়া-হার} = k \times [N_2O_5]$$

**MCQ-4.3 :** বিক্রিয়ার হারের একক কী? [দি. বো. ২০১৭]

(ক)  $\text{molLs}^{-1}$  (খ)  $\text{molL}^{-1}\text{s}$   
(গ)  $\text{molL}^{-1}\text{s}^{-1}$  (ঘ)  $\text{mol}^{-1}\text{L}^{-1}\text{s}^{-1}$

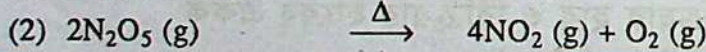
বিক্রিয়ার গতি সূত্র : পরীক্ষা-পর্যবেক্ষণের ফলাফল অনুসারে এক বা একাধিক বিক্রিয়ক বিশিষ্ট বিভিন্ন বিক্রিয়ার হার ও বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার সম্পর্কের সমীকরণ নির্ণয় করা হয়েছে। এরূপ সম্পর্কযুক্ত সমীকরণকে সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়ার গতিসূত্র বা বিক্রিয়ার হার সমীকরণ বলে। সুতরাং কোনো বিক্রিয়ার পরীক্ষালব্ধ ফলাফলভিত্তিক যে সমীকরণ দ্বারা বিক্রিয়ার হার বা বেগ ও বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার সম্পর্ক প্রকাশ করা হয়, তাকে বিক্রিয়ার হার সমীকরণ বা বিক্রিয়ার গতি সূত্র বলে।

উদাহরণ :

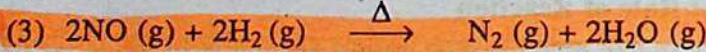


বিক্রিয়ার হার সমীকরণ :

$$\text{বিক্রিয়ার হার} = k \times [H_2] \times [I_2]$$



$$\text{বিক্রিয়ার হার} = k \times [N_2O_5]$$



$$\text{বিক্রিয়ার হার} = k \times [NO]^2 \times [H_2]$$

\* সমতায়ুক্ত সাধারণ সমীকরণ হলো :  $aA + bB \rightarrow cC + dD$

\* ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে, বিক্রিয়ার হার,  $r = k \times [A]^a \times [B]^b$

\* পরীক্ষালব্ধ ফলাফল মতে, বিক্রিয়ার হার,  $r = k \times [A]^m \times [B]^n$ ;

\* এক্ষেত্রে m ও n হলো পরীক্ষালব্ধ বিক্রিয়ার হার মতে যথাক্রমে বিক্রিয়ক A ও B এর মোলার ঘনমাত্রার ঘাত বা power. তখন (m + n) এর মোট মানকে বিক্রিয়াটির ক্রম বা reaction order বলে। উল্লেখ্য সমতায়ুক্ত সাধারণ সমীকরণের সহগ (coefficients) a ও b-এর সাথে বিক্রিয়ার ক্রম নির্ধারণের ক্ষেত্রে কোনো সম্পর্ক থাকে না।

বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক : ধরা যাক, একটি সাধারণ বিক্রিয়া হলো  $aA + bB = cC + dD$ । যদি এ বিক্রিয়ার পরীক্ষালব্ধ ফলাফলভিত্তিক A ও B এর মোলার ঘনমাত্রার ঘাত যথাক্রমে m ও n হয়; তবে বিক্রিয়ার গতি সূত্র মতে, বিক্রিয়ার-হার (r) =  $k \times [A]^m \times [B]^n$ ; এখানে k একটি ধ্রুবক।

$$\therefore k = \frac{\text{বিক্রিয়ার হার (Ms}^{-1}\text{)}}{[A]^m \times [B]^n}$$

এখন প্রতিটি বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা 1 মোলার হলে,  $[A] = [B] = 1 \text{ molL}^{-1}$  হয় এবং বিক্রিয়ার হার =  $k \times 1 \times 1 = k$  (ধ্রুবক) হয় অর্থাৎ বিক্রিয়ার হার একটি ধ্রুবক মানের সমান হয়; একে বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক (rate constant) বলে।

বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের সংজ্ঞা : একক মোলার ঘনমাত্রার বিক্রিয়কসমূহের বিক্রিয়ার হারকে সে বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক বলে। একে আপেক্ষিক বিক্রিয়ার হারও (specific reaction rate) বলা হয়।



**বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের বৈশিষ্ট্য :**

- (১) একটি নির্দিষ্ট বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় ঐ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের (k-এর) মান সব সময় নির্দিষ্ট থাকে। কিন্তু তাপমাত্রার পরিবর্তন হলে ঐ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মানও পরিবর্তিত হয়।
- (২) একই তাপমাত্রায় ভিন্ন ভিন্ন বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক (k) এর মানও ভিন্ন হয়।
- (৩) বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মান বেশি হলে তখন ঐ বিক্রিয়ার বেগ বা হার বেশি হয় এবং হার ধ্রুবকের মান কম হলে বিক্রিয়ার বেগ কম হয়।

\* রাসায়নিক বিক্রিয়ার হার ও বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের বৈশিষ্ট্যের মধ্যে নিম্নোক্ত মিল ও গরমিল দেখা যায়। যেমন—

বিক্রিয়ার হার (r)	বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক (k)
(১) প্রতি একক সময়ে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া যতটুকু সম্পন্ন হয়, তাকে ঐ বিক্রিয়ার বিক্রিয়ার-হার (r) বলে।	(১) বিক্রিয়কগুলোর একক মোলার ঘনমাত্রার কোনো বিক্রিয়ার হারকে ঐ বিক্রিয়ার হার-ধ্রুবক (k) বলে।
(২) তাপমাত্রার পরিবর্তনে বিক্রিয়ার হার পরিবর্তিত হয়।	(২) তাপমাত্রার পরিবর্তনে বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মান ও পরিবর্তিত হয়।
(৩) তাপমাত্রা স্থির রেখে বিক্রিয়কগুলোর ঘনমাত্রার পরিবর্তন করলে বিক্রিয়ার হারের পরিবর্তন ঘটে।	(৩) তাপমাত্রা স্থির রেখে বিক্রিয়কগুলোর ঘনমাত্রার পরিবর্তন করলেও হার ধ্রুবকের মানের কোনো পরিবর্তন ঘটে না।
(৪) বিক্রিয়ার হার (r) ঘনমাত্রার ওপর নির্ভর করে।	(৪) বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক (k) ঘনমাত্রার ওপর নির্ভর করে না। এটি একটি ধ্রুবক।
(৫) বিক্রিয়ার হারের একক $\text{molL}^{-1}\text{s}^{-1}$ বা, $\text{Ms}^{-1}$ । (গ্যাসীয় বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে $\text{atm s}^{-1}$ )	(৫) হার ধ্রুবকের একক হার সূত্রমতে পরীক্ষানির্ভর বিক্রিয়ার ক্রম (reaction order) এর ওপর নির্ভর করে।

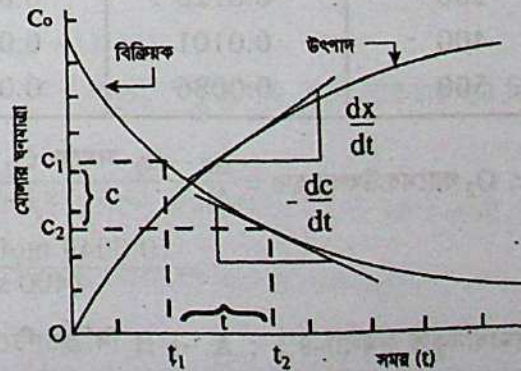
লেখচিত্রের সাহায্যে বিক্রিয়ার হার বা গতিবেগের ব্যাখ্যা :

1850 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী L. Wilhetmy কর্তৃক প্রমাণিত হয়েছে যে, বিক্রিয়ার হার বা গতিবেগ প্রধানত বিক্রিয়কসমূহের ঘনমাত্রার ওপর নির্ভর করে। ধরা যাক, একটি সহজ বিক্রিয়ার সমীকরণ হলো :  $A \rightarrow B$ , এ বিক্রিয়া সম্মুখদিকে অগ্রসর হতে থাকলে অর্থাৎ বিক্রিয়ক A থেকে উৎপাদ B সৃষ্টি হতে থাকলে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা কমতে শুরু করে; অপরদিকে উৎপাদের ঘনমাত্রা বাড়তে থাকে। তাই সময়ের সাথে বিক্রিয়ক অথবা উৎপাদের ঘনমাত্রাকে গ্রাফ পেপারে আলেখিত (plotting) করলে চিত্র-৪.১ এর মতো লেখচিত্র পাওয়া যায়।

সময়ের সাথে বিক্রিয়ক অথবা উৎপাদের ঘনমাত্রার পরিবর্তনের লেখ দুটিতে স্পর্শক অঙ্কন করে প্রতি ক্ষেত্রে ঢাল নির্ণয় করে বিক্রিয়ার হার নির্ণয় করা যায়।

লেখচিত্রে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার বক্ররেখা থেকে জানা যায়,  $(t_2 - t_1)$  বা,  $\Delta t$  সময়ের ব্যবধানে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা পরিবর্তিত হয়  $= (c_2 - c_1) = -\Delta c$

$$\therefore \text{বিক্রিয়ার গড় গতিবেগ} = \frac{(c_2 - c_1)}{(t_2 - t_1)} = \frac{-\Delta c}{\Delta t} \text{। অতি ক্ষুদ্র সময়ের ক্ষেত্রে এ মান } \frac{-dc}{dt} \text{ এর সমান।}$$



চিত্র-৪.১ : সময়ের সাথে বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ঘনমাত্রার পরিবর্তন।





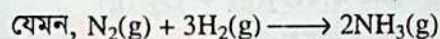


ভিন্ন মোল সংখ্যার বিক্রিয়ক ও উৎপাদের বেলায় বিক্রিয়ার হার: এরূপ বিক্রিয়ার সাধারণ সমীকরণটি হলো নিম্নরূপ:



এক্ষেত্রে সাধারণ বিক্রিয়ার হার নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয় :

$$\text{বিক্রিয়ার হার, } r = -\frac{1}{a} \cdot \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \cdot \frac{d[B]}{dt} = +\frac{1}{c} \cdot \frac{d[C]}{dt} = +\frac{1}{d} \cdot \frac{d[D]}{dt}$$

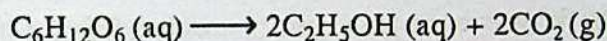


$$\text{এক্ষেত্রে, বিক্রিয়ার হার, } r = -\frac{d[N_2]}{dt} = -\frac{1}{3} \cdot \frac{d[H_2]}{dt} = +\frac{1}{2} \cdot \frac{d[NH_3]}{dt}$$

**MCQ-4.4** : একটি বিক্রিয়কের আদি ঘনমাত্রা  $0.1 \text{ mol L}^{-1}$  থেকে 20 s পরে ঘনমাত্রা  $0.05 \text{ mol L}^{-1}$  হলে ঐ বিক্রিয়ার হার কত?  
(ক)  $1.5 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$   
(খ)  $2.5 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$   
(গ)  $2.05 \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$   
(ঘ)  $2.05 \times 10^{-2} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-8.২ : বিক্রিয়ক ও উৎপাদ থেকে বিক্রিয়ার হার নির্ণয় :

অ্যালকোহলীয় পানীয়ের উপাদান ইথানল যৌগটি গ্যাসোলিনের অকটেন নাশ্বার বৃদ্ধির সহায়ক। এ তরলটি গ্লুকোজের ফারমেন্টেশনে উৎপন্ন হয়। এ বিক্রিয়ার সমতায়ুক্ত সমীকরণটি হলো :



(ক) গ্লুকোজের ফারমেন্টেশন থেকে ইথানলের উৎপাদন হার বের কর।

(খ) বিক্রিয়ার সমীকরণ মতে,  $\Delta[C_2H_5OH]/\Delta t$  ও  $\Delta[C_6H_{12}O_6]/\Delta t$  এর সম্পর্কটি লেখ।

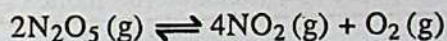
দক্ষতা (Strategy) : বিক্রিয়া হার নির্ণয়ে সমতায়ুক্ত সমীকরণে প্রত্যেক উপাদানের মোল সংখ্যা লক্ষ্য কর।

সমাধান (Solution) : (ক) সমীকরণ মতে, 2 mol ইথানল উৎপন্ন হয় 1 mol গ্লুকোজ থেকে। সুতরাং ইথানল উৎপাদনের হার গ্লুকোজ ফারমেন্টেশন হারের দ্বিগুণ। (খ) যেহেতু ইথানলের উৎপাদন হার হলে  $= \frac{1}{2} \Delta[C_2H_5OH]/\Delta t$  এবং গ্লুকোজের বিয়োজন হার  $-\Delta[C_6H_{12}O_6]/\Delta t$ ; (লক্ষ্য কর বিয়োগ চিহ্ন)।

$$\therefore \text{বিক্রিয়ার হার, } r = \frac{1}{2} \times \frac{\Delta[C_2H_5OH]}{\Delta t} = \frac{-\Delta[C_6H_{12}O_6]}{\Delta t}$$

$$\therefore \text{উভয়ের মধ্যে সম্পর্ক হলো, } \Delta[C_2H_5OH]/\Delta t = -2 \times \Delta[C_6H_{12}O_6]/\Delta t$$

সমাধানকৃত সমস্যা-8.৩ : অধিক তাপে নাইট্রোজেন পেন্টাঅক্সাইড বিয়োজিত হয়ে  $NO_2$  ও  $O_2$  গ্যাস উৎপন্ন হয় :



এ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে যদি 6 সেকেন্ডে  $NO_2$  এর ঘনমাত্রা  $3.0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  বৃদ্ধি পায়, তবে বিক্রিয়ার হার নির্ণয় কর।

সমাধান :

$$\text{বিক্রিয়ার হার} = +\frac{1[NO_2]}{4 \Delta t}$$

$$\text{এক্ষেত্রে } [NO_2] = NO_2\text{-এর ঘনমাত্রা} = 3 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$$

$$= \frac{1}{4} \times \frac{3.0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}}{6 \text{ sec}}$$

$$\Delta t = \text{সময়ের ব্যবধান} = 6 \text{ sec}$$

$$= 1.25 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1} \text{ sec}^{-1}$$

শিক্ষার্থী নিজে কর-8.২ : বিক্রিয়ার হারভিত্তিক :

সমস্যা-8.৩(ক) : বিক্রিয়ার হার কী?

[ব. বো. ২০১৫]

সমস্যা-8.৩(খ) : বিক্রিয়ার হার ও বিক্রিয়ার হার দ্রবকের মধ্যে পার্থক্য কী?

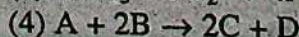
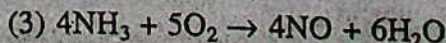
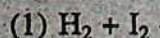
[অনুধাবনভিত্তিক প্রশ্ন]

সমস্যা-8.৪ : সারণি-8.১ ব্যবহার করে 200 – 300 s সময়ের ব্যবধানে সংঘটিত (a)  $N_2O_5$  এর বিয়োজন হার ও

(b)  $O_2$  গ্যাসের উৎপন্ন হার গণনা কর।

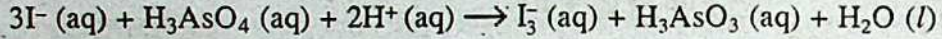
[উ: (a)  $2.2 \times 10^{-5} \text{ M/s}$ . (b)  $1.1 \times 10^{-5} \text{ M/s}$ ]

সমস্যা-8.৫ : নিচের সমীকরণ মতে, সাধারণ বিক্রিয়ার হার লেখ :





সমস্যা-৪.৬ : আর্সেনিক এসিড ( $H_3AsO_4$ ) দ্বারা আয়োডাইড আয়নের জারণ বিক্রিয়ার সমতায়ুক্ত সমীকরণ হলো:



(ক) যদি  $-\Delta[I^-] / \Delta t = 4.8 \times 10^{-4} M/s$  হয়; ঐ সময়ে  $\Delta[I_3^-] / \Delta t$  এর মান কত হবে? [উ:  $1.6 \times 10^{-4} M/s$ ]

(খ) ঐ একই সময়ে  $H^+$  আয়নের বিক্রিয়ার হার কত হবে? [উ:  $3.2 \times 10^{-4} M/s$ ]

সমস্যা-৪.৭।  $N_2O_5 (g)$  এর বিয়োজন সমীকরণ হলো  $2N_2O_5 (g) \rightleftharpoons 4NO_2 (g) + O_2 (g)$

এ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে যদি বিক্রিয়া শুরু হওয়ার ২ মিনিট ১৫ সেকেন্ডে  $NO_2$  এর ঘনমাত্রা  $5.25 \times 10^{-2} molL^{-1}$  বৃদ্ধি পায়। তবে বিক্রিয়াটির হার কত হবে? [উ:  $9.722 \times 10^{-5} molL^{-1}s^{-1}$ ]

সমস্যা-৪.৮ : ইথাইল অ্যাসিটেট ( $CH_3COOC_2H_5$ ) এর অম্লীয় আর্দ্রবিশ্লেষণে ৪০ মিনিট সময়ে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা  $1.0 molL^{-1}$  থেকে  $0.5 molL^{-1}$  হয়। বিক্রিয়াটির হার কত? [উ:  $2.08 \times 10^{-4} molL^{-1}s^{-1}$ ]

সমস্যা-৪.৯ :  $H_2O_2$  এর  $0.1 molL^{-1}$  দ্রবণটি বিয়োজিত হয়ে ৫ মিনিটে  $0.08 molL^{-1}$  দ্রবণে পরিণত হলো। বিক্রিয়াটির হার কত? [উ:  $3.33 \times 10^{-5} molL^{-1}s^{-1}$ ]

সমস্যা-৪.১০ : KI এর দ্রবণে নির্দিষ্ট ঘনমাত্রার  $H_2O_2$  দ্রবণ যোগ করায় ৫ মিনিটে  $1.0 \times 10^{-2} molL^{-1}$  আয়োডিন মুক্ত হয়। এ জারণ বিক্রিয়ার হার কত? [উ:  $3.33 \times 10^{-5} molL^{-1} s^{-1}$ ]

সমস্যা-৪.১১ :  $N_2 (g) + 3H_2 (g) \rightarrow 2NH_3 (g)$ ; এ বিক্রিয়ার বেলায় উৎপন্ন  $NH_3$  এর ঘনমাত্রা ১ মিনিট ৪০ সেকেন্ডে  $3.5 \times 10^{-3} molL^{-1}$  হলে ঐ বিক্রিয়ার হার কত? [উ:  $1.75 \times 10^{-5} molL^{-1} s^{-1}$ ]

সমস্যা-৪.১২ :  $N_2 (g) + 3H_2 (g) \rightarrow 2NH_3 (g)$ ; এ বিক্রিয়ায়  $NH_3$  উৎপাদন হার বা বিক্রিয়ার হার  $4.25 \times 10^{-2} molL^{-1} s^{-1}$  হলে; তখন  $N_2$  ও  $H_2$  কী হারে বিক্রিয়ায় অংশ নেয় তা নির্ণয় কর।

$$[উ:  $d[N_2]/dt = 2.125 \times 10^{-2} molL^{-1}s^{-1}$ ;  $d[H_2]/dt = 6.375 \times 10^{-2} molL^{-1} s^{-1}$ ]$$

সমস্যা-৪.১৩ :  $4NH_3 (g) + O_2 (g) \xrightarrow{900^\circ C, Pt} 4NO (g) + 6H_2O (g)$ ; এক্ষেত্রে NO এর উৎপাদন হার  $5.25 \times 10^{-3} molL^{-1} s^{-1}$  হলে বিক্রিয়ক  $NH_3$  এর বিক্রিয়া হার এবং স্টিমের উৎপাদন হার কত?

$$[উ:  $NH_3 = 5.25 \times 10^{-3} molL^{-1} s^{-1}$  এবং স্টিম =  $7.875 \times 10^{-3} molL^{-1} s^{-1}$ ]$$

সমস্যা-৪.১৪ :  $2A \rightarrow 3B + C$  বিক্রিয়াটির বেলায়, B উৎপাদিত  $2.75 \times 10^{-2} molL^{-1} s^{-1}$  হারে উৎপন্ন হলে A ও C এর সাপেক্ষে বিক্রিয়া হার বের কর। [উ:  $A = 1.8332 \times 10^{-2} molL^{-1} s^{-1}$ ;  $C = 9.166 \times 10^{-3} molL^{-1} s^{-1}$ ]

#### অধিক জেনে নাও :

রাসায়নিক গতিবিদ্যায় (i) বিক্রিয়ার হার ও (ii) বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক এর সাথে (iii) বিক্রিয়ার ক্রম (Order of reaction) নামে একটি প্রয়োজনীয় 'পদ' (term) আছে। বিক্রিয়ার ক্রমের ওপর বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের একক নির্ভর করে।

বিক্রিয়ার ক্রমের সংজ্ঞা : বিক্রিয়ার হার নির্ণয়ের পরীক্ষাভিত্তিক ফলাফল অনুসারে ঐ বিক্রিয়ার হার সমীকরণে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রাসমূহের ওপর যে সব ঘাত থাকে, তাদের সমষ্টিতে ঐ বিক্রিয়ার ক্রম বলে।

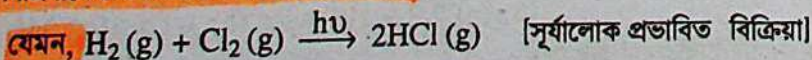
বিক্রিয়ার ক্রম নির্ণয় : ধরা যাক, একটি বিক্রিয়ার সাধারণ সমীকরণ হলো  $aA + bB \rightarrow$  উৎপাদ

পরীক্ষাভিত্তিক ফলাফল অনুসারে, বিক্রিয়ার হার =  $k \times [A]^x \times [B]^y$

ধরি,  $x + y = n$ ; সুতরাং বিক্রিয়াটির ক্রম হলো =  $n$ ।

(১)  $n = 0$  হলে (পরীক্ষার ফলাফল মতে), বিক্রিয়াটিকে শূন্যক্রম (zero order) বিক্রিয়া বলে। শূন্যক্রম বিক্রিয়ার

হার বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার ওপর নির্ভরশীল নয়।

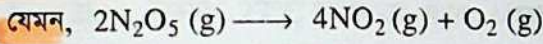


$$\therefore \text{বিক্রিয়ার হার} = k \times [H_2]^0 \times [Cl_2]^0 = k,$$

$$\therefore k \text{ এর একক} = molL^{-1}.s^{-1} \text{ (হারের একক)}$$



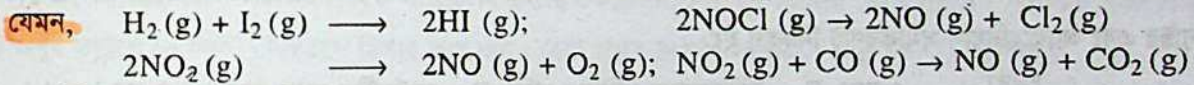
(২)  $n = 1$  হলে (পরীক্ষার ফলাফল মতে), বিক্রিয়াটিকে প্রথম ক্রম (1st order) বিক্রিয়া বলে। প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার হার কোনো একটি বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার ১ম ঘাতের ওপর নির্ভরশীল হয়।



$\therefore$  বিক্রিয়ার হার =  $k \times [N_2O_5]^1$ ;

$\therefore$   $k$  এর একক =  $\frac{\text{বিক্রিয়ার হারের একক}}{[N_2O_5] \text{ এর একক}} = \frac{M \cdot s^{-1}}{M} = s^{-1}$

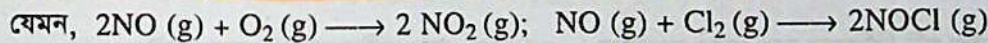
(৩)  $n = 2$  হলে (পরীক্ষার ফলাফল মতে), বিক্রিয়াটিকে দ্বিতীয় ক্রম (2nd order) বিক্রিয়া বলে। দ্বিতীয় ক্রম বিক্রিয়ার হার একটি বা দুটি বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার ২য় ঘাতের ওপর নির্ভরশীল হয়।



$\therefore$  বিক্রিয়ার হার =  $k \times [H_2]^1 \times [I_2]^1$ ;

$\therefore$   $k$  এর একক =  $\frac{\text{বিক্রিয়ার হারের একক}}{[H_2] \times [I_2] \text{ এর একক}} = \frac{M \cdot s^{-1}}{M^2} = M^{-1} \cdot s^{-1}$

(৪)  $n = 3$  হলে (পরীক্ষার ফলাফল মতে), বিক্রিয়াটিকে তৃতীয় ক্রম (3rd order) বিক্রিয়া বলে। তৃতীয় ক্রম বিক্রিয়ার হার একটি বা দুটি বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার ৩য় ঘাতের ওপর নির্ভরশীল হয়।



$\therefore$  বিক্রিয়ার হার =  $k \times [NO]^2 \times [O_2]^1$ ;

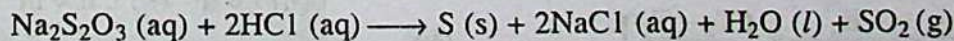
$\therefore$   $k$  এর একক =  $\frac{\text{বিক্রিয়ার হারের একক}}{[NO]^2 \times [O_2] \text{ এর একক}} = \frac{M \cdot s^{-1}}{M^3} = M^{-2} \cdot s^{-1}$

### ৪.৩.২ বিক্রিয়ার হারের ওপর প্রভাব বিস্তারকারী নিয়ামকসমূহ

#### Factors that Affect the Rate of a Reaction

একই বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ার হারের ওপর প্রভাব বিস্তারকারী প্রধান নিয়ামকসমূহ হলো তাপমাত্রা, চাপ ও ঘনমাত্রা।

(১) তাপমাত্রা (Temperature) : সাধারণত তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে বিক্রিয়ার হারও বৃদ্ধি পায়। যেমন, সোডিয়াম থায়োসালফেট ( $Na_2S_2O_3$ ) এবং  $HCl$  এসিডের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে দেখা যায়  $20^\circ C$  তাপমাত্রায় সালফারের অধঃক্ষেপণ হার যতো হয়;  $30^\circ C$  তাপমাত্রায় সালফারের অধঃক্ষেপণ হার এর দ্বিগুণের বেশি হয়।



বিক্রিয়ার হারের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব ও এর ব্যাখ্যা (Impact of Temp. on Reaction Rate) : 1889 খ্রিষ্টাব্দে প্রখ্যাত বিজ্ঞানী এস. অ্যারহেনিয়াস, (S. Arrhenius) সর্বপ্রথম বিক্রিয়ার হারের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব অনুধাবন করেন। তিনি প্রমাণ করেন যে, সাধারণভাবে  $10^\circ C$  তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য প্রায় সব বিক্রিয়ার হার দ্বিগুণ বা তিনগুণ বৃদ্ধি পায়। এর কারণ হলো—

- \* (i) তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে বিক্রিয়ক অণু বা আয়নগুলোর গতিবেগ বৃদ্ধি পায়।
- \* (ii) অণুগুলোর মধ্যে সংঘর্ষের হার বৃদ্ধি পায়।
- \* (iii) অধিকতর সংখ্যক বিক্রিয়ক অণু বিক্রিয়ার জন্য প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তি লাভ করে বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করে থাকে।

(ক) সক্রিয়ণ শক্তি (activation energy) : কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো বিক্রিয়ার বিক্রিয়কের একটি অংশ পারস্পরিক আণবিক সংঘর্ষ দ্বারা বা অন্য কোনো উপায়ে বিক্রিয়কের গড় শক্তি অপেক্ষা যে পরিমাণ অধিক শক্তি লাভ করে বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণের উপযুক্ততা অর্জন করে, তাকে ঐ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি বলে। বিক্রিয়কের যে অণুসমূহ উক্ত সক্রিয়ণ শক্তি লাভ করে তাদেরকে বলা হয় সক্রিয় অণু (activated molecules)। সক্রিয় অণুগুলোই কেবল বিক্রিয়ায় অংশ নিতে পারে এবং অবশিষ্ট অণুগুলো সক্রিয়ণকৃত না হওয়া পর্যন্ত বিক্রিয়ায় অংশ নিতে পারে না।



বিজ্ঞানী অ্যারহেনিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সক্রিয় শক্তি ও বিক্রিয়ার হারের বৃদ্ধি প্রকাশক একটি গাণিতিক সমীকরণ উদ্ভাবন করেন; এটি অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ নামে পরিচিত। অ্যারহেনিয়াস সমীকরণটি নিম্নরূপ :

$$k = p \cdot Z \cdot e^{-E_a/RT}$$

rate constant হার ধ্রুবক      steric factor স্থানিক দিক বিন্যাস      collision rate সংঘর্ষ হার      fraction of molecules with activated energy to react সক্রিয় শক্তি প্রাপ্ত মোট অণুর ভগ্নাংশ

আবার  $p \times z$  এ দুটি রাশিকে একত্রে  $A$  প্রতীক দ্বারা প্রকাশ করা হয়। তখন  $A$  কে বলা হয় অ্যারহেনিয়াস ফ্রিকুয়েন্সি ফ্যাক্টর এবং অ্যারহেনিয়াস সমীকরণটি নিম্নরূপ হয়—

$$k = A \cdot e^{-E_a/RT} \quad \text{এখানে, } E_a = \text{বিক্রিয়কের সক্রিয় শক্তি, } R = \text{সার্বজনীন গ্যাস ধ্রুবক, } 8.3 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$$

$$T = \text{কেলভিন তাপমাত্রা}$$

অ্যারহেনিয়াস সমীকরণের উভয় পাশে natural logarithm নিয়ে পাই,

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad \dots (১) \quad \text{অথবা, } \log k = \log A - \frac{E_a}{2.303 RT}$$

$T_1$  ও  $T_2$  তাপমাত্রায় যদি বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক যথাক্রমে  $k_1$  ও  $k_2$  হয়; তবে সমীকরণ (১) থেকে পাই,

$$\ln k_1 = \ln A - E_a/RT_1 \quad \dots (২); \quad \ln k_2 = \ln A - E_a/RT_2 \quad \dots (৩)$$

এখন (৩) নং সমীকরণ থেকে (২) নং সমীকরণ বিয়োগ করে পাই—

$$\ln k_2 - \ln k_1 = -E_a/RT_2 + E_a/RT_1$$

$$\text{বা, } \ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{-E_a}{R} \left[ \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right] \quad \dots (৪)$$

$$\text{বা, } \ln \frac{k_2}{k_1} = -\frac{E_a}{R} \times \left[ \frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \right] \quad \dots (৫)$$

$$\text{বা, } \log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303 R} \times \left[ \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right] \quad \dots (৬)$$

(খ) দুই ভিন্ন তাপমাত্রায় বিক্রিয়া হারের তুলনা :

পরীক্ষার মাধ্যমে  $27^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় নির্ণীত অধিকাংশ বিক্রিয়ার সক্রিয় শক্তির মান,  $E_a = 55 \text{ kJmol}^{-1}$  হয়। মনে করি,  $27^\circ\text{C}$  ও  $37^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় কোনো বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক যথাক্রমে  $k_1$  ও  $k_2$ । এক্ষেত্রে  $10^\circ\text{C}$  তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে ঐ বিক্রিয়ার হারের তুলনা করা হলো—

অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ মতে,

$$\log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303 R} \times \left[ \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right]$$

$$\therefore \log \frac{k_2}{k_1} = \frac{55000 \text{ J mol}^{-1} \times (310 - 300) \text{ K}}{2.303 \times 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 300 \times 310 \text{ K}^2}$$

$$\therefore \log \frac{k_2}{k_1} = 0.30887$$

**MCQ-4.5 :** রাসায়নিক বিক্রিয়ার হারের ওপর প্রভাব আছে—

(i) তাপমাত্রা (ii) ঘনমাত্রা (iii) চাপের

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii

(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii



$$\therefore \frac{k_2}{k_1} = \log^{-1}(0.30887) = 2.036 \approx 2 \text{ (প্রায়)}$$

$k_2 = 2k_1$ ; সুতরাং  $27^\circ\text{C}$  তাপমাত্রা থেকে  $10^\circ\text{C}$  তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে প্রায় সব বিক্রিয়ার হার দ্বুগুণ হয়ে থাকে।

উদাহরণ :  $10^\circ\text{C}$  তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে কোনো বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক অণুসমূহের কীরূপ সক্রিয়ণ শক্তি লাভ করে তা গণনা করা হলো।

$27^\circ\text{C}$ -এ কোনো বিক্রিয়ার নির্ণীত অণুসমূহের প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তি,  $E_a = 50 \text{ kJmol}^{-1}$  বা,  $50,000 \text{ Jmol}^{-1}$ ।

সুতরাং অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ মতে সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে  $300 \text{ K}$  তাপমাত্রায়  $50 \text{ kJmol}^{-1}$  সক্রিয়ণ শক্তি প্রাপ্ত মোট অণুর ভগ্নাংশ ( $e^{-E_a/RT}$ ) নিম্নরূপে হিসাব করা যায়। মোট অণুর ভগ্নাংশ ফ্যাক্টর,  $f = e^{-E_a/RT}$  ধরা হয়।

$$\therefore f = e^{-E_a/RT} = e^{\frac{-50,000}{8.3 \times 300}} = e^{-20.08} = 1.90 \times 10^{-9} = \frac{19}{10^{10}}$$

অর্থাৎ  $300 \text{ K}$  তাপমাত্রায়  $10^{10}$  টি অণুর মধ্যে 19টি অণু ঐ পরিমাণ সক্রিয়ণ শক্তি পেয়ে বিক্রিয়ায় অংশ নেয়। আবার  $310 \text{ K}$  তাপমাত্রায় একই বিক্রিয়ায় ঐ একই সক্রিয়ণ শক্তি প্রাপ্ত মোট অণুর ভগ্নাংশ ফ্যাক্টর হলো :

$$f = e^{-E_a/RT} = e^{\frac{-50,000}{8.3 \times 310}} = e^{-19.48} = 3.63 \times 10^{-9} = \frac{36.3}{10^{10}}$$

অর্থাৎ  $310 \text{ K}$  তাপমাত্রায়  $10^{10}$  টি অণুর মধ্যে 36টি অণু ঐ সক্রিয়ণ শক্তি পেয়ে বিক্রিয়ায় অংশ নেয়।

সুতরাং  $10 \text{ K}$  বা  $10^\circ\text{C}$  তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে একই বিক্রিয়ায় দ্বিগুণ সংখ্যক বিক্রিয়ক অণু সক্রিয়ণ শক্তি লাভ করে এবং বিক্রিয়ার হার প্রায় দ্বিগুণ বৃদ্ধি করেছে।

(গ) লেখচিত্র দ্বারা সক্রিয়ণ শক্তির গণনা :

অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ অনুসারে,

$$k = A e^{-\frac{E_a}{RT}} \text{ বা, } \ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

$$\text{বা, } 2.303 \log k = 2.303 \log A - \frac{E_a}{RT}$$

$$\text{বা, } \log k = -\left(\frac{E_a}{2.303R}\right) \frac{1}{T} + \log A \dots (৬)$$

(৬) নং সমীকরণটি সরলরেখার সমীকরণ,  $y = mx + c$  নির্দেশ করে।

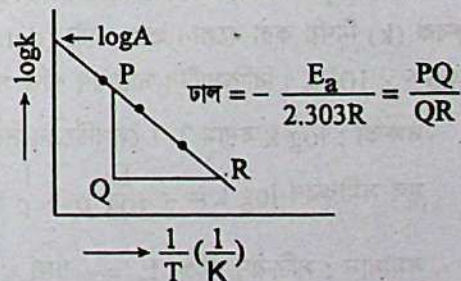
সুতরাং  $\log k$  বনাম  $\frac{1}{T}$  এর লেখচিত্র অঙ্কন করলে একটি সমরেখা পাওয়া যায়, যার ঢাল  $= -\frac{E_a}{2.303R}$  হয়।

$$* \text{ এক্ষেত্রে ঢালের একক} = \frac{-E_a \text{ এর একক}}{R \text{ এর একক}} = \frac{-\text{J. mol}^{-1}}{\text{J. mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}} = -K \text{ (কেলভিন)}$$

\* লক্ষ্য কর, অ্যারহেনিয়াস সমীকরণের লেখচিত্রের ঢাল হলো ঋণাত্মক কেলভিন (K); কিন্তু সক্রিয়ণ শক্তি ( $E_a$ ) এর মান ধনাত্মক। এ থেকে বোঝা যায়, কোনো শ্রদস্ত তাপমাত্রা বৃদ্ধির ক্ষেত্রে কোনো নির্দিষ্ট বিক্রিয়ার জন্য সক্রিয়ণ শক্তি যতটাই বেশি হবে, লেখচিত্রে ঢাল ততটাই খাড়া (steeper) হবে এবং বিক্রিয়ার হার দ্বুগুণ ততটাই বেশি হবে।

$$* \log k \text{ বনাম } T^{-1} \text{ লেখচিত্রের বেলায়, যখন ঢাল} = \frac{-E_a}{2.303R} \text{ হয়, তখন } E_a = -2.303R \times \text{ঢালের মান (k)}$$

$$* \ln k \text{ বনাম } T^{-1} \text{ লেখচিত্রের বেলায়, যখন ঢাল} = \frac{-E_a}{R} \text{ হয়, তখন } E_a = -R \times \text{ঢালের মান (k)}$$



চিত্র-৪.২ :  $\log k$  বনাম  $\frac{1}{T}$  এর লেখচিত্র



\* কোনো বিক্রিয়ার সক্রিয় শক্তি ( $E_a$ ) নির্ণয় করতে হলে প্রথমে বিভিন্ন তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবকের ( $k$ ) মান নির্ণয় করে  $\log k$  বনাম  $\frac{1}{T}$  এর লেখচিত্র অঙ্কন করা হয়। এর ফলে যে সরলরেখা পাওয়া যায়। চিত্রে এর ঢাল থেকে বিক্রিয়াটির সক্রিয় শক্তি গণনা করা হয়।

\* অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ শুধু সমসত্ত্ব গ্যাসীয় বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে নয়; বরং দ্রবণে সংঘটিত বিক্রিয়া অথবা অসমসত্ত্ব বিক্রিয়ার ক্ষেত্রেও এটি সমভাবে প্রযোজ্য।

সমাধানকৃত সমস্যা-8.8 : গ্যাসীয় অবস্থায় HI এর বিয়োজন বিক্রিয়ায় ভিন্ন ভিন্ন কেলভিন তাপমাত্রায় ( $T$ ) হার ধ্রুবক ( $k$ ) নির্ণয় শেষে  $\ln k$  বনাম  $T^{-1}$  লেখচিত্র (গ্রাফ) অঙ্কন করে প্রাপ্ত সরলরেখার ঢাল পাওয়া গেল  $-2.24 \times 10^4 K$  বিক্রিয়াটির সক্রিয় শক্তি কতো?

দক্ষতা :  $\ln k$  বনাম  $T^{-1}$  লেখচিত্রের বেলায় সরলরেখার ঢাল  $= \frac{-E_a}{R}$  হয়। কারণ তখন,

$$\text{মূল সমীকরণ } \ln k = \frac{-E_a}{R} \times \frac{1}{T} + \ln A$$

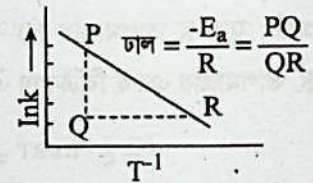
সমাধান : সক্রিয় শক্তি,  $E_a = -\text{ঢাল} \times R$

$$\therefore E_a = -(-2.24 \times 10^4 K) \times 8.314 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{বা, } E_a = 18.62336 \times 10^4 \text{ Jmol}^{-1}$$

$$\text{বা, } E_a = 186.2336 \text{ kJmol}^{-1}$$

$$\therefore \text{বিক্রিয়াটির সক্রিয় শক্তি হলো, } E_a = 186.2336 \text{ kJmol}^{-1}$$



প্রশ্নমতে, ঢাল  $= -2.24 \times 10^4 K$   
 $R = 8.314 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-8.৫ : গ্যাসীয় অবস্থায়  $N_2O_5$  এর বিয়োজন বিক্রিয়ায় ভিন্ন ভিন্ন কেলভিন তাপমাত্রায় ( $T$ ) হার ধ্রুবক ( $k$ ) নির্ণয় করা হলো। প্রাপ্ত ডাটা (data) থেকে  $\log k$  বনাম  $T^{-1}$  লেখচিত্র অঙ্কন করে প্রাপ্ত সরলরেখার ঢাল হয়  $-96.5 \times 10^2 K$ । বিক্রিয়াটির সক্রিয় শক্তি গণনা কর।

দক্ষতা :  $\log k$  বনাম  $T^{-1}$  লেখচিত্রের সরলরেখার ঢাল  $= \frac{-E_a}{2.303 R}$  হয়। কারণ তখন,

$$\text{মূল সমীকরণ } \log k = \frac{-E_a}{2.303 R} \times \frac{1}{T} + \log A$$

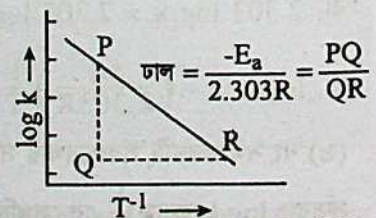
সমাধান : সক্রিয় শক্তি,  $E_a = -\text{ঢাল} \times 2.303 R$

$$\therefore E_a = -(-96.5 \times 10^2 K) \times 2.303 \times 8.314 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{বা, } E_a = 1847.7 \times 10^2 \text{ Jmol}^{-1}$$

$$\text{বা, } E_a = 184.77 \text{ kJmol}^{-1}$$

$$\therefore \text{সক্রিয় শক্তি, } E_a = 184.77 \text{ kJmol}^{-1}$$



প্রশ্নমতে, ঢাল  $= -96.5 \times 10^2 K$   
 $R = 8.314 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-8.৬ : গ্যাসীয় অবস্থায় HI এর বিয়োজন হার ধ্রুবক  $283^\circ C$  ও  $508^\circ C$ -এ যথাক্রমে,  $k_1 = 3.52 \times 10^{-7} (M^{-1}s^{-1})$  এবং  $k_2 = 3.95 \times 10^{-2} (M^{-1}s^{-1})$  হয়।  $2HI(g) \longrightarrow H_2(g) + I_2(g)$

(ক) প্রদত্ত তাপমাত্রাভেদে হার ধ্রুবকের মান থেকে বিক্রিয়ার সক্রিয় শক্তি বের কর।

(খ)  $283^\circ C$ -এ হার ধ্রুবক ও (ক) থেকে নির্ণীত  $E_a$  এর মান থেকে  $293^\circ C$  এ বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক ( $k_3$ ) বের কর।

দক্ষতা (Strategy) : অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ,  $\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{-E_a}{R} \times \left[ \frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \right]$

এর মধ্যে  $T_1$  ও  $T_2$  এর সংশ্লিষ্ট মান বসিয়ে  $E_a$  (সক্রিয় শক্তি) নির্ণয় সম্ভব।



সমাধান (Solution) : (ক)  $k_1 = 3.52 \times 10^{-7} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$  এবং  $T_1 = 556\text{K}$  ( $283^\circ\text{C}$ )।

$k_2 = 3.95 \times 10^{-2} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$  এবং  $T_2 = 781\text{K}$  ( $508^\circ\text{C}$ ).  $R = 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ .

$$\therefore \ln \frac{3.95 \times 10^{-2} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}}{3.52 \times 10^{-7} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}} = \frac{-E_a}{8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}} \times \left( \frac{556 - 781}{556 \times 781} \right) \text{ K}^{-1}$$

$$\text{বা, } 11.628 = \frac{-E_a \times \text{mol}}{8.314 \text{ J}} \times (-5.18 \times 10^{-4})$$

$$\text{বা, } E_a = 1.87 \times 10^5 \text{ J/mol} = 187 \text{ kJ/mol.}$$

(খ) অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণে  $k_1 = 3.52 \times 10^{-7} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ,  $T_1 = 556\text{K}$

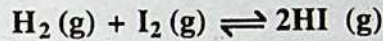
$E_a = 1.87 \times 10^5 \text{ J/mol}$  এবং  $T_3 = 566 \text{ K}$  বসিয়ে  $T_3$  তাপমাত্রায়  $k_3$  বের করতে হবে।

$$\ln \frac{k_3}{3.52 \times 10^{-7} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}} = \frac{-1.87 \times 10^5 \text{ Jmol}^{-1}}{8.314 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}} \times \frac{(556 - 566)}{556 \times 566} \text{ K}^{-1} = 0.715$$

$$\text{উভয় দিকে অ্যান্টিলন নিয়ে পাই : } \frac{k_3}{3.52 \times 10^{-7} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}} = e^{0.715} = 2.04; \therefore k_3 = 7.18 \times 10^{-7} \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

মন্তব্য : লক্ষ কর এক্ষেত্রে  $10^\circ\text{C}$  তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে বিক্রিয়াটির 'হার প্রবক' এর মান দ্বিগুণ হয়েছে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭ :  $\text{H}_2$  ও  $\text{I}_2$  এর বিক্রিয়ায়  $\text{HI}$  উৎপাদনের সমীকরণটি হলো-



$227^\circ\text{C}$  ও  $257^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির বেগ প্রবকের মান যথাক্রমে  $1.95 \times 10^{-4} \text{ L. mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  ও  $1.75 \times 10^{-3} \text{ L. mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  হলে বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তির মান গণনা কর।

দক্ষতা : অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ,  $\log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R} \times \left[ \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right]$  ব্যবহৃত হবে।

$$\text{সমাধান : } \log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R} \left( \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right)$$

$$\therefore \log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R} \left( \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right)$$

$$\log \frac{1.75 \times 10^{-3}}{1.95 \times 10^{-4}} = \frac{E_a \times 10^3}{2.303 \times 8.314} \left( \frac{530 - 500}{500 \times 530} \right)$$

$$\therefore E_a = 161.18 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

$$\therefore \text{বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি} = 161.18 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

এখানে,  $k_1 = 227^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় বেগ প্রবকের মান  
 $= 1.95 \times 10^{-4} \text{ L. mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

$k_2 = 257^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় বেগ প্রবকের মান  
 $= 1.75 \times 10^{-3} \text{ L. mol}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

$T_1 =$  প্রাথমিক তাপমাত্রা  $= (227 + 273)\text{K} = 500\text{K}$

$T_2 =$  শেষ তাপমাত্রা  $= (257 + 273)\text{K} = 530\text{K}$

$R =$  মোলার গ্যাস প্রবক  $= 8.314 \text{ Jmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$= 8.314 \times 10^{-3} \text{ kJmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$E_a =$  সক্রিয়ণ শক্তি  $= ?$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৮ :  $45^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় একটি বিক্রিয়ার বেগ প্রবক  $35^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় এর বেগ প্রবকের দ্বিগুণ হলে বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি কত?

দক্ষতা : অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ ব্যবহৃত হবে।

$$\text{সমাধান : } \log \frac{k_1}{k_2} = \frac{-E_a}{2.303R} \left[ \frac{T_2 - T_1}{T_2 T_1} \right]$$

$$\text{বা, } \log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R} \left[ \frac{T_2 - T_1}{T_2 T_1} \right]$$

$$\text{বা, } \log 2 = \frac{E_a}{2.303 \times 8.314} \times \frac{10}{318 \times 308}$$

এখানে,  $T_1 = (35 + 273) = 308\text{K}$

এবং  $T_2 = (45 + 273) = 318\text{K}$

$R = 8.314 \text{ Jmol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

মনে করি,  $T_1$  তাপমাত্রায় বেগ প্রবক  $= k_1$

এবং  $T_2$  তাপমাত্রায় বেগ প্রবক  $= 2k_1$

$E_a = ?$



$$\text{বা, } E_a = \frac{0.301 \times 2.303 \times 8.314 \times 318 \times 308}{10}$$

$$\text{বা, } E_a = 56447.96 \text{ J/mol ; } \therefore E_a = 56.45 \text{ kJ/mol}$$

$$\therefore \text{সক্রিয়ণ শক্তি, } E_a = 56.45 \text{ kJ/mol}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-8.৯ : নাইট্রোজেন পেন্টাঅক্সাইডের বিয়োজন ( $2\text{N}_2\text{O}_5 \rightarrow 4\text{N}_2\text{O}_4 + \text{O}_2$ ) হার ধ্রুবকের মান  $25^\circ\text{C}$  ও  $65^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় যথাক্রমে  $3.46 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  ও  $4.87 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ । এ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তির মান কত হবে? ( $R = 8.314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$ )

দক্ষতা : অ্যারহেনিয়াস সমীকরণ ব্যবহৃত হবে।

$$\text{সমাধান : } \log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303 R} \left( \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right)$$

$$\text{বা, } \log \frac{4.87 \times 10^{-3}}{3.46 \times 10^{-5}} = \frac{E_a}{2.303 \times 8.314} \left( \frac{338 - 298}{298 \times 338} \right)$$

$$\text{বা, } \log 1.407 \times 10^2 = \frac{E_a}{19.147} \times \frac{40}{1.007 \times 10^5}$$

$$\text{বা, } 2.1482 = E_a \times 2.07459 \times 10^{-5}$$

$$\text{বা, } E_a = \frac{2.1482}{2.07459 \times 10^{-5}} = 10.3549 \times 10^4 \text{ Jmol}^{-1}$$

$$\therefore E_a = 10.3549 \times 10^4 \text{ Jmol}^{-1} = 103.549 \text{ kJmol}^{-1}$$

$$\text{এখানে, } T_1 = (25 + 273) = 298 \text{ K}$$

$$\text{এবং } T_2 = (65 + 273) = 338 \text{ K}$$

$$k_1 = 3.46 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

$$k_2 = 4.87 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$$

$$R = 8.314 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

$$E_a = ?$$

শিক্ষার্থীর কাজ-8.৩ : অ্যারহেনিয়াস সমীকরণভিত্তিক :

সমস্যা-8.১৫ (ক) : বিজ্ঞানী অ্যারহেনিয়াস প্রমাণ করেন যে,  $10^\circ\text{C}$  তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য বিক্রিয়ার হার দ্বিগুণ বৃদ্ধি পায়। এর কারণ ব্যাখ্যা কর। [অনুধাবনভিত্তিক]

সমস্যা-8.১৫ (খ) : অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ  $k = p.z.e^{-E_a/RT}$  এর ক্ষেত্রে তাপমাত্রা  $T_1$  ও  $T_2$  এর বেলায় হার ধ্রুবক  $k_1$  ও  $k_2$  ধরে  $\ln \frac{k_2}{k_1} = \frac{-E_a}{R} \times \left[ \frac{T_1 - T_2}{T_1 \times T_2} \right]$  সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা কর। [অনুধাবনভিত্তিক]

সমস্যা-8.১৫ (গ) : একটি বিক্রিয়ার ভিন্ন ভিন্ন তাপমাত্রায় বেগ ধ্রুবকের মান লেখচিত্র  $\log k$  বনাম  $T^{-1}$  এর বিপরীতে স্থাপন করে যে সরলরেখা পাওয়া যায় তার ঢাল  $-2.872 \times 10^3 \text{ K}$  হয়। বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তির মান নির্ণয় কর। [উ:  $55 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ]

সমস্যা-8.১৫ (ঘ) :  $\text{Ag}_2\text{CO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ag}_2\text{O}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$  এ বিক্রিয়ার বিভিন্ন তাপমাত্রায় বেগ ধ্রুবকের মান নির্ণয় করে  $\log k$  বনাম  $T^{-1}$  স্থাপন করে লেখচিত্র অঙ্কন করলে যে সরলরেখা পাওয়া যায় তার ঢাল  $-82 \text{ K}$ । বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তির মান গণনা কর। [উ:  $1.57 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ]

সমস্যা-8.১৫ (ঙ) :  $2 \text{HI}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$  এ বিক্রিয়ায় বিভিন্ন তাপমাত্রায় বেগ ধ্রুবকের মান নির্ণয় করে  $\ln k$  বনাম  $T^{-1}$  এর বিপরীতে অঙ্কিত লেখচিত্রে যে সরলরেখা পাওয়া যায় তার ঢাল  $-2.24 \times 10^4 \text{ K}$  হয়। বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি গণনা কর। [উ:  $186.23 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ]

সমস্যা-8.১৬ :  $\text{N}_2\text{O}_5$  এর বিয়োজন হার ধ্রুবক  $25^\circ\text{C}$  ও  $55^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় যথাক্রমে  $3.7 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

এবং  $1.7 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  হয়।  $2\text{N}_2\text{O}_5(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$

(ক) এ বিক্রিয়ায় প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তি  $\text{kJ/mol}$  এককে কত হবে? [উ:  $103.67 \text{ kJ/mol}$ ]

(খ)  $35^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক কত হবে? [উ:  $1.44 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ ]

সমস্যা-8.১৭ (ক) :  $\text{HI}$  এর বিয়োজন হার ধ্রুবক  $500 \text{ K}$  ও  $600 \text{ K}$  তাপমাত্রায় যথাক্রমে  $9.51 \times 10^{-9} \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$  ও  $1.10 \times 10^{-5} \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}\text{s}^{-1}$  হয়। এ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি  $\text{kJ/mol}$  এককে কত হবে?

[উ:  $1.76 \times 10^2 \text{ kJ/mol}$ ]



সমস্যা-৪.১৭ (খ) :  $2\text{HI}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$  এর বিয়োজনের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে  $275^\circ\text{C}$  ও  $500^\circ\text{C}$  তাপমাত্রার হার ধ্রুবকের মান যথাক্রমে  $3.50 \times 10^{-7} \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$  ও  $3.92 \times 10^{-2} \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$ । বিয়োজনের সক্রিয়ণ শক্তির মান নির্ণয় কর। [উ:  $182.019 \text{ kJ mol}^{-1}$ ]

সমস্যা-৪.১৭ (গ) :  $2\text{N}_2\text{O}_5(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$  এ বিয়োজন বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে  $27^\circ\text{C}$  ও  $37^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির বেগ ধ্রুবকের মান যথাক্রমে  $2.25 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  ও  $4.75 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  হলে বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তির মান নির্ণয় কর। [উ:  $57.775 \text{ kJ mol}^{-1}$ ]

সমস্যা-৪.১৮ : বিক্রিয়া  $2\text{NOCl}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$  এর  $E_a$  হলো  $1.0 \times 10^2 \text{ kJ/mol}$  এবং  $500\text{K}$  তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক হলো  $0.286 \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$ । তবে  $490 \text{ K}$  তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির হার ধ্রুবক কত হবে? [উ:  $0.17505 \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$ ]

সমস্যা-৪.১৯ :  $45^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় কোনো বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক  $35^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় হার ধ্রুবকের দ্বিগুণ হলে বিক্রিয়াটির সক্রিয়ণ শক্তি কত? ( $R = 8.314 \text{ JK}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ ) [উ:  $56.44 \text{ kJ mol}^{-1}$ ]

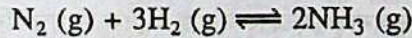
সমস্যা-৪.২০ :  $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$ ; এ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে  $45^\circ\text{C}$  ও  $85^\circ\text{C}$ -এ বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মান যথাক্রমে  $2.25 \times 10^{-5} \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$  ও  $3.75 \times 10^{-5} \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$  হয়। এ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি কত? [উ:  $12.1 \text{ kJ mol}^{-1}$ ]

সমস্যা-৪.২১ :  $\text{NO}_2(\text{g}) + \text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{NO}(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$ ; এ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে  $700 \text{ K}$  ও  $800 \text{ K}$  তাপমাত্রায় বিক্রিয়ার হার ধ্রুবকের মান যথাক্রমে  $1.3 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$  ও  $23.0 \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$  হয়। এ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি  $\text{kJ/mol}$  এককে কত? [উ:  $133.76 \text{ kJ/mol}$ ]

## (২) বিক্রিয়ার হারের ওপর চাপের প্রভাব (Affect of Pressure on Reaction Rate)

গ্যাসীয় মাধ্যমে বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে চাপ বৃদ্ধি করলে তখন গ্যাসের আয়তন সঙ্কুচিত হয়। এতে অল্প আয়তনে তুলনামূলকভাবে বেশি সংখ্যক গ্যাসীয় অণু থাকে। ফলে পদার্থের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায়। ঘনমাত্রা বৃদ্ধির সাথে গ্যাসের অণুগুলোর মধ্যে সংঘর্ষের মাত্রা বৃদ্ধি পায়। তাই বিক্রিয়ার হারও বৃদ্ধি পায়।

হেবার সংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় অ্যামোনিয়া গ্যাসের উৎপাদন সমীকরণ নিম্নরূপ :



এক্ষেত্রে ভর ক্রিয়া সূত্র মতে আংশিক চাপ প্রয়োগ করে সাম্যাবস্থায় পাই :

$$\therefore k_p = \frac{(P_{\text{NH}_3})^2}{P_{\text{N}_2} \times (P_{\text{H}_2})^3}, \text{ এখানে } P_{\text{NH}_3}, P_{\text{N}_2}, P_{\text{H}_2}, \text{ হলো সংশ্লিষ্ট উপাদানের আংশিক চাপ [সাম্যাবস্থায়]}$$

মনে করি, সাম্যাবস্থায় তাদের মোল ভগ্নাংশ হলো  $X_{\text{NH}_3}$ ,  $X_{\text{N}_2}$ ,  $X_{\text{H}_2}$  এবং মোট চাপ হলো  $P$ ; তখন প্রত্যেকের আংশিক চাপ = মোল ভগ্নাংশ  $\times$  মোট চাপ,

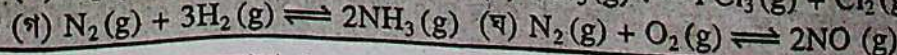
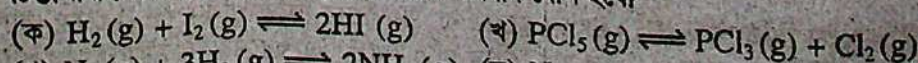
$$\therefore P_{\text{N}_2} = X_{\text{N}_2} \times P; P_{\text{H}_2} = X_{\text{H}_2} \times P; P_{\text{NH}_3} = X_{\text{NH}_3} \times P;$$

$$\therefore k_p = \frac{(X_{\text{NH}_3} \times P)^2}{X_{\text{N}_2} \times P \times (X_{\text{H}_2} \times P)^3} = \frac{(X_{\text{NH}_3})^2}{X_{\text{N}_2} \times (X_{\text{H}_2})^3 \times P^2}$$

অর্থাৎ  $k_p$  এর সমীকরণে  $P^{-2}$  যেমন  $\text{atm}^{-2}$  বা  $\text{N}^{-2}\text{m}^4$  জড়িত [ $\therefore$  চাপের একক =  $1\text{Pa} = 1\text{Nm}^{-2}$ ]

যেহেতু  $k_p$  হলো ধ্রুবক; তাই চাপ ( $P$ ) বৃদ্ধির সাথে অ্যামোনিয়ার মোল ভগ্নাংশ  $X_{\text{NH}_3}$  অবশ্যই বৃদ্ধি পেতে হবে এবং নাইট্রোজেন ও হাইড্রোজেনের মোল ভগ্নাংশ  $X_{\text{N}_2}$  ও  $X_{\text{H}_2}$  হ্রাস পেতে হবে। সুতরাং চাপমাত্রা যতই বৃদ্ধি করা হবে, অ্যামোনিয়া গ্যাসের উৎপাদন ততো বৃদ্ধি পাবে। তখন সময় কম লাগে।

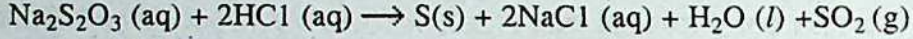
চিন্তা কর : নিচের কোন বিক্রিয়ায় নিম্ন চাপে উৎপাদ বেশি হবে?



(৩) বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা (concentration of reactants) : ভরক্রিয়া সূত্রানুসারে কোনো বিক্রিয়ার হার এর বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার সমানুপাতিক, সময় অতিক্রমের সাথে সাথে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার হ্রাস ঘটে। তাই সময় অতিক্রান্ত



হওয়ার সাথে বিক্রিয়ার হারও হ্রাস পায়। আবার বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করলে বিক্রিয়ার গতিবেগ বৃদ্ধি পায়। যেমন সোডিয়াম থায়োসালফেট ও HCl এসিডের মধ্যে বিক্রিয়াটির যে কোনো একটি বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করলে প্রতি ক্ষেত্রে সালফারের অধঃক্ষেপণ হার বৃদ্ধি পায়; সময় কম লাগে।



সারণি-৪.২ : অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়ার হারের ওপর  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  দ্রবণের ঘনমাত্রার প্রভাব

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ দ্রবণের ঘনমাত্রা mol/L	0.01	0.02	0.04	0.08	0.1
অধঃক্ষেপণের সমাপ্তিকাল (s)	98	51	24	12	10

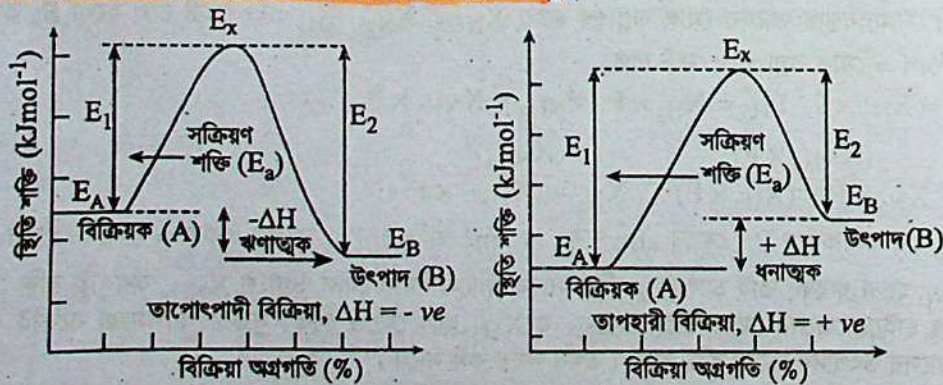
### ৪.৩.৩ তাপোৎপাদী বিক্রিয়া ও তাপহারী বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি

#### Activation Energy of Exothermic & Endothermic Reactions

সক্রিয়ণ শক্তি : প্রতিটি রাসায়নিক বিক্রিয়ায় নতুন পদার্থ উৎপন্ন হয়। নতুন পদার্থ উৎপন্ন হতে হলে শক্তির প্রভাবে পরমাণুগুলোর মধ্যে পুরাতন বন্ধন ভাঙতে হয় এবং নতুন বন্ধন গড়তে হয়। অর্থাৎ কোনো বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক পদার্থ উৎপাদ পদার্থে পরিণত হওয়ারকালে বিক্রিয়ক অণু বা কণাগুলোতে একটি ন্যূনতম শক্তি প্রয়োজন হয়। বিক্রিয়াকালে বিক্রিয়কের প্রয়োজনীয় এ 'ন্যূনতম শক্তি'কে সক্রিয়ণ শক্তি বা Activation energy বলে।

বিক্রিয়ার অংশগ্রহণকারী বস্তু কণার যে অংশ এ ন্যূনতম শক্তিমান অর্জন করতে পারে তারাই বিক্রিয়ার সক্রিয় কণা হিসেবে বিবেচিত হয়। ন্যূনতম শক্তিমাত্রায়ুক্ত কণাগুলো বিক্রিয়ক ও উৎপাদের শক্তির মধ্যবর্তী একটি অস্থায়ী জটিল অবস্থায় অবস্থান করে। প্রারম্ভিক অবস্থায় বিক্রিয়ক কণার গড় শক্তি ( $E_A$ ) এবং অস্থায়ী জটিল অবস্থায় বস্তু কণার গড় শক্তি ( $E_x$ )-এর পার্থক্যকে ( $E_x - E_A$ ) সক্রিয়ণ শক্তি বলে। বিক্রিয়ার সক্রিয়করণ শক্তিকে চিত্র-৪.৩ (ক, খ) এ দেখানো হলো। চিত্রমতে, বিক্রিয়ক থেকে উৎপাদ অণু গঠনকালে বিক্রিয়ক অণুকে শক্তির একটি বাধা ( $E_x$  চূড়া) অতিক্রম করতে হয়। আর এ বাধা অতিক্রম করতে হলে তাদের একটি ন্যূনতম শক্তি ( $E_x - E_A$ ) লাভ করতে হয়। এ শক্তির নাম বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি। অতএব বিক্রিয়া সংঘটিত হতে হলে বিক্রিয়ক বস্তু কণাকে এ সক্রিয়ণ শক্তি অর্জন করতে হয়।

- \* সক্রিয়ণ শক্তি যতো বেশি হয় এ শক্তি বিক্রিয়ক বস্তু কণার অর্জন করা ততো কষ্টকর হয় বলে এ শক্তি অর্জনকারী বস্তু কণার সংখ্যাও ততো কম হয়। ফলে বিক্রিয়ার গতি কমে যায়।
- \* অপরপক্ষে, সক্রিয়ণ শক্তির মান কম হলে তুলনামূলকভাবে সহজে অধিক সংখ্যক বিক্রিয়ক বস্তু কণা এ শক্তি অর্জন করে। ফলে বিক্রিয়ার গতি বেশি হয়।
- \* যে সব বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি কম সেসব বিক্রিয়া সহজে কম তাপমাত্রায় ঘটে। অপরদিকে যেসব বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি বেশি সে সব বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে উচ্চ তাপমাত্রা প্রয়োজন হয়।



চিত্র-৪.৩ (ক) : তাপোৎপাদী বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি লেখ (খ) : তাপহারী বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি লেখ

যে সব বিক্রিয়ার বিক্রিয়কের স্থিতি শক্তি ( $E_A$ ) উৎপন্ন দ্রব্যের বা, উৎপাদের স্থিতি শক্তির ( $E_B$ ) চেয়ে বেশি হয়, সেসব হ্রাস তাপ বিক্রিয়ক শক্তি ( $E_A - E_B$ ) নির্গত হয়। (চিত্র ৪.৩ (ক))। এ ধরনের বিক্রিয়াকে তাপোৎপাদী

যে সব বিক্রিয়ার বিক্রিয়কের স্থিতি শক্তির চেয়ে কম হয় অর্থাৎ উৎপাদের স্থিতি শক্তি বেশি হয়, তবে সে বিক্রিয়ার তাপ শোষিত হয়। এ সব বিক্রিয়াকে তাপহারী বিক্রিয়া বলে।



\* তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায় নির্গত তাপ বা তাপহারী বিক্রিয়ায় শোষিত তাপকে বিক্রিয়া তাপ বা এনথালপির পরিবর্তন ( $\Delta H$ ) বলে। তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায়  $\Delta H$  ঋণাত্মক [চিত্র-৪.৩(ক)] এবং তাপহারী বিক্রিয়ায়  $\Delta H$  ধনাত্মক হয় [চিত্র-৪.৩(খ)]।

তাপ উৎপাদী বিক্রিয়ার বিক্রিয়ক কণাগুলো দ্রুতগতিতে ছুটোছুটি করে এবং অধিক সংখ্যক কণা সক্রিয় শক্তি লাভ করে। ফলে তাপ উৎপাদী বিক্রিয়া দ্রুতগতিতে সম্পন্ন হয়। অপরদিকে, তাপহারী বিক্রিয়ার বস্তু কণার প্রারম্ভিক শক্তি উৎপাদের শক্তির চেয়ে কম অর্থাৎ  $E_A < E_B$  হয়। ফলে বিক্রিয়া সম্পাদিত হওয়ার সময় কিছু পরিমাণ শক্তি ( $E_B - E_A$ ) শোষিত হয়। তাই স্বাভাবিক নিয়মে তাপমাত্রা কমে যায় এবং বস্তু কণার গতি-শক্তিও কম থাকে। এ জাতীয় বিক্রিয়ার হার তুলনামূলকভাবে কম হয়।

\* লেখচিত্র দ্বারা সক্রিয় শক্তি গণনা : অনুচ্ছেদ-৪.৩.২ এর (গ) অংশে দেয়া সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪, ৪.৫ দেখো।

### ৪.৩.৪ রাসায়নিক বিক্রিয়ার সংঘর্ষ তত্ত্ব

#### Collision Theory of Chemical Reaction

**সংঘর্ষ তত্ত্ব :** গ্যাসীয় অবস্থায় দ্বি-আণবিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে সংঘর্ষ তত্ত্ব দ্বারা বিক্রিয়ার ধারা ব্যাখ্যা করা প্রথমত সম্ভব হলেও তা দ্রবণে বিক্রিয়কসমূহের বেলায়ও সমভাবে কার্যকরী প্রমাণিত হয়।

বিক্রিয়া সংঘটনের

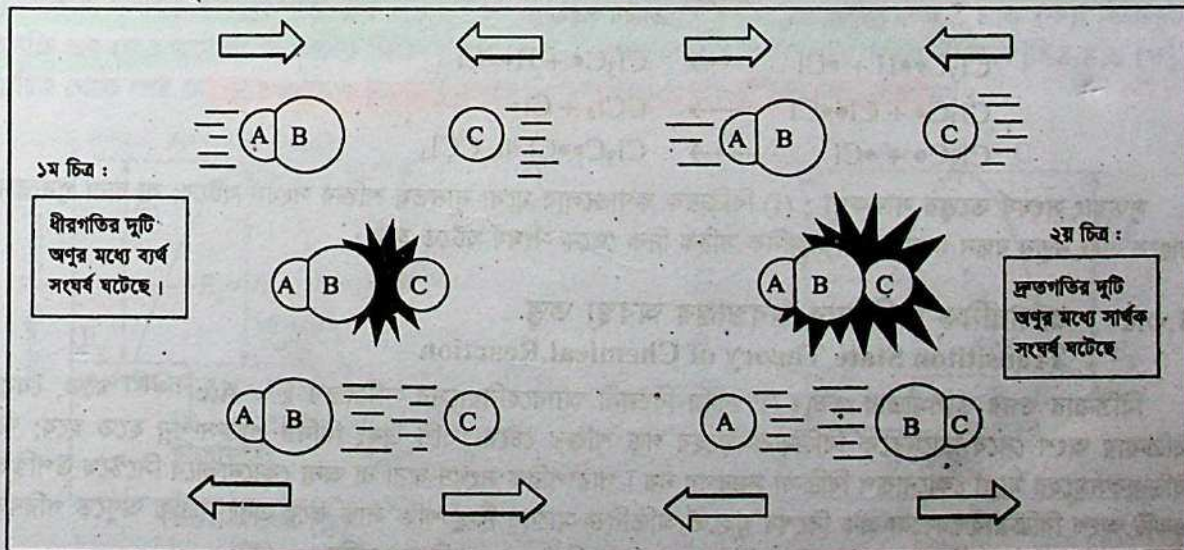
- (১) প্রথম শর্ত হলো → বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী কণাগুলো যেমন অণু, পরমাণু বা আয়ন-এর মধ্যে সংঘর্ষ হতে হবে।
- (২) দ্বিতীয় শর্ত হলো → বিক্রিয়ক পদার্থের মধ্যে সংঘটিত “সংঘর্ষ” অবশ্যই একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম শক্তি সহযোগে হতে হবে।
- (৩) তৃতীয় শর্ত হলো → বিক্রিয়ক পদার্থের মধ্যে সংঘর্ষ একটি নির্দিষ্ট দিক বিন্যাস সহযোগে হতে হবে।

উপরিউক্ত শর্তগুলোকে অ্যারহেনিয়াসের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন—

$$k = p \cdot Z \cdot e^{-E_a/RT}$$

rate constant [হার ধ্রুবক]    steric factor [স্থানিক দিক বিন্যাস]    collision rate [সংঘর্ষ হার]    activation energy [সক্রিয় শক্তি]

**ব্যাখ্যা :** প্রথম শর্ত ও দ্বিতীয় শর্ত মতে বিক্রিয়কগুলোর মধ্যে সংঘর্ষ ঘটতে হবে এবং সংঘর্ষটি একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম শক্তিসহকারে হতে হবে। ফলে বিক্রিয়ক অণু বা কণাগুলো একে অপরের সাথে ধাক্কা-খেয়ে পুরাতন বন্ধন ভেঙে নতুন বন্ধন সৃষ্টি করতে পারে। অণুগুলোর মধ্যে সংঘর্ষকে নিম্নরূপে দেখানো যায়—



চিত্র-৪.৪ : বিক্রিয়ক পদার্থের অণুগুলোর মধ্যে ব্যর্থ সংঘর্ষ ও সার্থক সংঘর্ষ





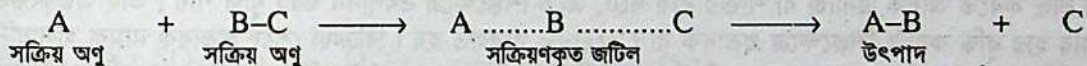


(ক) সক্রিয়ণ শক্তির সংজ্ঞা :

কোনো বিক্রিয়ায় পারস্পরিক আণবিক সংঘর্ষ দ্বারা বা অন্য কোনো উপায়ে বিক্রিয়কের একটি অংশ বিক্রিয়কের গড়শক্তি অপেক্ষা যে পরিমাণ অধিক শক্তি লাভ করে বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণের উপযুক্ততা অর্জন করে, তাকে ঐ বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি (activation energy,  $E_a$ ) বলে। বিক্রিয়কের যে অণুসমূহ উক্ত সক্রিয়ণ শক্তি লাভ করে তাদেরকে বলা হয় সক্রিয় অণু। সক্রিয় অণুগুলোই কেবল বিক্রিয়ায় অংশ নিতে পারে এবং অবশিষ্ট অণুগুলো সক্রিয়ণকৃত না হওয়া পর্যন্ত বিক্রিয়ায় অংশ নিতে পারে না।

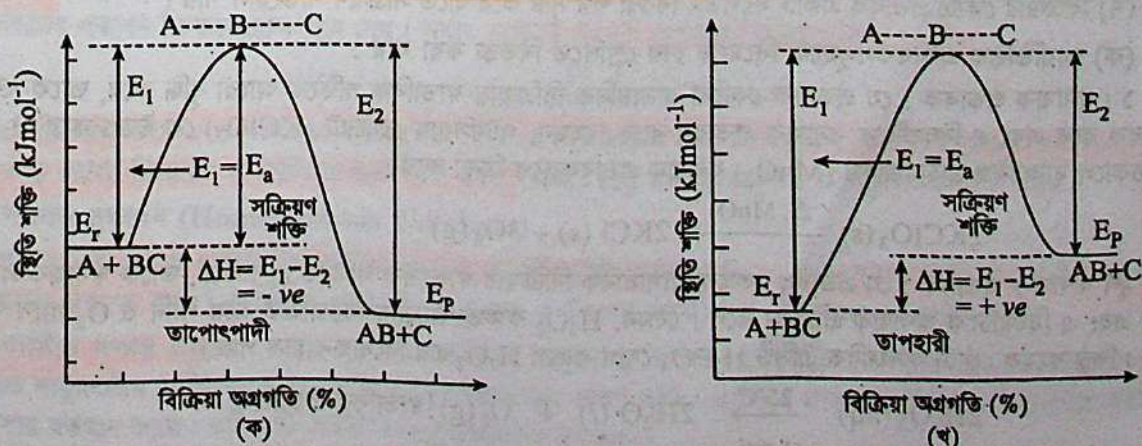
প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তি লাভ করার পর যখন দুটি সক্রিয় অণু পরস্পর নিকটে আসে, তখন তারা তাদের মধ্যস্থ পূর্বের বন্ধন ভেঙে নতুন বন্ধন গড়তে থাকে। উভয় সক্রিয় অণুর মধ্যস্থ বন্ধন ভাঙ্গা-গড়ার ক্ষণস্থায়ী এরূপ অবস্থাকে সক্রিয়ণকৃত জটিল যৌগ (activated complex) গঠন অবস্থা বলে। রাসায়নিক বিক্রিয়ার হার তাদের প্রভুতির উপর নির্ভর করে। পরে সক্রিয়ণকৃত জটিল যৌগ নির্দিষ্ট হারে বিয়োজিত হয়ে উৎপাদ সৃষ্টি করে। উদাহরণস্বরূপ নিম্নোক্ত বিক্রিয়াটি বিবেচনা করা যাক।

এখানে A অণু যখন BC এর নিকটে আসতে থাকে তখন B ও C এর মধ্যকার বন্ধন ক্রমশ দুর্বল হবে এবং A ও B এর মধ্যে নতুন বন্ধন সৃষ্টি হতে থাকবে। শেষে A, B ও C একত্রে একটি সক্রিয়ণকৃত জটিল সৃষ্টি করবে, যা বিয়োজিত হয়ে বিক্রিয়ার উৎপাদ তৈরি করবে।



সক্রিয়ণকৃত জটিল যৌগের স্থিতিশক্তি বিক্রিয়ক বা উৎপাদ অপেক্ষা বেশি এবং সর্বোচ্চ। বিক্রিয়ক উৎপাদে পরিণত হবার সময় স্থিতিশক্তির পরিবর্তন ঘটে। (A + BC) এর বর্তমান শক্তি এবং সক্রিয়ণকৃত জটিল যৌগের শক্তির মধ্যে পার্থক্যই হলো সক্রিয়ণ শক্তি  $\Delta E_a$ ।

বিক্রিয়ার অবস্থান্তর অবস্থা ও শক্তি-পর্বত : বিক্রিয়ক থেকে উৎপাদে পরিণত হতে হলে বিক্রিয়ককে অবশ্যই একটি 'শক্তির বাধা' অতিক্রম করতে হবে। শক্তির এ বাধাকে শক্তি-পর্বত (Energy-hill) বলে। সক্রিয় অণু দ্বারা 'শক্তি-পর্বত' অতিক্রমের চূড়ান্ত পর্যায়ে অর্থাৎ যে অবস্থায় সক্রিয় অণুগুলো উৎপাদ অণুতে রূপান্তরিত হতে শুরু করে সে মুহূর্তে একদিকে পরমাণুগুলোর মধ্যে পূর্বের বন্ধনের ভাঙন ঘটে; অপরদিকে ঐ সব পরমাণুর মধ্যে নতুন বন্ধন গঠন শুরু হয়। সক্রিয় অণুগুলোর মধ্যে পূর্বের বন্ধন ভাঙন ও নতুন বন্ধন গঠনের এরূপ অবস্থাকে বিক্রিয়ার অবস্থান্তর অবস্থা বলা হয়। বিক্রিয়ার এ অবস্থান্তর অবস্থাকে 'সক্রিয়ণকৃত জটিল গঠন' অবস্থাও বলা হয়। শক্তি পর্বতের শীর্ষে সক্রিয়ণকৃত জটিল যৌগ এবং বামদিকের পাদদেশে বিক্রিয়ক এবং ডান দিকের পাদদেশে উৎপাদ অবস্থান করে। পাদদেশে অবস্থানকালে বিক্রিয়কের স্থিতিশক্তি ও উৎপাদের স্থিতিশক্তির পার্থক্য হলো বিক্রিয়ার এনথালপি  $\Delta H = (E_1 - E_2)$ । যদি বিক্রিয়কের স্থিতিশক্তি স্তর ( $E_r$ ) অপেক্ষা উৎপাদের স্থিতিশক্তি স্তর ( $E_p$ ) নিচে হয় তবে বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী [চিত্র : ৪.৬ (ক)] বিক্রিয়কের স্থিতিশক্তি স্তর ( $E_r$ ) অপেক্ষা উৎপাদের স্থিতিশক্তি স্তর ( $E_p$ ) ওপরে থাকলে বিক্রিয়াটি তাপহারী হবে [চিত্র-৪.৬ (খ)]। উভয় চিত্র থেকে স্পষ্ট যে,  $\Delta H$  এর মান ( $E_r - E_p$ ) এর মানের সক্রিয়ণ শক্তির উপর নির্ভরশীল নয়।



চিত্র-৪.৬ : স্থিতি শক্তি বনাম বিক্রিয়া অগ্রগতি (%) [বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি ও অবস্থান্তর অবস্থা]



(খ) বিক্রিয়ার হার ও সক্রিয় শক্তির মাত্রার মধ্যে সম্পর্ক : কোনো বিক্রিয়ায় সক্রিয় শক্তি লাভ করে বিক্রিয়ক যে হারে সক্রিয়গত জটিল যৌগ গঠন করে মোট বিক্রিয়াটির পরীক্ষালব্ধ হার তার সমান হয়। অতএব, যে বিক্রিয়ার সক্রিয় শক্তি বেশি তার গতির হার কম হবে এবং যে বিক্রিয়ার সক্রিয় শক্তি কম তার গতির হার বেশি হবে। কেননা, সক্রিয় শক্তি বেশি হলে অণুসমূহের পক্ষে সে পরিমাণ শক্তি সংগ্রহ করা কষ্টকর হয়ে পড়ে। অন্য কথায় বলা যায়, বিক্রিয়ক অণুসমূহের মধ্যে খুবই কমসংখ্যক অণু প্রয়োজনীয় অধিক সক্রিয় শক্তি সম্পন্ন হয়ে সক্রিয় অণুতে পরিণত হয় এবং বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করতে পারে। ফলে ঐ বিক্রিয়ার হার কম হয়।

অপরদিকে সক্রিয় শক্তি কম হলে একই সময়ে অনেক বেশি সংখ্যক বিক্রিয়ক অণু প্রয়োজনীয় কম সক্রিয় শক্তি সম্পন্ন হয়ে বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করতে পারে। ফলে ঐ বিক্রিয়ার হার বেশি হয়। সুতরাং বিক্রিয়ার হার সক্রিয় শক্তির মাত্রার ব্যস্তানুপাতিক।

## ৪.৪ প্রভাবক ও প্রকারভেদ, প্রভাবক সহায়ক ও প্রভাবক বিষ

### Catalysts & Their Classification, Promoter & Catalyst Poison

আমরা এর মধ্যে জেনেছি বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধিতে বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা, তাপমাত্রা ও চাপের প্রভাব রয়েছে। তাপমাত্রা ও চাপের বৃদ্ধি করতে অধিক এনার্জি বা শক্তির ব্যয় ঘটে, এতে শিল্পক্ষেত্রে উৎপাদন খরচ বৃদ্ধি পায়। তাই এর বিকল্প হিসেবে বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধি করতে শিল্পক্ষেত্রে প্রভাবক বা Catalyst ব্যবহৃত হয়। বিক্রিয়া শেষে প্রভাবক নামক রাসায়নিক পদার্থ অপরিবর্তিত থাকে। তাই যে সব রাসায়নিক পদার্থ বিক্রিয়কের সংস্পর্শে উপস্থিত থেকে রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি বা হ্রাস করে এবং বিক্রিয়া শেষে নিজে গঠন ও ভরে অপরিবর্তিত থাকে, তাকে প্রভাবক বা অনুঘটক বলে। প্রভাবকের উপস্থিতিতে বিক্রিয়ার গতি প্রভাবান্বিত করার প্রক্রিয়াকে প্রভাবন (catalysis) বলে।

প্রভাবকের বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধির ক্ষেত্রে নিম্নোক্ত দুটো প্রধান ভূমিকা বা বৈশিষ্ট্য রয়েছে :

\* (১) প্রতিটি প্রভাবক সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়ায় বিক্রিয়কের সক্রিয় শক্তি (activation energy)-কে হ্রাস করে বিক্রিয়াটি নতুনভাবে, নিম্নশক্তির ধারায় বা মেকানিজমে সংঘটিত করে।

\* (২) প্রভাবক উভয়মুখী বিক্রিয়ার সম্মুখমুখী ও পশ্চাৎমুখী উভয় বিক্রিয়ার গতিকে বৃদ্ধি করে। প্রভাবকবিহীন কোনো বিক্রিয়ায় যে পরিমাণ 'উৎপাদ' তৈরি হয়; ঐ বিক্রিয়ায় প্রভাবক ব্যবহার করে একই পরিমাণ 'উৎপাদ' কম সময়ে তৈরি করা সম্ভব হয়। তখন ঐ বিক্রিয়াটি অধিকতর দ্রুত সম্পন্ন হয় মাত্র।

এছাড়া প্রভাবকের আরো বৈশিষ্ট্যের মধ্যে নিম্নোক্তগুলো উল্লেখযোগ্য।

(৩) প্রভাবক কোনো উভয়মুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থাকে পরিবর্তন করতে পারে না।

(৪) প্রভাবকের কার্যকারিতা অত্যন্ত সুনির্দিষ্ট। অর্থাৎ একটি নির্দিষ্ট বিক্রিয়ার জন্য একটি নির্দিষ্ট প্রভাবক ব্যবহৃত হয়।

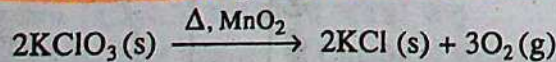
(৫) বিক্রিয়া শেষে প্রভাবকের ভরের বা গঠনের কোনো পরিবর্তন ঘটে না।

(৬) সামান্য পরিমাণ প্রভাবকে বিক্রিয়ার বেগ কাস্তিত মানে বৃদ্ধি বা হ্রাস করতে পারে।

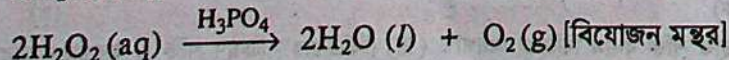
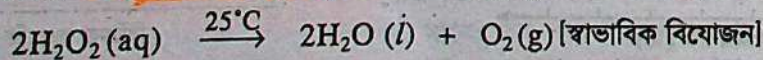
(৭) বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে প্রভাবক একটি সরলতম বিকল্প পথ সৃষ্টি করে যাতে সক্রিয় শক্তি হ্রাস পায়।

(ক) কার্যভিত্তিক প্রভাবকসমূহকে নিম্নোক্ত চার শ্রেণিতে বিভক্ত করা যায় :

১। ধনাত্মক প্রভাবক : যে প্রভাবক কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার স্বাভাবিক গতিকে আরো বৃদ্ধি করে, তাকে ধনাত্মক প্রভাবক বলে এবং এ বিষয়টিকে ধনাত্মক প্রভাবন বলে। যেমন, পটাসিয়াম ক্লোরেট ( $KClO_3$ ) কে উত্তপ্ত করে  $O_2$  গ্যাস প্রস্তুতকালে ম্যাঙ্গানিজ ডাইঅক্সাইড ( $MnO_2$ ) ধনাত্মক প্রভাবকরূপে ক্রিয়া করে।

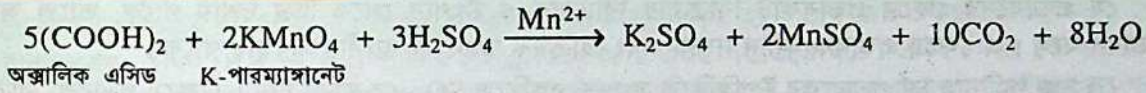


২। ঋণাত্মক প্রভাবক : যে প্রভাবক কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার স্বাভাবিক গতিকে হ্রাস করে, তাকে ঋণাত্মক প্রভাবক বলে এবং এ বিষয়টিকে ঋণাত্মক প্রভাবন বলে। যেমন,  $H_2O_2$  কক্ষতাপমাত্রায় বিয়োজিত হয়ে পানি ও  $O_2$  গ্যাস উৎপন্ন করে। কিন্তু কয়েক ফোঁটা ফসফরিক এসিড  $H_3PO_4$  যোগ করলে  $H_2O_2$  এর বিয়োজন হ্রাস পায়।

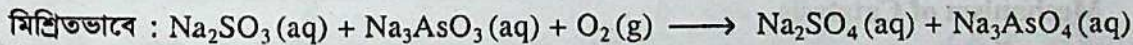
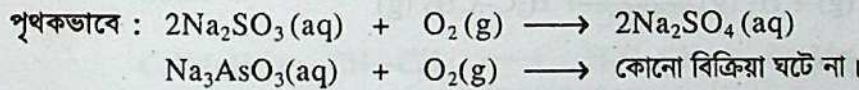




৩। অটো প্রভাবক বা স্ব-প্রভাবক : কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় উৎপন্ন পদার্থের একটি নিজেই যখন প্রভাবকের ধর্ম সম্পন্ন হয় এবং তা নিজেই ঐ বিক্রিয়ার গতিকে বৃদ্ধি করে, তখন তাকে অটো প্রভাবক বা স্ব-প্রভাবক বলে এবং এ বিষয়টিকে অটো প্রভাবন বলা হয়। যেমন, অক্সালিক এসিডের দ্রবণে  $H_2SO_4$  মিশ্রিত  $KMnO_4$  দ্রবণ ফোঁটায় ফোঁটায় যোগ করলে প্রথমে পারম্যাঙ্গানেটের গোলাপী বর্ণ ধীরে ধীরে দূর হয়। কিন্তু কিছুক্ষণ পরেই দ্রবণে কিছু  $Mn^{2+}$  আয়ন উৎপন্ন হওয়া মাত্রই  $KMnO_4$  দ্রবণের গোলাপী বর্ণ দ্রুত দূর হয়। এক্ষেত্রে উৎপন্ন  $MnSO_4$ -এর ম্যাঙ্গানাস আয়ন ( $Mn^{2+}$ ) স্ব-প্রভাবকরূপে ক্রিয়া করে এবং এর ক্রিয়াকে স্ব-প্রভাবন বলা হয়।

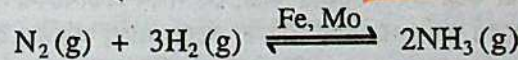


৪। আবিষ্ট প্রভাবক : কোনো বিক্রিয়ার একটি বিশেষ বিক্রিয়কের প্রভাবে যখন তার অপর বিক্রিয়কের সাথে তৃতীয় কোনো পদার্থের বিক্রিয়া ঘটে; কিন্তু পৃথকভাবে তাদের মধ্যে কোনো বিক্রিয়া ঘটে না; তখন ঐ বিশেষ বিক্রিয়কটিকে পরের বিক্রিয়ার আবিষ্ট প্রভাবক বলে এবং তার এরূপ ক্রিয়াকে আবিষ্ট প্রভাবন বলা হয়। যেমন, সোডিয়াম সালফাইট ( $Na_2SO_3$ ) এর দ্রবণে  $O_2$  গ্যাস চালনা করলে  $Na_2SO_3$  জারিত হয়ে  $Na_2SO_4$  উৎপন্ন হয়। কিন্তু অনুরূপ অবস্থায় সোডিয়াম আর্সেনাইট ( $Na_3AsO_3$ ) অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয় না। অথচ সোডিয়াম সালফাইট ও আর্সেনাইটের মিশ্র দ্রবণে  $O_2$  গ্যাস চালনা করলে উভয়েই জারিত হয়।

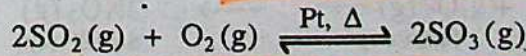


এক্ষেত্রে সোডিয়াম সালফাইটের প্রভাবে সোডিয়াম আর্সেনাইট জারিত হয়। তাই এক্ষেত্রে  $Na_2SO_3$  হলো আবিষ্ট প্রভাবক।

প্রভাবক সহায়ক বা প্রভাবক প্রমোটার : যে সব রাসায়নিক পদার্থের উপস্থিতিতে বা প্রভাবে বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত কোনো প্রভাবকের প্রভাবন ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়, তাদেরকে প্রভাবক সহায়ক বা প্রমোটার বলে। যেমন, হেবার পদ্ধতিতে  $N_2$  ও  $H_2$  গ্যাস থেকে অ্যামোনিয়া ( $NH_3$ ) উৎপাদনকালে লৌহচূর্ণ প্রভাবকের সাথে সামান্য পরিমাণে মলিবডেনাম ধাতুর (Mo) গুঁড়া মিশানো হলে লৌহ প্রভাবকের প্রভাবন ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়। তাই এক্ষেত্রে Mo ধাতু হলো Fe প্রভাবকের সহায়ক বা প্রমোটার।



প্রভাবক বিষ : যে সব রাসায়নিক পদার্থের উপস্থিতিতে বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত কোনো প্রভাবকের প্রভাবন ক্রিয়া হ্রাসপ্রাপ্ত হয় অথবা একেবারে বন্ধ হয়ে যায়, তাদেরকে সংশ্লিষ্ট প্রভাবকের বিষ বলে। সাধারণত ধূলাবালি, সালফার গুঁড়া, আর্সেনিক অক্সাইড ( $As_2O_3$ ) ইত্যাদি প্রভাবক বিষরূপে কাজ করে। যেমন, স্পর্শ পদ্ধতিতে  $SO_2$  গ্যাস থেকে  $SO_3$  গ্যাস উৎপাদনকালে  $SO_2$  গ্যাসের সাথে সামান্য পরিমাণে আর্সেনিক অক্সাইড উপস্থিত থাকলে, তখন ঐ বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত প্লাটিনাম (Pt) প্রভাবকের প্রভাবন ক্রিয়াকে হ্রাস করে দেয়। অর্থাৎ এক্ষেত্রে  $As_2O_3$  প্রভাবক বিষরূপে ক্রিয়া করে।

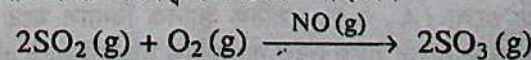


(খ) বিক্রিয়ক, উৎপাদ ও ব্যবহৃত প্রভাবকের ভৌত অবস্থাভিত্তিক প্রভাবকসমূহকে সমসত্ত্ব প্রভাবক ও অসমসত্ত্ব প্রভাবক এবং এদের ক্রিয়াকে দু'শ্রেণিতে ভাগ করা হয়; যেমন— (১) সমসত্ত্ব প্রভাবন ও (২) অসমসত্ত্ব প্রভাবন।

### ১। সমসত্ত্ব প্রভাবন (Homogeneous Catalysis)

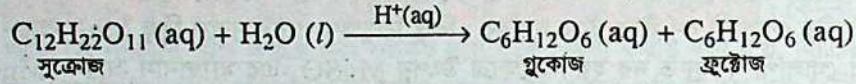
যে প্রভাবনের ক্ষেত্রে প্রভাবকসহ বিক্রিয়ার সব পদার্থ একই ফেজ (Phase) বা ভৌত অবস্থায় বর্তমান থাকে তাকে সমসত্ত্ব প্রভাবন বলে। এ ক্ষেত্রে প্রভাবক, বিক্রিয়ক ও উৎপাদ সবই গ্যাস বা তরল বা দ্রবণে থাকে।

(i) গ্যাসীয় দশার ক্ষেত্রে : লেড প্রকোষ্ঠ পদ্ধতিতে  $H_2SO_4$  উৎপাদনে নাইট্রিক অক্সাইড (NO) প্রভাবকের উপস্থিতিতে বায়ুমণ্ডলীয় অক্সিজেন দ্বারা সালফার ডাইঅক্সাইডের জারণ ঘটে। এক্ষেত্রে প্রভাবক, বিক্রিয়ক ও উৎপাদ সবই গ্যাসীয় দশায় বর্তমান আছে। তাই এটি একটি সমসত্ত্ব প্রভাবনের উদাহরণ।





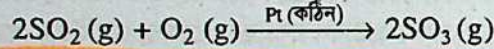
(ii) তরল দশার ক্ষেত্রে : স্ক্রোজ বা ইক্ষুচিনির আর্দ্র বিশ্লেষণে খনিজ এসিড প্রভাবক হিসেবে কাজ করে। এক্ষেত্রে প্রভাবক, বিক্রিয়ক এবং উৎপাদ সবই তরল দশায় বর্তমান আছে। এটি একটি সমসত্ত্ব প্রভাবনের উদাহরণ।



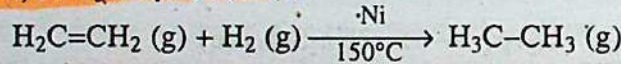
## ২. অসমসত্ত্ব প্রভাবন (Heterogeneous Catalysis)

যে প্রভাবনের ক্ষেত্রে প্রভাবকটি বিক্রিয়ার বিক্রিয়ক ও উৎপাদ থেকে ভিন্ন দশায় থাকে, তাকে অসমসত্ত্ব প্রভাবন বলে। এ ক্ষেত্রে প্রভাবক কঠিন দশায় এবং বিক্রিয়ক তরল বা গ্যাসীয় অবস্থায় থাকে।

(i) সূক্ষ্ম প্রাটিনাম চূর্ণ প্রভাবকের উপস্থিতিতে সংস্পর্শ পদ্ধতিতে  $SO_2$ -এর জারণ ঘটে। এক্ষেত্রে প্রভাবক, বিক্রিয়ক ও উৎপাদ ভিন্ন ভিন্ন ভৌত দশায় আছে। এটি একটি অসমসত্ত্ব প্রভাবনের উদাহরণ।



(ii) কার্বন-কার্বন দ্বিবন্ধন ( $C=C$ ) যুক্ত ইথিন গ্যাস ও অসম্পৃক্ত ভিজিটেবল অয়েল এর প্রভাবকীয় হাইড্রোজেনেশন থেকে ইথেন এবং ভিজিটেবল অয়েল যেমন সয়াবিন তৈল থেকে ডালডা ঘি বা মার্জারিন উৎপাদন প্রক্রিয়া হলো অসমসত্ত্ব প্রভাবন। এতে Ni বা, Pt ধাতুর গুঁড়া ব্যবহৃত হয়।



### ৪.৪.১ প্রভাবনের ক্রিয়া-কৌশল

#### Mechanism of Catalysis

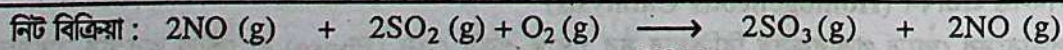
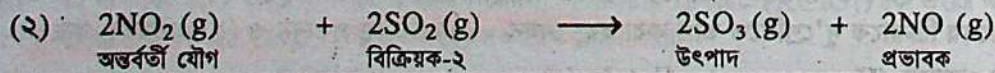
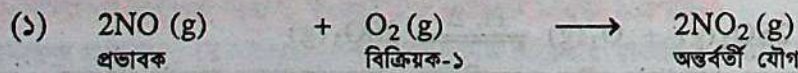
তোমরা নিশ্চয়ই অর্থাৎ ভাবছ প্রভাবক কোনো বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ না করেও কীভাবে তা বিক্রিয়াকে প্রভাবিত করে। প্রকৃতপক্ষে প্রভাবকসমূহ বিভিন্ন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে প্রভাবন কাজ করে। এসব প্রক্রিয়াকে দুটি ভাগে ভাগ করা যায়।

(ক) অন্তর্বর্তী যৌগ গঠন প্রক্রিয়া (Formation of intermediate compound)

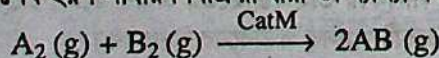
(খ) অধিশোষণের মাধ্যমে প্রভাবন (Catalysis through adsorption)

(ক) সমসত্ত্ব প্রভাবনের ক্রিয়া কৌশল : অন্তর্বর্তী যৌগ গঠন : সমসত্ত্ব প্রভাবনের ক্ষেত্রে অন্তর্বর্তী যৌগ গঠন কৌশল কার্যকর। এ কৌশলের মূলে রয়েছে প্রভাবক কোনো একটি বিক্রিয়কের সাথে অস্থায়ী অন্তর্বর্তী যৌগ গঠন করে। এরপর এ যৌগটি অন্য বিক্রিয়কের সাথে বিক্রিয়া করে উৎপাদ তৈরি করে, সে সাথে প্রভাবকের পুনর্জন্ম (regeneration) হয়। এ প্রভাবক আবার একই সাথে বিক্রিয়া করে। অর্থাৎ সামগ্রিক বিক্রিয়া কয়েক ধাপে অনুষ্ঠিত হয়। প্রথম ধাপে প্রভাবক নিঃশেষিত হয়। শেষ ধাপে তা পুনরায় সৃষ্টি হয়। ফলে প্রভাবকের সামগ্রিক পরিমাণ ঠিক থাকে। যেমন,

$NO$  গ্যাস প্রভাবকের উপস্থিতিতে বায়ুর অক্সিজেন দ্বারা  $SO_2$  এর জারণ বিক্রিয়া অন্তর্বর্তী যৌগ গঠন কৌশল দ্বারা ঘটে। প্রথম ধাপে নাইট্রিক অক্সাইড প্রথম বিক্রিয়ক অক্সিজেনের সাথে বিক্রিয়া করে নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন করে। এই নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড হচ্ছে অন্তর্বর্তী যৌগ। এটি দ্বিতীয় বিক্রিয়ক  $SO_2$  এর সাথে বিক্রিয়া করে মূল উৎপাদ সালফার ট্রাইঅক্সাইড ( $SO_3$ ) উৎপন্ন করে, সাথে নাইট্রিক অক্সাইড পুনরায় সৃষ্টি হয়।



(খ) অসমসত্ত্ব প্রভাবনের ক্রিয়া কৌশল : অধিশোষণের মাধ্যমে প্রভাবন : অসমসত্ত্ব প্রভাবনের বেলায় অধিশোষণ দ্বারা নিম্নোক্ত চার ধাপে প্রভাবন কৌশল শেষ হয়। সাধারণ বিক্রিয়া দ্বারা তা ব্যাখ্যা করা হলো—



১ম ধাপ : গ্যাসীয় বিক্রিয়ক অণুগুলো ( $A_2$  ও  $B_2$ ) সঠিক স্থানিক বিন্যাস মতে প্রভাবক ( $CatM$ ) এর পৃষ্ঠতলে অধিশোষিত হয়। অর্থাৎ ধাতুর খালি  $d$  অরবিটালের সাথে দুর্বল রাসায়নিক বন্ধনসহকারে এক-আণবিক স্তর সৃষ্টি করে।

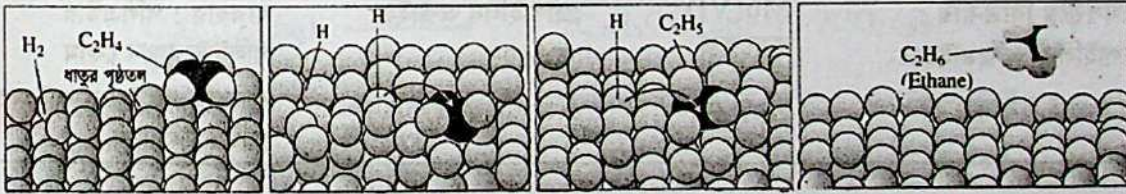
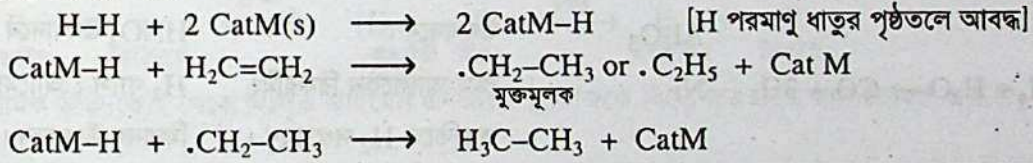


২য় ধাপ : এ ধাপে অধিশোষিত অবস্থায় অণুর সমযোজী বন্ধন দুর্বল হয়ে পড়ে। সঠিক স্থানিক বিন্যাসের ফলে পাশাপাশি অণুর মধ্যে সার্থক সংঘর্ষ সংখ্যা বেড়ে যায় এবং নিম্নশক্তির সক্রিয়গত জটিল যৌগ CatM-A গঠন করে।

৩য় ধাপ : এ ধাপে অপর বিক্রিয়ক অণু (B<sub>2</sub>) ও CatM-A এর নতুন বন্ধন দ্বারা A-B অণু সৃষ্টি হয় এবং প্রভাবক পৃষ্ঠে তখনো আটকে থাকে। বিক্রিয়ায় উৎপন্ন শক্তি ধাতব প্রভাবকে শোষিত এবং পরে তা বিক্রিয়ক অণুকে যোগান দেয়।

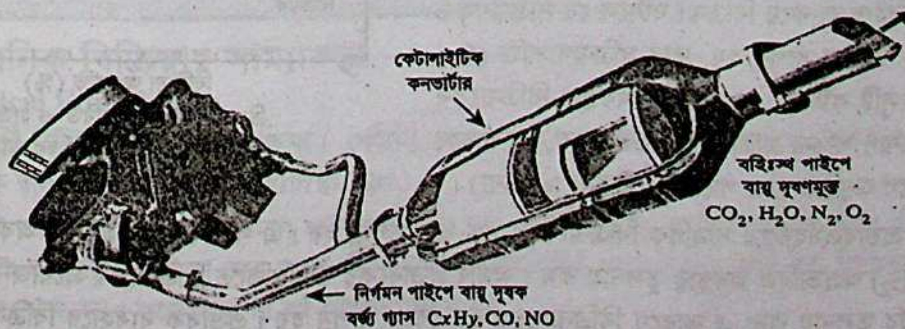
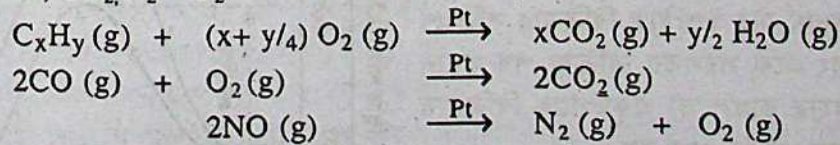
৪র্থ বা শেষ ধাপ : শেষ ধাপে উৎপাদ অণুসমূহ (2AB) প্রভাবকের পৃষ্ঠতল থেকে বিমুক্ত হয়।

উদাহরণ : ফুড ইন্ডাস্ট্রিতে কার্বন-কার্বন দ্বিবন্ধন (C=C) যুক্ত অসম্পৃক্ত ভিজিটেবল অয়েল থেকে প্রভাবকীয় হাইড্রোজেনেশন প্রক্রিয়ায় কঠিন চর্বি বা মার্জারিন (কৃত্রিম মাখন) উৎপাদন করা হয়। এক্ষেত্রে প্রভাবকরূপে Ni অথবা Pt এর গুঁড়া ব্যবহৃত হয়। ইথিন (H<sub>2</sub>C=CH<sub>2</sub>) গ্যাসের হাইড্রোজেনেশন ও একই পদ্ধতিতে ঘটে। এসব ক্ষেত্রে ১ম ধাপে ধাতুর তলদেশে বিক্রিয়ক অণুদ্বয় অধিশোষিত হয়। ২য় ধাপে H<sub>2</sub> অণুর সমযোজী বন্ধন H-H ভেঙ্গে নতুনভাবে হাইড্রোজেন পরমাণু ও ধাতুর পরমাণু (CatM) এর মধ্যে নিম্নশক্তির সক্রিয়গত CatM-H জটিল সৃষ্টি হয়। ৩য় ধাপে CatM-H জটিল অপর অধিশোষিত H<sub>2</sub>C=CH<sub>2</sub> এর একটি C-পরমাণুতে একটি H পরমাণু যোগান দেয় এবং ধাতব বন্ধনে আবদ্ধ .C<sub>2</sub>H<sub>5</sub> মূলক বা গ্রুপ সৃষ্টি হয়। এরপর ২য় H-পরমাণু একইভাবে যুক্ত হয়ে ইথেন অণু (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) সৃষ্টি হয়। ৪র্থ ধাপে প্রভাবকের পৃষ্ঠতল থেকে সৃষ্ট C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> অণু মুক্ত হয়।



চিত্র-৪.৭ : ইথিন গ্যাসের হাইড্রোজেনেশন-এর প্রস্তাবিত মেকানিজম

প্রভাবকের গুরুত্ব : (১) রাসায়নিক শিল্পে ও প্রাণরসায়নে প্রভাবকের ভূমিকার গুরুত্ব অপরিসীম। (২) প্রায় সব রাসায়নিক শিল্পে সম্ভাব্য কম তাপমাত্রায় কাজিকৃত শিল্পজাতক উৎপাদনে সহায়ক প্রভাবক ব্যবহৃত হয়; এতে উৎপাদন ব্যয় হ্রাস পায়। (৩) পরিবেশ রসায়নে বায়ু দূষক সৃষ্টিতে NO গ্যাসের প্রভাবকীয় ভূমিকা আছে। কিন্তু অটোমোবাইল কেটালাইটিক কনভার্টারে ব্যবহৃত Pt ধাতুর ভূমিকা হলো বায়ু দূষণ প্রতিরোধক যৌগরূপে। অটোমোবাইল ইঞ্জিনের নির্গমন পাইপের বর্জ্য গ্যাসে থাকে দহনমুক্ত হাইড্রোকার্বন (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>), CO, NO প্রভৃতি পরিবেশ দূষক গ্যাস। এক্ষেত্রে কেটালাইটিক কনভার্টার ঐ সব দূষক গ্যাসকে পানি, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> ও O<sub>2</sub> গ্যাসে পরিণত করে। যেমন,



চিত্র-৪.৮ : অটোমোবাইল ইঞ্জিন থেকে নির্গত বায়ু দূষক গ্যাসকে কেটালাইটিক কনভার্টারে শোধন।



(৪) রাসায়নিক শিল্পে ব্যবহৃত প্রায় সব প্রভাবক হলো অসমসত্ত্বীয়। তাই বিক্রিয়ার কাঙ্ক্ষিত উৎপাদ প্রভাবক মিশ্রণ থেকে সহজে পৃথক হয়ে পড়ে। তবে পলিমার উৎপাদনে কিছু সমসত্ত্বীয় প্রভাবক ব্যবহৃত হয়। নিচে ৪.৩ নং সারণিতে বাণিজ্যিক শিল্পে ব্যবহৃত অসমসত্ত্বীয় ও সমসত্ত্বীয় প্রভাবকের ব্যবহার দেখানো হলো :

সারণি-৪.৩ : বাণিজ্যিক শিল্পে অসমসত্ত্বীয় ও সমসত্ত্বীয় প্রভাবকের ব্যবহার :

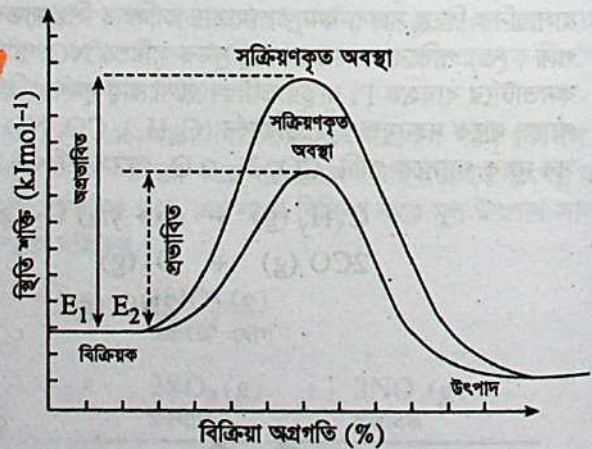
বিক্রিয়াসমূহ	ব্যবহৃত প্রভাবক	শিল্পে ধাপভিত্তিক ব্যবহার	কাঙ্ক্ষিত উৎপাদ ও ব্যবহার
(ক) অসমসত্ত্বীয় গ্যাসীয় : 1. $2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$ 2. $4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO + 6H_2O$ 3. $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ 4. $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$	Pt বা, $V_2O_5$ Pt ও Rh Fe, $K_2O$ ও $Al_2O_3$ Ni	স্পর্শ পদ্ধতিতে $H_2SO_4$ উৎপাদনে ২য় ধাপে। অসওয়াল্ড পদ্ধতিতে $HNO_3$ উৎপাদনে ১ম ধাপে। হেবার পদ্ধতিতে $NH_3$ উৎপাদনে। স্টিম-অ্যালকেন রিফরমিং পদ্ধতিতে $H_2$ সংশ্লেষণ।	উৎপাদ $H_2SO_4$ : বিভিন্ন কেমিক্যাল, রাসায়নিক সার, উৎপাদ $HNO_3$ : বিস্ফোরক, সার, প্রাস্টিক, রঞ্জক ও বার্নিশ। উৎপাদ $NH_3$ : সার ও $HNO_3$ উৎপাদনে $H_2$ গ্যাস : অ্যামোনিয়া, মিথানল উৎপাদন।
(খ) সমসত্ত্বীয় বিক্রিয়ায় : 1. প্রোপাইলিন, অক্সিডাইজার- 2. বিউটা-ডাই-ইন, HCN	Mo(VI) কমপ্লেক্স Ni/P যৌগ	প্রোপাইলিন অক্সাইড সংশ্লেষণ। এডিপোনাইট্রাইল	ব্যবহার : পলিএস্টার পলিইউরেথেন ফোম ব্যবহার : নাইলন, ফাইবার ও প্রাস্টিক উৎপাদন।

### ৪.৪.২ প্রভাবক দ্বারা প্রভাবিত বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি Activation Energy of Catalyzed Reaction

চিত্র-৪.৯ থেকে দেখা যায় যে, প্রভাবিত বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি অপ্রভাবিত বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি অপেক্ষা কম। অর্থাৎ প্রভাবকের উপস্থিতির কারণে বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি কমে। অতএব প্রভাবকের সাধারণ পরিচয় হলো- প্রভাবক এমন একটি রাসায়নিক পদার্থ যার উপস্থিতি বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তি হ্রাস করে এবং একে সরলতর বিক্রিয়া পথ প্রদান করে। প্রভাবক ব্যবহার করলে তা প্রকৃতপক্ষে বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে আবার পুনর্জন্ম প্রাপ্ত হয়।

প্রভাবক ব্যবহার না করে বিক্রিয়া ঘটালে যে সক্রিয়ণকৃত অবস্থার মাধ্যমে বিক্রিয়া সম্পন্ন হয়, তার সক্রিয়ণ শক্তি ( $E_1$ ) বেশি। ফলে তা সৃষ্টি কষ্টকর। অপ্রভাবিত অবস্থায় বিক্রিয়কের প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তির মাত্রা ( $E_1$ ) বেশি হয়, এ কারণে বিক্রিয়া দ্রুত বেগে অনুষ্ঠিত হতে পারে না (চিত্র-৪.৯ দ্রষ্টব্য)।

অপরদিকে প্রভাবকসহকারে সামগ্রিক বিক্রিয়া ভিন্ন পথ ধরে সম্পন্ন হয়। এ পথে যে সক্রিয়ণকৃত অবস্থার সৃষ্টি হয়, তার সক্রিয়ণ শক্তি ( $E_2$ ) অপ্রভাবিত অবস্থার তুলনায় কম। অর্থাৎ প্রভাবকের উপস্থিতিতে বিক্রিয়কের প্রয়োজনীয় সক্রিয়ণ শক্তির মাত্রা ( $E_2$ ) পূর্বের তুলনায় কম; এ কারণে বিক্রিয়া দ্রুততর বেগে সম্পন্ন হয়। প্রভাবক ব্যবহারে বিক্রিয়ায় সক্রিয়ণ শক্তি প্রভাবক দ্বারা হ্রাস পায় =  $(E_1 - E_2) \text{ kJmol}^{-1}$ ।



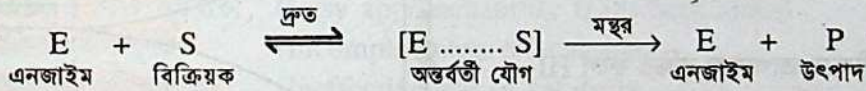
চিত্র-৪.৯ : অপ্রভাবিত ও প্রভাবিত বিক্রিয়ার সক্রিয়ণ শক্তির মাত্রা।



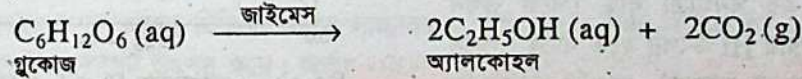
### ৪.৪.৩ জৈব প্রভাবক এনজাইম Bio-catalyst Enzyme

প্রাণিদেহে শত সহস্র রাসায়নিক বিক্রিয়া 'এনজাইম' নামক বৃহৎ প্রোটিন অণুর প্রভাবকীয় ক্রিয়া দ্বারা সংঘটিত হয়। এনজাইম হচ্ছে জীবন্ত উদ্ভিদকোষ ও প্রাণিকোষ থেকে উৎপন্ন, উচ্চ আণবিক ভরবিশিষ্ট নাইট্রোজেনযুক্ত বর্তুলাকার টারসিয়ারি প্রোটিন নামক জটিল জৈব পদার্থ। পানিতে এরা কোলয়েড তৈরি করে এবং কার্যকরী জৈব প্রভাবক। এনজাইম নির্দিষ্ট বিক্রিয়ার জন্য কার্যকরী।

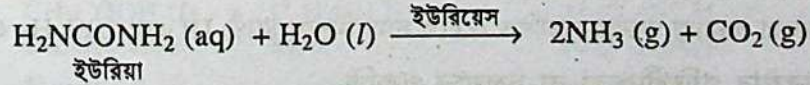
এনজাইমের ক্রিয়াকৌশল : এনজাইমরূপী বর্তুলাকার বা টারসিয়ারি প্রোটিন অণুর (E) বিভিন্ন ভাঁজের মধ্যে কতগুলো 'সক্রিয় স্থান' আছে। এই স্থানগুলোর জন্যই এনজাইম প্রভাবন ক্ষমতা ধারণ করে। এসব সক্রিয় স্থানে বিক্রিয়ক অণুগুলো (S) খুবই নিকটে এসে সহজে অস্থায়ী অন্তর্বর্তী যৌগ (E-S) গঠন করতে পারে এবং পরে বিয়োজিত হয়ে উৎপাদে (P) পরিণত হয়। এনজাইম অণু বিক্রিয়ক জৈব অণুকে 'সক্রিয় স্থান' যোগান দিয়ে বিক্রিয়ার সক্রিয় শক্তির মাত্রাকে হ্রাস করে এবং বিক্রিয়াকে দ্রুততর করে। যেমন,



(i) ইস্ট নামক উদ্ভিদকোষ থেকে নিঃসৃত জাইমেস এনজাইম গ্লুকোজকে বিয়োজিত করে অ্যালকোহল ও CO<sub>2</sub> গ্যাসে পরিণত করে।



(ii) সমাবিনে উপস্থিত ইউরিয়োস্ এনজাইম ইউরিয়াকে বিয়োজিত করে NH<sub>3</sub> ও CO<sub>2</sub>-এ পরিণত করে।



**এনজাইমের বৈশিষ্ট্য :** (১) প্রত্যেক এনজাইমের প্রভাবন ক্রিয়া সুনির্দিষ্ট। যেমন জাইমেস এনজাইম শুধু গ্লুকোজের বিয়োজনকে প্রভাবিত করে। (২) অত্যধিক কার্যকারিতা এনজাইমের অন্যতম প্রধান বৈশিষ্ট্য। যেমন এক অণু অ্যান্‌হাইড্রেজ এনজাইম এক মিনিটে কার্বনিক এসিড (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) এর 360 লক্ষ অণুকে বিয়োজিত করে। (৩) প্রভাবন ক্রিয়ার প্রধান শর্ত হলো তাপমাত্রা 37°C অথবা এর কাছাকাছি এবং pH এর মান 7 এর কাছাকাছি থাকা প্রয়োজন।

শিক্ষার্থীর কাজ-৪.৪ : প্রভাবনভিত্তিক :

সমস্যা-৪.২২(ক) : সমসত্ত্ব প্রভাবনের কৌশল ব্যাখ্যা কর।

[ব. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.২২(খ) : অসমসত্ত্ব প্রভাবনের কৌশল ব্যাখ্যা কর।

সমস্যা-৪.২২(গ) : প্রভাবক কীরূপে বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি করে?

[সি. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.২২(ঘ) : সক্রিয় শক্তি বিক্রিয়ার হারকে কীরূপ প্রভাবিত করে; ব্যাখ্যা কর।

[মাদ্রাসা বো. ২০১৭;

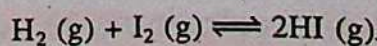
য. বো. ২০১৫]

### ৪.৫ রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা

#### Chemical Equilibrium

কোনো উভমুখী বিক্রিয়া কখনো শেষ হয় না। যেহেতু কোনো সমসত্ত্ব উভমুখী ও পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার সমান হয়ে থাকে; এ অবস্থাকে রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা বলে।

যেমন, একটি আবদ্ধ পাত্রে তুল্য পরিমাণ হাইড্রোজেন ও গাঢ় হাইড্রোজেনের আয়োডিন বাষ্প নিয়ে 450°C-এ রেখে দিলে হাইড্রোজেন ও আয়োডিন বিক্রিয়া করে 80% হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাস উৎপন্ন করে এবং বিক্রিয়ক H<sub>2</sub> ও I<sub>2</sub> এর ঘনমাত্রাহ্রাস পেয়ে 20% হয়। এই মিশ্রণের বর্ণ হালকা বেগুনি হয়।





### ৪.১৮ ভর ও শক্তির নিত্যতা সূত্র

#### Law of Conservation of Mass and Energy

তোমরা নবম-দশম শ্রেণির রসায়ন বইতে পড়েছ, রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদ ভরের নিত্যতা সূত্র মেনে চলে। কারণ বিক্রিয়ক অণুতে থাকা পরমাণুগুলো বিক্রিয়া পরিবেশে তাপ আদান প্রদান করে পুরাতন বন্ধন ভেঙ্গে নতুন বন্ধন দ্বারা উৎপাদ অণু তৈরি করে। বিক্রিয়াকালে পরমাণুগুলো স্থান পরিবর্তন করে মাত্র। এখন আমরা রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে ভরের নিত্যতা সূত্রের সাথে শক্তির নিত্যতা সূত্রও আলোচনা করব।

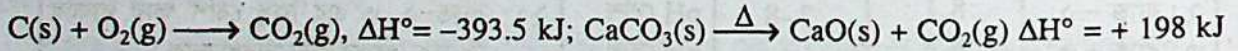
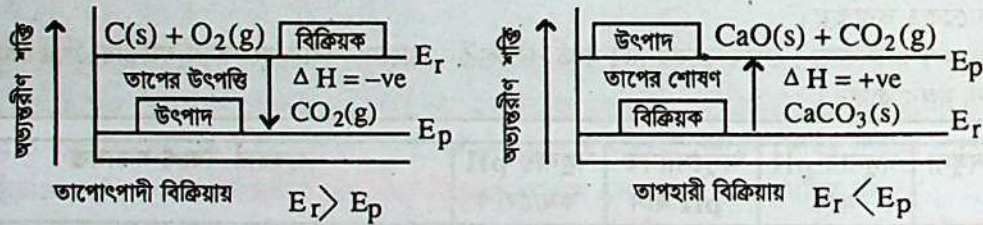
মনে রাখবে, যখন কোনো রাসায়নিক পরিবর্তন বা বিক্রিয়া সংঘটিত হয়, তাতে হয় তাপশক্তি শোষিত হবে, না হয় শক্তি বর্জিত হবে; অবশ্য এ শক্তি আলো বা অন্য কোনো প্রকারেরও হতে পারে। তবে সব ক্ষেত্রে মোট শক্তির রূপান্তর স্থির থাকে। রাসায়নিক বা বিক্রিয়ার শক্তির যে পরিবর্তন ঘটে, তা তাপগতিবিজ্ঞানের প্রথম সূত্র দ্বারা প্রকাশ করা হয়। সূত্রটি নিম্নরূপ :  
**“শক্তি এক রূপ থেকে অন্যরূপে পরিবর্তিত হতে পারে; কিন্তু একে কখনো সৃষ্টি বা ধ্বংস করা যায় না।”**

যেমন, মিথেন গ্যাসের দহনে যে শক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়, তাকে পদার্থের অভ্যন্তরীণ শক্তি বলা হয়।  
**অভ্যন্তরীণ শক্তির ওপর নির্ভর করে বিক্রিয়াকালে শক্তির শোষণ বা উদ্ভব ঘটতে পারে।**

তাপের শোষণ বা বর্জনের ওপর ভিত্তি করে রাসায়নিক পরিবর্তনকে দুভাগে ভাগ করা যায়—

(i) তাপোৎপাদী পরিবর্তন বা বিক্রিয়া ও (ii) তাপহারী পরিবর্তন বা বিক্রিয়া।

**তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায় উৎপাদের অভ্যন্তরীণ শক্তি বিক্রিয়কের অভ্যন্তরীণ শক্তির চেয়ে কম হয়। আবার তাপহারী বিক্রিয়ায় উৎপাদের অভ্যন্তরীণ শক্তি ( $E_p$ ) বিক্রিয়কের অভ্যন্তরীণ শক্তির ( $E_r$ ) চেয়ে বেশি হয়।**



অভ্যন্তরীণ শক্তি : সব বস্তুকণার মধ্যে স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তি রূপে শক্তি সঞ্চিত থাকে। বস্তুকণার মোট স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তিকে সিস্টেমের বা বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তি বা Internal energy বলে।

বস্তুতে অণু, পরমাণু, আয়ন প্রভৃতি একে অপরের সাপেক্ষে যে অবস্থান গ্রহণ করে তার ওপর ঐ বস্তুর অভ্যন্তরীণ স্থিতিশক্তি নির্ভর করে। বন্ধন ভাঙন ও বন্ধন গড়ন প্রক্রিয়ায় স্থিতিশক্তির পরিবর্তন ঘটে। অপরদিকে বস্তুর অণু, পরমাণু, আয়ন প্রভৃতি বিভিন্ন কণার কম্পন, ঘূর্ণন ও স্থানান্তর গতির ওপর বস্তুর অভ্যন্তরীণ গতিশক্তি নির্ভর করে।

উল্লেখ্য কোনো বস্তু পারিপার্শ্বিক বস্তু থেকে তাপ শক্তি শোষণ করলে তার অভ্যন্তরীণ শক্তির মান বেড়ে যায়। যদি কোনো বস্তু পারিপার্শ্বিক বস্তুতে শক্তি ছেড়ে দেয়; তবে ঐ বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তির মান কমে যায়।

কোনো বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তির প্রকৃত মান ( $E$ ) কখনো মাপা যায় না; তবে বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তনের পরিমাণ  $\Delta E$  মাপা যায়। স্থির চাপে, কোনো বিক্রিয়ার অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন ( $\Delta E$ ) নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায়।  $\Delta E = E_p - E_r$  [এখানে ‘ $\Delta$ ’ উচ্চারণ ‘ডেল্টা’, অর্থ = মাপনযোগ্য পরিবর্তন]

স্থির চাপে বিক্রিয়া তাপ : পরীক্ষাগারে সাধারণত স্থির বায়ুমণ্ডল চাপে অধিকাংশ বিক্রিয়া খোলাপাত্র যেমন বিকার, টেস্টটিউব ইত্যাদিতে ঘটানো হয়। তখন কোনো বিক্রিয়ায় গ্যাস উৎপন্ন হলে এর আয়তন বৃদ্ধি ঘটে বলে উৎপন্ন গ্যাসটিকে বায়ুমণ্ডল চাপের বিপরীতে কাজ করতে হয়। এজন্য শক্তি ব্যয়িত হয়। সুতরাং স্থির চাপে শোষিত তাপশক্তি ( $q_p$ ) এর পরিমাণ গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তির বৃদ্ধি ( $\Delta E$ ) এবং আয়তন বৃদ্ধিজনিত কাজ ( $P \times \Delta V$ ) এর যোগফলের সমান হয়।

$$\therefore q_p = \Delta E + P \times \Delta V$$



আবার অভ্যন্তরীণ শক্তির বৃদ্ধি ও ঐ বস্তু দ্বারা সম্পন্ন কাজ-এ উভয় রাশিকে একত্রে প্রকাশ করার জন্য তাপগতি বিজ্ঞানে এনথালপি (enthalpy) নামক একটি রাশি ব্যবহৃত হয়, একে H প্রতীক দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$$\therefore q_p = \Delta E + P \times \Delta V = \Delta H$$

$$\therefore \Delta H = \Delta E + P \times \Delta V$$

উল্লেখ্য গ্রিক শব্দ enthalpein অর্থাৎ 'to warm in' থেকে এনথালপি শব্দের উৎপত্তি হয়েছে। এনথালপিকে ধৃত তাপও বলা হয়।

**এনথালপির সংজ্ঞা :** স্থির চাপে কোনো সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি (U) এর সাথে সিস্টেমের চাপ ও আয়তনের গুণফল (P × V) শক্তি যোগ করলে যে মোট শক্তি হয়, তাকে সিস্টেমের এনথালপি বা ধৃত তাপ বলে। এনথালপিকে 'H' দ্বারা প্রকাশ করা হয়। অর্থাৎ,

$$H = U + P \times V; \quad \text{যেখানে, } P = \text{সিস্টেমের চাপ}$$

$$V = \text{সিস্টেমের আয়তন}$$

**MCQ-4.39 :** 0.01(M) NaOH দ্রবণের pH কত?  
(ক) 1 (খ) 2 (গ) 12 (ঘ) 13

এনথালপি একটি তাপগতীয় অপেক্ষক বা অবস্থানির্ভর রাশি অর্থাৎ এর মান বস্তুর ভৌত অবস্থা, তাপমাত্রা ও চাপের মানের উপর নির্ভর করে; কিন্তু এর মান পরিবর্তনের ধারা বা পথের উপর নির্ভর করে না। প্রকৃতপক্ষে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার তাপ পরিবর্তনকে  $\Delta H$  দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

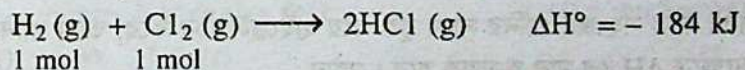
যদি তাপ শোষণকালে বস্তুর আয়তনের কোনো পরিবর্তন না ঘটে; অর্থাৎ  $\Delta V = 0$  হয়, তবে  $\Delta H = \Delta E$  হয়। যেমন কঠিন বস্তুর বেলায় তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে এর  $\Delta V$  এর মান খুব বেশি হয় না। তখন  $\Delta H$  এবং  $\Delta E$  এর মান প্রায় সমান ধরা যায়। প্রকৃতপক্ষে কোনো বিক্রিয়ায় তাপ উৎপন্ন হলে  $\Delta H$  ঋণাত্মক এবং তাপ শোষিত হলে  $\Delta H$  ধনাত্মক হয়। যেমন, ওপরের ৪.২৯(ক)-চিত্রে কার্বনের দহন বিক্রিয়ায় তাপ উৎপন্ন হওয়ায়  $\Delta H$  কে ঋণাত্মক এবং ৪.২৯(খ)-চিত্রে  $\text{CaCO}_3$  বিয়োজন কালে তাপ শোষণ হওয়ায়  $\Delta H$  কে ধনাত্মক ধরা হয়েছে।

### ৪.১৮.১ বিভিন্ন প্রকার তাপীয় বা এনথালপি পরিবর্তন

#### Different Types of Enthalpy or Heat Change

যে সব প্রক্রিয়ায় তাপের শোষণ অথবা উদ্ভব ঘটে, সে সব ক্ষেত্রে তাপীয় পরিবর্তন ঘটে। এরূপ কয়েক প্রকার তাপীয় পরিবর্তনের সংজ্ঞা নিম্নে দেয়া হলো :

(১) বিক্রিয়া তাপ : কোনো বিক্রিয়ার সমতায়ুক্ত সমীকরণ মতে বিক্রিয়কসমূহের সংখ্যানুপাতিক মোল পরিমাণে সম্পূর্ণরূপে বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন অথবা শোষিত তাপের পরিমাণকে বিক্রিয়া তাপ বলা হয়। যেহেতু প্রায় সব বিক্রিয়া স্থির চাপে ঘটে, তাই বিক্রিয়ায় তাপ পরিবর্তন ( $\Delta H$ ) বিক্রিয়া তাপের সমান। যেমন,



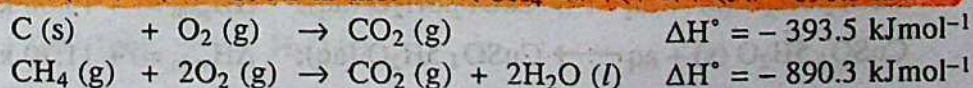
সুতরাং এক্ষেত্রে বিক্রিয়া তাপ হলো -184 kJ। আবার স্থির আয়তনের বেলায়  $\Delta H = \Delta E$  অর্থাৎ বিক্রিয়ার অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন ( $\Delta E$ ) এর মান এবং স্থির আয়তনে বিক্রিয়া তাপ ( $\Delta H$ ) এর মান সমান হয়। সুতরাং এক্ষেত্রে বিক্রিয়া তাপ পরিবর্তন সমান বিক্রিয়ায় অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন।

**∴ বিক্রিয়া তাপ,  $\Delta H^\circ = (\text{উৎপাদের গঠন তাপ}) - (\text{বিক্রিয়কের গঠন তাপ})$**

যৌগের প্রমাণ গঠন তাপ : প্রমাণ অবস্থায়, উপাদান মোল থেকে এক মোল যৌগ গঠনকালে এনথালপির পরিবর্তনকে ঐ যৌগের প্রমাণ গঠন তাপ বলে। যেমন,  $\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H^\circ = -393.5 \text{ kJmol}^{-1}$

**∴  $\text{CO}_2$  এর প্রমাণ গঠন তাপ হলো  $-393.5 \text{ kJ mol}^{-1}$**

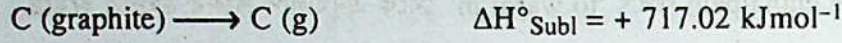
দহন তাপ : স্থির চাপমাত্রায় এক মোল পরিমাণ যে কোনো মৌলিক বা যৌগিক পদার্থকে পর্যাপ্ত অক্সিজেনের উপস্থিতিতে সম্পূর্ণরূপে দহন করলে যে পরিমাণ তাপ শক্তি নির্গত বা উৎপন্ন হয়, তাকে ঐ পদার্থের দহন তাপ বলে। প্রমাণ অবস্থায় অর্থাৎ 1 atm চাপে ও  $25^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় সংঘটিত এরূপ জারণ বিক্রিয়ায় তাপের উদ্ভবকে প্রমাণ দহন তাপ বলে। যেমন, কার্বনের প্রমাণ দহন তাপ হলো  $-393.5 \text{ kJ mol}^{-1}$  এবং  $\text{CH}_4$  এর দহন তাপ হলো  $-890.3 \text{ kJmol}^{-1}$ ।





(২) অবস্থা পরিবর্তন তাপ : অবস্থা পরিবর্তন তাপ বলতে পদার্থের ভৌত অবস্থাসমূহ যেমন কঠিন, তরল ও গ্যাসীয়-এ তিন অবস্থার মধ্যে পারস্পরিক পরিবর্তনকালে তাপের যে শোষণ অথবা উদ্গিরণ ঘটে, তাকে বোঝানো হয়। যেমন—

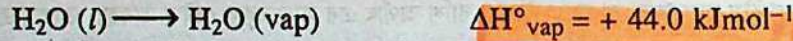
(ক) উর্ধ্বপাতন তাপ (Heat of Sublimation) : এক মোল পরিমাণ কঠিন পদার্থ যে তাপ শোষণ করে সরাসরি গ্যাসীয় অবস্থায় রূপান্তরিত হয়, তাকে উর্ধ্বপাতন তাপ বলা হয়। এক্ষেত্রে  $\Delta H^\circ$  ধনাত্মক হয়। যেমন—



(খ) গলন তাপ (Heat of Fusion) : এক মোল কঠিন পদার্থ এর গলনাক্ষেত্রে যে পরিমাণ তাপ শোষণ করে তরল অবস্থা প্রাপ্ত হয়, তাকে গলন তাপ বলা হয়। যেমন, বরফের গলন তাপ। এক্ষেত্রে  $\Delta H^\circ$  ধনাত্মক হয়। যেমন,



(গ) বাষ্পীকরণ তাপ (Heat of Vaporization) : এক মোল তরল পদার্থ এর স্ফুটনাক্ষেত্রে 1 atm চাপে যে পরিমাণ তাপ শোষণ করে বাষ্পে পরিণত হয়, তাকে ঐ পদার্থের বাষ্পীকরণ তাপ বলা হয়। যেমন,



উল্লেখ্য এক মোল পরিমাণ জলীয় বাষ্পকে তরলে পরিণত করতে যে পরিমাণ তাপের উদ্গিরণ ঘটে, তাকে পানি বা জলীয় বাষ্পের ঘনীভবন তাপ বলে। এ তাপের পরিবর্তন বাষ্পীকরণের বিপরীত হবে। যেমন—



(ঙ) পরমাণুকরণ তাপ (Heat of Atomization) : এক মোল পদার্থকে সম্পূর্ণরূপে গ্যাসীয় অবস্থায় পরমাণুতে পরিণত করতে যে তাপ শোষণ করে, তাকে পরমাণুকরণ তাপ বলা হয়। এক্ষেত্রে  $\Delta H^\circ$  ধনাত্মক হয়। যেমন,

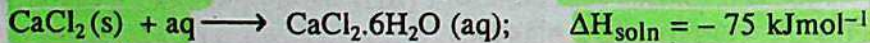
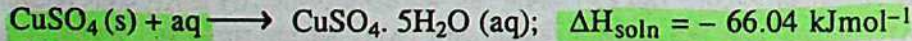


লক্ষণীয়, এক্ষেত্রে প্রতি মোল ক্লোরিন পরমাণুকে বোঝায়; প্রতি মোল ক্লোরিন অণু নয়।

(৪) দ্রবণ তাপ (Heat of Solution) : একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় যথেষ্ট পরিমাণ দ্রাবকে 1 মোল দ্রবকে দ্রবীভূত করে যদি দ্রবণ প্রস্তুত করা হয় এবং তাতে যদি আরো দ্রাবক যোগ করেও তাপীয় অবস্থার কোনো পরিবর্তন ঘটানো না যায় তবে ঐ দ্রবণ প্রস্তুত করতে তাপের যে পরিবর্তন ঘটে, তাকে ঐ দ্রবের দ্রবণ তাপ বলে।

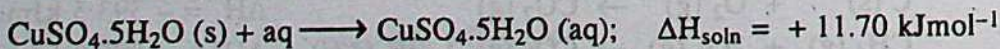
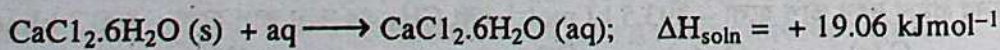
সাধারণভাবে 200–450 মোল দ্রাবকে 1 মোল দ্রব দ্রবীভূত করে যে দ্রবণ প্রস্তুত হয়, তাতে আরো দ্রাবক যোগ করলেও দ্রবণের তাপীয় অবস্থার পরিবর্তন ঘটে না।

যে সব অনার্দ্র লবণ অতি সহজেই পানির সাথে যুক্ত হয়ে হাইড্রেট গঠন করে, তারা পানিতে দ্রবীভূত হবার সময় তাপ উৎপন্ন হয়। অর্থাৎ এক্ষেত্রে  $\Delta H$  এর মান ঋণাত্মক হবে। যেমন,



**দ্রবণ তাপের বৈশিষ্ট্য :**

- কোনো দ্রব্য দ্রবীভূত হওয়ার সময় দ্রব ও দ্রাবকের মধ্যে রাসায়নিক বিক্রিয়া সংঘটিত না হলে, তখন ঐ দ্রবের দ্রবণ তাপ ( $\Delta H$ ) এর মান ধনাত্মক হয়।
- কিন্তু দ্রব ও পানির মধ্যে রাসায়নিক বিক্রিয়া সংঘটিত হলে ঐ দ্রবের দ্রবণ তাপ ( $\Delta H$ ) এর মান ঋণাত্মক হয়।
- যে সব হাইড্রেট লবণ পানির সাথে নতুনভাবে হাইড্রেট গঠন করে না, তারা পানিতে দ্রবীভূত হবার সময় তাপ শোষণ করে। অর্থাৎ এক্ষেত্রে  $\Delta H$  এর মান ধনাত্মক হয়। হাইড্রেট লবণ (যেমন, গাঢ় নীল  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ) পানির সাথে যুক্ত হয় না তারা তাপ শোষণ করে পানিতে দ্রবীভূত হয়। যেমন—









দুর্বল HF এসিড ও সবল NaOH এর প্রশমন তাপ  $-57.34$  kJ থেকে কিছু কম হয়। কিন্তু দ্রবণে উপস্থিত ফ্লোরাইড ( $F^-$ ) আয়নের আকার সবচেয়ে ছোট হওয়ায় এতে চার্জ ঘনত্ব বেশি হয়। তাই  $F^-$  আয়নের সাথে পোলার পানি অণুর মধ্যে পানিযোজন তাপ বা হাইড্রেশন শক্তি অন্যান্য ঋণাত্মক আয়নের চেয়ে বেশি হয়। সুতরাং  $F^-$  আয়নের অতিরিক্ত পানিযোজন তাপ প্রশমন তাপের সাথে যোগ হয়ে  $-68.6$  kJ হয়। উল্লেখ্য দ্রবণে মোল পরিমাণে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়ন পানি অণুর সাথে সংযোগের ফলে নির্গত তাপ শক্তিকে হাইড্রেশন শক্তি বলে।

**দ্রষ্টব্য :** হ্যালোজেন হাইড্রোসিড HX(aq) এর মধ্যে HF সবচেয়ে দুর্বল এসিড। 1M  $CH_3COOH$  মাত্র 0.42% এবং HF মাত্র 2.6% আয়নিত হয়। সবল এসিড 75% এর অধিক আয়নিত হয়। কোনো কোনো লেখক HF কে সবল এসিড বলে এর ব্যাখ্যা করেছেন; এটি তথ্যগত ভুল।

সারণি-৪.৬ :  $25^\circ C$  তাপমাত্রায় তীব্র এসিড, দুর্বল এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপ,  $\Delta H$

এসিড	তীব্র ক্ষার	প্রশমন তাপ, $\Delta H_{rxn}^\circ$ (kJmol $^{-1}$ )
HCl (strong)	NaOH	$-57.34$
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (strong)	NaOH	$-57.44$
HNO <sub>3</sub> (strong)	NaOH	$-57.35$
HCl (strong)	KOH	$-57.43$
CH <sub>3</sub> COOH (weak)	NaOH	$-55.14$
CH <sub>3</sub> COOH (weak)	NH <sub>4</sub> OH	$-50.40$
HF (weak)	NaOH	$-68.60$

শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.১৫ : প্রশমন তাপভিত্তিক :

সমস্যা-৪.৫২(ক) : তীব্র এসিড ও তীব্র ক্ষারের প্রশমন তাপের মান দ্রব-ব্যাখ্যা কর। [ঢা. বো. ২০১৫; য. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.৫২(খ) : HF এসিড ও NaOH এর প্রশমন তাপের মান  $-57.34$  kJ থেকে বেশি কেন—ব্যাখ্যা কর।

[রা. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.৫২(গ) : দুর্বল এসিড ( $CH_3COOH$ ) ও সবল ক্ষার (NaOH) এর প্রশমন তাপ  $-57.34$  kJ থেকে কম কেন? ব্যাখ্যা কর।

[রা. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৬; দি. বো. ২০১৬]

সমস্যা-৪.৫৩(ক) : (1) 0.1M HCl + 0.1M NaOH; (2) 0.1M HF + 0.1M NaOH;

বিক্রিয়া (1) ও (2) এর প্রশমন-তাপ একই হবে কীনা ব্যাখ্যা কর।

[কু. বো. ২০১৭]

সমস্যা-৪.৫৩(খ) : (1) 1M KOH + 1M HNO<sub>3</sub>; (2) 1M NaOH + 1M HF;

বিক্রিয়া (1) ও (2) এর মধ্যে কোনটিতে প্রশমন-তাপ বেশি হবে এবং কেন তা ব্যাখ্যা কর।

[চ. বো. ২০১৭]

সমস্যা-৪.৫৩(গ) : (1) 1M NaOH + 1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; (2) 1M NaOH + 0.1M CH<sub>3</sub>COOH;

বিক্রিয়া (1) ও (2) এর মধ্যে প্রশমন-তাপ ভিন্ন হওয়ার কারণ ব্যাখ্যা কর।

[সি. বো. ২০১৭]

সমস্যা-৪.৫৩(ঘ) :  $1M HCl + 1M NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$ ;  $\Delta H = -57.34$  kJ;

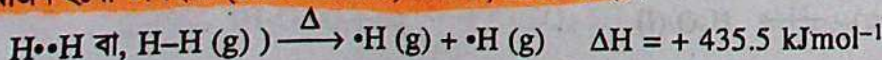
উপরোক্ত বিক্রিয়ায় HCl এর স্থলে HF এসিড ব্যবহৃত হলে, তখন  $\Delta H$  এর মানের পরিবর্তন ঘটবে কীনা ব্যাখ্যা কর।

[মাদ্রাসা বো. ২০১৭]

## ৪.২০ বন্ধন শক্তি ও বিক্রিয়া তাপ

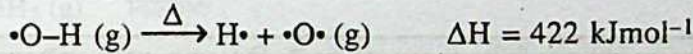
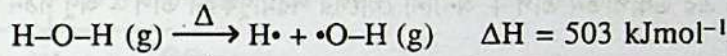
### Bond Energy & Heat of Reaction

বন্ধন শক্তি : সমযোজী বন্ধনে আবদ্ধ কোনো অণুতে সমযোজী বন্ধন শক্তি নির্ভর করে উভয় পরমাণুর নিউক্লিয়াস ও শেয়ারকৃত ইলেকট্রনের মধ্যে আকর্ষণের মাত্রার ওপর। যেমন H-H, H-Cl, N-H, C-H ইত্যাদি ক্ষেত্রে উভয় পরমাণু যথাক্রমে  $435.5$  kJmol $^{-1}$ ,  $433$  kJmol $^{-1}$ ,  $391$  kJmol $^{-1}$ ,  $430.53$  kJmol $^{-1}$  বন্ধন-শক্তিতে আবদ্ধ আছে। সুতরাং গ্যাসীয় অবস্থায় প্রতি ক্ষেত্রে এক মোল বন্ধন ভাঙতে ঐ সমপরিমাণ শক্তি প্রয়োগ করতে হয় বা শোষিত হয়। তাই বন্ধন-বিশোধন হলো তাপহারী (endothermic) বিক্রিয়া;  $\Delta H > 0$  হয়।





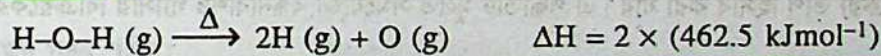
আবার কোনো যৌগ অণুতে একই প্রকার দুই বা ততোধিক সমযোজী বন্ধন থাকলে তখন প্রত্যেক বন্ধন ধাপে ধাপে ভাঙতে ভিন্ন ভিন্ন পরিমাণ তাপ শক্তির প্রয়োজন হয়। তখন ঐ সব বন্ধন ভাঙনের তাপ শক্তিসমূহের গড় মানকে ঐ যৌগে ঐ বন্ধনের গড় বন্ধন শক্তি (average bond energy) বলা হয়। যেমন পানি (H<sub>2</sub>O) অণুতে দুটি O–H (অক্সিজেন-হাইড্রোজেন) বন্ধন আছে। পানি (H–O–H) অণুর ঐ দুটি বন্ধন ধাপে ধাপে ভাঙতে যথাক্রমে 503 kJmol<sup>-1</sup> এবং 422 kJmol<sup>-1</sup> প্রয়োজন হয়। যেমন,



$$\therefore \text{H}_2\text{O অণুতে O-H বন্ধনের গড় বন্ধন শক্তি} = \frac{(503 + 422)}{2} \text{ kJmol}^{-1} = 462.5 \text{ kJmol}^{-1}$$

বন্ধন শক্তির সংজ্ঞা : গ্যাসীয় বা বাষ্পীয় অবস্থায় কোনো পদার্থের এক মোল অণুর নির্দিষ্ট দুটি পরমাণুর মধ্যস্থ একই প্রকার এক মোল বন্ধনকে অর্থাৎ  $6.022 \times 10^{23}$  টি বন্ধনকে ভেঙে মুক্ত পরমাণু বা মূলকে পরিণত করতে যে পরিমাণ গড় শক্তির প্রয়োজন হয়, তাকে সংশ্লিষ্ট বন্ধনের বন্ধন শক্তি বলে। সব বন্ধন-শক্তির মান ধনাত্মক। যেমন,

এক মোল পানি (H<sub>2</sub>O) অণুতে দুই মোল সমযোজী O–H বন্ধন আছে। ঐ দুই মোল সমযোজী বন্ধনকে তাপ প্রয়োগে ভেঙ্গে H ও O মুক্ত পরমাণুতে পরিণত করতে 462.5 kJmol<sup>-1</sup> তাপ শক্তি শোষিত হয়। সুতরাং পানি অণুতে O–H বন্ধন শক্তি হলো + 462.5 kJmol<sup>-1</sup>।



বন্ধন শক্তির শুরুত্ব : উল্লেখ্য কোনো যৌগ অণুর বন্ধন শক্তি বলতে বন্ধন গঠন শক্তি ও বন্ধন বিয়োজন শক্তি উভয়কে বোঝানো হয়। উভয়ের সংখ্যামান একই থাকে। তবে (১) বন্ধন গঠন তাপ হলো ঋণাত্মক; কারণ বন্ধন গঠন একটি তাপোৎপাদী প্রক্রিয়া। (২) বন্ধন বিয়োজন তাপ হলো ধনাত্মক; কারণ বন্ধন বিয়োজন একটি তাপহারী বিক্রিয়া। আবার এ যাবৎ প্রায় 4 কোটি যৌগ সম্বন্ধে জানা গেলেও তবে খুব কম সংখ্যক যৌগের গঠন তাপ জানা গেছে। তাই বন্ধন বিয়োজন শক্তি গণনা থেকে বন্ধন গঠন শক্তি জানা যায়।

(ক) বন্ধন শক্তি গণনা : যে যৌগের অণুর বন্ধন শক্তি গণনা করতে হবে তার 'অণু গঠন তাপ' এবং বন্ধন গঠনকারী মৌলগুলোর 'পরমাণুকরণ শক্তি' ব্যবহার করে যৌগের বন্ধন শক্তি গণনা করা যায়। একটি যৌগের অণুতে একাধিক একই জাতীয় বন্ধন (যেমন CH<sub>4</sub> অণুতে) থাকলে তখন ঐ যৌগের ক্ষেত্রে গড় বন্ধন শক্তি নির্ণয় করা হয়—

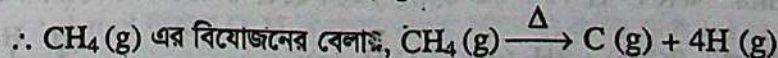
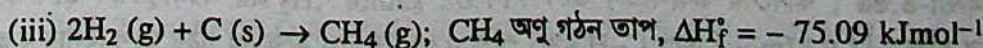
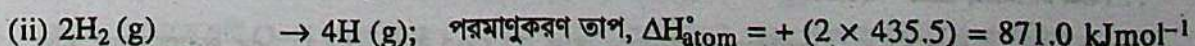
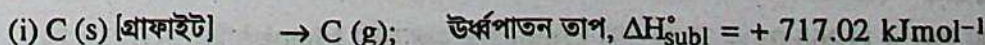
$$(১) \text{ গড় বন্ধন শক্তি} = (\text{সব বন্ধন বিয়োজন শক্তি} + \text{বন্ধন সংখ্যা})$$

$$(২) \text{ অণুর বন্ধন বিয়োজন শক্তি} = \text{অণুর বন্ধন গঠন শক্তি} = [\text{উর্ধ্বপাতন তাপ} + \text{পরমাণুকরণ তাপ} - \text{অণু গঠন তাপ}]$$

$$(৩) \text{ গড় বন্ধন শক্তি} = [\text{উর্ধ্বপাতন তাপ} + \text{পরমাণুকরণ তাপ} - \text{অণু গঠন তাপ}] \div \text{বন্ধন সংখ্যা}$$

[ এক্ষেত্রে গ্রাফাইট কার্বনের বেলায় উর্ধ্বপাতন তাপ এবং অন্য সব মৌলের বেলায় পরমাণুকরণ তাপ হবে ]

উদাহরণ : CH<sub>4</sub> এর C–H বন্ধন শক্তি গণনা করা যাক, এক্ষেত্রে নিম্নরূপ তাপীয় পরিবর্তন ঘটে :



$$\therefore \text{CH}_4 \text{ (g) এর বিয়োজন তাপ, } \Delta H^{\circ} = (\text{উর্ধ্বপাতন তাপ} + \text{পরমাণুকরণ তাপ} - \text{অণু গঠন তাপ})$$

$$= (717.02 + 871.0) - (- 75.09) = 1663.11 \text{ kJmol}^{-1}$$



$$\begin{aligned} \text{অতএব, C-H বন্ধন শক্তি} &= (1663.11 \div 4) \text{ kJmol}^{-1} \text{ [যেহেতু CH}_4 \text{ এ চারটি C-H আছে।]} \\ &= 415.78 \text{ kJmol}^{-1} \end{aligned}$$

যে সব জৈব যৌগে C-H বন্ধন ছাড়াও C-O বা, C-C বা অন্য কোনো বন্ধন থাকে, তখন তাদের বন্ধন শক্তি নিম্নলিখিত সমীকরণের সাহায্যে হিসাব করা যায় :

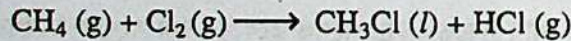
$$\text{বন্ধন শক্তি, } \Delta H = [\text{কার্বন (গ্রাঃ) এর উর্ধ্বপাতন তাপ} + \text{অন্যান্য যৌগের পরমাণুকরণ তাপ} - \text{অণু গঠন তাপ} - (\text{C-H বন্ধন শক্তি} \times \text{C-H বন্ধন সংখ্যা})]$$

জেনে রাখ : কোনো গ্যাসীয় রাসায়নিক বিক্রিয়ার বিক্রিয়ক অণুগুলোতে উপস্থিত বন্ধনগুলোর মোট বন্ধন শক্তির মান যদি উৎপাদ অণুগুলোতে উপস্থিত বন্ধনগুলোর মোট বন্ধন শক্তির মানের চেয়ে বেশি হয়, তবে বিক্রিয়াটি তাপহারী বিক্রিয়া হয়। অর্থাৎ যদি  $\Sigma(\text{BE})_{\text{reactants}} > \Sigma(\text{BE})_{\text{product}}$  হয়, তবে  $\Delta H^\circ > 0$  অর্থাৎ ধনাত্মক হয়; বিক্রিয়াটি তাপহারী হয়। আবার যদি  $\Sigma(\text{BE})_{\text{reactants}} < \Sigma(\text{BE})_{\text{product}}$  হয়, তবে  $\Delta H^\circ < 0$  অর্থাৎ ঋণাত্মক হয়; বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী হয়। এখানে BE = বন্ধন শক্তি (Bond Energy)

(খ) বন্ধন শক্তির সাহায্যে বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় : সব যৌগেই একটি নির্দিষ্ট বন্ধন শক্তি (যেমন C-H) প্রায় সমান। এর ওপর ভিত্তি করে যে কোনো যৌগের ক্ষেত্রে বিক্রিয়কের মোট বন্ধন বিয়োজন তাপ থেকে উৎপাদের মোট বন্ধন গঠন তাপ বিয়োগ করে বিক্রিয়া তাপ হিসাব করা যায়। এ পদ্ধতিটি মূলত সমযোজী বন্ধনবিশিষ্ট গ্যাসীয় বিক্রিয়কের ক্ষেত্রে প্রয়োগ করা যায়।

$$\text{বিক্রিয়া তাপ, } \Delta H = (\text{বিক্রিয়কের মোট বন্ধন বিয়োজন তাপ}) - (\text{উৎপাদের মোট বন্ধন গঠন তাপ})$$

যেমন, নিম্নলিখিত বিক্রিয়ায় বন্ধন শক্তি ব্যবহার করে বিক্রিয়া-তাপ হিসাব করা যায়।



দেয়া আছে C-H বন্ধন শক্তি  $430.53 \text{ kJmol}^{-1}$ , Cl-Cl বন্ধন শক্তি  $242.90 \text{ kJmol}^{-1}$  এবং C-Cl বন্ধন শক্তি  $328 \text{ kJmol}^{-1}$ । H-Cl বন্ধন শক্তি  $433 \text{ kJmol}^{-1}$ ।

সমাধান : প্রদত্ত বিক্রিয়ার বন্ধন শক্তি নিম্নরূপ :

বিক্রিয়ক	কিলোজুল (kJ)	উৎপাদ	কিলোজুল (kJ)
4C-H	$4(430.53) = 1722.12$	3C-H	$(3 \times 430.53) = 1291.59$
1Cl-Cl	$= 242.90$	1C-Cl	$= 328.00$
		1H-Cl	$= 433.00$

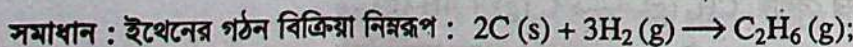
$$\therefore \text{বিক্রিয়কের বন্ধন বিয়োজন তাপ} = 1965.02$$

$$\therefore \text{উৎপাদের বন্ধন গঠন তাপ} = 2052.59$$

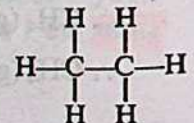
$$\therefore \text{বিক্রিয়া তাপ, } \Delta H = (\text{বিক্রিয়কের মোট বন্ধন বিয়োজন তাপ} - \text{উৎপাদের মোট বন্ধন গঠন তাপ})$$

$$\therefore \text{বিক্রিয়া তাপ, } \Delta H = (1965.02 - 2052.59) \text{ kJmol}^{-1} = -87.57 \text{ kJmol}^{-1}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৯ : কার্বনের উর্ধ্বপাতন তাপ  $717.02 \text{ kJmol}^{-1}$ ,  $\text{H}_2$  এর পরমাণুকরণ তাপ  $435.5 \text{ kJmol}^{-1}$ , C-C বন্ধন শক্তি  $343.9 \text{ kJmol}^{-1}$  এবং C-H বন্ধন শক্তি  $430.53$  হলে ইথেনের গঠন তাপ হিসাব কর।

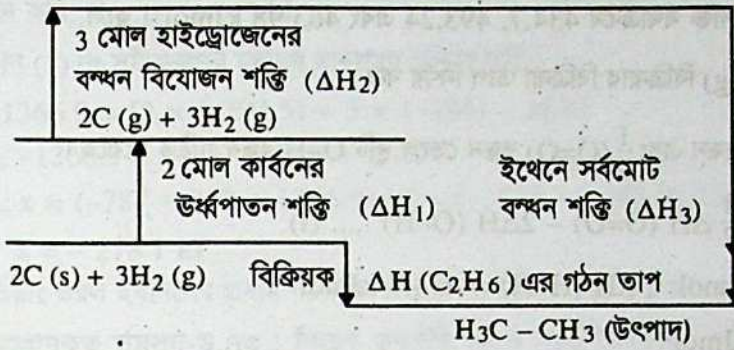


এক্ষেত্রে 2 mol কার্বনের উর্ধ্বপাতন ঘটে ও তিনটি H-H বন্ধন ভেঙে যায়।





একটি C-C বন্ধন ও ছয়টি C-H বন্ধন গঠন হয়। এ বিক্রিয়াটি সংঘটনের বিভিন্ন ধারা হলো নিম্নরূপ :



সারণি ৪.৭ : বিভিন্ন গড় বন্ধন-শক্তি

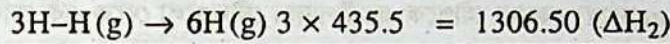
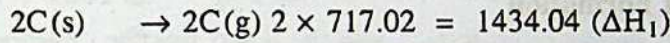
বন্ধন	$\text{kJmol}^{-1}$
H-H	435.50
H-F	564.00
H-Cl	433.00
H-Br	366.00
H-I	299.00
C-H	430.53
C-Cl	328.00
Cl-Cl	242.90
O=O	498.40
O-H	462.50
N-H	391.00
C-C	343.90
C=C	615.00
C≡C	812.00
C=O	724.00

শক্তি চিত্র হতে বোঝা যায়,  $\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$

[এখানে  $\Delta H_1$  ও  $\Delta H_2$  বন্ধন বিয়োজন শক্তি হওয়ায় ধনাত্মক এবং  $\Delta H_3$  বন্ধন গঠন শক্তি হওয়ায় এর ঋণাত্মক মান নিতে হবে।]

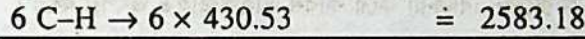
সুতরাং বন্ধন শক্তির পরিবর্তন নিম্নরূপে হিসাব করা যায়।]

বিক্রিয়ক-এর বন্ধন বিয়োজন শক্তি : কিলোজুল (kJ)



$$= 2740.54 \quad (\Delta H_1 + \Delta H_2)$$

উৎপাদ-এর বন্ধন গঠন শক্তি : কিলোজুল (kJ)



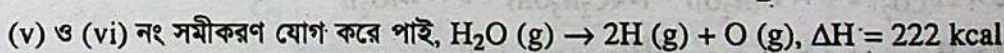
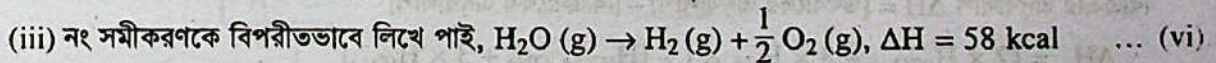
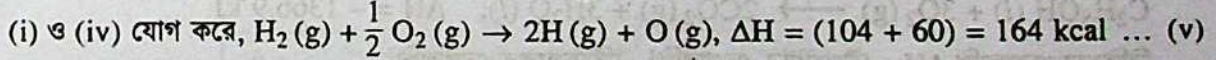
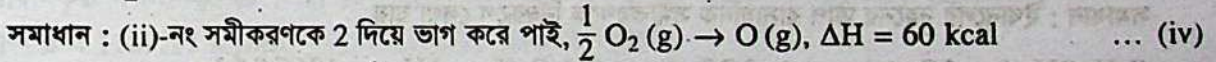
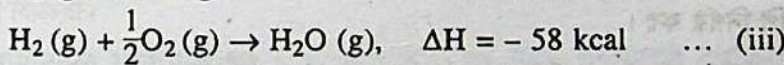
$$= 2937.08 \quad (\Delta H_3) \quad (\text{বন্ধন গঠন শক্তি ঋণাত্মক})$$

অতএব, 1 মোল ইথেনের গঠন তাপ হবে :

$$\Delta H = (2740.54 - 2937.08) \text{ kJmol}^{-1} = -196.54 \text{ kJmol}^{-1}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭০ : বিক্রিয়া তাপ হতে বন্ধন শক্তি নির্ণয় :

নিচের বিক্রিয়াগুলোর তাপের মান থেকে O-H বন্ধনের বন্ধন শক্তি কিলোক্যালরি ও কিলোজুলে নির্ণয় করো-



এক অণু পানিতে দুটি O-H বন্ধন আছে। সুতরাং, 1 মোল পানিতে 2 মোল সংখ্যক O-H বন্ধন আছে।

কাজেই 2 mol সংখ্যক O-H বন্ধনকে ভাঙার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি = 222 kcal

∴ 1 mol সংখ্যক O-H বন্ধনকে ভাঙার জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি = 111 kcal

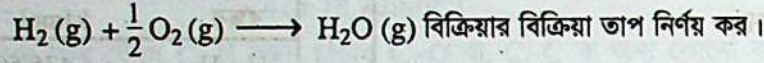
অর্থাৎ O-H বন্ধনের বন্ধন শক্তি = 111 kcal/mol [উল্লেখ্য, 1 kcal = 4.186 kJ]

∴ কিলোজুল এককে O-H বন্ধন শক্তি =  $111 \times 4.186 \text{ kJmol}^{-1} = 464.65 \text{ kJmol}^{-1}$



সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭১ : বন্ধনশক্তি থেকে বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় :

H-H, O=O এবং O-H বন্ধনের বন্ধন শক্তি যথাক্রমে 434.7, 493.24 এবং 463.98 kJmol<sup>-1</sup> হলে,



সমাধান : প্রশ্নমতে, বিক্রিয়ায় 1টি H-H বন্ধন এবং  $\frac{1}{2}$ (O=O) বন্ধন ভেঙ্গে দুটি O-H বন্ধন গঠিত হয়েছে।

$$\therefore \text{ বিক্রিয়া তাপ, } \Delta H = \Delta H(\text{H-H}) + \frac{1}{2} \Delta H(\text{O=O}) - 2\Delta H(\text{O-H}) \dots (i)$$

দেয়া আছে,  $\Delta H(\text{O-H}) = 463.98 \text{ kJmol}^{-1}$ ,  $\Delta H(\text{H-H}) = 434.7 \text{ kJmol}^{-1}$ ,

$$\Delta H(\text{O=O}) = 493.24 \text{ kJmol}^{-1}$$

$$\therefore (i) \text{ নং হতে পাই, } \Delta H = +434.7 + \left(\frac{1}{2} \times 493.24\right) - 2 \times 463.98 = -246.64 \text{ kJmol}^{-1}$$

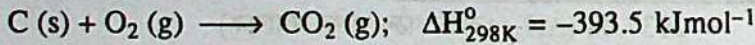
$$\therefore \text{ বিক্রিয়াটির বিক্রিয়া তাপ} = -246.64 \text{ kJmol}^{-1}$$

### ৪.২০.১ প্রমাণ গঠন এনথালপি বা প্রমাণ গঠন তাপ

#### Standard Enthalpy (or Heat) of Formation

সংজ্ঞা : প্রমাণ অবস্থায় (298K তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে) কোনো যৌগকে এর উপাদান মৌলগুলো থেকে এক মোল পরিমাণে উৎপন্ন করার সময়ে যে পরিমাণ তাপ শক্তি বা এনথালপির পরিবর্তন ( $\Delta H$ ) ঘটে, তাকে ঐ যৌগের প্রমাণ গঠন তাপ বা এনথালপি বলে। প্রমাণ গঠন এনথালপিকে  $H_f^\circ$  দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এর একক হচ্ছে কিলোজুল প্রতি মোল।

উদাহরণস্বরূপ 25°C তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে কার্বন ও অক্সিজেন বিক্রিয়া করে কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন করে।



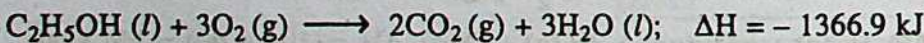
এখন বিক্রিয়ার এনথালপি পরিবর্তন = যৌগ CO<sub>2</sub> এর গঠন এনথালপি =  $H_f^\circ$

$$H_f^\circ = [\text{কার্বন ডাইঅক্সাইডের গঠন এনথালপি}] - [\text{কার্বনের এনথালপি} + \text{অক্সিজেনের এনথালপি}]$$

$$= H(\text{CO}_2) - [H(\text{C}) + H(\text{O}_2)]; \text{ [এখানে H দ্বারা প্রত্যেক পদার্থের গঠন এনথালপি বোঝানো হয়েছে।]}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭২ : প্রমাণ অবস্থায়, CO<sub>2</sub> (g) এবং H<sub>2</sub>O (l) এর গঠন এনথালপি যথাক্রমে -393.5 kJ এবং -286 kJ। 25°C তাপমাত্রায় তরল ইথানলের দহন বিক্রিয়ার এনথালপি -1366.9 kJ হলে তরল ইথানলের গঠন তাপ বা এনথালপি নির্ণয় কর।

সমাধান : ইথানলের দহনের তাপ রাসায়নিক সমীকরণকে নিম্নরূপে লেখা যায়-



বিক্রিয়ার এনথালপি  $\Delta H = [\text{উৎপাদের এনথালপি}] - [\text{বিক্রিয়কের এনথালপি}]$

$$\therefore \Delta H = (2 \times H(\text{CO}_2) + 3 \times H(\text{H}_2\text{O})) - [H(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) + 3 \times H(\text{O}_2)]$$

$$= [2 \times H(\text{CO}_2) + 3 \times H(\text{H}_2\text{O})] - [H(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) + 0]$$

$$= [2 \times H(\text{CO}_2) + 3 \times H(\text{H}_2\text{O})] - H(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \dots \dots (1)$$

দেয়া আছে,  $H(\text{CO}_2) = -393.5 \text{ kJ}$  এবং  $H(\text{H}_2\text{O}) = -286 \text{ kJ}$ ,  $\Delta H = -1366.9 \text{ kJ}$



মনে করি,  $H(C_2H_5OH) = x$  kJ

এখন (1) নং সমীকরণের যথাযথ মানসমূহ বসিয়ে পাই,

$$-1366.9 = [2 \times (-393.5) + 3 \times (-286) - x] \text{ kJ}$$

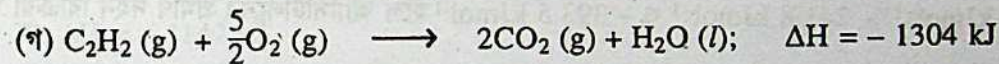
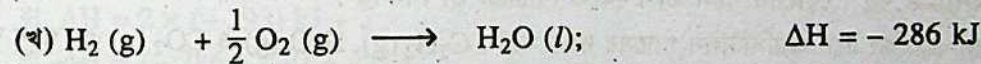
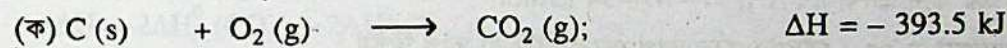
$$\text{বা, } -1366.9 = (-787 - 858 - x) \text{ kJ}$$

$$\text{বা, } x = (-787 - 858 + 1366.9) \text{ kJ} = (-1645 + 1366.9) \text{ kJ}$$

$$\therefore x = -278.1 \text{ kJ}$$

সুতরাং তরল ইথানলের প্রমাণ গঠন তাপ বা এনথালপি =  $-278.1 \text{ kJmol}^{-1}$  (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭৩ : নিচের তথ্যাদি থেকে অ্যাসিটিলিনের গঠন তাপ বা এনথালপি হিসাব কর এবং অ্যাসিটিলিনের গঠন বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী না তাপহারী তা বিশ্লেষণ কর।



সমাধান : সমীকরণ (ক) ও (খ) মতে,  $CO_2$  ও  $H_2O$  এর গঠন এনথালপি =  $-393.5$  ও  $-286 \text{ kJmol}^{-1}$ ।

ধরা যাক, অ্যাসিটিলিনের গঠন এনথালপি =  $x \text{ kJmol}^{-1}$

আমরা জানি, বিক্রিয়া তাপ,  $\Delta H = (\text{উৎপাদের গঠন তাপ বা এনথালপি}) - (\text{বিক্রিয়কের গঠন তাপ বা এনথালপি})$

সুতরাং সমীকরণ (গ) হতে পাই,

$$\Delta H = [2 \times H(CO_2) + H(H_2O)] - [H(C_2H_2) + \frac{5}{2} \times H(O_2)]$$

$$\text{বা, } -1304 = [2 \times (-393.5) + (-286) \text{ kJ}] - \left[ x + \frac{5}{2} \times 0 \right] \text{ kJ}$$

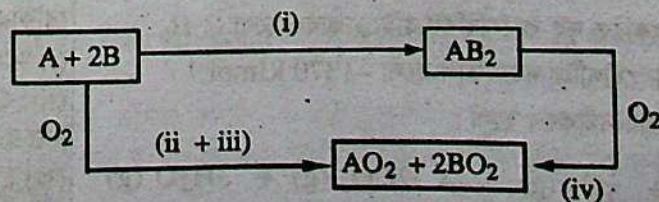
$$\text{বা, } -1304 = [-787.0 - 286] \text{ kJ} - x \text{ kJ}$$

$$\text{বা, } x = [-1073.0 + 1304] \text{ kJ} = +231 \text{ kJ}; \therefore x = +231 \text{ kJmol}^{-1}$$

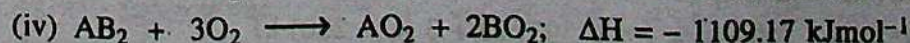
$$\therefore \text{অ্যাসিটিলিনের গঠন তাপ} = +231 \text{ kJmol}^{-1}$$

বিশ্লেষণ : নির্ণীত গঠন তাপ ধনাত্মক যেমন  $\Delta H = +231 \text{ kJmol}^{-1}$  হওয়ায় অ্যাসিটিলিনের গঠন বিক্রিয়াটি হলো তাপহারী বিক্রিয়া।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭৪ : A, B ও  $AB_2$  এর দহন এনথালপি যথাক্রমে  $-394.55 \text{ kJmol}^{-1}$ ,  $-594.78 \text{ kJmol}^{-1}$  ও  $-1109.17 \text{ kJmol}^{-1}$  হলে  $AB_2$  এর  $\Delta H_f$  নির্ণয় কর।



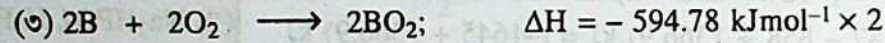
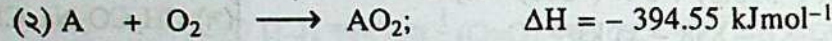
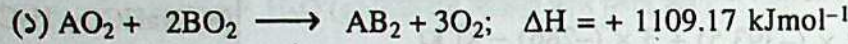
সমাধান : বিভিন্ন ধাপে সংঘটিত বিক্রিয়া এবং তাদের  $\Delta H$  মান :



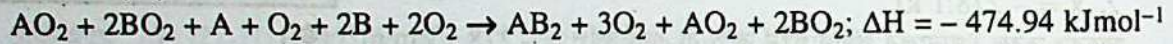


ডায়ামাম মতে, (i) কাজীকৃত বিক্রিয়ার উৎপাদ হচ্ছে  $AB_2$

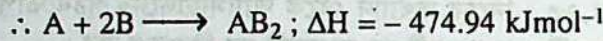
সূত্রাং (iv) নং বিক্রিয়াটিকে উল্টাতে হবে তখন  $AB_2$  উৎপাদ হবে :



সমীকরণ ১, ২, ৩ এর যোগ করে পাই—



উভয় দিক থেকে সদৃশ উপাদান বাদ দিয়ে পাই—

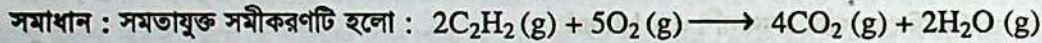


সূত্রাং  $AB_2$  এর গঠন এনথালপি  $\Delta H_f = - 474.94 \text{ kJmol}^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭৫ : যৌগের গঠন তাপ থেকে বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় :

অক্সি-অ্যাসিটিলিন ওয়েল্ডিং টর্চে অ্যাসিটিলিন গ্যাসের দহন ঘটে।  $C_2H_2(g)$ ,  $H_2O(g)$  ও  $CO_2(g)$  এর গঠন তাপ যথাক্রমে  $-227.4 \text{ kJmol}^{-1}$ ,  $-241.8 \text{ kJmol}^{-1}$  ও  $-393.5 \text{ kJmol}^{-1}$  হলে অ্যাসিটিলিনের প্রমাণ দহন বিক্রিয়া তাপ বের কর।

দক্ষতা : প্রথমে সমতায়ুক্ত দহন বিক্রিয়ার সমীকরণ লেখ।



সংশ্লিষ্ট যৌগের গঠন তাপ নিচের সমীকরণে ব্যবহার করে অ্যাসিটিলিনের দহন তাপ,  $\Delta H^\circ$  গণনা করা হলো : এক্ষেত্রে প্রমাণ বিক্রিয়া তাপ হলো দহন তাপ : বিক্রিয়া তাপ,  $\Delta H^\circ = (\text{উৎপাদের গঠন তাপ}) - (\text{বিক্রিয়কের গঠন তাপ})$

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ &= [4 \Delta H_f^\circ(CO_2) + 2 \Delta H_f^\circ(H_2O)] - [2 \Delta H_f^\circ(C_2H_2)] \quad [\text{মৌল } O_2 \text{ এর গঠন তাপ শূন্য}] \\ &= 4 \text{ mol} \times (-393.5 \text{ kJ/mol}) + 2 \text{ mol} \times (-241.8 \text{ kJ/mol}) - 2 \text{ mol} \times (-227.4 \text{ kJ/mol}) \\ &= -1602.8 \text{ kJ} \end{aligned}$$

সমীকরণ মতে, 2 mol  $C_2H_2$  এর দহন বিক্রিয়া তাপ  $-1602.8 \text{ kJ}$

$$\therefore 1 \text{ mol } C_2H_2 \text{ এর দহন বিক্রিয়া তাপ} = (-1602.8 + 2) = 801.4 \text{ kJ}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭৬ : দুই কার্বনবিশিষ্ট দুটি হাইড্রোকার্বন P ও Q যথাক্রমে  $sp^3$  ও  $sp^2$  সংকরণ দ্বারা গঠিত। এক্ষেত্রে Q যৌগ,  $CO_2(g)$ ,  $H_2O(l)$  এর প্রমাণ গঠন তাপ যথাক্রমে  $-84$ ,  $-393$  ও  $-220 \text{ kJmol}^{-1}$  হয়। হাইড্রোকার্বন P এর প্রমাণ দহন তাপ  $-1370 \text{ kJmol}^{-1}$  হয়। [চ. বো. ২০১৬]

(ক) হাইড্রোকার্বন P এর প্রমাণ গঠন তাপ নির্ণয় কর।

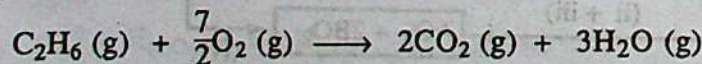
(খ) উদ্দীপকের P ও Q যৌগের মধ্যে কোনটি উৎকৃষ্ট জ্বালানি হবে, তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

সমাধান : (ক) P যৌগের প্রমাণ গঠন তাপ নির্ণয় কর :

উদ্দীপক মতে,  $sp^3$  সংকরিত দুই কার্বনবিশিষ্ট হাইড্রোকার্বন হলো  $C_2H_6$

প্রশ্ন মতে,  $C_2H_6$  বা P যৌগটির দহন তাপ হলো  $-1370 \text{ kJmol}^{-1}$ ।

$C_2H_6$  এর দহন বিক্রিয়ার সমীকরণ হলো :



$C_2H_6$  এর দহন তাপ থেকে  $C_2H_6$  যৌগের গঠন তাপ  $\Delta H_f^\circ$  গণনা করা হলো :

বিক্রিয়া তাপ,  $\Delta H^\circ = (\text{উৎপাদের গঠন তাপ}) - (\text{বিক্রিয়কের গঠন তাপ})$

$$\therefore (-1370) \text{ kJ} = [2 \Delta H_f^\circ(CO_2) + 3 \Delta H_f^\circ(H_2O)] - [\Delta H_f^\circ(C_2H_6) + 0]$$

$$\therefore \Delta H_f^\circ(C_2H_6) = 1370 \text{ kJ} + 2 \times (-393) \text{ kJ} + 3 \times (-220) \text{ kJ}$$

**MCQ-4.41** : সক্রিয় ভর বলতে বোঝায়— [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]

(i) আর্শিক চাপ (ii) আণবিক ভর  
(iii) মোলার ঘনমাত্রা  
নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i, ii (খ) ii, iii  
(গ) i, iii (ঘ) i, ii, iii



বা,  $\Delta H_f^\circ (C_2H_6) = (1370 - 1446) \text{ kJ} = -76 \text{ kJ}$

$\therefore \Delta H_f^\circ (C_2H_6) = -76 \text{ kJmol}^{-1}$

$\therefore C_2H_6$  এর প্রমাণ গঠন তাপ =  $-76 \text{ kJmol}^{-1}$  (উঃ)

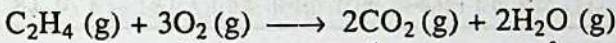
সমাধান-(খ) : P ও Q যৌগের মধ্যে কোনটি উৎকৃষ্ট জ্বালানি হবে?

উদ্দীপক মতে,  $sp^3$  সংকরিত দুই কার্বনবিশিষ্ট হাইড্রোকার্বন হলো  $C_2H_6$

এবং  $sp^2$  সংকরিত দুই কার্বনবিশিষ্ট হাইড্রোকার্বন হলো  $C_2H_4$ ।

প্রশ্নে প্রদত্ত ডাটা থেকে  $C_2H_4$  এর দহন তাপ ( $\Delta H$ ) নির্ণয় করতে হবে।

$C_2H_4$  এর দহন বিক্রিয়ার সমীকরণ :



$\therefore \Delta H = 2\Delta H_f^\circ (CO_2) + 2\Delta H_f^\circ (H_2O) - \Delta H_f^\circ (C_2H_4) + 0$

বা,  $\Delta H = 2 \times (-393) \text{ kJ} + 2 \times (-220) \text{ kJ} + 84 \text{ kJ}$

বা,  $\Delta H = (-786 - 440 + 84) \text{ kJ} = (-1226 + 84) \text{ kJ}$

বা,  $\Delta H = -1142 \text{ kJ}$

$C_2H_4$  এর গ্রাম আণবিক ভর হলো 28 g

$\therefore 28 \text{ g } C_2H_4$  এর দহনে তাপ উৎপন্ন হয় = 1142 kJ

$\therefore 1 \text{ g } C_2H_4$  এর দহনে তাপ উৎপন্ন হয় =  $(1142 \div 28) = 40.78 \text{ kJ/g}$

আবার প্রশ্নে দেয়া  $C_2H_6$  এর দহন তাপ হলো  $(-1370 \text{ kJmol}^{-1})$

$C_2H_6$  এর গ্রাম আণবিক ভর = 30 g

$\therefore 30 \text{ g } C_2H_6$  এর দহনে তাপ উৎপন্ন হয় = 1370 kJ

$\therefore 1 \text{ g } C_2H_6$  এর দহনে তাপ উৎপন্ন হয় =  $(1370 \div 30) = 45.67 \text{ kJ/g}$

বিশ্লেষণ : সূত্রাং প্রতি গ্রাম P ও Q এর দহনে তাপ উৎপন্ন হয় যথাক্রমে 45.67 kJ ও 40.78 kJ। তাই উভয় হাইড্রোকার্বনের মধ্যে উৎকৃষ্ট জ্বালানি হবে 45.67 kJ/g তাপ উৎপন্নকারী P যৌগ বা  $C_2H_6$  (ইথেন)।

**MCQ-4.42** : বিক্রিয়ার হার বলতে বোঝায়— [ব. বো. ২০১৭]

(i) বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা হ্রাসের হার  
(ii) প্রভাবকের পরিমাণ বৃদ্ধির হার  
(iii) উৎপাদের ঘনমাত্রা বৃদ্ধির হার  
নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i, ii (খ) ii, iii

(গ) i, iii (ঘ) i, ii, iii

**MCQ-4.43** :  $A_2 (g) + B_2 (g) \rightleftharpoons 2AB (g)$ ;  $\Delta H = +ve$  [সি. বো. ২০১৬]

(i) বিক্রিয়াটি তাপহারী (ii)  $K_p = K_c$

(iii) চাপের প্রভাব নেই

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i, ii (খ) ii, iii

(গ) i, iii (ঘ) i, ii, iii

শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.১৬ : বিক্রিয়া তাপভিত্তিক :

সমস্যা-৪.৫৪(ক) : কার্বন ডাইসালফাইড ( $CS_2$ ), কার্বন ও সালফারের দহন বিক্রিয়ার সমীকরণ হলো : [কি. বো. ২০১৭]

(i)  $CS_2 (s) + 3O_2 (g) \rightarrow CO_2 (g) + 2SO_2 (g)$ ;  $\Delta H = -1060.4 \text{ kJ}$

(ii)  $C (s) + O_2 (g) \rightarrow CO_2 (g)$ ;  $\Delta H = -393.5 \text{ kJ}$

(iii)  $S (s) + O_2 (g) \rightarrow SO_2 (g)$ ;  $\Delta H = -296.1 \text{ kJ}$

(a) উদ্দীপকের (ii) নং বিক্রিয়া মতে 1200 kJ তাপ উৎপন্ন করতে STP-তে কত লিটার  $O_2$  প্রয়োজন হবে?

[উঃ 68.31 L  $O_2$ ]

(b) উদ্দীপকের ডাটা ব্যবহার করে  $CS_2$  এর গঠন তাপ নির্ণয় কর এবং সংশ্লিষ্ট গঠন বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী না তাপহারী তা ব্যাখ্যা কর।

[উঃ  $\Delta H = +74.7 \text{ kJmol}^{-1}$ ; তাপহারী]

সমস্যা-৪.৫৪(খ) : অ্যাসিটিক এসিড, কার্বন ও হাইড্রোজেনের প্রমাণ দহন তাপ যথাক্রমে  $-871.5 \text{ kJ}$ ,  $-393.7 \text{ kJ}$  এবং  $-85.85 \text{ kJ}$ । এ সব উপাত্ত থেকে অ্যাসিটিক এসিডের গঠন তাপ নির্ণয় কর।

[উঃ  $-487.6 \text{ kJmol}^{-1}$ ]

সমস্যা-৪.৫৪(গ) :  $C_2H_5OH (l)$ ,  $C (s)$  ও  $H_2 (g)$  এর দহন তাপের মান যথাক্রমে  $-1367 \text{ kJmol}^{-1}$ ,  $-393.5 \text{ kJmol}^{-1}$  ও  $-285.85 \text{ kJmol}^{-1}$  হলে ইথানল ( $C_2H_5OH$ ) এর গঠন তাপ নির্ণয় কর।

[উঃ  $-277.55 \text{ kJmol}^{-1}$ ]

সমস্যা-৪.৫৪(ঘ) : মিথেনের দহন তাপ  $-890.3 \text{ kJmol}^{-1}$  হলে 1335.45 kJ তাপ উৎপন্ন করতে কত গ্রাম মিথেন ( $CH_4$ ) এবং STP-তে কত লিটার অক্সিজেন প্রয়োজন হবে?

[উঃ 24g; 67.2L]



সমস্যা-৪.৫৫ :  $\text{CH}_4$  (g),  $\text{C}_2\text{H}_6$  (g),  $\text{CO}_2$  (g) এবং  $\text{H}_2\text{O}$  (g) এর প্রমাণ গঠন এনথালপি যথাক্রমে  $-74.89$ ,  $-84.52$ ,  $-393.30$  এবং  $-220.20$   $\text{kJmol}^{-1}$ । প্রদত্ত ডাটার সাহায্যে হিসাব করে জ্বালানি হিসেবে  $\text{CH}_4$  এবং  $\text{C}_2\text{H}_6$  গ্যাসের মধ্যে কোনটি অধিক উপযোগী হবে তা ব্যাখ্যা কর।

উ:  $\text{CH}_4$  এর দহন তাপ  $-47.43$   $\text{kJ/g}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$  এর দহন তাপ  $-45.42$   $\text{kJ/g}$ । সুতরাং  $\text{CH}_4$  অধিক উপযোগী।

সমস্যা-৪.৫৬(ক) : সিমেন্ট উৎপাদনে ব্যবহৃত চুন ( $\text{CaO}$ ) চূনা পাথর ( $\text{CaCO}_3$ ) থেকে উৎপাদন করা হয়।  $\text{CaCO}_3$  (s),  $\text{CaO}$  (s) ও  $\text{CO}_2$  (g) এর গঠন তাপ যথাক্রমে  $-1207.6$   $\text{kJ/mol}$ ,  $-634.9$   $\text{kJ/mol}$  ও  $-393.5$   $\text{kJ/mol}$ । সর্বাধিক বিক্রিয়াটির প্রকৃতি ও বিক্রিয়া তাপ গণনা কর। [উ:  $179.2$   $\text{kJ}$  (বিক্রিয়াটি তাপহারী)]

সমস্যা-৪.৫৬(খ) : অ্যাসিটিলিন ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ),  $\text{H}_2$  ও ইথিলিন ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) এর দহন তাপ যথাক্রমে  $-1299$ ,  $-286.18$  ও  $-1411$   $\text{kJmol}^{-1}$  হলে  $\text{C}_2\text{H}_2$  থেকে  $\text{C}_2\text{H}_4$  প্রস্তুতির বিক্রিয়া তাপ গণনা কর। [উ:  $-174.18$   $\text{kJ}$ ]

## ৪.২১ ল্যাভয়সিয়ে ও হেসের সূত্র

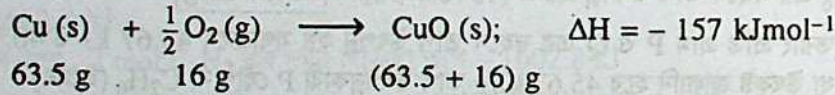
রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে পদার্থের ভর ও শক্তির নিত্যতা সূত্রের ওপর ভিত্তি করে তাপ রসায়নে বিক্রিয়া এনথালপির পরিবর্তন ধারা ব্যাখ্যার জন্য দুটি সূত্র আছে। এ দুটি সূত্রকে তাপ রাসায়নিক সূত্র বলা হয়। যেমন-

(১) ল্যাভয়সিয়ে ও ল্যাপলাসের সূত্র (Lavoisier & Laplace's Law)

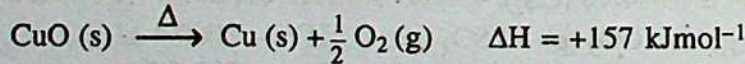
(২) হেসের ধ্রুব তাপ সমষ্টিকরণ সূত্র (Hess's Law of Constant heat Summation)

(১) ল্যাভয়সিয়ে ও ল্যাপলাসের সূত্র : 1780 খ্রিস্টাব্দে প্রকাশিত ল্যাভয়সিয়ে ও ল্যাপলাসের সূত্রটি নিম্নরূপ :

“কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় যে পরিমাণ এনথালপির পরিবর্তন ঘটে; ঐ বিক্রিয়াটি বিপরীত দিকে সংঘটিত হলেও ঐ একই পরিমাণ এনথালপির পরিবর্তন ঘটে থাকে, তবে চিহ্ন বিপরীত হয়।” অর্থাৎ কোনো একটি যৌগকে তার উপাদান থেকে তৈরি করতে যে পরিমাণ তাপশক্তি নির্গত হয়, ঐ যৌগটিকে তার উপাদানে বিয়োজিত করতে একই পরিমাণ তাপশক্তি শোষিত হয়। আবার বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ভর প্রতিক্ষেত্রে ধ্রুব বা স্থির থাকে। যেমন,



এক্ষেত্রে 1 মোল কপার ধাতু  $\frac{1}{2}$  মোল অক্সিজেন গ্যাসের সাথে বিক্রিয়া করে 1 মোল কিউপ্রিক অক্সাইড ( $\text{CuO}$ ) গঠনকালে 157  $\text{kJ}$  তাপশক্তি নির্গত হয়। এর বিপরীত বিক্রিয়াটি হচ্ছে নিম্নরূপ :



এক্ষেত্রে পূর্বের বিক্রিয়াটি বিপরীত দিকে সংঘটিত হওয়ায় 157  $\text{kJ}$  তাপশক্তি শোষিত হয়েছে।

উপরিউক্ত উভয় বিক্রিয়ার তাপশক্তির পরিবর্তনের প্রকারভেদের ব্যাখ্যা স্বরূপ বলা হয় যে, প্রথম বিক্রিয়ায়  $\text{CuO}$  অণু গঠনকালে  $\text{Cu}$  পরমাণু এবং  $\text{O}$  পরমাণুর মধ্যে নতুন বন্ধন সৃষ্টি হয়েছে। বন্ধন গঠন প্রক্রিয়াটি তাপোৎপাদী প্রক্রিয়া, তাই  $\Delta H$  এর মান ঋণাত্মক হয়েছে। দ্বিতীয় বিক্রিয়ায়  $\text{CuO}$  অণুর বন্ধন বিয়োজন ঘটেছে। বন্ধন বিয়োজন প্রক্রিয়াটি তাপহারী প্রক্রিয়া, তাই  $\Delta H$  এর মান ধনাত্মক হয়েছে। একই অণুর বন্ধন গঠন ও বন্ধন বিয়োজন শক্তির পরিমাণ সমান হওয়ায় প্রতিক্ষেত্রে তাপের পরিমাণ 157  $\text{kJ}$  হয়েছে।

(২) হেসের সূত্র (Hess's Law) : বহু বছরের নিরলস গবেষণার ফসল হিসেবে 1840 খ্রিস্টাব্দে রুশ বিজ্ঞানী জি. এইচ. হেস (G. H. Hess) তাপ রসায়নের একটি গুরুত্বপূর্ণ সূত্র আবিষ্কার করেন। তাঁর আবিষ্কৃত এ সূত্রটি হেসের তাপ সমষ্টির নিত্যতার সূত্র বা ধ্রুব তাপ সমষ্টিকরণ সূত্র নামে পরিচিত। হেসের সূত্রটি নিম্নরূপ :

“যদি কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার প্রারম্ভিক ও শেষ অবস্থা স্থির বা একই থাকে; তবে সে বিক্রিয়া এক বা একাধিক ধাপে সংঘটিত হোক না কেন প্রতিক্ষেত্রেই বিক্রিয়া এনথালপি বা বিক্রিয়া তাপ সমান থাকবে।”

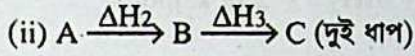
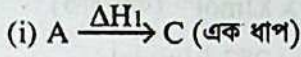
অর্থাৎ বিক্রিয়া এনথালপির মান বিক্রিয়া কীভাবে ঘটানো হলো তার ওপর নির্ভর করে না; তবে বিক্রিয়ার প্রারম্ভিক ও শেষ অবস্থার ওপর নির্ভর করে।



## রাসায়নিক পরিবর্তন

৫০৩

ধরা যাক, কোনো বিক্রিয়ক, A নিম্নলিখিত দুটি ভিন্ন পথে বা ধারায় উৎপাদ, C তে রূপান্তরিত হয়।

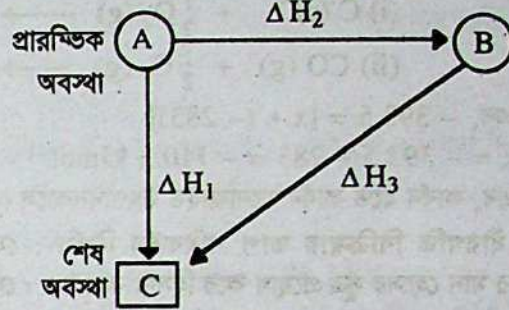


চিত্রমতে, (১ম ধারা),  $\Delta H = \Delta H_1$

এবং (২য় ধারা),  $\Delta H = \Delta H_2 + \Delta H_3$

হেসের সূত্র মতে ১ম ধারা = ২য় ধারা;

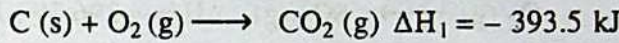
$$\therefore \Delta H_1 = (\Delta H_2 + \Delta H_3)$$



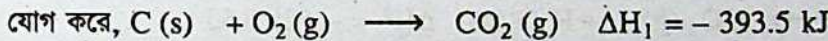
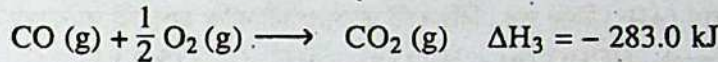
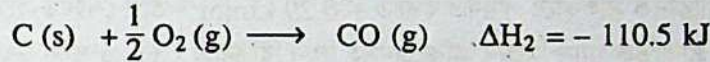
চিত্র-৪.৩০ : চিত্রের সাহায্যে হেসের সূত্রের ব্যাখ্যা।

উদাহরণ : কার্বন থেকে  $CO_2$  নিম্নোক্ত দুই পথে বা ধাপে প্রস্তুত করা যায়।

(i) প্রথমত অধিক অক্সিজেনে কার্বনকে পোড়ালে তখন  $CO_2$  গ্যাসসহ 393.5 kJ তাপ উৎপন্ন হয়।



(ii) দ্বিতীয়ত কার্বনকে প্রথমে অল্প অক্সিজেনে উত্তপ্ত করলে CO গ্যাস উৎপন্ন হয়। শেষে ঐ CO গ্যাসকে অধিক অক্সিজেনে পোড়ালে তা  $CO_2$  গ্যাসে পরিণত হয়। উভয় বিক্রিয়া তাপোৎপাদী। যেমন :



সুতরাং দ্বিতীয় ধাপে সংঘটিত উভয় বিক্রিয়ার মোট বিক্রিয়া এনথালপি,  $\Delta H_1 = -393.5 \text{ kJ}$  যা প্রথম ধাপে সরাসরি উৎপন্ন  $CO_2$  এর বেলায় বিক্রিয়া এনথালপি  $\Delta H_1$  এর মানের সমান। উভয় ধাপে বিক্রিয়ার প্রারম্ভিক অবস্থায় বিক্রিয়ক হলো C এবং  $O_2$  গ্যাস এবং শেষ অবস্থায় উৎপাদ হলো  $CO_2$  গ্যাস। বিক্রিয়া তাপ হলো,

$$\Delta H_1 = (\Delta H_2 + \Delta H_3)$$

$$-393.5 \text{ kJ} = (-110.5 - 283.0) \text{ kJ} = -393.5 \text{ kJ}$$

সুতরাং এ উদাহরণ দ্বারা হেসের তাপ সমষ্টিকরণ সূত্র গাণিতিকভাবে প্রমাণিত হলো।

**MCQ-4.44** : নিচের কোনটির মান সব সময় ঋণাত্মক হয়? [য. বো. ২০১৫]

(ক) দহন তাপ      (খ) বিক্রিয়া তাপ  
(গ) সংগঠন তাপ      (ঘ) দ্রবণ তাপ

### ৪.২১.১ হেসের সূত্রের প্রয়োগ

#### Application of Hess's law

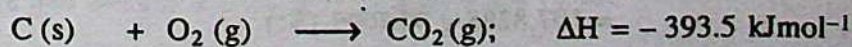
হেসের সূত্রের বহুবিধ প্রয়োগ আছে। হেসের সূত্রের বৈশিষ্ট্য হচ্ছে—

(ক) তাপ রাসায়নিক সমীকরণের ক্ষেত্রে যোগ, বিয়োগ, গুণ প্রভৃতি সাধারণ প্রক্রিয়াসমূহ প্রয়োগ করা যায়।

(খ) বিক্রিয়ার ধীরগতি বা অসম্পূর্ণতার জন্য যে সব রাসায়নিক বিক্রিয়ার এনথালপি পরীক্ষার মাধ্যমে সরাসরি নির্ণয় করা যায় না, তাদের ক্ষেত্রেও হেসের সূত্র প্রয়োগ করে পরোক্ষভাবে বিক্রিয়া এনথালপি নির্ণয় করা যায়।

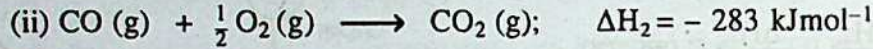
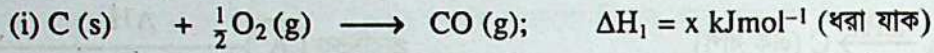
(i) **বিক্রিয়া তাপ নির্ণয়** : যে সব রাসায়নিক বিক্রিয়ার বিক্রিয়া তাপ পরীক্ষার মাধ্যমে নির্ণয় করা যায় না, হেসের সূত্র প্রয়োগ করে পরোক্ষভাবে সেসব রাসায়নিক বিক্রিয়ার বিক্রিয়া তাপ নির্ণয় করা যায়। যেমন,

কার্বনকে অক্সিজেনে পোড়ালে কার্বন মনোক্সাইডে পরিণত করলে যে তাপের পরিবর্তন হয় তা পরীক্ষার মাধ্যমে নির্ণয় করা খুবই কষ্টসাধ্য ব্যাপার। কিন্তু কার্বনকে অধিক অক্সিজেনে পুড়িয়ে কার্বন ডাইঅক্সাইডে পরিণত করলে যে তাপ উৎপন্ন হয় তার মান সর্বদা সমান থাকে এবং উক্ত মান সর্বদা  $-393.5 \text{ kJmol}^{-1}$





হেসের সূত্রানুযায়ী এ বিক্রিয়া দুধাপে সংঘটিত করা যেতে পারে,



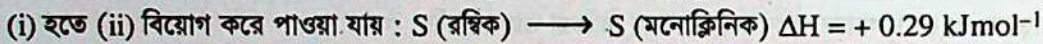
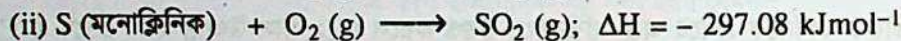
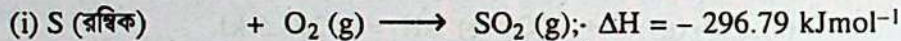
অতএব,  $-393.5 = [x + (-283)]$

$$\therefore x = -393.5 + 283 = -110.5 \text{ kJmol}^{-1}$$

অতএব, কার্বন হতে কার্বন মনোক্সাইড উৎপাদনকালে  $(-110.5 \text{ kJmol}^{-1})$  তাপ উৎপন্ন হয়।

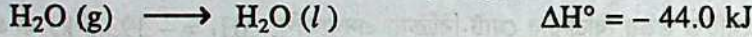
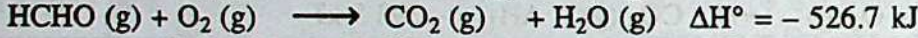
**(ii) ধীরগতি বিক্রিয়ায় তাপ পরিবর্তন নির্ণয় :** যে সব বিক্রিয়া অতি ধীরগতিতে সংঘটিত হয় তাদের তাপ পরিবর্তনের মান হেসের সূত্র প্রয়োগ করে হিসাব করা যায়। যেমন,

রশ্মিক সালফার থেকে মনোক্লিনিক সালফারে পরিবর্তন এত ধীরে সংঘটিত হয় যে, এক্ষেত্রে তাপ পরিবর্তনের মান পরীক্ষাগারে সরাসরি নির্ণয় করা অসম্ভব; কিন্তু হেসের সূত্র প্রয়োগ করে পরোক্ষভাবে তা সহজেই হিসাব করা যায়। রশ্মিক সালফার ও মনোক্লিনিক সালফারের দহন তাপ যথাক্রমে  $-296.79 \text{ kJmol}^{-1}$  ও  $-297.08 \text{ kJmol}^{-1}$

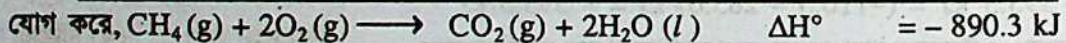
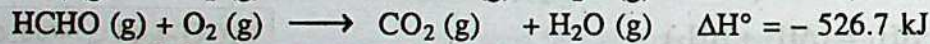


সুতরাং রশ্মিক সালফারকে মনোক্লিনিক সালফারে পরিণত করতে  $+0.29 \text{ kJmol}^{-1}$  তাপ শোষিত হবে।

**সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭৭ :** প্রাকৃতিক গ্যাস মিথেন অক্সিজেনসহ দহন বিক্রিয়ায়  $CO_2$  ও পানি উৎপন্ন করে। নিচের তথ্য ব্যবহার করে মিথেনের দহন তাপ ( $\Delta H^\circ$ ) নির্ণয় কর। বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী নাকি তাপহারী তা ব্যাখ্যা কর।



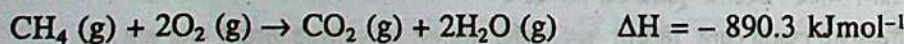
দক্ষতা : হেসের সূত্র ব্যবহার করতে হবে।



ব্যাখ্যা :  $CH_4$  ও  $O_2$  এর দহন বিক্রিয়ার ফলাফল অনুসারে  $\Delta H = -890.3 \text{ kJmol}^{-1}$  অর্থাৎ  $\Delta H$  এর মান ঋণাত্মক হওয়ায় এটি হলো তাপোৎপাদী বিক্রিয়া।

**সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৭৮ :** মিথেনের দহন এনথালপি  $-890.3 \text{ kJmol}^{-1}$  হলে  $1500 \text{ kJ}$  তাপ উৎপন্ন করতে কী পরিমাণ অক্সিজেন মিথেনের দহনে প্রয়োজন হবে?

সমাধান : মিথেনের দহন বিক্রিয়ার তাপ রাসায়নিক সমীকরণ নিম্নরূপ :



$$\begin{aligned} &1 \text{ mol} \quad 2 \text{ mol} \\ &= 2 \times 32 \text{ g} \end{aligned}$$

সমীকরণ মতে,  $890.3 \text{ kJ}$  তাপ মিথেন দহনে উৎপন্ন করতে 2 মোল অক্সিজেন প্রয়োজন হয়।

$$\therefore 1500 \text{ kJ তাপ মিথেন দহনে উৎপন্ন করতে } \frac{2 \times 1500}{890.3} \text{ মোল } O_2 \text{ প্রয়োজন হবে।}$$

$$= 3.36965 \text{ মোল } O_2 \text{ প্রয়োজন হবে।}$$

আবার 1 মোল অক্সিজেন = 32 g অক্সিজেন।

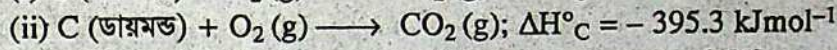
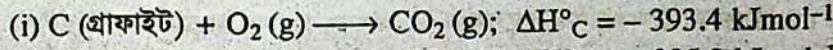
$$\therefore 3.36965 \text{ মোল অক্সিজেন} = 32 \times 3.36965 \text{ g অক্সিজেন।}$$

$$= 107.8288 \text{ g অক্সিজেন (উঃ)}$$



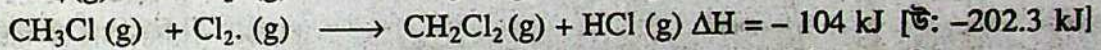
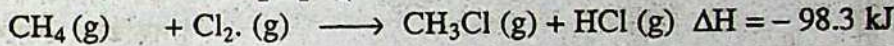
শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.১৭ : হেসের সূত্রভিত্তিক :

সমস্যা-৪.৫৭ : গ্রাফাইট কার্বনকে হীরকে রূপান্তর করতে তাপের পরিবর্তন কত হবে প্রদত্ত তথ্যের সাহায্যে তা হিসাব কর। [উ: 1.9 kJmol<sup>-1</sup>]

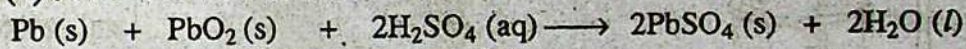


সমস্যা-৪.৫৮ (ক) : শিল্প ক্ষেত্রে ব্যবহৃত গ্রিন্স দূর করতে ব্যবহৃত মিথিলিন ক্লোরাইড (CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>) দ্রাবক মিথেন ও Cl<sub>2</sub> এর বিক্রিয়ায় প্রস্তুত করা হয় : CH<sub>4</sub> (g) + 2Cl<sub>2</sub> (g) → CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> (g) + 2HCl (g)

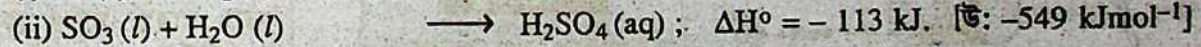
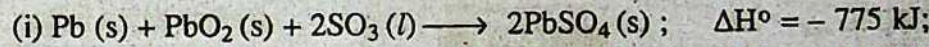
নিচের ডাটা ব্যবহার করে CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> প্রস্তুতির বিক্রিয়া তাপ বের কর।



সমস্যা-৪.৫৮ (খ) : লেড-এসিড সঞ্চয় ব্যাটারিতে ডিসচার্জের সময় নিম্নোক্ত রাসায়নিক বিক্রিয়া সংঘটিত হয়



নিচের বিক্রিয়ায় ব্যবহার করে ডিসচার্জ বিক্রিয়াটির এনথালপি নির্ণয় কর।



সমস্যা-৪.৫৮ (গ) : নিম্নোক্ত বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> এর প্রমাণ দহন এনথালপি নির্ণয় কর।

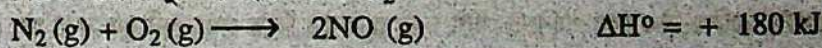


[উ: -2801 kJ/mol glucose]

সমস্যা-৪.৫৮ (ঘ) : NO<sub>2</sub> এর সংশ্লেষণ বিক্রিয়ার সমীকরণ হলো নিম্নরূপ :



নিচের বিক্রিয়া দুটি ব্যবহার করে NO<sub>2</sub> এর বিক্রিয়া তাপ গণনা কর :



### ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণি শিক্ষকের সহায়তায় চারজনের গ্রুপ করে নিম্নোক্ত মূলনীতি সহকারে কাজের দ্বারা অনুসরণ করে নিচের চিত্রমতে ক্যালরিমিতি পদ্ধতিতে অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তাপ নির্ণয় কর।

পরীক্ষা নং-১৪

তারিখ : .....

পরীক্ষার সময় : ১ পিরিয়ড

### ৪.২২ পরীক্ষার নাম : ক্যালরিমিতি পদ্ধতিতে অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তাপ নির্ণয়

(ক) মূলনীতি : পর্যাপ্ত পরিমাণ দ্রাবকে এক মোল দ্রব দ্রবীভূত করলে যে তাপ শোষিত বা উদ্গিরিত হয়, তাকে ঐ দ্রবের দ্রবণ তাপ বলে। এক মোল অক্সালিক এসিডকে পর্যাপ্ত পরিমাণ পানিতে দ্রবীভূত করে এক কিলোগ্রাম দ্রবণ তৈরির বেলায় প্রতি ডিগ্রি সেলসিয়াস তাপমাত্রার পরিবর্তনের জন্য তাপের পরিবর্তন ঘটে এক কিলো ক্যালরি অর্থাৎ 4.2 কিলোজুল (4.2 kJ)। সুতরাং এক মোল অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তৈরিতে তাপমাত্রার মোট পরিবর্তন t°C হলে তখন অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তাপ হবে 4.2 × t kJ। আবার 0.1 মোল অক্সালিক এসিড দ্বারা 100 g দ্রবণ তৈরি করা হলে সেক্ষেত্রে-

তাপের পরিবর্তন হবে = 0.42 × t kJ

$$\therefore \text{অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তাপ হবে} = \frac{0.42 \times t \text{ kJ}}{0.1} = 0.42 \times t \times 10 \text{ kJ.}$$

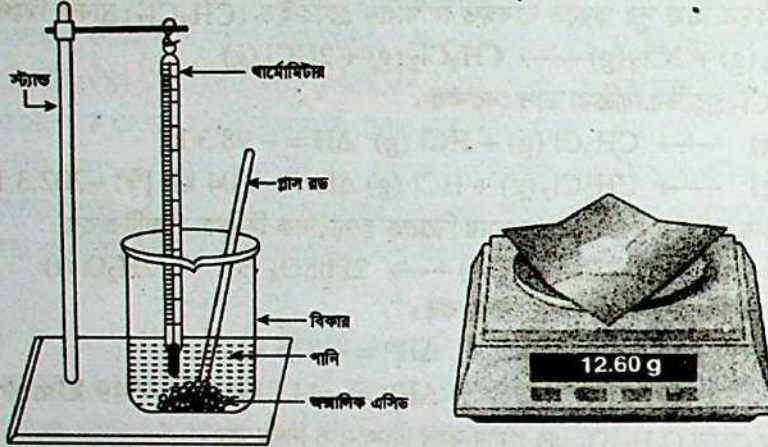


(খ) প্রয়োজনীয় রাসায়নিক বস্তু : (১) অক্সালিক এসিড ( $C_2H_2O_4 \cdot 2H_2O$ ); (২) পানি।

(গ) প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) একটি বিকার (250 mL); (২) থার্মোমিটার; (৩) স্ট্যান্ড;

(৪) 2-ডিজিটাল ইলেকট্রনিক ব্যালেন্স।

(ঘ) কাজের ধারা :



চিত্র-৪.৩১ : ক্যালরিমিতি পদ্ধতিতে অক্সালিক এসিডের দ্রবণ তাপ নির্ণয়।

ক্যালরিমিতি কী? তাপশক্তির, একক হলো 'ক্যালরি', 'মিতি' অর্থ পরিমাপ। যে যান্ত্রিক পদ্ধতিতে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় উৎপন্ন বা শোষিত তাপের পরিমাণ পরিমাপ করা হয়, তাকে ক্যালরিমিতি বলে। ব্যবহৃত যন্ত্রের যে অংশটিতে তাপের বিকিরণ রুদ্ধ করার ব্যবস্থা থাকে, তাকে ক্যালরিমিটার বলে।

(১) অর্ধ অক্সালিক এসিড ( $HOOC-COOH \cdot 2H_2O$ ) এর আণবিক ভর হলো 126; তাই গুঁড়া করা 0.1 মোল অক্সালিক এসিড অর্থাৎ 12.6 g গুঁড়া অক্সালিক এসিড ওজন করে নেয়া হয়।

(২) একটি 250 mL বিকারে 87.4 g পানি নেয়া হয়।

(৩) এখন একটি থার্মোমিটারকে স্ট্যান্ড থেকে সুতা দিয়ে ঝুলিয়ে ঐ বিকারের পানিতে ডুবানো হয়। এ অবস্থায় পানির তাপমাত্রা ( $t_1^\circ C$ ) রেকর্ড করা হয়।

(৪) এখন ওজন করা 12.6 g অক্সালিক এসিড বিকারের পানিতে যোগ করে গ্লাস রড দিয়ে নেড়ে দ্রবীভূত করা হয়।

(৫) সমস্ত অক্সালিক এসিডের গুঁড়া দ্রবীভূত হওয়ার সাথে সাথে দ্রবণের তাপমাত্রা ( $t_2^\circ C$ ) রেকর্ড করা হয়।

(৬) এবার দ্রবণ তাপ হিসাব করা হয়।

পর্যবেক্ষণ ডাটা :

গৃহীত অর্ধ অক্সালিক এসিডের পরিমাণ = 0.1 মোল বা, 12.6 g

ব্যবহৃত পানির পরিমাণ = 87.4 g

দ্রবণের ঘনমাত্রা = 1M

পানির প্রাথমিক তাপমাত্রা =  $t_1^\circ C = x$  (মনে করি)

দ্রবণের তাপমাত্রা =  $t_2^\circ C = y$  (মনে করি)

গণনা : তাপমাত্রার পরিবর্তন হলো =  $t^\circ C = (t_1 - t_2)^\circ C = (x - y) = z^\circ C$

∴ অর্ধ অক্সালিক এসিডের নির্ণীত দ্রবণ তাপ,  $\Delta H = 0.42 \times t \times 10 \text{ kJmol}^{-1} = 0.42 \times z \times 10 \text{ kJmol}^{-1}$

অর্ধ অক্সালিক এসিডের নির্ণীত দ্রবণ তাপ,  $\Delta H = + 18.94 \text{ kJmol}^{-1}$

সতর্কতা : (১) অক্সালিক এসিডের গুঁড়াকে গ্লাস রড দিয়ে ভালোভাবে নেড়ে যথাশীঘ্রই দ্রবীভূত করা উচিত।

(২) গ্লাস রডের আঘাতে যেন থার্মোমিটার বাল্ভ ভেঙে না যায়।

(৩) পরীক্ষাকালে মিশ্রণের আলোড়ন যেন সুধম হয়।

MCQ-4.45 : কোনটি

তাপোৎপাদী? [দি. বো. ২০১৫]

(ক)  $H_2O(l) \rightarrow H_2O(g)$

(খ)  $H_2O(g) \rightarrow H_2O(l)$

(গ)  $H_2O(s) \rightarrow H_2O(l)$

(ঘ)  $H_2O(s) \rightarrow H_2O(g)$



### অধ্যায়ের সার-সংক্ষেপ (Recapitulations)

- \* **খিন কেমিস্ট্রি** : খিন কেমিস্ট্রি হলো আন্তর্জাতিকভাবে অনুমোদিত বারটি নীতি সমন্বয়ে রসায়ন শিল্পের একটি গাইড লাইন, যা অনুসরণের মাধ্যমে গ্লোবাল ওয়ার্মিং হ্রাস করে উন্নততর পরিবেশ সৃষ্টি হবে।
- \* **বিক্রিয়ার হার** : বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা হ্রাস বা উৎপাদের ঘনমাত্রা বৃদ্ধির হারকে বিক্রিয়ার হার বলে।
- \* **সক্রিয় শক্তি** : যে পরিমাণ শক্তি অর্জন করে বিক্রিয়ক অণু বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করতে পারে সেটিই সক্রিয় শক্তি।
- \* **প্রভাবক** : প্রভাবক বিক্রিয়ার গতিকে বৃদ্ধি করে, নিজে গঠন ও ভরে অপরিবর্তিত থাকে।
- \* **এনজাইম** : এনজাইম হলো জীবকোষে উৎপন্ন টারসিয়ারি প্রোটিন, যা জৈব বিক্রিয়ার গতিকে প্রভাবিত করে থাকে।
- \* **সাম্যাবস্থা** : উভমুখী বিক্রিয়ায় যখন সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার হার ও পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার সমান হয়, সে অবস্থাকে বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা বলে। সাম্যাবস্থা উভমুখী বিক্রিয়ার গতিশীল অবস্থায় থাকে।
- \* **সক্রিয় ভর** : বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রা ও আংশিক চাপকে সক্রিয় ভর বলা হয়।
- \* **সাম্যক্রমিক** : বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় উৎপাদের সক্রিয় ভরের গুণফল ও বিক্রিয়কের সক্রিয় ভরের গুণফলের অনুপাতকে সাম্যক্রমিক বলা হয়।
- \* **পানির আয়নিক গুণফল** : দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য পানি অণু ( $H_2O$ ) থেকে সৃষ্ট হাইড্রোনিয়াম আয়ন ( $H_3O^+$ ) ও হাইড্রক্সিল ( $OH^-$ ) আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফলকে পানির আয়নিকরণ গুণফল ( $K_w$ ) বলে।
- \* **এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক** : প্রতি লিটার জলীয় দ্রবণে উপস্থিত কোনো এসিডের মোল সংখ্যার যে ভগ্নাংশ বিয়োজিত অবস্থায় থাকে, তাকে ঐ এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক ( $K_a$ ) বলে।
- \* **ক্ষারের বিয়োজন ধ্রুবক** : প্রতি লিটার জলীয় দ্রবণে উপস্থিত কোনো ক্ষারের মোল সংখ্যার যে ভগ্নাংশ বিয়োজিত অবস্থায় থাকে, তাকে ঐ ক্ষারের বিয়োজন ধ্রুবক ( $K_b$ ) বলে।
- \* **অনুবন্ধী ক্ষারক** : অম্ল একটি প্রোটিন ত্যাগ করলে সৃষ্ট ঋণাত্মক আয়নকে ঐ অম্লের অনুবন্ধী ক্ষারক বলে।
- \* **অনুবন্ধী অম্ল** : ক্ষারক একটি প্রোটিন গ্রহণ করার পর যা সৃষ্টি হয়, তাকে অনুবন্ধী অম্ল বলে।
- \* **দ্রবণের pH** : হাইড্রোজেন আয়নের মোলার ঘনমাত্রার ঋণাত্মক বেস-10 লগারিদমকে ঐ দ্রবণের pH বলে।
- \* **বাফার দ্রবণ** : যে মিশ্র দ্রবণে খুব স্বল্প মাত্রায় সবল এসিড বা সবল ক্ষার দ্রবণ যোগ করলে ঐ মিশ্র দ্রবণের pH প্রায় অপরিবর্তিত থাকে, তাকে বাফার দ্রবণ বলে।
- \* **অভ্যন্তরীণ শক্তি** : কোনো বস্তুতে সঞ্চিত অভ্যন্তরীণ স্থিতিশক্তি ও অভ্যন্তরীণ গতিশক্তি মিলে মোট শক্তিকে অভ্যন্তরীণ শক্তি বলে।
- \* **এনথালপি** : কোনো বস্তুকে উত্তপ্ত করলে এর অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পায় এবং কিছু শক্তি ঐ বস্তু দ্বারা সম্পন্ন কাজে ব্যয় হয়। এ উভয় প্রকার শক্তিকে তাপগতি বিজ্ঞানে এনথালপি বা রিক্রিয়া তাপ ( $\Delta H$ ) বলে।
- \* **পরমাণুকরণ তাপ** : এক মোল একক বন্ধনে আবদ্ধ অণুকে গ্যাসীয় অবস্থায় পরমাণুতে পরিণত করতে যে তাপ শোষণ করে, তাকে ঐ পদার্থের পরমাণুকরণ তাপ বলে।
- \* **বিক্রিয়া তাপ** : কোনো বিক্রিয়ার সমতায়ুক্ত সমীকরণ মতে বিক্রিয়কসমূহের সংখ্যানুপাতিক মোল পরিমাণে সম্পূর্ণরূপে বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন বা শোষিত তাপের পরিমাণকে বিক্রিয়া তাপ বলে।
- \* **গঠন তাপ** : প্রমাণ অবস্থায় কোনো যৌগের এক মোল পরিমাণ ঐ যৌগের মৌলসমূহ থেকে উৎপন্ন হতে তাপের যে পরিবর্তন ঘটে, তাকে ঐ যৌগের গঠন তাপ বলে।



\* **দ্রবণ তাপ** : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় যথেষ্ট পরিমাণ (200 – 450 mol) দ্রাবকে এক মোল দ্রব দ্রবীভূত করে প্রস্তুত দ্রবণে যদি আরো দ্রাবক যোগ করলে তাপীয় অবস্থার কোনো পরিবর্তন না ঘটে, তবে ঐ দ্রবণ প্রস্তুতকরণে তাপের যে পরিবর্তন ঘটে, তাকে ঐ দ্রবের দ্রবণ তাপ বলে।

\* **প্রশমন তাপ** : কক্ষ তাপমাত্রায় এসিড ও ক্ষারের বিক্রিয়ায় এক মোল পানি উৎপন্ন হতে যে পরিমাণ তাপের উদ্ভব ঘটে, তাকে প্রশমন তাপ বলে।

\* **বন্ধন শক্তি** : গ্যাসীয় বা বাষ্পীয় অবস্থায় সমযোজী পদার্থের অণুর নির্দিষ্ট দুটি পরমাণুর মধ্যস্থ একই প্রকার এক মোল বন্ধনকে ভেঙ্গে পরমাণুতে পরিণত করতে যে পরিমাণ গড় শক্তির প্রয়োজন হয়, তাকে সংশ্লিষ্ট বন্ধনের বন্ধন শক্তি বলে।

\* **ল্যাভয়সিয়ে সূত্র** : কোনো বিক্রিয়ায় যে পরিমাণ তাপের পরিবর্তন ঘটে, ঐ বিক্রিয়াটি বিপরীত দিকে ঘটলে একই পরিমাণ তাপের পরিবর্তন ঘটে থাকে; তবে তাপ পরিবর্তনের চিহ্ন বিপরীত হয়।

\* **হেসের সূত্র** : যদি কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার প্রারম্ভিক ও শেষ অবস্থা একই থাকে, তবে বিক্রিয়াটি এক বা একাধিক ধাপে সংঘটিত হোক না কেন প্রতিক্রিয়ায় তাপ সমান থাকবে।

\* **ক্যালরি** : এক গ্রাম পানির তাপমাত্রা  $1^{\circ}\text{C}$  ( $14.5^{\circ}\text{C}$  –  $15.5^{\circ}\text{C}$ ) বাড়াতে যে পরিমাণ তাপশক্তি প্রয়োজন হয়, তাকে এক ক্যালরি বলে। আবার  $1$  ক্যালরি =  $4.186$  J (জুল)।

#### MCQ-এর উত্তরমালা :

- 4.1 (গ), 4.2 (ঘ), 4.3 (গ), 4.4 (খ), 4.5 (ঘ), 4.6 (ক), 4.7 (গ), 4.8 (গ), 4.9 (ঘ), 4.10 (খ), 4.11 (ঘ), 4.12 (ক), 4.13 (ঘ), 4.14 (গ), 4.15 (খ), 4.16 (খ), 4.17 (ঘ), 4.18 (ক), 4.19 (গ), 4.20 (গ), 4.21 (ঘ), 4.22 (গ), 4.23 (গ), 4.24 (ঘ), 4.25 (ক), 4.26 (খ), 4.27 (ঘ), 4.28 (খ), 4.29 (খ), 4.30 (গ), 4.31 (খ), 4.32 (গ), 4.33 (গ), 4.34 (ক), 4.35 (গ), 4.36 (ঘ), 4.37 (খ), 4.38 (গ), 4.39 (গ), 4.40 (ক), 4.41 (গ), 4.42 (গ), 4.43 (ঘ), 4.44 (ক), 4.45 (খ)।

### অনুশীলনী-৪

#### ক-বিভাগ : জ্ঞানসত্তরভিত্তিক প্রশ্নাবলি (এক নজরে)

#### (১) রাসায়নিক বিক্রিয়া ও মিন কেমিস্ট্রি :

- ১। মিন কেমিস্ট্রি বা সবুজ রসায়ন কী? [দি. বো. ২০১৭; য. বো. ২০১৬; চ. বো. ২০১৫; কু. বো. ২০১৭; ব. বো. ২০১৯]
- ২। এটম ইকন্যামি কী? [য. বো. ২০১৭]
- ৩। মিনার পদ্ধতি কী?
- ৪। ম্যালেরিক অ্যানহাইড্রাইডের গাঠনিক সংকেত লেখ।
- ৫। একমুখী বিক্রিয়া কী?
- ৬। উভমুখী বিক্রিয়া কী?

#### (২) বিক্রিয়ার হার বা গতি :

- ১। বিক্রিয়ার গতি বা হার কী? [চ. বো. ২০১৯; কু. বো. ২০১৯; সি. বো. ২০১৭; ব. বো. ২০১৫]
- ২। বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক কী?
- ৩। বিক্রিয়ার হারের ওপর প্রভাব সৃষ্টিকারী নিয়ামকগুলো কী?





প্রতিদিনের চাকুরীর মার্কুলার পেতে [এখানে ক্লিক করুন](#)

প্রতি মাসের কারেন্ট অ্যাফেয়ার্স পিডিএফ [এখানে ক্লিক করুন](#)

চাকুরীর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

বিসিএম এর প্রয়োজনীয় পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

প্রতি সপ্তাহের চাকুরী পত্রিকা ডাউনলোড [এখানে ক্লিক করুন](#)

সকল নিয়োগ পরীক্ষার প্রশ্ন সমাধান [এখানে ক্লিক করুন](#)

**বিডিনিয়োগ.কম দেশের মেরা পিডিএফ কালেকশন**

SSC এর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

HSC এর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

বিশ্ববিদ্যালয় ভর্তির সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

সকল ধরনের **মাজেশন** ডাউনলোড [এখানে ক্লিক করুন](#)

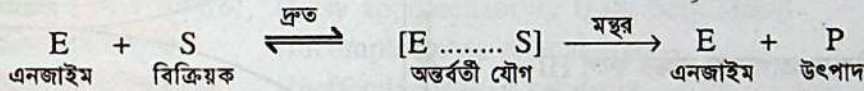




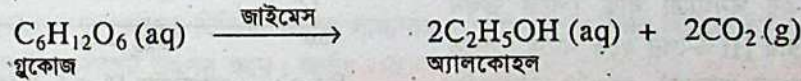
### ৪.৪.৩ জৈব প্রভাবক এনজাইম Bio-catalyst Enzyme

প্রাণিদেহে শত সহস্র রাসায়নিক বিক্রিয়া 'এনজাইম' নামক বৃহৎ প্রোটিন অণুর প্রভাবকীয় ক্রিয়া দ্বারা সংঘটিত হয়। এনজাইম হচ্ছে জীবন্ত উদ্ভিদকোষ ও প্রাণিকোষ থেকে উৎপন্ন, উচ্চ আণবিক ভরবিশিষ্ট নাইট্রোজেনযুক্ত বর্তুলাকার টারসিয়ারি প্রোটিন নামক জটিল জৈব পদার্থ। পানিতে এরা কোলয়েড তৈরি করে এবং কার্যকরী জৈব প্রভাবক। এনজাইম নির্দিষ্ট বিক্রিয়ার জন্য কার্যকরী।

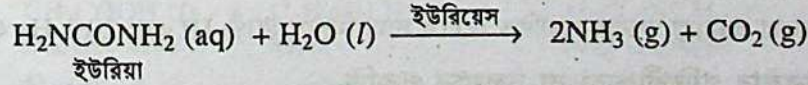
এনজাইমের ক্রিয়াকৌশল : এনজাইমরূপী বর্তুলাকার বা টারসিয়ারি প্রোটিন অণুর (E) বিভিন্ন ভাঁজের মধ্যে কতগুলো 'সক্রিয় স্থান' আছে। এই স্থানগুলোর জন্যই এনজাইম প্রভাবন ক্ষমতা ধারণ করে। এসব সক্রিয় স্থানে বিক্রিয়ক অণুগুলো (S) খুবই নিকটে এসে সহজে অস্থায়ী অন্তর্বর্তী যৌগ (E-S) গঠন করতে পারে এবং পরে বিয়োজিত হয়ে উৎপাদে (P) পরিণত হয়। এনজাইম অণু বিক্রিয়ক জৈব অণুকে 'সক্রিয় স্থান' যোগান দিয়ে বিক্রিয়ার সক্রিয় শক্তির মাত্রাকে হ্রাস করে এবং বিক্রিয়াকে দ্রুততর করে। যেমন,



(i) ইস্ট নামক উদ্ভিদকোষ থেকে নিঃসৃত জাইমেস এনজাইম গ্লুকোজকে বিয়োজিত করে অ্যালকোহল ও CO<sub>2</sub> গ্যাসে পরিণত করে।



(ii) সমাবিনে উপস্থিত ইউরিয়োস্ এনজাইম ইউরিয়াকে বিয়োজিত করে NH<sub>3</sub> ও CO<sub>2</sub>-এ পরিণত করে।



**এনজাইমের বৈশিষ্ট্য :** (১) প্রত্যেক এনজাইমের প্রভাবন ক্রিয়া সুনির্দিষ্ট। যেমন জাইমেস এনজাইম শুধু গ্লুকোজের বিয়োজনকে প্রভাবিত করে। (২) অত্যধিক কার্যকারিতা এনজাইমের অন্যতম প্রধান বৈশিষ্ট্য। যেমন এক অণু অ্যান্‌হাইড্রেজ এনজাইম এক মিনিটে কার্বনিক এসিড (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) এর 360 লক্ষ অণুকে বিয়োজিত করে। (৩) প্রভাবন ক্রিয়ার প্রধান শর্ত হলো তাপমাত্রা 37°C অথবা এর কাছাকাছি এবং pH এর মান 7 এর কাছাকাছি থাকা প্রয়োজন।

শিক্ষার্থীর কাজ-৪.৪ : প্রভাবনভিত্তিক :

সমস্যা-৪.২২(ক) : সমসত্ত্ব প্রভাবনের কৌশল ব্যাখ্যা কর।

[ব. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.২২(খ) : অসমসত্ত্ব প্রভাবনের কৌশল ব্যাখ্যা কর।

সমস্যা-৪.২২(গ) : প্রভাবক কীরূপে বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি করে?

[সি. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.২২(ঘ) : সক্রিয় শক্তি বিক্রিয়ার হারকে কীরূপ প্রভাবিত করে; ব্যাখ্যা কর।

[মাদ্রাসা বো. ২০১৭;

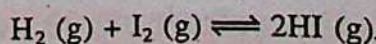
য. বো. ২০১৫]

### ৪.৫ রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা

#### Chemical Equilibrium

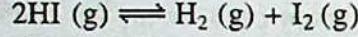
কোনো উভমুখী বিক্রিয়া কখনো শেষ হয় না। কোনো কোনো সময়ে সম্মুখমুখী ও পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার সমান হয়ে থাকে; এ অবস্থাকে রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা বলে।

যেমন, একটি আবদ্ধ পাত্রে তুল্য পরিমাণ হাইড্রোজেন ও গাঢ় বেগুনি বর্ণের আয়োডিন বাষ্প নিয়ে 450°C-এ রেখে দিলে হাইড্রোজেন ও আয়োডিন বিক্রিয়া করে 80% হাইড্রোজেন আয়োডাইড গ্যাস উৎপন্ন করে এবং বিক্রিয়ক H<sub>2</sub> ও I<sub>2</sub> এর ঘনমাত্রাহ্রাস পেয়ে 20% হয়। ফলে মিশ্রণের বর্ণ হালকা বেগুনি হয়।



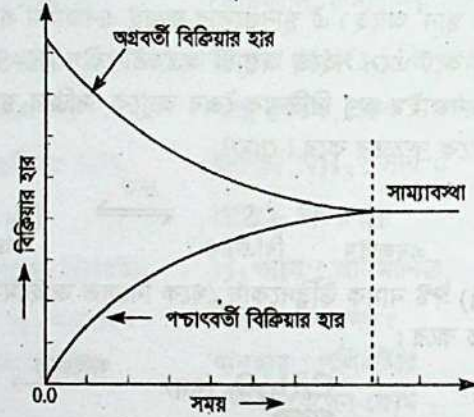


আবার নির্দিষ্ট পরিমাণ বর্ণহীন HI বদ্ধ পাত্রে নিয়ে ধীরে ধীরে উত্তপ্ত করে পূর্বের মতো তাপমাত্রা 450°C-এ রাখা হয়। তখন কাচের বদ্ধ পাত্রে হালকা বেগুনি বর্ণ দেখা যায়। এক্ষেত্রে HI এর বিয়োজনে H<sub>2</sub> গ্যাস ও I<sub>2</sub> বাষ্প উৎপন্ন হয়েছে। পূর্বের মতো এটিও একটি উভমুখী বিক্রিয়া।



ব্যাখ্যা : এক্ষেত্রে প্রথম পরীক্ষায় H<sub>2</sub> গ্যাস ও বাদামি I<sub>2</sub> বাষ্পকে বদ্ধপাত্রে উত্তপ্ত করার সময় বিক্রিয়া শুরু প্রাথমিক অবস্থায় HI থাকে না। এ সময় বাদামি I<sub>2</sub> এর ঘনমাত্রা H<sub>2</sub> গ্যাসসহ সবচেয়ে বেশি থাকে। ঘনমাত্রা বেশি থাকায় বিক্রিয়াটি সম্মুখদিকে প্রবলভাবে ঘটে। HI উৎপন্ন হয়ে এটির ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পেলে ঐ তাপমাত্রায় HI এর বিয়োজন ঘটতে থাকে, অর্থাৎ পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়া শুরু হয়। বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা হ্রাসের ফলে সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার হার হ্রাস পায়। অপরদিকে উৎপাদ HI এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধির ফলে পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধি পায় উভয়দিকের বিক্রিয়ার হার যখন সমান হয়, তখন মিশ্রণটির বর্ণ হালকা বেগুনি হয় এবং বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা নির্দেশ করে।

একইভাবে দ্বিতীয় পরীক্ষায় তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে HI এর বিয়োজন সম্মুখদিকে দ্রুতগতিতে ঘটে; হালকা বেগুনি বাষ্প দেখা দেয়। এ সময় I<sub>2</sub> বাষ্প উৎপন্ন হয়েছে বোঝায়। এ অবস্থায় H<sub>2</sub> ও I<sub>2</sub> এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পেলে তখন পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ায় পুনরায় HI উৎপন্ন হতে থাকে। গ্যাস মিশ্রণের বর্ণ পূর্বের মতো হালকা বেগুনি অবস্থায় অপরিবর্তিত থাকলে এক্ষেত্রেও পূর্বের মতো সাম্যাবস্থা নির্দেশ করে। মোলার ঘনমাত্রা গণনায় প্রমাণিত হয়েছে সাম্য মিশ্রণে 80% HI এবং 20% H<sub>2</sub> ও I<sub>2</sub> মিশ্রণ থাকে।



চিত্র-৪.১০ : সাম্যাবস্থায় H<sub>2</sub> ও I<sub>2</sub> থেকে HI এর সৃষ্টি এবং HI এর বিয়োজন থেকে H<sub>2</sub> ও I<sub>2</sub> এর সৃষ্টি সমহারে চলে।

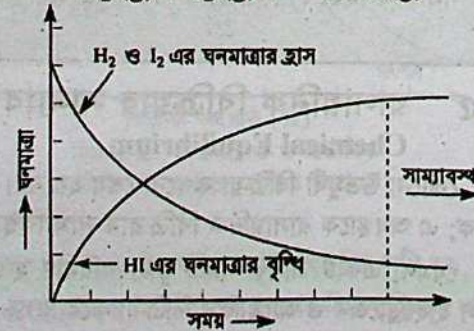
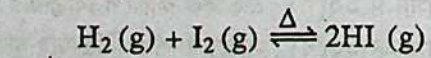
### ৪.৫.১ সাম্যাবস্থার গতিশীলতা বা চলমান প্রকৃতি

#### Dynamic Nature of Equilibrium

উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থা একটি গতিশীল অবস্থা, স্থিতিাবস্থা নয়। বর্তমানে বহু বিক্রিয়ায় ট্রেসার বা শনাক্তকারী হিসেবে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ ব্যবহার করে সাম্যাবস্থার চলমান প্রকৃতির প্রমাণ পাওয়া গেছে। নিম্নে এরূপ একটি পরীক্ষা দেয়া হলো।

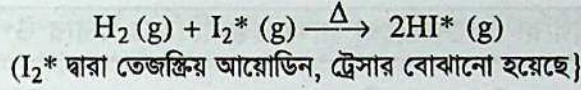
সাম্যাবস্থার চলমান প্রকৃতির প্রমাণ : আবদ্ধপাত্রে H<sub>2</sub> ও I<sub>2</sub> এর একটি মিশ্রণ নিয়ে একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় দীর্ঘক্ষণ রেখে দিলে, প্রথমদিকে H<sub>2</sub> ও I<sub>2</sub> দ্রুতহারে বিক্রিয়া করে HI উৎপন্ন করে। পরে এ সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার হার কমতে থাকে এবং পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার অর্থাৎ HI এর বিয়োজন হার বাড়তে থাকে। একসময় মনে হয় বিক্রিয়াটি বন্ধ হয়ে গেছে। প্রকৃতপক্ষে তখন সাম্যাবস্থার সৃষ্টি হয়েছে। উভয়দিকে সমান হারে উভয় বিক্রিয়া সংঘটিত হচ্ছে।

সাম্যাবস্থা অর্জনের পরে ট্রেসার হিসেবে অল্প পরিমাণ তেজস্ক্রিয় আয়োডিন <sup>128</sup>/<sub>53</sub> I<sub>2</sub> পাত্রে প্রবেশ করানো হয়, তখন সাম্যাবস্থার বিশেষ কোনো পরিবর্তন হয় না, অর্থাৎ H<sub>2</sub>, I<sub>2</sub> ও HI এর পরিমাণ অপরিবর্তিত থাকে। কিন্তু দেখা যায় যে, সাম্যাবস্থায় প্রথমদিকে সব HI-অণুর মধ্যে আয়োডিন পরমাণু অতেজস্ক্রিয় থাকলেও পরে কিছু HI-অণুর আয়োডিন তেজস্ক্রিয় হয় এবং এ ধরনের HI-এর পরিমাণ ক্রমশ বাড়তে বাড়তে একসময় একটি নির্দিষ্ট পরিমাণে পৌঁছায়। এ থেকে বোঝা যায় যে, সাম্যাবস্থা অর্জনের পর তেজস্ক্রিয় আয়োডিনের প্রবেশের ফলে নিম্নোক্ত বিক্রিয়া চলেছে :

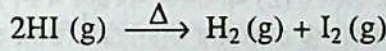


চিত্র-৪.১১ : সাম্যাবস্থায় অগ্রবর্তী ও পশ্চাৎমুখী উভয় বিক্রিয়া সমহারে চলমান প্রকৃতির।





যেহেতু HI এর সর্বমোট পরিমাণ (প্রায় ৪০%) অপরিবর্তিত থাকছে, সেহেতু তেজস্ক্রিয় HI\* উৎপন্ন হওয়ার সময় একই সাথে কিছু অতেজস্ক্রিয় HI-অণু বিয়োজিত হয়েছে। এ থেকে প্রমাণিত হয় যে, সাম্যাবস্থা অর্জনের পরেও সম্মুখমুখী ও পশ্চাৎমুখী উভয় বিক্রিয়া সমান হারে চলতে থাকে, তবে দুটি বিক্রিয়ার গতিবেগ সমান হওয়ায় তা বোঝা যায় না।



### ৪.৫.২ রাসায়নিক সাম্যাবস্থার শর্ত বা বৈশিষ্ট্য

#### Characteristics of Chemical Equilibrium

রাসায়নিক সাম্যের বা সাম্যাবস্থার নিম্নোক্ত চারটি আবশ্যিকীয় বৈশিষ্ট্য বা শর্ত আছে। যেমন,

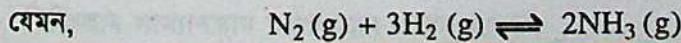
- (ক) সাম্যের স্থায়িত্ব (Stability of equilibrium)  
 (খ) উভয়দিক থেকে সুগম্যতা (Easy approachability from both sides)  
 (গ) বিক্রিয়ার অসম্পূর্ণতা (Incompleteness of reaction)  
 (ঘ) প্রভাবকের ভূমিকাহীনতা (Ineffectiveness of catalyst)

(ক) সাম্যের স্থায়িত্ব : কোনো প্রক্রিয়া একবার সাম্যে পৌঁছালে তা চিরকাল একই অবস্থায় থাকবে, যদি কোনো বাহ্যিক অবস্থার (চাপ, তাপমাত্রা ও ঘনমাত্রা) কোনো পরিবর্তন ঘটানো না হয়। উদাহরণস্বরূপ এক মোল ইথানোয়িক এসিড ও এক মোল ইথানল নিয়ে  $100^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় বিক্রিয়া ঘটালে সাম্যাবস্থায় পৌঁছার পরে উভয় বিক্রিয়কের ০.৬৬৭ অংশ বিক্রিয়া করে ০.৬৬৭ মোল ইথাইল ইথানোয়েট উৎপন্ন করে। অর্থাৎ  $100^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় সাম্যাবস্থায় ০.৩৩৩ মোল ইথানোয়িক এসিড, ০.৩৩৩ মোল ইথানল, ০.৬৬৭ মোল পানি ও ০.৬৬৭ মোল ইথাইল ইথানোয়েট মিশ্রণে থাকে।

	$\text{CH}_3\text{COOH}(\text{l})$	+	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{l})$	$\rightleftharpoons$	$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5(\text{l})$	+	$\text{H}_2\text{O}(\text{l})$
	ইথানোয়িক এসিড		ইথানল		ইথাইল ইথানোয়েট		
প্রাথমিক অবস্থায় :	1 mol		1 mol		0 mol		0 mol
সাম্যাবস্থায় :	0.333 mol		0.333 mol		0.667 mol		0.667 mol

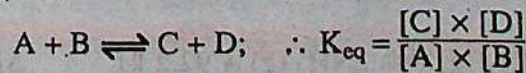
এ সাম্যাবস্থা অর্জনের পর একই তাপমাত্রায় বহুদিন রেখে দিলেও এ পরিমাণসমূহে কোনো পরিবর্তন হয় না।

(খ) উভয়দিক থেকে সুগম্যতা : প্রকৃত সাম্যের এমন বৈশিষ্ট্য থাকে যে, বিক্রিয়ার উভয়দিক থেকে সাম্যাবস্থায় পৌঁছানো সম্ভব। তবে সাম্যাবস্থা নির্ধারণকারী বাহ্যিক অবস্থাগুলো অপরিবর্তনীয় থাকা প্রয়োজন।



একই অবস্থায় এক আয়তন  $\text{N}_2$  ও তিন আয়তন  $\text{H}_2$  গ্যাস নিয়ে সেখানে বিদ্যুৎ স্কুলিঙ্গ ঘটালে মাত্র ৭% গ্যাস মিশ্রণ অ্যামোনিয়া গ্যাসে পরিণত হয়; বাকি ৯৩% গ্যাসই নাইট্রোজেন  $\text{N}_2$  ও  $\text{H}_2$  হিসেবে থেকে যায়। অন্যদিকে  $\text{NH}_3$  গ্যাসের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ স্কুলিঙ্গ ঘটালে শুধু ৭%  $\text{NH}_3$  গ্যাস ছাড়া বাকি ৯৩%  $\text{NH}_3$  গ্যাস বিয়োজিত হয়ে  $\text{N}_2$  ও  $\text{H}_2$  গ্যাসে পরিণত হয়। সুতরাং এতে প্রমাণিত হয় যে, উপরিউক্ত বিক্রিয়াটি যে কোনো দিক থেকে শুরু করে একই সাম্যাবস্থায় পৌঁছানো যায়।

(গ) বিক্রিয়ার অসম্পূর্ণতা : প্রকৃত সাম্যের অন্যতম বৈশিষ্ট্য হলো বিক্রিয়ার অসম্পূর্ণতা। সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদ উভয়ই থাকে। সাম্যাক্ষের মান থেকেই তা উপলব্ধি করা যায়। কোনো বিক্রিয়া সম্পূর্ণ হলো সাম্যাক্ষের মান ( $K_{\text{eq}}$ ) শূন্য অথবা অসীম হতো। যেহেতু সাম্যাক্ষের মান ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র বা অতি বৃহৎ হতে পারে, কিন্তু শূন্য বা অসীম হয় না; সুতরাং বলা যায়, একটি উভমুখী বিক্রিয়া কখনও সমাপ্ত হয় না।



(ঘ) প্রভাবকের ভূমিকাহীনতা : রাসায়নিক সাম্যাবস্থার উপর প্রভাবকের কোনো ভূমিকা নেই। প্রভাবক উভয় দিকের বিক্রিয়াকে সমানুপাতিকভাবে দ্রুততর করে অর্থাৎ কম সময়ে সাম্যাবস্থায় দ্রুত উপনীত হতে সহায়তা করে, এর ফলে সাম্যাবস্থার কোনো পরিবর্তন হয় না। বিক্রিয়ক ও উৎপাদের কোনোটিরও ঘনমাত্রার পরিবর্তন ঘটে না।



### শিক্ষার্থীরা জেনে রাখো সাম্যাবস্থা চিহ্নিত করার উপায়

কোনো উভমুখী বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় স্থিত হয়েছে কিনা তা জানার উপায় হচ্ছে : (১) বিক্রিয়ক ও উৎপাদের বর্ণ পরিবর্তনের স্থিত অবস্থা, (২) অধঃক্ষেপের বর্ণের গাঢ়তা স্থিরকরণ, (৩) বিক্রিয়ার উভয় দিকের গতি নির্ণয়। যেমন,

নাইট্রোজেন টেট্রোক্সাইড ( $N_2O_4$ ) এর তাপীয় বিয়োজন একটি উভমুখী বিক্রিয়া। (1)  $N_2O_4$  বর্ণহীন; কিন্তু উৎপন্ন নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড ( $NO_2$ ) বাদামি গ্যাস। (2) প্রাথমিক অবস্থায় যখন বিক্রিয়াটি শুরু হওয়ার পথে তখন আবদ্ধ কাচপাত্রে বর্ণহীন  $N_2O_4$  থাকে। (3) কিছু সময় পর দেখা যায় কাচপাত্রের ভিতর হালকা বাদামি গ্যাস। (4) আরও কিছু সময় পর গাঢ় বাদামি এবং আর বর্ণের পরিবর্তন হচ্ছে না। এক্ষেত্রে গাঢ় বাদামি বর্ণের স্থিরতা বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থা নির্দেশ করেছে।



- \* (i) উল্লেখ্য সাম্যাবস্থায়, উৎপাদ  $NO_2$  এর মোলার ঘনমাত্রার বর্গ ও বিক্রিয়ক  $N_2O_4$  এর মোলার ঘনমাত্রার অনুপাতকে সাম্যধ্রুবক ( $K_c$ ) বলে।
- \* (ii) বিক্রিয়া শুরুর পর যে কোনো সময়ে উৎপাদ ও বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার অনুপাতকে বিক্রিয়া অনুপাত ( $Q_c$ ) বা reaction quotient বলে।
- \* (iii) সাম্যাবস্থায়,  $Q_c = K_c = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$  হয়।

## ৪.৬ লা-শাতেলিয়ালের নীতি

### Le-Chatelier's Principle

কোনো বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় পৌছানোর পর যদি বাহ্যিক অবস্থার পরিবর্তন করা না হয়, তবে সে সাম্যাবস্থা চিরকাল অপরিবর্তিত থাকবে। তাপমাত্রা, চাপ ও ঘনমাত্রা প্রভৃতি নিয়ামক (factor) সাম্যাবস্থা নিয়ন্ত্রণ করে। এসব নিয়ামকের যে কোনো একটি পরিবর্তন করলে বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার পরিবর্তন হয়, নতুন সাম্যাবস্থা গড়ে ওঠে অর্থাৎ বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ঘনমাত্রায় পরিবর্তন হয়। বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার ওপর এ সব নিয়ামক পরিবর্তনের ফলাফল লা-শাতেলিয়ালের নীতির সাহায্যে প্রকাশ করা যায়। লা-শাতেলিয়ালের নীতিটি নিম্নরূপ :

কোনো উভমুখী বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় থাকাকালে যদি ঐ অবস্থার একটি নিয়ামক, যেমন তাপমাত্রা, চাপ অথবা ঘনমাত্রা পরিবর্তন করা হয়, তবে সাম্যের অবস্থান ডানে বা বামে এমনভাবে পরিবর্তিত হবে, যাতে নিয়ামক পরিবর্তনের ফলাফল প্রশমিত হয়।

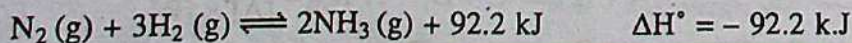
- \* তাপমাত্রা অপরিবর্তিত রেখে চাপ অথবা ঘনমাত্রার পরিবর্তন করলে সাম্যাবস্থার পরিবর্তন হয়, তবে সাম্যধ্রুবকের মানের পরিবর্তন হয় না।
- \* কিন্তু তাপমাত্রা পরিবর্তিত হলে সাম্যধ্রুবকের মানের পরিবর্তন ঘটে।

### ৪.৬.১ সাম্যাবস্থায় তাপমাত্রা পরিবর্তনের প্রভাব

#### Effect of Temperature change on Equilibrium

সাম্যাবস্থা বিশৃঙ্খল বা নষ্ট করার তিনটি উপায় যেমন ঘনমাত্রা পরিবর্তন, চাপের পরিবর্তন অথবা তাপমাত্রার পরিবর্তন ইত্যাদির মধ্যে কেবল তাপমাত্রা পরিবর্তনই সাম্যধ্রুবকের মান পরিবর্তন করতে পারে। ঘনমাত্রা পরিবর্তন ও চাপের পরিবর্তন সাম্যাবস্থা পরিবর্তন করতে পারে; কিন্তু সে সব ক্ষেত্রে সাম্যধ্রুবকের মান স্থির থাকে। এর কারণ ব্যাখ্যার জন্য বিক্রিয়া তাপ (heat of reaction) গুরুত্ববহ। যেমন;

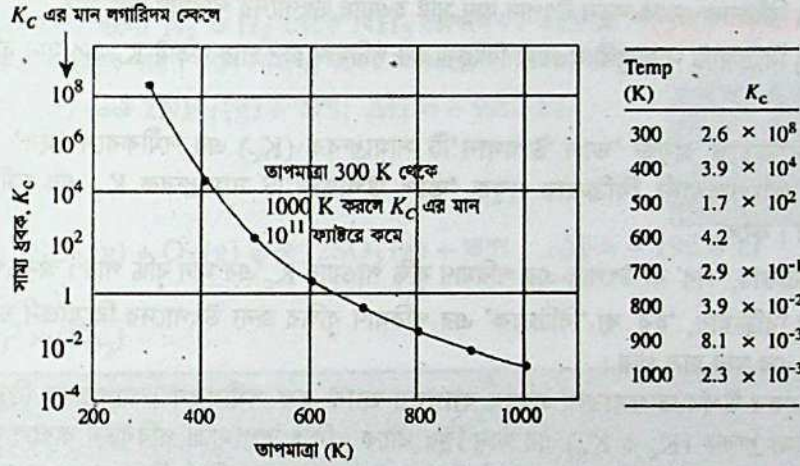
(১) হেবার পদ্ধতিতে  $N_2$  গ্যাস ও  $H_2$  গ্যাস থেকে  $NH_3$  গ্যাস উৎপাদন প্রক্রিয়া হলো একটি তাপোৎপাদী বিক্রিয়া। এ বিক্রিয়ার সমীকরণ হলো নিম্নরূপ :



এক্ষেত্রে সম্মুখমুখী বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী (তাপ উৎপন্ন হয়  $\Delta H < 0$ ); তাই পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়াটি তাপহারী (তাপ হরণ করে,  $\Delta H > 0$  হওয়ার ব্যাপার)। সাম্যাবস্থার ক্ষেত্রে তাপ শক্তিকে একটি 'উপাদান' (component) হিসেবে গণ্য করা হয়। তখন তাপমাত্রা বৃদ্ধি বলতে তাপশক্তি 'যোগ করা' এবং তাপমাত্রা হ্রাস বলতে তাপশক্তি 'অপসারণ করা' বোঝায়।



তাই ঘনমাত্রা ও চাপ পরিবর্তনের মতোই তাপমাত্রা পরিবর্তনের প্রভাব দূর করতে বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থা ডানে বা বামে পরিবর্তিত হয়। চিত্র-৪.১২ থেকে তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায় অ্যামোনিয়া উৎপাদন ব্যাখ্যা করা হলো :

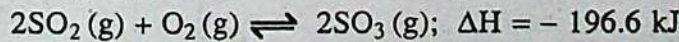


চিত্র-৪.১২ : অ্যামোনিয়া উৎপাদন বিক্রিয়ার  $K_c$  তাপমাত্রা নির্ভর।  
তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে  $K_c$  এর মান হ্রাস পেতে থাকে।

এদন্ত ডাটা ও লেখচিত্র-৪.১২ মতে নিম্নতাপমাত্রায়, সাম্য মিশ্রণে অধিক  $\text{NH}_3$  থাকে, কারণ তখন  $K_c$  এর মান বেশি হয়; যেমন 300K তাপমাত্রায়  $K_c = 2.6 \times 10^8$ । কিন্তু উচ্চতাপমাত্রায়,  $K_c$  এর মান কম হয়; অর্থাৎ বিক্রিয়া বাম দিকে ঘটে। তখন  $\text{N}_2$  ও  $\text{H}_2$  মিশ্রণে বেশি থাকে। উচ্চমাত্রায় যেমন 1000 K তাপমাত্রায়  $\text{NH}_3$  উৎপাদন বিক্রিয়ার নতুন সাম্যাবস্থায়  $K_c$  এর মান হ্রাস পেয়ে  $2.3 \times 10^{-3}$  হয়। অ্যামোনিয়া উৎপাদনের মতো সব তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায় তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে উৎপাদ পরিমাণে হ্রাস পায়।

তাই শিল্পের অত্যনুকূল অবস্থায়,  $\text{NH}_3$  উৎপাদনে Fe প্রভাবকের উপস্থিতিতে  $500^\circ\text{C}$  বা, 773K তাপমাত্রা ব্যবহৃত হয়।

(২) স্পর্শ পদ্ধতিতে  $\text{H}_2\text{SO}_4$  এর শিল্পোৎপাদনের ক্ষেত্রে  $\text{SO}_2$  এর জারণে  $\text{SO}_3$  উৎপাদন বিক্রিয়াটি হলো তাপোৎপাদী :



অত্যনুকূল অবস্থারূপে  $\text{SO}_3$  এর উৎপাদনে  $\text{V}_2\text{O}_5$  প্রভাবকের উপস্থিতিতে  $450^\circ\text{C}$  বা, 723 K তাপমাত্রা প্রয়োগ করা হয়।

সাধারণভাবে, বিক্রিয়ার তাপ পরিবর্তন  $\Delta H$  এর ঋণাত্মক বা ধনাত্মক মানের ওপর সাম্যধ্রুবক নির্ভর করে।

বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় তাপমাত্রার প্রভাব হলো :

\*\* তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায়, তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে মোলার সাম্য ধ্রুবক ( $K_c$ ) এর মান হ্রাস পায়। তাপোৎপাদী বিক্রিয়ার উদাহরণ হলো হেবার পদ্ধতিতে  $\text{NH}_3$  উৎপাদন :



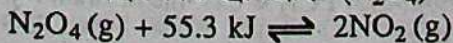
$$\therefore K_c = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2] \times [\text{H}_2]^3}$$

লা-শাতেলিয়েরের নীতি অনুসারে তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায় প্রযুক্ত তাপশক্তি একটি অতিরিক্ত 'উৎপাদ উপাদান' হয়। তখন পচাৎমুখী বিক্রিয়াসহ নতুন সাম্যাবস্থায়—

\* (১) উৎপাদের বিয়োজন ঘটায় কারণে উৎপাদের পরিমাণ হ্রাস পায়।

\* (২) বিক্রিয়াটি পচাৎমুখী হওয়ায় বিক্রিয়কের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। তাই  $K_c$  এর মান হ্রাস পায়।

\*\* তাপহারী বিক্রিয়ায়, তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে মোলার সাম্যধ্রুবক ( $K_c$ ) এর মান বৃদ্ধি পায়। তাপহারী বিক্রিয়ার উদাহরণ হলো নাইট্রোজেন টেট্রোক্সাইড ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ) এর তাপীয় বিয়োজন :



$$\therefore K_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$$



লা-শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে প্রযুক্ত তাপশক্তি ঐ তাপহারী বিক্রিয়ার প্রয়োজনীয় একটি 'বিক্রিয়ক উপাদান' রূপে যোগ করা বোঝায়। তখন সম্মুখমুখী বিক্রিয়াসহ নতুন সাম্যাবস্থায়—

\* (১) বিক্রিয়ক থেকে নতুন উৎপাদ অণু সৃষ্টি হওয়ায় উৎপাদের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়।

\* (২) বিক্রিয়াটি সম্মুখমুখী হওয়ায় বিক্রিয়কের পরিমাণ হ্রাস পায়। তাই  $K_c$  এর মান বৃদ্ধি পায়।

জেনে নাও :

\* তাপহারী বিক্রিয়ায়, প্রযুক্ত 'তাপ উপাদান'টি সাম্যধ্রুবক ( $K_c$ ) এর সমীকরণে 'হর' হিসেবে ভূমিকা রাখে; অপরদিকে, তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায় প্রযুক্ত 'তাপ উপাদান'টি সাম্যধ্রুবক  $K_c$  এর সমীকরণে 'লব' হিসেবে ভূমিকা রাখে। ফলে,

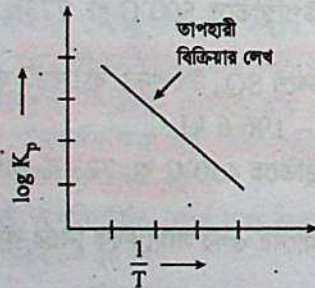
\* তাপহারী বিক্রিয়ায়, 'লব' বা উৎপাদ-এর পরিমাণ বৃদ্ধি পাওয়ায়  $K_c$  এর মান বৃদ্ধি পায়। অনুরূপভাবে, তাপোৎপাদী বিক্রিয়ায়, 'হর' বা 'বিক্রিয়ক' এর পরিমাণ বৃদ্ধির জন্য উৎপাদের বিয়োজন ঘটে। ফলে উৎপাদ হ্রাস পাওয়ায়  $K_c$  এর মান হ্রাস পায়।

(ক) সাম্য ধ্রুবকের উপর তাপমাত্রার প্রভাব ব্যাখ্যায় ভ্যান্ট-হফ সমীকরণ : সাধারণত স্থির তাপমাত্রায় যেকোনো উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্য ধ্রুবক ( $K_c$  ও  $K_p$ ) এর মান স্থির থাকে। কিন্তু তাপমাত্রা পরিবর্তন করলে সাম্যাবস্থার পরিবর্তনের মতো সাম্য ধ্রুবকের মানেরও পরিবর্তন ঘটে। তাপমাত্রার ওপর সাম্য ধ্রুবকের নির্ভরশীলতার ব্যাখ্যার জন্য বিজ্ঞানী ভ্যান্ট-হফ নিম্নোক্ত সমীকরণ উপস্থাপন করেন।

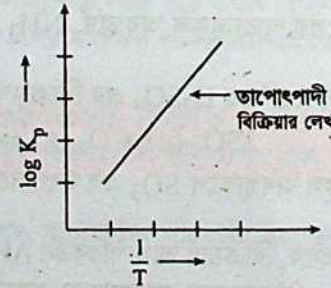
$$\log K_p = \frac{-\Delta H}{2.303R} \times \frac{1}{T} + \text{ধ্রুবক}$$

এখানে  $K_p$  = আংশিক চাপে সাম্যধ্রুবক,  
R = মোলার ধ্রুবক, T = কেলভিন তাপমাত্রা

এ ভ্যান্ট হফ সমীকরণটি সরলরেখার সাধারণ সমীকরণ,  $y = mx + c$  এর অনুরূপ। তাই  $\log K_p$  বনাম  $\frac{1}{T}$  দ্বারা অঙ্কিত লেখচিত্রটি একটি সরলরেখা হবে। তাপহারী বিক্রিয়া ও তাপোৎপাদী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে লেখচিত্র-৪.১৩(ক) ও ৪.১৩(খ) এর অনুরূপ ভিন্ন ধরনের দুটি লেখচিত্র পাওয়া যায়।



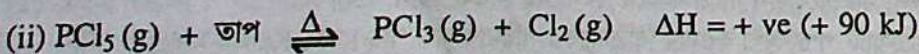
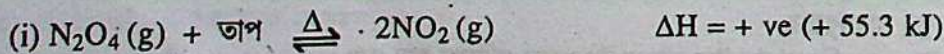
চিত্র-৪.১৩(ক) : তাপহারী বিক্রিয়ার  $\log K_p$  বনাম  $\frac{1}{T}$  লেখ



চিত্র-৪.১৩(খ) : তাপোৎপাদী বিক্রিয়ার  $\log K_p$  বনাম  $\frac{1}{T}$  লেখ

(১) তাপহারী বিক্রিয়ার লেখ-৪.১৩(ক) থেকে বোঝা যায় যে, বিক্রিয়ক গ্যাসের তাপমাত্রা T বৃদ্ধি করলে তখন  $\frac{1}{T}$  হ্রাস পায় (X অক্ষ বরাবর) এবং  $\log K_p$  এর মানও সে অনুসারে বৃদ্ধি পায় (Y অক্ষ বরাবরে)। অর্থাৎ তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে তাপহারী বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক  $K_p$  এর মান বৃদ্ধি পায়।

এরূপ তাপহারী বিক্রিয়ার উদাহরণ হলো  $N_2O_4$  এবং  $PCl_5$  এর তাপীয় বিয়োজন। যেমন,



$N_2O_4$  এর বিয়োজন বিক্রিয়ার তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাম্য মিশ্রণে  $NO_2$  গ্যাসের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। ফলে সাম্য ধ্রুবক  $K_p$  এর মানও বৃদ্ধি পায়।  $PCl_5$  এর বেলায়, তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে সাম্যমিশ্রণে  $PCl_3$  ও  $Cl_2$  গ্যাসের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়।

$$(i) K_p = \frac{(P_{NO_2})^2}{P_{N_2O_4}}; \quad (ii) K_p = \frac{P_{PCl_3} \times P_{Cl_2}}{P_{PCl_5}}$$

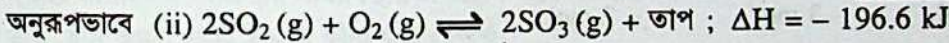


(২) তাপোৎপাদী বিক্রিয়ার লেখচিত্র-৪.১৩(খ) থেকে বোঝা যায় যে, গ্যাসের তাপমাত্রা  $T$  বৃদ্ধি করলে তখন  $\frac{1}{T}$  এর মান হ্রাস পায় ( $X$  অক্ষ বরাবর); এবং  $\log K_p$  এর মানও হ্রাস পায় ( $Y$  অক্ষ বরাবর)। অর্থাৎ তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে তাপোৎপাদী বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক  $K_p$  এর মান হ্রাস পায়।

এরূপ বিক্রিয়ার উদাহরণ হলো  $N_2$  ও  $H_2$  থেকে  $NH_3$  উৎপাদন। এক্ষেত্রে তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে উৎপন্ন  $NH_3$  বিয়োজিত হয়ে  $NH_3$  উৎপাদন হ্রাস পায়। ফলে সাম্য ধ্রুবকের মানও হ্রাস পায়। যেমন,



$$K_p = \frac{(P_{NH_3})^2}{P_{N_2} \times (P_{H_2})^3}$$



$$\therefore K_p = \frac{(P_{SO_3})^2}{(P_{SO_2})^2 \times (P_{O_2})}$$

**MCQ-4.7 :** কোনটি প্রভাবক  
বিষয়? [সি. বো. ২০১৬]  
(ক)  $Al_2O_3$  (খ)  $MnO_2$   
(গ)  $As_2O_3$  (ঘ)  $Ni$

শিক্ষার্থীর কাজ-৪.৫ : সাম্যাবস্থাভিত্তিক :

সমস্যা-৪.২৩(ক) : রাসায়নিক সাম্যাবস্থা কী? [দি. বো. ২০১৬]

সমস্যা-৪.২৩(খ) : রাসায়নিক সাম্যাবস্থা গতিশীল; -ব্যাখ্যা কর। [চ. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.২৩(গ) : রাসায়নিক সাম্যাবস্থার গতিশীলতা বা চলমান প্রকৃতির প্রমাণের জন্য বাস্তব প্রমাণ উপস্থাপন কর।

সমস্যা-৪.২৪ : বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার ওপর প্রভাব সৃষ্টিকারী নিয়ামক কী কী এবং এদের কোনটির প্রভাব কীরূপ হয়ে থাকে? [অনুধাবনভিত্তিক]

সমস্যা-৪.২৫(ক) : অটোমোবাইল ইঞ্জিনে উচ্চতাপমাত্রায় বাতাসের  $N_2$  ও  $O_2$  বিক্রিয়া করে বায়ু দূষক  $NO$  গ্যাস উৎপন্ন হয়।  $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$   $\Delta H^\circ = +182.6 \text{ kJ}$

তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে সাম্য মিশ্রণে  $NO$  এর পরিমাণে কীরূপ পরিবর্তন ঘটে?

সমস্যা-৪.২৫(খ) : ফিংগার-নেইল পলিশ রিমুভাররূপে ব্যবহৃত ইথাইল অ্যাসিটেট প্রস্তুত করা হয় অ্যাসিটিক এসিড ও ইথানলের মধ্যে নিম্নরূপ বিক্রিয়া ঘটা :



তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে ইথাইল অ্যাসিটেট উৎপাদন বৃদ্ধি বা হ্রাস পাবে কীনা? তাপমাত্রা হ্রাস করলে  $K_c$  এর কীরূপ পরিবর্তন ঘটবে, তা লা-শাতেলিয়ার নীতি অনুসারে ব্যাখ্যা কর।

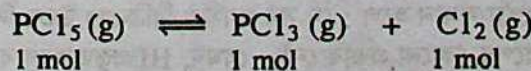
### ৪.৬.২ সাম্যাবস্থায় চাপের (আয়তনের) পরিবর্তনের প্রভাব

#### Effect of Pressure change on Equilibrium

কোনো গ্যাসীয় সিস্টেম সাম্যাবস্থায় থাকাকালে তার ওপর চাপ বাড়ালে অথবা চাপ কমালে তখন সাম্যাবস্থা এমনভাবে পরিবর্তিত হবে যাতে চাপ পরিবর্তনের প্রভাব প্রশমিত হয়। তবে—

(i) উৎপাদের মোল সংখ্যা বেশি হলে : যদি বিক্রিয়ক অপেক্ষা উৎপাদে গ্যাসীয় মোল সংখ্যা বেশি হয়, তখন আবেদ পাঠে একই আয়তনে চাপ বাড়ে। সে সব ক্ষেত্রে চাপ বৃদ্ধির ফলে উৎপাদন হ্রাস পায়। যেমন,

$PCl_5$  এর বিয়োজনের ক্ষেত্রে মোলসংখ্যা বাড়ে। অর্থাৎ গ্যাস মিশ্রণের মোলার আয়তন বাড়ে; সুতরাং আবেদ পাঠে একই আয়তনে এ বিক্রিয়ার ফলে গ্যাস মিশ্রণের চাপ বাড়ে।



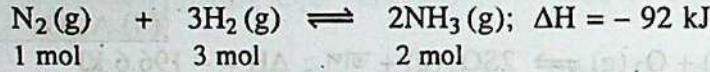
লক্ষ কর, চাপ বাড়ালে গ্যাস মিশ্রণের আয়তন কমে, ঘনমাত্রা বাড়ে। আবার চাপ কমালে মিশ্রণের আয়তন বাড়ে; ঘনমাত্রা কমে। এখন বিক্রিয়া অনুপাত (বা reaction quotient),  $Q_c = \frac{[PCl_3] \times [Cl_2]}{[PCl_5]}$  থেকে জানা যায়, যদি চাপ



বাড়ার ফলে আয়তন অর্ধেক করা হয়; তখন ঘনমাত্রা দ্বিগুণ হয়। এক্ষেত্রে  $Q_c$  এর রাশিমালার 'লব' অংশে দুটি বিক্রিয়কের ঘনমাত্রার গুণফল চারগুণ হয়; কিন্তু 'হর' অংশে ঘনমাত্রা দু'গুণ হয়। তখন  $Q_c > K_c$  হয়। তাই  $Q_c$  এর মান হ্রাস করার জন্য  $PCl_5$  এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করতে বিক্রিয়া বাম দিকে ঘটবে। সুতরাং এক্ষেত্রে চাপ বাড়ালে উৎপাদ হ্রাস পায়।

**(ii) উৎপাদের মোল সংখ্যা কম হলে :** যে বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক অপেক্ষা উৎপাদে গ্যাসীয় মোল সংখ্যা কম হয়, সেখানে চাপ বাড়ালে বিক্রিয়া সামনের দিকে অগ্রসর হবে। যেমন,

অ্যামোনিয়া সংশ্লেষণের ক্ষেত্রে বিক্রিয়ক অপেক্ষা উৎপাদের মোল সংখ্যা কম। ফলে আবেদ পাত্রের একই আয়তনে গ্যাসের চাপ কমে। সুতরাং সাম্যাবস্থায় চাপ বাড়ালে অ্যামোনিয়ার উৎপাদন বাড়ে।



এখন সাম্যাবস্থার চাপ বৃদ্ধির প্রভাব লা-শাতেলিয়ারের নীতির আলোকে বিক্রিয়া অনুপাত (বা reaction quotient),  $Q_c$  এর সমীকরণ ও সাম্যধ্রুবক,  $K_c$  এর সাহায্যে ব্যাখ্যা করা হলো। মনে করি 700K তাপমাত্রায় সাম্যমিশ্রণে 0.5M  $N_2$ , 3.0M  $H_2$  এবং 1.98M  $NH_3$  আছে।

$$\therefore Q_c = \frac{[NH_3]_t^2}{[N_2]_t \times [H_2]_t^3} = \frac{(1.98)^2}{(0.5) \times (3.0)^3} = 0.29 = K_c$$

**MCQ-4.8 :** কোনটি সাম্যাবস্থার বৈশিষ্ট্য নয়?

[ঢা. বো. ২০১৫]

- (ক) সাম্যের স্থায়িত্ব (খ) উভয় দিকে সুগম্যতা  
(গ) বিক্রিয়ার হার (ঘ) বিক্রিয়ার অসম্পূর্ণতা

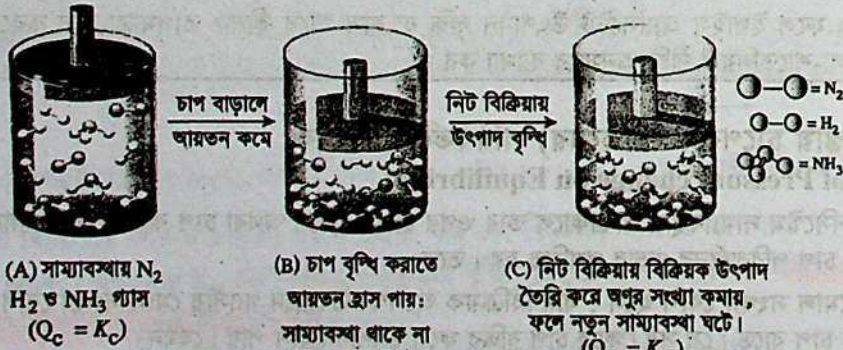
এ সাম্যাবস্থাকে বিশৃঙ্খল বা নষ্ট করার জন্য চাপ বৃদ্ধি করে আয়তন অর্ধেক করা হলো;

তখন প্রতিটি উপাদানের ঘনমাত্রা দ্বিগুণ হয়।  $[NH_3]_t = 1.98 \times 2 = 3.96$ ,

$[N_2]_t = 0.5 \times 2 = 1.0$ ,  $[H_2]_t = 3.0 \times 2 = 6.0$  হয়। এসব মান  $Q_c$  এর সমীকরণে বসিয়ে পাই :

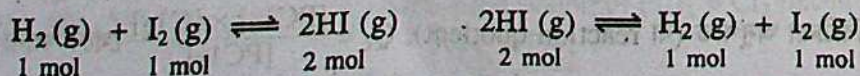
$$Q_c = \frac{[NH_3]_t^2}{[N_2]_t \times [H_2]_t^3} = \frac{(3.96)^2}{(1.0) \times (6.0)^3} = 0.0726 < K_c$$

তাই  $Q_c$  এর মান বৃদ্ধির জন্য বিক্রিয়া ডানদিকে অগ্রসর হয়ে অধিক  $NH_3$  উৎপন্ন হয়। অ্যামোনিয়া সংশ্লেষণে উচ্চচাপ 200 – 300 atm প্রয়োগ করে সম্ভাব্য অধিক পরিমাণ  $NH_3$  উৎপাদন করা হয়।



চিত্র-৪.১৪ : অ্যামোনিয়া উৎপাদনের বেলায় চাপ বৃদ্ধিতে উৎপাদন বৃদ্ধি।

**(iii) বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মোল সংখ্যা সমান হলে :** যে সব গ্যাসীয় বিক্রিয়ার উভয় দিকে বিক্রিয়ক ও উৎপাদ এর মোল সংখ্যা সমান থাকে, তাদের ক্ষেত্রে চাপের কোনো প্রভাব নেই। যেমন, HI প্রস্তুতকরণ বা HI-এর বিয়োজন উভমুখী বিক্রিয়াটিতে বিক্রিয়কের ও উৎপাদের মোল-সংখ্যা সমান থাকে।



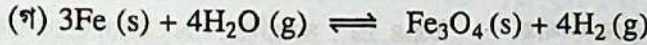
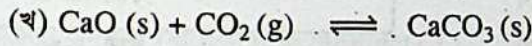
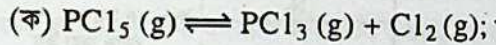


এক্ষেত্রে চাপ দ্বিগুণ করলে গ্যাস মিশ্রণের আয়তন অর্ধেক হয়; কিন্তু প্রতি উপাদানের ঘনমাত্রা দ্বিগুণ হয়। তখন বিক্রিয়া-অনুপাত,  $Q_c$  এর রাশিমালার ক্ষেত্রে 'লব' ও 'হর' উভয় দিকে দুটি করে পদ থাকায় উভয়ের অনুপাত অর্থাৎ  $Q_c$  এর মান অপরিবর্তিত থাকে। তাই এক্ষেত্রে চাপের কোনো প্রভাব পড়ে না।

$$Q_c = \frac{[HI]^2}{[H_2] \times [I_2]} = \frac{[HI] \times [HI]}{[H_2] \times [I_2]} ; Q_c = \frac{[H_2] \times [I_2]}{[HI]^2} = \frac{[H_2] \times [I_2]}{[HI] \times [HI]}$$

**সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১০ : সাম্যাবস্থায় চাপের প্রভাব সম্পর্কীয় :**

নিম্নোক্ত রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় চাপ হ্রাস করে গ্যাসীয় আয়তন বৃদ্ধি করলে বিক্রিয়া মিশ্রণে উৎপাদের মোল সংখ্যা বৃদ্ধি, হ্রাস অথবা একই থাকবে কীনা যুক্তি দেখাও :



**দক্ষতা :** লা-শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে, সাম্যাবস্থায় গ্যাস মিশ্রণের চাপ হ্রাসের ফলে বিক্রিয়ার গতি সে দিকে যাবে, যে দিকে হলে গ্যাসীয় মোল সংখ্যা বৃদ্ধি পায়।

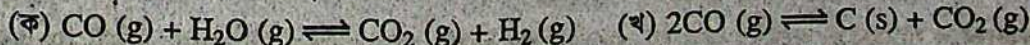
**সমাধান :** (ক) এক্ষেত্রে 1 mol বিক্রিয়ক গ্যাস বিয়োজনে 2 mol উৎপাদ গ্যাস উৎপন্ন হয়; তাই চাপ হ্রাসের প্রভাব বা আয়তন বৃদ্ধির প্রভাব দূর করতে উৎপাদের যেমন  $PCl_3$  ও  $Cl_2$  এর মোল সংখ্যা বৃদ্ধি পাবে।

(খ) এক্ষেত্রে সমতায়ুক্ত সমীকরণ মতে কেবল 1 mol গ্যাসীয় বিক্রিয়ক আছে; কোনো উৎপাদ গ্যাস নয়। তাই চাপ হ্রাসের প্রভাব বা আয়তন বৃদ্ধির প্রভাব দূর করতে উৎপাদ থেকে বিক্রিয়ক গ্যাস উৎপন্ন হবে। ফলে উৎপাদ  $CaCO_3$  এর মোল সংখ্যা হ্রাস পাবে।

(গ) এক্ষেত্রে সমতায়ুক্ত সমীকরণ মতে বিক্রিয়ক ও উৎপাদ উভয় ক্ষেত্রে 2 mol গ্যাসীয় পদার্থ আছে; তাই চাপের হ্রাসের ফলে সাম্যমিশ্রণে মোল সংখ্যার কোনো পরিবর্তন ঘটবে না; একই থাকবে।

**শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.৬ : সাম্যাবস্থায় চাপের প্রভাব :**

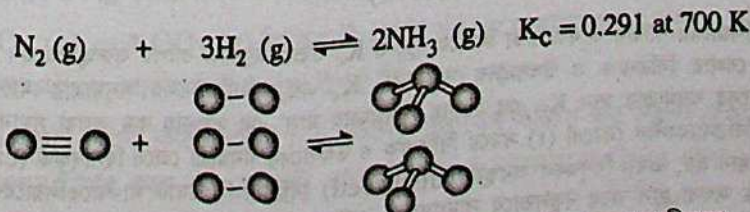
**সমস্যা- ৪.২৬ :** নিম্নোক্ত রাসায়নিক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় চাপ বৃদ্ধি করে গ্যাসীয় আয়তন হ্রাস করলে বিক্রিয়া মিশ্রণে প্রতিক্ষেত্রে উৎপাদের মোল সংখ্যা বৃদ্ধি, হ্রাস বা একই থাকবে কীনা যুক্তি দেখাও :



**৪.৬.৩ সাম্যাবস্থায় ঘনমাত্রা পরিবর্তনের প্রভাব**

**Effect of Concentration change on Equilibrium**

গ্যাসীয় সাম্যাবস্থায়  $N_2$  গ্যাস ও  $H_2$  গ্যাস থেকে হেবার পদ্ধতিতে  $NH_3$  উৎপাদনের ক্ষেত্রে ঘনমাত্রা পরিবর্তনের প্রভাব আলোচনা করা যাক :

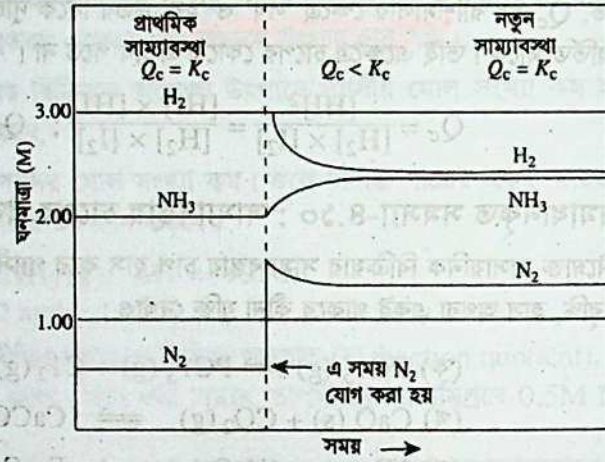


চিত্র-৪.১৫ :  $NH_3$  সংশ্লেষণে বিক্রিয়ক ও উৎপাদের আণবিক মডেল সমীকরণ



মনে করি, 700K (427°C) তাপমাত্রায়, এ বিক্রিয়ার সাম্যমিশ্রণে 0.5 M N<sub>2</sub>, 3.0 M H<sub>2</sub> ও 1.98 M NH<sub>3</sub> গ্যাস আছে। এখন ঐ সাম্যাবস্থা বিশৃঙ্খল বা নষ্ট করার জন্য N<sub>2</sub> এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করে 1.5 M করা হলো। এখন লা-শাতেলিয়ানের নীতি কী বলে? এ নীতি অনুসারে N<sub>2</sub> এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধিজনিত চাপ বা পীড়ন (stress) থেকে উপশমের জন্য কিছু N<sub>2</sub> গ্যাস H<sub>2</sub> গ্যাসসহ বিক্রিয়া করে আরো NH<sub>3</sub> গ্যাস উৎপন্ন করবে। তখন NH<sub>3</sub> এর পরিমাণ বাড়বে, N<sub>2</sub> ও H<sub>2</sub> এর পরিমাণ কমবে। চিত্র-৪.১৬ থেকে তা সুস্পষ্ট হবে। সাধারণভাবে সাম্যমিশ্রণে কোনো বিক্রিয়ক বা উৎপাদ যুক্ত বা অপসারণ করলে সাম্যাবস্থা ডানে বা বামে দিক পরিবর্তন করে ঘনমাত্রা পরিবর্তনের প্রভাব হ্রাস করবে।

N<sub>2</sub> ও H<sub>2</sub> এর ঘনমাত্রা কমেছে, NH<sub>3</sub> ঘনমাত্রা বেড়েছে



চিত্র-৪.১৬ : সাম্যমিশ্রণে N<sub>2</sub> উপাদান যোগ করার পর সাম্য মিশ্রণে N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> এর ঘনমাত্রার পরিবর্তন।

\* ঘনমাত্রার বৃদ্ধি ঘটলে, সাম্য-সিস্টেমটি ডানে বা বামে বিক্রিয়া দ্বারা ঐ যুক্ত উপাদান কিছু হ্রাস করবে।

\* ঘনমাত্রার হ্রাস ঘটলে, সাম্য-সিস্টেমটি ডানে বা বামে বিক্রিয়া দ্বারা হ্রাসকৃত উপাদান কিছু বৃদ্ধি করবে।

এখন আমরা লা-শাতেলিয়ানের নীতির কার্যকারিতা বিক্রিয়ার সাম্যপ্রবকের সাহায্যে জানতে চেষ্টা করবো। বিক্রিয়ার তাপমাত্রায় (700K) প্রাথমিক সাম্যমিশ্রণে 0.50 M N<sub>2</sub> গ্যাস, 3.0 M H<sub>2</sub> গ্যাস ও 1.98 M NH<sub>3</sub> গ্যাস সহযোগে সংঘটিত বিক্রিয়া অনুপাত (reaction quotient), Q<sub>c</sub> এর নির্ণীত মান এবং বিক্রিয়া সমীকরণে প্রদত্ত সাম্যপ্রবক, K<sub>c</sub> (0.291) এর মান সমান হয়।

$$Q_c = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2] \times [\text{H}_2]^3} = \frac{(1.98)^2}{(0.50)(3.0)^3} = 0.29 = K_c$$

\* যখন সাম্যাবস্থাকে বিশৃঙ্খল বা নষ্ট করার জন্য N<sub>2</sub> এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করে 1.5 M করা হয়, তখন সাম্যপ্রবক সমীকরণের 'হর' অংশের মান বৃদ্ধি পায়; ফলে Q<sub>c</sub> এর মান হ্রাস পেয়ে K<sub>c</sub> মানও কম হয়।

$$Q_c = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2] \times [\text{H}_2]^3} = \frac{(1.98)^2}{(1.50) \times (3.0)^3} = 0.0968 < K_c$$

\*\* তাই নতুনভাবে সাম্যাবস্থা অর্জনের জন্য Q<sub>c</sub> এর মান বৃদ্ধি করতে সাম্যপ্রবকের সমীকরণের ডানদিকের অনুপাত রাশিতে 'হর' এর মান হ্রাস ও 'লব' এর মান বৃদ্ধি করতে হবে। এ জন্য কিছু N<sub>2</sub> ও H<sub>2</sub> কে NH<sub>3</sub> গ্যাসে পরিবর্তন করতে হয়। এটিই লা-শাতেলিয়ানের নীতির মূল কথা। নতুন সাম্যাবস্থা লাভের পর (চিত্র-৪.১৬ দেখ) সাম্যমিশ্রণের ঘনমাত্রায় 1.31 M N<sub>2</sub>, 2.43 M H<sub>2</sub> ও 2.36 M NH<sub>3</sub> থাকে (চিত্র-৪.১৬ এর নতুন সাম্যাবস্থায় H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> ও N<sub>2</sub> এর ঘনমাত্রা Y-অক্ষ থেকে নেয়া হয়েছে)। তখন Q<sub>c</sub> এর নির্ণীত মান (0.296) ও K<sub>c</sub> (0.29) এর নির্দিষ্ট মানের প্রায় সমান হয়।

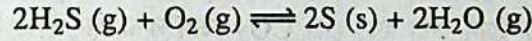
$$Q_c = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2] \times [\text{H}_2]^3} = \frac{(2.36)^2}{(1.31)(2.43)^3} = 0.296 = K_c$$

দ্রষ্টব্য : (১) লা-শাতেলিয়ানের নীতির কার্যকারিতা বিচারে Q<sub>c</sub> ও K<sub>c</sub> উভয় অনুপাত রাশির গুরুত্ব আছে। (২) Q<sub>c</sub> ও K<sub>c</sub> এর মধ্যে মূল পার্থক্য হলো, 'Q<sub>c</sub>' এর বেলায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদের 'ঘনমাত্রা' K<sub>c</sub> এর সাম্যসিস্টেমের 'ঘনমাত্রার' মানের মতো নাও হতে পারে অর্থাৎ Q<sub>c</sub> এর বেলায় উৎপাদের ঘনমাত্রার মান K<sub>c</sub> এর বেলায় 'ঘনমাত্রার মান' এর তুলনায় কম অথবা সমান অথবা বেশি হতে পারে। (৩) তাই নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় বিক্রিয়াকালীন কোনো (t) সময়ে বিক্রিয়ক ও উৎপাদের ঘনমাত্রা জেনে হিসাবকৃত (calculated) Q<sub>c</sub> এর মান যখন K<sub>c</sub> এর স্থির মানের সমান হয়, তখন বিশৃঙ্খল অবস্থার (disturbed) বিক্রিয়া-সিস্টেমটি লা-শাতেলিয়ানের নীতি অনুসারে প্রয়োজন মতো উৎপাদের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি অথবা হ্রাস করে নতুনভাবে সাম্যাবস্থায় এসেছে প্রমাণ করে।



## সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১১ : সাম্যাবস্থায় ঘনমাত্রা পরিবর্তনের প্রভাব

কয়লা ও প্রাকৃতিক গ্যাসে মিশে থাকা  $H_2S$  কে বায়ু সহযোগে জারিত করে প্রয়োজনীয় সালফার সংগ্রহ ও বায়ুদূষণ রোধ করা হয় :



কীরূপ পরিবর্তন ঘটবে - (ক)  $O_2$  যোগ করার পর  $[H_2O]$  এর; (খ)  $O_2$  যোগ করার পর  $[H_2S]$  এর, (গ)  $H_2S$  এর অপসারণের পর  $[O_2]$  এর; (ঘ)  $S$  গুঁড়া যোগ করার পর  $[H_2S]$  এর ?

দক্ষতা : বিক্রিয়া অনুপাত (বা reaction quotient),  $Q_c$  বিবেচনা করে প্রতিটি পরিবর্তনের পর  $Q_c$  এর কী পরিবর্তন হয় এবং  $K_c$  এর সাথে কীরূপ পার্থক্য হয়, তা জানা যাবে। তা থেকে সাম্যাবস্থা কী ডান বা বাম কোন দিকে অগ্রসর হয়ে নতুন সাম্যাবস্থা অর্জন এবং প্রত্যেকের ঘনমাত্রা পরিবর্তন উভয়ই জানা যাবে।

সমাধান : বিক্রিয়া অনুপাত (বা reaction quotient),  $Q_c = \frac{[H_2O]^2}{[H_2S]^2 \times [O_2]}$

(ক) মিশ্রণে  $O_2$  যোগ করলে,  $Q_c$  এর হরের মান বাড়ে; তখন  $Q_c < K_c$  হবে। তাই সাম্যাবস্থা লাভের জন্য বিক্রিয়া ডান দিকে ঘটবে এবং  $[H_2O]$  বাড়বে।

(খ) যেহেতু  $O_2$  যোগ করলে,  $Q_c < K_c$  হয়; তখন কিছু  $H_2S$  ঐ যোগ করা  $O_2$  এর সাথে বিক্রিয়া করে, তখন সাম্যাবস্থা ডানদিকে অগ্রসর হবে এবং  $[H_2S]$  কমবে।

(গ)  $H_2S$  অপসারণের পর  $Q_c$  এর হরের মান কমবে; তখন  $Q_c > K_c$  হবে। তাই সাম্যাবস্থা বাম দিকে শিফটের জন্য কিছু  $H_2S$  ও  $O_2$  উৎপন্ন হবে এবং  $[O_2]$  বাড়বে।

(ঘ) কঠিন বস্তু  $S$  এর ঘনমাত্রা 1 এবং অপরিবর্তিত ধরা হয় এবং বিক্রিয়া অনুপাত রাশি  $Q_c$  এর সমীকরণে কঠিন বস্তুকে ধরা হয় না।

## সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১২ : সাম্যাবস্থায় বিভিন্ন নিয়ামকের প্রভাব :

(ক)  $A (g) + B (g) \rightleftharpoons 2C (g)$  : বিক্রিয়াটি একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় সাম্যাবস্থায় আছে। বিক্রিয়াটিতে (১) প্রভাবক যোগ করলে অথবা (২) স্থির তাপমাত্রায় চাপ বৃদ্ধি করলে উৎপাদ  $C (g)$  এর পরিমাণ বৃদ্ধি করা যাবে কি?

সমাধান : (১) অনুঘটক যোগ করে  $C (g)$  এর পরিমাণ বাড়ানো যাবে না, কারণ সাম্যাবস্থার উপর অনুঘটকের কোনো প্রভাব নেই। (২) যেহেতু বিক্রিয়াটিতে আয়তনের কোনো পরিবর্তন হয় না, তাই বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থার ওপর চাপের কোনো প্রভাব নেই। কাজেই স্থির তাপমাত্রায় চাপবৃদ্ধি করে  $C (g)$  এর উৎপাদন বাড়ানো সম্ভব নয়।

(খ)  $CaCO_3 (s) \rightleftharpoons CaO (s) + CO_2 (g)$  বিক্রিয়াটি একটি বদ্ধ পাত্রে আছে। যদি স্থির তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থায় বাইরে থেকে  $CO_2 (g)$  যোগ করা হয়, তাহলে সাম্যাবস্থার ওপর কী প্রভাব পড়বে?

সমাধান : প্রদত্ত বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে  $K_p = P_{CO_2}$ । স্থির তাপমাত্রার বাইরে থেকে  $CO_2$  যোগ করলে  $CO_2$  এর আংশিক চাপ ( $P_{CO_2}$ ) বৃদ্ধি পাবে। কিন্তু নির্দিষ্ট তাপমাত্রায়  $K_p$  এর মান ধ্রুবক। তাই, অতিরিক্ত  $CO_2$  গ্যাস সমমোলার  $CaO$  এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে  $CaCO_3$  উৎপন্ন করবে। যতক্ষণ না  $CO_2$  এর আংশিক চাপ পূর্বের চাপের সমান হয়।

(গ)  $C (s) + O_2 (g) \rightleftharpoons CO_2 (g)$  বিক্রিয়াটি একটি বদ্ধপাত্রে সাম্যাবস্থায় আছে। যদি বিক্রিয়াটির সাম্যাবস্থায় বাইরে থেকে  $C(s)$  যোগ করা হয়, তাহলে সাম্যাবস্থার উপর কী প্রভাব পড়বে?

সমাধান :  $C (s)$  একটি বিশুদ্ধ কঠিন পদার্থ। এ ধরনের পদার্থের সক্রিয় ভর সর্বদা ধ্রুবক এবং সক্রিয় ভরের মান পদার্থটির পরিমাপের ওপর নির্ভর করে না। কাজেই প্রদত্ত বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায়  $C (s)$  যোগ করলে সাম্যাবস্থার কোনো পরিবর্তন হবে না।



শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.৭ : সাম্যাবস্থায় ঘনমাত্রার প্রভাব :

সমস্যা-৪.২৭ : ওয়াটার গ্যাস শিফট বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থা বিবেচনা করা যাক :



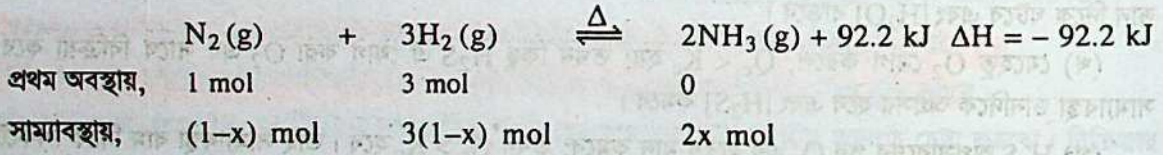
লা-শাতেলিয়ারের নীতিভিত্তিক ব্যাখ্যা কর নিচের পরিবর্তনসমূহের বেলায়  $\text{H}_2$  এর ঘনমাত্রায় কীরূপ পরিবর্তন ঘটবে; যখন সাম্য মিশ্রণে - (ক)  $\text{CO}$  যোগ করা হয়; (খ)  $\text{CO}_2$  যোগ করা হয়; (গ)  $\text{H}_2\text{O}$  অপসারণ করা হয়; (ঘ)  $\text{CO}_2$  অপসারণ করা হয়। বিক্রিয়া অনুপাত (বা reaction quotient),  $Q_c$  রাশি প্রয়োগ কর।

## ৪.৭ শিল্পোৎপাদনে লা-শাতেলিয়ারের নীতির প্রয়োগ

### Use of Le-Chatelier's Principle in Industries

শিল্প উৎপাদনের ক্ষেত্রে লা-শাতেলিয়ারের নীতির ব্যাপক ব্যবহার রয়েছে। নিচে দুটি গুরুত্বপূর্ণ শিল্প প্রক্রিয়া সম্পর্কে এ নীতির আলোকে আলোচনা করা হলো।

(ক) অ্যামোনিয়া গ্যাস উৎপাদন : বাণিজ্যিক ভিত্তিতে হেবার-বোস পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়া উৎপাদনের বিক্রিয়া নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় :



(স) চাপের প্রভাব : এ বিক্রিয়ায় চাপের প্রভাব  $K_p$  এর রাশিমালা থেকে জানা যায়। সমীকরণ মতে, সাম্যাবস্থায় মোট মোলসংখ্যা  $= (1 - x + 3 - 3x + 2x) = (4 - 2x)$

$$\text{বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবক, } K_p = \frac{(P_{\text{NH}_3})^2}{(P_{\text{N}_2}) \times (P_{\text{H}_2})^3}$$

$$\text{গ্যাস মিশ্রণটির মোট চাপ } P \text{ হলে; } \text{NH}_3 \text{ এর আংশিক চাপ, } P_{\text{NH}_3} = \frac{2x \cdot P}{(4-2x)} = \frac{x \cdot P}{(2-x)}$$

$$\text{N}_2 \text{ এর আংশিক চাপ, } P_{\text{N}_2} = \frac{(1-x)P}{(4-2x)} \text{ এবং } \text{H}_2 \text{ এর আংশিক চাপ, } P_{\text{H}_2} = \frac{(3-3x)P}{(4-2x)}$$

$$\therefore K_p = \frac{\left(\frac{x}{2-x} \cdot P\right)^2}{\left(\frac{1-x}{4-2x} \cdot P\right) \left(\frac{3-3x}{4-2x} \cdot P\right)^3} = \frac{\frac{x^2 \times P^2}{(2-x)^2}}{\frac{(1-x) \times P}{2(2-x)} \times \frac{27(1-x)^3 \times P^3}{8(2-x)^3}}$$

$$\therefore K_p = \frac{16 x^2 (2-x)^2}{27 (1-x)^4 P^2}; \text{ যদি } x \ll 1 \text{ হয়।}$$

তখন  $(1-x) = 1$  এবং  $(2-x) = 2$  ধরে পাই;

$$\therefore K_p = \frac{64}{27} \cdot \frac{x^2}{P^2}; \text{ বা, } x^2 = \frac{27}{64} \cdot K_p \cdot P^2$$

চিন্তা কর : বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করলে সাম্যাবস্থা কোন্ দিকে সরে যায়?

(ক) ডানে (খ) স্থিত অবস্থায় থাকে

(গ) বামে (ঘ) অপরিবর্তিত থাকে

সমীকরণ মতে, স্থির তাপমাত্রায় মোট চাপ  $P$  এর মান যতোই বৃদ্ধি করা যাবে উৎপাদ,  $x$  এর মান ততো বৃদ্ধি পাবে অর্থাৎ  $\text{NH}_3$  এর উৎপাদন ত্বরান্বিত হবে। কারণ, স্থির তাপমাত্রায়  $K_p$  এর মান ধ্রুবক। অর্থাৎ চাপ বৃদ্ধির ফলে  $\text{NH}_3$  এর উৎপাদন বৃদ্ধি পাবে এবং চাপ হ্রাসের ফলে অ্যামোনিয়ার উৎপাদন হ্রাস পাবে। পরীক্ষামূলক ডাটা থেকে দেখা যায়, চাপ  $200-300 \text{ atm}$  এর মধ্যে রাখলে উৎপাদন বাড়ে। বাস্তবে অ্যামোনিয়া উৎপাদনে  $200 \text{ atm}$  অত্যনুকূল চাপরূপে প্রয়োগ করা হয়।



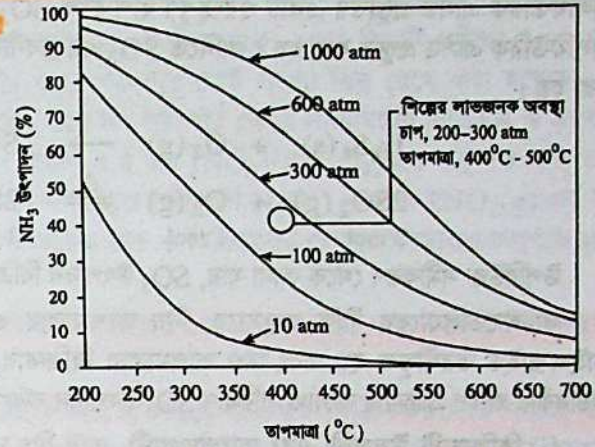
(২) তাপমাত্রার প্রভাব : অ্যামোনিয়া উৎপাদন বিক্রিয়াটি তাপোৎপাদী। সুতরাং লা-শাতেলিয়ের নীতি অনুসারে তাপমাত্রা যত কম হবে, অ্যামোনিয়ার উৎপাদন ততো বেশি হবে।

\* বিভিন্ন শিল্পে অ্যামোনিয়া উৎপাদনের ডাটা মতে (চিত্র-৪.১৭) সর্বাধিক 98.3% অ্যামোনিয়া উৎপাদনের তিন শর্ত হলো :

(১)  $\text{NH}_3$  গ্যাস উৎপন্ন হওয়ার সাথে সাথে এর বিয়োজন রোধে একে বিক্রিয়া স্থল থেকে অপসারণ করা;

(২) 4 mol বিক্রিয়ক গ্যাস থেকে 2 mol  $\text{NH}_3$  গ্যাস উৎপন্ন হওয়ায় আয়তন হ্রাসের কারণে উচ্চ চাপ 1000 atm প্রয়োগ করা;

(৩) তাপোৎপাদী বিক্রিয়া হওয়ায় নিম্ন তাপমাত্রা  $200^\circ\text{C}$  এ বিক্রিয়া তাপমাত্রা বজায় রাখা।



চিত্র-৪.১৭ : বিভিন্ন চাপ ও তাপমাত্রায়  $\text{NH}_3$  এর উৎপাদন।

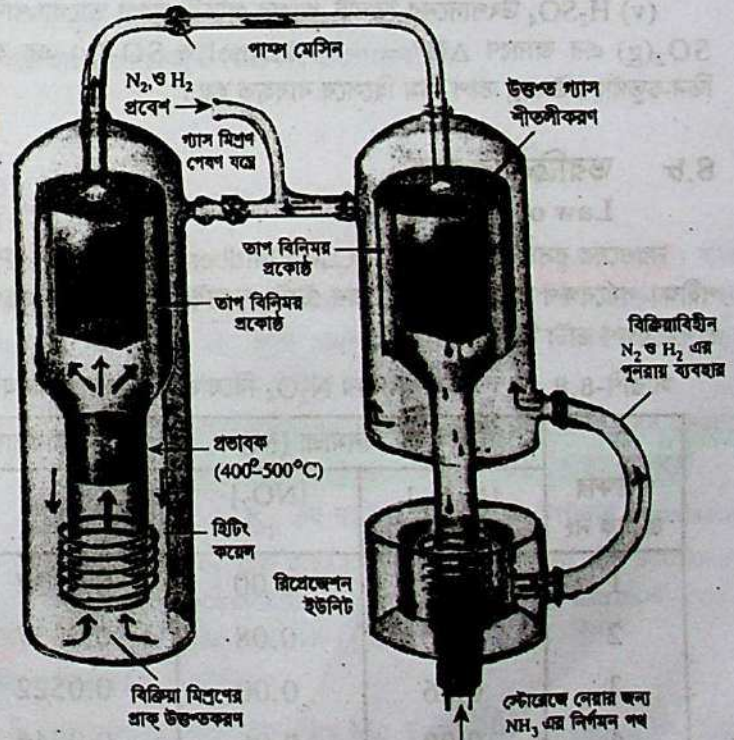
কিন্তু শিল্প কারখানায় অর্থনৈতিক লাভের জন্য উৎপাদনের পরিমাণের সাথে সময়ের হিসাবটাও দরকার। নিম্ন তাপমাত্রায় অ্যামোনিয়া উৎপাদনের হার বা গতি হ্রাস পায় এবং উচ্চ তাপমাত্রায় বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি পায়। অপরদিকে তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে সাম্যাবস্থায় অ্যামোনিয়ার শতকরা উৎপাদন হ্রাস পায় (চিত্র-৪.১৭)। এ দুটি বিপরীত শর্তের কারণে এমন একটি তাপমাত্রা নির্বাচন করতে হয়, যে তাপমাত্রায় যথোপযুক্ত কম সময়ে আশানুরূপ উৎপাদন লাভ করা যায়।

প্রতিটি তাপোৎপাদী শিল্প প্রক্রিয়ায় এমন একটি সর্বনিম্ন তাপমাত্রা আছে, যাতে প্রক্রিয়া সম্পাদন লাভজনক হয়। এ তাপমাত্রাকে অত্যনুকূল তাপমাত্রা (optimum temperature) বলা হয়। শিল্পোৎপাদনে যে কোনো প্রভাবক রাসায়নিক বিক্রিয়ার বেগ ত্বরান্বিত করে। কিন্তু সাম্য অবস্থার ওপর এর প্রভাব নেই। এ কারণে শিল্পোৎপাদনে অধিকাংশ ক্ষেত্রে প্রভাবকের সাহায্য গ্রহণ করা হয়। অত্যনুকূল তাপমাত্রা বিভিন্ন প্রভাবকের জন্য বিভিন্ন হয়। তবে এ বিক্রিয়ায় Fe গুঁড়া প্রভাবকের সাথে  $\text{MgO}$ ,  $\text{SiO}_2$  ও  $\text{Al}_2\text{O}_3$  মিশ্রণকে প্রভাবক সহায়ক বা প্রমোটর (promoter) হিসেবে ব্যবহার করা হয় এবং অত্যনুকূল তাপমাত্রারূপে  $400^\circ\text{C}$ – $500^\circ\text{C}$  বজায় রাখা হয়।

বিক্রিয়াটিতে আয়তন হ্রাস পায় বলে উচ্চচাপে  $\text{NH}_3$  এর উচ্চ উৎপাদন আশা করা সম্ভব, যা এ বিক্রিয়ার  $K_p$  এর সমীকরণ থেকেও স্পষ্ট। তাই এ বিক্রিয়ার জন্য অত্যনুকূল 200–300 atm চাপ প্রয়োগ করা হয়ে থাকে।

\*\* লাভজনকভাবে শিল্পক্ষেত্রে বাস্তবে সর্বাধিক 35–40%  $\text{NH}_3$  (আয়তনে) উৎপাদন করতে নিম্নরূপ অত্যনুকূল অবস্থা প্রয়োগ করা হয় :

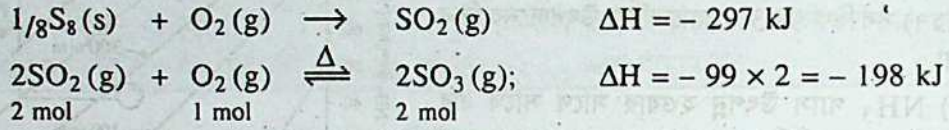
(১) বিক্রিয়ার হার বৃদ্ধির জন্য প্রভাবক Fe গুঁড়া ও প্রমোটররূপে গলিত (fused)  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ও  $\text{SiO}_2$  এর মিশ্রণের 5 mm–10 mm স্তর বিক্রিয়া চেম্বারে ব্যবহার; (২) বিক্রিয়া পরিবেশে  $400^\circ\text{C}$ – $500^\circ\text{C}$  তাপমাত্রা বজায় রাখা; (৩) চাপমাত্রা 200–300 atm প্রয়োগ করে  $\text{NH}_3$  গ্যাসকে প্রথমে শীতল ও পরে তরলীভূত করে স্টোরেজে সংরক্ষণ করা।



চিত্র-৪.১৮ : হেবার পদ্ধতিতে অ্যামোনিয়া উৎপাদন



(খ) সালফিউরিক এসিড শিল্পোৎপাদনের ক্ষেত্রে  $\text{SO}_2$ -এর জারণ বা  $\text{SO}_3$  উৎপাদন : বাণিজ্যিক ভিত্তিতে সালফিউরিক এসিড প্রস্তুতির একটি গুরুত্বপূর্ণ ধাপ হচ্ছে  $\text{SO}_2$ -এর জারণ। উৎপন্ন  $\text{SO}_3$  গ্যাসের সাথে পানির বিক্রিয়া ঘটিয়ে সালফিউরিক এসিড প্রস্তুত করা হয়। পানিতে  $\text{SO}_3$  এর দ্রবণীয়তা কম বলে 98%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  এসিডে  $\text{SO}_3$  গ্যাসকে শোষিত করা হয়।



উপরিউক্ত সমীকরণ থেকে জানা যায়,  $\text{SO}_3$  উৎপাদন বিক্রিয়াটি-

লা-শাতেলিয়ানের নীতি অনুসারে, নিম্ন তাপমাত্রায় ও উচ্চ চাপে সম্মুখ দিকে ঘটবে। কিন্তু উচ্চচাপে সালফার ডাইঅক্সাইড তরলীভূত হয় এবং নিম্ন তাপমাত্রায় বিক্রিয়ার গতি হ্রাস পায়। এ কারণে, নিম্নোক্ত শর্তাবলি প্রয়োগ করে প্রভাবকীয় জারণ প্রক্রিয়ায় সর্বোচ্চ পরিমাণ  $\text{SO}_3$  উৎপাদন করা হয়।

(i) বিক্রিয়াটি উভমুখী এবং তাপোৎপাদী, তাই নিম্ন তাপমাত্রায়  $\text{SO}_3$  এর উৎপাদন বাড়বে। তবে নিম্ন তাপমাত্রায় বিক্রিয়া ধীরগতিতে অগ্রসর হয় বলে উচ্চ তাপমাত্রার প্রয়োজন হয়।

(ii) প্রভাবক ব্যবহার করেও বিক্রিয়ার গতি বাড়ানো হয়। এক্ষেত্রে ভ্যানাডিয়াম পেন্টোক্সাইড ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ) চূর্ণ প্রভাবক নিষ্ক্রিয় সিলিকা জালিরূপে ব্যবহার করে  $400^\circ\text{--}500^\circ\text{C}$  তাপমাত্রা এ ক্ষেত্রে অত্যনুকূল তাপমাত্রা হয়।

(iii) বাতাসের অক্সিজেন যেহেতু সহজলভ্য, সেহেতু শিল্পক্ষেত্রে এ বিক্রিয়ার জন্য হিসাবকৃত পরিমাণের তুলনায় প্রায় তিনগুণ বাতাস বিক্রিয়াস্থলে প্রবেশ করানো হয়-যাতে অধিক পরিমাণ  $\text{SO}_2$  জারিত হয়।

(iv) বিক্রিয়ার সমীকরণ থেকে বোঝা যায়, বিক্রিয়াটি মোলার আয়তন হ্রাসের মাধ্যমে সংঘটিত হয় অর্থাৎ যতই চাপ বাড়ানো যায় ততই  $\text{SO}_3$  এর উৎপাদনের শতকরা হার বাড়ানো যায়। তবে 1.7 atm চাপেই উপরোল্লিখিত অবস্থায় প্রায় 99.5%  $\text{SO}_2$  জারিত হয়। এ কারণে আর অতিরিক্ত চাপ প্রয়োগ করা হয় না।

(v)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  উৎপাদনের তিনটি ধাপের প্রতিটি হলো তাপোৎপাদী। যেমন  $\text{S}_8$  এর দহনে  $\Delta H^\circ = -297 \text{ kJ/mol}$ ;  $\text{SO}_2(\text{g})$  এর জারণে  $\Delta H^\circ = -99 \text{ kJ/mol}$  ও  $\text{SO}_3(\text{g})$  এর হাইড্রেশনে  $\Delta H^\circ = -132 \text{ kJ/mol}$  হয়। তাই তিন-চতুর্থাংশ উৎপন্ন তাপ স্টিম হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

## ৪.৮ ভরক্রিয়ার সূত্র

### Law of Mass Action

নরওয়ের রসায়নবিদ গুল্ডবার্গ (C.M. Guldberg) ও পি. ভাগে (P. Wage) বিভিন্ন উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার ওপর পরীক্ষা-পর্যবেক্ষণ করেন। নাইট্রোজেন টেট্রো অক্সাইডের বিয়োজন এরূপ একটি উভমুখী বিক্রিয়া। এ বিক্রিয়ার ওপর পরীক্ষা ও পর্যবেক্ষণ ডাটা নিম্নরূপ :

সারণি-৪.৪ :  $25^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায়  $\text{N}_2\text{O}_4$  বিয়োজনের মোলার ঘনমাত্রা ডাটা  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$

পরীক্ষার ক্রমিক নং	প্রাথমিক ঘনমাত্রা (M)		সাম্যাবস্থায় ঘনমাত্রা (M)		সাম্যক্রমিক সমীকরণ $K_C = [\text{NO}_2]^2 / [\text{N}_2\text{O}_4]$
	$[\text{N}_2\text{O}_4]$	$[\text{NO}_2]$	$[\text{N}_2\text{O}_4]$	$[\text{NO}_2]$	
1	0.04	0.00	0.0337	0.0125	$4.64 \times 10^{-3}$
2	0.00	0.08	0.0337	0.0125	$4.64 \times 10^{-3}$
3	0.06	0.00	0.0522	0.0156	$4.66 \times 10^{-3}$
4	0.00	0.06	0.0246	0.0107	$4.65 \times 10^{-3}$
5	0.02	0.06	0.0429	0.0141	$4.63 \times 10^{-3}$



পরীক্ষার ক্রমিক নং 1 ও 2 এর ডাটা থেকে সুস্পষ্ট যে, পরীক্ষা 1 এর বেলায়  $N_2O_4$  এর 0.04 মোলসহকারে পরীক্ষাটি শুরু করা হয় এবং পরীক্ষা নং 2 এর বেলায়  $NO_2$  এর দ্বিগুণ ঘনমাত্রায় যেমন 0.08 মোলসহকারে বিপরীত পরীক্ষাটি শুরু করা হয়। প্রতি ক্ষেত্রে N ও O পরমাণুর সংখ্যা সমান রাখায় ঘনমাত্রা একই রয়েছে। অপর তিনটি পরীক্ষা 3, 4, 5-এর বেলায়  $N_2O_4$  ও  $NO_2$  এর প্রাথমিক মোলার ঘনমাত্রায় N ও O পরমাণুর মোট সংখ্যা ভিন্ন রেখে করা হয়েছে। তাই সাম্যাবস্থায়  $N_2O_4$  ও  $NO_2$ -এর মোলার ঘনমাত্রা ভিন্ন হয়েছে। তবে সব পরীক্ষার ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মোলার ঘনমাত্রার মধ্যে একটি আনুপাতিক সম্পর্ক রয়েছে। সারণি-8.8 এর  $[NO_2]^2/[N_2O_4]$  এর অনুপাত প্রতি ক্ষেত্রে প্রায় ধ্রুবক মানের যেমন  $4.64 \times 10^{-3}$  হয়েছে। এ ধ্রুবক মান সমতায়ুক্ত সমীকরণ  $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$  এর সাথে সম্পর্কযুক্ত, যা উৎপাদের মোল সংখ্যাকে উৎপাদের মোলার ঘনমাত্রার ঘাত ও বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার অনুপাত প্রকাশ করে।

1864 খ্রিস্টাব্দে রসায়নবিদ গুল্ডবার্গ ও পি.ভাগে তাঁদের বিভিন্ন পরীক্ষালব্ধ এসব তথ্য সমন্বয় করে উভমুখী বিক্রিয়ার জন্য ভর ক্রিয়া সূত্র উপস্থাপন করেন। ভর ক্রিয়ার সূত্রটি নিম্নরূপ :

নির্দিষ্ট তাপমাত্রায়, নির্দিষ্ট সময়ে যে কোনো বিক্রিয়ার হার ঐ সময়ে উপস্থিত বিক্রিয়কগুলোর সক্রিয় ভরের (অর্থাৎ মোলার ঘনমাত্রা বা আংশিক চাপের) সমানুপাতিক হয়। একাধিক বিক্রিয়কের বেলায়, বিক্রিয়ার হার প্রত্যেকটি বিক্রিয়কের সক্রিয় ভরের গুণফলের সমানুপাতিক হয়। সক্রিয় ভর বলতে সাধারণত প্রতি লিটার দ্রবণে পদার্থটির দ্রবীভূত মোল সংখ্যাকে বোঝায় এবং গ্যাসের ক্ষেত্রে আংশিক চাপ বোঝায়।

ভর ক্রিয়া সূত্রের গাণিতিক প্রকাশ :  $K_c$  এর রাশিমালা প্রতিপাদন :

উভমুখী বিক্রিয়ার নিম্নরূপ সাধারণ সমীকরণ থেকে ভর ক্রিয়া সূত্রের গাণিতিক রূপ প্রতিপাদন করা যায় :



মনে করি A, B, C ও D এর মোলার ঘনমাত্রায় সক্রিয় ভর হলো যথাক্রমে [A], [B], [C] ও [D]। সুতরাং ভরক্রিয়ার সূত্র মতে, সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার গতিবেগ,  $r_f = k_1 [A] \times [B]$ ;

পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার গতিবেগ,  $r_b = k_2 [C] \times [D]$ ;

এখানে  $k_1$  ও  $k_2$  হলো যথাক্রমে সম্মুখমুখী ও পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার ধ্রুবক।

উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায়, সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার হার ও পশ্চাৎমুখী বিক্রিয়ার হার সমান হয়।

অর্থাৎ,  $r_f = r_b$

$$\therefore k_1 \times [A] \times [B] = k_2 \times [C] \times [D],$$

$$\therefore \frac{k_1}{k_2} = \frac{[C] \times [D]}{[A] \times [B]} ; \text{ অথবা, } \frac{[C] \times [D]}{[A] \times [B]} = \frac{k_1}{k_2} = K_c \text{ (আরেকটি ধ্রুবক)।}$$

$K_c$  কে এ বিক্রিয়ার মোলার সাম্যাক্ষ বা সাম্যধ্রুবক বলা হয়। সাম্যধ্রুবক  $K_c$  এর কোনো একক নেই। কারণ সাম্যধ্রুবকের সমীকরণে উৎপাদ (লব) ও বিক্রিয়ক (হর) প্রতিক্ষেত্রে ঘনমাত্রা পদকে প্রত্যেকের মোলারিটি (1M) দ্বারা ভাগ করা হয়। Thermodynamic Standard State মতে এরূপ করা হয়; ফলে এককসমূহ কাটা যায়; ঘনমাত্রার অনুপাত ও  $K_c$  উভয়ের কোনো একক থাকে না। যেমন সারণি-8.8 এর সাম্য ধ্রুবকের বেলায় দেখানো হয়েছে :

$$K_c = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} = \frac{\left(\frac{0.0125M}{1M}\right)^2}{\left(\frac{0.0337M}{1M}\right)} = 4.64 \times 10^{-3}$$

['Thermodynamic Standard State' রূপে দ্রবণে দ্রবের ঘনমাত্রা 1M, প্রতিটি গ্যাসের চাপ 1 atm ও তাপমাত্রা  $25^\circ C$  ধরা হয়।

এক্ষেত্রে  $K_c$  ও  $K_p$  এর রাশিমালার প্রতিটি উপাদান represents the ratio of the measurable quantity of the substance (molar concentration or pressure) to the thermodynamic standard state quantity of the substance]

অনুরূপভাবে  $K_a$ ,  $K_b$ ,  $K_w$  হলো এককবিহীন।

এ পুস্তকে পুরাতন নিয়ম বাদ দিয়ে এ নতুন নিয়ম ব্যবহার করা হয়েছে।

[Reference : (1) Chemistry : Martin S. Silberberg, Published by Mc. Graw Hill (Higher Education).  
(2) General Chemistry ATOMS FIRST : John E. McMurry and Robert C. Fay. এই বই দুটি আমেরিকার ক্যালিফোর্নিয়া ইউনিভারসিটিতে একাদশ-দ্বাদশ শ্রেণিতে পাঠ্যপুস্তক।]



### ৪.৯.১ বিক্রিয়ার সাম্যশ্রবক $K_c$ ও $K_p$

#### Equilibrium Constant $K_c$ and $K_p$

সাম্যশ্রবক : স্থির তাপমাত্রায় ও স্থির চাপে একটি উভমুখী বিক্রিয়ায় উৎপন্ন পদার্থসমূহের সক্রিয় ভর যেমন মোলার ঘনমাত্রা বা আংশিক চাপ-এর গুণফল এবং বিক্রিয়কসমূহের সক্রিয় ভরের গুণফলের অনুপাত একটি স্থির রাশি হয়ে থাকে। এ রাশিকে সাম্যশ্রবক বলে। সাম্যশ্রবক দু'প্রকার; যেমন মোলার সাম্যশ্রবক,  $K_c$  ও আংশিক চাপে সাম্যশ্রবক,  $K_p$ ।

**মোলার সাম্যশ্রবক,  $K_c$  :** কোনো উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে উৎপাদসমূহের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল ও বিক্রিয়কসমূহের মোলার ঘনমাত্রার গুণফলের অনুপাতকে মোলার সাম্যশ্রবক বলা হয়। একে  $K_c$  দ্বারা প্রকাশ করা হয়। বিভিন্ন মোল সংখ্যা (a, b) বিশিষ্ট বিক্রিয়ক (A, B) ও উৎপাদ (L, M) সহকারে নিম্নলিখিত সাধারণ বিক্রিয়াটি হলো :



ভরক্রিয়ার সূত্র মতে উপরোক্ত উভমুখী বিক্রিয়ার মোলার সাম্যশ্রবক নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয় :

$$K_c = \frac{[L]^l \times [M]^m}{[A]^a \times [B]^b}; \text{ অথবা, } K_c = \frac{C_L^l \times C_M^m}{C_A^a \times C_B^b}$$

এখানে C দ্বারা মোলার ঘনমাত্রা এবং মোলার সাম্যশ্রবককে  $K_c$  দ্বারা প্রকাশ করা হয়েছে।

**আংশিক চাপে সাম্যশ্রবক,  $K_p$  :** উভমুখী বিক্রিয়ার পদার্থসমূহ গ্যাসীয় হলে তাদের প্রত্যেকের সক্রিয় ভর আংশিক চাপ P দ্বারা প্রকাশ করা যায়। ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে উভমুখী বিক্রিয়ার উৎপাদসমূহের আংশিক চাপের গুণফল ও বিক্রিয়কসমূহের আংশিক চাপের গুণফলের অনুপাতকে ঐ বিক্রিয়ার আংশিক চাপ সাম্যশ্রবক বলে। একে  $K_p$  দ্বারা নির্দেশ করা হয়। সুতরাং নিম্নলিখিত সাধারণ উভমুখী গ্যাসীয় বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে আংশিক চাপে সাম্যশ্রবক  $K_p$  কে নিম্নরূপে লেখা হয়।

$$aA + bB \rightleftharpoons lL + mM; \quad K_p = \frac{P_L^l \times P_M^m}{P_A^a \times P_B^b}$$

এক্ষেত্রে বিক্রিয়ক A, B এবং উৎপাদ L, M এর আংশিক চাপ হলো যথাক্রমে  $P_A, P_B$  এবং  $P_L, P_M$ । সমীকরণে তাদের মোল সংখ্যাকে আংশিক চাপে স্ব-স্ব ঘাতে প্রকাশ করা হয়েছে।

কোনো গ্যাস মিশ্রণের কোনো উপাদান গ্যাসের আংশিক চাপ বলতে ঐ উপাদানের মোল ভগ্নাংশ ও গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপের গুণফলকে বোঝায়।

**জেনে নও :**  $K_c$  ও  $K_p$  এর মান শূন্য বা অসীম হতে পারে না।  $K_c$  ও  $K_p$  হলো উভমুখী বিক্রিয়ার উৎপাদ ও বিক্রিয়কের যথাক্রমে মোলার ঘনমাত্রা ও আংশিক চাপের সংখ্যা মানের অনুপাত যেমন—

$$aA + bB \rightleftharpoons lL + mM$$

$$K_c = \frac{[L]^l \times [M]^m}{[A]^a \times [B]^b}; \quad K_p = \frac{P_L^l \times P_M^m}{P_A^a \times P_B^b}$$

উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্য মিশ্রণে উৎপাদ ও বিক্রিয়ক উভয়ই সব সময় বর্তমান থাকে। তাই সাম্য শ্রবক  $K_c$  বা,  $K_p$  এর মান অর্থাৎ উৎপাদ ও বিক্রিয়কের মাত্রিক অনুপাত কখনো শূন্য অথবা অসীম হতে পারে না।

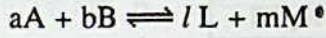
(a)  $K_c$  বা  $K_p$  এর মান শূন্য হতে হলে উৎপাদের পরিমাণ শূন্য হয়, যা উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় অসম্ভব।

(b)  $K_c$  বা  $K_p$  এর মান অসীম হতে হলে বিক্রিয়কের পরিমাণ শূন্য হয়, যা উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় অসম্ভব।



### ৪.৯.২ $K_c$ ও $K_p$ -এর মধ্যে সম্পর্ক Relation between $K_c$ and $K_p$

গ্যাসীয় বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে  $K_c$  ও  $K_p$  এর মধ্যে সম্পর্কটি প্রতিষ্ঠার জন্য একটি সাধারণ গ্যাসীয় উভমুখী বিক্রিয়া ধরা যাক। যেমন,



এখানে বিক্রিয়ক পদার্থ A, B এবং উৎপাদ পদার্থ L, M; এদের মোলার ঘনমাত্রা যথাক্রমে [A], [B] এবং [L], [M] ধরা হলো। তখন বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় মোলার সাম্যধ্রুবক  $K_c$  এর মান নিম্নরূপে লেখা যায় :

$$K_c = \frac{[L]^l \times [M]^m}{[A]^a \times [B]^b} = \frac{C_L^l \times C_M^m}{C_A^a \times C_B^b}$$

আবার গ্যাসীয় বিক্রিয়ক ও উৎপাদ পদার্থের আংশিক চাপ যথাক্রমে  $P_A$ ,  $P_B$  এবং  $P_L$ ,  $P_M$  ইত্যাদি ধরা হলো। তখন বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় আংশিক চাপে সাম্যধ্রুবক  $K_p$  এর মান নিম্নরূপে লেখা যায় :

$$K_p = \frac{P_L^l \times P_M^m}{P_A^a \times P_B^b}$$

আমরা জানি, একটি আদর্শ গ্যাস মিশ্রণে যে কোনো একটি গ্যাসের n মোলের আংশিক চাপ P হলে এবং গ্যাসটি T তাপমাত্রায় V লিটার আয়তন দখল করলে আদর্শ গ্যাসের সূত্রানুসারে-

$$PV = nRT, \text{ বা, } P = \frac{n}{V} RT = CRT \dots\dots\dots (1)$$

এখানে,  $C = \frac{n}{V}$  = একক লিটার আয়তনে মোল সংখ্যা বা মোলার ঘনমাত্রা।

সমীকরণ (1) এর মান নিচের সমীকরণে বসালে আমরা পাই,

$$K_p = \frac{P_L^l \times P_M^m}{P_A^a \times P_B^b}, \text{ বা, } K_p = \frac{(C_L RT)^l \times (C_M RT)^m}{(C_A RT)^a \times (C_B RT)^b}$$

$$\therefore K_p = \frac{(C_L^l \times C_M^m) \times (RT)^{l+m}}{(C_A^a \times C_B^b) \times (RT)^{a+b}} = K_c (RT)^{(l+m)-(a+b)}$$

$$\therefore K_p = K_c (RT)^{\Delta n}; \text{ এখানে } \Delta n = (l+m) - (a+b)$$

= বিক্রিয়াকালে বিক্রিয়ক ও উৎপাদসমূহের মোল সংখ্যার পরিবর্তন।

= উৎপাদসমূহের মোল সংখ্যা - বিক্রিয়কসমূহের মোল সংখ্যা

যখন বিক্রিয়ায় উৎপাদ ও বিক্রিয়কসমূহের মোল সংখ্যার কোনো পরিবর্তন না ঘটে; তখন  $\Delta n = 0$  হয়। তখন,  $K_p = K_c (RT)^0 \therefore K_p = K_c$ ; কারণ  $(RT)^0 = 1$

\* এক্ষেত্রে  $R = 0.08206 \text{ L.atm.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$  এবং R এর মান কেলভিন এককে ধরে গাণিতিক সমস্যা সমাধান করতে হবে।

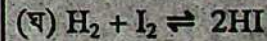
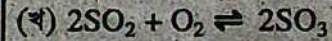
\*  $K_p$  ও  $K_c$  এর কোনো একক হবে না। অনুচ্ছেদ-৪.৮ প্রয়োজনে দেখো।

### ৪.৯.৩ সমসত্ত্ব সাম্যের ক্ষেত্রে ভর-ক্রিয়া সূত্রের ব্যবহার

#### Application of the Law of Mass action to Homogeneous Equilibrium

যে সকল উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদ একই ভৌত অবস্থায় থাকে সে সব সাম্যাবস্থাকে সমসত্ত্ব সাম্য বলে। যেমন  $N_2$  ও  $H_2$  থেকে  $NH_3$  উৎপাদন,  $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

**MCQ-4.9 :** নিচের কোন বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায়  $K_p$  ও  $K_c$  এর মান সমান হবে?









$K_p$  এর গণনা (মোল ভগ্নাংশ ও মোট চাপের সাহায্যে) : মনে করি HI এর বিয়োজনে সাম্যমিশ্রণে HI,  $H_2$  ও  $I_2$  এর মোল সংখ্যা হলো যথাক্রমে  $(2a - 2\alpha)$ ,  $\alpha$  ও  $\alpha$ । সুতরাং মিশ্রণে মোট মোল সংখ্যা হবে  $(2a - 2\alpha + \alpha + \alpha) = 2a$ । এখন গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ P হলে, তখন সাম্যাবস্থায়—

$$\text{HI এর আংশিক চাপ, } P_{HI} = \frac{(2a - 2\alpha) \times P}{2a}$$

$$H_2 \text{ এর আংশিক চাপ, } P_{H_2} = \frac{\alpha \times P}{2a}$$

$$I_2 \text{ এর আংশিক চাপ, } P_{I_2} = \frac{\alpha \times P}{2a}$$

$$\therefore \text{ সাম্যাক্ষ, } K_p = \frac{P_{H_2} \times P_{I_2}}{(P_{HI})^2} = \frac{\left(\frac{\alpha \times P}{2a}\right) \times \left(\frac{\alpha \times P}{2a}\right)}{\left[\frac{(2a - 2\alpha)P}{2a}\right]^2} = \frac{\alpha^2}{4(a - \alpha)^2}$$

$K_p$  ও  $K_c$  এর তাৎপর্য : (১) এক্ষেত্রে  $K_p = K_c = \frac{\alpha^2}{4(a - \alpha)^2}$  হয়েছে।

(২) উভয় সাম্যক্ষুবক সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়ায় গ্যাসপাত্রের আয়তন (V) ও চাপ (P) কোনো রাশির সাথে সম্পর্কিত নয়; তাই বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে V ও P পরিবর্তন করলেও সাম্যক্ষুবক অপরিবর্তিত থাকবে।

**(খ) বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মোলসংখ্যা যখন পরিবর্তিত হয়,  $K_p \neq K_c$**

(৩) ডাইনাইট্রোজেন টেট্রোক্সাইডের বিয়োজন : ডাইনাইট্রোজেন টেট্রোক্সাইড ( $N_2O_4$ ) কে বদ্ধ পাত্রে উত্তপ্ত করলে তা আংশিকভাবে বিয়োজিত হয়ে নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড ( $NO_2$ ) উৎপন্ন করে। সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ :



প্রাথমিক অবস্থায় : a mol 0 mol

সাম্যাবস্থায় :  $(a - \alpha)$  mol  $2\alpha$  mol

$$\therefore \text{ বিক্রিয়াটির } K_p = \frac{(P_{NO_2})^2}{P_{N_2O_4}} \text{ এবং } K_c = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$$

$K_p$  এর গণনা : মনে কর,  $N_2O_4$ -এর প্রাথমিক মোলসংখ্যা, a এবং সাম্যাবস্থায় বিয়োজনের পরিমাণ,  $\alpha$  মোল। ঐ অবস্থায়  $N_2O_4$  এর মোলসংখ্যা ও  $NO_2$  এর মোলসংখ্যা হবে যথাক্রমে  $(a - \alpha)$  ও  $2\alpha$ । সুতরাং মোট মোলসংখ্যা হবে  $(a - \alpha + 2\alpha)$  বা,  $(a + \alpha)$ । গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ যদি P হয়, তবে—

$$N_2O_4 \text{ এর আংশিক চাপ, } P_{N_2O_4} = \frac{a - \alpha}{a + \alpha} P; \text{ এবং } NO_2 \text{ এর আংশিক চাপ, } P_{NO_2} = \frac{2\alpha}{a + \alpha} P$$

$$\therefore K_p = \frac{(P_{NO_2})^2}{P_{N_2O_4}} = \frac{\left(\frac{2\alpha}{a + \alpha}\right)^2 P^2}{\left(\frac{a - \alpha}{a + \alpha}\right) P} = \frac{4\alpha^2}{(a + \alpha)^2} \times \frac{(a + \alpha)}{(a - \alpha)} P = \frac{4\alpha^2 P}{a^2 - \alpha^2}$$

$K_p$ -এর তাৎপর্য : উপরিউক্ত সমীকরণ থেকে জানা যায়,

(১)  $\alpha$ , a ও P জানা থাকলে সহজেই  $K_p$  নির্ণয় করা যায়।

(২) এক্ষেত্রে চাপ P বাড়ালে  $K_p$  এ মান ধ্রুব রাখার জন্য বিয়োজনের পরিমাণ  $\alpha$  হ্রাস পাবে।

(৩) আবার বিয়োজনের পরিমাণ  $\alpha$  অত্যন্ত ক্ষুদ্র হলে উপরিউক্ত সমীকরণে  $a^2$  এর তুলনায়  $\alpha^2$  এত বেশি ক্ষুদ্র হয় যে,  $\alpha^2$  কে উপেক্ষা করে অর্থাৎ শূন্য ধরে  $(a^2 - \alpha^2) = a^2$  বসিয়ে সমীকরণটি নিম্নভাবে লেখা যায়।

$$\text{অর্থাৎ } K_p = \frac{4\alpha^2}{a^2} P; \therefore \alpha = \frac{a}{2} \sqrt{\frac{K_p}{P}}$$



৪৩০

রসায়ন-প্রথম পত্র

উপরিউক্ত সমীকরণে দেখা যায়, বিয়োজনের পরিমাণ  $\alpha$  মোট চাপের উপর নির্ভরশীল।  $K_p$  ও  $P$  জানা থাকলে বিয়োজনের পরিমাণ  $\alpha$  সহজেই নির্ণয় করা যায়।

$K_c$ -এর গণনা : মনে কর, বিক্রিয়াটি  $V$  লিটার আয়তনবিশিষ্ট পাত্রে সম্পন্ন করা হয়েছে।

সুতরাং সাম্যাবস্থায় ;  $N_2O_4$  (g) এর ঘনমাত্রা,  $[N_2O_4] = \frac{(a - \alpha)}{V} \text{ molL}^{-1}$

$NO_2$  (g) এর ঘনমাত্রা,  $[NO_2] = \frac{2\alpha}{V} \text{ molL}^{-1}$ ।

$$\therefore \text{সাম্যক}, K_c = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} = \frac{\left(\frac{2\alpha}{V}\right)^2}{\left(\frac{a - \alpha}{V}\right)} = \frac{4\alpha^2}{(a - \alpha)V}$$

$K_p$  ও  $K_c$  এর তাৎপর্য : (১)  $K_p$  এর রাশিমালার সাথে চাপ ( $P$ ) লব অংশে সম্পর্কিত; তাই  $P$  বাড়লে  $K_p$  এর মান স্থির রাখার জন্য বিয়োজনের পরিমাণ  $\alpha$  হ্রাস পায়।

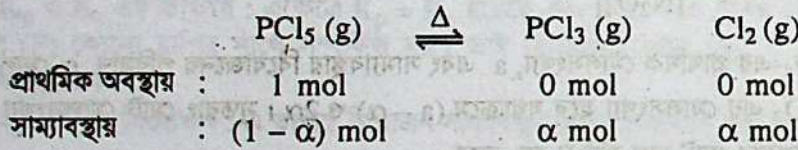
(২) এক্ষেত্রে  $K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$  এবং  $\Delta n = (2 - 1) = 1$  হওয়ায়  $K_p = K_c RT$  হয়।

বিশেষ দ্রষ্টব্য : বিয়োজনের পরিমাণ ও বিয়োজন মাত্রা এ দুটো পদের অর্থ ভিন্ন।

যদি  $a$  মোল পদার্থের  $\alpha$  mol বিয়োজিত হয়, তবে বিয়োজনের পরিমাণ হচ্ছে  $\alpha$  mol। অপরদিকে 'বিয়োজন মাত্রা' (degree of dissociation) বলতে বোঝায় সে পদার্থের কত ভগ্নাংশ বিয়োজিত হয়েছে সে সংখ্যা, অর্থাৎ বিয়োজন মাত্রা  $\beta$  হলে,  $\beta = \frac{\alpha}{a}$ । এ ভগ্নাংশকে অনেকক্ষেত্রে 100 দ্বারা গুণ করে শতকরা হিসাবে প্রকাশ করা হয়। যেমন 5 mol  $N_2O_4$  নিয়ে উত্তপ্ত করার পর 2 mol বিয়োজিত হলে 'বিয়োজনের পরিমাণ' বলতে 2 mol বোঝাবে। অপরদিকে বিয়োজন মাত্রা হচ্ছে,  $\frac{2}{5} = 0.4$  বা,  $0.4 \times 100 = 40\%$ ।

(৪) ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইডের বিয়োজন ;

ফসফরাস পেন্টাক্লোরাইড ( $PCl_5$ ) নিম্নলিখিত বিক্রিয়া অনুসারে তাপ বিয়োজিত হয়ে সাম্যাবস্থা প্রাপ্ত হয়।



$K_c$  এর গণনা : ধরা যাক, 1 mol  $PCl_5$  কে তাপ দেয়ার ফলে সাম্যাবস্থায়  $\alpha$  অংশ বিয়োজিত হয়ে  $\alpha$  mol  $PCl_3$  ও  $\alpha$  mol  $Cl_2$  উৎপন্ন হয়েছে। সুতরাং  $PCl_5$  এর অবিয়োজিত মোলসংখ্যা =  $(1 - \alpha)$ । বিক্রিয়াটি  $V$  লিটার পাত্রে নিষ্পন্ন করা হলে,

$$PCl_5 \text{ এর মোলার ঘনমাত্রা, } [PCl_5] = \frac{(1 - \alpha)}{V} \text{ molL}^{-1}$$

$$PCl_3 \text{ এর মোলার ঘনমাত্রা, } [PCl_3] = \frac{\alpha}{V} \text{ molL}^{-1}$$

$$Cl_2 \text{ এর মোলার ঘনমাত্রা, } [Cl_2] = \frac{\alpha}{V} \text{ molL}^{-1}$$

$$\text{সুতরাং } K_c = \frac{[PCl_3] \times [Cl_2]}{[PCl_5]} = \frac{\frac{\alpha}{V} \times \frac{\alpha}{V}}{\frac{(1 - \alpha)}{V}} = \frac{\alpha^2}{(1 - \alpha)V}$$



$K_p$  এর গণনা : ধরা যাক, উপরিউক্ত বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় মোট মোলসংখ্যা  $= (1 - \alpha + \alpha + \alpha) = (1 + \alpha)$ ।  
মোট চাপ  $P$  হলে,  $PCl_5$  এর আংশিক চাপ,  $P_{PCl_5} = P_{PCl_5}$  এর মোল ভগ্নাংশ  $\times$  মোট চাপ,  $= \frac{(1 - \alpha)}{1 + \alpha} \times P$

অনুরূপভাবে,  $P_{PCl_3} = \frac{\alpha}{(1 + \alpha)} \times P$ ; এবং  $P_{Cl_2} = \frac{\alpha}{(1 + \alpha)} \times P$ ;

$$\therefore K_p = \frac{P_{PCl_3} \times P_{PCl_2}}{P_{PCl_5}} = \frac{\frac{\alpha}{(1 + \alpha)} P \times \frac{\alpha}{(1 + \alpha)} P}{\frac{(1 - \alpha)}{(1 + \alpha)} P} = \frac{\frac{\alpha^2}{(1 + \alpha)^2} P^2}{\frac{(1 - \alpha)}{(1 + \alpha)} P} = \frac{\alpha^2 \times P^2}{(1 + \alpha)^2} \times \frac{(1 + \alpha)}{(1 - \alpha) \times P}$$

$$= \frac{\alpha^2 \times P}{(1 - \alpha^2)}$$

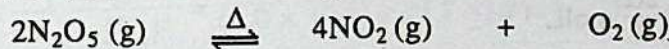
$K_p$  এর তাৎপর্য : উপরের সমীকরণ থেকে দেখা যায়, (১)  $PCl_5$  এর বিয়োজনের পরিমাণ  $\alpha$ , প্রাথমিক মোলার ঘনমাত্রা এবং মোট চাপ  $P$  জানা থাকলে  $K_p$  এর মান নির্ণয় করা যায়। এছাড়া (২) যদি  $P$  হ্রাস পায়, তবে  $K_p$  এর মান ক্রমিক রাখার জন্য  $\alpha$  এর মান অর্থাৎ  $PCl_5$  এর বিয়োজন বৃদ্ধি পায়।

বিশেষ দ্রষ্টব্য : কার্বনাইল ক্লোরাইড বা কার্বন ডাইক্লোরাইড অক্সাইড ( $COCl_2$ ) এর বিয়োজন উপরিউক্ত  $PCl_5$  এর বিয়োজনের অনুরূপ। যেমন,  $COCl_2 (g) \xrightleftharpoons{\Delta} CO (g) + Cl_2 (g)$

সুতরাং  $COCl_2$  বিয়োজনের বেলায়  $K_c$  ও  $K_p$  এর গণনা অনুরূপভাবে করা যাবে।

এ বিক্রিয়ায়  $K_c = \frac{[CO] \times [Cl_2]}{[COCl_2]}$  এবং  $K_p = \frac{P_{CO} \times P_{Cl_2}}{P_{COCl_2}}$

(৫)  $N_2O_5$  এর বিয়োজন : এ তাপীয় বিয়োজনের সাম্যাবস্থার সমীকরণ হলো নিম্নরূপ :



প্রাথমিক অবস্থায় :  $2a \text{ mol}$   $0 \text{ mol}$   $0 \text{ mol}$

সাম্যাবস্থায় :  $(2a - 2\alpha) \text{ mol}$   $4\alpha \text{ mol}$   $\alpha \text{ mol}$

$K_p$  এর গণনা : ধরা যাক,  $N_2O_5$  এর প্রাথমিক মোলসংখ্যা  $2a$  এবং সাম্যাবস্থায় বিয়োজনের পরিমাণ  $2\alpha$  মোল।  
তখন  $2\alpha$  মোল  $N_2O_5$  বিয়োজিত হলে  $4\alpha$  মোল  $NO_2$  ও  $\alpha$  মোল  $O_2$  উৎপন্ন হয়। সুতরাং সাম্য মিশ্রণে  $N_2O_5$  এর মোল সংখ্যা হয়  $(2a - 2\alpha)$  এবং মিশ্রণে মোট মোল সংখ্যা  $= (2a - 2\alpha + 4\alpha + \alpha) = (2a + 3\alpha)$ । গ্যাস মিশ্রণের মোট চাপ  $P$  হলে, তখন সাম্যাবস্থায়—

$$N_2O_5 \text{ এর আংশিক চাপ, } P_{N_2O_5} = \frac{(2a - 2\alpha) \times P}{(2a + 3\alpha)}$$

$$NO_2 \text{ এর আংশিক চাপ, } P_{NO_2} = \frac{4\alpha \times P}{(2a + 3\alpha)}$$

$$O_2 \text{ এর আংশিক চাপ, } P_{O_2} = \frac{\alpha \times P}{(2a + 3\alpha)}$$

$$\therefore \text{সাম্যাক, } K_p = \frac{(P_{NO_2})^4 \times P_{O_2}}{(P_{N_2O_5})^2} = \frac{\left[ \frac{4\alpha P}{(2a + 3\alpha)} \right]^4 \times \left[ \frac{\alpha P}{(2a + 3\alpha)} \right]}{\left[ \frac{(2a - 2\alpha) \times P}{(2a + 3\alpha)} \right]^2}$$

$$\text{বা, } K_p = \frac{256\alpha^5 P^5 \times (2a + 3\alpha)^2}{(2a + 3\alpha)^5 \times 4(a - \alpha)^2 P^2} = \frac{64\alpha^5 P^3}{(2a + 3\alpha)^3 \times (a - \alpha)^2}$$



৪৩২

রসায়ন-প্রথম পত্র

$K_p$  এর তাৎপর্য : এক্ষেত্রে চাপ বাড়ালে  $K_p$  এর মান স্থির রাখার জন্য বিয়োজন  $\alpha$  হ্রাস পাবে।

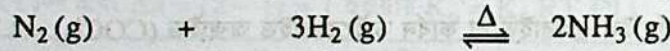
$K_c$  এর গণনা : মনে করি, বিক্রিয়াটি  $V$  লিটার আয়তনের পাত্রে সম্পন্ন করা হলো। তখন সাম্যাবস্থায়,  $N_2O_5$  এর ঘনমাত্রা,  $[N_2O_5] = \frac{(2a - 2\alpha)}{V} \text{ molL}^{-1}$ ,  $NO_2$  এর ঘনমাত্রা,  $[NO_2] = \frac{4\alpha}{V} \text{ molL}^{-1}$ ,  $O_2$  এর ঘনমাত্রা,  $[O_2] = \frac{\alpha}{V} \text{ molL}^{-1}$

$$\therefore \text{সাম্যাক, } K_c = \frac{[NO_2]^4 \times [O_2]}{[N_2O_5]^2} = \frac{\left(\frac{4\alpha}{V}\right)^4 \times \frac{\alpha}{V}}{\left(\frac{2a - 2\alpha}{V}\right)^2} = \frac{256\alpha^5}{V^5} \times \frac{V^2}{4(a - \alpha)^2}$$

$$\text{বা, } K_c = \frac{64\alpha^5}{(a - \alpha)^2 V^3}$$

$K_c$  এর তাৎপর্য : যেহেতু  $K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$  এবং  $\Delta n = (5 - 2) = 3$  হয়; তাই  $K_p = K_c (RT)^3$

(৬) অ্যামোনিয়া উৎপাদন : অ্যামোনিয়া উৎপাদন  $N_2$  ও  $H_2$  থেকে নিম্নের সমীকরণ মতে করা হয়।



প্রাথমিক অবস্থায় :  $a \text{ mol}$   $3b \text{ mol}$   $0 \text{ mol}$

সাম্যাবস্থায় :  $(a - \alpha) \text{ mol}$   $(3b - 3\alpha) \text{ mol}$   $2\alpha \text{ mol}$

$K_c$  এর গণনা : মনে করি  $a \text{ mol } N_2$  ও  $3b \text{ mol } H_2$  এর মধ্যে  $V$  লিটার পাত্রে বিক্রিয়া ঘটালে সাম্যাবস্থায়  $2\alpha \text{ mol } NH_3$  উৎপন্ন হলো। সুতরাং সাম্যাবস্থায়  $(a - \alpha) \text{ mol } N_2$  ও  $(3b - 3\alpha) \text{ mol } H_2$  বিক্রিয়া মিশ্রণে থাকে। তখন সাম্যাবস্থায়  $N_2$  এর ঘনমাত্রা  $[N_2] = \frac{(a - \alpha)}{V} \text{ molL}^{-1}$ ,  $H_2$  এর ঘনমাত্রা,  $[H_2] = \frac{(3b - 3\alpha)}{V} \text{ molL}^{-1}$ ,  $NH_3$  এর ঘনমাত্রা,  $[NH_3] = \frac{2\alpha}{V} \text{ molL}^{-1}$ ।

$$\therefore \text{সাম্যাক, } K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \times [H_2]^3} = \frac{\left(\frac{2\alpha}{V}\right)^2}{\left(\frac{a - \alpha}{V}\right) \times \left(\frac{3b - 3\alpha}{V}\right)^3} = \frac{4\alpha^2 V^2}{27(a - \alpha)(b - \alpha)^3}$$

$K_p$  এর গণনা : উপরিউক্ত বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় মোট মোল সংখ্যা  $= (a - \alpha + 3b - 3\alpha + 2\alpha) = (a + 3b - 2\alpha)$ । মোট চাপ  $P$  হলে তখন—

$N_2$  এর আংশিক চাপ,  $P_{N_2} = \frac{(a - \alpha) \times P}{(a + 3b - 2\alpha)}$ ,  $H_2$  এর আংশিক চাপ,  $P_{H_2} = \frac{(3b - 3\alpha) \times P}{(a + 3b - 2\alpha)}$  ও  $NH_3$  এর আংশিক চাপ,  $P_{NH_3} = \frac{2\alpha \times P}{(a + 3b - 2\alpha)}$ ।

$$\therefore \text{সাম্যাক, } K_p = \frac{(P_{NH_3})^2}{(P_{N_2}) \times (P_{H_2})^3} = \frac{\left[\frac{2\alpha P}{(a + 3b - 2\alpha)}\right]^2}{\left(\frac{(a - \alpha) P}{(a + 3b - 2\alpha)}\right) \times \left[\frac{(3b - 3\alpha) P}{(a + 3b - 2\alpha)}\right]^3}$$

$$\text{বা, } K_p = \frac{4\alpha^2(a + 3b - 2\alpha)^2}{27(a - \alpha)(b - \alpha)^3 P^2}$$

$K_p$  ও  $K_c$  এর তাৎপর্য : (১) যেহেতু  $K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$  এবং  $\Delta n = (2 - 4) = -2$ ,

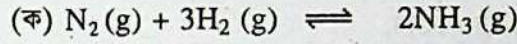
তাই  $K_p = K_c (RT)^{-2}$ , বা,  $K_c = K_p \times (RT)^2$ ।

(২)  $K_p$  এর সাথে  $P$  এর সম্পর্ক মতে, এক্ষেত্রে চাপ  $P$  বাড়ালে,  $K_p$  এর মান স্থির রাখার জন্য উৎপাদের পরিমাণ ( $\alpha$ ) বাড়বে।



সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৩ : সাম্যাবস্থার সমীকরণ লেখা :

নিচের প্রত্যেকটি বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার সমীকরণ লেখ।



দক্ষতা : উৎপাদের মোলার ঘনমাত্রা রাশিকে লব ও বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রা রাশিকে হররূপে লেখা হয়। প্রতিক্ষেত্রে মোল সংখ্যাকে মোলার ঘনমাত্রার পাওয়ার বা ঘাতরূপে লেখা হয়।

$$\text{সমাধান : (ক) } K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \times [H_2]^3}$$

$$(খ) K'_c = \frac{[N_2] \times [H_2]^3}{[NH_3]^2} = \frac{1}{K_c}$$

**MCQ-4.11** : 4.25 mol H<sub>2</sub> ও 4.75 mol I<sub>2</sub> বাষ্পকে 1.0 L পাত্রে উত্তপ্ত করলে সাম্যাবস্থায় H<sub>2</sub>, I<sub>2</sub> ও HI এর ঘনমাত্রা 0.86, 1.36 ও 6.78 mol L<sup>-1</sup> হয়। K<sub>c</sub> এর মান কত?  
(ক) 36 (খ) 32.67 (গ) 33.5 (ঘ) 39.3

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৪ : সাম্যক্ষুব্ধক K<sub>c</sub> গণনা :

500 K তাপমাত্রায়, অ্যামোনিয়া উৎপাদনের বেলায় সাম্য মিশ্রণে নিম্নরূপ ঘনমাত্রা যেমন : [N<sub>2</sub>] = 3.0 × 10<sup>-2</sup> M; [H<sub>2</sub>] = 3.7 × 10<sup>-2</sup> M; [NH<sub>3</sub>] = 1.6 × 10<sup>-2</sup> M হয়। আগের সমস্যা-৪.১৩ এর উভয় বিক্রিয়ার জন্য ঐ তাপমাত্রায় সাম্যক্ষুব্ধক গণনা কর।

দক্ষতা : সাম্য সমীকরণে, সাম্যাবস্থায় উৎপাদ ও বিক্রিয়কের মোলার ঘনমাত্রার মান বসিয়ে সাম্যক্ষুব্ধক গণনা করা।

$$\text{সমাধান : (ক) } K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \times [H_2]^3} = \frac{(1.6 \times 10^{-2})^2}{(3.0 \times 10^{-2}) \times (3.7 \times 10^{-2})^3} = 1.7 \times 10^2$$

$$(খ) K'_c = \frac{[N_2] \times [H_2]^3}{[NH_3]^2} = \frac{(3.0 \times 10^{-2}) \times (3.7 \times 10^{-2})^3}{(1.6 \times 10^{-2})^2} = 5.9 \times 10^{-3}$$

লক্ষ কর যে, K'<sub>c</sub> হলো K<sub>c</sub> এর ব্যস্তানুপাতিক। অর্থাৎ  $5.9 \times 10^{-3} = \frac{1}{1.7 \times 10^2}$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৫ : সাম্যক্ষুব্ধক K<sub>c</sub> ও K<sub>p</sub> সম্পর্কীয় :

স্টিম-হাইড্রোকার্বন রিফরমিং প্রক্রিয়ায় অধিক পরিমাণ H<sub>2</sub> গ্যাস শিল্পে উৎপাদন করা হয়। এক্ষেত্রে প্রথম ধাপের বিক্রিয়াটি হলো : H<sub>2</sub>O (g) + CH<sub>4</sub> (g) ⇌ CO (g) + 3H<sub>2</sub> (g)

(ক) যদি এক্ষেত্রে K<sub>c</sub> = 3.8 × 10<sup>-3</sup>, তাপমাত্রা 1000K হয়; তবে ঐ তাপমাত্রায় K<sub>p</sub> এর মান কত?

(খ) যদি এক্ষেত্রে K<sub>p</sub> = 6.1 × 10<sup>4</sup>, তাপমাত্রা 1125°C হয়; তবে ঐ তাপমাত্রায় K<sub>c</sub> এর মান কত?

(গ) কোন ধরনের বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে (i) K<sub>p</sub> > K<sub>c</sub> এবং (ii) K<sub>p</sub> < K<sub>c</sub> হবে? উদাহরণ দাও।

দক্ষতা : সম্পর্ক K<sub>p</sub> = K<sub>c</sub> × (RT)<sup>Δn</sup> ব্যবহৃত হবে; R = 0.08206 L.atm/(K.mol), কেলভিন এককে T, Δn = (গ্যাসীয় উৎপাদের মোল সংখ্যা - বিক্রিয়কের মোল সংখ্যা)

$$\text{সমাধান : (ক) এ বিক্রিয়ায়, } \Delta n = (1 + 3) - (1 + 1) = 2$$

$$\therefore K_p = K_c \times (RT)^{\Delta n} = (3.8 \times 10^{-3}) \times (0.08206 \times 1000)^2 = 26$$

(খ) এক্ষেত্রে K<sub>p</sub> = K<sub>c</sub> (RT)<sup>2</sup> সমাধান করে K<sub>c</sub> এর মান বের হবে :

$$K_c = K_p / (RT)^2 = 6.1 \times 10^4 / (0.08206 \times 1398)^2 = 4.6$$

লক্ষ কর, এখানে T = (1125 + 273) = 1398K

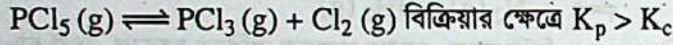
**MCQ-4.12** : A + B ⇌ 3D সমীকরণ সত্ত্বে বিক্রিয়াটির K<sub>p</sub> ও K<sub>c</sub> এর সম্পর্ক হবে—  
(ক) K<sub>p</sub> = K<sub>c</sub>(RT) (খ) K<sub>p</sub> = K<sub>c</sub> × (RT)<sup>3</sup>  
(গ) K<sub>c</sub> = K<sub>p</sub>(RT) (ঘ) K<sub>c</sub> = K<sub>p</sub> × (RT)<sup>3</sup>



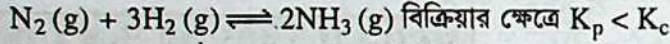
(গ) আমরা জানি,  $K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$ ;

এখানে,  $\Delta n =$  বিক্রিয়ার গ্যাসীয় উৎপাদের মোট মোল সংখ্যা - গ্যাসীয় বিক্রিয়কের মোট মোল সংখ্যা।

১।  $K_p > K_c$  হবে, যদি বিক্রিয়ায়  $\Delta n > 0$  হয়। যেমন,

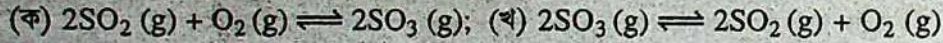


২।  $K_p < K_c$  হবে, যদি বিক্রিয়ায়  $\Delta n < 0$  হয়। যেমন,



শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.৮ : ভরক্রিয়ার সূত্রভিত্তিক :

সমস্যা-৪.২৮ : সালফিউরিক এসিডের শিল্পোৎপাদনে সালফার ডাইঅক্সাইডকে জারিত করে সালফার ট্রাই অক্সাইড উৎপাদন করা হয়। নিচের প্রত্যেক বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থার সমীকরণ লেখ।



সমস্যা-৪.২৯ : ৪০০K তাপমাত্রায়,  $\text{SO}_3$  উৎপাদনের সাম্যাবস্থায় মোলার ঘনমাত্রা হয়

$[\text{SO}_2] = 3.0 \times 10^{-3} \text{ M}$ ;  $[\text{O}_2] = 3.5 \times 10^{-3} \text{ M}$ ;  $[\text{SO}_3] = 5.0 \times 10^{-2} \text{ M}$ ; উপরের সমস্যা-৪.২৮ এর উভয় বিক্রিয়ার জন্য ৪০০K তাপমাত্রায় সাম্যধ্রুবক গণনা কর। [উ: (ক)  $7.9 \times 10^4$ ; (খ)  $1.26 \times 10^{-5}$ ]

সমস্যা-৪.৩০ : (ক) সাম্যধ্রুবক  $K_c$  ও  $K_p$  এর কোনো একক নেই; এর কারণ ব্যাখ্যা কর।

(খ)  $K_p$  ও  $K_c$  এর মধ্যে গাণিতিক সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর।

[অনুধাবনভিত্তিক]

(গ)  $\text{A}_2(\text{g}) + \text{B}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{AB}(\text{g})$ ; এ উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির জন্য  $K_p$  ও  $K_c$  এর মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা করে।

[চ. বো. ২০১৫]

(ঘ)  $2\text{A}_2\text{O}_5(\text{g}) \rightleftharpoons 4\text{AO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ ; এ উদ্দীপকের বিক্রিয়াটির  $K_p$  রাশিমালা প্রতিপাদন কর।

[কু. বো. ২০১৫]

(ঙ)  $\text{N}_2\text{O}_4$  এর বিয়োজনের  $K_p$  রাশিমালা প্রতিপাদন কর।

[রা. বো. ২০১৫]

(চ)  $K_c$  এর মান শূন্য বা অসীম হতে পারে না; ব্যাখ্যা কর।

[কু. বো. ২০১৫; দি. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.৩১ : স্টিম হাইড্রোক্যার্বন রিফরমিং প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন ওয়াটার গ্যাস মিশ্রণ ( $\text{CO}$  ও  $3\text{H}_2$ ) কে অধিকতর  $\text{H}_2$  গ্যাস সমৃদ্ধ করতে  $\text{CO}$  গ্যাসকে স্টিমসহ প্রভাবকীয় বিক্রিয়া ঘটানো হয়, এ ওয়াটার-গ্যাস শিফট বিক্রিয়াটি হলো :



৭০০K তাপমাত্রায়, চারটি গ্যাসের এ মিশ্রণে আংশিক চাপসমূহ হলো  $\text{CO}$  গ্যাসের ১.৩১ atm,  $\text{H}_2\text{O}$  বাষ্পের ১০.০ atm,  $\text{CO}_2$  গ্যাসের ৬.১২ atm এবং  $\text{H}_2$  গ্যাসের ২০.৩ atm। ঐ তাপমাত্রায়  $K_p$  কত হবে? [উ: ৯.৪৮]

সমস্যা-৪.৩২ : অসওয়াল্ড পদ্ধতিতে নাইট্রিক এসিড উৎপাদনে ২য় ধাপে নাইট্রিক অক্সাইডকে অক্সিজেনসহ জারিত করে নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড উৎপাদন করা হয় :  $2\text{NO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$

(ক) যদি  $227^\circ\text{C}$ -এ  $K_c = 6.9 \times 10^5$  হয়, ঐ তাপমাত্রায়  $K_p$  এর মান কত হবে? [উ: (ক)  $K_p = 1.68 \times 10^4$ ]

(খ) যদি  $1000\text{K}$ -এ  $K_p = 1.3 \times 10^{-2}$  হয়, ঐ তাপমাত্রায়  $K_c$  এর মান কত হবে? [উ: (খ)  $K_c = 1.066$ ]

### ৪.৯.৪ সাম্যধ্রুবক $K_c$ এর তাৎপর্য Significance of $K_c$

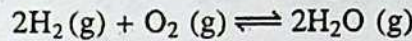
কোনো উভমুখী বিক্রিয়ার সাম্যধ্রুবকের মান জেনে আমরা কী সুবিধা পাব?

- (১) আমরা বিক্রিয়াটির ব্যাপ্তি (extent) বিচার করব, (২) বিক্রিয়াটির দিক (direction) সম্বন্ধে ধারণা পাব, (৩) প্রাথমিক ঘনমাত্রা থেকে সাম্যাবস্থার মিশ্রণের উপাদানের ঘনমাত্রা গণনা করতে পারব।

রসায়ন-১ম (হাসান)-২৮(খ)



(১) বিক্রিয়ার ব্যাপ্তি (Extent) বিচার : সাম্যক্ষবকের অধিক মান উভমুখী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে প্রায় সম্পূর্ণতার দিকে নির্দেশ করে। বিপরীতমুখী বিক্রিয়া নগণ্য অবস্থায় থাকে। যেমন,  $H_2$  ও  $O_2$  এর মধ্যে বিক্রিয়ায়  $H_2O$  উৎপন্ন হয়; এক্ষেত্রে  $500K$  ( $227^\circ C$ ) তাপমাত্রায় সাম্যক্ষবক অত্যধিক মানের ( $K_c = 2.4 \times 10^{47}$ ) হয়।



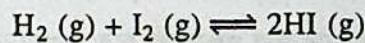
$$\text{সম্মুখমুখী বিক্রিয়ার বেলায়, } 500K \text{ তাপমাত্রায়, } K_c = \frac{[H_2O]^2}{[H_2]^2 \times [O_2]} = 2.4 \times 10^{47}$$

$$\therefore \text{পশ্চাত্তমুখী বিক্রিয়ার বেলায় ঐ তাপমাত্রায়, } K'_c = \frac{[H_2]^2 \times [O_2]}{[H_2O]^2} = \frac{1}{K_c} = \frac{1}{2.4 \times 10^{47}} = 4.2 \times 10^{-48}$$

এক্ষেত্রে  $4.2 \times 10^{-48}$  হলো খুবই নগণ্য সংখ্যা। অর্থাৎ পানির বিয়োজনে বাস্তবে  $H_2$  ও  $O_2$  গ্যাস পাওয়া যায় না।

আমরা এখন দুটি উভমুখী বিক্রিয়া যেমন (i)  $H_2$  সংশ্লেষণ ও (ii)  $N_2O_4$  বিয়োজনের সাম্যক্ষবক নিয়ে বিচার করব।

(i)  $H_2$  গ্যাস ও  $I_2$  বাষ্পের বিক্রিয়ায়,  $700K$  তাপমাত্রায়  $K_c = 57$  হয়;



$$K_c = \frac{[HI]^2}{[H_2] \times [I_2]} = 57.0 \text{ (at } 700K)$$

এক্ষেত্রে,  $H_2$  ও  $I_2$  এর ঘনমাত্রা  $0.01M$  হলে সাম্যাবস্থায়  $HI$  এর ঘনমাত্রা পাওয়া যায়  $0.075 M$ । যেমন,

$$[HI]^2 = K_c \times [H_2] \times [I_2]; \text{ বা, } [HI] = \sqrt{(57.0 \times 0.01 \times 0.01)} = 0.075M$$

এক্ষেত্রে সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়কের ঘনমাত্রা  $0.01M$  ও উৎপাদের ঘনমাত্রা  $0.075M$  বাস্তবমুখী ও গণনাযোগ্য।

(ii) আবার  $N_2O_4$  এর বিয়োজনের সাম্যক্ষবক  $K_c$  এর মান খুব বড় বা ছোট নয়,  $K_c = 4.64 \times 10^{-3}$  (at  $25^\circ C$ )।

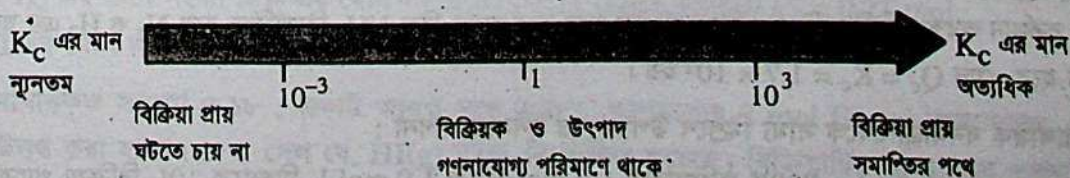
সাম্যাবস্থায়  $N_2O_4$  এবং  $NO_2$  এর ঘনমাত্রা গণনাযোগ্য হয়। যেমন,  $0.0337 M$  ও  $0.0125 M$  (সারণি-৪.৪ দেখ)।

**সাধারণ সিদ্ধান্ত :** (i)  $K_c$  এর মান  $10^{-3}$  থেকে  $10^3$  এর মধ্যে থাকলে সাম্য মিশ্রণে বিক্রিয়ক ও উৎপাদ গণনাযোগ্য পরিমাণে থাকে।

(ii) যদি  $K_c > 10^3$ ; তখন সাম্যমিশ্রণে বিক্রিয়কের চেয়ে উৎপাদ বেশি হয়। আবার  $K_c$  এর মান খুব বেশি হলে, সম্মুখমুখী বিক্রিয়া শেষ প্রান্তে বোঝায়।

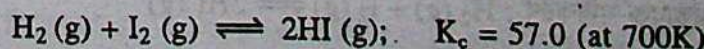
(iii) যদি  $K_c < 10^{-3}$ ; তখন সাম্য মিশ্রণে উৎপাদের চেয়ে বিক্রিয়ক বেশি থাকে। আবার  $K_c$  এর মান খুব কম হলে, সম্মুখমুখী বিক্রিয়া ঘটতে চায় না বোঝায়।

নিচের-৪.১৯ নং চিত্রে  $K_c$  এর মানভিত্তিক বিক্রিয়ার ব্যাপ্তি বিচার দেখানো হলো :



চিত্র-৪.১৯ :  $K_c$  এর মানভিত্তিক বিক্রিয়ার ব্যাপ্তি বিচার

(২) বিক্রিয়ার দিক সম্বন্ধে প্রাক ধারণা : হাইড্রোজেন গ্যাস ও আয়োডিন বাষ্প থেকে  $700K$  ( $427^\circ C$ ) তাপমাত্রায়  $H_2$  সংশ্লেষণ বিক্রিয়াটির  $K_c$  এর মান নিয়ে আলোচনা করা যাক :





ধরা যাক, বিক্রিয়া শুরু  $t$  সময় পরে বিক্রিয়া মিশ্রণে  $700\text{K}$  তাপমাত্রায়  $\text{H}_2(\text{g})$ ,  $\text{I}_2(\text{g})$  ও  $\text{HI}(\text{g})$  এর ঘনমাত্রা  $[\text{H}_2]_t = 0.10\text{M}$ ,  $[\text{I}_2]_t = 0.20\text{M}$  এবং  $[\text{HI}]_t = 0.40\text{M}$  পাওয়া গেল। এ সময়ে বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় পৌঁছায়নি। এখন এসব মোলার ঘনমাত্রার মান সাম্যাবস্থার সমীকরণে বসিয়ে যে মান পাই, তাকে বিক্রিয়া অনুপাত ( $Q_c$ ) বা reaction quotient বলে।

$$\therefore \text{ বিক্রিয়া অনুপাত, } Q_c = \frac{[\text{HI}]_t^2}{[\text{H}_2]_t \times [\text{I}_2]_t} = \frac{(0.40)^2}{(0.10) \times (0.20)} = 8.0$$

উল্লেখ্য  $K_c$  এর অনুরূপভাবে  $Q_c$  কে সংজ্ঞায়িত করা হয়। উপরের সম্পর্ক থেকে বোঝা যায়  $Q_c$  (8.0) এর মান  $K_c$  (57.0) এর মান থেকে অনেক কম। তাই  $Q_c = K_c$  হতে হলে  $t$  সময়ের পরেও বিক্রিয়াটি সম্মুখ দিকে অনেক সময় নিয়ে অগ্রসর হতে হবে। এখানে বোঝা গেল বিক্রিয়া অনুপাত,  $Q_c$  এর বিশেষ গুরুত্ব রয়েছে। সুতরাং  $Q_c$  ও  $K_c$  রাশি দুটির মান থেকে বিক্রিয়ার দিক সম্বন্ধে নিম্নরূপ সিদ্ধান্ত মিলে-

(i) যদি  $Q_c < K_c$  হয়; তখন বিক্রিয়াটি সম্মুখদিকে অগ্রসর হবে, উৎপাদ বাড়তে থাকবে।

(ii) যদি  $Q_c > K_c$  হয়; তখন বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় আসার জন্য পশ্চাত্মুখী হবে; উৎপাদের বিয়োজন ঘটবে।

(iii) যদি  $Q_c = K_c$  হয়; তখন বিক্রিয়াটি সাম্যাবস্থায় পৌঁছে গেছে বোঝায়।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৬ : বিক্রিয়ার দিকের ধারণাভিত্তিক :

$500\text{K}$  তাপমাত্রায়  $20\text{L}$  বিক্রিয়া পাত্রে  $1.57\text{ mol N}_2$ ,  $1.92\text{ mol H}_2$  এবং  $8.13\text{ mol NH}_3$  মিশ্রিত করা হলো। ঐ তাপমাত্রায় বিক্রিয়াটির যেমন  $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$  এর জানা  $K_c$  এর মান  $1.7 \times 10^2$  হলে বর্তমানে মিশ্রিত গ্যাসসহকারে বিক্রিয়াটি কোন দিকে অগ্রসর হবে?

দক্ষতা :  $Q_c$  এর মান নির্ণয় করে তা প্রদত্ত  $K_c$  এর মানের সাথে তুলনা করতে হবে।

সমাধান :  $\text{N}_2$  এর মোলার ঘনমাত্রা  $[\text{N}_2] = 1.57\text{ mol}/20\text{L} = 0.0785\text{M}$ ।

অনুরূপভাবে,  $[\text{H}_2] = 1.92\text{ mol}/20\text{L} = 0.096\text{M}$ ;  $[\text{NH}_3] = 8.13\text{ mol}/20\text{L} = 0.406\text{M}$ ;

এ মানসমূহ সাম্যাবস্থার সমীকরণে  $Q_c$  এর জন্য বসিয়ে পাই :

$$Q_c = \frac{[\text{NH}_3]_t^2}{[\text{N}_2]_t \times [\text{H}_2]_t^3} = \frac{(0.406)^2}{(0.0785) \times (0.096)^3} = 2.37 \times 10^3$$

যেহেতু  $Q_c$  ( $2.37 \times 10^3$ ) এর মান প্রদত্ত  $K_c$  ( $1.7 \times 10^2$ ) এর মানের চেয়ে বড়, তাই সাম্যাবস্থার মানের সমান মান করতে বর্তমান অবস্থায় বিক্রিয়াটি বাম দিকে অগ্রসর হতে হবে অর্থাৎ কিছু  $\text{NH}_3$  বিয়োজিত হয়ে  $\text{N}_2$  ও  $\text{H}_2$  এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করতে হবে, যেন  $Q_c = K_c = 1.7 \times 10^2$  হয়।

(৩) প্রাথমিক ঘনমাত্রা থেকে সাম্য মিশ্রণে উপাদানের ঘনমাত্রা গণনা :

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৭ :  $700\text{K}$  তাপমাত্রায়  $1.0\text{ mol H}_2$  ও  $1.0\text{ mol I}_2$  মিশ্রণকে  $10\text{L}$  বিক্রিয়া পাত্রে নেয়া হলো। ঐ তাপমাত্রায় সাম্যাবস্থার  $K_c = 57$  হলে সাম্যাবস্থায়  $\text{H}_2$ ,  $\text{I}_2$  ও  $\text{HI}$  এর ঘনমাত্রা কত হবে? সাম্য মিশ্রণে মোল এককে প্রতিটি উপাদান গণনা কর।

সমাধান : নিম্নোক্ত পঁচ ধাপে সমস্যাটি সমাধান করা হবে :

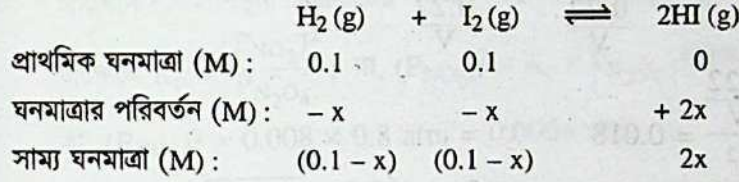
১ম ধাপ : শুদ্ধ সমতায়ুক্ত সমীকরণ :  $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$



## রাসায়নিক পরিবর্তন

৪৩৭

২য় ধাপ : প্রদত্ত প্রাথমিক ঘনমাত্রা,  $[H_2] = [I_2] = 1.0/10 L = 0.1 M$ , মনে করি  $t$  সময় পরে  $x mol/L H_2$  ও  $x mol/L I_2$  বিক্রিয়া করে  $2x mol/L HI$  উৎপন্ন করেছে। এতে  $H_2$  ও  $I_2$  এর ঘনমাত্রা হ্রাস পেয়ে  $(0.1-x) mol/L$  হয় :



৩য় ধাপ : সাম্যাবস্থায়  $K_c = 57$  ধরে, সাম্যক্ষরক সমীকরণ মতে পাই :

$$Q_c = K_c = 57 = \frac{[HI]^2}{[H_2] \times [I_2]} = \frac{(2x)^2}{(0.1-x)(0.1-x)} = \frac{4x^2}{(0.1-x)^2}$$

$$\therefore \text{বর্গমূল করে পাই; } \sqrt{57} = \pm 7.55 = \frac{2x}{(0.1-x)}$$

ধনাত্মক মান নিয়ে পাই;

$$7.55 \times (0.1-x) = 2x$$

$$\text{বা, } 0.755 = 7.55x + 2x$$

$$\text{বা, } x = 0.755/9.55 = 0.0791 M$$

ঋণাত্মক মান নিয়ে পাই;

$$-7.55 \times (0.1-x) = 2x$$

$$\text{বা, } -0.755 = 2x - 7.55x$$

$$\text{বা, } x = (-0.755)/(-5.55) = 0.136 M$$

যেহেতু প্রাথমিক অবস্থায়,  $H_2$  ও  $I_2$  এর ঘনমাত্রা  $0.10 M$  ছিল;  $x$  এর মান  $0.10 M$  এর বেশি হতে পারে না। সুতরাং  $x = 0.0791 M$  গ্রহণীয়; অপর মান  $(0.136)$  গ্রহণীয় নয়।

৪র্থ ধাপ :  $x$ -এর মান বসিয়ে সাম্যাবস্থায় উপাদানের ঘনমাত্রা নির্ণয় :

$$[H_2] = [I_2] = (0.10 - x) = (0.10 - 0.0791) = 0.021 M$$

$$[HI] = 2x = 2 \times 0.0791 = 0.158 M$$

৫ম ধাপ : সাম্যাবস্থার সমীকরণে ঐ সব মান বসিয়ে ফলাফল যাচাই :

$$K_c = 57.0 = \frac{[HI]^2}{[H_2] \times [I_2]} = \frac{(0.158)^2}{(0.021)(0.021)} = 57$$

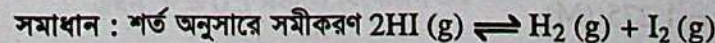
সাম্যমিশ্রণে মোল সংখ্যা গণনা :

$$\text{মোল সংখ্যা} = \text{মোলারিটি} \times \text{বিক্রিয়া পাত্রের আয়তন লিটারে}$$

$$\therefore H_2 \text{ এর মোল সংখ্যা} = I_2 \text{ এর মোল সংখ্যা} = (0.021 mol/L) \times (10 L) = 0.21 mol$$

$$HI \text{ এর মোল সংখ্যা} = (0.158 mol/L) \times (10 L) = 1.58 mol.$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৮ : একটি আবদ্ধ নলে  $440^\circ C$  তাপমাত্রায়  $2 mol HI (g)$  সাম্যাবস্থায় পৌঁছানো অবধি উত্তপ্ত করা হলো। দেখা গেল যে,  $HI(g)$  ২২% বিয়োজিত হয়েছে। বিক্রিয়াটির সাম্যক্ষরক গণনা করো।



প্রশ্নমতে,  $HI(g)$  ২২% বিয়োজিত হলে  $2 mol HI(g)$  থেকে  $2 \times 0.22 = 0.44 mol HI(g)$  বিয়োজিত হয়েছে। সুতরাং সাম্য মিশ্রণে অবিয়োজিত  $HI(g)$  আছে =  $(2 - 0.44) = 1.56 mol$ .

বিক্রিয়ার সমীকরণ থেকে দেখা যায়,  $2 mol HI(g)$  এর বিয়োজনে  $1 mol H_2(g)$  ও  $1 mol I_2(g)$  উৎপন্ন হয়। সুতরাং  $0.44 mol HI(g)$  এর বিয়োজনে  $H_2(g)$  ও  $I_2(g)$  প্রতিটির  $0.22 mol$  উৎপন্ন হয়।

**MCQ-4.13 :** সাম্যাবস্থায়  $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$  বিক্রিয়াটির বেলায়-  
(i) সর্বদা গতিশীল (ii) সিস্টেম স্থির থাকলে বিক্রিয়া শেষ হয় না  
(iii) উৎপাদ বৃদ্ধি পায় না  
নিচের কোনটি সঠিক?  
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii  
(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

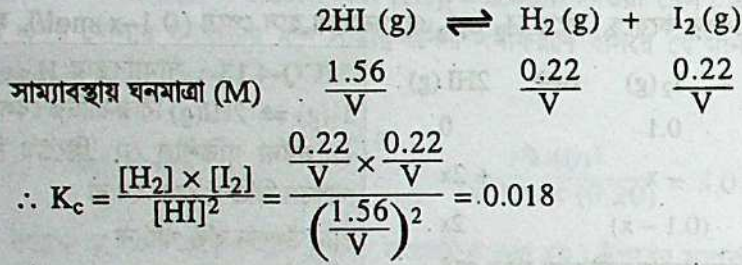
**MCQ-4.14 :** নিচের বিক্রিয়ার  $K_c$  এর রাশিমালা কোনটি? [রা. বো. ২০১৬]  
 $CaCO_3(s) \xrightleftharpoons{\Delta} CaO(s) + CO_2(g)$   
(ক)  $K_c = \frac{[CaO]}{[CaCO_3]}$   
(খ)  $K_c = \frac{[CaO] \times [CO_2]}{[CaCO_3]}$   
(গ)  $K_c = [CO_2]$  (ঘ)  $[CaO]$



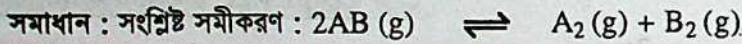
৪৩৮

রসায়ন-প্রথম পত্র

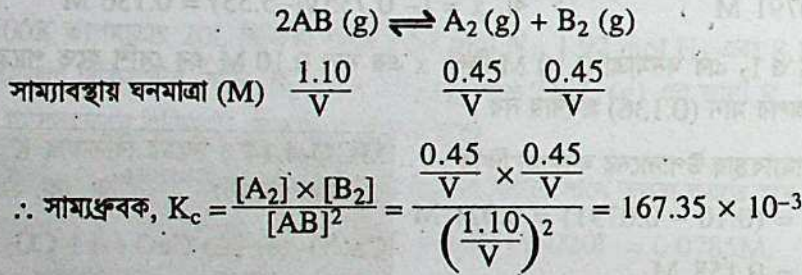
যদি আবদ্ধ নলের আয়তন VL হয়, তবে সাম্যাবস্থায় বিভিন্ন উপাদানের মোলার ঘনমাত্রা হবে নিম্নরূপ :



সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৯ : 470°C তাপমাত্রায় AB (g) যৌগটির 45% বিয়োজিত হয়। উক্ত বিয়োজনের সাম্যধ্রুবক K<sub>c</sub> গণনা কর। সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াটি হলো : 2AB (g) ⇌ A<sub>2</sub>(g) + B<sub>2</sub>(g)

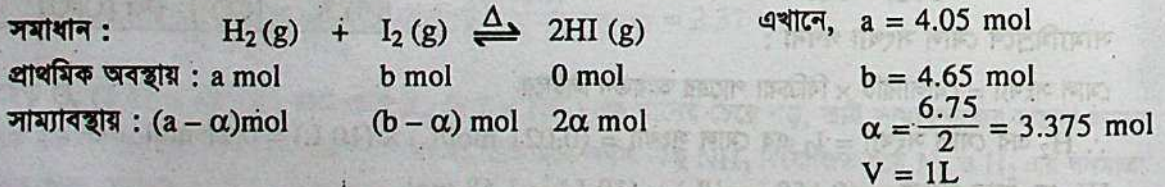


প্রশ্নমতে, AB (g) 45% বিয়োজিত হয়। তখন সমীকরণ মতে 2 mol AB (g) থেকে 2 × 0.45 = 0.90 mol AB (g) বিয়োজিত হয়েছে। সুতরাং সাম্যমিশ্রণে অবিযোজিত AB (g) আছে = (2 - 0.90) = 1.10 mol। বিক্রিয়ার সমীকরণ থেকে দেখা যায় 2 mol AB (g) এর 1 mol A<sub>2</sub>(g) ও 1 mol B<sub>2</sub>(g) উৎপন্ন হয়। সুতরাং 0.90 mol AB (g) বিয়োজনে A<sub>2</sub>(g) ও B<sub>2</sub>(g) প্রতিটির 0.45 mol উৎপন্ন হয়। যদি আবদ্ধ পাত্রের আয়তন VL হয়, তবে সাম্যাবস্থায় উপাদানগুলোর মোলার ঘনমাত্রা হবে নিম্নরূপ :



$$\therefore K_c = 167.35 \times 10^{-3}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২০ : 4.05 mol হাইড্রোজেন এবং 4.65 আয়োডিন 444°C তাপমাত্রায় 1L ফ্লাস্কে রেখে তাপ দিলে 6.75 mol HI উৎপন্ন হলো। H<sub>2</sub> + I<sub>2</sub> ⇌ 2HI বিক্রিয়াটির সাম্যধ্রুবক K<sub>c</sub> ও K<sub>p</sub> নির্ণয় কর।



∴ বিক্রিয়ার সাম্যাবস্থায় :

$$[\text{H}_2] = (a - \alpha) = (4.05 - 3.375) = 0.675 \text{ (M)}$$

$$[\text{I}_2] = (b - \alpha) = (4.65 - 3.375) = 1.275 \text{ (M)}$$

$$[\text{HI}] = 2\alpha = 2 \times 3.375 = 6.75 \text{ (M)}$$

K<sub>c</sub> এর সমীকরণের জন্য প্রত্যেক উপাদানের মোলার ঘনমাত্রাকে 1M দিয়ে ভাগ করে পাই-

$$\therefore K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{I}_2][\text{H}_2]} = \frac{(6.75)^2}{(1.275)(0.675)} = \frac{45.5625}{0.860625} = 52.94$$

আবার, যেহেতু এ বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক ও উৎপাদের মোল সংখ্যা সমান, সেহেতু K<sub>p</sub> = K<sub>c</sub> = 52.94



সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২১ : 298 K তাপমাত্রায় সাম্যাবস্থায়  $N_2O_4$  এর বিয়োজন মিশ্রণে  $N_2O_4$  এর আংশিক চাপ 0.8 atm এবং বিক্রিয়াটির  $K_p = 0.008$ । বিক্রিয়াটির  $K_c$  ও  $NO_2$  এর আংশিক চাপ নির্ণয় কর।

সমাধান : সাম্যাবস্থায় বিক্রিয়াটির সমীকরণ হলো :  $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

এক্ষেত্রে  $K_p = \frac{(P_{NO_2})^2}{P_{N_2O_4}}$  ; বা,  $(P_{NO_2})^2 = K_p \times P_{N_2O_4}$  [বজ্রগুণন করে]

বা,  $(P_{NO_2})^2 = 0.008 \times 0.8 \text{ atm} = 0.0064 \text{ atm}$

$\therefore P_{NO_2} = \sqrt{0.0064} = 0.08 \text{ atm}$

আবার,  $K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$

$\therefore K_c = \frac{K_p}{(RT)^{\Delta n}}$

বা,  $K_c = \frac{0.008}{(0.082 \text{ K}^{-1} \times 298 \text{ K})^1}$

বা,  $K_c = \frac{0.008}{24.436} = 3.274 \times 10^{-4}$

$\therefore K_c = 3.274 \times 10^{-4}$

[দ্রষ্টব্য :  $K_c$  ও  $K_p$ -এর সমীকরণে সংশ্লিষ্ট প্রত্যেক রাশিকে প্রযোজ্য ক্ষেত্রে 1 M ও 1 atm দিয়ে ভাগ করে নিতে হবে। কারণ  $K_c$  ও  $K_p$  এর একক নেই।]

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২২ : 298 K বা,  $25^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় ও 1 atm চাপে ডাইনাইট্রোজেন টেট্রোক্সাইড ( $N_2O_4$ ) এর 18.5% নাইট্রোজেন ডাই-অক্সাইডে বিয়োজিত হয়। উক্ত বিয়োজনের জন্য  $K_p$  নির্ণয় কর। ঐ তাপমাত্রায় এবং 0.5 atm চাপে  $N_2O_4$  এর বিয়োজন মাত্রা কত হবে?

সমাধান : সংশ্লিষ্ট সমীকরণ হলো,  $N_2O_4(g) \xrightleftharpoons{\Delta} 2NO_2(g)$

সাম্যাবস্থায় :  $(a - \alpha) \quad 2\alpha$

মনে করি, 1 mol  $N_2O_4$  নেওয়া হয়েছে। অর্থাৎ  $a = 1 \text{ mol}$

প্রশ্নমতে, 298 K তাপমাত্রা ও 1 atm চাপে  $\alpha = 0.185 \text{ mol}$ ,  $a = 1 \text{ mol}$

আমরা জানি,  $N_2O_4$  এর বিয়োজনের বেলায়,  $K_p = \frac{4\alpha^2 \times P}{a^2}$  ;  $\therefore \alpha = \frac{a}{2} \sqrt{\frac{K_p}{P}}$

এখানে  $\alpha = \frac{a}{2} \sqrt{\frac{K_p}{P}}$  ; অর্থাৎ,  $0.185 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{K_p}{1}}$  বা,  $K_p = (0.185 \times 2)^2 = 0.1369$

এখন,  $P = 0.5$  বসালে বিয়োজন এর পরিমাণ,  $\alpha = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{K_p}{0.5}}$  ; বা,  $\alpha = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{0.1369}{0.5}}$

বা,  $\alpha = \frac{1}{2} \times 0.524 = 0.262$

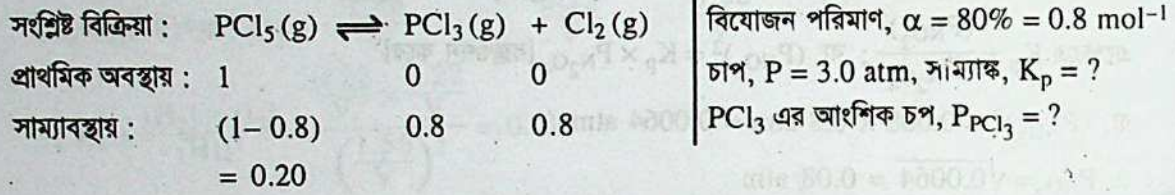
আবার বিয়োজন মাত্রা,  $\beta = \frac{\alpha}{a} = \frac{0.262}{1}$  ; বা,  $\beta = 0.262 = 26.2\%$

অতএব, 298 K তাপমাত্রায় ও 0.5 atm চাপে বিয়োজন মাত্রা,  $\beta = 26.2\%$



সমাধানকৃত সমস্যা-8.২৩ :  $25^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায়  $3.0 \text{ atm}$  চাপে  $\text{PCl}_5$  80% বিয়োজিত হয়ে  $\text{PCl}_3$  এবং  $\text{Cl}_2$  উৎপন্ন করে।  $\text{PCl}_3$  ও  $\text{Cl}_2$  এর আংশিক চাপ এবং  $K_p$  নির্ণয় কর।

সমাধান :



$\therefore$  সাম্যাবস্থায় মোট মোল সংখ্যা =  $(0.20 + 0.8 + 0.8) = 1.8$

$\therefore \text{PCl}_5$  এর আংশিক চাপ,  $P_{\text{PCl}_5} = \frac{0.20}{1.8} \times 3 \text{ atm} = \frac{0.33 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} = 0.33$

$\text{PCl}_3$  এর আংশিক চাপ,  $P_{\text{PCl}_3} = \frac{0.8}{1.8} \times 3 \text{ atm} = 1.332 \text{ atm} = \frac{1.332 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} = 1.332$

$\text{Cl}_2$  এর আংশিক চাপ,  $P_{\text{Cl}_2} = \frac{0.8}{1.8} \times 3 \text{ atm} = 1.332 \text{ atm} = \frac{1.332 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} = 1.332$

$\therefore$  বিক্রিয়ার সাম্যকoefficient,  $K_p = \frac{P_{\text{PCl}_3} \times P_{\text{Cl}_2}}{P_{\text{PCl}_5}} = \frac{1.332 \times 1.332}{0.33} = 5.33$

$\therefore K_p$  এর মান 5.33;  $\text{PCl}_3$  এর আংশিক চাপ = 1.332 atm;  $\text{Cl}_2$  এর আংশিক চাপ = 1.332 atm

সমাধানকৃত সমস্যা-8.২৪ : একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায়  $2\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons 2\text{C}$  বিক্রিয়ায় সাম্যকoefficientের মান  $8.0 \times 10^{-4}$ । যদি ঐ তাপমাত্রায় বিপরীত বিক্রিয়ার হার কoefficientের মান  $1.24 \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$  হয়, তবে সম্মুখ বিক্রিয়ার হার কoefficientের মান কত হবে?

সমাধান : সাম্যকoefficient,  $K = \frac{\text{সম্মুখ বিক্রিয়ার হার কoefficient}}{\text{বিপরীত বিক্রিয়ার হার কoefficient}}$

$\therefore$  সম্মুখ বিক্রিয়ার হার কoefficient =  $K \times \text{বিপরীত বিক্রিয়ার হার কoefficient}$   
 $= 8 \times 10^{-4} \times 1.24 \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$   
 $= 9.92 \times 10^{-4} \text{ L mol}^{-1}\text{s}^{-1}$

<b>MCQ-4.15</b> : হেবার পদ্ধতিতে $\text{NH}_3$ উৎপাদনে কোন প্রভাবক ব্যবহৃত হয়? [কু. বো. ২০১৭]	
(ক) Mo	(খ) Fe
(গ) Ni	(ঘ) Cr

সমাধানকৃত সমস্যা-8.২৫ :  $25^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায়  $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$  বিক্রিয়ার  $K_p = 3 \times 10^{24}$  হলে এর  $K_c$  এর মান কত?

সমাধান : প্রদত্ত বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে,  $\Delta n = [2 - (2 + 1)] = -1$

প্রশ্নানুসারে,  $K_p = 3 \times 10^{24}$  এবং  $T = (273 + 25) = 298\text{K}$ ,  $R = \frac{0.082 \text{ L atm mol}^{-1}\text{K}^{-1}}{\text{L atm mol}^{-1}}$  (এক্ষেত্রে)

$K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$  সমীকরণে এ মানগুলো বসিয়ে পাই,

$3 \times 10^{24} = K_c (0.082 \text{ K}^{-1} \times 298 \text{ K})^{-1}$

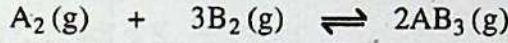
$\therefore K_c = (3 \times 10^{24}) \times (0.082 \times 298)$

$= 7.33 \times 10^{25}$



সমাধানকৃত সমস্যা-8.২৬ :  $A_2(g) + 3B_2(g) \rightleftharpoons 2AB_3(g)$ ; 650 K তাপমাত্রা এবং 25 atm চাপে সাম্যাবস্থার মিশ্রণে 22%  $A_2$  এবং 17%  $AB_3$  থাকলে বিক্রিয়াটির  $K_p$  এবং  $K_c$  এর মান নির্ণয় কর।

সমাধান : এখানে মোট চাপ  $P = 25 \text{ atm}$



সাম্যাবস্থায় : 22%                      61%                      17%

প্রশ্নমতে,  $B_2 = (100 - 22 - 17)\% = 61\%$

সাম্যাবস্থায়,  $A_2$  এর আংশিক চাপ,  $P_{A_2} = \frac{22}{100} \times 25 \text{ atm} = 5.5 \text{ atm} = \frac{5.5 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} = 5.5$

সাম্যাবস্থায়,  $B_2$  এর আংশিক চাপ,  $P_{B_2} = \frac{61}{100} \times 25 \text{ atm} = 15.25 \text{ atm} = \frac{15.25 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} = 15.25$

সাম্যাবস্থায়,  $AB_3$  এর আংশিক চাপ,  $P_{AB_3} = \frac{17}{100} \times 25 \text{ atm} = 4.25 \text{ atm} = \frac{4.25 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} = 4.25$

$$\therefore K_p = \frac{(P_{AB_3})^2}{P_{A_2} \times (P_{B_2})^3} = \frac{(4.25)^2}{5.5 \times (15.25)^3} = 9.25 \times 10^{-4}$$

আবার আমরা জানি,  $K_p = K_c (RT)^{\Delta n}$  ..... (i)

এখানে,  $K_p = 9.25 \times 10^{-4}$ ,  $T = 650\text{K}$ ,  $\Delta n = 2 - (1 + 3) = -2$ ,  $R = \frac{0.082 \text{ L.atm mol}^{-1}\text{K}^{-1}}{\text{L.atm mol}^{-1}}$

$$K_p = K_c (RT)^{-2}$$

$$\therefore K_c = K_p (RT)^2 = 9.25 \times 10^{-4} \times (0.082 \cdot \text{K}^{-1} \times 650 \text{ K})^2$$

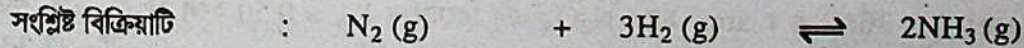
$$\therefore K_c = 2.6278$$

$$\therefore K_p = 9.25 \times 10^{-4} \text{ এবং } K_c = 2.6278$$

[দ্রষ্টব্য :  $K_p$  ও  $K_c$  সমীকরণে প্রত্যেক রাশিকে প্রযোজ্য ক্ষেত্রে 1 atm ও 1M একক দিয়ে ভাগ করে নিতে হবে।]

সমাধানকৃত সমস্যা-8.২৭ : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় 1L একটি পাত্রে 0.326 mol  $N_2$  এবং 0.439 mol  $H_2$  কে উত্তপ্ত করায় সাম্যাবস্থায় মিশ্রণের মোট মোল সংখ্যা পাওয়া যায় 0.657 mol. বিক্রিয়াটির  $K_c$  নির্ণয় কর।

সমাধান : মনে করি, বিক্রিয়াটির  $x$  mol  $N_2$  এবং  $3x$  mol  $H_2$  পরস্পরের সাথে বিক্রিয়া করে সাম্যাবস্থায়  $2x$  mol পরিমাণ  $NH_3$  উৎপন্ন করে।



প্রাথমিক মোল সংখ্যা : 3.326                      0.439                      0

পরিবর্তন ঘটেছে :  $-x$                        $-3x$                        $2x$

সাম্যাবস্থায় মোলসংখ্যা :  $(0.326 - x)$                        $(0.439 - 3x)$                        $2x$

প্রশ্নমতে সাম্যাবস্থায় মিশ্রণের মোট মোল সংখ্যা

$$= (0.326 - x) + (0.439 - 3x) + 2x = 0.657 \text{ mol}$$

$$\text{বা, } 0.765 - 2x = 0.657$$

$$\text{বা, } 0.765 - 0.657 = 2x \quad \text{বা, } 2x = 0.108$$

$$\text{বা, } x = 0.054$$

$$\therefore \text{সুতরাং সাম্যাবস্থায় } N_2 \text{ এর মোলসংখ্যা} = (0.326 - 0.054) = 0.272 \text{ mol}$$



$$\therefore \text{সাম্যাবস্থায় } N_2 \text{ এর ঘনমাত্রা, } [N_2] = \frac{0.272}{1} \text{ (M)} = 0.272 \text{ (M)}$$

$$\text{সাম্যাবস্থায় } H_2 \text{ এর মোলসংখ্যা} = (0.439 - 0.054 \times 3) = 0.275 \text{ mol;}$$

$$H_2 \text{ এর ঘনমাত্রা, } [H_2] = 0.275 \text{ (M)}$$

$$NH_3 \text{ এর মোল সংখ্যা} = 2 \times 0.054 = 0.108 \text{ mol}$$

$$NH_3 \text{ এর ঘনমাত্রা } [NH_3] = \frac{0.108}{1} \text{ (M)} = 0.108 \text{ (M)}$$

$$K_c = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3} = \frac{(0.108)^2}{0.272 \times (0.275)^3} = \frac{0.011664}{0.0056567} = 2.062$$

[দ্রষ্টব্য :  $K_c$  এর সমীকরণে প্রত্যেক উপাদানের ঘনমাত্রাকে 1M দিয়ে ভাগ করে নিতে হবে,  $K_c$  ও  $K_p$  একক শূন্য।]

**MCQ-4.16 :** অম্লীয়  $KMnO_4$  ও অক্সালিক এসিডের রিডক্স বিক্রিয়ায় অটো প্রভাবক কোন্টি?  
[রা. বো. ২০১৭]  
(ক)  $MnO_4^-$  (খ)  $Mn^{2+}$   
(গ)  $CrO_4^{2-}$  (ঘ)  $K^+$

শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.৯ :  $K_p$  ও  $K_c$  ভিত্তিক গণনা

সমস্যা-৪.৩৩ : উভমুখী বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে  $Q_c$  ও  $K_c$  এর তাৎপর্য ব্যাখ্যা কর।

[অনুধাবনভিত্তিক]

সমস্যা-৪.৩৪ :  $427^\circ C$ -এ বিক্রিয়া পাত্রে  $[H_2] = 0.10 \text{ M}$  এবং  $[I_2] = 0.20 \text{ M}$  আছে। ঐ তাপমাত্রায় বিক্রিয়া,  $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$  এর সাম্যধ্রুবক,  $K_c = 57.0$  ( $427^\circ C$  তাপমাত্রায়)। সাম্যমিশ্রণে  $H_2$ ,  $I_2$ ,  $HI$  এর ঘনমাত্রা বের কর।  
[উ:  $[H_2] = 0.006 \text{ M}$ ,  $[I_2] = 0.106 \text{ M}$ ,  $[HI] = 0.188 \text{ M}$ ]

সমস্যা-৪.৩৫(ক) :  $25^\circ C$  তাপমাত্রায়, একটি বিক্রিয়া পাত্রে  $0.050 \text{ M}$  ঘনমাত্রার  $N_2O_4$  গ্যাস আছে। ঐ তাপমাত্রায় বিয়োজন বিক্রিয়া,  $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$  এর সাম্যধ্রুবক  $K_c$  এর মান  $4.64 \times 10^{-3}$ । সাম্যাবস্থায় মিশ্রণের  $N_2O_4$  ও  $NO_2$  এর ঘনমাত্রা বের কর।  
[উ:  $[N_2O_4] = 0.0429 \text{ M}$ ;  $[NO_2] = 0.0141 \text{ M}$ ]

সমস্যা-৪.৩৫(খ) :  $25^\circ C$  তাপমাত্রায়  $N_2O_4$  এর বিয়োজন সাম্যমিশ্রণে  $N_2O_4$  এর আংশিক চাপ  $0.8 \text{ atm}$  এবং  $K_p = 0.008$  হয়। বিক্রিয়াটির  $K_c$  ও  $NO_2$  এর আংশিক চাপ গণনা কর।

$$[উ:  $K_c = 3.274 \times 10^{-4}$ ;  $P_{NO_2} = 0.08 \text{ atm}$ ]$$

সমস্যা-৪.৩৫(গ) :  $25^\circ C$  তাপমাত্রায়, বিক্রিয়া পাত্রে  $[N_2O_4] = 0.02 \text{ M}$  এবং  $[NO_2] = 0.03 \text{ M}$  আছে।  $K_c = 4.64 \times 10^{-3}$  হলে সাম্য মিশ্রণে উপাদানের ঘনমাত্রা বের কর।

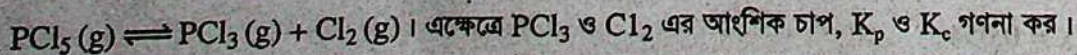
$$[উ:  $[N_2O_4] = 0.0292 \text{ M}$ ;  $[NO_2] = 0.0116 \text{ M}$ ]$$

সমস্যা-৪.৩৫(ঘ) :  $30^\circ C$  ও  $1 \text{ atm}$  চাপে  $N_2O_4$  এর বিয়োজন  $K_p = 0.50$  হলে  $N_2O_4$  এর শতকরা বিয়োজনের পরিমাণ কত?  
[উ:  $33.33\%$ ]

সমস্যা-৪.৩৬(ক) : এক রসায়নবিদ ফসফরাস হ্যালাইডের ওপর পরীক্ষা করতে গিয়ে  $0.50L$  ফ্লাস্কে  $0.105 \text{ mol}$   $PCl_5$  সহ  $0.045 \text{ mol}$   $Cl_2$  এবং  $0.045 \text{ mol}$   $PCl_3$  কে যিশ্রিত করলেন।  $250^\circ C$  এ বিক্রিয়াটির  $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$  সাম্যধ্রুবক,  $K_c = 4.2 \times 10^{-2}$  হয়। তুমি বিক্রিয়াটির দিক নির্ধারণ কর।

সমস্যা-৪.৩৬(খ) : যদি উপরোক্ত বিক্রিয়ার সাম্য মিশ্রণে  $[PCl_5] = 0.2065 \text{ M}$  হয়; তবে অন্য সব উপাদানের ঘনমাত্রা বের কর।  
[উ: (ক) সম্মুখ দিকে; (খ)  $[PCl_3] = [Cl_2] = 0.093 \text{ M}$ ]

সমস্যা- ৪.৩৭(ক) : এক অজৈব রসায়নবিদ ফসফরাস ক্লোরাইডের বিয়োজন সম্পর্কীয় পরীক্ষায়  $1 \text{ mol}$   $PCl_5$  বিক্রিয়া ফ্লাস্কে  $250^\circ C$  ও  $1 \text{ atm}$  চাপে রাখলেন। এতে  $80\%$   $PCl_5$  বিয়োজিত হয়ে থাকে :



$$[উ:  $K_c = 4.1 \times 10^{-2}$ ,  $K_p = 1.76$ ;  $PCl_3$  ও  $Cl_2$  এর আংশিক চাপ  $0.44 \text{ atm}$ .]$$



সমস্যা-৪.৩৭ (খ) :  $30^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় ও  $1.5\text{ atm}$  চাপে  $15.6\%$   $\text{PCl}_5$  বিয়োজিত হয়। ঐ বিয়োজন বিক্রিয়ার  $K_p$  এর মান বের কর। [উ:  $K_p = 0.0374$ ]

সমস্যা-৪.৩৭ (গ) :  $250^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় ও  $3\text{ atm}$  চাপে  $80\%$   $\text{PCl}_5$  বিয়োজিত হয়ে  $\text{PCl}_3$  ও  $\text{Cl}_2$  উৎপন্ন হয়।  $\text{PCl}_3$  ও  $\text{Cl}_2$  এর আংশিক চাপ ও  $K_p$  নির্ণয় কর। [উ:  $1.33\text{ atm}$  এবং  $K_p = 5.36$ ]

সমস্যা-৪.৩৮ (ক) :  $450^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় ও  $1.01 \times 10^5\text{ Nm}^{-2}$  চাপে  $1\text{L}$  ফ্লাস্কে  $1\text{ mol H}_2$  ও  $1\text{ mol I}_2$  মিশ্রিত করা হলো। সাম্য মিশ্রণে  $1.56\text{ mol HI}$  উৎপাদ থাকলে ঐ তাপমাত্রায়  $K_p$  নির্ণয় কর। [উ:  $K_p = 50.37$ ]

সমস্যা-৪.৩৮ (খ) :  $425^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায়  $4.25\text{ mol H}_2$  এবং  $4.75\text{ mol I}_2$  কে  $1\text{L}$  ফ্লাস্কে রেখে তাপ দিলে  $6.70\text{ mol HI}$  উৎপন্ন হয়।  $\text{H}_2 + \text{I}_2 \rightleftharpoons 2\text{HI}$  বিক্রিয়াভিত্তিক সাম্যশ্রেণিক  $K_c$  ও  $K_p$  নির্ণয় কর।

[উ:  $K_c = K_p = 35.627$ ]

সমস্যা-৪.৩৮ (গ) :  $445^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায়  $41.14\text{ g H}_2$  এবং  $1325.88\text{ g I}_2$  বাষ্পের মিশ্রণকে  $1\text{L}$  ফ্লাস্কে উত্তপ্ত করা হলো। ফলে  $1308.16\text{ g HI}$  উৎপন্ন হয়। এ বিক্রিয়ার সাম্যশ্রেণিক গণনা কর। [উ:  $K_c = K_p = 85.61$ ]

সমস্যা-৪.৩৮ (ঘ) :  $425^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায়  $15\text{ mol H}_2$  এবং  $5.2\text{ mol I}_2$  এর মিশ্রণকে  $1\text{L}$  আবদ্ধ পাত্রে উত্তপ্ত করলে  $10\text{ mol HI}$  উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটির সাম্যশ্রেণিক গণনা কর। [উ:  $K_c = K_p = 50$ ]

সমস্যা-৪.৩৮ (ঙ) :  $37^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায়  $\text{HI}$   $35\%$  বিয়োজিত হয়। এ বিয়োজনের  $K_p$  ও  $K_c$  গণনা কর।

[উ:  $K_p = 0.07248$ ;  $K_c = 0.07248$ ]

সমস্যা-৪.৩৯ :  $\text{X}_2(\text{g}) + \text{Y}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{XY}(\text{g})$  বিক্রিয়াটি  $2\text{L}$  পাত্রে  $1\text{ atm}$  চাপে ও নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় সম্পন্ন করা হয়।  $\text{X}_2$  ও  $\text{Y}_2$  প্রত্যেকের প্রাথমিক ঘনমাত্রা  $2\text{ mol}$  এবং সাম্যবস্থায়  $3.12\text{ mol}$  উৎপাদ উৎপন্ন হলে  $K_p$  ও  $K_c$  এর মান বের কর। [উ:  $K_p = K_c = 50.28$ ] [ব. বো. ২০১৫]

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৮ : আয়রন আকরিক থেকে আয়রন নিষ্কাশনে,  $\text{FeO}(\text{s})$  ও  $\text{CO}$  গ্যাসের রিডক্স বিক্রিয়ায় আয়রন ও  $\text{CO}_2$  গ্যাস উৎপন্ন হয়।  $\text{FeO}(\text{s}) + \text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$

$1000\text{ K}$  তাপমাত্রায় সংঘটিত বিক্রিয়ায়, সাম্যশ্রেণিক  $K_p = 0.259$  হয়। বিক্রিয়া তাপমাত্রায় উভয় গ্যাসের প্রাথমিক আংশিক চাপ  $P_{\text{CO}} = 1.0\text{ atm}$  এবং  $P_{\text{CO}_2} = 0.5\text{ atm}$  হয়। সাম্যমিশ্রণে  $\text{CO}$  ও  $\text{CO}_2$  এর আংশিক চাপ গণনা কর।

সমাধান : ১ম ধাপ : সমতায়ুক্ত সমীকরণ :  $\text{FeO}(\text{s}) + \text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Fe}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$

২য় ধাপ : মনে করি বিক্রিয়ার পর  $\text{CO}$  গ্যাসের আংশিক চাপ কমল  $x\text{ atm}$ .



প্রাথমিক চাপ (atm) : 1.0 0.5

পরিবর্তন (atm) :  $-x$   $+x$

সাম্যাবস্থায় চাপ (atm) :  $(1-x)$   $(0.5+x)$

৩য় ধাপ : সাম্যশ্রেণিকের সমীকরণে মানগুলো বসিয়ে পাই :

$$K_p = 0.259 = \frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}} = \frac{0.5+x}{1.0-x}; \text{ [কঠিন বস্তু FeO, Fe এর পদ বাদ যাবে]}$$

$$\text{বা, } 0.259 - 0.259x = 0.5 + x;$$

$$\text{বা } x = -0.241/1.259 = -0.191$$

৪র্থ ধাপ :  $x$  এর মান 'সাম্যাবস্থায় চাপ' এর সম্পর্কে বসিয়ে পাই;

$$P_{\text{CO}} = (1.0 - x) = 1.0 - (-0.191) = 1.191\text{ atm}$$

$$P_{\text{CO}_2} = (0.5 + x) = 0.5 + (-0.191) = 0.309\text{ atm}$$

**MCQ-4.17 :**  $K_c$  এর মানের তাৎপর্য কী?

(i) বিক্রিয়ার ব্যাপ্তি বোঝায়

(ii) বিক্রিয়ার দিক বোঝায়

(iii) সাম্যমিশ্রণে উপাদানের ঘনমাত্রা আদি ঘনমাত্রা থেকে বের করা যায়।

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii

(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii



৫ম ধাপ : সাম্য ধ্রুবকের সমীকরণে মানগুলো বসিয়ে ফলাফল যাচাই;

$$K_p = 0.259 = P_{\text{CO}_2}/P_{\text{CO}} = 0.309/1.191 = 0.259$$

x এর ঋণাত্মক মান থেকে বোঝা যায় উৎপাদ বিক্রিয়কে পরিণত হয়ে সাম্যাবস্থা লাভ করে। এর যুক্তি হলো প্রাথমিক বিক্রিয়া অনুপাত  $Q_p = 0.50/1.0 = 0.50$ ; এটি সাম্যধ্রুবক  $K_p$  (0.259) থেকে বড়। যখন  $Q_p > K_p$  হয়, তখন বিক্রিয়া ডানদিক থেকে বাম দিকে গিয়ে সাম্যাবস্থা লাভ করে।

শিক্ষার্থীর কাজ-8.১০ : আংশিক চাপ নির্ণয়ভিত্তিক :

সমস্যা-8.৪০ : ওয়াটার গ্যাস উৎপাদন বিক্রিয়া :  $\text{C (s)} + \text{H}_2\text{O (g)} \rightleftharpoons \text{CO (g)} + \text{H}_2\text{(g)}$  এর 1000 K তাপমাত্রায় সাম্যধ্রুবক  $K_p = 2.44$  হয়। যদি প্রাথমিক অবস্থায়  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  এর আংশিক চাপ  $P_{\text{H}_2\text{O}} = 1.2 \text{ atm}$ ,  $P_{\text{CO}} = 1.0 \text{ atm}$  ও  $P_{\text{H}_2} = 1.4 \text{ atm}$  হলে সাম্যাবস্থায় এদের আংশিক চাপ বের কর।

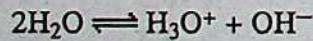
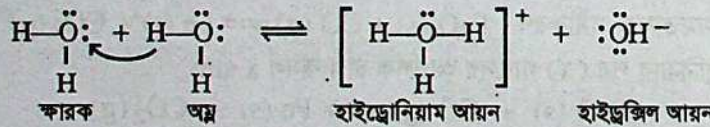
$$[\text{উ: } P_{\text{H}_2\text{O}} = 0.9 \text{ atm}, P_{\text{CO}} = 1.3 \text{ atm}, P_{\text{H}_2} = 1.7 \text{ atm}]$$

সমস্যা-8.৪১ :  $2\text{SO}_2\text{(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons 2\text{SO}_3\text{(g)}$  এ বিক্রিয়ায় নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় সাম্যধ্রুবক  $K_p = 4.75$  হয়। সাম্যাবস্থায়  $\text{SO}_2$  ও  $\text{SO}_3$  এর আংশিক চাপ যথাক্রমে 0.25 atm ও 0.45 atm হলে  $\text{O}_2$  এর আংশিক চাপ কত হবে? [উ: 0.6821 atm]

### 8.১০.১ পানির আয়নিক গুণফল : পানির অটো আয়নীকরণ

#### Ionic Product of Water : Auto ionization of Water

বিজ্ঞানী কোলরাস্ ও হেডউইলার (Kohlrusch ও Heydweiller, 1894) বিশুদ্ধ পানির পরিবাহিতা নির্ণয় করে দেখান যে, অতি বিশুদ্ধ পানি অতি সামান্য বিদ্যুৎ পরিবহন করে। অর্থাৎ পানি হলো একটি অতি দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থ। এতে প্রমাণিত হয় পোলার পানি অণু নিজেই অতি স্বল্পমাত্রায় আয়নিত হয়ে ধনাত্মক আয়ন ও ঋণাত্মক আয়ন যেমন হাইড্রোনিয়াম আয়ন ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) ও হাইড্রক্সিল আয়ন ( $\text{OH}^-$ ) উৎপন্ন করে। একে পানির অটো-আয়নীকরণ বলে। এ ক্ষেত্রে একটি পানি অণু অম্ল বা প্রোটন দাতা ও অপর পানি অণু ক্ষারক বা প্রোটন গ্রহীতারূপে ক্রিয়া করে। যেমন,



ভরক্রিয়া সূত্র মতে,  $K = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]^2}$ ; প্রকৃতপক্ষে সামান্য পরিমাণে পানি অণুর বিয়োজনের ফলে পানির ঘনমাত্রায় বিশেষ পরিবর্তন ঘটে না। তাই পানির মোলার ঘনমাত্রা  $[\text{H}_2\text{O}]$  এর মান ধ্রুবক ধরা হয়।

অতএব  $K \times [\text{H}_2\text{O}]^2 = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-]$ ; এখানে  $K \times [\text{H}_2\text{O}]^2 = K_w$  (ধ্রুবক) ধরা হয়।

$$\therefore K_w = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-]$$

$K_w$  কে পানির আয়নিক গুণফল বলা হয়।

পানির অটো আয়নীকরণ বা বিয়োজন গতিশীল সাম্যাবস্থায় থাকে। এতে দুটি বৈশিষ্ট্য আমরা জানতে পারি। যেমন :

\* (১) প্রথমত সম্মুখমুখী ও পশ্চাৎমুখী উভয় বিক্রিয়া দ্রুত চলে। এক্ষেত্রে  $\text{H}_2\text{O}$  অণু,  $\text{H}_3\text{O}^+$  আয়ন ও  $\text{OH}^-$  আয়নসমূহের মধ্যে আন্তঃপরিবর্তন দ্রুতগতিতে সব সময় চলতে থাকে।



\* (২) দ্বিতীয়ত সাম্যের অবস্থান বামে দূরতম প্রান্তীয় অবস্থায় থাকে। তখন অতি স্বল্প সংখ্যক  $H_2O$  অণু আয়নিত হয়ে  $H_3O^+$  আয়ন ও  $OH^-$  আয়ন উৎপন্ন করে।

$25^\circ C$  তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানির বিয়োজনে উৎপন্ন  $H_3O^+$  আয়নের ঘনমাত্রা বিভিন্ন পরীক্ষার মাধ্যমে নির্ণয় করে  $1.0 \times 10^{-7} M$  পাওয়া গেছে। যেহেতু  $H_2O$  এর আয়নিকরণে সমসংখ্যক  $H_3O^+$  আয়ন ও  $OH^-$  আয়ন উৎপন্ন হয়; তাই বিশুদ্ধ পানিতে  $OH^-$  আয়নের ঘনমাত্রাও  $25^\circ C$  তাপমাত্রায়  $1.0 \times 10^{-7} M$  হবে।

$$\therefore [H_3O^+] = [OH^-] = 1.0 \times 10^{-7} M \text{ (at } 25^\circ C)$$

$$\therefore 25^\circ C \text{ এ পানির আয়নিক গুণফল, } K_w = [H_3O^+] \times [OH^-] = (1.0 \times 10^{-7})(1.0 \times 10^{-7}) \\ = 1.0 \times 10^{-14} \text{ (এককবিহীন)}$$

$$\text{আবার } 25^\circ C \text{ বিশুদ্ধ পানির মোলার ঘনমাত্রা; প্রায় } 55.5 M \text{ হয়; (যেহেতু } \frac{1000 \text{ g/L}}{18.016 \text{ g mol}^{-1}})$$

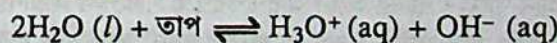
আবার  $[H_3O^+]$  এর মান ও বিশুদ্ধ পানির মোলার ঘনমাত্রার মান থেকে বিয়োজিত ও অবিয়োজিত পানি অণুর অনুপাত পাই  $1.0 \times 10^{-7} M / 55.5 M = 1.8 \times 10^{-9}$ ; অর্থাৎ  $(1.0/1.8) \times 10^9$  টি পানি অণুর মধ্যে একটি আয়নিত হয়। অর্থাৎ 5555 লক্ষ পানি অণুর মধ্যে 1টি পানি অণু বিয়োজিত হয়ে সাম্য অবস্থায় থাকে। তাই বিয়োজিত ও অবিয়োজিত পানি অণুর অনুপাত হলো 1: 5555  $\times 10^5$

(ক) পানির আয়নিক গুণফল ( $K_w$ )-এর বৈশিষ্ট্য :

(১) পানির আয়নিক গুণফল,  $K_w$  এর সমীকরণের প্রযোজ্যতা :

$K_w = [H_3O^+] \times [OH^-]$ ; এ সমীকরণটি বিশুদ্ধ পানি এবং যেকোনো জলীয় দ্রবণ যেমন নিরপেক্ষ, অম্লীয় বা ক্ষারীয় দ্রবণের জন্য প্রযোজ্য হয়। সুতরাং একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানি বা যেকোনো জলীয় দ্রবণের ক্ষেত্রে  $H_3O^+$  ও  $OH^-$  আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল সর্বদা ধ্রুবক এবং এর মান ঐ তাপমাত্রায়  $K_w$  এর সমান হয়।

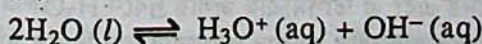
(২) পানির আয়নিক গুণফলের ( $K_w$ ) ওপর তাপমাত্রার প্রভাব : অন্যান্য সাম্যধ্রুবকের মতো  $K_w$  এর মান স্থির তাপমাত্রায় নির্দিষ্ট এবং তাপমাত্রার পরিবর্তনে  $K_w$  এর মানও পরিবর্তিত হয়। পানির অটো আয়নিকরণ বা স্ব-আয়নিকরণ প্রক্রিয়াটি হলো একটি তাপহারী প্রক্রিয়া :



তাই তাপমাত্রার বৃদ্ধিতে  $H_3O^+$  ও  $OH^-$  আয়নের ঘনমাত্রা তথা  $K_w$  এর মান বৃদ্ধি পায়। বিভিন্ন তাপমাত্রায়  $K_w$  এর মান নিচে দেয়া হলো :

তাপমাত্রা ( $^\circ C$ )	$10^\circ C$	$25^\circ C$	$30^\circ C$	$50^\circ C$	$100^\circ C$
$K_w$ এর মান	$0.292 \times 10^{-14}$	$1.0 \times 10^{-14}$	$1.465 \times 10^{-14}$	$5.474 \times 10^{-14}$	$8.7 \times 10^{-14}$

(৩) পানির স্ব-আয়নিকরণ ধ্রুবক ( $K_d$ ) ও আয়নিক গুণফলের ( $K_w$ ) সম্পর্ক :



$$K_d = \frac{[H_3O^+] \times [OH^-]}{[H_2O]^2} = \frac{K_w}{[H_2O]^2}; \therefore K_w = K_d \times [H_2O]^2$$

সুতরাং পানির স্ব-আয়নিকরণ ধ্রুবক ( $K_d$ ) ও আয়নিক গুণফল এক নয়।

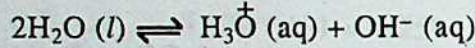
এখন 1L বিশুদ্ধ পানিতে  $H_2O$  এর মোল সংখ্যা =  $\frac{1000 \text{ g}}{18.016 \text{ g mol}^{-1}} = 55.5 \text{ mol}$  (পানির ঘনত্ব  $1 \text{ g.cm}^{-3}$  ধরে)

$$\text{সুতরাং বিশুদ্ধ পানির মোলার ঘনমাত্রা, } [H_2O] = 55.5 \text{ mol.L}^{-1}$$

$\therefore K_w = K_d \times (55.5)^2$  এই সমীকরণটি পানির স্ব-আয়নিকরণ ধ্রুবক ও আয়নিক গুণফলের মধ্যে সম্পর্ক প্রকাশ করে।



(৪) বিশুদ্ধ পানির  $H_3O^+$  ও  $OH^-$ -আয়নের মোলার ঘনমাত্রা : বিশুদ্ধ পানির স্ব-আয়নীকরণ সমীকরণটি নিম্নরূপ :



এ সমীকরণ থেকে দেখা যায়, বিশুদ্ধ পানি ( $H_2O$ ) অণুগুলোর স্বল্প আয়নিতভাবে উৎপন্ন  $H_3O^+$  ও  $OH^-$ -আয়নের সংখ্যা তথা মোলার ঘনমাত্রা সমান। অর্থাৎ বিশুদ্ধ পানিতে,  $[H_3O^+] = [OH^-]$

$$\text{সুতরাং } K_w = [H_3O^+] \times [OH^-] = [H_3O^+]^2 = [OH^-]^2$$

$$\therefore \text{বিশুদ্ধ পানিতে, } [H_3O^+] = [OH^-] = \sqrt{K_w}$$

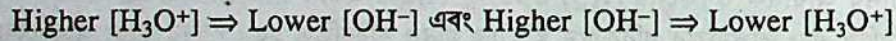
(i)  $25^\circ C$  তাপমাত্রায়  $K_w = 10^{-14}$ । সুতরাং  $25^\circ C$  তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানিতে,  $[H_3O^+] = [OH^-] = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7} M$ । অর্থাৎ এক কোটি লিটার বিশুদ্ধ পানিতে, 1 মোল  $H_3O^+$  ও 1 মোল  $OH^-$ -আয়ন বর্তমান।

(ii)  $100^\circ C$  তাপমাত্রায়  $K_w = 8.7 \times 10^{-14}$ । সুতরাং  $100^\circ C$  তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানিতে  $[H_3O^+] = [OH^-] = \sqrt{8.7 \times 10^{-14}} = 2.95 \times 10^{-7} (molL^{-1})$

(খ) পানির অটো-আয়নীকরণ ও এসিড-বেস কেমিস্ট্রি সম্পর্ক :

জলীয় দ্রবণে  $H_3O^+$ -আয়ন ও  $OH^-$ -আয়নের মোলার ঘনমাত্রার সম্পর্ক : আমরা দুটো বৈশিষ্ট্য লক্ষ করবো এসিড-বেস বা অম্ল-ক্ষারক জলীয় দ্রবণে :

(১) লা-শাতেলিয়ারের নীতি অনুসারে দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য ও গতিশীল পানির আয়নিক সাম্যাবস্থায় যে কোনো আয়নের ঘনমাত্রা পরিবর্তন করলে সাম্যের অবস্থান পরিবর্তিত হয়; কিন্তু সাম্যক্ষরক স্থির থাকে। তাই পানিতে অম্ল এসিড (যেমন  $HCl$ ) যোগ করলে  $H_3O^+$ -আয়নের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায়, ফলে  $OH^-$ -আয়নের ঘনমাত্রা হ্রাস পায়। অপরদিকে অম্ল ক্ষার (যেমন  $NaOH$ ) যোগ করলে  $OH^-$ -আয়নের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায় ফলে  $H_3O^+$ -আয়নের ঘনমাত্রা হ্রাস পায়। পানিতে  $H_3O^+$ -আয়ন বা  $OH^-$ -আয়ন যোগ করলে প্রতিক্ষেত্রে  $H_2O$  উৎপন্ন হয়; ফলে  $K_w$  এর মান স্থির থাকে। সুতরাং  $[H_3O^+]$  পরিবর্তনের ফলে বিপরীতক্রমে  $[OH^-]$  পরিবর্তিত হয়।

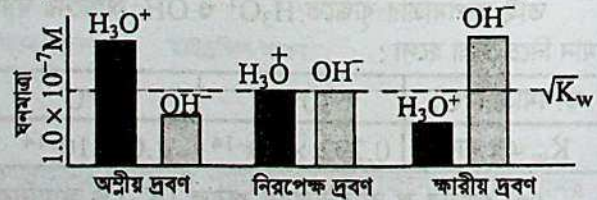


(২) সব অম্লীয় দ্রবণে  $OH^-$ -আয়নের ঘনমাত্রা কম থাকে। আবার সব ক্ষারীয় দ্রবণে  $H_3O^+$ -আয়নের ঘনমাত্রা কম থাকে। সব জলীয় দ্রবণে উভয় প্রকার আয়ন বর্তমান থাকে। পানির অটো-আয়নীকরণ ও গতিশীল আয়নিক সাম্যাবস্থায় উপস্থিত  $[H_3O^+]$  পরিমাণ ও  $[OH^-]$  পরিমাণের ওপর ভিত্তি করে 'অম্লীয় দ্রবণ' ও 'ক্ষারীয় দ্রবণ' সংজ্ঞায়িত করা হয়। যেমন,

$$\text{অম্লীয় দ্রবণে, } [H_3O^+] > \sqrt{K_w} > [OH^-]$$

$$\text{নিরপেক্ষ দ্রবণে, } [H_3O^+] = \sqrt{K_w} = [OH^-]$$

$$\text{ক্ষারীয় দ্রবণে, } [H_3O^+] < \sqrt{K_w} < [OH^-]$$



জলীয় দ্রবণে  $H_3O^+$ -আয়ন ও  $OH^-$ -আয়নের

মোলার ঘনমাত্রা নির্ণয় : একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায়  $K_w$  এর মান নির্দিষ্ট এবং ঐ তাপমাত্রায় জলীয় দ্রবণে  $H_3O^+$ -আয়ন ও  $OH^-$ -আয়নের মধ্যে কোনো একটির মোলার ঘনমাত্রার মান জানা থাকলে অপরটির মোলার ঘনমাত্রার মান নিচের সমীকরণ থেকে বের করা যায় :

$$[H_3O^+] = \frac{K_w}{[OH^-]}; [OH^-] = \frac{K_w}{[H_3O^+]}$$

যেমন  $25^\circ C$  তাপমাত্রায় কোনো জলীয় দ্রবণের  $[H_3O^+]$  অথবা  $[OH^-]$  এর যে কোনো একটির পরিমাণ জানা থাকলে, তখন  $K_w$  এর মান থেকে অপরটির মান বের করা যায়। যেমন,

$$\text{যেহেতু, } [H_3O^+] \times [OH^-] = K_w = 1.0 \times 10^{-14}$$

$$\therefore [H_3O^+] = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{[OH^-]}; \text{ এবং } [OH^-] = \frac{1 \times 10^{-14}}{[H_3O^+]}$$



সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৯ :  $K_w$  এর মান থেকে দ্রবণে  $H_3O^+$  ও  $OH^-$  আয়ন গণনা :

লেমন জুসের নমুনায়  $H_3O^+$  আয়নের ঘনমাত্রা  $2.5 \times 10^{-3} M$  আছে। এতে  $OH^-$  আয়নের ঘনমাত্রা কত হবে? দ্রবণটি অম্লীয়, নিরপেক্ষ বা ক্ষারীয় হবে কীনা ব্যাখ্যা কর।

দক্ষতা :  $[H_3O^+]$  জানা থাকায়,  $[OH^-] = K_w/[H_3O^+]$  সম্পর্ক থেকে বের করা যাবে।

$$\text{সমাধান : } [OH^-] = \frac{K_w}{[H_3O^+]} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{2.5 \times 10^{-3}} = 4.0 \times 10^{-12} M$$

যেহেতু  $[H_3O^+] > [OH^-]$ , দ্রবণটি অম্লীয় হবে। [কারণ  $2.5 \times 10^{-3} > 4.0 \times 10^{-12}$ ]

শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.১১ : আয়নিক গুণফলভিত্তিক :

সমস্যা-৪.৪২ :  $25^\circ C$ -এ পানির আয়নিক গুণফল ( $K_w$ ) এর মান ও মোলার ঘনমাত্রা থেকে বিয়োজিত ও অবিয়োজিত পানি অণুর অনুপাত বের কর। [অনুধাবনভিত্তিক]

সমস্যা-৪.৪৩ : কোনো সামুদ্রিক পানির  $OH^-$  আয়নের ঘনমাত্রা  $5.0 \times 10^{-6} M$  হলে এতে  $H_3O^+$  আয়নের ঘনমাত্রা কত হবে তা বের কর। ঐ সামুদ্রিক পানি অম্লীয়, নিরপেক্ষ অথবা ক্ষারীয় হবে কীনা ব্যাখ্যা কর।

[উ:  $[H_3O^+] = 2.0 \times 10^{-9} M$ ]; ঐ পানি হবে ক্ষারীয়।]

সমস্যা-৪.৪৪(ক) :  $50^\circ C$  তাপমাত্রায়  $K_w = 5.5 \times 10^{-14}$ ; ঐ নিরপেক্ষ দ্রবণে  $50^\circ C$  তাপমাত্রায়  $H_3O^+$  ও  $OH^-$  আয়নের ঘনমাত্রা বের কর। [উ:  $2.345 \times 10^{-7} M$ ]

সমস্যা-৪.৪৪(খ) :  $25^\circ C$  তাপমাত্রায় একটি জলীয় দ্রবণে  $OH^-$  আয়নের ঘনমাত্রা  $2 \times 10^{-5} M$  হলে ঐ দ্রবণে  $H_3O^+$  আয়নের ঘনমাত্রা কত? [উ:  $5 \times 10^{-10} M$ ]

সমস্যা-৪.৪৫(ক) :  $50^\circ C$  তাপমাত্রায় পানির আয়নিক গুণফলের মান  $25^\circ C$  তাপমাত্রায় আয়নিক গুণফলের মান অপেক্ষা বেশি কেন? [উ: তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে  $K_w$  এর মান বৃদ্ধি পায়; কারণ পানির আয়নীকরণ বৃদ্ধি পায়।]

সমস্যা-৪.৪৫(খ) : তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে বিশুদ্ধ পানির  $OH^-$  আয়নের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায় কেন? এর ফলে বিশুদ্ধ পানি কি ক্ষারীয় হয়? ব্যাখ্যা কর। [উ: ক্ষারীয় হয় না]

৪.১০.২। অম্ল ও ক্ষারকের বিয়োজন মাত্রার সাথে ঘনমাত্রার সম্পর্ক : অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র  
Relation between Degree of Dissociation & Concentration of Acid & Base :  
Ostwald's Dillution Law

তীব্র অম্ল ও তীব্র ক্ষারক জলীয় দ্রবণে প্রায় সম্পূর্ণরূপে আয়নিত হয়। অপরদিকে, মৃদু বা দুর্বল অম্ল ও ক্ষারক পানিতে আংশিকভাবে আয়নিত হয়। তখন আয়নিত ও অ-আয়নিত অণুসমূহের মধ্যে একটি সাম্যাবস্থা বিরাজ করে। একটি অম্ল বা ক্ষারকের নির্দিষ্ট দ্রাবকে আয়নিত হওয়ার পরিমাণকে 'বিয়োজন মাত্রা' এবং 'শতকরা-বিয়োজন' দ্বারা বোঝানো হয়।

(ক) দুর্বল অম্ল ও ক্ষারকের বিয়োজন মাত্রার সংজ্ঞা হলো : "এক লিটার দ্রবণে উপস্থিত কোনো অম্ল (HA) বা ক্ষারক (B)-এর মোল সংখ্যার যে ভগ্নাংশ বিয়োজিত অবস্থায় থাকে, তাকে ঐ অম্ল বা ক্ষারকের বিয়োজন-মাত্রা বলে।" অর্থাৎ

$$\text{অম্ল বা ক্ষারকের বিয়োজন-মাত্রা, } \alpha = \frac{\text{বিয়োজিত অম্ল বা ক্ষারকের মোলসংখ্যার ভগ্নাংশ}}{\text{দ্রবীভূত ঐ অম্ল বা ক্ষারকের মোট মোল সংখ্যা}} = \frac{[HA] \text{ বা } [B] \text{ বিয়োজিত}}{[HA] \text{ বা } [B] \text{ দ্রবীভূত}}$$

(খ) দুর্বল অম্ল ও ক্ষারকের শতকরা বিয়োজনের সংজ্ঞা হলো : অম্ল বা ক্ষারকের বিয়োজন-মাত্রা ( $\alpha$ ) এর এক শত পরিমাণকে ঐ অম্ল বা ক্ষারকের শতকরা বিয়োজন বলে। অর্থাৎ

$$\text{অম্লের শতকরা বিয়োজন} = \frac{[HA] \text{ বিয়োজিত}}{[HA] \text{ দ্রবীভূত}} \times 100\%$$

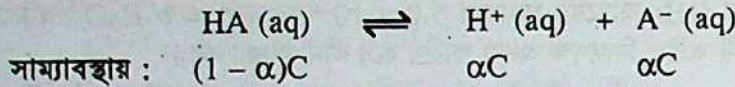
$$\text{ক্ষারকের শতকরা বিয়োজন} = \frac{[B] \text{ বিয়োজিত}}{[B] \text{ দ্রবীভূত}} \times 100\%$$



মৃদু অম্ল ও ক্ষারকের তথা তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণ লঘু করলে অর্থাৎ ঘনমাত্রা হ্রাসের ফলে বিয়োজন মাত্রা বৃদ্ধি পায়। তখনও দ্রবণে মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য সম্পূর্ণরূপে আয়নিত হয় না, ১৮৮৮ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী অসওয়াল্ড মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্যের লঘু দ্রবণের ক্ষেত্রে উভমুখী সাম্যাবস্থায় ভারক্রিয়া সূত্র প্রয়োগ করে বিয়োজন মাত্রাভিত্তিক একটি সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করেন, যা অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র নামে পরিচিত।

(গ) অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র : লঘু দ্রবণে মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য যেমন মৃদু অম্ল ও ক্ষারকের বিয়োজন-মাত্রা  $\alpha$  অম্ল ও ক্ষারকের দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রার বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক। এটিই অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র নামে পরিচিত।

(ঘ) লঘুকরণ সূত্রের গাণিতিক প্রকাশ : মনে করি, HA একটি মৃদু অম্ল। এর একটি দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা C এবং এর বিয়োজন মাত্রা  $\alpha$ । তখন 1 মোল HA বিয়োজিত হলে  $\alpha$  মোল  $H^+$  আয়ন ও  $\alpha$  মোল  $A^-$  আয়ন উৎপন্ন হয়। তখন C মোল HA বিয়োজনের ফলে  $\alpha C$  মোল  $H^+$  এবং  $\alpha C$  মোল  $A^-$  আয়ন উৎপন্ন হবে। সাম্যাবস্থায় দ্রবণে  $(1-\alpha)C$  মোল HA অম্ল অবিয়োজিত অবস্থায় থাকবে। অর্থাৎ,



এখন ভারক্রিয়ার সূত্র মতে, HA অম্লের বিয়োজন ধ্রুবক হবে,

$$K_a = \frac{[H^+] \times [A^-]}{[HA]} = \frac{\alpha C \times \alpha C}{(1-\alpha)C} = \frac{\alpha^2 C}{(1-\alpha)}$$

MCQ-4.18 : 25°C এ বিশুদ্ধ পানির আয়নিক গুণফল কত?  
[অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]  
(ক)  $10^{-14}$  (খ)  $10^{-7}$   
(গ)  $10^7$  (ঘ)  $10^{14}$

মৃদু অম্ল যেমন ইথানোয়িক এসিড ( $CH_3COOH$ ) এর বেলায়  $\alpha$  এর মান খুবই কম এবং এজন্য  $\alpha$  এর মানকে 1(এক) এর তুলনায় নগণ্য ধরে উপরিউক্ত সমীকরণে  $(1-\alpha)$  কে 1 ধরা হয়। তখন,

$$\text{বা, } K_a = \alpha^2 C; \text{ বা, } \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{K_a} \cdot \frac{1}{\sqrt{C}}$$

অনুরূপভাবে, একটি দুর্বল ক্ষারক যেমন  $NH_3$  অথবা মিথাইল অ্যামিন ( $CH_3NH_2$ ) এর বেলায়  $\alpha$  এর মান খুবই কম হয়। তখন সেক্ষেত্রে  $K_b = \alpha^2 C$  এবং  $\alpha = \sqrt{K_b} \cdot \frac{1}{\sqrt{C}}$  পাওয়া যায়। অর্থাৎ  $\alpha \propto \frac{1}{\sqrt{C}}$

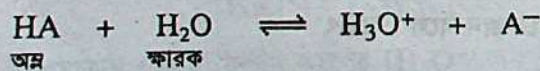
উপরিউক্ত সমীকরণ দ্বারা মৃদু অম্ল ও ক্ষারকের বিয়োজন মাত্রা ও দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রার সম্পর্ক প্রতিষ্ঠিত হয়। এটি অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্রের গাণিতিক প্রকাশ।

(ঙ) প্রযোজ্যতা : (১) মৃদু অম্ল, মৃদু ক্ষারক ও মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণের বেলায় অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র প্রযোজ্য। দ্রবণের লঘুকরণের সাথে  $\alpha$  সব পদার্থের বিয়োজন মাত্রা বাড়তে থাকে।

(২) অসীম লঘুতায় মৃদু অম্ল ও মৃদু ক্ষারক সম্পূর্ণরূপে বিয়োজিত হয়। তীব্র অম্ল ও তীব্র ক্ষারক মোলার ঘনমাত্রার দ্রবণে সম্পূর্ণরূপে বিয়োজিত হয়। ফলে তাদের ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থা থাকে না বলে লঘুকরণ সূত্র প্রযোজ্য হয় না।

### 8.১০.৩ অম্ল বা এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক ( $K_a$ ) Acid Dissociation Constant, $K_a$

ব্রনস্টেড-লাউরির মতবাদ অনুসারে, যে কোনো দুর্বল অম্লকে পানিতে দ্রবীভূত করলে নিম্নরূপে বিয়োজিত হয়ে সাম্যাবস্থায় থাকে।



$$\therefore \text{সাম্যাবস্থায়, } K_c = \frac{[H_3O^+] \times [A^-]}{[HA] \times [H_2O]} ; [\text{এক্ষেত্রে } [H_2O] \text{ ধ্রুব থাকে।}]$$

$$\therefore K_c \times [H_2O] = \frac{[H_3O^+] \times [A^-]}{[HA]}$$



$$\therefore K_a = \frac{[H_3O^+] \times [A^-]}{[HA]}; \text{ এখানে } K_a = K_c \times [H_2O]$$

উপরিউক্ত সাম্যাক্ষ  $K_a$  কে অম্লের বিয়োজন ধ্রুবক বলে।  $K_a$  এর কোনো একক নেই। [দ্রষ্টব্য অনুচ্ছেদ ৪.৮,  $K_c$ ]  
সুতরাং প্রতি লিটার জলীয় দ্রবণে উপস্থিত কোনো অম্লের মোল সংখ্যার যে ভগ্নাংশ বিয়োজিত অবস্থায় থাকে, তাকে ঐ অম্লের বিয়োজন ধ্রুবক,  $K_a$  বলা হয়। অম্লকে তড়িৎ বিশ্লেষ্যরূপে গণ্য করা হয়।

পানিতে অম্ল ও ক্ষার তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থরূপে আয়নে বিভক্ত হয়। সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য জলীয় দ্রবণে শতভাগ আয়নিত হয়; কিন্তু দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য জলীয় দ্রবণে আংশিক আয়নিত হয়। অনুরূপভাবে সবল অম্ল পানিতে প্রায় সম্পূর্ণভাবে আয়নিত হয়ে সর্বাধিক হাইড্রোনিয়াম আয়ন ( $H_3O^+$ ) ও অ্যানায়নে পরিণত হয়। যেমন,



সবল অম্লের বেলায়, জলীয় দ্রবণে কোনো অবিয়োজিত অম্ল বা এসিড অণু (HA) থাকে না।

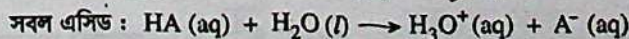
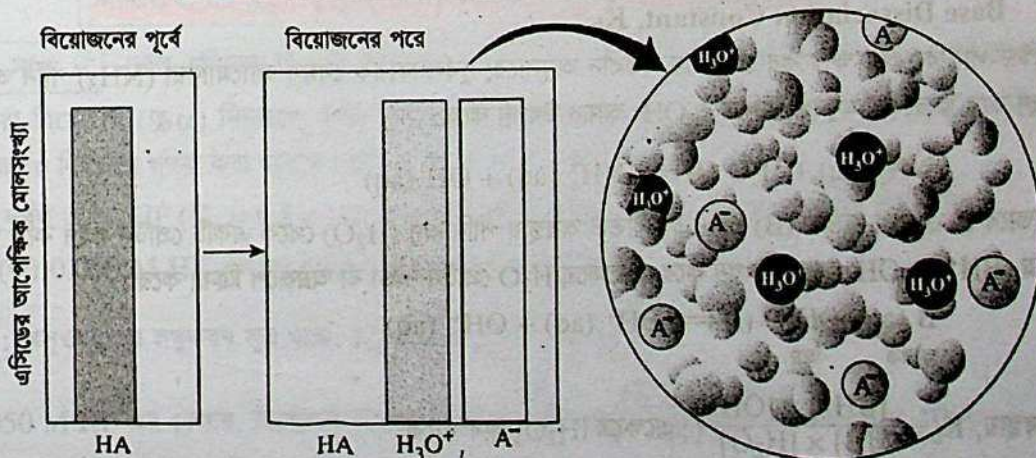
অর্থাৎ  $[H_3O^+] = [HA]$  (প্রাথমিক); অপর কথায়,  $[HA]_{eq} \approx 0$  (প্রায় শূন্য) হয়।

$$\therefore K_a = \frac{[H_3O^+] \times [A^-]}{[HA] \times [H_2O]}; \text{ এক্ষেত্রে } K_a \gg 1; \text{ যেমন সবল HCl এসিডের } K_a = 2.5 \times 10^7 \text{ হয়।}$$

দুর্বল অম্লের বেলায়, খুব কম সংখ্যক অম্লের অণু HA পানিতে আয়নিত হয়। তখন  $[H_3O^+] \ll [HA]$  হয় এবং সাম্যাবস্থায়,  $K_a \ll 1$ ; যেমন দুর্বল HF এসিডের  $K_a = 6.8 \times 10^{-4}$  হয়।

সুতরাং সবল অম্ল বা এসিডের সাম্যাবস্থায়  $[H_3O^+]$  এর পরিমাণ সবচেয়ে বেশি হয়; তাই  $K_a$  এর মানও বেশি হয়।

সবল এসিড  $\rightarrow$  অধিকতর  $[H_3O^+]$   $\rightarrow$  উচ্চতর  $K_a$



চিত্র-৪.২০ : সবল এসিডের বিয়োজন মাত্রা।

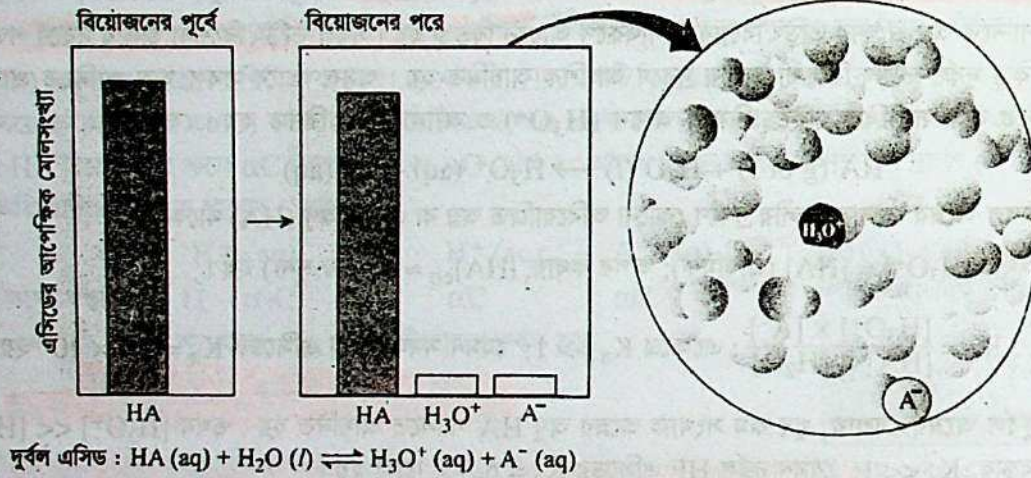
দুর্বল এসিডের শক্তিমাত্রা প্রকাশে  $K_a$  ছাড়া শতকরা বিয়োজন মানও ব্যবহৃত হয়। এক্ষেত্রে 1M এসিড দ্রবণে  $[H_3O^+]$  এর % পরিমাণ ধরা হয়। যেমন, 1.0 M অ্যাসিটিক এসিড দ্রবণে  $H_3O^+$  এর মোলার ঘনমাত্রা  $= 4.2 \times 10^{-3} M$  হয়।

$$\begin{aligned} \therefore \text{অ্যাসিটিক এসিডের \% বিয়োজন} &= \frac{[CH_3COOH] \text{ বিয়োজিত} \times 100\%}{[CH_3COOH] \text{ প্রাথমিক}} \\ &= \frac{4.2 \times 10^{-3} M \times 100\%}{1.0 M} = 0.42\% \end{aligned}$$



**$K_a$ -এর তাৎপর্য :** (১)  $K_a$ -এর মান যত বেশি হয় অম্লটি ততো শক্তিশালী হয়। HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> প্রভৃতি এসিড পানিতে সম্পূর্ণভাবে বিয়োজিত হয়; তাই এদেরকে তীব্র এসিড বলে। [চিত্র-৪.২০ দেখো]

(২) অপরদিকে, CH<sub>3</sub>COOH (অ্যাসিটিক এসিড) ও অন্যান্য জৈব এসিড কম বিয়োজিত হয়; তাই এদেরকে দুর্বল এসিড বলা হয়। [চিত্র-৪.২১ দেখো]



চিত্র-৪.২১ : দুর্বল এসিডের বিয়োজন মাত্রা।

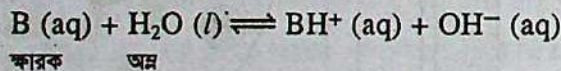
### ৪.১০.৪ ক্ষারকের বা ক্ষারের বিয়োজন ধ্রুবক ( $K_b$ )

#### Base Dissociation Constant, $K_b$

ব্রনস্টেড-লাউরির অম্ল-ক্ষারকের প্রোটনীয় মতবাদ অনুসারে, দুর্বল ক্ষারক যেমন অ্যামোনিয়া (NH<sub>3</sub>) পানি অণু থেকে প্রোটন গ্রহণ করে ক্ষারকের অনুবন্ধী এসিড ও OH<sup>-</sup> আয়ন উৎপন্ন করে।



একইভাবে যে কোনো ক্ষারক (B) পানিতে দ্রবীভূত অবস্থায় পানি অণু (H<sub>2</sub>O) থেকে একটি প্রোটন গ্রহণ করে ক্ষারকের অনুবন্ধী অম্ল (BH<sup>+</sup>) ও OH<sup>-</sup> আয়ন উৎপন্ন করে। এক্ষেত্রে H<sub>2</sub>O প্রোটন দাতা বা অম্লরূপে ক্রিয়া করে :



সাম্যাবস্থায়,  $K_b = \frac{[BH^+] \times [OH^-]}{[B] \times [H_2O]}$ ; এক্ষেত্রে [H<sub>2</sub>O] ধ্রুব থাকে;

$$\therefore K_b = \frac{[BH^+] \times [OH^-]}{[B]}$$

এ সাম্যিক  $K_b$  কে ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক বলা হয়।  $K_b$  এর কোনো একক নেই। [দ্রষ্টব্য অনুচ্ছেদ-৪.৮,  $K_c$ ]

সুতরাং প্রতি লিটার জলীয় দ্রবণে উপস্থিত কোনো ক্ষারকের মোল সংখ্যার যে ভগ্নাংশ বিয়োজিত অবস্থায় থাকে, তাকে ঐ ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক,  $K_b$  বলা হয়।

**$K_b$ -এর তাৎপর্য :**  $K_b$ -এর মান যত বেশি হয় ঐ ক্ষারক তত শক্তিশালী হয়। NaOH, KOH প্রভৃতি জলীয় দ্রবণে সম্পূর্ণভাবে বিয়োজিত হয়; তাই এদেরকে তীব্র ক্ষারক বলে। NH<sub>4</sub>OH-এর বিয়োজন মাত্রা কম; তাই একে দুর্বল ক্ষারক বলা হয়।



### ৪.১১ বিয়োজন ধ্রুবক ও এসিড ক্ষারের তীব্রতা Dissociation Constants & Acid Base Strength

**$K_a$  এর গুরুত্ব :** দুর্বল এসিডের শক্তিমাত্রা সম্বন্ধে ধারণার জন্য এসিডের বিয়োজন-ধ্রুবক ( $K_a$ ) এর মান ও এসিডের শতকরা-বিয়োজন ( $\alpha$ ) এর মান সমভাবে গুরুত্বপূর্ণ। উল্লেখ্য 1M দুর্বল এসিড পানিতে শতকরা পরিমাণে যতো আয়নিত হয়; অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র মতে 0.1M অথবা 0.01M দুর্বল এসিড পানিতে আরো বেশি শতকরা পরিমাণে আয়নিত হয়। নিচে দুর্বল এসিড বা অম্লের বিয়োজন ধ্রুবক  $K_a$  এর মানের পরিসর এবং এসিডের শতকরা বিয়োজনের মান দ্বারা পানিতে এসিড অণু (HA) এর মোল সংখ্যার আয়নিত ভগ্নাংশ সম্বন্ধে ধারণা পাওয়া যায়।

(১) দুর্বল এসিডের মধ্যে তুলনামূলক উচ্চমানের  $K_a$  ( $\sim 10^{-2}$ ) এর বেলায়, 1M এসিড দ্রবণে প্রায়  $\sim 10\%$  HA (এসিড) অণু আয়নিত হয়। যেমন, ক্লোরাস এসিড ( $\text{HClO}_2$ ) এর 1M দ্রবণের  $K_a = 1.1 \times 10^{-2}$  হয়। তখন 1M  $\text{HClO}_2$  পানিতে 10% বিয়োজিত হয়।

(২) দুর্বল এসিডের মধ্যে তুলনামূলক মধ্যম মানের  $K_a$  ( $\sim 10^{-5}$ ) এর বেলায়, 1M এসিড দ্রবণে প্রায়  $\sim 0.3\%$  HA (এসিড) অণু আয়নিত হয়। যেমন, অ্যাসিটিক এসিড ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) এর  $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$  হয়। তখন 1M  $\text{CH}_3\text{COOH}$  পানিতে প্রায় 0.42% আয়নিত হয়।

(৩) দুর্বল এসিডের মধ্যে তুলনামূলক নিম্নমানের  $K_a$  ( $\sim 10^{-10}$ ) এর বেলায়, 1M এসিড দ্রবণে প্রায়  $\sim 0.001\%$  HA (এসিড) অণু আয়নিত হয়। যেমন, হাইড্রোসায়ানিক এসিড (HCN) এর  $K_a = 6.2 \times 10^{-10}$  হয়। তখন 1M HCN পানিতে প্রায় 0.0025% আয়নিত হয়।

\* দুর্বল এসিডের সাম্যধ্রুবক  $K_a$  এর মান যতো কম হবে, HA (এসিড) এর শতকরা বিয়োজন ততো কম হবে।

নিম্নতর মানের  $K_a \rightarrow$  HA এর % বিয়োজন নিম্নতর  $\rightarrow$  দুর্বলতর এসিড

**জেনে নাও :** দুর্বল এসিডের  $K_a$  এর মান এবং ঐ এসিডের মোলার ঘনমাত্রা থেকে এসিডটির বিয়োজন-মাত্রা ( $\alpha$ ) ও শতকরা-বিয়োজন ( $\alpha$ ) নিম্নরূপে গণনা করা যায়। ওপরে দেয়া  $\text{HClO}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , HCN এসিডের শতকরা-বিয়োজনও নিম্নরূপে গণনা করা হয়েছে (তুমি তা নিজে গণনা করে দেখো)।

সমস্যা : দুর্বল এসিড HF ( $K_a = 6.8 \times 10^{-4}$ ) এর শতকরা-বিয়োজন নিম্নোক্ত ঘনমাত্রার দ্রবণে কত হবে?

(ক) 0.050 M HF (খ) 0.50 M HF (গ) 1.0 M HF

সমাধান : অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র মতে,  $K_a = \alpha^2 C$ ; বা,  $\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}}$

(ক) 0.050 M HF এর বেলায়, বিয়োজন-মাত্রা ( $\alpha$ ) =  $\sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{6.8 \times 10^{-4}}{0.050}} = 11.66 \times 10^{-2}$

$\therefore$  শতকরা-বিয়োজন =  $\sqrt{\frac{K_a}{C}} \times 100 = \sqrt{\frac{6.8 \times 10^{-4}}{0.05}} \times 100 = 11.66\%$

(খ) 0.50 M HF এর বেলায়, বিয়োজন-মাত্রা ( $\alpha$ ) =  $\sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{6.8 \times 10^{-4}}{0.5}} = 3.68 \times 10^{-2}$

$\therefore$  শতকরা-বিয়োজন =  $\sqrt{\frac{K_a}{C}} \times 100 = \sqrt{\frac{6.8 \times 10^{-4}}{0.5}} \times 100 = 3.68\%$


(গ) 1.0 M HF এর বেলায়, বিয়োজন-মাত্রা ( $\alpha$ ) =  $\sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{6.8 \times 10^{-4}}{1.0}} = 2.60 \times 10^{-2}$

$\therefore$  শতকরা-বিয়োজন =  $\sqrt{\frac{K_a}{C}} \times 100 = \sqrt{\frac{6.8 \times 10^{-4}}{1.0}} \times 100 = 2.60\%$



নিচে কিছু সংখ্যক এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক  $K_a$ , নাম, সংকেত ও গাঠনিক সংকেত দেয়া হলো।

সারণি- ৪.৫ : কিছু এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক,  $25^\circ\text{C}$

নাম (সংকেত)	গাঠনিক সংকেত	$K_a$	অপেক্ষাকৃত সবল এসিড
১. হাইড্রোক্লোরিক এসিড (HCl)	H-Cl	$2.5 \times 10^7$	
২. ফসফরাস এসিড ( $\text{H}_3\text{PO}_3$ )	$\text{HPO}(\text{OH})_2$	$3 \times 10^{-2}$	
৩. সালফিউরাস এসিড ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ )	$\text{O}=\text{S}(\text{OH})_2$	$1.4 \times 10^{-2}$	
৪. ফসফরিক এসিড ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )	$\text{O}=\text{P}(\text{OH})_3$	$7.2 \times 10^{-3}$	
৫. নাইট্রাস এসিড ( $\text{HNO}_2$ )	$\text{O}=\text{NOH}$	$4.5 \times 10^{-4}$	
৬. হাইড্রোক্লোরিক এসিড (HF)	H-F	$6.8 \times 10^{-4}$	
৭. ফরমিক এসিড ( $\text{HCO}_2\text{H}$ )	$\text{H}-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{H}$	$1.8 \times 10^{-4}$	
৮. অ্যাসিটিক এসিড ( $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ )	$\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{H}$	$1.8 \times 10^{-5}$	

দুর্বলতর এসিড  
চিত্র-৪.২২ : এসিডের শক্তিক্রম

\* এসিডের শক্তিমাত্রার নির্ভরশীলতা : এসিডের তীব্রতা বা শক্তিমাত্রা নিম্নোক্ত বিষয়ের ওপর নির্ভর করে :

\* (১) এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক,

\* (২) হাইড্রাসিডের ঋণাত্মক আয়নের আকার,

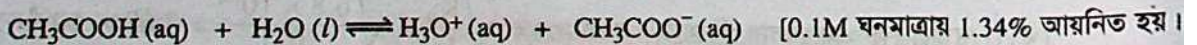
\* (৩) কেন্দ্রীয় পরমাণুর জারণ অবস্থা,

\* (৪) কেন্দ্রীয় পরমাণুর আকার,

\* (৫) দ্রাবকের প্রকৃতি।

(১) এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক : এসিডের  $K_a$  এর মান যতো বেশি হয় এসিডটি ততো বেশি শক্তিশালী হয়। HCl, HBr, HI,  $\text{HNO}_3$  ও  $\text{H}_2\text{SO}_4$  প্রভৃতি এ সব এসিড জলীয় দ্রবণে প্রায় সম্পূর্ণরূপে (অর্থাৎ 99 – 100%) বিয়োজিত হয়ে থাকে, এদেরকে তীব্র এসিড বলা হয়। এদের  $K_a$  মান খুবই বেশি। যেমন, HCl এর  $K_a = 2.5 \times 10^7$ , HBr এর  $K_a = 3.2 \times 10^9$ , HI এর  $K_a = 1 \times 10^{10}$ ।  $\text{H}_2\text{SO}_4$  এর প্রথম বিয়োজন ( $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HSO}_4^-$ ) এর  $K_a = 10^3$  হয়ে থাকে। সুতরাং  $\text{H}_2\text{SO}_4$  হলো তীব্র এসিড।

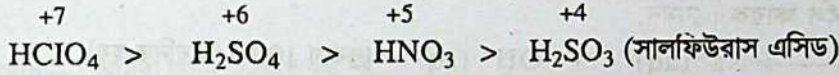
অপরদিকে অ্যাসিটিক এসিড ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) এর 0.1M ঘনমাত্রার দ্রবণে মাত্র 1.34% এবং 0.01M  $\text{CH}_3\text{COOH}$  মাত্র 4.24% বিয়োজিত হয়; এসিডের  $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ । সুতরাং অ্যাসিটিক এসিডকে মৃদু বা দুর্বল এসিড বলা হয়।



(২) ঋণাত্মক আয়নের আকার : হাইড্রাসিডের অল্পধর্মের তীব্রতা এদের অণুস্থিত ঋণাত্মক আয়নের আকারের ওপর নির্ভর করে। ঋণাত্মক আয়নের আকার যতো বড় হয়, অণুর বিয়োজন ততো বেশি হয় অর্থাৎ এসিডের তীব্রতা ততো বেশি হয়। ২য় পর্যায়ের  $\text{F}^-$  আয়নের আকার সব চেয়ে ছোট। এরপর বড়  $\text{Cl}^-$  আয়নের আকারের চেয়ে ৪র্থ পর্যায়ের  $\text{Br}^-$  আয়নের আকার আরও বড় এবং ৫ম পর্যায়ের  $\text{I}^-$  এর আকার আরও বড়। তাই এসব হাইড্রাসিডের তীব্রতার ক্রম হলো  $\text{HI} > \text{HBr} > \text{HCl} \gg \text{HF}$ ।

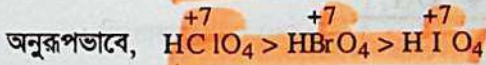
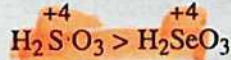


(৩) কেন্দ্রীয় পরমাণুর জারণ সংখ্যা : অক্সোএসিডসমূহের অর্থাৎ অক্সিজেন পরমাণুযুক্ত এসিডসমূহের কেন্দ্রীয় পরমাণুর ধনাত্মক জারণ সংখ্যা যতো বেশি ঐ এসিডের তীব্রতা ততো বেশি হয়। যেমন,



(৪) কেন্দ্রীয় পরমাণুর আকার : অক্সোএসিডসমূহের কেন্দ্রীয় পরমাণুর ধনাত্মক জারণ সংখ্যা সমান হলে তখন যেটির কেন্দ্রীয় পরমাণুর আকার ছোট হবে এবং চার্জ ঘনত্বের ক্রম বৃদ্ধি অনুসারে সে এসিডের তীব্রতা বেশি হয়। যেমন,  $\text{HNO}_3$  ও  $\text{H}_3\text{PO}_4$  উভয় এসিডের কেন্দ্রীয় পরমাণুর জারণ সংখ্যা সমান (+5)। তবে ২য় পর্যায়ভুক্ত N-পরমাণুর আকার ৩য় পর্যায়ভুক্ত P-পরমাণুর আকারের চেয়ে ছোট বলে P-পরমাণুর তুলনায় N পরমাণুর চার্জ ঘনত্ব বেশি। ফলে উভয় এসিডের তীব্রতার ক্রম হলো  $\text{HNO}_3 > \text{H}_3\text{PO}_4$ । একই কারণেই  $\text{HNO}_2 > \text{H}_3\text{PO}_3$ ।

একইভাবে সালফিউরাস এসিড ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ) ও সেলেনাস এসিড ( $\text{H}_2\text{SeO}_3$ ) এর বেলায়, উভয়ের কেন্দ্রীয় পরমাণুর জারণ সংখ্যা +4; কিন্তু ৩য় পর্যায়ভুক্ত S পরমাণুর আকার ৪র্থ পর্যায়ের Se পরমাণুর আকারের চেয়ে ছোট হওয়ায়  $\text{H}_2\text{SO}_3$  এসিডের তীব্রতা বেশি হয়।



MCQ-4.19 : নিচের কোন এসিডটি সবচেয়ে বেশি তীব্র এসিড হবে?

(ক)  $\text{H}_2\text{SeO}_3$  (খ)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (গ)  $\text{HClO}_4$  (ঘ)  $\text{HIO}_4$

\* দুর্বল এসিডসমূহের মধ্যে আয়োডিক এসিড ( $\text{HIO}_3$ ) এর  $K_a = 1.7 \times 10^{-1}$ ,  $\text{CH}_3\text{COOH}$  এর  $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ ।  $\text{H}_2\text{S}$  এর প্রথম  $K_a = 9.1 \times 10^{-8}$ । এ সব মান হতে এদের শক্তি-মাত্রার ধারণা পাওয়া যায়।

(৫) দ্রাবকের প্রকৃতি : দ্রাবকের প্রোটন গ্রহণ করার ক্ষমতা বা ক্ষারকত্ব বেশি হলে এতে দ্রবীভূত এসিডের আয়নিকরণ বৃদ্ধি পায়। যেমন পানিতে অ্যাসিটিক এসিড ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) একটি দুর্বল এসিড। কিন্তু অ্যামোনিয়া দ্রবণে এটি একটি তীব্র এসিড। অপরদিকে ক্ষারকের বেলায় এর বিপরীত সম্পর্ক। অর্থাৎ দ্রাবকের ক্ষারকত্ব বেশি হলে এতে দ্রবীভূত ক্ষারকের বিয়োজন হ্রাস পায়। ফলে ক্ষারকের তীব্রতাও হ্রাস পায়। আবার দ্রাবকের ক্ষারকত্ব কম হলে এতে দ্রবীভূত ক্ষারকের তীব্রতা বৃদ্ধি পায়।

\* ক্ষারকের শক্তিমাত্রার নির্ভরশীলতা : ক্ষারকের তীব্রতা বা শক্তিমাাত্রা নিম্নোক্ত ৩টি বিষয়ের ওপর নির্ভর করে :

\* (১) ধাতুর অক্সাইড ও হাইড্রক্সাইডের পানিতে দ্রবণীয়তা,

\* (২) ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক ( $K_b$ ),

\* (৩) যৌগের নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন প্রদানের ক্ষমতা।

পানিতে অধিক দ্রবণীয় ধাতুর অক্সাইড ও হাইড্রক্সাইডকে সবল ক্ষারক বলে এবং কম দ্রবণীয় ধাতুর অক্সাইড ও হাইড্রক্সাইডকে দুর্বল ক্ষারক বলে।

১। সবল ক্ষারক : অক্সাইড ( $\text{O}^{2-}$ ) ও হাইড্রক্সাইড ( $\text{OH}^-$ ) আয়নযুক্ত পানিতে দ্রবণীয় যৌগসমূহ সবল ক্ষারক হয়। ঐ সব যৌগে অধিক সক্রিয় ধাতুর ক্যাটায়ন থাকে। যেমন,

(i)  $\text{M}_2\text{O}$ ,  $\text{MOH}$  যৌগসমূহ, এক্ষেত্রে  $\text{M} = \text{গ্রুপ-IA}(1)$  ধাতু, Li, Na, K, Rb, Cs.

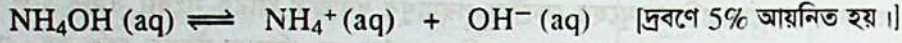
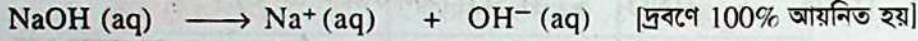
(ii)  $\text{MO}$ ,  $\text{M(OH)}_2$  যৌগসমূহ, এক্ষেত্রে  $\text{M} = \text{গ্রুপ-2A}(2)$  ধাতু, Ca, Sr, Ba;

এসব ক্ষারকের  $K_b$  এর মান বেশি।

২। ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক ( $K_b$ ) :  $K_b$ -এর মান যতো বেশি হয় ক্ষারকটি ততোই শক্তিশালী হয়।  $\text{NaOH}$ ,  $\text{KOH}$  প্রভৃতি ক্ষারক জলীয় দ্রবণে প্রায় সম্পূর্ণরূপে বিয়োজিত থাকে; সুতরাং এরা তীব্র ক্ষারক। এদের  $K_b$  এর মান খুবই বেশি।



দুর্বল ক্ষারক : নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল যুক্ত  $\text{NH}_3$  ও প্রতিস্থাপিত অ্যামোনিয়া যৌগসমূহ যেমন অ্যামিনসমূহ দুর্বল ক্ষারক হয়। এদের  $K_b$  এর মান কম হয়।  $\text{NH}_4\text{OH}$  সাধারণ ঘনমাত্রার দ্রবণে খুব কম পরিমাণে বিয়োজিত হয়; সুতরাং  $\text{NH}_4\text{OH}$  একটি মৃদু বা দুর্বল ক্ষারক। যেমন,

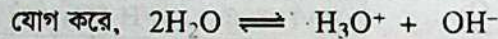
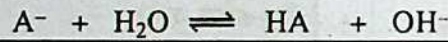
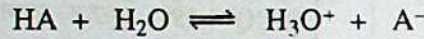


\*  $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{NH}_2\text{OH}$  (হাইড্রক্সিল অ্যামিন),  $\text{NH}_2-\text{NH}_2$  (হাইড্রাজিন) এদের  $K_b$  এর মান যথাক্রমে  $1.79 \times 10^{-5}$ ,  $1.07 \times 10^{-8}$ , এবং  $1.7 \times 10^{-6}$ । অনুরূপভাবে মিথাইল অ্যামিন ( $\text{CH}_3\text{NH}_2$ ) এর  $K_b = 3.7 \times 10^{-4}$ , ডাইমিথাইল অ্যামিন,  $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$  এর  $K_b = 5.4 \times 10^{-4}$  হয়। এ সব মান হতে এদের শক্তিমাত্রার ধারণা পাওয়া যায়।

### ৪.১১.১ অনুবন্ধী অম্ল ও ক্ষারকের $K_a$ ও $K_b$ এর মধ্যে সম্পর্ক

#### Relation between $K_a$ and $K_b$ of a Conjugate Acid-Base

যে কোনো এসিড (HA) এর  $K_a$  এবং ঐ এসিডের অনুবন্ধী ক্ষারক ( $\text{A}^-$ ) এর  $K_b$  উভয়ের মধ্যে একটি উল্লেখযোগ্য সম্পর্ক আছে। এখন এসিড (HA) ও এর অনুবন্ধী ক্ষারক ( $\text{A}^-$ ) উভয়ের বিয়োজন সমীকরণ দু'টো যোগ করে দেখা যাক :



এখন সুস্পষ্ট হলো যে, ঐ দুটো বিয়োজন বিক্রিয়ার ফলাফল পানির অটো আয়নীকরণ (auto-ionization)। সুতরাং এসিড (HA) এবং এর অনুবন্ধী ক্ষারক ( $\text{A}^-$ ) উভয়ের পানিতে বিক্রিয়ার  $K_a$  ও  $K_b$  এর গুণফল থেকে নিম্নরূপ সম্পর্ক পাওয়া যায় :

$$K_a \times K_b = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{A}^-]}{[\text{HA}]} \times \frac{[\text{HA}] \times [\text{OH}^-]}{[\text{A}^-]} = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] = K_w$$

$$\therefore K_a \times K_b = K_w$$

উভয়দিকে ঋণাত্মক লগারিদম নিয়ে পাই,

$$-\log K_a - \log K_b = -\log K_w = -\log (1.0 \times 10^{-14})$$

$$\text{বা, } pK_a + pK_b = 14; \therefore pK_b = 14 - pK_a$$

যেমন, HF এসিডের  $K_a = 6.8 \times 10^{-4}$  (প্রায়)। এ থেকে HF এর অনুবন্ধী ক্ষারক  $\text{F}^-$  এর  $K_b$  এর মান নিম্ন মতে বের করা যায়।

$$(\text{HF-এর } K_a) \times (\text{F}^- \text{ এর } K_b) = K_w$$

$$\text{বা, F}^- \text{ এর } K_b = \frac{K_w}{\text{HF এর } K_a} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{6.8 \times 10^{-4}} = 1.5 \times 10^{-11}$$

লক্ষ কর HF এসিডের  $K_a = 6.8 \times 10^{-4}$  (প্রায়)

কিন্তু HF এর অনুবন্ধী ক্ষারক ( $\text{F}^-$ ) এর  $K_b = 1.5 \times 10^{-11}$

$\therefore$  উপরোক্ত  $K_a$  ও  $K_b$  এর মান থেকে জানা যায় যে, এসিড যতটা সর্বল হবে, এর অনুবন্ধী ক্ষারক ঐ এসিডের চেয়ে ততটা দুর্বল হবে। কারণ,

$$\text{উভয়ের } K_a \times K_b = K_w = 1 \times 10^{-14} \text{ মান ঠিক থাকবে।}$$

জেনে নাও : সব জলীয় দ্রবণে কম বেশি  $\text{H}_3\text{O}^+$  ও  $\text{OH}^-$  আয়ন থাকে।

\* বিশুদ্ধ পানিতে  $\text{H}_3\text{O}^+$  ও  $\text{OH}^-$  আয়নের সংখ্যা বা ঘনমাত্রা সমান থাকে।

\* অম্লীয় দ্রবণে  $\text{H}_3\text{O}^+$  আয়নের সংখ্যা বা ঘনমাত্রা বেশি এবং  $\text{OH}^-$  আয়নের ঘনমাত্রা কম থাকে।

\* ক্ষারীয় দ্রবণে  $\text{OH}^-$  আয়নের ঘনমাত্রা বেশি এবং  $\text{H}_3\text{O}^+$  এর ঘনমাত্রা কম থাকে।

\*  $K_w = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-]$  মতে  $\text{H}_3\text{O}^+$  ও  $\text{OH}^-$  আয়নের যে কোনটির মান কখনও শূন্য হতে পারে না।



সমস্যা সমাধান : বিয়োজন-মাত্রা ( $\alpha$ ),  $K_a$ ,  $K_b$ ,  $pK_a$ ,  $pK_b$  ভিত্তিক গণনা :

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩০ : 0.02 M H-COOH এর শতকরা কতভাগ বিয়োজিত হবে, তা গণনা কর।  
( $K_a = 1.8 \times 10^{-4}$ ).

সমাধান : আমরা জানি, সাম্যধ্রুবক,  $K_a = \frac{\alpha^2 C}{1 - \alpha}$ । মৃদু তড়িৎবিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে  $(1 - \alpha) = 1$

$$\therefore K_a = \alpha^2 C \therefore \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \left( \frac{1.8 \times 10^{-4}}{0.02} \right)^{\frac{1}{2}} = 9.4868 \times 10^{-2} \quad \text{এখানে, } K_a = 1.8 \times 10^{-4} \\ \text{ঘনমাত্রা, } C = 0.02 \text{ M}$$

$$\therefore \text{এসিডটি শতকরা বিয়োজিত হয়} = 9.4868 \times 10^{-2} \times 100 = 9.4868\%$$

দ্রষ্টব্য : বিয়োজন-মাত্রা ( $\alpha$ ) হলো 'দুটি মোল পরিমাণের অনুপাত' এর মান; তাই এটি হবে এককবিহীন। আবার  $K_a$  হলো এককবিহীন; তাই দ্রবণের ঘনমাত্রা 'C' এর বেলায় মোলের সংখ্যামানই শুধু ব্যবহৃত হয়েছে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩১ : 25°C তাপমাত্রায় মৃদু এক-ক্ষারকীয় অম্ল (HA) এর বিয়োজন ধ্রুবকের মান  $1.6 \times 10^{-4}$  হলে ঐ তাপমাত্রায় 0.1 M HA এর জলীয় দ্রবণে ঐ অম্লের বিয়োজন-মাত্রা ( $\alpha$ ) কত?

সমাধান : অম্লের বিয়োজন-মাত্রা ( $\alpha$ ) =  $\sqrt{\frac{K_a}{C}}$

প্রশ্নমতে,

$$K_a = 1.6 \times 10^{-4}$$

$$C = 0.1 \text{ M}$$

$$\therefore \text{বিয়োজন-মাত্রা } (\alpha) = \sqrt{\frac{1.6 \times 10^{-4}}{0.1}} = 0.04$$

$$\therefore \text{শতকরা বিয়োজন-মাত্রা} = 0.04 \times 100 = 4\%$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩২ : 25°C তাপমাত্রায় 0.1 M  $\text{CH}_3\text{COOH}$  এসিড 1.34% আয়নিত হয়। এসিডটির বিয়োজন ধ্রুবক ( $K_a$ ) কত?

সমাধান : মৃদু এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক,  $K_a = \frac{\alpha^2 C}{(1 - \alpha)}$

$$\text{বা, } K_a = \frac{(1.34 \times 10^{-2})^2 \times 0.1}{(1 - 1.34 \times 10^{-2})}$$

প্রশ্নমতে, ঘনমাত্রা,  $C = 0.1 \text{ M}$

$$\text{বিয়োজন পরিমাণ, } \alpha = \frac{1.34}{100} = 1.34 \times 10^{-2}$$

$$\therefore K_a = 1.8199 \times 10^{-5}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩৩ : 0.01 M  $\text{CH}_3\text{COOH}$  এসিডের জলীয় দ্রবণে ঐ এসিডের শতকরা বিয়োজন 4.2% হলে ঐ এসিড দ্রবণে হাইড্রোনিয়াম আয়ন ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) এর মোলার ঘনমাত্রা কত?

সমাধান :  $\text{CH}_3\text{COOH}$  হলো মৃদু এক-ক্ষারীয় এসিড। মৃদু এসিডের বেলায়  $[\text{H}_3\text{O}^+] = \alpha C$ । এখানে  $\alpha$  হলো এসিডের বিয়োজন-মাত্রা এবং C হলো মোলার ঘনমাত্রা।

প্রশ্নমতে বিয়োজন-মাত্রা = 4.2%

$$\therefore \alpha = \frac{4.2}{100} = 4.2 \times 10^{-2} \text{ এবং } C = 0.01 \text{ M}$$

$$\therefore 0.01 \text{ M } \text{CH}_3\text{COOH} \text{ দ্রবণে } [\text{H}_3\text{O}^+] = \alpha C$$

$$= 4.2 \times 10^{-2} \times 0.01 \\ = 4.2 \times 10^{-4} \text{ M}$$

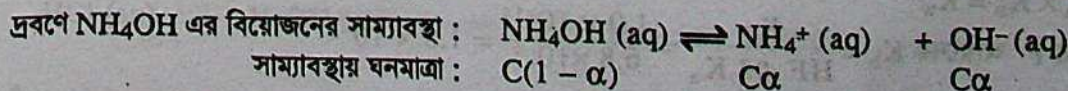
**MCQ-4.20** : নিচের কোনটি অধিক তীব্র এসিড? [অভিন্ন প্রশ্ন-২০১৮]

(ক) $\text{HNO}_3$	(খ) $\text{H}_3\text{PO}_4$
(গ) $\text{HClO}_4$	(ঘ) $\text{H}_2\text{SO}_4$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩৪ : 30°C তাপমাত্রায়  $1.5 \times 10^{-2} \text{ M}$   $\text{NH}_4\text{OH}$  দ্রবণে  $\text{NH}_4\text{OH}$  এর শতকরা বিয়োজন 3.5% হলে  $\text{NH}_4\text{OH}$  এর বিয়োজন ধ্রুবকের মান নির্ণয় কর।

সমাধান :  $\text{NH}_4\text{OH}$  দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা,  $C = 1.5 \times 10^{-2} \text{ M}$

$$\text{NH}_4\text{OH} \text{ এর বিয়োজন-মাত্রা, } \alpha = \frac{3.5}{100} = 0.035$$





$$\therefore \text{সাম্যাবস্থায় } \text{NH}_4\text{OH এর ঘনমাত্রা, } [\text{NH}_4\text{OH}] = C(1 - \alpha) = 1.5 \times 10^{-2} \times (1 - 0.035) \\ = 1.4475 \times 10^{-2} \text{ M}$$

$$\text{সাম্যাবস্থায় } \text{NH}_4^+ \text{ আয়নের ঘনমাত্রা, } [\text{NH}_4^+] = C\alpha = 1.5 \times 10^{-2} \times 0.035 = 5.25 \times 10^{-4} \text{ M}$$

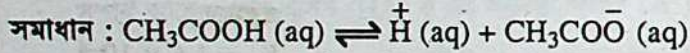
$$\text{সাম্যাবস্থায় } \text{OH}^- \text{ আয়নের ঘনমাত্রা, } [\text{OH}^-] = C\alpha = 1.5 \times 10^{-2} \times 0.035 = 5.25 \times 10^{-4} \text{ M}$$

$$\text{NH}_4\text{OH এর বিয়োজন ধ্রুবক, } K_b = \frac{[\text{NH}_4^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]} \\ = \frac{[5.25 \times 10^{-4}] \times [5.25 \times 10^{-4}]}{[1.4475 \times 10^{-2}]} = 1.90414 \times 10^{-5}$$

[লক্ষ করো  $K_b$  এর সমীকরণে প্রত্যেক উপাদানের ঘনমাত্রাকে 1M দিয়ে ভাগ করে নেয়া হয়েছে]

$$\therefore \text{NH}_4\text{OH এর বিয়োজন ধ্রুবক, } K_b = 1.90414 \times 10^{-5}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩৫। 1.0 M অ্যাসিটিক এসিডের জলীয় দ্রবণ  $\text{H}^+$  আয়নের ঘনমাত্রা  $4.25 \times 10^{-3} \text{ M}$ ।  
ঐ এসিড দ্রবণে অ্যাসিটিক এসিডের শতকরা বিয়োজন, বিয়োজন ধ্রুবক ( $K_a$ ) এবং  $pK_a$  এর মান গণনা কর।



$$\therefore \text{এসিডটির শতকরা বিয়োজন} = \frac{\text{বিয়োজিত মোল সংখ্যা} \times 100}{\text{দ্রবণে মোট মোল সংখ্যা}} \\ = \frac{4.25 \times 10^{-3} \times 100}{1.0} = 0.425\%$$

**MCQ-4.21** : নিচের কোনটি  
দুর্বলতম এসিড? [য. বো. ২০১৭]  
(ক)  $\text{HMnO}_4$  (খ)  $\text{H}_2\text{SO}_4$   
(গ)  $\text{HClO}_4$  (ঘ)  $\text{HNO}_3$

$\therefore 0.425\%$  অ্যাসিটিক এসিড জলীয় দ্রবণে বিয়োজিত হয়। এক্ষেত্রে বিয়োজন মাত্রা,  $\alpha = (0.425 \div 100) = 0.00425$  হয়। তাই 1.0 M দ্রবণে অ্যাসিটিক এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক হলো :

$$K_a = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} ;$$

$$\text{এখানে, } [\text{H}^+] = 4.25 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$\text{বা, } K_a = \frac{4.25 \times 10^{-3} \times 4.25 \times 10^{-3}}{(1 - \alpha)}$$

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = 4.25 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$\text{বা, } K_a = \frac{1.806 \times 10^{-5}}{(1.0 - 0.00425)} = \frac{1.806 \times 10^{-5}}{0.99575} = 1.814 \times 10^{-5}$$

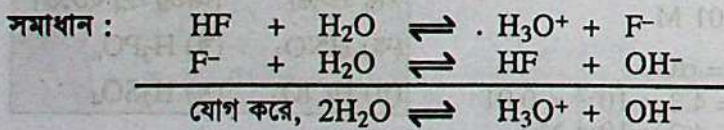
$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = 1.0 \text{ M}$$

$$\text{আমরা জানি, } pK_a = -\log K_a$$

$$(1 - \alpha) = (1.0 - 0.00425) \text{ M}$$

$$\text{বা, } pK_a = -\log (1.814 \times 10^{-5}) = 4.74$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩৬ : HF একটি মৃদু অম্ল; এর  $K_a = 6.8 \times 10^{-4}$ ; এর অনুবন্ধী ক্ষারক  $\text{F}^-$  এর  $K_b$  ও  $pK_b$  গণনা কর। এ সব মান থেকে অম্ল ও অনুবন্ধী ক্ষারকের শক্তির সম্পর্ক ব্যাখ্যা কর।



**MCQ-4.22** : নিচের কোনটি অম্ল-  
ক্ষারক যুগল? [য. বো. ২০১৭]  
(ক)  $\text{HCl, NaOH}$  (খ)  $\text{O}_2, \text{H}_2\text{O}$   
(গ)  $\text{H}_3\text{O}^+, \text{H}_2\text{O}$  (ঘ)  $\text{H}^+, \text{Cl}^-$

উপরোক্ত প্রথম দুটি সমীকরণ মতে,  $K_a$  ও  $K_b$  থেকে  $K_w$  বের করি :

$$K_a \times K_b = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{F}^-]}{[\text{HF}]} \times \frac{[\text{HF}] \times [\text{OH}^-]}{[\text{F}^-]} ; [\text{H}_2\text{O}] \text{ বাদ দেয়া হয়েছে।}$$

$$\therefore K_a \times K_b = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] = K_w$$

$$\therefore K_a \times K_b = K_w$$

$$\text{এক্ষেত্রে } \text{F}^- \text{ আয়নের } K_b = \frac{K_w}{\text{HF এর } K_a} = \frac{1.0 \times 10^{-14}}{6.8 \times 10^{-4}} = 1.5 \times 10^{-11}$$



HF এর  $K_a$  এর মান  $6.8 \times 10^{-4}$  এবং HF এর অনুবন্ধী ক্ষারক  $F^-$  আয়নের  $K_b$  এর মান  $1.5 \times 10^{-11}$ । উভয় মান থেকে বোঝা যায় যে, HF এর অনুবন্ধী ক্ষারকের  $K_b$  এর মান খুবই নিম্ন। অর্থাৎ অম্ল যতো তীব্র হবে এটির অনুবন্ধী ক্ষারক ততো দুর্বল হবে। আবার HF এর  $pK_a = -\log K_a = -\log 6.8 \times 10^{-4} = 3.17$

এবং  $F^-$  এর  $pK_b = -\log K_b = -\log 1.5 \times 10^{-11} = 10.82$

সুতরাং  $pK_a$  ও  $pK_b$  এর উভয় মান থেকে বোঝা যায় যে, সবল এসিডের  $pK_a$  এর মান থেকে ঐ এসিডের দুর্বল অনুবন্ধী ক্ষারকের  $pK_b$  এর মান বেশি হয়।

শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.১২ :  $K_a$ ,  $K_b$ ,  $pK_a$ ,  $pK_b$  সম্পর্কীয় :

সমস্যা-৪.৪৬ (ক) : HF দুর্বল এসিড; কিন্তু HCl সবল এসিড কেন—ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৫]

সমস্যা-৪.৪৬ (খ) : ট্রাইমিথাইল অ্যামিনের  $K_b = 6.5 \times 10^{-5}$  হলে তুমি ট্রাইমিথাইল অ্যামোনিয়াম আয়ন,  $(CH_3)_3NH^+$  এর  $K_a$  এর মান বের কর। [উ:  $1.5 \times 10^{-10}$ ]

সমস্যা-৪.৪৬ (গ) : HCN এসিডের  $K_a$  হলো  $4.9 \times 10^{-10}$ ; এ এসিডের অনুবন্ধী ক্ষারক  $CN^-$  আয়নের  $K_b$  এর মান বের কর। [উ:  $2 \times 10^{-5}$ ]

সমস্যা-৪.৪৬ (ঘ) : পিরিডিন ( $C_5H_5N$ ) নামক জৈব দ্রাবকের  $pK_b = 8.74$  হলে এর পিরিডিনিয়াম আয়ন ( $C_5H_5NH^+$ ) এর  $pK_a$  কত? [উ: 5.26]

সমস্যা-৪.৪৬ (ঙ) : ফরমিক এসিড ( $HCOOH$ ) এর  $pK_a = 3.74$  হলে এর ফরমেট আয়ন ( $HCOO^-$ ) এর  $pK_b$  কত? [উ: 10.26]

সমস্যা-৪.৪৬ (চ) :  $25^\circ C$  তাপমাত্রায়  $NH_3$  এর জলীয় দ্রবণে গঠিত আয়নিক সাম্যাবস্থায়  $NH_3$ ,  $NH_4^+$  ও  $OH^-$  এর ঘনমাত্রা যথাক্রমে  $9.6 \times 10^{-3} M$ ,  $4.0 \times 10^{-4} M$  ও  $4.0 \times 10^{-4} M$ । এই তাপমাত্রায়  $NH_3$  এর বিয়োজন ধ্রুবকের মান নির্ণয় কর। [উ:  $K_b = 1.67 \times 10^{-5}$ ]

সমস্যা-৪.৪৬ (ছ) :  $25^\circ C$  তাপমাত্রায় 0.1M অ্যাসিটিক এসিডের দ্রবণে 1.34% এসিড বিয়োজিত হয়। এসিডটির বিয়োজন ধ্রুবকের মান গণনা কর। [উ:  $K_a = 1.82 \times 10^{-5}$ ]

সমস্যা-৪.৪৬ (জ) :  $25^\circ C$  তাপমাত্রায় মৃদু এক ক্ষারীয় এসিড HA এর বিয়োজন ধ্রুবকের মান  $1.6 \times 10^{-4}$ । ঐ তাপমাত্রায় 0.1M HA এর জলীয় দ্রবণে এসিডটির বিয়োজন মাত্রা বা পরিমাণ ( $\alpha$ ) কত হবে? [উ: 0.04]

সমস্যা-৪.৪৬ (ঝ) : একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় 3টি মৃদু এসিড HA, HB ও HC এর বিয়োজন ধ্রুবকের মান যথাক্রমে  $4.0 \times 10^{-5}$ ,  $5.2 \times 10^{-4}$  এবং  $8.6 \times 10^{-3}$ । প্রতিটি এসিডের জলীয় দ্রবণে মোলার ঘনমাত্রা সমান হলে এসিডগুলোকে তীব্রতার মান ক্রমানুসারে সাজাও এবং এর কারণ ব্যাখ্যা কর। [উ:  $HA < HB < HC$ ]

### ৪.১১.২ অম্লের ক্ষারকত্ব ও ক্ষারকের অম্লত্ব

#### Basicity of an Acid & Acidity of a Base

অম্ল বা এসিডের ক্ষারকত্ব : এক মোল কোনো অম্ল দ্বারা যতো মোল এক-অম্লীয় ক্ষারক বা মনোপ্রোটিক ক্ষারক (যেমন NaOH, KOH ইত্যাদি) পূর্ণ প্রশমিত হয়; ক্ষারকের ঐ মোল সংখ্যাকে ঐ অম্ল বা এসিডের ক্ষারকত্ব বলে। যেমন,

(i) এক মোল HCl এসিড দ্বারা এক মোল NaOH পূর্ণ প্রশমিত হয়। তাই HCl এর ক্ষারকত্ব হলো 1.0।





(ii) অনুরূপভাবে,  $H_2SO_4$  এর ক্ষারকত্ব হলো 2,  $H_3PO_4$  এর ক্ষারকত্ব হলো 3। কিন্তু  $H_3PO_3$  এর ক্ষারকত্ব হলো 2। কারণ  $H_3PO_3$  অণুতে দুটি H পরমাণু O-H মূলকরূপে যুক্ত আছে; যা থেকে  $H^+$  আয়ন পানিতে আয়নিত হয়।



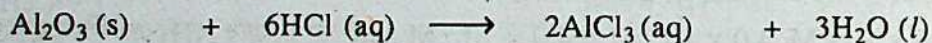
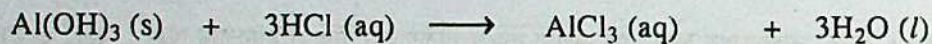
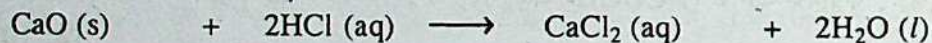
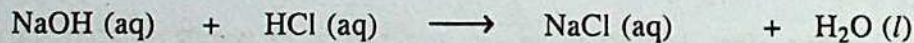
(iii) এসিডের মতো অম্লধর্মী অক্সাইডের ক্ষারকত্ব আছে। যেমন  $CO_2$  এর ক্ষারকত্ব হলো 2 এবং  $P_2O_5$  এর ক্ষারকত্ব হলো 6। নিচের বিক্রিয়ায় NaOH এর মোল সংখ্যা দেখো।



ক্ষারকের অম্লত্ব : এক মোল কোনো ক্ষারক দ্বারা যতো মোল এক-ক্ষারকীয় অম্ল বা মনোপ্রোটিক এসিড (যেমন HCl) পূর্ণ প্রশমিত হয়, অম্ল বা এসিডের ঐ মোল সংখ্যাকে ঐ ক্ষারকের অম্লত্ব বলে। যেমন,

(i) এক মোল NaOH দ্বারা এক মোল HCl এসিড পূর্ণ প্রশমিত হয়। তাই NaOH এর অম্লত্ব হলো 1.0।

(ii) অনুরূপভাবে CaO এর অম্লত্ব হলো 2,  $Al(OH)_3$  এর অম্লত্ব হলো 3 এবং  $Al_2O_3$  এর অম্লত্ব হলো 6। নিচের বিক্রিয়ায় HCl এর মোল সংখ্যা দেখো।



## ৪.১২ দ্রবণের pH, pH স্কেল

### pH of a Solution, pH Scale

প্রাণবিজ্ঞান, প্রাণ-রসায়ন ও চিকিৎসা বিজ্ঞানের বিভিন্ন রাসায়নিক পরীক্ষাকার্যে অম্ল ও ক্ষারের লঘু দ্রবণ যেমন ডেসিমোলার ( $10^{-1} \text{molL}^{-1}$ ) দ্রবণ ও এর চেয়ে কম ঘনমাত্রার দ্রবণও ব্যবহৃত হয়। আবার পানির আয়নিক গুণফল,  $K_w$  এর মান  $1 \times 10^{-14}$  ধরা হয়। কিন্তু 10 এর ঋণাত্মক ঘাত হিসেবে  $H^+$  ও  $OH^-$  আয়নের মোলার ঘনমাত্রায় একরূপ প্রকাশরীতি বেশ অসুবিধা। তাই 1909 খ্রিষ্টাব্দে ড্যানিশ প্রাণ-রসায়নবিদ সোরেনসেন অম্ল ও ক্ষারের জলীয় দ্রবণে  $H^+$  আয়ন ও  $OH^-$  আয়নের ঘনমাত্রা প্রকাশের জন্য pH স্কেল নামক একটি নতুন পদ্ধতি প্রকাশ করেন। এ pH প্রতীকটি "Puissance of hydrogen" অর্থাৎ power of hydrogen প্রকাশ করছে।

pH এর সংজ্ঞা : কোনো দ্রবণের হাইড্রোজেন আয়ন ( $H^+$ ) বা হাইড্রোনিয়াম আয়ন ( $H_3O^+$ ) এর মোলার ঘনমাত্রার ঋণাত্মক বেস-10 লগারিদমকে ঐ দ্রবণের pH বলে। তখন  $H^+$  আয়নের বা হাইড্রোনিয়াম আয়নের মোলার ঘনমাত্রা  $[H_3O^+]$ -কে pH এর সংজ্ঞা মতে নিম্নরূপে লেখা যায়,

$$pH = -\log [H_3O^+] \text{ বা, } [H_3O^+] = \text{antilog } (-pH) = 10^{-pH}$$

কোনো দ্রবণে  $H_3O^+$  আয়নের মোলার ঘনমাত্রা দশভাগ হ্রাস পেলে pH এর মান এক একক বৃদ্ধি পায়। সুতরাং যে দ্রবণের pH = 5 তা অপেক্ষা যে দ্রবণের pH = 4 তাতে  $H_3O^+$  আয়নের মোলার ঘনমাত্রা 10 গুণ বেশি হয়। কোনো দ্রবণের pH = 3 হলে তাতে  $H_3O^+$  আয়নের ঘনমাত্রা =  $10^{-3} \text{molL}^{-1}$  হয়। কোনো দ্রবণের  $H_3O^+$  আয়নের ঘনমাত্রা যতো কমতে থাকে, এর pH এর মান ততো বাড়তে থাকে।



আবার  $\text{OH}^-$ -আয়নের ক্ষেত্রে  $\text{pOH}$  এর লগারিদমীয় প্রকাশকে নিম্নরূপে লেখা যায় :

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] \text{ বা, } [\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}}$$

**pH স্কেল নির্ধারণ :**  $25^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় পানির আয়নিক গুণফল,

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] = 1 \times 10^{-14} \text{ ধরা হয়।}$$

$$\therefore [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] = 10^{-14}$$

উভয়দিকে  $\log$  নিয়ে পাই,  $\log[\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] = \log 10^{-14}$

$$\text{বা, } \log[\text{H}_3\text{O}^+] + \log [\text{OH}^-] = -14$$

$$\text{বা, } -\text{pH} - \text{pOH} = -14; \text{ বা, } \text{pH} + \text{pOH} = 14 \dots \dots (১)$$

$$\text{সুতরাং ক্ষারীয় দ্রবণের } \text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - (-\log [\text{OH}^-])$$

বিশুদ্ধ পানিতে শুধুমাত্র পানির বিয়োজন থেকে  $\text{H}_3\text{O}^+$  ও  $\text{OH}^-$  তৈরি হয়। যেহেতু এক অণু পানি থেকে একটি  $\text{H}_3\text{O}^+$  আয়ন ও একটি  $\text{OH}^-$  আয়ন তৈরি হয়; সেহেতু বিশুদ্ধ পানিতে তাদের ঘনমাত্রা সমান থাকে। অর্থাৎ

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]; \therefore [\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{OH}^-] = [\text{H}_3\text{O}^+]^2 = 10^{-14}$$

$$\text{বা, } [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-7}; \therefore \text{pH} = 7$$

সুতরাং বিশুদ্ধ পানিতে **pH এর মান 7।**

আমরা জানি,  $1\text{M HCl}$  দ্রবণে  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1\text{mol H}^+ \text{ ion L}^{-1}$ ।

$\therefore 1\text{M HCl}$  দ্রবণের ক্ষেত্রে পাই,  $\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log 1 = -\log 10^0 = 0$ । যেহেতু  $1\text{M HCl}$  এর  $\text{pH} = 0$ , সুতরাং  $\text{pOH} = 14$ ।

$$\text{কারণ } \text{pH} + \text{pOH} = 14$$

আবার,  $1\text{M NaOH}$  দ্রবণের  $\text{pH} = 14$ ;  $\text{pOH} = 0$ ।

সুতরাং **যে কোনো জলীয় দ্রবণের pH(ও pOH) এর মান 0 থেকে 14 এর মধ্যে থাকবে।**

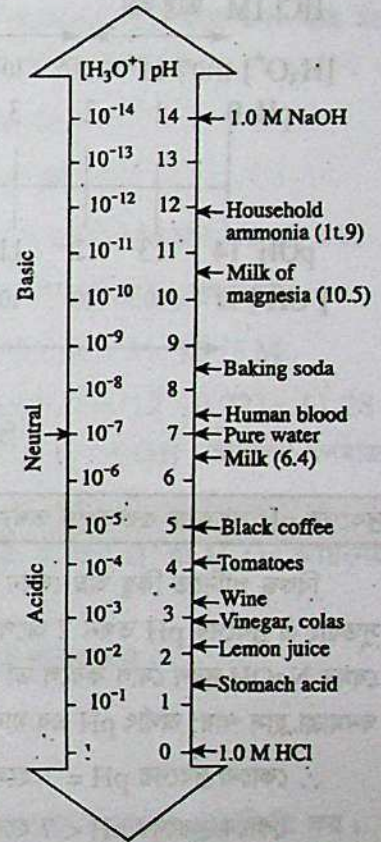
বিভিন্ন pH বা, pOH এর মানের দ্রবণের অবস্থা নিম্নোক্ত চিত্র-৪.২৪ দ্বারা সহজে বোঝা যায়। সাধারণভাবে গবেষণাগারে  $1\text{M}$  দ্রবণের বেশি ঘনমাত্রার এসিড ও ক্ষার দ্রবণ ব্যবহার করা হয় না।

লক্ষ কর, এক্ষেত্রে  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  এর সাধারণ  $\log$  নেয়া হয়েছে।  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  এর এককবিহীন সংখ্যা হিসেবে গণ্য করা হয়। কারণ এটিকে প্রকৃত ঘনমাত্রা ও প্রমাণ অবস্থায় ঘনমাত্রা ( $1\text{M}$ ) এর অনুপাতরূপে গণ্য করা হয়।

আবার লক্ষ কর, লেমন জুসের দ্রবণে  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 2.5 \times 10^{-3}\text{M}$  ধরে তোমার ক্যালকুলেটরে সংখ্যাগুলো দিলে তুমি দেখবে,

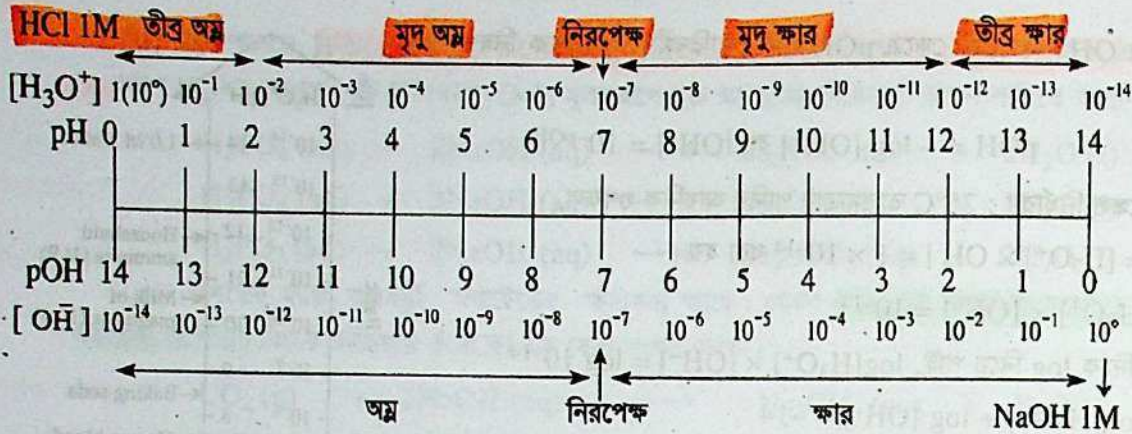
$$\text{pH} = -\log (2.5 \times 10^{-3}) = (-1) (\log 10^{-3} + \log 2.5) = (3 - 0.39794) = 2.60206 \text{ হয়।}$$

কিন্তু pH এর মান দশমিকের পর দুই ডিজিটে অর্থবোধক করে লিখতে হবে। তখন লেমন জুসের pH হবে 2.60। চিত্র-৪.২৩-এ কিছু সাধারণ বস্তুর pH মান pH স্কেলে দেখানো হয়েছে।



চিত্র-৪.২৩ : কয়েকটি সাধারণ বস্তুর pH মান এবং pH স্কেল





চিত্র-৪.২৪ : pH স্কেল [pH এর মান 0 থেকে 14]।

**দ্রবণের pH সংক্রান্ত গুরুত্বপূর্ণ তথ্য :**

বিশুদ্ধ পানিতে কিছু অম্ল যেমন HCl দ্রবণ যোগ করলে এর বিয়োজন থেকে দ্রবণে  $H_3O^+$  এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায়। সুতরাং এই দ্রবণের pH তখন 7 অপেক্ষা কম হয়। তখন দ্রবণটি অম্লীয় হবে। অপরদিকে বিশুদ্ধ পানিতে কোনো ক্ষারক যেমন NaOH দ্রবণ যোগ করলে তা থেকে দ্রবণে  $OH^-$  এর পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। সুতরাং ভরক্রিয়া সূত্র অনুযায়ী  $H_3O^+$  এর ঘনমাত্রা হ্রাস পায়; অর্থাৎ pH এর মান 7 থেকে বেশি হয়। তখন দ্রবণটি ক্ষারীয় হবে।

∴ কোনো দ্রবণের pH = 7 হলে, তা হবে নিরপেক্ষ দ্রবণ।

কোনো দ্রবণের pH < 7 হলে, তা হবে অম্লীয় দ্রবণ।

কোনো দ্রবণের pH > 7 হলে, তা হবে ক্ষারীয় দ্রবণ।

**MCQ-4.23 :** নিচের কোন pH মানের দ্রবণটিতে  $H^+$  আয়নের ঘনমাত্রা সবচেয়ে বেশি?  
(ক) 9.5 (খ) 7.4 (গ) 2.3 (ঘ) 5.5

(২) দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পেলে এর pH মান হ্রাস পায় এবং মোলার ঘনমাত্রা হ্রাস পেলে, এর pH মান বৃদ্ধি পায়।

(৩) বিশুদ্ধ পানিতে বা কোনো জলীয় দ্রবণে  $pH + pOH = pK_w$

(৪)  $25^\circ C$  তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ পানিতে বা জলীয় দ্রবণে  $pH + pOH = pK_w = 14$

**pH স্কেল প্রয়োগ :** p-স্কেল নিম্নোক্ত কাজেও ব্যবহৃত হয়। যেমন, (১) হাইড্রক্সাইড আয়নের মোলার ঘনমাত্রা,  $[OH^-]$  প্রকাশে  $pH = -\log[OH^-]$  লেখা হয়। অম্লীয় দ্রবণের pOH মান ক্ষারীয় দ্রবণের চেয়ে বেশি হবে। (২) এসিডের সাম্য ধ্রুবকের ( $K_a$  এর) মানকে p স্কেলে প্রকাশ করা হয়। যেমন  $pK_a = -\log K_a$  এক্ষেত্রে অম্লের সাম্যধ্রুবকের মান যতো বাড়বে  $pK_a$  এর মান বিপরীতভাবে ততো কমবে।

**চিন্তা কর :**  $25^\circ C$ -এ পানির  $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$  এবং পানির pH = 7 হয়। পানির pH মান সব সময় কী 7 বা ধ্রুব থাকে? না, পানির pH মান তাপমাত্রা নির্ভরশীল  $K_w$  এর মানের ওপর নির্ভর করে এবং পরিবর্তনশীল। যেমন,  $50^\circ C$ -এ পানির  $K_w = 5.5 \times 10^{-14}$  হয়। তখন  $H_3O^+$  ও  $OH^-$  আয়নের ঘনমাত্রা বেড়ে  $2.345 \times 10^{-7} M$  হয় (শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.১১ এর সমস্যা-৪৪(ক) নং দেখ)। অর্থাৎ  $50^\circ C$ -এ পানির  $pH = -\log [H_3O^+] = -\log 2.345 \times 10^{-7} = 6.63$ । অত্রপ  $100^\circ C$ -এ পানির  $K_w = 8.70 \times 10^{-14}$  এবং  $H_3O^+$  ও  $OH^-$  এর ঘনমাত্রা  $2.95 \times 10^{-7} M$  হয়, তখন  $100^\circ C$ -এ পানির pH হ্রাস পেয়ে 6.53 হয়। পানির বিয়োজন তাপহারী হওয়ায়, তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে  $K_w$  এর মান ও  $[H_3O^+]$  ঘনমাত্রা বাড়ে। তাই তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে পানির pH মান হ্রাস পায়।



সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩৭ : এসিড বৃষ্টির ক্ষতিকর প্রভাবে পানির pH হ্রাস পেয়ে 4.5–5.0 হলে তখন মাছ মরে যায়। এসিড বৃষ্টির পর কোনো হ্রদের পানির pH 4.5 হলে ঐ পানিতে  $H_3O^+$  আয়নের ঘনমাত্রা বের কর।

দক্ষতা : ঋণাত্মক pH এর মানের অ্যান্টিলগ নিলে  $H_3O^+$  আয়নের ঘনমাত্রা পাওয়া যায়।

সমাধান :  $[H_3O^+] = \text{antilog}(-pH) = 10^{-pH} = 10^{-4.5} = 3.16 \times 10^{-5} M$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩৮ : জলীয় অ্যামোনিয়া দ্রবণে  $OH^-$  আয়নের ঘনমাত্রা  $1.9 \times 10^{-3} M$  হলে এর pH কত?

দক্ষতা : প্রথমে  $OH^-$  এর ঘনমাত্রা থেকে  $H_3O^+$  এর ঘনমাত্রা বের করে, শেষে এর ঋণাত্মক log নেয়া হবে।

সমাধান : আমরা জানি,  $[H_3O^+] = K_w/[OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}/(1.9 \times 10^{-3}) = 5.3 \times 10^{-12} M$

$\therefore pH = -\log [H_3O^+] = -\log (5.3 \times 10^{-12}) = (-1)(\log 10^{-12} + \log 5.3) = (12 - 0.72) = 11.28$

উল্লেখ্য pH এর মান দশমিকের পর দু'ডিজিট পর্যন্ত নিতে হয়। একই নিয়মে  $H_3O^+$  ও  $OH^-$  আয়নের ঘনমাত্রা দশমিকের পর দু'ডিজিট পর্যন্ত নিতে হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৩৯ : পাকস্থলীতে পাচকরসে pH এর মান 1.4 হলে ঐ রসে  $H^+$  বা  $H_3O^+$  আয়নের মোলার ঘনমাত্রা কত হবে?

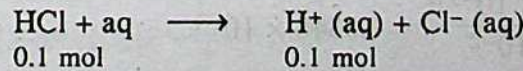
দক্ষতা : ঋণাত্মক pH এর মানের অ্যান্টিলগ নিলে  $H_3O^+$  আয়নের মোলার ঘনমাত্রা পাওয়া যায়।

সমাধান :  $[H_3O^+] = \text{antilog}(-pH) = 10^{-pH} = 10^{-1.4} = 0.04 M$

$\therefore$  পাচক রসে  $H^+$  আয়ন বা  $H_3O^+$  আয়নের মোলার ঘনমাত্রা = 0.04 M

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪০ : (ক) 0.1M HCl, (খ) 0.2M HCl, (গ) 0.01M HCl দ্রবণের pH নির্ণয় কর।

সমাধান : (ক) 0.1M HCl দ্রবণে  $[H^+] = 0.1 \text{ mol } H^+ \text{ ion } L^{-1}$ । কারণ 0.1M HCl দ্রবণে HCl পূর্ণ আয়নিত হয়।



$\therefore pH = -\log [H^+] = -\log 0.1 = -\log 10^{-1} = 1$  (উঃ)

(খ) 0.2 M HCl দ্রবণে  $[H^+] = 0.2 \text{ mol } H^+ \text{ ion } L^{-1}$ । কারণ 0.2 M HCl পূর্ণ আয়নিত হয়।

$\therefore pH = -\log [H^+] = -\log (0.2) = -(-0.69) = 0.69$  (প্রায়) (উঃ)

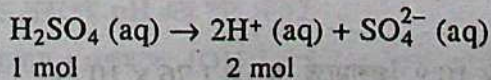
(গ) 0.01M HCl দ্রবণে  $[H^+] = 0.01 \text{ mol } H^+ \text{ ion } L^{-1}$ । কারণ 0.01M HCl পূর্ণ আয়নিত হয়।

$\therefore pH = -\log [H^+] = -\log (0.01) = -\log 10^{-2} = 2$  (উঃ)

\* দেখা যাচ্ছে দ্রবণে অম্লের মোলার ঘনমাত্রার পরিমাণ যত বেশি, pH এর মান ততো কম।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪১ : 0.005 M  $H_2SO_4$  এসিডের pH গণনা কর।

সমাধান : জলীয় দ্রবণে 0.005 M  $H_2SO_4$  এর পূর্ণ বিয়োজন ঘটে এবং দ্বিগুণ সংখ্যক  $H^+$  আয়ন তৈরি করে।



$\therefore [H^+] = 2 \times 0.005 \text{ mol } H^+ \text{ ion } L^{-1} = 0.01 \text{ mol } H^+ \text{ ion } L^{-1}$

$\therefore pH = -\log [H^+] = -\log 0.01 = -\log 10^{-2} = -(-2) = 2$  (উঃ)



৪৬২

রসায়ন-প্রথম পত্র

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪২ : 0.01 M অ্যাসিটিক এসিড দ্রবণের pH হিসাব কর। দেয়া আছে, উপরোক্ত ঘনমাত্রায় ঐ অম্ল বা এসিডের শতকরা বিয়োজন 12.5%।



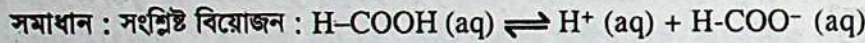
এসিডটি 12.5% বিয়োজিত হয়েছে। তাই 0.01 M দ্রবণে  $[\text{H}^+]$  আছে—

$$= 0.01 \times 0.125 = 1.25 \times 10^{-3} \text{ mol H}^+ \text{ ion L}^{-1}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log (1.25 \times 10^{-3}) = (-\log 1.25 - \log 10^{-3}) \\ = (-0.097 + 3) = 2.90 \text{ (উ:)}$$

সাধারণভাবে বলা যায় যে, একই ঘনমাত্রার তীব্র এসিড অপেক্ষা দুর্বল এসিড দ্রবণে হাইড্রোজেন আয়নের ঘনমাত্রা কম হবে। সুতরাং সেক্ষেত্রে pH বেশি হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪৩ :  $1.0 \times 10^{-2}$  M ঘনমাত্রার ফরমিক এসিড (H-COOH) এর বিয়োজন ধ্রুবক ( $K_a$ ) এর মান গণনা কর। ঐ দ্রবণের pH হলো 2.90।



$$K_a = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{HCOO}^-]}{[\text{H-COOH}]}; \text{ এক্ষেত্রে } [\text{H}^+] = [\text{HCOO}^-]$$

$$= \frac{[\text{H}^+] \times [\text{H}^+]}{[\text{H-COOH}]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{HCOOH}]};$$

$$\text{দেয়া আছে, } [\text{HCOOH}] = 1.0 \times 10^{-2} \text{ M}$$

$$\text{pH} = 2.90$$

$$[\text{H}^+] = ?$$

$$K_a = ?$$

আমরা জানি,  $[\text{H}^+] = \text{antilog}(-\text{pH})$

$$\text{বা, } [\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-2.9} = 1.2589 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$\therefore K_a = \frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{H-COOH}]} = \frac{(1.2589 \times 10^{-3})^2}{1.0 \times 10^{-2}} = 1.5848 \times 10^{-4}$$

$$\therefore K_a = 1.5848 \times 10^{-4}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪৪ : 298 K বা, 25° C তাপমাত্রায় একটি 0.1 M ইথানোয়িক এসিড দ্রবণের pH নির্ণয় কর।  $[K_a = 1.76 \times 10^{-5}]$



$$\therefore K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-] \times [\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}; \text{ এক্ষেত্রে দ্রবণে } [\text{CH}_3\text{COO}^-] = [\text{H}^+] \text{ হয়।}$$

আবার ইথানোয়িক এসিড দুর্বল এসিড হওয়ায় অতি অল্প পরিমাণে আয়নিত হয়। তাই দ্রবণে অবিয়োজিত  $\text{CH}_3\text{COOH}$  এর ঘনমাত্রা  $0.1 \text{ mol L}^{-1}$  ধরা যায়।

$$\text{তখন, } K_a = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-] \times [\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{0.1}$$

$$\text{বা, } [\text{H}^+]^2 = K_a \times 0.1 = (1.76 \times 10^{-5}) \times 0.1 = 1.76 \times 10^{-6} \text{ [প্রশ্নমতে, } K_a = 1.76 \times 10^{-5}]$$

$$\therefore [\text{H}^+] = \sqrt{1.76 \times 10^{-6}} = 1.33 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$$

$$\therefore \text{pH} = -\log (1.33 \times 10^{-3}) = 2.88 \text{ (উ:)}$$



সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪৫ : কোনো জলীয় দ্রবণে হাইড্রোজেন আয়নের ঘনমাত্রা  $3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$  হলে ঐ দ্রবণের pH কত হবে? দ্রবণটির প্রকৃতি অম্লীয় হবে নাকি ক্ষারীয় হবে?

সমাধান : প্রশ্নমতে,  $[H^+] = 3 \times 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$

$$\therefore \text{pH} = -\log [H^+] = -\log (3 \times 10^{-5})$$

$$= -[\log 3 - 5 \log 10] = -0.4771 + 5 = 4.52$$

$\therefore$  দ্রবণের pH = 4.52; যেহেতু দ্রবণের pH এর মান 7 এর চেয়ে কম, তাই দ্রবণটি অম্লীয় হবে। (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪৬ : (ক) 1 M NaOH, (খ) 0.1 M NaOH, (গ) 0.02 M NaOH, (ঘ) 0.001 M NaOH দ্রবণের pH হিসাব কর।

সমাধান : যেহেতু NaOH একটি তীব্র ক্ষার, উপরিউক্ত লঘু দ্রবণসমূহে NaOH সম্পূর্ণরূপে বিয়োজিত থাকবে। সুতরাং এর ঘনমাত্রা দ্রবণে  $\text{OH}^-$  আয়নের ঘনমাত্রার সমান।  $\text{NaOH (aq)} \rightarrow \text{Na}^+ \text{(aq)} + \text{OH}^- \text{(aq)}$

(ক) 1 M NaOH এর ক্ষেত্রে  $[\text{OH}^-] = 1 \text{ mol OH}^- \text{ ion L}^{-1}$ ;  $\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-] = -\log 1 = 0$

সুতরাং  $\text{pH} = 14 - \text{pOH} = (14 - 0) = 14$  (উঃ)

(খ) 0.1 M NaOH এর বেলায়  $[\text{OH}^-] = 0.1 \text{ mol OH}^- \text{ ion L}^{-1}$ ;

$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-] = -\log 0.1 = 1$ ;  $\text{pH} = 14 - \text{pOH} = (14 - 1) = 13$  (উঃ)

(গ) 0.02 M NaOH দ্রবণের বেলায়  $[\text{OH}^-] = 0.02 \text{ mol OH}^- \text{ ion L}^{-1}$ ;

$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log 0.02 = 1.7$ ;  $\therefore \text{pH} = (14 - \text{pOH}) = (14 - 1.7) = 12.3$  (উঃ)

(ঘ) 0.001 M NaOH এর বেলায়  $[\text{OH}^-] = 10^{-3} \text{ mol OH}^- \text{ ion L}^{-1}$ ;

$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log 10^{-3} = 3$ ;  $\text{pH} = 14 - \text{pOH} = (14 - 3) = 11$  (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪৭ : 2.5% NaOH দ্রবণের pH নির্ণয় কর।

সমাধান : 2.5% NaOH দ্রবণে NaOH সম্পূর্ণরূপে আয়নিত থাকে।

2.5% NaOH দ্রবণের 100 mL দ্রবণে 2.5 g NaOH দ্রবীভূত থাকে।

$\therefore$  1000 mL ঐ দ্রবণে  $(2.5 \times 10) \text{ g} = 25 \text{ g NaOH}$  দ্রবীভূত থাকবে।

NaOH এর গ্রাম-আণবিক ভর = 40 g.  $\therefore 25 \text{ g NaOH} = \frac{25}{40} \text{ mol NaOH}$ .

$\therefore$  1000 mL NaOH দ্রবণে  $(25/40) \text{ mol}$  আছে = 0.625 mol NaOH আছে।

$\therefore$  0.625 M NaOH এর ক্ষেত্রে  $[\text{OH}^-] = 0.625 \text{ mol L}^{-1}$

$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log 0.625 = 0.204$  (প্রায়)

$\therefore \text{pH} = 14 - \text{pOH} = (14 - 0.204) = 13.796$  (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪৮ : একটি দ্রবণের হাইড্রক্সাইড আয়ন ( $\text{OH}^-$ ) এর ঘনমাত্রা  $8.2 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$  হলে উক্ত দ্রবণের pH এর মান কত?

সমাধান : প্রশ্নমতে,  $[\text{OH}^-] = 8.2 \times 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$

$$\therefore \text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log (8.2 \times 10^{-4})$$

$$= -[\log 8.2 - 4 \log 10] = (-0.9138 + 4) = 3.09$$

$\therefore$  ঐ ক্ষার দ্রবণের  $\text{pH} = (14 - \text{pOH}) = (14 - 3.09) = 10.91$  (উঃ)

**MCQ-4.24** :  $\text{Al}_2\text{O}_3$  এর অম্লত্ব কত? [য. বো. ২০১৫]

(ক) 2 (খ) 3 (গ) 5 (ঘ) 6



৪৬৪

রসায়ন-প্রথম পত্র

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৪৯ :  $\text{NH}_3$  এর অনুবন্ধী অম্ল ( $\text{NH}_4^+$ ) এর  $K_a = 5.8 \times 10^{-10}$  হলে  $\text{NH}_3$  এর  $K_b$  এর মান কত?

সমাধান : অনুবন্ধী বা কনজুগেট অম্ল-ক্ষারক সম্পর্ক হলো,  $K_a \times K_b = 10^{-14}$

প্রশ্নমতে,  $K_a = 5.8 \times 10^{-10}$ ;  $\therefore K_b = \frac{10^{-14}}{5.8 \times 10^{-10}} = 1.72 \times 10^{-5}$  (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫০ :  $25^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় জৈব ক্ষারক ডাইমিথাইল অ্যামিনের  $1.0 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$  জলীয় দ্রবণের pH এর মান 7.64 হলে ঐ ক্ষারকের বিয়োজন ধ্রুবক  $K_b$  এর মান কত হবে?

সমাধান : ক্ষারকটির বিয়োজন সমীকরণ নিম্নরূপ :



$$\therefore K_b = \frac{[(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2^+] \times [\text{OH}^-]}{[(\text{CH}_3)_2\text{NH}]} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{1.0 \times 10^{-2}}; \quad [(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2^+] = [\text{OH}^-]$$

প্রশ্নমতে,  $\text{pH} = 7.64$ ;  $\therefore \text{pOH} = (14.0 - 7.64) = 6.36$

$\therefore [\text{OH}^-] = \text{anti log} (-6.36) = 4.37 \times 10^{-7} \text{ mol/L}^{-1}$

$\therefore K_b = (4.37 \times 10^{-7})^2 / (1.0 \times 10^{-2}) = 1.91 \times 10^{-11}$  (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫১ :  $25^\circ\text{C}$  তাপমাত্রায় একটি দ্রবণের pH 5.50 হলে ঐ দ্রবণে  $\text{OH}^-$  আয়নের ঘনমাত্রা কত?

সমাধান : আমরা জানি, কোনো দ্রবণের  $\text{pH} + \text{pOH} = 14.00$

$\therefore \text{pOH} = 14.00 - \text{pH}$

দেয়া আছে,

বা,  $\text{pOH} = (14.00 - 5.50) = 8.50$

$\text{pH} = 5.50$

বা,  $-\log [\text{OH}^-] = 8.50$  বা,  $\log [\text{OH}^-] = -8.50$

$[\text{OH}^-] = ?$

বা,  $[\text{OH}^-] = \text{antilog} (-8.50) = 3.16 \times 10^{-9} \text{ M}$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫২ : একটি ফলের রসে  $\text{H}^+$  আয়নের ঘনমাত্রা  $3.3 \times 10^{-2} \text{ M}$  হলে ঐ ফলের রসের কত? ঐ ফলের রসটি অম্লীয় না ক্ষারীয় প্রকৃতির হবে?

সমাধান : আমরা জানি,  $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$

দেয়া আছে,

$\therefore \text{pH} = -\log (3.3 \times 10^{-2}) = 1.48$

$[\text{H}^+] = 3.3 \times 10^{-2} \text{ M}$

$\therefore$  ফলের রসের  $\text{pH} = 1.48$ , যেহেতু এর  $\text{pH}$  এর মান 7 থেকে কম; তাই ফলের রসটি অম্লীয় প্রকৃতির হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫৩ :  $\text{pH} = 3$  এবং  $\text{pH} = 6$  মাত্রার দুটি দ্রবণ দেয়া আছে। কোনটি বেশি অম্লীয় ও কতগুণ বেশি অম্লীয় তা ব্যাখ্যা কর।

সমাধান : আমরা জানি,

$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] \therefore [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \text{ M}$

যখন  $\text{pH} = 3$ , তখন  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3} \text{ M}$

যখন  $\text{pH} = 6$ , তখন  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-6} \text{ M}$

সুতরাং  $\text{pH} = 3$  এবং  $\text{pH} = 6$  মাত্রার দ্রবণ দুটির মধ্যে প্রথম দ্রবণে  $\text{H}_3\text{O}^+$  আয়নের ঘনমাত্রা দ্বিতীয়টির চেয়ে অর্থাৎ ১০০০ গুণ বেশি।

কাজেই  $\text{pH} = 3$  মাত্রার দ্রবণটি বেশি অম্লীয় হবে।

MCQ-4.25 :  $\text{H}_3\text{PO}_2$  এর ক্ষারকত্ব কত? (দি. বো. ২০১১)  
(ক) 1 (খ) 2 (গ) 3 (ঘ) 4



গণনা করে দেখা যায়,  $pH = 3$  মানবিশিষ্ট দ্রবণে  $H_3O^+$  আয়নের ঘনমাত্রা,  $pH = 6$  মানবিশিষ্ট দ্রবণে  $H_3O^+$  আয়নের ঘনমাত্রা অপেক্ষা  $\frac{10^{-3}}{10^{-6}} = 10^3$  গুণ বেশি। সুতরাং, প্রথম দ্রবণটির অম্লের শক্তিমাত্রা দ্বিতীয় দ্রবণ অপেক্ষা 1000 গুণ বেশি।

শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.১৩ : দ্রবণের  $pH$ ,  $K_a$  ও  $K_b$  ভিত্তিক সমস্যা :

সমস্যা-৪.৪৭ : (ক) সমুদ্রের পানির  $OH^-$  ঘনমাত্রা  $1.58 \times 10^{-6}$  হলে এর  $pH$  কত? [উ: 8.20]

(খ) এসিড বৃষ্টির পানিতে  $H_3O^+$  ঘনমাত্রা  $6.0 \times 10^{-5}$  হলে এর  $pH$  কত? [উ: 4.22]

(গ)  $0.05 M H_2SO_4$  দ্রবণের  $pH$  কত? [উ: 1]

(ঘ)  $0.01 M HCl$  দ্রবণের  $pH$  কত হবে? [উ: 2]

(ঙ)  $25^\circ C$ -এ  $0.1 M CH_3COOH$  এর  $pH$  কত? এটির  $K_a = 1.76 \times 10^{-5}$ . [উ: 2.88]

দ্রষ্টব্য : এক্ষেত্রে  $[H^+] = [CH_3COO^-] \therefore [H^+] \times [CH_3COO^-] = [H^+]^2$  হয়।

(চ)  $0.2 M NaOH$  দ্রবণের  $pH$  কত? [উ: 13.3]

(ছ)  $2.5\% NaOH$  দ্রবণের  $pH$  কত? [উ: 13.79]

(জ) অ্যাসিটিক এসিডের বিয়োজন পরিমাণ  $12.5\%$  হলে  $0.01 M CH_3COOH$  দ্রবণের  $pH$  কত? [উ: 0.903]

দ্রষ্টব্য :  $12.5\%$  বিয়োজিত  $0.01 M$  এসিড দ্রবণে  $[H^+] = 0.01 \times 12.5 M$ ।

সমস্যা-৪.৪৮ : (ক) মানুষের রক্তে  $pH$  7.40 হলে এতে  $H_3O^+$  ও  $OH^-$  ঘনমাত্রা কত?

[উ:  $[H_3O^+] = 4.0 \times 10^{-8} M$ ;  $[OH^-] = 2.5 \times 10^{-7} M$ ]

(খ) কোকা-কোলা পানীয়ে  $pH$  2.8 হলে এতে  $H_3O^+$  ও  $OH^-$  ঘনমাত্রা কত হবে?

[উ:  $[H_3O^+] = 1.58 \times 10^{-3} M$ ;  $[OH^-] = 6.3 \times 10^{-12} M$ ]

(গ) কমলা লেবুর রসে  $pH$  3.80 হলে ঐ রসে  $H^+$  ও  $OH^-$  এর ঘনমাত্রা কত?

[উ:  $1.58 \times 10^{-4} M$ ;  $6.31 \times 10^{-11} M$ ]

সমস্যা-৪.৪৯ : চারুশিল্প প্রকল্পের মেরামত কাজের অধিকর্তা কপার প্লেটে নক্সার কাজে ব্যবহারের জন্য গাঢ়  $HNO_3$  কে লঘুকরণে (ক)  $2.0 M$  ও (খ)  $0.30 M$  এসিড দ্রবণ তৈরি করল। ঐ দ্রবণে  $[H_3O^+]$ ,  $pH$ ,  $[OH^-]$  ও  $pOH$  গণনা কর।

[উ: (ক)  $[H_3O^+] = 2.0 M$ ,  $pH = -0.30$ ,  $[OH^-] = 5.0 \times 10^{-15} M$ ,  $pOH = 14.30$ ]

(খ)  $[H_3O^+] = 0.30 M$ ,  $pH = 0.52$ ,  $[OH^-] = 3.3 \times 10^{-14} M$ ,  $pOH = 13.48$ ]

(গ) কোনো সফট ড্রিংকের  $pH = 4.80$  হলে এতে  $H_3O^+$  আয়ন ও  $OH^-$  আয়নের মোলার ঘনমাত্রা কত?

[উ:  $[H_3O^+] = 1.5848 \times 10^{-5} M$ ;  $[OH^-] = 6.309 \times 10^{-10} M$ ]

(ঘ) একটি নমুনা  $HCl$  দ্রবণের  $pH$  3 হলে ঐ দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা কত হবে? [উ:  $1.0 \times 10^{-3} M$ ]

(ঙ) একটি নমুনা  $NaOH$  দ্রবণের  $pH$  11 হলে ঐ দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা কত হবে? [উ:  $1.0 \times 10^{-3} M$ ]

(চ)  $10.8 \times 10^{-2} M HCl$  দ্রবণের  $pH$  কত হবে? [উ: 0.97]

(ছ)  $2.5 \times 10^{-2} M H_2SO_4$  দ্রবণের  $pH$  কত হবে? [উ: 1.30]

(জ) কোনো নমুনা এসিডের জলীয় দ্রবণের  $pH$  3.60 হলে ঐ দ্রবণের প্রতি লিটারে  $H_3O^+$  আয়নের মোলার ঘনমাত্রা ও আয়নের সংখ্যা কত হবে? [উ:  $[H_3O^+] = 2.512 \times 10^{-4} M$ ;  $H_3O^+$  আয়নের সংখ্যা =  $15.127 \times 10^{17}$  টি]

(ঝ) কোনো নমুনা এসিড দ্রবণের  $pH$  5.65 হলে ঐ দ্রবণের প্রতি লিটারে  $OH^-$  আয়নের মোলার ঘনমাত্রা ও  $OH^-$  আয়নের সংখ্যা কত হবে? [উ:  $[OH^-] = 4.47 \times 10^{-9} M$ ;  $OH^-$  আয়নের সংখ্যা =  $2.692 \times 10^{17}$  টি]



(এ) 25°C তাপমাত্রায় 0.5 M মিথাইল অ্যামিন (CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub> ) দ্রবণের pH কত হবে? [K <sub>b</sub> = 4.8 × 10 <sup>-4</sup> ]	[উ: 12.04]
(ট) 0.25 M ঘনমাত্রার CH <sub>3</sub> COOH দ্রবণের pH = 2.68 হলে ঐ এসিডের বিয়োজন ধ্রুবকের মান কত হবে?	[উ: 1.746 × 10 <sup>-5</sup> ]
(ঠ) 0.25 M ঘনমাত্রার HCN দ্রবণের pH = 5 হলে ঐ এসিডের বিয়োজন ধ্রুবকের মান কত হবে?	[উ: 4.0 × 10 <sup>-10</sup> ]
(ড) 25°C তাপমাত্রায় কোনো নমুনা NH <sub>4</sub> OH দ্রবণের ঘনমাত্রা হলো 0.25 M। ঐ NH <sub>4</sub> OH এর বিয়োজন ধ্রুবকের মান 1.76 × 10 <sup>-5</sup> হলে ঐ দ্রবণের pH মান কত হবে?	[উ: 11.32]

**জেনে নাও :** কোনো দ্রবণের pH এর মান 0 থেকে কম অথবা 14 থেকে বেশি হতে পারে কি?

হ্যাঁ, কোনো দ্রবণের pH এর মান 0 থেকে কম এবং 14 থেকে বেশি হতে পারে। কারণ pH স্কেল প্রতিষ্ঠাকালে 1M HCl দ্রবণের pH = 0 এবং 1M NaOH দ্রবণের pH = 14 - pOH = 14 - 0 = 14 ধরে pH স্কেল স্থির করা হয়েছে। তাই 1M HCl এর বেশি ঘনমাত্রার যেমন 2M HCl দ্রবণের বেলায়, [H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>] = 2 mol H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> হয়; pH = -log 2 = -0.30 হয়। অনুরূপভাবে 2M NaOH এর বেলায়, pH = [14 - pOH] = [14 - (-0.3)] = 14.3 হবে। তবে pH স্কেল প্রতিষ্ঠার ধারণা ছিল 1M দ্রবণের চেয়ে অতি লঘু দ্রবণ যেমন 0.01M ইত্যাদি দ্রবণের ঘনমাত্রাকে সংক্ষেপে প্রকাশ করা। তাই pH পদটি বিশেষত অতি লঘু দ্রবণের ঘনমাত্রা প্রকাশে ব্যবহৃত হয়।

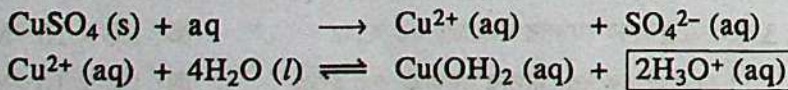
### 8.১২.১ লবণের আর্দ্র বিশ্লেষণ

#### Salt Hydrolysis

অধিকাংশ লবণ যেমন NaCl, KCl, NaNO<sub>3</sub>, KNO<sub>3</sub> পানিতে দ্রবীভূত হয়ে নিরপেক্ষ দ্রবণ তৈরি করে। আবার অনেক লবণের জলীয় দ্রবণ অম্লীয় অথবা ক্ষারীয় হয়। অসমশক্তির অম্ল ও ক্ষারক থেকে উৎপন্ন লবণের ক্যাটায়ন বা অ্যানায়ন পানির সাথে ক্রিয়া করে যথাক্রমে অম্লধর্মী বা ক্ষারধর্মী জলীয় দ্রবণ তৈরি করে থাকে। এরূপ বিক্রিয়াকে লবণের আর্দ্র বিশ্লেষণ বলা হয়। নিম্নোক্ত দু'প্রকারে আর্দ্র বিশ্লেষণ ঘটে।

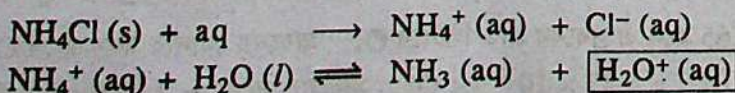
(ক) যেসব লবণ দুর্বল ক্ষারক ও সবল অম্ল থেকে উৎপন্ন, তারা দ্রবণে আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে অম্লীয় দ্রবণ তৈরি করে। যেমন,

**উদাহরণ-১।** কপার সালফেট (CuSO<sub>4</sub>) হলো দুর্বল ক্ষারক Cu(OH)<sub>2</sub> ও সবল অম্ল H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> এর লবণ। এটি পানিতে দ্রবীভূত অবস্থায় প্রথমে Cu<sup>2+</sup> আয়ন ও SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> আয়নে বিভক্ত হয়। পরে দ্রবণে Cu<sup>2+</sup> আয়ন পানির সাথে নিম্ন সমীকরণ মতে বিক্রিয়া করে দ্রবণে হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) বৃদ্ধি করে।



ফলে দ্রবণে H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> আয়নের সংখ্যা বাড়ার কারণে দ্রবণে pH এর মান 7 এর চেয়ে কম হয়; অর্থাৎ CuSO<sub>4</sub> এর দ্রবণটি অম্লীয় হয়। এ ধরনের বিক্রিয়াকে ক্যাটায়নিক আর্দ্রবিশ্লেষণ বলা হয়।

**উদাহরণ-২।** অনুরূপভাবে, NH<sub>4</sub>Cl হলো দুর্বল ক্ষারক NH<sub>4</sub>OH ও সবল অম্ল HCl এর লবণ। এটি পানিতে প্রথমে আয়নে বিভক্ত হয়। পরে দ্রবণে NH<sub>4</sub><sup>+</sup> আয়নের আর্দ্রবিশ্লেষণ নিম্নরূপে ঘটে এবং দ্রবণটি অম্লীয় হয়।



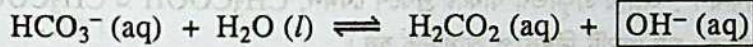
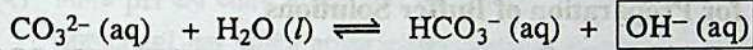
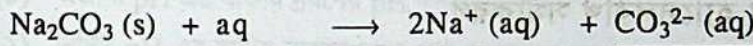


ফলে দ্রবণে  $H_3O^+$  আয়নের সংখ্যা বাড়ার কারণে pH এর মান 7 এর চেয়ে কম হয়; অর্থাৎ  $NH_4Cl$  এর জলীয় দ্রবণ অম্লীয় হয়। এ ধরনের বিক্রিয়াকে ক্যাটায়নের অর্ধ-বিশ্লেষণ বলা হয়।

অনুরূপভাবে  $NH_4NO_3$ ,  $AgNO_3$ ,  $ZnCl_2$  ইত্যাদি লবণ অর্ধ-বিশ্লেষণ দ্বারা অম্লীয় দ্রবণ তৈরি করে।

(খ) যেসব লবণ সবল ক্ষারক ও দুর্বল অম্ল থেকে উৎপন্ন, তারা দ্রবণে অর্ধ-বিশ্লেষিত হয়ে ক্ষারীয় দ্রবণ তৈরি করে। যেমন,

**উদাহরণ-৩।** সোডিয়াম কার্বনেট ( $Na_2CO_3$ ) হলো সবল ক্ষারক  $NaOH$  ও দুর্বল অম্ল কার্বনিক এসিড ( $H_2CO_3$ ) এর লবণ। এটি পানিতে প্রথমে দ্রবীভূত হয়ে  $Na^+$  আয়ন ও  $CO_3^{2-}$  আয়নে বিভক্ত হয়। পরে দ্রবণে কার্বনেট ( $CO_3^{2-}$ ) আয়ন পানির সাথে নিম্ন সমীকরণ মতে বিক্রিয়া করে দ্রবণে  $OH^-$  আয়নের পরিমাণ বৃদ্ধি করে।



ফলে দ্রবণে  $OH^-$  আয়নের সংখ্যা বাড়ার কারণে দ্রবণের pH এর মান 7 এর চেয়ে বেড়ে যায়; অর্থাৎ  $Na_2CO_3$  এর দ্রবণটি ক্ষারীয় হয়। এ ধরনের বিক্রিয়াকে অ্যানায়নিক অর্ধবিশ্লেষণ বলা হয়।

অনুরূপভাবে,  $Na_2S$ ,  $Na_3PO_4$ ,  $K_2CO_3$ ,  $KCN$ ,  $CH_3COONa$  ইত্যাদি লবণ অর্ধ বিশ্লেষণ দ্বারা ক্ষারীয় দ্রবণ তৈরি করে।

### 8.১৩ বাফার দ্রবণ Buffer Solutions

MCQ-4.26 : 0.05 M  $H_2SO_4$  এর pH কত?  
(ক) 0.5 (খ) 1.0 (গ) 1.5 (ঘ) 2.0

অনুচ্ছেদ-৪.১২ থেকে আমরা জেনেছি যে, নিরপেক্ষ পানিতে 2/1 ফোঁটা সবল এসিড বা ক্ষার দ্রবণ যোগ করলে দ্রবণের pH এর যথেষ্ট পরিবর্তন ঘটে। কিন্তু অনেক রাসায়নিক শিল্প ও জীববিদ্যা সম্পর্কীয় রাসায়নিক প্রক্রিয়া আছে যেখানে pH স্থির রাখা আবশ্যিক। যেমন মানুষের রক্তের pH হলো 7.4। অধিক অম্লজাতীয় খাদ্য গ্রহণ বা ওষুধ গ্রহণের কারণে রক্তের pH মান স্বাভাবিক মান থেকে 0.5 এর বেশি পরিবর্তিত হলে জীবন সংকটাপন্ন হয়। তাই সব ওষুধ ও ইন্জেকশন প্রস্তুতিতে pH এর গুরুত্ব অধিক। তাই এসব ক্ষেত্রে এমন বিশেষ দ্রবণ প্রস্তুত করা হয় যার মধ্যে অল্প পরিমাণে সবল এসিড বা ক্ষার দ্রবণ যোগ করলে মিশ্রণের pH এর তেমন পরিবর্তন ঘটে না। এরূপ বিশেষ প্রকারের দ্রবণকে 'বাফার দ্রবণ' বলা হয়।

বাফার দ্রবণের সংজ্ঞা নিম্নরূপ :

যে দ্রবণে সামান্য পরিমাণ সবল এসিড বা ক্ষার দ্রবণ যোগ করার পরও দ্রবণের pH এর মান বিশেষ পরিবর্তন হয় না, প্রায় স্থির থাকে; তাকে বাফার দ্রবণ বলে। বাফার দ্রবণের নিজস্ব pH স্থির রাখার ক্ষমতা থাকে। বাফার (buffer) শব্দের অর্থ প্রতিরোধ বা resist করা।

এক্ষেত্রে দ্রবণের pH বলতে  $[H_3O^+]$  এর পরিবর্তনকে প্রতিরোধ করা বোঝায়। বাফার দ্রবণ হলো মূলত একটি দুর্বল এসিড ও এর অনুবন্ধী ক্ষারকের দ্রবণের মিশ্রণ, একে অম্লীয় বাফার দ্রবণ বলে। আবার দুর্বল ক্ষারক দ্রবণ ও এর অনুবন্ধী এসিডের মিশ্র-দ্রবণকে ক্ষারীয় বাফার দ্রবণ বলা হয়। অর্থাৎ বাফার দ্রবণ দু'শ্রেণিতে বিভক্ত; অম্লীয় বাফার দ্রবণ ও ক্ষারীয় বাফার দ্রবণ।

অম্লীয় বাফার দ্রবণ : [দুর্বল এসিড + অনুবন্ধী ক্ষারক]; উদাহরণ : (i)  $CH_3CO_2H + CH_3CO_2^-$  আয়ন,

(ii)  $H_2PO_4^- + HPO_4^{2-}$  আয়ন,

ক্ষারীয় বাফার দ্রবণ : [দুর্বল ক্ষারক + অনুবন্ধী এসিড]; উদাহরণ : (i)  $Na_2CO_3 + HCO_3^-$  আয়ন,

(ii)  $NH_4OH + NH_4^+$  আয়ন,



**বাফার দ্রবণ প্রস্তুতি :**

(ক) অম্লীয় বাফার দ্রবণগুলো সাধারণত মৃদু এসিড ও ঐ এসিডের সাথে তীব্র ক্ষার সহযোগে সৃষ্ট লবণ হতে প্রস্তুত করা হয়; যথা :  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ও  $\text{CH}_3\text{COONa}$  দ্রবণের মিশ্রণ।

(খ) ক্ষারীয় বাফার দ্রবণগুলো মৃদু ক্ষারক ও ঐ ক্ষারকের সাথে তীব্র এসিড সহযোগে সৃষ্ট লবণ হতে প্রস্তুত করা হয়; যথা :  $\text{NH}_4\text{OH}$  ও  $\text{NH}_4\text{Cl}$  দ্রবণের মিশ্রণ।

হেন্ডারসন হ্যাসেলবাখ (Henderson Hasselbalch) সমীকরণ প্রয়োগ করে বিভিন্ন pH এর বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা যায়।

**বাফার দ্রবণ প্রস্তুতিতে হেন্ডারসন হ্যাসেলবাখ সমীকরণ****Henderson Hasselbach equation for Preparation of Buffer Solutions**

(ক) অম্লীয় দ্রবণের pH গণনার সমীকরণ : অম্লীয় প্রকৃতির বাফার দ্রবণে যেমন,  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ও  $\text{CH}_3\text{COONa}$  এর মিশ্রণে মৃদু অম্ল যেমন,  $\text{CH}_3\text{COOH}$  থাকে। মৃদু অম্লটি নিম্নরূপে আয়নিত হয়।



$$\text{এক্ষেত্রে সাম্যধ্রুবক, } K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \times [\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} ; \text{ বা, } [\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \times \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

এক্ষেত্রে  $\text{CH}_3\text{COOH}$  হলো মৃদু অম্ল। তাই এটি জলীয় দ্রবণে কম আয়নিত হয়। আবার তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্য  $\text{CH}_3\text{COONa}$  এর উপস্থিতিতে এর বিয়োজন আরও হ্রাস পায়। তাই অবিয়োজিত  $[\text{CH}_3\text{COOH}]$  এর মান  $\text{CH}_3\text{COOH}$  এর প্রারম্ভিক ঘনমাত্রার প্রায় কাছাকাছি থাকে। অপরদিকে  $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$  এর মান এর লবণের অর্থাৎ  $\text{CH}_3\text{COONa}$  এর প্রারম্ভিক ঘনমাত্রার সমান হবে। সুতরাং পূর্বের সমীকরণটিকে নিম্নরূপে লেখা যায় :

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \times \frac{[\text{অম্ল}]}{[\text{লবণ}]} ; \text{ বা, } \log[\text{H}_3\text{O}^+] = \log K_a + \log \frac{[\text{অম্ল}]}{[\text{লবণ}]} ;$$

$$\text{বা, } -\text{pH} = -\text{p}K_a - \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} ; \therefore \log \frac{A}{B} = -\log \frac{B}{A}$$

$$\text{বা, } \text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} ;$$

**MCQ-4.27 :** কোনো দ্রবণের  $[\text{OH}^-]$   
=  $3.4 \times 10^{-1}$  হলে এর pH কত?  
(ক) 9.53 (খ) 7.53 (গ) 8.93 (ঘ) 13.53

এই সমীকরণটিকে হেন্ডারসন হ্যাসেলবাখ সমীকরণ বলে। এ সমীকরণের সাহায্যে যে কোনো অম্লীয় বাফার দ্রবণের pH গণনা করা যায়।

(খ) ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের pH গণনার সমীকরণ : ক্ষারীয় প্রকৃতির বাফার দ্রবণ যেমন দুর্বল ক্ষার  $\text{NH}_4\text{OH}$  ও দুর্বল ক্ষারটির সাথে সবল এসিড  $\text{HCl}$  এর লবণ  $\text{NH}_4\text{Cl}$  এর মিশ্র দ্রবণে দুর্বল ক্ষার  $\text{NH}_4\text{OH}$  আংশিকভাবে নিম্নরূপে আয়নিত হয় :



$$\text{এক্ষেত্রে সাম্যধ্রুবক, } K_b = \frac{[\text{NH}_4^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{NH}_4\text{OH}]} ; [\text{OH}^-] = K_b \times \frac{[\text{NH}_4\text{OH}]}{[\text{NH}_4^+]}$$

$$\text{এখন উভয় দিকে, } \log \text{ নিয়ে পাই, } \log[\text{OH}^-] = \log K_b + \log \frac{[\text{NH}_4\text{OH}]}{[\text{NH}_4^+]}$$



$$\text{এবার } -1 \text{ দিয়ে গুণ করে পাই, } -\log[\text{OH}^-] = -\log K_b - \log \frac{[\text{NH}_4\text{OH}]}{[\text{NH}_4^+]}$$

$$\text{বা, } \text{pOH} = \text{pK}_b + \log \frac{[\text{NH}_4^+]}{[\text{NH}_4\text{OH}]} ; \text{ বা, } (14 - \text{pH}) = \text{pK}_b + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{ক্ষার}]}$$

$$\therefore \text{pH} = 14 - \text{pK}_b - \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{ক্ষার}]} ; \text{ এ সমীকরণের সাহায্যে ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের pH গণনা করা যায়।}$$

#### হেভারসন সমীকরণের প্রয়োগ :

- (১) অজানা pH এর বাফার দ্রবণের pH গণনা করা যায়।
- (২) নির্দিষ্ট pH এর অম্লীয় বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে সংশ্লিষ্ট মৃদু অম্ল ও এর লবণের দ্রবণ কত মোলার অনুপাতে বা [লবণ]/[অম্ল] এবং ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের বেলায় [লবণ]/[ক্ষার] এর কত অনুপাতে মিশ্রিত করা দরকার তা গণনা করা যায়।
- \* (৩) হেভারসন সমীকরণ থেকে জানা যায় যে, অম্লীয় বাফারের pH সংশ্লিষ্ট দুর্বল এসিডটির  $\text{pK}_a$  মানের কাছাকাছি হতে হয়; কেবল অতিরিক্ত মান  $\log [\text{লবণ}] / [\text{অম্ল}]$  এ থেকে আসে। যখন,  $[\text{লবণ}] / [\text{অম্ল}] = 1$  হয়; তখন  $\log [\text{লবণ}] / [\text{অম্ল}] = 0$  হয় এবং  $\text{pH} = \text{pK}_a$  হয়। সে বাফার দ্রবণের বাফার ক্ষমতা সর্বাধিক (highest buffer capacity) হয়।
- \* (৪) সাধারণত ঐচ্ছিক বাফারের pH এর কাছাকাছি  $\text{pK}_a$  বিশিষ্ট দুর্বল এসিডটি বেছে নেয়া হয়। এরপর হেভারসন সমীকরণ মতে [লবণ] / [অম্ল] অনুপাত ঠিক করা হয়। যেমন,
  - (i) pH 7 এর কাছাকাছি বাফার তৈরি করতে হলে  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ও  $\text{HPO}_4^{2-}$  এর অনুবন্ধী অম্ল-ক্ষারক যুগল নেয়া হয়। কারণ  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  এসিডের  $\text{pK}_a$  এর মান হলো  $\text{pK}_a = -\log (6.2 \times 10^{-8}) = 7.21$
  - (ii) একইভাবে pH 9 এর ক্ষারীয় বাফার দ্রবণ তৈরির জন্য  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ও  $\text{NH}_3$  এর অনুবন্ধী অম্ল-ক্ষারক যুগল নেয়া হয়। এক্ষেত্রেও অম্লীয় বাফারের হেভারসন সমীকরণ ব্যবহার করা যায়। কারণ  $\text{NH}_4^+$  আয়নের  $\text{pK}_a$  এর মান 9.25 হয়।  $\text{pK}_a = \log (5.6 \times 10^{-10}) = 9.25$ । মোদা কথায়, বাফারের দুর্বল এসিডটির  $\text{pK}_a$  এর মান বাফারের ঐচ্ছিক pH থেকে  $\pm 1$  pH ব্যবধানের মধ্যে থাকবে।
- (৫) যেহেতু বিভিন্ন বাফার দ্রবণ ল্যাবরেটরিতে ও মেডিসিন প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়, তাই প্যাকেটজাত বিভিন্ন বাফার মিশ্রণ গুঁড়া ও দ্রবণ বাণিজ্যিকভাবে সহজলভ্য। এসব ক্ষেত্রে বাফার সিস্টেমে সঠিক  $\text{pK}_a$  ও [লবণ]/[অম্ল] এর অনুপাত সঠিকভাবে অনুসরণ করা হয়।

#### \* নির্দিষ্ট pH এর বাফার দ্রবণের সঠিক অম্ল-ক্ষার যুগল নির্বাচন :

ঐচ্ছিক pH মানের কোনো বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে সঠিক নির্বাচিত অম্লটি হবে সেটি যার  $\text{pK}_a$  এর মান ঐচ্ছিক pH মানের চেয়ে  $\pm 1$  pH এর ব্যবধানের মধ্যে থাকবে। নিচে এরূপ ৪টি বাফার দ্রবণের কার্যকর 'অম্ল-ক্ষার' যুগল এদের pH রেঞ্জ বা সীমা উপযুক্ত এসিডের  $K_a$  ও  $\text{pK}_a$  মান দেয়া হলো। সম্পর্কটি বোঝে নাও।

বাফার দ্রবণের অম্ল-ক্ষার যুগল	pH রেঞ্জ	এসিডের $K_a$	এসিডের $\text{pK}_a$
১। $\text{H}-\text{COOH}$ ও $\text{H}-\text{COONa}$ বাফার	3.7—5.2	$\text{HCOOH}$ এর $K_a = 1.8 \times 10^{-4}$	$\text{pK}_a = 3.75$
২। $\text{CH}_3\text{COOH}$ ও $\text{CH}_3\text{COONa}$ বাফার	3.7—5.6	$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ এর $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$	$\text{pK}_a = 4.75$
৩। $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ও $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ বাফার	5.8—8.0	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$ এর $K_a = 6.2 \times 10^{-8}$	$\text{pK}_a = 7.21$
৪। $\text{NH}_4\text{Cl}$ ও $\text{NH}_3$ (বা, $\text{NH}_4\text{OH}$ ) বাফার	8.5—10.0	$\text{NH}_4^+$ এর $K_a = 5.6 \times 10^{-10}$	$\text{pK}_a = 9.25$



**বাফার ক্ষমতা (buffer capacity or buffer index) :** এক লিটার বাফার দ্রবণের pH এর মান এক একক (1 unit) পরিবর্তন করতে যতো মোল সংখ্যার সবল এসিড বা ক্ষার মিশ্রিত বা যোগ করতে হয়, তাকে ঐ বাফার দ্রবণের বাফার ক্ষমতা বলে।

$$\text{বাফার ক্ষমতা} = \frac{\text{প্রতি লিটার বাফার দ্রবণে মিশ্রিত এসিড বা ক্ষারের মোল সংখ্যা}}{\text{pH মানের পরিবর্তন}}$$

যেহেতু  $\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$ ; তাই (i)  $[\text{লবণ}]/[\text{অম্ল}]$  এর অনুপাত 1 হলে ঐ বাফার দ্রবণের ক্ষমতা সবচেয়ে বেশি হয়। (ii) তখন অম্লীয় বাফারের বেলায়  $\text{pH} = \text{pK}_a$  এবং ক্ষারীয় বাফারের বেলায়  $\text{pOH} = \text{pK}_b$  হয়। (iii) বাফার দ্রবণের উভয় উপাদানের মোলার ঘনমাত্রা যত বেশি হবে ঐ বাফার দ্রবণের বাফার ক্ষমতা তত বেশি হবে। তখন যোগ করা HCl এসিড বা NaOH দ্রবণকে ঐ বাফার দ্রবণ সহজেই শোষণ করতে পারবে।

### ৪.১৩.১ বাফার দ্রবণের ক্রিয়া কৌশল

#### Mechanism of Buffer Action

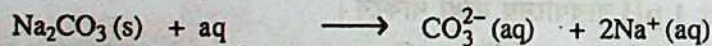
**বাফার ক্রিয়া (buffer action) :** যে রাসায়নিক ক্রিয়া কৌশলের মাধ্যমে কোনো বাফার দ্রবণ স্বল্প মাত্রায় এসিড বা ক্ষারক দ্রবণ মিশ্রিত করার পরও এর pH পরিবর্তন প্রতিরোধ করে তাকে বাফার ক্রিয়া বলে।

কোনো একটি বাফার দ্রবণের অত্যাৱশ্যক বৈশিষ্ট্য হলো :

- \* (১) দ্রবণটিতে এসিড (HA) ও এর অনুবন্ধী ক্ষারক ( $\text{A}^-$ ) উভয় উপাদানের উচ্চ ঘনমাত্রা থাকতে হয়।
- \* (২) বাফার দ্রবণের উপাদান দুটির ঘনমাত্রার চেয়ে কম পরিমাণে  $\text{H}_3\text{O}^+$  অথবা  $\text{OH}^-$  আয়ন যোগ করলে ঐ সব আয়ন বাফার দ্রবণের একটি উপাদানকে অপর উপাদানে পরিণত করে।
- \* (৩) ফলে উভয় বাফার উপাদানের একটির ঘনমাত্রা কিছুটা কমে ও অপরটি কিছুটা বাড়ে। এক্ষেত্রে যোগ করা  $\text{H}_3\text{O}^+$  অথবা  $\text{OH}^-$  আয়ন বাফার উপাদান দ্বারা শোষিত হয় বলে দ্রবণের pH প্রায় অপরিবর্তিত থাকে। [চিত্র-৪.২৫ দ্রষ্টব্য]

**বাফার ক্রিয়ার কৌশল :** বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল ব্যাখ্যা করার জন্য সোডিয়াম বাইকার্বনেট ( $\text{NaHCO}_3$ ) ও সোডিয়াম কার্বনেট ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) দ্বারা প্রস্তুত ক্ষারীয় প্রকৃতির বাফার দ্রবণটি নেয়া হলো। এতে দুর্বল ক্ষারক হলো কার্বনেট ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) আয়ন এবং এর অনুবন্ধী এসিডটি হলো বাইকার্বনেট ( $\text{HCO}_3^-$ ) আয়ন।

এখানে  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ও  $\text{NaHCO}_3$  আয়নিক লবণ সবল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য হওয়ায় শতভাগ আয়নিত হয়। কিন্তু  $\text{HCO}_3^-$  আয়ন দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য হওয়ায় উভমুখিতায় আংশিক বিয়োজিত বা অর্ধ বিশ্লেষিত হয়।



বাইকার্বনেট আয়ন ( $\text{HCO}_3^-$ ) এর বিয়োজন সাম্য-সংক্রমক ( $K_a$ ) নিম্নরূপে প্রকাশ

করা হয় :

$$K_a = \frac{[\text{CO}_3^{2-}] \times [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HCO}_3^-]} ; \text{বা, } [\text{H}_3\text{O}^+] = K_a \times \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} \dots (১)$$

**MCQ-4.28 :**  $\text{A} (\text{H}_2\text{O}) \xrightarrow{\text{H}^+} \text{B} (\text{H}_3\text{O}^+)$  এ উদ্দীপক মতে,  
 (i) A ও B এর আকৃতি একই  
 (ii) উভয়ের কেন্দ্রীয় পরমাণুর সংকরণ একই  
 (iii)  $25^\circ\text{C}$  এ বিদ্রূত A এর  $\text{pH} = 7$  কোনটি সঠিক হবে?  
 (ক) i ও ii (খ) ii ও iii  
 (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

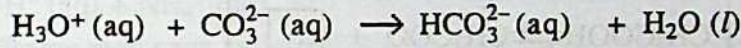
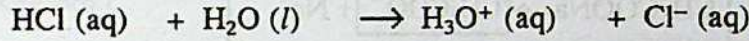
(১) নং সমীকরণ মতে  $K_a$  ধ্রুব হওয়ায়, বাফার দ্রবণের  $\text{H}_3\text{O}^+$  আয়নের মোলার ঘনমাত্রা বাফার উপাদানদ্বয়ের মোলার ঘনমাত্রার অনুপাতের সমানুপাতিক হয়। যেমন,  $\frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} = \frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]} = \frac{[\text{দুর্বল অম্ল}]}{[\text{অনুবন্ধী ক্ষারক}]}$

- \* (i) কোনো কারণে যখন  $[\text{HA}]/[\text{A}^-]$  অনুপাত বাড়ে, তখন  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  বাড়ে, pH কমে।
- \* (ii) কোনো কারণে যখন  $[\text{HA}]/[\text{A}^-]$  অনুপাত কমে, তখন  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  কমে, pH বাড়ে।

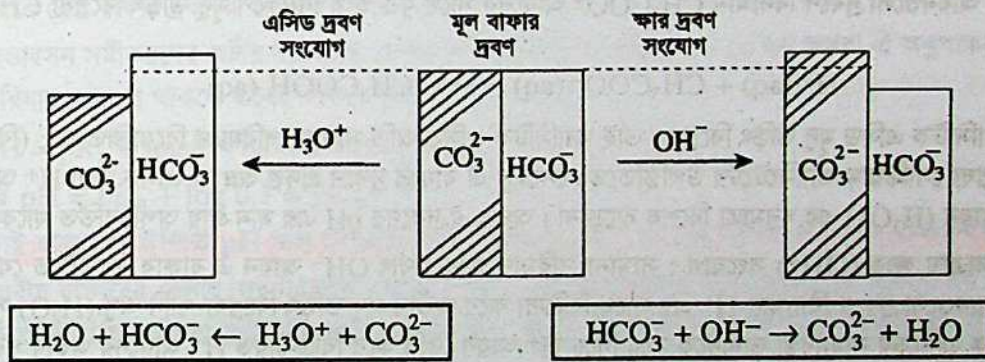


এখন এ ক্ষারীয় বাফার দ্রবণে অল্প সবল এসিড (HCl) অথবা ক্ষার (NaOH) দ্রবণ সংযোগের ফলে বাফার দ্রবণের pH মান প্রায় স্থির থাকার ব্যাখ্যা করা হলো :

(ক) অল্প এসিড ( $H_3O^+$ ) সংযোগ : অল্প সবল এসিড (HCl) যোগ করলে তা থেকে উৎপন্ন  $H_3O^+$  আয়নসমূহ বাফারের সমসংখ্যায় কার্বনেট ( $CO_3^{2-}$ ) আয়নের সাথে যুক্ত হয়ে সমসংখ্যক  $HCO_3^-$  আয়ন উৎপন্ন করে। যেমন,

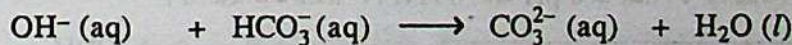


তখন  $[H_3O^+]$  এর সমপরিমাণে  $[CO_3^{2-}]$  আয়ন কমে এবং  $[HCO_3^-]$  সমপরিমাণে বাড়ে। ফলে (১) নং সমীকরণের বাফার উপাদানদ্বয়ের ঘনমাত্রার অনুপাত যেমন  $[HCO_3^-]/[CO_3^{2-}]$  অনুপাত সামান্য বাড়ে। অর্থাৎ  $[H_3O^+]$  সামান্য বাড়ে। (ওপরের (i) নং শর্ত মতে)। নিচের চিত্র-৪.২৫ এর বাম দিক থেকে তা সহজে বোঝা যায়।



চিত্র-৪.২৫ : বাফারের উপাদানদ্বয়ের ঘনমাত্রার অনুপাতের পরিবর্তন। [ওপরের ডট লাইন মতে বোঝে নাও।]

(খ) অল্প ক্ষার ( $OH^-$ ) সংযোগ : অল্প NaOH যোগ করলে পূর্বের বিপরীত অবস্থা ঘটে। ক্ষার থেকে উৎপন্ন  $OH^-$  আয়নসমূহ বাফারের সমসংখ্যায় বাইকার্বনেট আয়ন ( $HCO_3^-$ ) এর সাথে বিক্রিয়া করে সমসংখ্যক কার্বনেট ( $CO_3^{2-}$ ) আয়ন বৃদ্ধি করে।



ফলে (১) নং সমীকরণের বাফার উপাদানদ্বয়ের ঘনমাত্রার অনুপাত কমে অর্থাৎ  $[H_3O^+]$  সামান্য কমে। এক্ষেত্রে বাফার দ্রবণে অল্প  $H_3O^+$  অথবা  $OH^-$  আয়ন যোগ করা হলে প্রতি ক্ষেত্রে  $[H_3O^+]$  এর পরিবর্তন খুবই কম হওয়ায় বাফারের pH পরিবর্তন খুব কম বা প্রায় অপরিবর্তিত থাকে। [যেমন রক্তের বাইকার্বনেট বাফার সিস্টেম মতে, স্বাভাবিক অবস্থায় রক্তের pH 7.4 হলেও বিভিন্ন কারণে রক্তের pH  $\pm 5$  কম বেশি হতে পারে।]

বিকল্প পদ্ধতি : বাফার দ্রবণের ক্রিয়া কৌশল :

[পুরাতন পদ্ধতিতে বাফার দ্রবণের বাফার ক্রিয়াকৌশল নিম্নরূপে ব্যাখ্যা করা হয়।]

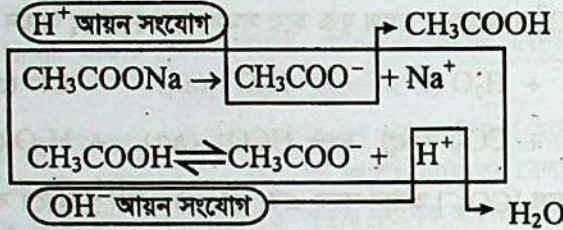
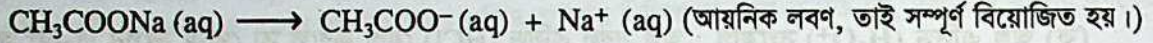
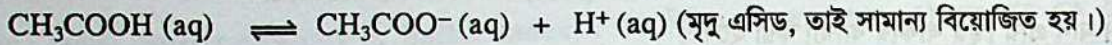
(১) অম্লীয় বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল :

অম্লীয় বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল ব্যাখ্যা করার জন্য ইথানোয়িক এসিড বা অ্যাসিটিক এসিড ( $CH_3COOH$ ) ও সোডিয়াম ইথানোয়েট বা অ্যাসিটেট ( $CH_3COONa$ ) লবণ দ্বারা প্রস্তুত অম্লীয় প্রকৃতির বাফার দ্রবণটির ক্রিয়া-কৌশল বর্ণনা করা যায়। এ বাফার দ্রবণের উপাদানদ্বয় দ্রবণে নিম্নরূপে বিয়োজিত হয়ে থাকে।

MCQ-4.29 : নিচের কোনটি উভধর্মী? [সি. বো. ২০১৫]

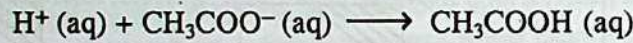
(ক)  $NH_3$  (খ)  $HCO_3^-$   
(গ)  $H_3O^+$  (ঘ)  $CO_3^{2-}$





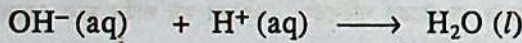
চিত্র-৪.২৬(ক) : অম্লীয় বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল

(ক) অম্লমাত্রায় এসিড সংযোগ : যদি সামান্য পরিমাণ HCl এসিড অর্থাৎ H<sup>+</sup> আয়ন এ বাফার দ্রবণে যোগ করা হয়, তখন প্রদত্ত H<sup>+</sup> আয়নগুলো দ্রবণে বিদ্যমান CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup> আয়নের সাথে যুক্ত হয়ে নিম্নরূপে মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য CH<sub>3</sub>COOH অণু উৎপন্ন করে।



যেহেতু অ্যাসিটিক এসিড মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য, তাই অ্যাসিটিক এসিড অতি সামান্য পরিমাণে বিয়োজিত হয়; (বিশেষ করে তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্য সোডিয়াম অ্যাসিটেটের উপস্থিতিতে) সেহেতু এ বাফার দ্রবণে প্রদত্ত অম্ল বা এসিড দ্বারা H<sup>+</sup> আয়নের বা হাইড্রোনিয়াম আয়ন (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) এর ঘনমাত্রা বিশেষ বাড়ে না। অর্থাৎ এ দ্রবণের pH এর মান প্রায় অপরিবর্তিত থাকে।

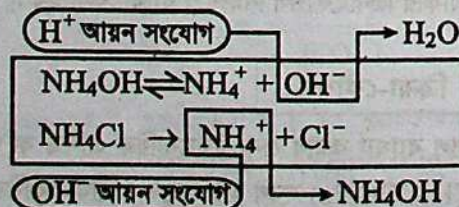
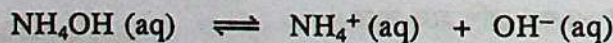
(খ) অম্ল মাত্রায় ক্ষার (OH<sup>-</sup>) সংযোগ : সামান্য পরিমাণ ক্ষার অর্থাৎ OH<sup>-</sup> আয়ন এ বাফার দ্রবণটিতে যোগ করলে প্রদত্ত OH<sup>-</sup> আয়নগুলো দ্রবণে বিদ্যমান H<sup>+</sup> এর সাথে বিক্রিয়া করে অতীব মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য পানি অণু (H<sub>2</sub>O) সৃষ্টি করে। তখন ইথানোয়িক এসিডের সাম্যাবস্থা ডানদিকে সরে গিয়ে H<sup>+</sup> আয়ন তৈরি করে বিক্রিয়ারত H<sup>+</sup> আয়নের অভাব পূরণ করে।



অতএব দেখা যায় যে, বাফার দ্রবণে সামান্য পরিমাণ তীব্র এসিড বা ক্ষার হিসেবে যথাক্রমে H<sup>+</sup> আয়ন অথবা OH<sup>-</sup> আয়ন এর যে কোনো একটি যোগ করা হোক না কেন, তা বাফার দ্রবণের উপাদানের আন্তঃক্রিয়ার ফলে অপসারিত হয় এবং কোনো ক্ষেত্রেই H<sup>+</sup> আয়নের ঘনমাত্রা তথা pH এর মান বিশেষ পরিবর্তিত হয় না।

### (২) ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল :

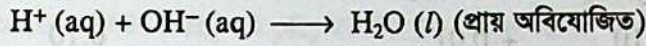
যদি বাফার দ্রবণটি মৃদু ক্ষারক যেমন NH<sub>4</sub>OH ও তার লবণ যেমন NH<sub>4</sub>Cl সম্বায়ে গঠিত হয় তবে উপাদানদ্বয় নিম্নরূপে আয়নিত হয়।



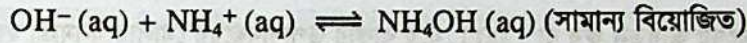
চিত্র-৪.২৬(খ) : ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের ক্রিয়া-কৌশল



(ক) অম্ল মাত্রায় এসিড ( $H^+$ ) সংযোগ : এ বাফার দ্রবণে অম্ল মাত্রায় তীব্র এসিড HCl বা,  $H^+$  আয়ন যোগ করা হলে তা বাফার মিশ্রণের  $OH^-$  আয়নসহ পানি উৎপন্ন করে।



(খ) অম্ল মাত্রায় ক্ষার ( $OH^-$ ) সংযোগ : এ দ্রবণে অম্ল মাত্রায় তীব্র ক্ষার বা,  $OH^-$  আয়ন যোগ করলে তা  $NH_4^+$  আয়নসহ  $NH_4OH$  উৎপন্ন করে।



সুতরাং এ দ্রবণে তীব্র অম্ল বা তীব্র ক্ষার যেকোনোটি যোগ করা হোক না কেন, ঐ মিশ্রিত অম্ল বা ক্ষারকের পরিমাণ বেশি না হলে তখন  $H^+$  আয়নের ঘনমাত্রা বা pH এর বিশেষ কোনো পরিবর্তন হয় না।

বাফার রেঞ্জ (buffer range) : কোনো বাফার দ্রবণের বাফার রেঞ্জ বলতে বাফার দ্রবণের সেই pH সীমার পরিসর বোঝায়, যে pH পরিবর্তন সীমার মধ্যে ঐ বাফার দ্রবণের বাফার ক্রিয়া সুষ্ঠুভাবে কার্যকর থাকে।

\* (১) বাফার রেঞ্জ বাফার দ্রবণের উপাদানদ্বয়ের মোলার ঘনমাত্রার অনুপাতের ওপর নির্ভর করে।

\* (২) হেন্ডারসন সমীকরণের অম্লীয় বাফারের বেলায় [লবণ]/[অম্ল] এর অনুপাত = 10 গুণ অথবা ঐ অনুপাত = 0.1 গুণ পরিমাণের মধ্যে থাকলে তবেই বাফার ক্ষমতা কার্যকর থাকে।

\* (৩)  $pH = pK_a + \log \frac{[লবণ]}{[অম্ল]} = pK_a + \log 10 = pK_a + 1$

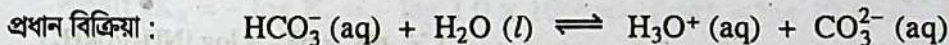
আবার  $pH = pK_a + \log 0.1 = pK_a - 1$ ।

\* (৪) তাই বাফারের ঈক্লিত pH মান ব্যবহৃত দুর্বল অম্লটির  $pK_a$  এর মান থেকে  $\pm 1$  pH ব্যবধান রাখা হয়।

\* (৫) ক্ষারীয় বাফারের বেলায় [লবণ]/[ক্ষার] এর অনুপাত = 10 গুণ থেকে 0.1 গুণ এর মধ্যে থাকতে হয়। নতুবা ঐ সব বাফার দ্রবণের বাফার ক্রিয়া সুষ্ঠুভাবে কার্যকর হয় না। তখন ঐ বাফার দ্রবণকে একটি নিম্নমান বাফার দ্রবণ বলে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫৪ : 0.10 M সোডিয়াম বাইকার্বনেট ও 0.10 M সোডিয়াম কার্বনেট বাফার দ্রবণে 0.01 mol NaOH যোগ করলে এ ক্ষারীয় বাফারের pH কীভাবে পরিবর্তন ঘটবে তা দেখব। এক্ষেত্রে বাইকার্বনেট এসিডের ( $HCO_3^-$  এর)  $K_a = 5.6 \times 10^{-11}$

দক্ষতা : প্রথমে ক্ষারীয় বাফারের pH গণনা কর। ক্ষার মিশ্রণের পূর্বে মূল বাফারের বেলায় :



সাম্য ঘনমাত্রা (M) : (0.10 - x) (0.10 + x)

$$\text{সাম্যাবস্থায়, } K_a = \frac{[H_3O^+] \times [CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} \therefore [H_3O^+] = K_a \times \frac{[HCO_3^-]}{[CO_3^{2-}]}$$

লক্ষ কর,  $Na_2CO_3$  সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য হওয়ায়  $CO_3^{2-}$  আয়নটির ঘনমাত্রা  $Na_2CO_3$  এর মতো 0.1M হবে। আবার  $HCO_3^-$  দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য হওয়ায় অম্ল (যেমন x mol) আয়নিত হয়ে অম্ল (যেমন x mol)  $CO_3^{2-}$  আয়ন মিশ্র দ্রবণে বৃদ্ধি করবে।

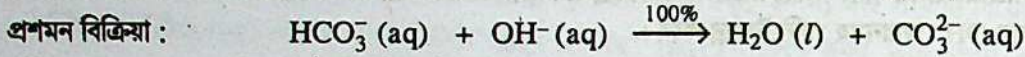
$$[H_3O^+] = K_a \times \frac{(0.10 - x)}{(0.10 + x)} = K_a \times \frac{0.10}{0.10} = K_a$$

$\therefore [H_3O^+] = 5.6 \times 10^{-11}$  হবে। যেহেতু  $K_a = 5.6 \times 10^{-11}$

এক্ষেত্রে x এর মান খুবই কম হয়, তাই (0.10 - x) ও (0.10 + x) প্রত্যেকটিকে প্রাথমিক ঘনমাত্রায় তুল্য ধরা হয়েছে।  $\therefore pH = -\log [H_3O^+] = -\log (5.6 \times 10^{-11}) = 10.25$



সমাধান : 0.01 mol NaOH যোগ করলে এর সাথে প্রশমন বিক্রিয়ার পর অবশিষ্ট  $[H_3O^+]$  হিসাব করতে হবে :



প্রশমনের পূর্বে (mol) : 0.10 + 0.01 0.10

পরিবর্তন ঘটে (mol) : - 0.01 - 0.01 + 0.01

প্রশমনের পরে (mol) : 0.09 0.0 0.11

প্রশমনের পর সামগ্রিক দ্রবণের আয়তন ধ্রুব বা 1.00 L ধরে বাফার উপাদানদ্বয়ের মোলার ঘনমাত্রা হয় :

$$[HCO_3^-] = \frac{0.09 \text{ mol}}{1.00 \text{ L}} = 0.09 \text{ M}; [CO_3^{2-}] = \frac{0.11 \text{ mol}}{1.00 \text{ L}} = 0.11 \text{ M}$$

এসব ঘনমাত্রার মান নিচের  $[H_3O^+]$  এর সমীকরণে বসিয়ে পাই :

$$[H_3O^+] = K_a \times \frac{[HCO_3^-]}{[CO_3^{2-}]} = 5.6 \times 10^{-11} \frac{0.09}{0.11} = 4.58 \times 10^{-11} \text{ M}$$

$$pH = -\log [H_3O^+] = -\log (4.58 \times 10^{-11}) = \boxed{10.34}$$

লক্ষ কর, 0.01 mol NaOH বাফার দ্রবণে যোগ করায়, বাফারের pH পরিবর্তন 10.25 থেকে 10.34 হয়েছে অর্থাৎ 0.09 পরিমাণ pH বেড়েছে; যা নগণ্য। এক্ষেত্রে বাফার উপাদানদ্বয়ের ঘনমাত্রা অনুপাত [দুর্বল এসিড]/[অনুবন্ধীক্ষারক] খুব অল্প। যেমন  $[HCO_3^-]/[CO_3^{2-}]$  এর বেলায় 1.0 থেকে 9/11 তে (চিত্র-৪.২৫-এ) পরিবর্তন হয়েছে, যা এ pH পরিবর্তনে ভূমিকা রেখেছে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫৫ : হেন্ডারসন-হেসেলবাখ সমীকরণভিত্তিক :

pH 7.00 বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে কী অনুপাতে  $[NH_3]/[NH_4^+]$  প্রয়োজন হবে? pH 7.0 বাফার প্রস্তুতির ক্ষেত্রে  $NH_3$  ও  $NH_4Cl$  বাফার যুগল ব্যবহার একটি নিম্ন-মান নির্বাচন হবে; তা ব্যাখ্যা কর। এক্ষেত্রে  $NH_3$  এর  $K_b = 1.8 \times 10^{-5}$ ।

দক্ষতা : হেন্ডারসন-হেসেলবাখ সমীকরণ মতে  $[NH_3]/[NH_4^+]$  অনুপাত গণনা করব।

সমাধান : যেহেতু  $NH_3$  এর  $K_b = 1.8 \times 10^{-5}$ ; তাই  $NH_4^+$  এর  $K_a$  হবে নিম্নরূপ :

$$K_a = \frac{K_w}{K_b} = \frac{1 \times 10^{-14}}{1.8 \times 10^{-5}} = 5.6 \times 10^{-10}; \therefore pK_a = -\log (5.6 \times 10^{-10}) = 9.25$$

$$\text{আবার } \log \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} = (pH - pK_a) = (7.00 - 9.25) = -2.25$$

$$\therefore \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} = \text{antilog} (-2.25) = 10^{-2.25} = \frac{5.6 \times 10^{-3} \text{ (M)}}{1.0 \text{ (M)}}$$

$$\begin{aligned} \therefore pH &= pK_a + \log [NH_3]/[NH_4^+] \\ &= (9.25 - 2.25) \\ &= 7.0 \end{aligned}$$

নিম্নমান বাফার : যদি  $[NH_4^+]$  এর নমুনা ঘনমাত্রা 1.0M নেয়া হয়, তখন  $[NH_3]$  এর ঘনমাত্রা 0.0056 M (বা,  $5.6 \times 10^{-3} \text{ M}$ ) নিতে হয়। এ অবস্থায়  $NH_3$  ও  $NH_4Cl$  বাফার দ্রবণ একটি নিম্নমান বাফার হবে; কারণ-

- প্রস্তুত বাফারের ঈঙ্গিত pH মান (7.0) এবং  $pK_a$  এর মান (9.25)—এ দুটির পার্থক্য হলো  $(9.26 - 7.0) = 2.25$ , যা বাফার রেঞ্জের প্রয়োজনীয় শর্ত  $\pm 1$  pH ব্যবধান থেকে অনেক বেশি। তাই,
- এ দ্রবণটি দ্বারা যোগ করা এসিডকে শোষণ করার ক্ষমতা কম।
- আবার  $[NH_3]/[NH_4^+]$  অনুপাত মাত্রা কার্যকর বাফার রেঞ্জ সীমার অনুপাত সর্বোচ্চ 10 গুণ ও সর্বনিম্ন অনুপাত 0.1 গুণ থেকে অনেক বেশি পার্থক্য আছে; তাই অল্প  $H_3O^+$  বা  $OH^-$  আয়ন যোগ করার পর বাফার মিশ্রণে pH পরিবর্তন উল্লেখযোগ্য মাত্রায় বেশি হয়।



- \* তাই ঈঙ্গিত pH 7.0 বাফার দ্রবণের জন্য  $\text{NH}_3 - \text{NH}_4^+$  বাফার দ্রবণটি একটি নিম্নমান বাফার দ্রবণ হবে।
- \* কিন্তু pH 9.0 এর কাছাকাছি বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে  $\text{NH}_3 - \text{NH}_4^+$  মিশ্রণ হবে একটি উত্তম বিবেচনা বা Selection। কারণ  $\text{NH}_4^+$  এর  $\text{pK}_a$  হলো 9.25। অনুরূপভাবে,
- \* pH 7.0 বাফারের জন্য উত্তম বাফার উপাদান হবে  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ও  $\text{HPO}_4^{2-}$  অম্ল-ক্ষার যুগল; কারণ  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  এর  $\text{pK}_a$  হলো  $-\log(6.2 \times 10^{-8}) = 7.21$ ।

সমাধানকৃত সমস্যা-৫.৫৫(ক) : pH 9.00 এর বাফার দ্রবণটি তুমি  $\text{NH}_4\text{Cl} - \text{NH}_3$  উপাদান যুগল থেকে কীভাবে প্রস্তুত করবে তা ব্যাখ্যা কর।  $\text{NH}_4^+$  এর  $K_a = 5.6 \times 10^{-10}$ ।

সমাধান : হেন্ডারসন সমীকরণকে পুনরায় বিন্যস্ত করে [ক্ষার]/[অম্ল] অনুপাত অনুসারে সাজিয়ে নিতে হবে। এক্ষেত্রে ক্ষার হলো  $\text{NH}_3$  এবং অম্ল হলো  $\text{NH}_4^+$  এর অনুবন্ধী অম্ল  $\text{NH}_4^+$  আয়ন যা হেন্ডারসন সমীকরণে [লবণ] রূপে আছে।  $\text{NH}_4^+$  আয়নের লবণ হবে  $\text{NH}_4\text{Cl}$ । ক্ষারীয় বাফার দ্রবণের সমীকরণটি হলো :

$$\text{pH} = 14 - \text{pK}_b - \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{ক্ষার}]} ; \text{ বা, } \text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{ক্ষার}]}{[\text{অনুবন্ধী অম্ল}]}$$

$$\text{বা, } \text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} ; \text{ বা, } \log \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} = (\text{pH} - \text{pK}_a) = 9.0 - (-\log 5.6 \times 10^{-10}) \\ = (9.0 - 9.25) = -0.25$$

$$\therefore \frac{[\text{NH}_3]}{[\text{NH}_4^+]} = \text{antilog}(-0.25) = 10^{-0.25} = 0.56$$

সুতরাং ঈঙ্গিত (pH 9.0) বাফার দ্রবণটি তৈরিতে 0.56 mol  $\text{NH}_3$  অর্থাৎ 560 mL 1.0 M  $\text{NH}_3$  দ্রবণে 1.0 mol  $\text{NH}_4\text{Cl}$  বা, 53.5 g  $\text{NH}_4\text{Cl}$  মিশাতে হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫৬ : (ক) সমআয়তনের 0.1M অ্যাসিটিক এসিড ও 0.1M সোডিয়াম অ্যাসিটেট বিশিষ্ট বাফার দ্রবণের pH হিসাব কর। (খ) উক্ত দ্রবণে  $\text{H}^+$  আয়নের ঘনমাত্রা কত? [ $K_a = 1.0 \times 10^{-5}$ ]

সমাধান : (ক) হেন্ডারসন হ্যাসেলবাখ সমীকরণ থেকে আমরা জানি,

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} ; \text{ প্রশ্নমতে, এখানে } K_a = 1.0 \times 10^{-5}$$

$$\text{সুতরাং } \text{pK}_a = -\log K_a = -\log 1.0 \times 10^{-5} = -(\log 1 + \log 10^{-5}) = -(0 - 5) = 5$$

প্রশ্নমতে, [লবণ] = 0.1; এবং [অম্ল] = 0.1; এখন মান বসিয়ে পাই-

$$\therefore \text{pH} = 5 + \log \frac{0.1}{0.1} = 5 + \log 1 = (5 + 0) = 5 \text{ (উঃ)}$$

$$\text{(খ) আবার } [\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-5} = 10^{-5} \text{ molL}^{-1} \text{ (উঃ)}$$

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৫৭ : 25°C তাপমাত্রায় অ্যাসিটিক এসিডের  $\text{pK}_a = 4.76$ । এ এসিডসহ 5.0 pH-এর বাফার দ্রবণ কীভাবে প্রস্তুত করা যায়?

$$\text{সমাধান : হেন্ডারসন হ্যাসেলবাখ সমীকরণ মতে, } \text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$$

$$\text{বা, } \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = \text{pH} - \text{pK}_a = (5.0 - 4.76) = 0.24; \text{ বা, } \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = \text{anti log } 0.24 = 1.738 = \frac{1.738}{1.0}$$

অর্থাৎ এমন পরিমাণ সোডিয়াম অ্যাসিটেট ও অ্যাসিটিক এসিড নিতে হবে যেন তাদের মোলের অনুপাত 1.738 : 1.0 হয়। যেমন 1.738 mol সোডিয়াম অ্যাসিটেট ও 1.0 mol অ্যাসিটিক এসিড 1L দ্রবণে দ্রবীভূত করলে উপরোক্ত pH 5.0 এর বাফার দ্রবণ তৈরি হবে।



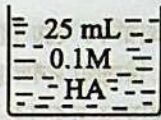




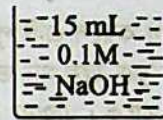
## রাসায়নিক পরিবর্তন

৪৭৭

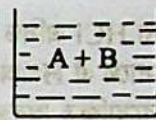
সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬১ :



পাত্র-A



পাত্র-B



পাত্র-C

[রা. বো. ২০১৭;

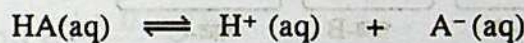
দি. বো. ২০১৭;

জ. বো. ২০১৬]

(গ) উদ্দীপকের পাত্রে A এর দ্রবণের pH মান গণনা কর।  $[K_a = 1.8 \times 10^{-4}]$ 

(ঘ) উদ্দীপকের C পাত্রে সামান্য HCl এসিড যোগ করলে দ্রবণের pH মানের পরিবর্তন হবে কীনা; কারণসহ ব্যাখ্যা কর।

সমাধান : (গ) উদ্দীপক মতে, পাত্র A-এর দ্রবণটি হলো দুর্বল এসিডের দ্রবণ। কারণ HA এসিডের  $K_a = 1.8 \times 10^{-4}$  দেয়া হয়েছে। দুর্বল HA এসিড আংশিকভাবে দ্রবণে আয়নিত হয়। তাই HA এসিডের দ্রবণের pH নির্ণয় করতে এসিডের বিয়োজন পরিমাণ ( $\alpha$ ), অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্রের সাহায্যে নির্ণয় করতে হবে।

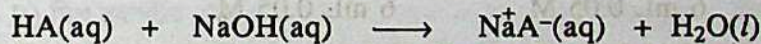
সাম্যাবস্থায় :  $(1 - \alpha)C$  $\alpha C$  $\alpha C$ প্রশ্নমতে,  $K_a = 1.8 \times 10^{-4}$ এক্ষেত্রে  $K_a = \alpha^2 C$ ,দ্রবণের ঘনমাত্রা,  $C = 0.1 M$ 

$$\therefore \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{1.8 \times 10^{-4}}{0.1}} = 0.0424$$

আবার ওপরের সমীকরণ মতে,  $[H^+] = \alpha C$ ; বা,  $[H^+] = 0.0424 \times 0.1 M = 0.00424 M$ 

$$\therefore pH = -\log [H^+] = -\log (0.00424) = 2.37 \text{ (উত্তর)}$$

সমাধান : (ঘ) উদ্দীপক মতে, C পাত্রের দ্রবণটি একটি অম্লীয় বাফার দ্রবণ; তা নিচের বিক্রিয়ার সাহায্যে স্পষ্ট হবে।



প্রশ্ন মতে,

15mL

15mL

15mL

0.1M

0.1M

0.1M

সমীকরণ মতে, 15 mL 0.1M NaOH দ্রবণের সাথে 15 mL 0.1M HA এসিডের বিক্রিয়ায় 15 mL 0.1M NaA লবণের দ্রবণ উৎপন্ন হয়েছে। এছাড়া  $(25 + 15) = 40$  mL মিশ্র দ্রবণে প্রকৃতপক্ষে  $(25 - 15) mL = 10$  mL তুল্য 0.1 M HA এসিড রয়েছে এবং তুল্য 15 mL 0.1M NaA লবণ রয়েছে।

$$\therefore 40 \text{ mL মিশ্র দ্রবণে থাকা HA এর মোল সংখ্যা} = \frac{10 \times 0.1}{1000} = 0.0010$$

$$\text{এবং } 40 \text{ mL মিশ্র দ্রবণে থাকা NaA এর মোল সংখ্যা} = \frac{15 \times 0.1}{1000} = 0.0015$$

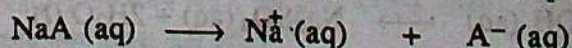
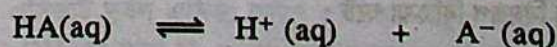
$$\therefore \text{বাফার দ্রবণটির } pH = pK_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = -\log K_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]}$$

$$\therefore pH = -\log 1.8 \times 10^{-4} + \log \frac{0.0015}{0.0010}$$

$$\text{বা, } pH = -\log 1.8 - \log 10^{-4} + \log \frac{15}{10}$$

$$\text{বা, } pH = (-0.255 + 4.0 + 0.176); \text{ বা, } pH = 3.92$$

বাফার দ্রবণের বৈশিষ্ট্য অনুসারে এ অম্লীয় বাফার দ্রবণে সামান্য HCl এসিড যোগ করলে এ বাফার দ্রবণের pH মানের বিশেষ কোনো পরিবর্তন হবে না। এ বাফার দ্রবণের pH স্থির রাখার কৌশল নিচে ব্যাখ্যা করা হলো। এ বাফার দ্রবণে নিম্নোক্ত আয়নগুলো থাকে।

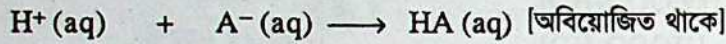
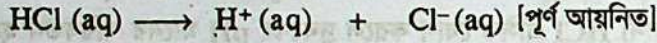


MCQ-431 : 0.005 M  
H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> দ্রবণের pH কত  
[রা. বো. ২০১৬]

(ক) 1.5      (খ) 2  
(গ) 2.3      (ঘ) 3



এ বাফার মিশ্রণে সামান্য HCl এসিড যোগ করলে এটি পূর্ণ আয়নিত হয়ে H<sup>+</sup> আয়ন ও Cl<sup>-</sup> আয়ন তৈরি করে। পরে বাফার দ্রবণের A<sup>-</sup> আয়নের সাথে ঐ H<sup>+</sup> আয়ন যুক্ত হয়ে মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য দুর্বল HA এসিড উৎপন্ন করে। সবল HCl এর উপস্থিতিতে দুর্বল HA অবিয়োজিত অবস্থায় থাকে। এজন্য ঐ বাফার দ্রবণের H<sup>+</sup> আয়নের মোলার ঘনমাত্রার কোনো পরিবর্তন ঘটে না বলে দ্রবণের pH অপরিবর্তিত থাকে।



সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬২ :

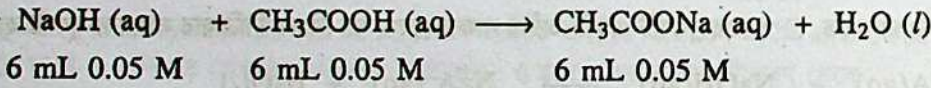
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 20 mL 0.1 M	NaOH 6 mL 0.05 M	CH <sub>3</sub> COOH 150 mL 0.05 M	[ব. বো. ২০১৭; দি. বো. ২০১৭; য. বো. ২০১৬] ← K <sub>a</sub> = 1.85 × 10 <sup>-5</sup>
পাত্র-A	পাত্র-B	পাত্র-C	

(গ) উদ্দীপকের (B + C) মিশ্র দ্রবণের pH মান গণনা কর।

(ঘ) উদ্দীপকের (A + B) মিশ্র দ্রবণের প্রকৃতি কীরূপ হবে, তা বিশ্লেষণ কর।

সমাধান : (গ) উদ্দীপকের (B + C) মিশ্র দ্রবণের pH গণনা :

উদ্দীপক মতে, B পাত্রে 6 mL 0.05 M NaOH দ্রবণ ও C-পাত্রে 150 mL 0.05M CH<sub>3</sub>COOH এসিড রয়েছে। উভয়ের মিশ্রণে নিম্নরূপ বিক্রিয়া ঘটবে।



সমীকরণ মতে, 6 mL 0.05 M NaOH দ্রবণের সাথে 6 mL 0.05 M CH<sub>3</sub>COOH এসিডের বিক্রিয়ায় 6 mL 0.05M CH<sub>3</sub>COONa লবণের দ্রবণ উৎপন্ন হয়েছে। এছাড়া (150 + 6) mL = 156 mL মিশ্র দ্রবণে প্রকৃতপক্ষে (150 - 6) mL = 144 mL তুল্য 0.05M CH<sub>3</sub>COOH অতিরিক্ত রয়েছে। সুতরাং 6 mL 0.05 M CH<sub>3</sub>COONa এর দ্রবণ ও 144 mL তুল্য 0.05M CH<sub>3</sub>COOH এসিডের মিশ্র দ্রবণটি একটি অম্লীয় বাফার দ্রবণ হবে।

$$\therefore 156 \text{ mL মিশ্র দ্রবণে থাকা CH}_3\text{COOH এর মোল সংখ্যা} = \frac{144 \times 0.05}{1000} = 0.0072$$

$$\text{এবং } 156 \text{ mL মিশ্র দ্রবণে থাকা CH}_3\text{COONa এর মোল সংখ্যা} = \frac{6 \times 0.05}{1000} = 0.0003$$

$$\therefore \text{অম্লীয় বাফার দ্রবণটির, } \text{pH} = \text{pK}_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = -\log K_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]};$$

$$\therefore \text{pH} = -\log (1.85 \times 10^{-5}) + \log \frac{0.0003}{0.0072}; \quad \text{দেয়া আছে, } K_a = 1.85 \times 10^{-5}$$

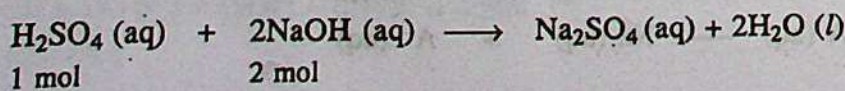
$$\text{বা, pH} = -\log 1.85 - \log 10^{-5} + \log (0.0417)$$

$$\text{বা, pH} = (-0.267 + 5.0 - 1.379) = 3.354$$

$\therefore$  উদ্দীপকের (B + C) মিশ্র দ্রবণের pH = 3.354 (উত্তর)

সমাধান : (ঘ) উদ্দীপকের (A + B) মিশ্র দ্রবণের প্রকৃতি নির্ণয় :

উদ্দীপক মতে, A এর দ্রবণ হলো 20 mL 0.1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> সবল এসিড এবং B এর দ্রবণ হলো 6 mL 0.05 M সবল NaOH ক্ষার দ্রবণ। উভয়ের মিশ্র দ্রবণে নিম্নরূপ বিক্রিয়া ঘটে :





উদ্দীপক মতে দেখা যায়,  $H_2SO_4$  এর তুলনায়  $NaOH$  এর মোলার ঘনমাত্রা ও আয়তন উভয়ই কম আছে। সুতরাং প্রদত্ত  $NaOH$  এর মোল পরিমাণের ওপর ভিত্তি করে গণনা করাটা অধিক সুবিধাজনক হবে।

আমরা জানি, 1000 mL 0.05 M  $NaOH$  দ্রবণ  $\equiv 0.05$  mol  $NaOH$

$$\therefore \text{প্রশ্নমতে, } 6 \text{ mL } 0.05 \text{ M } NaOH \text{ দ্রবণ} \equiv \frac{0.05 \times 6}{1000} = \boxed{0.0003 \text{ mol } NaOH}$$

আবার, 1000 mL 0.1M  $H_2SO_4$  দ্রবণ  $\equiv 0.1$  mol  $H_2SO_4$

$$\therefore \text{প্রশ্নমতে, } 20 \text{ mL } 0.1 \text{ M } H_2SO_4 \text{ দ্রবণ} \equiv \frac{0.1 \times 20}{1000} = \boxed{0.002 \text{ mol } H_2SO_4}$$

উপরোক্ত প্রশমন বিক্রিয়ার সমীকরণ মতে,

$2 \text{ mol } NaOH \equiv 1 \text{ mol } H_2SO_4$

$$\therefore 0.0003 \text{ mol } NaOH \equiv \frac{1 \times 0.0003 \text{ mol}}{2} = 0.00015 \text{ mol } H_2SO_4$$

$\therefore$  প্রদত্ত  $NaOH$  দ্রবণের প্রশমনের পর অবশিষ্ট  $H_2SO_4$  থাকে

$$= (0.002 - 0.00015) \text{ mol } H_2SO_4 = 0.00185 \text{ mol } H_2SO_4$$

$\therefore (20 + 6) \text{ mL} = 26 \text{ mL}$  মিশ্র দ্রবণে  $0.00185 \text{ mol } H_2SO_4$  অবশিষ্ট আছে।

$\therefore$  এই মিশ্র দ্রবণে  $H_2SO_4$  এর মোলারিটি,  $M = \frac{H_2SO_4 \text{ এর মোল সংখ্যা}}{\text{লিটারে দ্রবণের আয়তন}}$

$$\therefore \text{মোলারিটি, } M = \frac{0.00185 \text{ mol}}{0.026 \text{ L}} = 0.071 \text{ molL}^{-1} \text{ (বা, M)}$$

$\therefore$  উদ্দীপকের (A + B) মিশ্র দ্রবণটির প্রকৃতি হবে  $0.071 \text{ (M)}$   $H_2SO_4$  এর অম্লীয় দ্রবণ। (উত্তর)।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৩ : প্রদত্ত উদ্দীপক হলো :  $HA + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + A^-$ ; এক্ষেত্রে এসিডটির

$$K_a = 1.8 \times 10^{-5}$$

[চ. বো. ২০১৭]

(গ) উদ্দীপক মতে,  $0.1M$  ঘনমাত্রার  $HA$  এসিড দ্রবণের  $pH$  গণনা কর।

(ঘ) উদ্দীপকের এসিডটির একটি বাফার দ্রবণ তৈরি করে এর বাফার ক্রিয়া ব্যাখ্যা কর।

সমাধান : (গ)  $0.1M$   $HA$  দ্রবণের  $pH$  গণনা :

উদ্দীপক মতে  $HA$  হলো একটি দুর্বল এসিড; কারণ  $HA$  এসিডের  $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$  দেয়া হয়েছে। দুর্বল এসিড জলীয় দ্রবণে আংশিকভাবে আয়নিত হয়। তাই অসওয়াল্ডের লঘুকরণ সূত্র মতে  $HA$  এসিডের বিয়োজন পরিমাণ ( $\alpha$ ) গণনা করে এসিড দ্রবণের  $pH$  হিসাব করা হবে।



সাম্যাবস্থায় :  $(1-\alpha)C$   $\alpha C$   $\alpha C$   $\text{দ্রবণের ঘনমাত্রা, } C = 0.1M$

এক্ষেত্রে এসিডের  $K_a = \alpha^2 C$

$$K_a = 1.8 \times 10^{-5}$$

$$\therefore \alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}} = \sqrt{\frac{1.8 \times 10^{-5}}{0.1}} = 0.0134$$

আবার ওপরের সমীকরণ মতে,  $[H^+] = \alpha C$ ; বা,  $[H^+] = 0.0134 \times 0.1M = 0.00134M$

$$\therefore pH = -\log[H^+] = -\log(0.00134) = 2.873 \text{ (উঃ)}$$

(ঘ) উদ্দীপকের  $HA$  এসিডের বাফার দ্রবণ প্রকৃতি :

উদ্দীপক মতে  $HA$  এসিডটি দুর্বল এসিড; কারণ এসিডের  $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$  দেয়া হয়েছে। সুতরাং এই এসিডের সাথে সবল ক্ষার যেমন  $NaOH$  এর লবণ  $NaA$  এর দ্রবণ উপযুক্ত মোলার অনুপাতে হেভারসন সমীকরণ মতে মিশ্রিত করে নির্দিষ্ট  $pH$  যুক্ত অম্লীয় বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হবে।



হেভারসন সমীকরণ মতে, অম্লীয় বাফার দ্রবণের pH সংশ্লিষ্ট দুর্বল এসিড 'HA' এর  $pK_a$  মানের কাছাকাছি হয়। কেবল অতিরিক্ত মান  $\log \frac{[লবণ]}{[অম্ল]}$  এর মান থেকে আসে।

উদাহরণ মতে,  $pK_a = -\log 1.8 \times 10^{-5} = 4.7447$  হয়। এখন 5.0 pH এর বাফার দ্রবণ হেভারসন সমীকরণ মতে প্রস্তুত করা হবে।

$$\text{আমরা জানি, } pH = pK_a + \log \frac{[লবণ]}{[অম্ল]}$$

$$\text{বা, } \log \frac{[লবণ]}{[অম্ল]} = pH - pK_a = (5.0 - 4.7447) = 0.2553$$

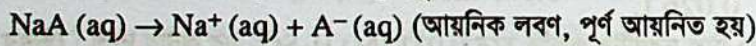
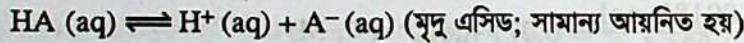
$$\text{বা, } \log \frac{[NaA]}{[HA]} = 0.2553; \text{ বা, } \frac{[NaA]}{[HA]} = \text{anti log } (0.2553)$$

$$\text{বা, } \frac{[NaA]}{[HA]} = \frac{1.8}{1.0}$$

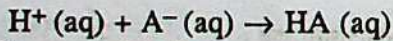
সুতরাং  $1.8 \text{ molL}^{-1}$  NaA লবণের দ্রবণের সাথে  $1.0 \text{ molL}^{-1}$  HA এসিড দ্রবণ মিশ্রিত করে 5.0 pH বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হলো। pH মিটার দ্বারা পরীক্ষা করে নিশ্চিত হওয়া গেল প্রস্তুত বাফার দ্রবণের pH 5 হয়েছে।

বাফার ক্রিয়ার ব্যাখ্যা :

সংশ্লিষ্ট অম্লীয় বাফার দ্রবণটিতে উপাদানদ্বয় নিম্নরূপে আয়নিত অবস্থায় থাকে :

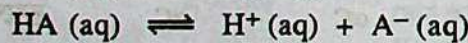
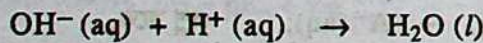


(i) অম্লমাত্রায় এসিড বা  $H^+$  আয়ন সংযোগ : অম্ল মাত্রায় এসিড বা  $H^+$  আয়ন ঐ অম্লীয় বাফার দ্রবণে যোগ করলে তখন প্রদত্ত  $H^+$  আয়ন উপরের সমীকরণের  $A^-$  আয়নের সাথে যুক্ত হয় এবং মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য HA অণু উৎপন্ন করে।



উৎপন্ন মৃদু এসিড সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য NaA এর উপস্থিতিতে নগণ্য পরিমাণে বিয়োজিত থাকে। তাই বাফার দ্রবণে প্রদত্ত এসিড বা  $H^+$  আয়ন দ্বারা pH এর বিশেষ পরিবর্তন ঘটে না। অর্থাৎ বাফার দ্রবণের pH অপরিবর্তিত থাকে।

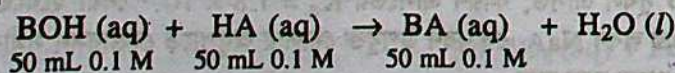
(ii) অম্ল মাত্রায় ক্ষার বা  $OH^-$  আয়ন সংযোগ : সামান্য ক্ষার দ্রবণ বা  $OH^-$  আয়ন অম্লীয় বাফার দ্রবণে যোগ করলে, তা বাফার দ্রবণে বিদ্যমান  $H^+$  আয়নের সাথে যুক্ত হয়ে  $H_2O$  অণু উৎপন্ন করে। তখন দুর্বল HA এসিডের সাম্যাবস্থা সামান্য ডানদিকে সরে গিয়ে  $H^+$  আয়ন তৈরি করে বিক্রিয়ারত  $H^+$  আয়নের অভাব পূরণ করে। এরূপে বাফার দ্রবণে  $H^+$  আয়নের ঘনমাত্রা তথা pH এর মান অপরিবর্তিত থাকে।



সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৪ : একটি বিকারে 50 mL 0.1 M BOH ক্ষার রয়েছে। অপর একটি বিকারে রয়েছে 0.1M ঘনমাত্রা বিশিষ্ট 150 mL HA এসিড। HA এর  $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ ।

(ক) বিকারকন্ঠের দ্রবণকে মিশ্রিত করলে মিশ্রণের pH কত হবে? (খ) BOH ক্ষার দ্রবণের pH কত?

সমাধান : (ক) বিকারকন্ঠের ক্ষার ও এসিডের দ্রবণকে মিশ্রিত করলে 50 mL 0.1 M BOH ক্ষারকটি 50 mL 0.1 M HA এর সাথে বিক্রিয়ায় 50 mL 0.1 M HA এসিডের লবণ (BA) তৈরি করবে। সুতরাং (150 - 50) mL = 100 mL 0.1 M HA এসিড দ্রবণে অপ্রশমিত থাকবে। অর্থাৎ লবণ ও এসিডের মোলার ঘনমাত্রার অনুপাত হবে 50 : 100 বা 1 : 2।



**MCQ-4.32** : 25°C-এ বিশুদ্ধ পানির pH কত? [চ. বো. ২০১৬]

(ক) 0                      (খ) > 7  
(গ) 7                      (ঘ) < 7



হেন্ডারসন সমীকরণ মতে,  $pH = pK_a + \log \frac{[লবণ]}{[এসিড]}$

বা,  $pH = -\log (1.8 \times 10^{-5}) + \log \frac{1}{2}$

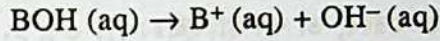
বা,  $pH = (4.745 - 0.301) = 4.444$

∴ মিশ্রণে pH মান = 4.44

দেয়া আছে,  $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$

মিশ্র দ্রবণের, pH = ?

সমাধান : (খ) উদ্দীপকের BOH হলো একটি সবল ক্ষার দ্রবণ। তাই জলীয় দ্রবণে এটি পূর্ণ আয়নিত থাকে।



$$0.1M \qquad \qquad \qquad 0.1M$$

∴  $pOH = -\log [OH^-] = -\log 0.1 = 1.0$

∴ দ্রবণ BOH এর  $pH = (14 - pOH) = (14 - 1) = 13$  (উঃ)

**MCQ-4.33** : মানুষের রক্তের স্বাভাবিক pH কত? [ঢা. বো. ২০১৬]  
(ক) 9.4      (খ) 8.3  
(গ) 7.4      (ঘ) 6.4

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৫ : (ক) 4.0 pH এর বাফার দ্রবণ তৈরি করতে 60 mL 0.05 M ফরমিক এসিডের দ্রবণে কত mL 0.1 M সোডিয়াম ফরমেট দ্রবণ যোগ করতে হবে। [ $HCOOH$  এর  $pK_a = 3.8$ ]

(খ) বাফার দ্রবণটিতে  $H^+$  আয়নের মোলার ঘনমাত্রা কত? [মাদ্রাসা বো. ২০১৭]

সমাধান : (ক) হেন্ডারসন সমীকরণ মতে,  $pH = pK_a + \log \frac{[লবণ]}{[অম্ল]}$

মনে করি, x mL 0.1M সোডিয়াম ফরমেট ( $HCOONa$ ) প্রয়োজন।

$$\therefore x \text{ mL } 0.1M \text{ HCOONa লবণের দ্রবণে HCOONa এর মোলসংখ্যা} = \frac{0.1 \times x \text{ mol}}{1000} = 0.0001 \times x \text{ mol}$$

$$60 \text{ mL } 0.05 \text{ M HCOOH এসিড দ্রবণে HCOOH এর মোলসংখ্যা} = \frac{0.05 \times 60}{1000} = 0.003 \text{ mol}$$

প্রশ্নমতে, দ্রবণের  $pH = 4$  এবং  $HCOOH$  এসিডের  $pK_a = 3.8$ ; এখন সমীকরণে মানগুলো বসিয়ে পাই,

$$4 = 3.8 + \log \frac{0.0001x}{0.003}; \text{ বা, } \log \frac{0.0001x}{0.003} = (4 - 3.8) = 0.2 = \log 1.5849$$

$$\text{বা, } 0.0001x = 0.003 \times 1.5849; \therefore x = \frac{0.003 \times 1.5849 \text{ mL}}{0.0001} = 47.547 \text{ mL} = 47.55 \text{ mL (প্রায়)}$$

∴ সোডিয়াম ফরমেট প্রয়োজন = 47.55 mL (প্রায়) (উঃ)

সমাধান : (খ) অম্লীয় বাফার দ্রবণটির  $H^+$  আয়নের মোলার ঘনমাত্রা গণনা :

উদ্দীপক মতে, বাফার দ্রবণের  $pH = 4.0$

আমরা জানি,  $[H^+] = 10^{-pH} = 10^{-4}$

∴ বাফার দ্রবণটিতে  $H^+$  আয়নের মোলার ঘনমাত্রা =  $10^{-4} \text{ molL}^{-1}$  (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৬ : 0.25 M ইথানোয়িক এসিডের 200 mL দ্রবণে কত গ্রাম সোডিয়াম ইথানোয়েট মিশ্রিত করলে দ্রবণটিতে  $H_3O^+$  এর ঘনমাত্রা  $1.5 \times 10^{-5} \text{ g. ion. L}^{-1}$  হবে। ( $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ )।

সমাধান : বাফার দ্রবণের হেন্ডারসন সমীকরণ মতে,  $pH = pK_a + \log \frac{[লবণ]}{[অম্ল]}$

$$\text{বা, } \log \frac{[লবণ]}{[অম্ল]} = (pH - pK_a) = (-\log [H_3O^+] + \log K_a) = -\log (1.5 \times 10^{-5}) + \log (1.8 \times 10^{-5})$$

$$\text{বা, } \log \frac{[লবণ]}{[অম্ল]} = (4.8239 - 4.7447) = 0.0792$$



৪৮২

রসায়ন-প্রথম পত্র

$$\text{বা, } \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} = \log^{-1}(0.0792) = 1.2 \therefore [\text{লবণ}] = 1.2 \times [\text{অম্ল}] = 1.2 \times 0.25 \text{ M} = 0.3 \text{ M}$$

$\therefore$  1 M ঘনমাত্রার 1000 mL দ্রবণে সোডিয়াম ইথানোয়েট থাকে = 82 g

$$0.30 \text{ M ঘনমাত্রার } 200 \text{ mL দ্রবণে সোডিয়াম ইথানোয়েট থাকে} = \frac{82 \times 200 \times 0.30}{1000} \text{ g} = 4.92 \text{ g}$$

$\therefore$  দ্রবণটিতে 4.92 g সোডিয়াম ইথানোয়েট যোগ করতে হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৭ : দুটি দ্রবণের মধ্যে প্রত্যেকটির pH = 9। এদের মধ্যে একটি বাফার দ্রবণ এবং অপরটি NaOH দ্রবণ। দুই দ্রবণ দুটিকে কীভাবে শনাক্ত করবে, তা ব্যাখ্যা কর।

সমাধান : বাফার দ্রবণের সংজ্ঞা মতে, উভয় দ্রবণের মধ্যে যে দ্রবণে কয়েক ফোঁটা সবল 0.1M HCl এসিড অথবা কয়েক ফোঁটা 0.1M NaOH দ্রবণ যোগ করলে দ্রবণটির pH মান অপরিবর্তিত থাকে, সেটি হবে বাফার দ্রবণ। অপর দ্রবণটিতে কয়েক ফোঁটা 0.1M HCl বা 0.1M NaOH দ্রবণ যোগ করলে ঐ দ্রবণের pH মান যথাক্রমে হ্রাস ও বৃদ্ধি ফেলে সেটি হবে NaOH দ্রবণ।

### ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণি শিক্ষকের সহায়তায় চারজনের গ্রুপ করে নিম্নোক্ত মূলনীতি সহকারে উপরোক্ত ধাপ অনুসরণ করে নিচের চিত্রমতে কার্বনেট বাফার দ্রবণ তৈরি এবং এর কার্যকারিতা প্রমাণ কর।

পরীক্ষা নং-১৩

তারিখ : .....

পরীক্ষার সময় : ২ পিরিয়ড

#### ৪.১৪ পরীক্ষার নাম : কার্বনেট বাফার দ্রবণ তৈরি ও এর কার্যকারিতা প্রমাণ করা

মূলনীতি : কার্বনেট বাফার তৈরিতে দুর্বল এসিডরূপে সোডিয়াম বাইকার্বনেট ( $\text{NaHCO}_3$ ) ও অনুবন্ধী ক্ষাররূপে সোডিয়াম কার্বনেট ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ব্যবহার করা হবে।

পরিকল্পনা : pH 10 বিশিষ্ট 0.5 L ( $\text{NaHCO}_3 - \text{Na}_2\text{CO}_3$ ) বাফার দ্রবণ তৈরি করা হবে।

প্রয়োজনীয় রাসায়নিক পদার্থ : (১)  $\text{NaHCO}_3$ , (২)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , (৩) পাতিত পানি, (৪) লঘু HCl, (৫) লঘু NaOH দ্রবণ।

প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) ২টি 500 mL মেজারিং ফ্লাস্ক, (২) ফানেল, (৩) কেমিক্যাল ব্যালেস,

(৪) ওয়াস বোতল, (৫) pH মিটার, (৬) বিকার।

কাজের ধারা : (১) প্রথমে 500 mL মেজারিং ফ্লাস্কে 0.20 M  $\text{NaHCO}_3$  তৈরি করি।

$$1 \text{ mol NaHCO}_3 = (23 + 1 + 12 + 48) = 84 \text{ g NaHCO}_3$$

$$\therefore 1000 \text{ mL } 1 \text{ M NaHCO}_3 = 84 \text{ g NaHCO}_3$$

$$500 \text{ mL } 0.2 \text{ M NaHCO}_3 = \frac{84 \times 500 \times 0.2}{1000} \text{ g NaHCO}_3$$

$$= 8.4 \text{ g NaHCO}_3$$

(২) কেমিক্যাল ব্যালেসে 8.4 g  $\text{NaHCO}_3$  ওজন করে 500 mL ফ্লাস্কে দ্রবণ তৈরি করা হলো।



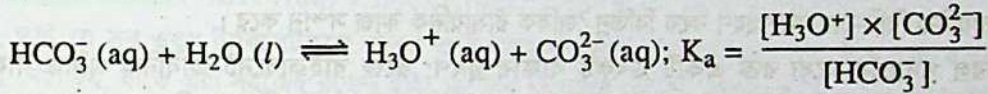
চিত্র-৪.২৭ : কেমিক্যাল ব্যালেসে  $\text{NaHCO}_3$  এর ওজন নেয়া।

রসায়ন-১ম (হাসান)-৩১(খ)



(৩) প্রয়োজনীয় বাফার উপাদান  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  এর পরিমাণ নির্ণয় :

pH 10 এর সংশ্লিষ্ট বাফার উপাদান ঘনমাত্রা অনুপাত সম্পর্ক থেকে নিম্নমতে  $\text{CO}_3^{2-}$  আয়নের বা  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  এর মোলার ঘনমাত্রা নির্ণয় করি।



$$\therefore [\text{CO}_3^{2-}] = K_a \times \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_3\text{O}^+]}$$

$$= \frac{(5.6 \times 10^{-11}) \times (0.20)}{1.0 \times 10^{-10}}$$

$$= 0.112 \text{ M}$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-10} = 1.0 \times 10^{-10} \text{ M}$$

∴ ঐচ্ছিত বাফার দ্রবণের pH 10

∴  $\text{HCO}_3^-$  এর  $K_a = 5.6 \times 10^{-11}$  [পরিশিষ্টে সারণি থেকে]

সুতরাং 500 mL বাফার দ্রবণের জন্য প্রয়োজনীয়  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  হবে নিম্নরূপ :

$\text{Na}_2\text{CO}_3$  এর মোল সংখ্যা = দ্রবণের আয়তন (লিটারে) ×  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  এর মোলারিটি (M)

$$= 0.5 \text{ L দ্রবণ} \times \frac{0.112 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3}{1 \text{ L দ্রবণ}} = 0.056 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3$$

$$\therefore \text{গ্রাম এককে Na}_2\text{CO}_3 \text{ এর ভর} = \frac{106 \text{ g Na}_2\text{CO}_3 \times 0.056 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3}{1 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3} = 5.94 \text{ g Na}_2\text{CO}_3 \text{ (প্রায়)}$$

(৪) এখন 5.94 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  কেমিক্যাল ব্যালেসে ওজন করা হলো।

(৫) দ্বিতীয় 500 mL ফ্লাস্কে ওজন করা 5.94 g  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

কে ফানেলের সাহায্যে নেয়া হলো। পূর্বে প্রস্তুত করা 500 mL 0.20 M  $\text{NaHCO}_3$  দ্রবণটি এ ফানেলের মুখে ঢেলে সমস্ত  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  কে ফ্লাস্কে স্থানান্তর করা হলো। 0.20 M  $\text{NaHCO}_3$  দ্রবণ ঢেলে দ্বিতীয় ফ্লাস্কের 500 mL আয়তন পূর্ণ করা হলো। এরূপে কার্বনেট বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হলো।

প্রস্তুত বাফার দ্রবণে pH পরীক্ষা : pH মিটারের ইলেকট্রোড বা probe কে বিকারে নেয়া 200 mL প্রস্তুত বাফার দ্রবণে ডুবিয়ে pH মিটারে pH মান 10 রিডিং পাওয়া গেল। সুতরাং প্রস্তুত বাফার দ্রবণের ঐচ্ছিত pH সঠিক আছে।

কার্যকারিতা পরীক্ষা : এবার বিকারে নেয়া 200 mL প্রস্তুত বাফার দ্রবণে 2 mL 0.1 M HCl এসিড দ্রবণ মিশিয়ে pH মিটারে pH মান 10 রিডিং পাওয়া গেল। অনুরূপভাবে ২য় বিকারে 200 mL বাফার দ্রবণ নিয়ে ঐ বাফার দ্রবণে 2 mL 0.1 M NaOH ক্ষার দ্রবণ মিশিয়ে দেখা গেল এবারও pH মিটারে pH মান 10 রিডিং দিচ্ছে। প্রস্তুত কার্বনেট বাফার দ্রবণে অল্প HCl ও অল্প NaOH দ্রবণ যোগ করার পরও pH এর মান স্থির থাকায় প্রস্তুত বাফার দ্রবণের কার্যকারিতা প্রমাণিত হলো।

বিভিন্ন জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়ায়, মানুষের রক্তে, কৃষি ক্ষেত্রে, রাসায়ন শিল্প ক্ষেত্রে, টয়লেট্রেজ ও রাসায়নিক বিশ্লেষণে pH এর মান নিয়ন্ত্রণ করা অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ।



চিত্র-৪.২৮ : pH মিটার দ্বারা বাফার দ্রবণের pH পরীক্ষা।



### ৪.১৫ মানুষের রক্তের pH pH of Human Blood

মানুষের রক্ত এবং দেহের অন্যান্য তরল অংশ এমনভাবে গঠিত যে তাদের বাফার ক্ষমতা আছে। এর ফলে অ্যামাইনো এসিডসমূহ সুনির্দিষ্ট রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে বিভিন্ন জৈবিক রাসায়নিক কাজ সম্পন্ন করে।

দেহের বিভিন্ন তরল পদার্থের মধ্যে রক্ত একটি উৎকৃষ্ট বাফার দ্রবণ; রক্তে বাইকার্বনেট-কার্বনিক এসিড বাফার বিদ্যমান। স্বাভাবিক অবস্থায় রক্তের pH = 7.4 এর কাছাকাছি থাকে। তাই রক্ত সামান্য ক্ষারীয় প্রকৃতির বাফার দ্রবণ।

রক্তের স্বাভাবিক pH থেকে 0.1 pH ইউনিট পরিবর্তন সীমার মধ্যে থাকলে রক্ত দ্বারা অক্সিজেন পরিবহন সুষ্ঠুভাবে ঘটে। তবে রক্তের pH কোনো কারণে 0.5 এর বেশি পরিবর্তিত হলে জীবন সংকটাপন্ন হয়। তবে বিভিন্ন কারণে রক্তের pH এর মান 7 থেকে 7.8 এর মধ্যে পরিবর্তিত হতে পারে।

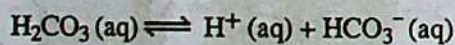
\* (i) মানুষের রক্তের pH মান 7.45 এর বেশি হলে এ অবস্থাকে চিকিৎসা বিজ্ঞানে অ্যালকালিসিস (alkalosis) বলে। অধিক অ্যালকালিসিস অবস্থায় রোগীর মৃত্যু ঘটে থাকে।

\* (ii) মানুষের রক্তের pH 7.0 এর কম হলে এ অবস্থাকে চিকিৎসা বিজ্ঞানে এসিডোসিস (acidosis) বলে। অধিক এসিডোসিসের কারণে স্নায়ুতন্ত্র ক্রমশ দুর্বল হয়ে রোগী চেতনা হারিয়ে দীর্ঘকালীন অচেতন বা কোমা (coma) অবস্থায় চলে যেতে পারে।

মানুষের রক্তের pH নিয়ন্ত্রণ : মানুষের রক্তের pH নিয়ন্ত্রণ প্রক্রিয়ায় নিম্নোক্ত বাফার সিস্টেম প্রত্যক্ষ ও পরোক্ষভাবে জড়িত। যেমন, (১) রক্তে বাইকার্বনেট বাফার, (২) আন্তঃকোষীয় ফসফেট বাফার এবং (৩) প্রোটিন বাফার।

তবে ফসফেট বাফার সিস্টেম ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4^- - \text{NaH}_2\text{PO}_4$ ; এখানে  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  এসিডের  $K_a = 6.2 \times 10^{-8}$ ;  $\text{p}K_a = 7.21$ ) হলো আন্তঃকোষীয় বাফার। রক্তের প্লাজমা তরলে নিম্ন ঘনমাত্রার জন্য বিশেষ ভূমিকা রাখে না। প্রোটিন বাফার সিস্টেমটি প্লাজমা প্রোটিন ও হিমোগ্লোবিন প্রোটিন সমন্বয়ে গঠিত। অ্যামাইনো এসিডের  $\text{p}K_a$  এর মানের ওপর প্রোটিন বাফারের দক্ষতা নির্ভর করে। হিমোগ্লোবিনে পর্যাপ্ত পরিমাণে ক্ষারীয় অ্যামাইনো এসিড হিস্টিডিন (35%) থাকায় এটির  $\text{p}K_a$  মান প্রায় 7। হিমোগ্লোবিন উৎকৃষ্ট বাফাররূপে রক্তের 'বাইকার্বনেট-কার্বনিক এসিড বাফার'-এর সামান্য (2%) নিয়ন্ত্রণ করে।

\* (১) রক্তের বাইকার্বনেট বাফার সিস্টেম : মানুষের রক্তে কার্যকর থাকে সোডিয়াম বাইকার্বনেট-কার্বনিক এসিড বাফার সিস্টেম ( $\text{NaHCO}_3/\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{p}K_a = 6.1$ )। এটি বহিঃকোষীয় এবং রক্তের প্লাজমা তরলের অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ বাফার সিস্টেম। এক্ষেত্রে কার্বনিক এসিডের বিয়োজন নিম্নরূপ :



$$\therefore K_a = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \quad [K_a = 7.9 \times 10^{-7}]$$

$$\therefore [\text{H}^+] = \frac{K_a \times [\text{H}_2\text{CO}_3]}{[\text{HCO}_3^-]} \quad \text{p}K_a = 6.1$$

$$\text{বা, } \text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}; \quad \therefore \text{pH} = \text{p}K_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{এসিড}]}$$

MCQ-4.34 : 0.05 M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  এর pH কত? [কু. বো. ২০১৫]

(ক) 1.0 (খ) 1.5  
(গ) 2.0 (ঘ) 2.5

MCQ-4.35 : 0.01 M NaOH এর pH কত? [দি. বো. ২০১৫]

(ক) 1 (খ) 2  
(গ) 12 (ঘ) 13

এক্ষেত্রে রক্তের প্লাজমা তরলে বাইকার্বনেট লবণ ( $\text{HCO}_3^-$ ) এর ঘনমাত্রা হলো প্রায় 24 m mol/L এবং কার্বনিক এসিড ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) এর ঘনমাত্রা অর্থাৎ  $\text{CO}_2$  এর জলীয় দ্রবণের ঘনমাত্রা হলো  $\text{CO}_2$  গ্যাসের আংশিক চাপ (40 mmHg) এবং এর দ্রাব্যতা গুণফল দ্রবক মানের গুণফলের সমান। এক্ষেত্রে  $\text{CO}_2$  এর দ্রাব্যতা গুণফল দ্রবক 0.03।

$$\therefore \text{প্লাজমা তরলে } \text{H}_2\text{CO}_3 \text{ এর ঘনমাত্রা} = 40 \times 0.03 \text{ m mol/L} = 1.2 \text{ m mol/L}$$

$$\text{এখন মান বসিয়ে পাই, } \therefore \text{pH} = 6.1 + \log \frac{24}{1.2} = (6.1 + \log 20) = (6.1 + 1.3) = 7.4$$

অম্লজাতীয় খাদ্য যেমন অধিক লেবুর রস গ্রহণে অথবা রক্তে কোনো এসিড জাতীয় দ্রবণ শোষিত হলে তা নিম্নোক্ত বিক্রিয়া অনুসারে প্রশমিত হয়।



$H^+ (aq) + HCO_3^- (aq) \longrightarrow H_2CO_3 (aq)$ ; উৎপন্ন অস্থায়ী কার্বনিক এসিড পরে বিয়োজিত হয়ে পানি ও  $CO_2$  গ্যাসে পরিণত হয়। ফুসফুসের মাধ্যমে নিঃশ্বাসে  $CO_2$  মুক্ত হয়। অপরদিকে রক্তে  $OH^-$  আয়ন বৃদ্ধি পেলে নিম্নোক্ত বিক্রিয়া ঘটার তা প্রশমিত হয়।  $OH^- (aq) + H_2CO_3 (aq) \longrightarrow HCO_3^- (aq) + H_2O (l)$

তাই যে সব ওষুধ ট্যাবলেটরূপে সেবন ও ইনজেকশনরূপে মানবদেহে প্রয়োগ করা হয়, এদেরকে এমনভাবে তৈরি করে নেয়া হয়, যাতে এরা সহজেই রক্তের হাইড্রোনিয়াম আয়নের মোলার ঘনমাত্রার  $[H_3O^+]$  সাথে সাম্যাবস্থায় পৌঁছায় এবং রক্তের pH-এর কোনোরূপ পরিবর্তন না ঘটায়।

সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৬৮ : রক্তরসে থাকা এসিড ও ঐ এসিডের লবণের ঘনমাত্রার অনুপাত 0.05 এবং রক্তের pH এর মান 7.4 থাকে। এক বিশেষ রাসায়নিক সিস্টেমের কারণে টক জাতীয় ফল যেমন লেবুর রস এবং ক্ষারধর্মী বিভিন্ন অম্লনাশক ঔষধ সেবনের পরও রক্তের pH মানের তেমন কোনো পরিবর্তন ঘটে না। [ব. বো. ২০১৬]

(গ) উদ্দীপক মতে, রক্তরসে বিদ্যমান দুর্বল এসিডটির  $K_a$  এর মান নির্ণয় কর।

(ঘ) উদ্দীপকের আলোকে রক্তের pH মান স্থির থাকার কৌশলটি বিশ্লেষণ কর।

সমাধান : (গ) রক্তরসে থাকা এসিডটির  $K_a$  এর মান নির্ণয় :

উদ্দীপক মতে, রক্তরসে থাকা দুর্বল এসিডটি হলো কার্বনিক এসিড ( $H_2CO_3$ ) এবং এর লবণ হলো সোডিয়াম বাইকার্বনেট লবণ ( $NaHCO_3$ )।

প্রশ্ন মতে, এসিড ও লবণটির অনুপাত অর্থাৎ  $H_2CO_3$  ও  $NaHCO_3$  এর ঘনমাত্রার অনুপাত = 0.05 এবং রক্তে pH = 7.4। এক্ষেত্রে বাফার দ্রবণের হেন্ডারসন সমীকরণ মতে,

$$pH = pK_a + \log \frac{[\text{লবণ}]}{[\text{অম্ল}]} ; \text{সুতরাং সংশ্লিষ্ট মানগুলো বসিয়ে পাই—}$$

$$7.4 = -\log K_a + \log \frac{1}{0.05}$$

$$\text{বা, } \log K_a = -7.4 + \log 20 = (-7.4 + 1.3) = -6.1$$

$$\text{বা, anti log } K_a = \text{antilog } (-6.1); \text{ বা, } K_a = 0.000000794$$

$$\text{বা, } K_a = 7.94 \times 10^{-7} \text{ (উত্তর)}$$

সমাধান : রক্তের pH মান স্থির থাকার কৌশল :

অনুচ্ছেদ-৪.১৫ এ (১) রক্তের বাইকার্বনেট বাফার সিস্টেম দেখো।

<b>MCQ-4.36 : মানুষের রক্তের pH</b>	
রেঞ্জ কত?	[য. বো. ২০১৬]
(ক) 1.0—2.0	(খ) 4.8—7.5
(গ) 6.4—6.9	(ঘ) 7.35—7.45

শিক্ষার্থী নিজে কর-৪.১৪ : বাফার দ্রবণভিত্তিক সমস্যা :

সমস্যা- ৪.৫০ : (ক) হেন্ডারসন সমীকরণ ব্যবহার করে 0.20 M  $NaHCO_3$  ও 0.10 M  $Na_2CO_3$  দ্রবণের সম-আয়তন মিশ্রণের বাফার দ্রবণের pH গণনা কর। [ $K_{a1} = 4.3 \times 10^{-7}$ ;  $K_{a2} = 5.6 \times 10^{-11}$ ] [উ: pH = 9.95]

(খ) 0.1 M  $CH_3COOH$  দ্রবণে সমআয়তনের 0.1 M  $CH_3COONa$  দ্রবণ মিশানো আছে। সৃষ্ট বাফার দ্রবণের pH কত?  $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$  [উ: 4.74]

(গ) 25 mL 0.2 M অ্যাসিটিক এসিড দ্রবণে 20 mL 0.2 M  $NaOH$  দ্রবণ মিশানো আছে। উৎপন্ন বাফার দ্রবণের pH কত?  $K_a = 1.0 \times 10^{-5}$  [উ: 5.60]

সমস্যা-৪.৫১ : (ক) তুমি কীভাবে pH 10.40 বিশিষ্ট  $NaHCO_3 - Na_2CO_3$  বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করবে? [ $K_a = 4.7 \times 10^{-11}$ ] [উ:  $Na_2CO_3 : NaHCO_3 = 1.20 : 1.0$ ]

(খ) 4.0 pH বিশিষ্ট বাফার দ্রবণ তৈরি করতে 60 mL 0.05 M ফরমিক এসিড দ্রবণে কত mL 0.1 M সোডিয়াম ফরমেট দ্রবণ যোগ করতে হবে? এক্ষেত্রে  $pK_a = 3.8$ । [উ: 47.55 mL]

[দ্রষ্টব্য : এক্ষেত্রে ব্যবহৃত সমীকরণের [লবণ]/[অম্ল] এর ক্ষেত্রে x mL 0.1 M  $HCOONa$  এর মোল সংখ্যা =  $0.1 \times x(\text{mol})/1000 = 0.0001x \text{ mol}$  এবং 60 mL 0.05 M  $HCOOH$  এর মোল সংখ্যা =  $0.05 \times 60 (\text{mol})/1000 = 0.003 \text{ mol}$ ]



- (গ) pH 5 বিশিষ্ট বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে ইথানোয়িক এসিড ও সোডিয়াম ইথানোয়েট কী মোলার অনুপাতে মিশ্রিত করতে হবে, তা গণনা কর।  $pK_a = 4.8$ । [উ: এসিড : লবণ = 1 : 1.6 বা, 0.63 : 1]
- [দ্রষ্টব্য :  $pH = pK_a + \log \left( \frac{[লবণ]}{[অম্ল]} \right)$ ; বা,  $(5.0 - 4.8) = \log \left( \frac{[লবণ]}{[অম্ল]} \right)$  বা,  $0.2 = \log \left( \frac{[লবণ]}{[অম্ল]} \right)$ ,  $\text{antilog}(0.2) = \frac{[লবণ]}{[অম্ল]}$ ।]
- (ঘ) কোনো বাফার দ্রবণে  $0.1 \text{ mol L}^{-1}$  ঘনমাত্রার ইথানোয়িক এসিড এর সাথে  $0.1 \text{ mol L}^{-1}$  সোডিয়াম ইথানোয়েট দ্রবণ মিশানো আছে। ঐ বাফার দ্রবণের pH হিসাব কর। ( $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ ) [উ: 4.75]
- (ঙ) কোনো বাফার দ্রবণে ইথানোয়িক এসিড ও সোডিয়াম ইথানোয়েটের ঘনমাত্রা যথাক্রমে  $0.1 \text{ mol L}^{-1}$  এবং  $0.15 \text{ mol L}^{-1}$  হলে ঐ বাফার দ্রবণের pH নির্ণয় কর। ইথানোয়িক এসিডের  $K_a = 1.77 \times 10^{-5}$ । [উ: 4.93]
- (চ) কোনো বাফার দ্রবণে ইথানোয়িক এসিডের ঘনমাত্রা  $0.10 \text{ mol L}^{-1}$  এবং সোডিয়াম ইথানোয়েটের ঘনমাত্রা  $0.20 \text{ mol L}^{-1}$  আছে। ইথানোয়িক এসিডে  $K_a = 1.80 \times 10^{-5}$  হলে ঐ বাফার দ্রবণের pH কত হবে? [উ: 5.05]
- (ছ) একটি মিশ্র জলীয় দ্রবণে ইথানোয়িক এসিডের ঘনমাত্রা  $0.2 \text{ mol L}^{-1}$  এবং সোডিয়াম ইথানোয়েটের ঘনমাত্রা  $0.3 \text{ mol L}^{-1}$ । ইথানোয়িক এসিডের  $K_a = 1.80 \times 10^{-5}$  হলে ঐ বাফার দ্রবণের pH নির্ণয় কর। [উ: 4.92]
- (জ) কোনো একটি ক্ষারীয় বাফার দ্রবণে  $\text{NH}_4\text{OH}$  আছে  $0.015 \text{ mol L}^{-1}$  এবং  $\text{NH}_4\text{Cl}$  আছে  $0.025 \text{ mol L}^{-1}$ । ঐ বাফার দ্রবণে pH কত হবে?  $\text{NH}_4\text{OH}$  দ্রবণের  $K_b = 1.77 \times 10^{-5}$ । [উ: 9.03]
- (ঝ) pH = 4.6 বিশিষ্ট একটি বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে যে অনুপাতে সোডিয়াম অ্যাসিটেট ও অ্যাসিটিক এসিড মিশাতে হবে তা নিরূপণ কর। দেয়া আছে,  $pK_a = 4.75$ । [উ: লবণ : এসিড = 0.708 : 1]
- (ঞ) 15 mL 0.15 M অ্যাসিটিক এসিড দ্রবণে 6 mL 0.15 M NaOH দ্রবণ যোগ করা হলো। মিশ্রিত দ্রবণের pH কত হবে? [ $pK_a = 4.76$ ] [উ: 4.58]
- (ট) 1.0 M  $\text{CH}_3\text{-COOH}$  দ্রবণের মধ্যে প্রয়োজনীয়  $\text{CH}_3\text{-COONa}$  যোগ করে 4.95 pH মানের একটি বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হলো। বাফার দ্রবণে  $\text{CH}_3\text{-COONa}$  এর ঘনমাত্রা নির্ণয় কর। ( $pK_a = 4.7447$ )। [উ: 1.604M]
- (ঠ) 1L আয়তনের 1 M  $\text{CH}_3\text{-COOH}$  দ্রবণের মধ্যে 0.305 L  $\text{CH}_3\text{-COONa}$  যোগ করে 4.23 pH মানের বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হলো। বাফার দ্রবণে  $\text{CH}_3\text{-COONa}$  এর ঘনমাত্রা নির্ণয় কর। ( $pK_a = 4.7447$ ) [উ: 1.0M]
- (ড) 50 mL 0.175 M মিথানোয়িক এসিড দ্রবণে 50 mL 0.09 M কস্টিক সোডার দ্রবণ যোগ করে বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করা হলো। দ্রবণের pH মান গণনা কর। ( $K_a = 1.8 \times 10^{-4}$ ) [উ: 3.77]
- (ঢ) 5 pH মানের একটি বাফার দ্রবণ প্রস্তুত করতে ইথানোয়িক এসিড ও সোডিয়াম ইথানোয়েট কী অনুপাতে মিশাতে হবে? ( $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ ) [উ: এসিড : লবণ = 0.555 : 1]

### ৪.১৬.১ কৃষি উৎপাদনে pH এর গুরুত্ব

#### Importance of pH in Agriculture

কৃষি উৎপাদনে ও মাটির pH নিয়ন্ত্রণ গুরুত্বপূর্ণ। মাটির pH একটি সুনির্দিষ্ট সীমার মধ্যে হলেই গাছপালা মাটি থেকে প্রয়োজনীয় খাদ্য গ্রহণ করতে পারে, নতুবা নয়। pH এর মান 3 এর চেয়ে কম হলে অর্থাৎ মাটি অধিক অম্লীয় হলে গাছপালা মরে যায়। যেমন, এসিড বৃষ্টির ফলে pH এর মান হ্রাস পাওয়ায় অনেক স্থানে গাছপালা মরে গিয়ে মরু প্রক্রিয়া সৃষ্টি হয়। লালমনিরহাট এলাকার অম্লধর্মী মাটিতে চুন ( $\text{CaO}$ ) ও ডলোমাইট ( $\text{CaCO}_3, \text{MgCO}_3$ ) গুঁড়া দেয়ার পর ঐ মাটির pH বৃদ্ধি পায়। ফলে ঐ মাটিতে গম, ভুট্টা, চীনাবাদাম চাষ করা সম্ভব হচ্ছে। আবার ক্ষারকীয় মাটির বেলায় মাটির pH এর মান 9.5 এর উপরে হলে মাটির উর্বরতা বিনষ্ট হয়। কারণ তখন মাটির উর্বরতা সহায়ক অণুজীব মরে যায়। মাটির অণুজীব বৃদ্ধির সহায়ক pH হলো 6.6 - 7.3. বিভিন্ন অণুজীব মাটির উর্বরতা বৃদ্ধির উপাদান N,S,P মৌল যোগান দেয়। সুতরাং কৃষি জমিতে মাটির pH এর বিস্তার কৃষি কাজের অবস্থানভেদে বিভিন্ন অঞ্চলে 3-9.5 এর মধ্যে রাখা হয়।



তাই (১) অম্লধর্মী মাটির pH বাড়তে চুন এবং ক্যালসিয়াম ও ম্যাগনেসিয়াম প্রভৃতির কার্বনেট যেমন লাইম স্টোন গুড়া ( $\text{CaCO}_3$ ) ও ডলোমাইট গুড়া [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ] ব্যবহৃত হয়। অপরদিকে (২) ক্ষারকীয় মাটির pH কমানোর জন্য বিভিন্ন নাইট্রেট সার যেমন,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  এবং ফসফেট সার যেমন টি. এস. পি বা মনোক্যালসিয়াম ফসফেট,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  ও সুপার ফসফেট ইত্যাদি ব্যবহৃত হয়। সুপার ফসফেট হলো মনোক্যালসিয়াম ফসফেট মনোহাইড্রেট [ $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ],  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  ও জিপসাম [ $2(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ ] গুড়ার মিশ্রণ।

MCQ-4.37 : 12.5% NaOH	
দ্রবণের pH কত? [বি. বো. ২০১৬]	
(ক) 12.51	(খ) 13.51
(গ) 14.51	(ঘ) 15.51

### ৪.১৬.২ রাসায়ন শিল্পে pH এর গুরুত্ব

#### Importance of pH in Chemical Industries

বিভিন্ন শিল্প প্রক্রিয়ায়ও pH এর অতি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা আছে। বিভিন্ন ওষুধ উৎপাদনে, ফার্মেন্টেশন বা গাঁজন প্রক্রিয়ায় অ্যালকোহল উৎপাদনে, বেকারিতে, লেজস জাতীয় মিষ্টদ্রব্য প্রস্তুতিতে pH এর প্রয়োজনীয় নির্দিষ্ট মান রক্ষা করা অতীব প্রয়োজন। এ ছাড়া চামড়ার ট্যানিং, বায়োলজিক্যাল কালচার প্রস্তুতিতে, মৃত্তিকা রসায়নে pH এর নিয়ন্ত্রণ গুরুত্বপূর্ণ। সুগার মিলে আখের রস থেকে সুগার বা চিনি উৎপাদনের বেলায় দ্রবণের pH নিয়ন্ত্রণে রাখা হয়। ফলে চিনি বা সুক্রোজ অণু আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে ইনভার্ট চিনি অর্থাৎ সমমোলার গ্লুকোজ ও ফ্রুক্টোজে রূপান্তর বা সুক্রোজের ইনভারশন (inversion) রোধ হয়। কাপড়ের সূতার বিরঞ্জে ও ডায়িং কাজে বিভিন্ন ডাই বা রঞ্জকের দ্বারা প্রিন্ট কাপড় উৎপাদনে বিভিন্ন pH মান বিভিন্ন রঞ্জকের বেলায় নিয়ন্ত্রণ করতে হয়। রঞ্জকের pH মান নিয়ন্ত্রণ করা না হলে প্রিন্ট-কাপড়ের ক্ষতি হয়। এছাড়া কলমের কালি, ধাতু নিষ্কাশনে তৈল-ফেনা প্রক্রিয়ায় সালফাইড আকরিক গাঢ়ীকরণে, শিল্প বর্জ্য শোধনে ETP-তে pH মান নিয়ন্ত্রণ অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ।

### ৪.১৬.৩ টয়লেট্রিজ উৎপাদনে pH এর গুরুত্ব

#### Importance of pH in Toiletries

বর্তমানে টয়লেট্রিজ বলতে টয়লেট সাবান, শ্যাম্পু, ফেস-ওয়াশ ও টুথপেস্ট ইত্যাদিকে বোঝায়। এ সব সামগ্রী দেহের ত্বক, মাথার চুল ও চুলের গোড়া পরিচর্যায় এবং মুখের ভিতরে দাঁত-মাটির পরিচর্যায় ব্যবহৃত হয়। ত্বক দেহের তাপমাত্রা নিয়ন্ত্রণে ভূমিকা রাখে। এছাড়া বাইরের ক্ষতিকর ফাংগাস, ভাইরাস, ব্যাকটেরিয়াসহ বিভিন্ন রোগজীবাণুর আক্রমণ প্রতিরোধ করে। এসব ক্ষতিকর রোগজীবাণুর প্রতিরোধে অম্লীয় পরিবেশ কার্যকর। তাই প্রাকৃতিক নিয়মেই ত্বকের নিচে থাকা সেবাসিয়াস গ্ল্যান্ড থেকে নিঃসৃত সেবাম (sebum) নামক তৈল জাতীয় পদার্থ বহিঃত্বকের (epidermis) উপরে মসৃণ এসিড আবরণ (acid mantle) সৃষ্টি করে। তখন বয়স্ক লোকের ত্বকের pH মান সাধারণত 4.0-5.5 পরিসরে থাকে। তবে ২-১ মাসের শিশুর কোমল ত্বকের pH অনেক বেশি (6.5-5.5) থাকে। তখনও শিশুর ত্বকের এসিড-আবরণটি পূর্ণভাবে গঠিত হয়নি। অধিকাংশ বয়স্ক লোকের মুখমণ্ডল ও দেহত্বকের pH এর পরিসর 4.7-5.75 এর মধ্যে থাকে।

বহিঃত্বকের এ এসিড-আবরণটি ত্বকের আর্দ্রতা বজায় রাখা কোষসমূহের মধ্যে সংযোগ রক্ষা করা, ত্বকের কমনীয়তা ও দৃঢ়তা দান ইত্যাদি ভূমিকা পালন করে। তাই কোনো কারণে ত্বকের এসিড আবরণ নষ্ট হলে ত্বকের সামগ্রিক ক্ষতি হয়। যেমন কাপড় কাচা সাবান, ডিটারজেন্ট ও বাসনপত্র ধোয়ার সাবানে অধিক ক্ষার থাকে, এদের দ্রবণে pH মান 11-13 হয়। এ সব সাবান ব্যবহারকারীর হাতের বহিঃত্বকের ক্ষতি হয়। ত্বক শুষ্ক, অমসৃণ ও রুক্ষ হয়ে থাকে। তাই বিভিন্ন টয়লেট্রিজ উৎপাদনে pH মান নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে রাখতে হয়। যেমন,

(i) ত্বককে ব্যাকটেরিয়ার আক্রমণ থেকে রক্ষা করতে ত্বকের pH 4.0-5.5 এ রাখতে হবে। এক্ষেত্রে অ্যান্টি অক্সিডেন্টসমূহ যেমন ভিটামিন A, C, E এবং সবুজ চা পান কার্যকর ভূমিকা রাখে।

(ii) গোসল করার সাবানের pH মান 7-8 এর মধ্যে রাখা হয়।

(iii) চুলের শ্যাম্পুতে pH মান 5-7 এর মধ্যে রাখা হয়।

(iv) ফেস-ওয়াশ এর বেলায় 6-8 এর মধ্যে রাখা হয়।

(iv) টুথপেস্টের pH এর মান 8 এ রাখা হয়।

MCQ-4.38 : মাটির pH কমানোর জন্য	
কোনটি ব্যবহৃত হয়? [সি. বো. ২০১৫]	
(ক) $\text{CaCO}_3$	(খ) $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$
(গ) $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	(ঘ) $\text{CaO}$



### ৪.১৬.৪ ওষুধ সেবনে pH এর গুরুত্ব

#### Importance of pH in Taking Medicine

মানুষের শরীরের প্রতিটি তন্ত্রের কোষগুলোতে শারীরবৃত্তীয় বিভিন্ন বিক্রিয়াগুলো এনজাইম দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় এবং প্রতিটি তন্ত্রের তরলের সুনির্দিষ্ট pH মান রয়েছে। যেমন, (১) চোখের পানির pH = 6.6–7.6; (২) মুখের লাল বা স্যালিভার pH = 6.2–7.4; (৩) মাতৃদুগ্ধের pH = 6.6–6.9, (৪) প্রস্রাবের pH = 4.5–8.0; (৫) রক্তের pH 7.4 এবং (৬) মুখ গহ্বরের পর পাকস্থলীর বিভিন্ন জীবাণুনাশক সবচেয়ে বেশি অম্লীয় পরিবেশের pH (1.5–3.5) থাকে। ফলে পাকস্থলীর এনজাইম পেপসিন সক্রিয় থাকে। এরপর ক্ষুদ্রান্ত্রের শুরুতে পিণ্ডরসের ক্ষারীয় পরিবেশে pH = (7.4–8.0) পর্যন্ত থাকে।

শারীরবৃত্তীয় pH মানভিত্তিক কোনো প্রক্রিয়ায় ব্যতিক্রম ঘটলে আমরা শারীরিকভাবে অসুস্থ হই। অসুস্থ শরীরকে সুস্থ করতে ওষুধ নামক বিভিন্ন রাসায়নিক পদার্থ মুখে অথবা ইনজেকশনরূপে গ্রহণ করি। মুখে গেলা ওষুধ ও চোখে দেয়া ড্রপ-প্রতিক্রমে আন্তঃকোষে শোষিত হয় এবং রক্ত প্রবাহে মিশে অসুস্থ তন্ত্রে ক্রিয়া করে সুস্থতা স্থিত করে।

ওষুধ সেবনের বেলায় চিকিৎসকের পরামর্শ মতে সঠিক মাত্রায় ওষুধ গ্রহণ করতে হবে। সঠিক মাত্রায় গৃহীত ওষুধ অসুস্থ তন্ত্রের pH পরিসরে সঠিকভাবে শোষিত হয়ে কার্যকর ভূমিকা রাখতে পারে। ওষুধের শোষণ শরীরের প্রতিটি প্রবেশ পথের ত্বক দ্বারা ঘটে। ওষুধ বা ড্রাগ (drug) অণুর শোষণ প্রক্রিয়াটি এদের দ্রাব্যতা, আয়নীকরণ বা বিয়োজন মাত্রা ও pH এর মান ইত্যাদির ওপর নির্ভর করে।

প্রতিটি ওষুধ বা ড্রাগ পানিতে কম বেশি দ্রবীভূত হতে হয় এবং এদের বিয়োজন মাত্রাও ভিন্ন হয়। প্রতিটি ড্রাগ-অণু অবিয়োজিত অণু ও বিয়োজিত আয়নরূপে দ্রবণে থাকে।

গৃহীত ড্রাগ বা ওষুধ = অবিয়োজিত অণু + বিয়োজিত আয়নদ্বয়

অবিয়োজিত ড্রাগ বা ওষুধ অণুসমূহ অধিক কার্যকরভাবে শোষিত হয়। যেমন,

(১) জ্বর ও ব্যথা নিবারক ওষুধ অ্যাসপিরিন, প্যারাসিটামল ইত্যাদি অল্পধর্মী ওষুধের শোষণ প্রক্রিয়া পাকস্থলীর অম্লীয় পরিবেশে সর্বাধিক ঘটে। কারণ পাকস্থলীর pH (1.5–3.5) পরিবেশে এসব ওষুধ কম আয়নিত হয়।

(২) আবার জ্বরের ওষুধ ক্লোরোকুইন মৃদু ক্ষারধর্মী হওয়ায় ক্ষুদ্রান্ত্রের pH (7.5–8.0) পরিসরে আয়নীকরণ কম ঘটে এবং অণুরূপে সঠিকমাত্রায় শোষিত হয়।

সুতরাং অসুস্থ শরীরে ওষুধ সেবন এবং ওষুধের কার্যকারিতা সম্পূর্ণরূপে দেহ মাধ্যমের pH পরিসরের ওপর নির্ভরশীল।

### ৪.১৭ pH পরিমাপ করে উপযুক্ত প্রসাধন সামগ্রী নির্বাচন

#### Selection of Proper pH-Cosmetics after Testing

আমাদের প্রাত্যহিক ব্যবহার্য সাধারণ প্রসাধন সামগ্রীর মধ্যে উল্লেখযোগ্য হলো— (১) টয়লেট সাবান, (২) টুথপেস্ট, (৩) কোন্ড ক্রীম/স্নো, (৪) ট্যালকম পাউডার ইত্যাদি। এসব প্রসাধনীর মধ্যে টুথপেস্ট দাঁত ও মুখের ভিতরে পরিষ্কার করার কাজে ব্যবহৃত হয়। অন্যসব সামগ্রী যেমন টয়লেট সাবান, কোন্ড ক্রীম/স্নো ও পাউডার ত্বকের পরিচর্যার জন্য ব্যবহৃত হয়।

বড়দের ত্বকের ওপর অম্লীয় পরিবেশ থাকে; ত্বকের pH 4–6 এর মধ্যে থাকে। কিন্তু নবজাতকের ত্বকের pH 7 এর কাছাকাছি হয়। তাই বড়দের জন্য যে প্রসাধনী ব্যবহৃত হয়, তা শিশুদের জন্য প্রযোজ্য নয়। এতে শিশুর ত্বকের মারাত্মক ক্ষতি হতে পারে। আবার মুখের ভিতর অম্লীয় পরিবেশ থাকে। মুখে দুর্গন্ধ, দাঁতের গোড়ায় বেদনা হলে জীবাণু নাশকরূপে 'এন্টিসেপটিক মাউথ ওয়াশ' ব্যবহৃত হয়। এতে pH 5.5 লেখা থাকে। যা মুখের লালার pH (6.2–7.4) এর কাছাকাছি থাকে। কিন্তু খাবার গ্রহণের পর এক ঘণ্টার মধ্যে মুখের লালার pH 3 এর নিচে আসে। কারণ আমাদের খাবারের চিনি থেকে এসিড উৎপন্ন হয়। তাই অধিক অম্লীয় পরিবেশকে কিছুটা প্রশমিত করার জন্য টুথপেস্টের pH 8 এর কাছাকাছি রাখা হয়। এখন আমরা সাধারণ কমমেটিক বা প্রসাধনীর pH অনুসন্ধান পরীক্ষা করে উপযুক্ত প্রসাধন সামগ্রী ব্যবহারের জন্য নির্বাচন করতে সক্ষম হব।



শিক্ষার্থীর কাজ : ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীরা গ্রুপ করে এ কাজ করবে।

সাধারণ 'কসমেটিক'-এর pH পরিমাপ ও কসমেটিক নির্বাচন

পরীক্ষা নং-১ : বাজারের বিভিন্ন ব্র্যান্ডের টয়লেট সাবান-এর pH পরীক্ষা ও ব্যবহার যোগ্যতা নির্ধারণ

তারিখ : .....

সময় : ২ পিরিয়ড

(ক) উদ্দেশ্য : বাজারজাত টয়লেট সাবানে pH সঠিকভাবে নিয়ন্ত্রণ করা হয়েছে কিনা, তা জানা।

(খ) প্রয়োজনীয় বস্তু : বিভিন্ন ব্র্যান্ডের টয়লেট সাবান যেমন, Lux, Tibet, Nirma

(গ) pH পরিমাপের জন্য প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) বিকার, (২) গ্লাস রড, (৩) ওয়াস বোতল, (৪) pH মিটার, অথবা সার্বজনীন নির্দেশক (ইউনিভার্সেল ইন্ডিকেটর), সার্বজনীন নির্দেশক-এর বিভিন্ন pH পরিসরে বর্ণ পরিবর্তন সারণি নিম্নরূপ :

সারণি-৪.৫ : সার্বজনীন নির্দেশকের বিভিন্ন pH-এর বর্ণ :

pH	3.4	5.6	7	8, 9, 10	11, 12	1.2	13, 14
সার্বজনীন নির্দেশকের বর্ণ :	লাল	কমলা	হলুদ	সবুজ	নীল-সবুজ	নীল	বেগুনি
	Red	Orange	Yellow	Green	Blue-Green	Blue	Violet

(ঘ) কাজের ধারা : (১) পৃথক বিকারে পানিতে প্রতিটি ব্র্যান্ডের টয়লেট সাবানের দ্রবণ তৈরি করা হয়।

(২) প্রতিটি সাবানের দ্রবণে pH মিটার-এর ইলেকট্রোড ডুবানো হয়। মিটার রিডিং নিচের ছকে রেকর্ড করা হয়।

অথবা সাবানের দ্রবণে সার্বজনীন নির্দেশক কাগজ (বা দ্রবণ) যোগ করা হয়। নির্দেশকের বর্ণ পরিবর্তন দেখে pH মান ঠিক করে ছকে রেকর্ড করা হয়।

(ঙ) পর্যবেক্ষণ ও সিদ্ধান্ত : শেষে ত্বকের pH মতে পরীক্ষাধীন ব্র্যান্ডের সাবান ত্বকের বা স্বাস্থ্যের ওপর কোনো প্রভাব সৃষ্টি করবে কিনা মন্তব্য প্রদান।

সাবানের নমুনা	নমুনার pH মান	অনুমোদিত pH মান	নমুনার pH কম/বেশি	ব্যবহার সম্বন্ধে মতামত
১। ব্র্যান্ড - ১	7		pH কম	১। শুষ্ক ত্বকের জন্য ব্যবহারে সুবিধাজনক।
২। ব্র্যান্ড - ২	8.1	7-8	pH বেশি	২। ব্র্যান্ড-২, ৩ এর কিছু বেশি ক্ষার থাকায় তৈলাক্ত ত্বকের জন্য সুবিধাজনক।
৩। ব্র্যান্ড - ৩	8.2		pH বেশি	

পরীক্ষা নং-২ :

বাজারের বিভিন্ন ব্র্যান্ডের টুথপেস্ট এর pH পরীক্ষা ও ব্যবহার যোগ্যতা নির্ধারণ

(ক) উদ্দেশ্য : বাজারজাত টুথপেস্টে pH সঠিকভাবে নিয়ন্ত্রণ করা হয়েছে কিনা; তা জানা।

(খ) প্রয়োজনীয় বস্তু : বিভিন্ন ব্র্যান্ডের টুথপেস্ট যেমন Pepsodent, White plus, Colgate

(গ) প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) pH মিটার, বা সার্বজনীন নির্দেশক, (২) বিকার, (৩) গ্লাস রড, (৪) ওয়াস বোতল।

(ঘ) কাজের ধারা : পূর্বের পরীক্ষার মতো।

(ঙ) পর্যবেক্ষণ ও সিদ্ধান্ত : পূর্বের পরীক্ষার মতো।

টুথপেস্টের নমুনা	নমুনার pH মান	অনুমোদিত pH মান	নমুনার pH কম/বেশি
১। ব্র্যান্ড - ১	8	8	
২। ব্র্যান্ড - ২	8		
৩। ব্র্যান্ড - ৩	8.5		

পরীক্ষা নং-৩ : বাজারের বিভিন্ন ব্র্যান্ডের কোল্ড ক্রিম/নো এর pH পরীক্ষা ও ব্যবহার যোগ্যতা নির্ধারণ উপরের পরীক্ষার মতো শিক্ষার্থীরা গ্রুপ করে এ পরীক্ষাটি কর।





প্রতিদিনের চাকুরীর মার্কুলার পেতে [এখানে ক্লিক করুন](#)

প্রতি মাসের কারেন্ট অ্যাফেয়ার্স পিডিএফ [এখানে ক্লিক করুন](#)

চাকুরীর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

বিসিএম এর প্রয়োজনীয় পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

প্রতি সপ্তাহের চাকুরী পত্রিকা ডাউনলোড [এখানে ক্লিক করুন](#)

সকল নিয়োগ পরীক্ষার প্রশ্ন সমাধান [এখানে ক্লিক করুন](#)

**বিডিনিয়োগ.কম দেশের মেরা পিডিএফ কালেকশন**

SSC এর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

HSC এর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

বিশ্ববিদ্যালয় ভর্তির সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

সকল ধরনের **মাজেশন** ডাউনলোড [এখানে ক্লিক করুন](#)





তত্ত্বীয় আলোচনা	= ২৫
শ্রেণি কর্মকাণ্ড	= ১০
মোট পিরিয়ড	= ৩৫

পঞ্চম অধ্যায়

## কর্মমুখী রসায়ন

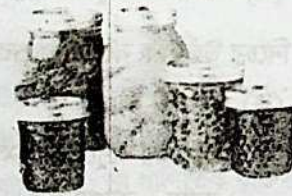
## Vocational Chemistry

## ভূমিকা (Introduction)

আমরা নবম-দশম শ্রেণির রসায়ন পাঠে জেনেছি খাদ্যবস্তু, ফলমূল অণুজীব বা ব্যাকটেরিয়া আক্রান্ত হলে এদের পচন ঘটে। তাই পচন রোধের জন্য অনুমোদিত পচনরোধক বা প্রিজারভেটিভস সহকারে এবং কৌটাজাতকরণ বা ক্যানিং প্রক্রিয়ায় খাদ্যবস্তু, ফল-মূল ইত্যাদি সংরক্ষণ করা হয়। ক্যানিং পদ্ধতি জেনে আমরা আমাদের দেশীয় ফল-মূলকে দীর্ঘদিন যাবৎ সংরক্ষণ করতে পারব। এতে ঋতুভেদে ঐ সব খাদ্যবস্তু ব্যবহার করতে পারব, খাদ্যের অভাব পূরণ হবে। এ অধ্যায়ে আমরা দুধ থেকে মাখন ও ঘি উৎপাদন, বিভিন্ন প্রসাধন সামগ্রী, গ্লাস ক্লিনার, টয়লেট ক্লিনার ও প্রিজারভেটিভ গুণসম্পন্ন ভিনেগার প্রস্তুতি সহজে জানতে পারব।

অধ্যায়ের প্রধান শব্দসমূহ (Key Words) :

টক্সিন, প্রিজারভেটিভস, বটুলিজম, স্পোর, জ্যাম, জেলি, সিরাম, কলয়েড, সাসপেনশন, কোয়াগুলেশন, লিপিড, ফসফোলিপিড, অ্যামাইনো এসিড, অসমসিস, হাইড্রোসল, হাইড্রোফিলিক, হাইড্রোফোবিক, লিপো-ফিলিক, ফারমেন্টেশন, অ্যাসিটোব্যাক্টর, পাস্টুরিকরণ, মল্টভিনেগার।



শিখনফল : এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

১. খাদ্য নিরাপত্তায় রসায়নের গুরুত্ব মূল্যায়ন করতে পারবে।
২. অনুমোদিত প্রিজারভেটিভস-এর খাদ্য সংরক্ষণ কৌশল ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৩. খাদ্য কৌটাজাতকরণ বা ক্যানিং-এর মূলনীতির ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৪. খাদ্য কৌটাজাতকরণ প্রণালি বর্ণনা করতে পারবে।
৫. ব্যবহারিক : সহজলভ্য একটি খাদ্যদ্রব্য কৌটাজাতকরণ করে দেখাতে পারবে।
৬. সাসপেনশন ও কোয়াগুলেশন ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৭. দুধের শতকরা সংযুক্তি বর্ণনা করতে পারবে।
৮. দুধ থেকে মাখন পৃথকীকরণ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৯. মাখন পানিমুক্ত করে সংরক্ষণ করতে পারবে।
১০. মাখন থেকে ঘি-এর উৎপাদন বর্ণনা করতে পারবে।
১১. দ্রবণের 'Like dissolves like' নীতি প্রয়োগ করে টয়লেট্রিজে সুগন্ধি যোগ করার কৌশল ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১২. ব্যবহারিক : প্রয়োজনীয় উপকরণ ব্যবহার করে যে কোনো দুটি টয়লেট্রিজ উৎপাদন করতে পারবে।



১৩. অ্যামোনিয়া থেকে গ্রাস ক্লিনার প্রস্তুত করতে পারবে।
১৪. কস্টিক সোডা থেকে টয়লেট ক্লিনার প্রস্তুত করতে পারবে।
১৫. গ্রাস ক্লিনারের পরিষ্কারকরণ কৌশল ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৬. টয়লেট ক্লিনারের পরিষ্কারকরণ কৌশল ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৭. টয়লেট ক্লিনারে কস্টিক সোডা ব্যবহৃত হলেও গ্রাস ক্লিনারে অ্যামোনিয়া ব্যবহারের কারণ বিশ্লেষণ করতে পারবে।
১৮. ব্যবহারিক : (ক) ইথানয়িক এসিড থেকে ভিনেগার প্রস্তুত করতে পারবে।
১৯. থ্রেজেন্ট (বাড়ির কাজ) : আখ বা খেজুরের রস থেকে মল্ট ভিনেগার প্রস্তুত করতে পারবে।
২০. ভিনেগারের খাদদ্রব্য সংরক্ষণের রসায়ন ব্যাখ্যা করতে পারবে।
২১. খাদদ্রব্য সংরক্ষণে ভিনেগারের গুরুত্ব মূল্যায়ন করতে পারবে।

## ৫.১ খাদ্য নিরাপত্তা ও রসায়ন

### Food Security & Chemistry

1996 সালে WHO কর্তৃক আয়োজিত 'বিশ্ব খাদ্য শীর্ষ-সম্মেলন' বা 'World Food Summit'-এ বিভিন্ন রাষ্ট্র-প্রধানের আলোচনায় 'খাদ্য নিরাপত্তা' বা Food security-কে নিম্নরূপে সংজ্ঞায়িত করা হয় :

'All people at all times have access to sufficient, safe, nutritious food to maintain a healthy and active life.' অর্থাৎ,

বহুরের সব সময় সব নাগরিকের সুস্থ ও কর্মক্ষম জীবনধারণের জন্য পরিমাণে পর্যাপ্ত, স্বাস্থ্যবিধিগত, নিরাপদ ও সঠিক পুষ্টিমানের খাদ্য যোগান বা সরবরাহের নিশ্চয়তার ব্যবস্থা করাকে খাদ্য নিরাপত্তা বলে।

খাদ্য নিরাপত্তা নিম্নোক্ত তিনটি ভিত্তির ওপর প্রতিষ্ঠিত :

- (১) পর্যাপ্ত খাদ্য প্রাপ্তি (Food availability) : এটি হলো দেশের বাজারে কেনার মতো পর্যাপ্ত খাদ্যের যোগান।
- (২) খাদ্য গ্রহণের সামর্থ্য (Food access) : এটি হলো দেশের প্রত্যেক ব্যক্তির প্রয়োজনীয় পুষ্টিমানের খাদ্য কেনার অর্থনৈতিকভাবে সামর্থ্য এবং শারীরিকভাবে সে খাদ্য গ্রহণের সামর্থ্য।
- (৩) খাদ্যের সঠিক ব্যবহার (Food use) : এটি হলো ব্যক্তির দেহের প্রয়োজনমতো পুষ্টিমান সম্পন্ন খাদ্য পরিমাণে গ্রহণের ব্যক্তির জ্ঞান, পর্যাপ্ত পানি গ্রহণ ও স্বাস্থ্যবিধি অনুসরণ।

খাদ্য নিরাপত্তা ব্যবস্থায় রসায়নের ভূমিকা বহুমুখী। এ বহুমুখী ভূমিকাকে মূলত দু'টি অংশে আলোচনা করা হলো :

- (১) খাদ্য উৎপাদন বৃদ্ধিতে রসায়নের ভূমিকা ও
- (২) উৎপাদিত খাদ্য বস্তুকে দীর্ঘকাল সংরক্ষণে রসায়নের ভূমিকা।

খাদ্য উৎপাদন বৃদ্ধি : কৃষি জমিতে অধিকতর পরিমাণে ফসল উৎপাদন খাদ্য নিরাপত্তার প্রধান শর্ত। এজন্য উন্নতমানের বীজ যেমন দরকার; তার সাথে দরকার উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও ফুল-ফল ধারণের প্রয়োজনীয় উপাদান N, P ও K প্রভৃতি উপাদান সমৃদ্ধ যৌগ, যা রাসায়নিক সার নামে পরিচিত।

(i) নাইট্রোজেনযুক্ত প্রধান সার হলো ইউরিয়া  $(NH_2)_2C=O$ ; এছাড়া আছে অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট  $NH_4NO_3$ , অ্যামোনিয়াম সালফেট  $(NH_4)_2SO_4$  ইত্যাদি। এরা উদ্ভিদের বৃদ্ধির সহায়ক।

(ii) ফসফরাস যুক্ত বিভিন্ন সার হলো TSP (ট্রিপল সুপার ফসফেট) বা মনোক্যালসিয়াম ডাই হাইড্রোজেন ফসফেট  $Ca(H_2PO_4)_2$ ; ডাই অ্যামোনিয়াম ফসফেট (DAP),  $(NH_4)_2HPO_4$  ইত্যাদি।

MCQ-5.1 : খাদ্য নিরাপত্তার তিনটি ভিত্তি—

(i) পর্যাপ্ত খাদ্য প্রাপ্তি, (ii) ব্যক্তির খাদ্য কেনার সামর্থ্য, (iii) ব্যক্তির দেহের ওজনভিত্তিক পুষ্টিমান খাদ্য গ্রহণ।

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i, ii (খ) ii, iii (গ) i, iii (ঘ) i, ii, iii



(iii) পটাসিয়ামযুক্ত সার হলো মিউরেট অব পটাস KCl, পটাসিয়াম নাইট্রেট KNO<sub>3</sub> ইত্যাদি। এরা উদ্ভিদের ফুল ফল ধারণে সহায়ক। আবার জমির ফসলকে পোকামাকড় যেন নষ্ট করতে না পারে এর জন্য রসায়নবিদেরা তৈরি করেছে পোকা ধ্বংসকারী বিষাক্ত রাসায়নিক পদার্থ; এদেরকে ইনসেক্টিসাইড (insecticides) বলে।

রসায়নের এ সব অবদানের কারণে বিগত কয়েক দশকে পৃথিবীতে খাদ্য উৎপাদন বহুগুণ বেড়ে গেছে। এখন বাংলাদেশ খাদ্যশস্যে স্বয়ংসম্পন্ন হয়েছে। এরপরে আসে ঋতুভিত্তিক উৎপাদিত ফসলকে খাদ্যরূপে ব্যবহার করার জন্য কয়েক মাস বা বছরের বেশি সময় সংরক্ষণ করার প্রয়োজনীয় ব্যবস্থা। এ সব ফসলের মধ্যে গুরু শস্য জাতীয় খাদ্য দীর্ঘ সময় সংরক্ষণ করা সম্ভব। কিন্তু রসালো শাকসব্জি, ফল-মূল ইত্যাদি খাদ্যবস্তু সহজে ব্যাকটেরিয়া দ্বারা আক্রান্ত হয়ে পচে যায়।

খাদ্য সংরক্ষণে বাধা : প্রাকৃতিক কারণে সব ধরনের খাদ্য, তা রান্না করা হোক বা কাঁচা ফলমূল হোক, দু-একদিনের ব্যবধানে নষ্ট বা খাওয়ার অনুপযোগী হয়ে পড়ে। প্রাকৃতিক কারণে খাদ্য নষ্ট হওয়ার কারণগুলো হলো—

\* (১) জীবাণু বা ব্যাকটেরিয়া ও ছত্রাক বা ফাংগাস দ্বারা আক্রান্ত হওয়া এবং

\* (২) পরিবেশের কারণ যেমন বাতাসে আর্দ্রতা বৃদ্ধি, তাপমাত্রার ওঠা-নামা।

বাতাসের তাপমাত্রা ও আর্দ্রতার পরিবর্তনে ঐ সব ক্ষতিকর জীবাণু বা ছত্রাক-এর বৃদ্ধি ঘটে এবং এদের দেহ থেকে নিঃসৃত উৎসেচকের পরিমাণের বৃদ্ধি ঘটে। এ উৎসেচকে থাকে এক ধরনের বিষাক্ত উপাদান। এই বিষাক্ত উপাদানগুলোকে টক্সিন (toxin) বলে। এসব টক্সিন বিভিন্ন ধরনের হয়। খাদ্যে টক্সিন মিশ্রিত হওয়াকে ফুড-পয়জনিং (food poisoning) বলা হয়। কিন্তু টক্সিন মায়ুতন্ত্রকে আক্রমণ করে মৃত্যু পর্যন্ত ঘটাতে পারে।

গ্রীষ্মকালে তোমরা ফুড-পয়জনিং ও পেটের অসুখের কথা শোনে থাকবে। গ্রীষ্মকালে হয়ত তোমাদের অভিজ্ঞতা হয়েছে রান্না করা ডাল, তরিতরকারি কখনো টক ও গন্ধযুক্ত হয়েছে। এক্ষেত্রে ফাংগাস বা ছত্রাকের কারণে খাদ্যের পচন থেকে জৈব এসিড সৃষ্টি হয়েছে। ঈষ্ট জাতীয় ছত্রাক ফলের রস, টমেটোর রস, জেলি, মিষ্টি আচার ইত্যাদি খাবারকে নষ্ট করে ফেলে। খাবারটি টক গন্ধযুক্ত ও ঘোলাটে হয়। আবার মোস্ত জাতীয় ছত্রাক যেমন মিউকর, এসপারজিলাস বাসি পাউরুটির ওপর ধূসর বর্ণের আবরণ তৈরি করে ও গন্ধযুক্ত হয়। একইভাবে পনির, আচার, কমলালেবু, টমেটো প্রভৃতি টক জাতীয় খাবার ও ফলমূল এ সব ছত্রাক দ্বারা আক্রান্ত হয়ে নষ্ট হয়।

তোমরা এর মধ্যে জেনেছ যে, বিভিন্ন ঋতুতে উৎপাদিত সব্জি, ফল মূল ও মাছ ইত্যাদি পচনশীল খাদ্যবস্তুকে পচন থেকে সংরক্ষণ করতে ব্যবসায়ীরা ক্যালসিয়াম কার্বাইড (CaC<sub>2</sub>) গুঁড়া ও ফরমালিন দ্রবণ পচন রোধক বা প্রিজারভেটিভসরূপে ব্যবহার করেছে। উভয় রাসায়নিক পদার্থ দীর্ঘমেয়াদি ব্যবহারে মানবদেহে নানা জটিল রোগ দেখা দেয়। তাই খাদ্যদ্রব্য সংরক্ষণে CaC<sub>2</sub> ও ফরমালিন ব্যবহার নিষিদ্ধ। খাদ্যদ্রব্য সংরক্ষণের জন্য আন্তর্জাতিকভাবে অনুমোদিত পচন রোধক বা প্রিজারভেটিভস আছে।

শিক্ষার্থীর কাজ-৫.১ : খাদ্য নিরাপত্তাভিত্তিক :

প্রশ্ন-৫.১ : 'খাদ্য নিরাপত্তা' বলতে কী বোঝায়?

[দি. বো. ২০১৭; কু. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৬]

প্রশ্ন-৫.২ : পার্শ্বের চিত্র লক্ষ কর। এ সব খাদ্যসামগ্রী পচনশীল, তাই বাজারে ব্যবসায়ীরা এ সব খাদ্যবস্তুকে পচন থেকে রক্ষা করতে অনুমোদনবিহীন রাসায়নিক পদার্থ ব্যবহার করে যা স্বাস্থ্যের জন্য ক্ষতিকর।

(ক) কোন্ ক্ষেত্রে কোন্ রাসায়নিক পদার্থ মিশানো হয়েছে, তা অনুমান কর।

(খ) এসব খাদ্যবস্তু বাজার থেকে ক্রয় করে ব্যবহারের পূর্বে স্বাস্থ্যের জন্য আমাদের কী করা প্রয়োজন তা ব্যাখ্যা কর।



চিত্র-৫.১ : পচনশীল খাদ্যসামগ্রীতে ক্ষতিকর রাসায়নিক পদার্থ মিশ্রিত রয়েছে



## ৫.২ প্রিজারভেটিভস ও খাদ্য সংরক্ষণ কৌশল Preservatives & Food Safety Mechanism

বিভিন্ন প্রকার খাদ্য নষ্ট হয় ইস্ট, মোল্ডস বা ছত্রাকের আক্রমণে পচন ক্রিয়ার মাধ্যমে অথবা জীবাণু বা ব্যাকটেরিয়া (microorganisms) দ্বারা নিঃসৃত উৎসেচক বা টক্সিন দ্বারা। খাদ্যবস্তুতে পানির উপস্থিতি এবং  $30^{\circ}-45^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রা ব্যাকটেরিয়ার বৃদ্ধি ও এদের উৎসেচকের ক্রিয়া ত্বরান্বিত করার জন্য খুবই উপযোগী অবস্থা। ফলে এ অবস্থা খাদ্যবস্তুকে দ্রুত পচনে প্রভাবিত করে।

খাদ্য নষ্ট হওয়ার প্রধান কারণ : উদ্ভিজ্জ ফলমূল, শাক-সব্জি; প্রাণিজ মাছ-মাংসসহ যে কোনো কাঁচা বা রান্না করা খাদ্যবস্তু নষ্ট হওয়ার প্রধান কারণ হলো মূলত তিনটি। যেমন—

- (১) জীবাণু (ব্যাকটেরিয়া, ইস্ট, মোল্ডস) দ্বারা পচন,
- (২) এনজাইম বা উৎসেচকের প্রভাবে  $\text{O}_2$  এর উপস্থিতিতে খাদ্যবস্তুর রাসায়নিক জারণ বা বিয়োজন ও

- (৩) ধাতব আয়নের প্রভাবে তৈল ও চর্বিযুক্ত খাদ্যবস্তুতে জারণ-বিয়োজন বিক্রিয়া।

সুতরাং জীবাণু দ্বারা খাদ্যবস্তুর পচন, এনজাইম দ্বারা খাদ্যবস্তুর জারণ ও ধাতব আয়ন (trace elements :  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ) দ্বারা বর্ণ পরিবর্তন ও তৈল-চর্বির জারণ-বিয়োজন ক্রিয়া থেকে খাদ্যবস্তুকে নিরাপদ রাখার জন্য বর্তমানে অনুমোদিত রাসায়নিক ফুড প্রিজারভেটিভস সঠিকভাবে মিশিয়ে খাদ্যবস্তুকে বহুদিন পর্যন্ত সংরক্ষণ করে ব্যবহার করা যায়।

খাদ্য সংরক্ষক বা ফুড প্রিজারভেটিভস : যে সব রাসায়নিক পদার্থ অল্প পরিমাণে খাদ্যবস্তুর সাথে মিশিয়ে খাদ্যবস্তুকে ফাংগাস ও ব্যাকটেরিয়ার আক্রমণ অথবা খাদ্যবস্তুর এনজাইমের প্রভাবে পচন রোধ করা যায়, সেসব পদার্থকে ফুড প্রিজারভেটিভস বা খাদ্য সংরক্ষক বলা হয়।

খাদ্য সংরক্ষক বা ফুড প্রিজারভেটিভসকে মূলত দু'শ্রেণিতে ভাগ করা হয়; যেমন,

- (১) প্রাকৃতিক ফুড প্রিজারভেটিভস (Natural food Preservatives) ও
- (২) কৃত্রিম বা রাসায়নিক ফুড প্রিজারভেটিভস (Artificial or Chemical food Preservatives)।

এছাড়া (i) খাদ্যবস্তুর শুষ্ককরণ এবং (ii) খাদ্যবস্তুকে নিম্নতাপমাত্রায় রেখে পচনশীল খাদ্যবস্তুকে দীর্ঘকাল সংরক্ষণ করা সম্ভব।

(১) খাদ্যবস্তুর শুষ্ককরণ পদ্ধতি (Drying Process) : প্রখর রোদে অথবা তাপ প্রয়োগে পচনশীল খাদ্যবস্তুর শুষ্ককরণ এবং সংরক্ষণ একটি প্রাচীন পদ্ধতি। খাদ্যবস্তুতে পর্যাপ্ত পানির উপস্থিতি খাদ্যবস্তুতে ব্যাকটেরিয়া বৃদ্ধির সহায়ক। এছাড়া খাদ্যবস্তুতে এনজাইমের ক্রিয়া সংঘটনের জন্য খাদ্যবস্তুতে থাকা 'পানি-সক্রিয়তা' হলো একটি প্রয়োজনীয় উপাদান বা ফ্যাক্টর। এক্ষেত্রে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় খাদ্যবস্তুতে থাকা পানি বা জলীয় বাষ্পের পরিমাণ এবং খাদ্যবস্তুর চারপাশের পরিবেশে থাকা জলীয় বাষ্পের পরিমাণের অনুপাতকে 'পানি-সক্রিয়তা' ( $a_w$ ) বা water activity বলা হয়।

পানি-সক্রিয়তা ( $a_w$ ) এর মান 0 (শূন্য) থেকে 1.0 এর মধ্যে ধরা হয়। পানি-বাষ্পবিহীন সম্পূর্ণ শুষ্ক খাদ্যবস্তুতে  $a_w = 0$  ধরা হয়; এতে কোনো ব্যাকটেরিয়া, ইস্ট বা ছত্রাক (moulds) জন্মাতে পারে না। খাদ্যবস্তুতে ব্যাকটেরিয়া বৃদ্ধির জন্য  $a_w > 0.90$  প্রয়োজন; ইস্ট জন্মানোর জন্য  $a_w > 0.88$  এবং ছত্রাক জন্মানোর জন্য  $a_w > 0.80$  হতে হয়। এজন্য খাদ্যবস্তুর কৌটোজাতকরণের ক্ষেত্রে পানি-সক্রিয়তা ( $a_w$ ) এর মান 0.6 এর কম রাখা হয়; ফলে এ পরিবেশে ব্যাকটেরিয়ার বৃদ্ধি বা ইস্ট, ছত্রাক জন্মাতে পারে না।

প্রখর রোদে খাদ্যবস্তু যেমন বিভিন্ন বীজ, সব্জির মধ্যে মূলা, মানকচু শুষ্ক করে (এক্ষেত্রে  $a_w = 0$ ) সংরক্ষণ করা হয়। ফলের মধ্যে আঙ্গুরকে শুষ্ক করে কিসমিস; সামুদ্রিক মাছকে প্রখর রোদে শুকিয়ে গুটিকি তৈরি করা হয়।

MCQ-5.2: খাদ্যের পচন ঘটানোর উপযোগী অবস্থা—

- (i) খাদ্যে পানি থাকা, (ii) ছত্রাক জন্মানো,  
(iii) তাপমাত্রা  $45^{\circ}\text{C}$  এর বেশি থাকা  
নিচের কোনটি সঠিক?  
(ক) i, ii (খ) ii, iii (গ) i, iii (ঘ) i, ii, iii



খাদ্যবস্তু সংরক্ষণে কেস-হার্ডেনিং-এর ভূমিকা : প্রখর সূর্য-তাপে পচনশীল খাদ্যবস্তুকে শুকানো হলে ঐ সব খাদ্যবস্তুর বহির্ভূক বা উপরিতল শক্ত হয়ে থাকে। ফলে পরিবেশ থেকে জলীয় বাষ্প খাদ্যবস্তুর ভেতরে প্রবেশে বাধা পায়, একে খাদ্যবস্তুর কেস-হার্ডেনিং (case hardening) বলে। এতে খাদ্যবস্তু আয়তনে সংকুচিত হয়। যেমন কিসমিস, শুটকি ইত্যাদিতে কেস-হার্ডেনিং ঘটে থাকে। তখন খাদ্যবস্তুর ওপর ব্যাকটেরিয়ার আক্রমণ ঘটে না; ঈষ্ট ও ছত্রাক পানির অভাবে জন্মায় না। এরূপে, খাদ্য সংরক্ষণে কেস-হার্ডেনিং ভূমিকা রাখে। [এখানে 'case' বলতে খাদ্যবস্তুর 'উপরি তল'কে বোঝায়।]

(২) খাদ্যবস্তুর শীতলকরণ পদ্ধতি (Cooling Process) : আধুনিককালে খাদ্যবস্তু দীর্ঘকাল সংরক্ষণে শীতলকরণ পদ্ধতি কার্যকরভাবে ব্যবহৃত হয়। শীতলকরণ পদ্ধতির সফলতার কারণ হলো অতিনিম্ন তাপমাত্রায়, ব্যাকটেরিয়া সম্পূর্ণ নিষ্ক্রিয় এবং খাদ্যবস্তুর এনজাইম ক্রিয়াহীন থাকে। তখন তরল পানি বরফের কণায় পরিণত হওয়ায় 'পানি-সক্রিয়তা' ( $a_w$ ) থাকে না। এক্ষেত্রে ব্যাকটেরিয়া কোষের সাইটোপ্লাজম জমাটবদ্ধ থাকায় কোষে পরিবহন প্রক্রিয়া বন্ধ থাকে। এ প্রক্রিয়াটি দুই স্তরে করা যায়। যেমন,

(i) ফ্রিজিং বা শীতলকরণ : এ স্তরে  $0^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C}$  নিম্নতাপমাত্রায় সাধারণ ফ্রিজে খাদ্যবস্তু সংরক্ষণ করা হয়; এবং

(ii) ডিপফ্রিজিং বা হিমায়ন : এ স্তরে  $-5^{\circ}\text{C}$  থেকে  $-18^{\circ}\text{C}$  নিম্নতাপমাত্রায় বা ডিপ ফ্রিজিং (deep freezing)-এ খাদ্যবস্তু সংরক্ষণ করা হয়। ডিপ ফ্রিজিং অবস্থায় ব্যাকটেরিয়া ( $-5^{\circ}\text{C}$  থেকে  $-10^{\circ}\text{C}$  এ) সম্পূর্ণভাবে নিষ্ক্রিয় হয়ে পড়ে।

### ৫.২.১ প্রাকৃতিক ফুড প্রিজারভেটিভস্ Natural Food Preservatives

প্রকৃতি থেকে সরাসরি প্রাপ্ত এবং বহুকাল যাবৎ ব্যবহৃত কিছু রাসায়নিক বস্তু রয়েছে; এরা খাদ্যবস্তুর পচন রোধ করে। এসব প্রাকৃতিক রাসায়নিক বস্তুকে প্রাকৃতিক ফুড প্রিজারভেটিভস্ বলা হয়। এসবের মধ্যে রয়েছে খাদ্য লবণ (NaCl), চিনি, বিভিন্ন মসলাজাতীয় বস্তু যেমন হলুদ, রসুন, লবঙ্গ, সরিষার তেল ইত্যাদি। হলুদ হলো অ্যান্টি অক্সিডেন্ট, যা পচন কাজে বাধা দেয়। খাদ্য লবণ খাদ্যবস্তুর পানি শোষণ করে; এর ফলে ব্যাকটেরিয়ার বৃদ্ধি ঘটতে পারে না। রসুন বাটাও খাদ্য সংরক্ষকরূপে ব্যবহৃত হয়ে আসছে। সরিষার তেল ব্যাকটেরিয়াকে খাদ্যবস্তুর সংস্পর্শ থেকে দূরে রাখে।

(১) খাদ্য লবণ (NaCl) দ্বারা খাদ্য সংরক্ষণ : পচনশীল খাদ্যবস্তুকে খাদ্য লবণ (NaCl) বা এর গাঢ় দ্রবণ দ্বারা সংরক্ষণ প্রক্রিয়াকে কিউরিং (curing) বলা হয়। NaCl খাদ্য বস্তুর পানি শোষণ করে নেয়, ফলে ব্যাকটেরিয়া জন্মাতে পারে না। মাছ, মাংস, কাঁচা ফল ও সবজিকে কিউরিং পদ্ধতিতে সংরক্ষণ করা যায়। এক্ষেত্রে 7 – 8% NaCl বা এর অধিক (15 – 20%) গাঢ় দ্রবণ ব্যবহার করে কাঁচা আম, আমলকি, চালতা, জলপাই, গাঁজর, কাঁচামরিচ ইত্যাদিকে সংরক্ষণ করা হয়। অপরদিকে সামুদ্রিক ইলিশ মাছকে লম্বালম্বিভাবে চাকু দিয়ে কেটে শুঁড়া লবণ ঢুকিয়ে সংরক্ষণ করা হয়।

(২) সরিষার তেল দ্বারা খাদ্য সংরক্ষণ : অর্দ্রতামুক্ত সরিষার তেল, ব্যাকটেরিয়া ও ফাংগাস জন্মাতে বাধা দেয়। তাই সরিষার তেল গরম করে অথবা প্রখর রোদে অর্দ্রতা মুক্ত করে বিভিন্ন ফলের মসলাযুক্ত আচার তৈরিতে ব্যবহৃত হয়।

(৩) চিনি দ্বারা খাদ্যবস্তু সংরক্ষণ : চিনি দ্বারা খাদ্যবস্তু সংরক্ষণ চিনির ঘনমাত্রার ওপর নির্ভর করে। কার্বোহাইড্রেট বা শর্করা যেমন, আটা বা চালের শুঁড়া দিয়ে তৈরি খাদ্য বস্তুকে চিনির সিরাপে বা 65 – 70% চিনির দ্রবণে ডুবিয়ে নিলে ঐ খাদ্যবস্তু দীর্ঘদিন অবিকৃত থাকে। চিনির গাঢ় দ্রবণ বা সিরাপের সংস্পর্শে ব্যাকটেরিয়া কোষের মধ্যস্থ জলীয় অংশকে চিনির গাঢ় দ্রবণ অভিস্রবণ বা অসমোসিস (osmosis) প্রক্রিয়ায় শুষে নেয়। ফলে ব্যাকটেরিয়া বিনষ্ট হয়।

এছাড়া জ্যাম, জেলি, আচার, কাসন্দ, মোরব্বা, কমলালেবুর আচার সংরক্ষণে চিনি পচনরোধকরূপে ব্যবহৃত হয়। এক্ষেত্রে পেয়ারা, আপেল, আনারস জাতীয় ফলকে কেটে পরিষ্কার করে চিনির সিরাপ বা ঘন দ্রবণে রেখে বায়ু নিরোধী করে বোতলে দীর্ঘদিন রাখা যায়।



আচার তৈরি (Pickling) : ব্যাকটেরিয়া রোধক তরল পদার্থ যেমন ভোজ্য সরিষার তেল, ভিনেগার (6-10% অ্যাসিটিক এসিড) ও মরিচ মসলার মিশ্রণে সিদ্ধ করা কাঁচা ফলের সংরক্ষণ প্রক্রিয়াকে পিক্‌লিং বা আচার তৈরি করা বলা হয়। এ প্রক্রিয়ায় বর্তমানে বাজারের জ্যাম ও জেলি তৈরি করা হয়। ছোট বীজযুক্ত কাঁচা ফল যেমন, আম, পেয়ারা, আমলকি ইত্যাদিকে পরিষ্কার করে খোসা ফেলে ছোট করে কেটে সিদ্ধ করা হয়। পরে কাচের বোতলে ভর্তি করে ব্যাকটেরিয়া রোধক মিশ্রণটি দিয়ে বোতলের মুখ বায়ুরোধক করা হয়। এরূপে আচার তৈরি হলো। আচারের বোতলকে ফ্রিজে রাখা হয়।

বর্তমানে আচারে ব্যবহৃত ব্যাকটেরিয়া রোধক মিশ্রণের পরিবর্তে অনুমোদিত প্রিজারভেটিভ ব্যবহার করে জ্যাম তৈরি করা হচ্ছে। আবার পরিষ্কার করা কাঁচা ফলকে সিদ্ধ করে এর পেস্ট নিয়ে প্রিজারভেটিভ ব্যবহার করে বোতলে তৈরি করা হচ্ছে জেলি। এ দুটি হলো আচার তৈরির আধুনিক সংস্করণ।

শিক্ষার্থীর কাজ-৫.২ : খাদ্য সংরক্ষণভিত্তিক :

প্রশ্ন-৫.৩ : খাদ্য সংরক্ষকরূপে চিনি বা সুগারের ভূমিকা ব্যাখ্যা কর।

[কু. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-৫.৪ : জেম ও জেলির মধ্যে পার্থক্য ও তৈরি করার প্রক্রিয়ার ভিন্নতা সারণিতে দেখাও।

প্রশ্ন-৫.৫ : খাদ্য সংরক্ষণের প্রাচীন ৩টি পদ্ধতির সংক্ষিপ্ত বিবরণ দাও।

### ৫.২.২ অনুমোদিত রাসায়নিক ফুড প্রিজারভেটিভস্ বা খাদ্য সংরক্ষক Approved Chemical Food Preservatives

সংজ্ঞা : খাদ্যবস্তুর পচন রোধকরূপে নির্দিষ্ট স্বল্প মাত্রায় ব্যবহৃত রাসায়নিক পদার্থসমূহকে কৃত্রিম বা রাসায়নিক ফুড প্রিজারভেটিভস্ বলা হয়। আন্তর্জাতিকভাবে অনুমোদিত রাসায়নিক ফুড প্রিজারভেটিভসমূহ তিন শ্রেণিভুক্ত। যেমন,

(ক) অ্যান্টি মাইক্রোবায়াল এজেন্ট,

(খ) অ্যান্টি অক্সিডেন্ট এজেন্ট,

(গ) কিলেটিং এজেন্ট।

(ক) অ্যান্টি মাইক্রোবায়াল (antimicrobials) : অ্যান্টিমাইক্রোবায়াল রাসায়নিক প্রিজারভেটিভস্ ব্যাকটেরিয়া, ফাঙ্গি ও মোল্ডস-এর বৃদ্ধি প্রতিহত করে। এসব রাসায়নিক পদার্থ মাইক্রো অর্গানিজম কোষের মেমব্রেন ফাটিয়ে দেয়, এনজাইমের ক্রিয়া রোধ করে থাকে। এ সব প্রিজারভেটিভ অল্পধর্মী হয়। যেমন—

(১) সোডিয়াম বেনজোয়েট ও বেনজয়িক এসিড (m.p. 121°C) [কঠিন]

(২) পটাশিয়াম সরবেট, সোডিয়াম সরবেট ও ক্যালসিয়াম সরবেট (কঠিন)

(৩) সায়ট্রিক এসিড (কঠিন, m.p. 153°C)

(৪) অ্যাসিটিক এসিড (তরল, b.p. 118°C)

(৫) ক্যালসিয়াম প্রোপানোয়েট ( $C_2H_5COO$ )<sub>2</sub>Ca (s)

(৬) নাইট্রেট ও নাইট্রাইট লবণ, (NaNO<sub>3</sub>, KNO<sub>3</sub>, NaNO<sub>2</sub>) (s)

(৭) সালফাইট, SO<sub>2</sub> গ্যাস (পটাশিয়াম মেটা বাইসালফাইট, K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

MCQ-5.3 : ব্যাকটেরিয়া জন্মানোর পরিবেশ—

(i) খাদ্য উপাদান, (ii) পানি থাকা,

(iii) খাদ্যের pH 4.5 – 6.5 থাকা

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i, ii (খ) ii, iii (গ) i, iii (ঘ) i, ii, iii



## \* রাসায়নিক প্রিজারভেটিভসের বৈশিষ্ট্য :

- (১) প্রিজারভেটিভ হলো দুর্বল জৈব কার্বক্সিলিক এসিড ও এদের লবণ এবং নাইট্রিক ও নাইট্রাস এসিড, সালফিউরাস এসিডের লবণ।
- (২) এসব লবণ পানিতে দ্রবীভূত অবস্থায় অর্ধ বিশ্লেষিত হয়ে এদের মাতৃএসিড উৎপন্ন করে।
- (৩) এসব এসিডের pH মান 4.74 (CH<sub>3</sub>COOH) থেকে নিম্নমান 3.14 (সায়ট্রিক এসিড) এর মধ্যে থাকে।
- (৪) এ অম্লীয় মাধ্যম ব্যাকটেরিয়া বৃদ্ধির জন্য প্রতিকূল পরিবেশ হওয়ায় এ সব রাসায়নিক পদার্থ কার্যকর প্রিজারভেটিভ-এর ভূমিকা রাখে।

(১) সোডিয়াম বেনজোয়েট ও বেনজয়িক এসিড : সোডিয়াম বেনজোয়েট হলো বেনজয়িক এসিডের লবণ, এদের আণবিক সংকেত হলো C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>COONa, C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>COOH; সোডিয়াম বেনজোয়েট পানিতে দ্রবীভূত অবস্থায় বেনজয়িক এসিডে পরিণত হয়। তাই উভয়ের ব্যবহার একই ফলদায়ক। উভয় যৌগ অ্যান্টি মাইক্রোবায়াল (antimicrobial) অর্থাৎ বেনজয়িক এসিড বা এর লবণের সংস্পর্শে মাইক্রো অর্গানিজমস্ বা ক্ষতিকর জীবাণু মরে যায়।



## \* অ্যান্টি-ব্যাকটেরিয়াল কার্যকারিতা :

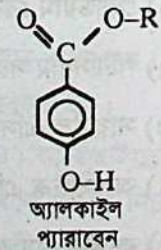
- \* (১) সোডিয়াম বেনজোয়েট ও বেনজয়িক এসিড এর pH মান 4.2 ( $K_a = 6.3 \times 10^{-5}$ ); তাই এদের অ্যান্টিমাইক্রোবায়াল কার্যকারিতা pH 4.5 এর নিচে বেশি থাকে।
- \* (২) সোডিয়াম বেনজোয়েট ও বেনজয়িক এসিড স্ট্রি, মোল্ডস ও কিছু ব্যাকটেরিয়ার বৃদ্ধিকে প্রতিরোধ করে।
- \* (৩) প্রিজারভেটিভসরূপে এদের অনুমোদিত ব্যবহারযোগ্য সর্বাধিক মাত্রা হলো 0.1%। অনুরূপভাবে বেনজয়িক এসিডের প্রতিস্থাপিত যৌগ মিথোক্সিবেনজয়িক এসিড ও প্যারামিথাইল বেনজয়িক এসিড প্রিজারভেটিভসরূপে কাজ করে।

ব্যবহার : প্রক্রিয়াজাত খাবার যেমন চানাচুর, চিপস, বিভিন্ন পনির, সালাত, বিভিন্ন ফলের আচার ও টমেটো সস ইত্যাদিতে অনুমোদিত 0.1% পরিমাণে সোডিয়াম বেনজোয়েট প্রিজারভেটিভসরূপে মিশানো হয়।

**বিশেষ দ্রষ্টব্য :** প্যারাহাইড্রক্সি বেনজয়িক এসিডের কিছু সংখ্যক এস্টার প্যারাবেন (paraben) নামে কসমেটিক ও ওষুধ শিল্পে এবং খাদ্যদ্রব্য সংরক্ষণে দীর্ঘদিন ব্যবহৃত হচ্ছে। বেনজয়িক এসিডের para অবস্থানে -OH মূলক থাকায় এরূপ নামকরণ হয়েছে। এসব প্যারাবেন সদস্য হলো মিথাইল প্যারাবেন, ইথাইল প্যারাবেন, প্রোপাইল প্যারাবেন ও বিউটাইল প্যারাবেন।

এদের সাধারণ সংকেতে এ সব অ্যালকাইলমূলকের জন্য -R যুক্ত আছে। এদের অনুমোদিত মাত্রা 0.1% কম হয়। বর্তমানে এ সব প্যারাবেন নিম্নোক্ত কারণে বিতর্কিত অবস্থায় আছে। জানা গেছে,

- (i) ব্রেস্ট ক্যানসারের টিউমারের প্রতি গ্রাম টিস্যুতে  $2 \times 10^{-9}$  গ্রাম এ সব প্যারাবেনের উপস্থিতি রয়েছে।
- (ii) এসব প্যারাবেন কৃত্রিম ইস্ট্রোজেন (estrogen) নামক হরমোন তৈরি করে, যা ব্রেস্ট ক্যানসার ও বালিকাদের অগ্রিম বয়সে বৃদ্ধি ঘটতে ভূমিকা রাখে।



(২) পটাশিয়াম সরবেট, সোডিয়াম সরবেট ও ক্যালসিয়াম সরবেট : সরবিক এসিডের এসব লবণ পানিতে দ্রবীভূত অবস্থায় অর্ধ বিশ্লেষিত হয়ে সরবিক এসিড (C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>2</sub>) উৎপন্ন করে; যা ব্যাকটেরিয়া ও এর স্পোর (spore) বিনষ্ট করে। সরবিক এসিড হলো 2, 4- হেক্সাডাই-ইন-ওয়িক এসিড, (CH<sub>3</sub>-CH=CH-CH=CH-COOH)।



অ্যান্টি-ব্যাকটেরিয়াল কার্যকারিতা : পটাসিয়াম সরবেট পৃথিবীর সর্বত্র খাদ্যবস্তুর প্রিজারভেটিভরূপে ব্যবহৃত হয়।

- \* (১) এসব সরবেট লবণ প্রিজারভেটিভের ব্যাকটেরিয়া দমন ক্ষমতা pH এর নিম্ন মান 6.5 পর্যন্ত কার্যকর থাকে। কিন্তু pH 4.5 এর নিচে পর্যন্ত সোডিয়াম বেনজোয়েট-এর কার্যকর ক্ষমতা থাকে। ভিনেগার বা, 6 – 10% অ্যাসিটিক এসিড এর ব্যাকটেরিয়া দমন ক্ষমতা এর pH মান 4.8 পর্যন্ত কার্যকর থাকে।
- \* (২) এ অম্লীয় সরবেট প্রিজারভেটিভ কার্যকরভাবে ঝিষ্ট, মোল্ডস ও ব্যাকটেরিয়া দমন করতে পারে।
- \* (৩) বেনজোয়েট লবণের মতই সরবেট লবণের অনুমোদিত ব্যবহারযোগ্য সর্বাধিক মাত্রা হলো 0.1%।
- \* (৪) পটাসিয়াম সরবেট লবণ ব্যবহার করে দই, মিষ্টি, পনির, মাখন ও বেকারি সামগ্রী সংরক্ষণ করা হয়।
- \* (৫) বিভিন্ন মাইক্রো অর্গানিজম-এর বিরুদ্ধে অধিকতর কার্যকর প্রতিরোধের জন্য সরবেট লবণ ও বেনজোয়েট লবণ মিশ্রণ ব্যবহৃত হয়।

সতর্কতা : (i) মাইক্রো অর্গানিজম-এর উচ্চহার বৃদ্ধি স্তরে বেনজোয়েট ও সরবেট লবণদ্বয়ের মিশ্রণ অনুমোদিত মাত্রায় ব্যবহার করলেও তা ব্যাকটেরিয়া দমনে কার্যকর প্রভাব রাখতে পারে না।

(ii) খাদ্যবস্তু প্রক্রিয়াকরণে উন্নত প্রযুক্তি ব্যবহার, প্রক্রিয়াকরণে ব্যবহৃত কাঁচামাল ও প্রক্রিয়াকৃত উৎপাদ উন্নতমান সম্পন্ন হওয়া আবশ্যিক। ফলে উৎপন্ন খাদ্যবস্তুতে মাইক্রো অর্গানিজম বা ব্যাকটেরিয়ার সম্ভাব্য উপস্থিতি ন্যূনতম থাকে। তখন ব্যাকটেরিয়ার ন্যূনতম হার বৃদ্ধিস্তরে প্রিজারভেটিভ কার্যকর ভূমিকা রাখতে পারে।

(iii) এরূপ ব্যাকটেরিয়ার উপস্থিতি ন্যূনতম হার নিশ্চিত করতে সমস্ত প্রক্রিয়াটিকে শ্রমিকের হাতের সংস্পর্শ মুক্ত রাখা উচিত।

(৩) অ্যাসিটিক এসিড [ $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ ,  $\text{pH} = 4.74$ ] : বেনজয়িক এসিড ও সায়ট্রিক এসিডের মতো অ্যাসিটিক এসিডের pH 4.74 অ্যান্টিমাইক্রোবায়াল বা জীবাণুনাশক হয়। তাই তরল প্রিজারভেটিভ হিসেবে অ্যাসিটিক এসিডের 6 – 10% জলীয় দ্রবণ ভিনেগার নামে আচার, চাটনি, সস প্রভৃতি সংরক্ষণে ব্যবহৃত হয়।

(৪) ক্যালসিয়াম প্রোপানোয়েট ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{COO}$ ) $_2\text{Ca}$  : প্রোপানোয়েট লবণটি পানিতে দ্রবীভূত ও পানিসহ অ্যানায়নিক আর্দ্রবিশ্লেষণ ঘটায়। তখন উৎপন্ন প্রোপানোয়িক এসিডের,  $K_a = 1.3 \times 10^{-5}$ ,  $\text{pH} = 4.89$  হয়। এ অম্লীয় পরিবেশে মোল্ড জাতীয় মাইক্রো অর্গানিজম জন্মাতে না পারায় ক্যালসিয়াম বা সোডিয়াম প্রোপানোয়েট পাউরুটি, বিস্কুট, দুগ্ধজাত মাখন ও পনির প্রভৃতি সংরক্ষণে বিশেষভাবে ব্যবহৃত হয়। অনুমোদিত মাত্রা 0.1 – 0.3 ppm।

(৫) সায়ট্রিক এসিড [ $\text{HOC}(\text{CH}_2)_2(\text{COOH})_3$ ,  $K_{a1} = 7.4 \times 10^{-4}$ ,  $\text{pH} = 3.14$ ] : জেনেভা পদ্ধতিতে সায়ট্রিক এসিডের নাম হলো 2-হাইড্রক্সি প্রোপেন-1, 2, 3-ট্রাইকার্বক্সিলিক এসিড। সায়ট্রিক এসিডের বিয়োজন ধ্রুবক  $K_{a1}$  এর মান বেনজয়িক এসিডের  $K_a$  ( $6.3 \times 10^{-5}$ ) এর মান থেকে বেশি। অম্লীয় পরিবেশে উভয় এসিডের অ্যান্টি মাইক্রোবায়াল কার্যকারিতা আছে। তাই ঝিষ্ট, মোল্ডস ও ব্যাকটেরিয়া প্রতিরোধকরূপে সায়ট্রিক এসিড জ্যাম, জেলি, ক্যান্ডি, রান্না করা মাছ, মাংস ও কৌটা প্রক্রিয়াজাত খাদ্য সংরক্ষণে ব্যবহৃত হয়। অনুমোদিত মাত্রা 200 – 350 ppm।

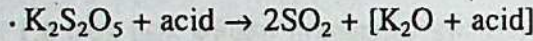
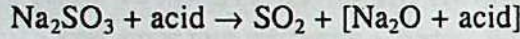
(৬) নাইট্রেট ও নাইট্রাইট লবণ : জারক পদার্থরূপে  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{KNO}_2$  বা,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{NaNO}_2$  লবণ ফুড প্রিজারভেটিভরূপে ব্যবহৃত হয়। এ সব লবণ ব্যাকটেরিয়া বিশেষত ক্লস্ট্রিডিয়াম বটুলিনাম (*Clostridium botulinum*) এর কোষ মেমব্রেন ফাটিয়ে দেয়, এনজাইমের ক্রিয়া প্রতিরোধ করে। মাংস ও মাংসজাত খাদ্য সংরক্ষণে নাইট্রাইট ও নাইট্রেট লবণ ব্যবহৃত হয়। অনুমোদিত মাত্রা 120 ppm।

বর্তমানে জানা গেছে, এসব জারণধর্মী লবণ মাংসের প্রোটিনের সাথে বিক্রিয়া করে নাইট্রোসো অ্যামিন সৃষ্টি করে; যা ক্যান্সার সৃষ্টির কারণ হতে পারে। তাই জার্মানি, নরওয়েতে এসব লবণ খাদ্য সংরক্ষকরূপে নিষিদ্ধ হয়েছে।

(৭)  $\text{SO}_2$  বা সালফাইট লবণ :  $\text{SO}_2$  গ্যাস সরাসরি ব্যবহৃত হয় না; সালফাইট লবণ ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) অথবা পটাসিয়াম মেটা ডাইসালফাইট ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$  বা পাইরোসালফাইট) রূপে ব্যবহার করা হয়। কাঁচা ফল, ফলের রস, মদ ও সবুজ শাক-সবজি সংরক্ষণে সালফাইট লবণ ব্যবহৃত হয়।



ফলের রসে থাকা বিভিন্ন লঘু এসিড যেমন সায়ট্রিক এসিড, টারটারিক এসিড এ সব সালফাইট লবণসহ বিক্রিয়া করে SO<sub>2</sub> গ্যাস উৎপন্ন করে, যা খাদ্যবস্তুর জারণ রোধ করে, এনজাইমের ক্রিয়াকে বাধা দেয় এবং ব্যাকটেরিয়া, ফিঙ্গ, মোল্ড ইত্যাদির উপাদানের সাথে যুত-যৌগ (additive compound) গঠন করে।



**MCQ-5.4** : খাদ্যদ্রব্য পচনে অন্যতম সহায়ক কোনটি? [চ. বো. ২০১৫]  
(ক) SO<sub>2</sub> (খ) N<sub>2</sub>O (গ) NO<sub>2</sub> (ঘ) O<sub>2</sub>

(খ) অ্যান্টি অক্সিডেন্ট (Anti Oxidant) : সংজ্ঞা : চর্বি বা লিপিড অণুর জারণ-বিয়োজনে অংশ গ্রহণকারী O<sub>2</sub> অণু ও লিপিড অণু থেকে সৃষ্ট মুক্ত মূলককে শোষণ করে কিছু রাসায়নিক পদার্থ চর্বিযুক্ত খাদ্যবস্তুর পচন রোধ করে। এ সব রাসায়নিক পদার্থকে অ্যান্টি অক্সিডেন্ট বলে।

চর্বি বা লিপিড অণু (L-H) সমূহ O<sub>2</sub> এর সংস্পর্শে সমযোজী বন্ধন ভেঙ্গে বিজোড় ইলেকট্রন যুক্ত লিপিড মূলক বা মুক্ত মূলক (L.) ও পারঅক্সিহাইড্রোজেন মূলক সৃষ্টি করে, যা পরে চেইন বিক্রিয়ার মাধ্যমে পচন ঘটায়। ফলে খাদ্যবস্তুতে কালো দাগ ও দুর্গন্ধ সৃষ্টি হয়।

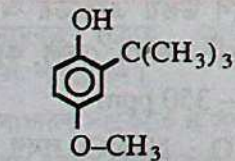
- (1) লিপিড অণু ও O<sub>2</sub> এর মুক্তমূলক সৃষ্টি; L..H + O<sub>2</sub> → L. + H-O-O.  
(2) O<sub>2</sub> সহ পারঅক্সিলিপিড মুক্তমূলক সৃষ্টি; L. + O<sub>2</sub> → L-O-O.  
(3) অস্থায়ী হাইড্রোপারঅক্সাইড অণু গঠন; LOO. + H..L → LOOH + L.  
(4) প্রাথমিক অতীব সক্রিয় মুক্তমূলক সৃষ্টি; L-OOH → L. + HOO.

এ অ্যান্টি অক্সিডেন্ট অণু (A-H) লিপিড মুক্তমূলক (L.) এর সাথে বিক্রিয়া করে লিপিড অণু (L-H) ও অধিক স্থায়ী কম সক্রিয় অ্যান্টি অক্সিডেন্ট মুক্ত মূলক (A.) সৃষ্টি করে। ফলে পচনের জারণ-বিয়োজন চেইন বিক্রিয়া বন্ধ হয়।

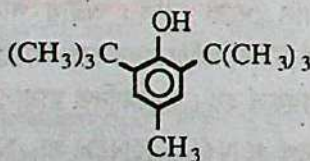


\* মুক্ত মূলক শোষণকারী অ্যান্টি-অক্সিডেন্ট হলো : (১) বিউটাইলেটেড হাইড্রক্সি এনিসল, BHA (butylated hydroxy anisole); (২) বিউটাইলেটেড হাইড্রক্সি টলুইন, BHT; (৩) টারসিয়ারি বিউটাইল হাইড্রকুইনোন, TBHQ; (৪) প্রোপাইল গ্যালটে (Propyl gallate)।

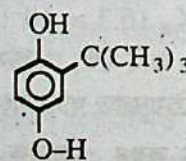
\* অক্সিজেন শোষণকারী অ্যান্টি অক্সিডেন্ট : (১) ভিটামিন-C, (২) ভিটামিন-E, (৩) সালফাইট লবণ।



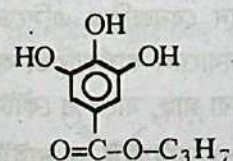
Butylated hydroxy anisole (BHA)



Butylated hydroxy toluene (BHT)



Tertiary butyl hydroquinone (TBHQ)



Propylgallate

\* অ্যান্টি-অক্সিডেন্টসমূহ দুই শ্রেণিভুক্ত; যেমন- (i) প্রাকৃতিক অ্যান্টি-অক্সিডেন্ট ও (ii) অনুমোদিত কৃত্রিম অ্যান্টি-অক্সিডেন্ট।

প্রাকৃতিক অ্যান্টি-অক্সিডেন্টসমূহ বিভিন্ন প্রাকৃতিক খাদ্য-বস্তুর উৎসে থাকে। যেমন,

(১) ভিটামিন-C বা এসকরবিক এসিড : টক ফল, বিভিন্ন শাকসবজি, কাঁচা মরিচ ইত্যাদি।

(২) ভিটামিন-E বা টকোফেরল : সবুজ শাক-সবজি, শস্য-দানা বা বীজ, গমের অংকুর, উদ্ভিজ্জ তৈল (সয়াবিন তৈল, সরিষা তৈল) ইত্যাদি।



(৩) বিটা (β) ক্যারোটিন : মিষ্টি কুমড়া, মিষ্টি আলু, টমেটো, গাজর, বিভিন্ন ফল যেমন তরমুজ, জাম, এপ্রিকট ইত্যাদি।

(৪) অধাতু সেলেনিয়াম, Se(34) : মাছ, মুরগির মাংস, ডিম, রসুন ইত্যাদি।

আন্তর্জাতিক খাদ্য সংস্থা কর্তৃক অনুমোদিত কৃত্রিম অ্যান্টি-অক্সিডেন্টসমূহ হলো BHA, BHT, TBHQ ও প্রোপাইল গ্যালাটে।

(গ) কিলেটিং এজেন্ট (Chelating Agent) : খাদ্যবস্তুর মধ্যে থাকা অবস্থান্তর ধাতুর আয়ন (trace elements :  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Co^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ) তৈল-চর্বির্ জারণ-বিয়োজন ক্রিয়ায় প্রভাবকরূপে ক্রিয়া করে এবং বিভিন্ন ভিটামিনকে নষ্ট করে। যেমন কপার আয়ন দ্বারা এসকরবিক এসিড, ভিটামিন-E, থায়ামিন, ফলিক এসিড বিনষ্ট হয় এবং Cu ও Fe উভয়ে চর্বিতে দ্রবণীয় ভিটামিন-A বিনষ্ট করে ও খাদ্যবস্তুকে বিবর্ণ করে। তাই কিলেটিং এজেন্ট দ্বারা এ সব অবস্থান্তর ধাতুর আয়ন বা trace element সমূহকে নিষ্ক্রিয় করা হয়।

কিলেটিং এজেন্ট : খাদ্যবস্তুর মধ্যস্থ বিভিন্ন অবস্থান্তর ধাতুর আয়নকে দুই বা ততোধিক সন্নিবেশ বন্ধন দ্বারা আবদ্ধ রাখতে যে রাসায়নিক যৌগ ব্যবহৃত হয়, এদেরকে কিলেটিং এজেন্ট বলে। (Greek 'Chele (কিলে) = Crab's Claw)। খাদ্যবস্তু সংরক্ষণে শিল্পক্ষেত্রে সবচেয়ে বেশি ব্যবহৃত কিলেটিং এজেন্ট হলো EDTA [ethylene diamine tetra acetate,  $[(-O_2C-H_2C)_2\dot{N}-CH_2CH_2-\dot{N}(CH_2CO_2)_2]$  এর চারটি O পরমাণু ও দুটি N পরমাণুতে মোট ছয়টি কার্যকর নিঃসঙ্গ ইলেকট্রন যুগল আছে। তাই EDTA আয়ন লিগ্যান্ড বা কিলেটিং এজেন্টরূপে  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  ও  $Co^{3+}$  এর সাথে ছয়টি সন্নিবেশ বন্ধন দ্বারা আবদ্ধ হতে পারে। এছাড়া দ্বিদন্তী লিগ্যান্ড (bidentate ligand) যেমন ইথিলিন ডাইঅ্যামিন ( $H_2\dot{N}-CH_2-CH_2-\dot{N}H_2$ ) কিলেটিং এজেন্ট ব্যবহৃত হয়।

ফুড অ্যাডিটিভস (Food additives) : প্রিজারভেটিভসের সাথে খাদ্যের গন্ধ, স্বাদ ও রং ইত্যাদিকে উন্নত করার জন্য ফুড অ্যাডিটিভস নামক বিশেষ রাসায়নিক পদার্থ খাদ্যের সাথে মিশানো হয়। যেমন,

সারণি-৫.১ : খাদ্য সংরক্ষণে ব্যবহৃত বিভিন্ন রাসায়নিক পদার্থ ও এদের ভূমিকা :

রাসায়নিক পদার্থ, সংকেত	শ্রেণি	ব্যবহারের উদ্দেশ্য ও ক্ষেত্র	অনুমোদিত মাত্রা
<b>১। প্রিজারভেটিভস</b>			
(ক) সোডিয়াম বেনজয়েট ( $C_6H_5CO_2Na$ ),	অ্যান্টিমাইক্রোবিয়াল, কার্যকরী pH < 4.5	ঈষ্ট, মোল্ডস ও বিভিন্ন অণুজীব ধ্বংসকারী। ফলের রস, আচার, জেলি, পনির, পাউরুটি, বিস্কুট, সফট ড্রিংকস।	(ক) 200 ppm
(খ) সোডিয়াম সরবেট ( $C_5H_7CO_2Na$ )	অ্যান্টিমাইক্রোবিয়াল, কার্যকরী pH < 6.5	ঈষ্ট, মোল্ডস ও ব্যাকটেরিয়া ধ্বংস করে। দই, মিষ্টি, পনির, মাখন, বেকারি সামগ্রী।	(খ) 200 ppm
(গ) অ্যাসিটিক এসিড (ভিনেগার)	অ্যান্টিমাইক্রোবিয়াল, কার্যকরী pH < 4.8	ঈষ্ট, মোল্ডস ও ব্যাকটেরিয়া ধ্বংস করে। আচার, চাটনি, সস।	(গ) 6-10%
(ঘ) প্রোপানোয়েটসমূহ : ( $CH_3CH_2CO_2$ ) <sub>2</sub> Ca	অ্যান্টিমাইক্রোবিয়াল, কার্যকরী pH < 4.9	ঈষ্ট মোল্ডস, বিভিন্ন অণুজীব ধ্বংসকারী। ফলের রস, কেক, পনির।	(ঘ) 0.1-0.3%
(ঙ) $KHSO_3$ , $SO_2$	অ্যান্টিমাইক্রোবিয়াল,	ঈষ্ট, মোল্ডস ও ব্যাকটেরিয়া ধ্বংস করে। মদ, জুস ও শুকনো ফল।	(ঙ) 200 ppm
(চ) সায়ট্রিক এসিড ( $C_6H_8O_7$ )	অ্যান্টিমাইক্রোবিয়াল, কার্যকরী pH < 4.5	ঐ। এছাড়া কৌটাজাতকৃত খাদ্য, মাছ, মাংস।	(চ) 200-350 ppm
(ছ) $NaNO_3$ , $NaNO_2$	ঐ, ক্লসট্রিডিয়াম বটুলিনামনাশক	সায়ট্রিক মাছ ও মাংস সংরক্ষণে ব্যবহৃত। ঐ	(ছ) 120 ppm



রাসায়নিক পদার্থ, সংকেত	শ্রেণি	ব্যবহারের উদ্দেশ্য ও ক্ষেত্র	অনুমোদিত মাত্রা
<b>২। অ্যান্টি অক্সিডেন্ট</b>			
(ক) বিউটাইলেটেড হাইড্রক্সি টনুইন (BHT), $C_{15}H_{24}O$	অ্যান্টিঅক্সিডেন্টস্ খাদ্যবস্তুকে জারণ মুক্ত রাখে।	ঈষ্ট ও মোল্ডস্ ধ্বংস করে। আলুর ক্রিপস্, ক্যান্ডি, জেলি, চুয়িং গাম, মাখন।	(ক) 200 ppm
(খ) বিউটাইলেটেড হাইড্রক্সি এনিসল (BHA), $C_{11}H_{16}O_2$	অ্যান্টিঅক্সিডেন্ট	কনফেকশনারি দ্রব্য, পনির, স্ন্যাকস, বলসানো মাংস ইত্যাদিতে ব্যবহৃত হয়।	(খ) 100 ppm
(গ) tert-বিউটাইল হাইড্রো কুইনোন (TBHQ) $C_{10}H_{14}O_2$	অ্যান্টিঅক্সিডেন্ট	„	(গ) 100 ppm
<b>৩। ফুড অ্যাডিটিভস</b>			
(ক) সুগন্ধকারক, যেমন ফলের এসেন্স।	সুগন্ধ বস্তু	খাদ্যবস্তুকে সুগন্ধ ও গ্রহণীয় করার জন্য। আইসক্রিমে ফলের সুগন্ধ রস মিশানো হয়।	—
(খ) ইমালসিফায়ার যেমন লেসিথিন (E 322), বা অ্যাসিটিক এসিডের গ্লিসারাইড এস্টার।	তৈল-চর্বিতে পানিতে মিশ্রণের জন্য।	তৈল জাতীয় পদার্থকে পানিতে মিশ্রিত করার জন্য ব্যবহৃত। বাজারের গুঁড়া দুধে মিশানো হয়।	—
(গ) রঙিন বস্তু (Colouring)	ডাই (dye)	তৈরি করা খাদ্যবস্তুতে গ্রহণযোগ্য রং সৃষ্টি।	
(ঘ) সরবিটল, $C_6H_8(OH)_6$ (E 420)	মিষ্টিকারক (Sweetener)	চিনি ছাড়া ভিন্ন মিষ্টিকারক। শিশুর দাঁত ক্ষয়রোধক, ডায়াবেটিক চকলেট, রোগীর হিতকর।	

\* ইউরোপিয়ান কমিউনিটি কর্তৃক অনুমোদিত বিভিন্ন ফুড অ্যাডিটিভের নির্দিষ্ট নম্বর E এর সাথে যুক্ত থাকে; যেমন সরবিটল হলো E 420।

শিক্ষার্থীর কাজ-৫.৩ : রাসায়নিক ফুড প্রিজারভেটিভসভিত্তিক :

প্রশ্ন-৫.৬ : প্রিজারভেটিভস খাদ্যবস্তুকে সংরক্ষণ করে কীভাবে?

[রা. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-৫.৭ : রাসায়নিক প্রিজারভেটিভের বৈশিষ্ট্যসমূহ উল্লেখ কর।

প্রশ্ন-৫.৮ : সোডিয়াম বেনজোয়েট ও পটাশিয়াম সরবেটের অ্যান্টিবায়োটিক কার্যকারিতার তুলনা কর।

প্রশ্ন-৫.৯ : ফল সংরক্ষণে প্রিজারভেটিভরূপে সালফাইট লবণের ভূমিকা ব্যাখ্যা কর।

প্রশ্ন-৫.১০ : অ্যান্টি অক্সিডেন্ট চর্বির পচনরোধে কীভাবে কাজ করে ব্যাখ্যা কর।

## ৫.৩ কৌটাজাতকরণ বা ক্যানিং-এর মূলনীতি

### Canning's Basics

কৌটাজাতকরণ বা ক্যানিং-এর মূলনীতি : কৌটাজাতকরণ বা ক্যানিং হলো খাদ্যবস্তু সংরক্ষণের একটি নির্ভরযোগ্য তাপীয় বায়ুশূন্যকরণ (Thermal Anaerobic) উন্নত পদ্ধতি। ক্যানিং প্রক্রিয়ায় খাদ্যবস্তুকে কৌটা বা জারে রেখে ঢাকনি দ্বারা কৌটার মুখ হালকাভাবে বন্ধ রেখে উচ্চ তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করা হয়। এ উত্তপ্ত অবস্থায় খাদ্যবস্তুতে থাকা মাইক্রো



অর্গানিজম বা ব্যাকটেরিয়া ধ্বংস হয়, এনজাইম বিনষ্ট হয় ও কৌটা থেকে অক্সিজেন অপসারিত হয়। কৌটার মধ্যে খাদ্যবস্তু আবদ্ধ থাকায় বাতাসে থাকা জীবাণু খাদ্যবস্তুর সংস্পর্শে আসতে পারে না। এরূপে কৌটাবদ্ধ খাদ্যবস্তু নিরাপদে সংরক্ষিত থাকে।

কৌটাজাতকরণের সতর্কতা : কৌটাজাতকরণ সঠিকভাবে অনুসৃত না হলে ঐ খাদ্যবস্তুতে ক্লস্ট্রিডিয়াম বটুলিনাম ব্যাকটেরিয়ার বৃদ্ধি ঘটে এবং তাদের থেকে নিঃসৃত বিষাক্ত উৎসেচক বা টক্সিন যুক্ত হয়। খাদ্যবস্তুর এ অবস্থাকে বটুলিজম (botulism) বলে। বটুলিজমের কারণে ফুড-পয়জনিং বা খাদ্য বিষাক্ত হয়। এরূপ খাদ্য গ্রহণে মানুষের মৃত্যুও ঘটতে পারে। সুতরাং কৌটাজাতকরণ সঠিকভাবে শেখা ও পদ্ধতিগতভাবে সঠিক নিয়মে সম্পন্ন করা অত্যাবশ্যিক। এর জন্য প্রধান শর্ত হলো সর্বাধিক বিশুদ্ধ কাঁচামাল বা উপাদান (freshest ingredients) ব্যবহার করা।

খাদ্যবস্তু কৌটাজাতকরণ বা ক্যানিং এর প্রক্রিয়া : টিনের তৈরি কৌটা বা ক্যানের মধ্যে ছোট ছোট আকারে খাদ্যবস্তু আবদ্ধ রেখে ঐ কৌটাগুলোকে প্রয়োজনীয় তাপমাত্রা যেমন বেশি অম্লীয় খাদ্যবস্তুর (pH < 4.6) বেলায় 82°C থেকে 100°C এবং কম অম্লীয় খাদ্যবস্তু, মাছ-মাংসের (pH > 4.6) বেলায় 115°C থেকে 121°C পর্যন্ত উত্তপ্ত করলে খাদ্যবস্তু পচন ও বিনষ্টকারী ব্যাকটেরিয়া (মাইক্রোঅর্গানিজম) মরে যায়। উত্তপ্তকরণ কালে কৌটার ভেতরে ফুটানো পানি ও কিছু খালি অংশ থাকে। কাঁচা খাদ্যবস্তু যেমন কাঁচা সব্জি তখন সিদ্ধ হয়ে যায়। এ অবস্থায় কৌটায় আবদ্ধ খাদ্যবস্তু ব্যাকটেরিয়া মুক্ত হয়ে যায়। প্রক্রিয়ার শেষের দিকে কৌটাটি প্রায় বায়ুশূন্য অবস্থায় থাকে এবং বাতাসে থাকা ক্ষতিকর ব্যাকটেরিয়া খাদ্যবস্তুর সংস্পর্শে আসতে পারে না। ফলে কৌটাবদ্ধ খাদ্যবস্তু নিরাপদে সংরক্ষিত থাকে।

কৌটাজাতকরণের প্রক্রিয়ার নিম্নোক্ত ধাপ অনুসরণ করে দেশি ফল, সব্জি (বাঁশ কোরল, কচি ভুট্টা, সব্জ মটরভটি), মাছ, মাংস (কাঁচা, রান্না করা) প্রভৃতিকে কৌটাবদ্ধ করতে পারব।

## ৫.৪ কৌটাজাতকরণ প্রক্রিয়া বা ক্যানিং প্রসেস

### Canning Process

আমরা এখন কৌটাজাতকরণ প্রক্রিয়ায় আমাদের প্রয়োজনীয় কিন্তু পচনশীল খাদ্যবস্তুকে দীর্ঘদিন সংরক্ষণের জন্য প্রণালিগুলো শিখে নেব। কৌটাজাতকরণের মাধ্যমে আমাদের বাগানে উৎপাদিত ফলমূল, গৃহপালিত মুরগি ও পশুর মাংস এবং সামুদ্রিক মাছ ইত্যাদিকে পচন থেকে রক্ষা করে দীর্ঘদিন সংরক্ষণ ও সুবিধামত ব্যবহার করতে পারব।

কৌটাজাতকরণের ধাপগুলো নিম্নরূপ :



১ম স্তর : (১) কাঁচামাল সংগ্রহ : পুষ্ট, পোকামাকড় মুক্ত ফল, মূল, শাকসব্জি গাছ থেকে সংগ্রহ করা হয়। মাছ ও মাংসের বেলায় এদের উৎকৃষ্ট মানের নমুনা সংগ্রহ করা হয়।

(২) শ্রেডিং বা বাছাই করা : কাঁচা ফলমূলের আকার, বর্ণ, পরিপক্বতা, ঘ্রাণ ইত্যাদি মিল রেখে পোকামাকড় মুক্ত খাদ্যবস্তুকে বাছাই ও শ্রেণিবিন্যাস করা হয়।

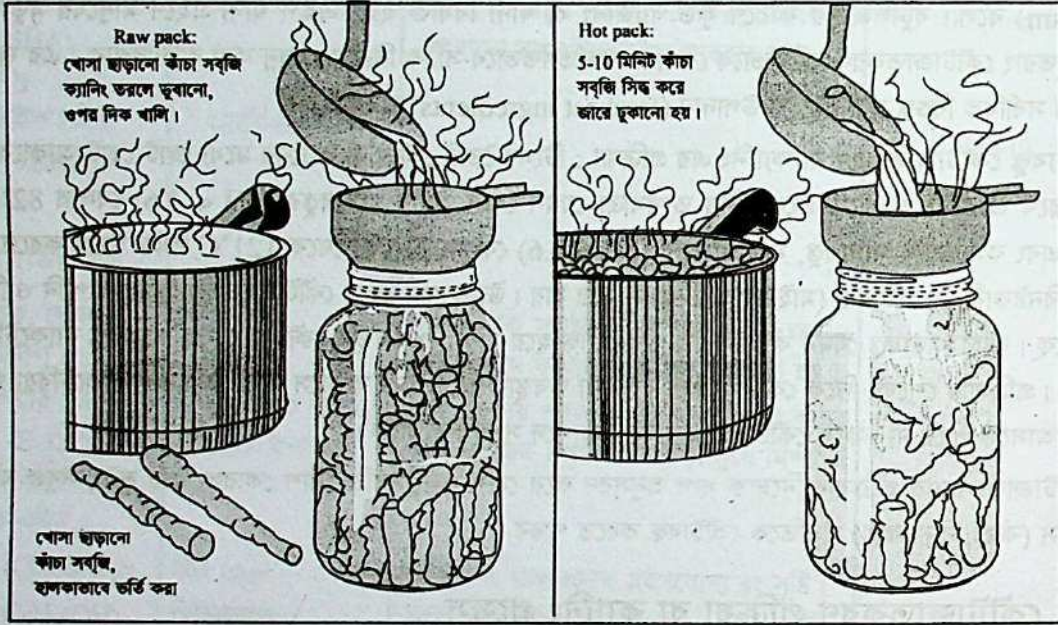


৫৪৮

রসায়ন—প্রথম পত্র

(৩) ধৌতকরণ : কাঁচা ফলমূল, মাছ-মাংস ইত্যাদিকে প্রথমে পরিষ্কার ও জীবাণুমুক্ত পানিতে কিছু সময় ডুবিয়ে রেখে আটকানো ময়লাকে আলগা করা হয়। পরে ঐ কাঁচা খাদ্যবস্তুকে ঘূর্ণায়মান পানিতে অথবা পানির স্প্রে পদ্ধতিতে ধুয়ে নেয়া হয়।

(৪) খোসা ছাড়ানো ও টুকরা করা : ফল, মূল ও সব্জির শক্ত খোসা ও বীজ ফেলে ছোট ছোট টুকরা করা হয়। মাছ ও মাংসের বেলায় অপ্রয়োজনীয় অংশ পৃথক করে নিয়ে  $\frac{1}{2}$  -  $\frac{1}{4}$  আকারে টুকরা করা হয়।



চিত্র-৫.২ : খোসা ছাড়ানো কাঁচা সব্জি বা সিদ্ধ সব্জিসহ কৌটা ভর্তি করা।

২য় স্তর : (১) ব্রাঞ্চিং বা সিদ্ধ করা : খোসা ছাড়ানো ও টুকরা করা কাঁচা খাদ্য বস্তুকে ফুটন্ত পানিতে বা ফুটন্ত পানি বাষ্পে 5-10 মিনিট উত্তপ্ত করা হয়। এ প্রক্রিয়াকে ব্রাঞ্চিং বলে। নরম সব্জি ও বেশি পাকা ফলকে ব্রাঞ্চিং করা হয় না। ব্রাঞ্চিং এর ফলে খাদ্যবস্তুর অগ্রহণীয় গন্ধ দূর হয়, বর্ণ উন্নত হয়, পিচ্ছিল পদার্থ দূর হয়, এনজাইম ও মাইক্রো অর্গানিজম বিনষ্ট হয়।

(২) কৌটায় খাদ্যবস্তু ভর্তি করা : কৌটায় ফলমূল, সব্জি বা খাদ্যবস্তুকে দু'ভাবে ভর্তি করা যায়, যেমন Raw packing ও Hot Packing। চিত্র-৫.২ মতে Raw packing এর বেলায়, খোসা ছাড়ানো কাঁচা সব্জি কৌটায় ভর্তি করে হালকাভাবে কৌটায় ঢাকনি লাগানো হয়। কিছু জায়গা খালি রাখা হয়। Hot packing এর বেলায়, কাঁচা খাবার 5-10 মিনিট সিদ্ধ করে কৌটায় ভর্তি করা হয়।

(৩) ক্যানিং তরল যোগ করা : এরপর খাদ্যবস্তু ভর্তি কৌটায় ক্যানিং তরল যোগ করে হালকাভাবে কৌটায় ঢাকনি লাগানো হয়। সাধারণত ক্যানিং তরলরূপে ফলের ক্ষেত্রে 30-40% চিনির দ্রবণ এবং সব্জি, মাছ-মাংসের ক্ষেত্রে 7-15% NaCl দ্রবণ কৌটার খাদ্য বস্তুতে যোগ করা হয়। এছাড়া ফুড প্রিজারভেটিভরূপে 0.25% সায়ট্রিক এসিড বা সোডিয়াম বেনজয়েট বা সোডিয়াম নাইট্রাইট-নাইট্রেট লবণ যোগ করা হয়।

৩য় স্তর : (১) এগজস্টিং ও সিলিং : খাদ্যবস্তু ও ক্যানিং তরল ভর্তি কৌটাকে উত্তপ্ত করে এর ভিতরের সমস্ত বায়ু বা  $O_2$  বের করা হয়। এ প্রক্রিয়াকে এগজস্টিং বলে। কৌটার ভিতরে  $O_2$  এর অভাবে অণুবীজ বা ব্যাকটেরিয়া জন্মাতে পারে না। এগজস্টিং শেষে কৌটার মুখ ভালোভাবে বন্ধ করা হয়, একে সিলিং বলে। খাদ্য ভর্তি কৌটাকে এগজস্টিং ও সিলিং করার দুটি পদ্ধতি আছে। যেমন,

(ক) পানি-স্ফুটন বাথ পদ্ধতি (Boiling water bath method) ও

(খ) চাপ কৌটাজাতকরণ পদ্ধতি (Pressure canning method)



**(ক) পানি-স্ফুটন বাথ পদ্ধতিতে এগজস্টিং**

পানি-স্ফুটন বাথ পদ্ধতি দ্বারা টমেটো, বিভিন্ন টক জাতীয় ফল, লবণ-মশলা মিশ্রিত কিছু সবজি সংরক্ষণ করা হয়। এ সব টক ফলের pH মান 4.6 বা এর কম হয়। এ প্রক্রিয়ায় খাদ্যবস্তুতে নির্দিষ্ট মাত্রায় লেমন জুইস (বা সাইট্রিক এসিড) যোগ করা হয়। অধিক অম্লীয় পরিবেশে মারাত্মক বিপজ্জনক ক্লসট্রিডিয়াম বটুলিনাম স্পোর বিনষ্ট হয় বলে এদের টক্সিনও উৎপন্ন হয় না। তাই পানি-স্ফুটন বাথ পদ্ধতিতে অধিক অম্লীয় বা টকযুক্ত খাদ্যবস্তু নিরাপদে সংরক্ষণ করা যায়।

এ পদ্ধতিতে খাদ্যভর্তি কৌটাগুলোকে একটি বড় আকারের Water bath এর মধ্যে কাঠের তাক বা রেকের (rack এর) ওপর দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ রাখা হয়। এরপর Water bath এ পানি ঢেলে কৌটাগুলোকে 1-2 ইঞ্চি পানির উচ্চতায় রাখা হয়। শেষে Water bath এর ঢাকনি হাল্কা করে লাগানো হয়। এখন ওয়াটার বাথটিকে সমভাবে তাপপ্রয়োগে 180°F থেকে 212°F (অর্থাৎ 82°-100°C) তাপমাত্রা পর্যন্ত টকজাতীয় ফল ও সবজিকে এগজস্টিং করার জন্য 10 মিনিট, উত্তপ্ত করা হয়। ফলে কৌটা ও খাদ্যবস্তুর মধ্যস্থিত বায়ু তথা O<sub>2</sub> গ্যাস বের হয়ে পড়ে। তাই টিনের কৌটার ভেতরে মরিচা পড়ে না। O<sub>2</sub> এর অভাবে ব্যাকটেরিয়া জন্মায় না। এগজস্টিং শেষে তাড়াতাড়ি করে কৌটার মুখের ঢাকনি ভালোভাবে সিল্ড করা হয়।

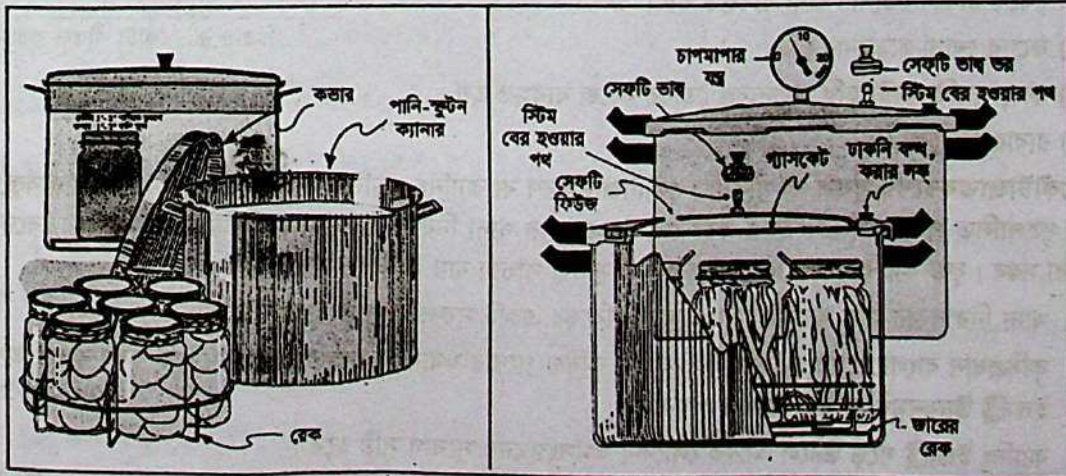
(২) রিটার্টিং বা নিবীজকরণ : সিলিং করার পর ফুটন্ত পানিতে ফল ও সবজির কৌটাকে 100°C-এ 30 মিনিট উত্তপ্ত করা হয়। তখন ব্যাকটেরিয়ার স্পোর বিনষ্ট হয়। এ পদ্ধতিকে রিটার্টিং বলে।

(৩) কৌটা শীতলকরণ : রিটার্টিং শেষে গরম কৌটাগুলোকে জার লিফটার দ্বারা উঠিয়ে 25°C-এ শীতল করা হয়।

(৪) লেবেলিং ও গুদামজাতকরণ : সবশেষে কৌটাতে খাদ্যবস্তুর বিবরণ, উৎপাদন তারিখ ও মেয়াদ উত্তীর্ণ তারিখসহ লেবেল লাগিয়ে গুদামে জমা করা হয়।

**(খ) চাপ কৌটাজাতকরণ পদ্ধতিতে এগজস্টিং**

চাপ কৌটাজাতকরণ পদ্ধতি হলো খাদ্যবস্তু সংরক্ষণের একমাত্র নির্ভরযোগ্য পদ্ধতি। এ পদ্ধতিতে মুরগি ও পুস্তর মাংস, সামুদ্রিক মাছ, দুগ্ধজাত খাদ্য, সকল প্রকার সবজি (বাঁশ কোরল, কচি ভুট্টা, সবুজ মটরশুটি ইত্যাদি) সঠিকভাবে সংরক্ষণ করা যায়।



চিত্র-৫.৩ : পানি-স্ফুটন পদ্ধতিতে খাদ্যভর্তি কৌটা উত্তপ্ত করা।

চিত্র-৫.৪ : প্রেসার ক্যানিং বা চাপ কৌটাজাতকরণ।

এ সব খাদ্যবস্তু কম অম্লধর্মী হওয়ায় এদের pH মান 4.6 এর বেশি থাকে। এ কম অম্লীয় পরিবেশে বিপজ্জনক টক্সিন উৎপন্নকারী ক্লসট্রিডিয়াম বটুলিনাম স্পোর জন্মাবার সম্ভাবনা থাকে। তাই এ সব ক্ষেত্রে চাপ কৌটাকরণ পদ্ধতি কার্যকরভাবে



প্রয়োগ করা হয়। এ পদ্ধতিতে খাদ্যবস্তু ভর্তি কৌটাগুলোকে একটি বড় আকারের প্রেসার ক্যানার (pressure canner)এর মধ্যে কাঠের তাক বা রেকের ওপর দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ রাখা হয়। পানি ঢেলে কৌটাগুলোকে ২-৩ ইঞ্চি পানির উচ্চতায় সম্পূর্ণ ডুবিয়ে রাখা হয়।

প্রেসার ক্যানারের ঢাকনি হাল্কাভাবে বন্ধ করা হয়। এগজস্টিং করার জন্য প্রেসার ক্যানারকে 180°F থেকে 212°F অর্থাৎ 82°C–100°C তাপমাত্রা পর্যন্ত 10 মিনিট উত্তপ্ত করা হয়। তখন কৌটার ভেতরের O<sub>2</sub> বের হয়ে পড়ে। এগজস্টিং শেষে কৌটার মুখে ঢাকনি লাগিয়ে ভালোভাবে সিলড করা হয়। এগজস্টিং দ্বারা কৌটায় O<sub>2</sub> মুক্ত হয়, এর ফলে ক্রুসট্রিডিয়াম বটুলিনাম বৃদ্ধি পেতে পারে না।

(২) রিটার্টিং বা নির্বীজকরণ : সিলিং করার পর কৌটাসহ প্রেসার ক্যানারকে প্রায় 240°F থেকে 250°F (বা, 115°C–121°C) তাপমাত্রায় 30 থেকে 100 মিনিট পর্যন্ত (খাদ্যবস্তুর প্রকৃতি অনুসারে) উত্তপ্ত করা হয়। তখন ক্ষতিকর ক্রুসট্রিডিয়াম বটুলিনামের স্পোর সম্পূর্ণ বিনষ্ট হয়। তখন প্রেসার ক্যানারের ঢাকনিতে থাকা চাপমাপার যন্ত্রে (pressure gauge-এ) প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে 10 থেকে 15 পাউন্ড চাপ রেকর্ড হয়। এক্ষেত্রে ব্যবহৃত বাণিজ্যিকভাবে তৈরি করা ধাতব কৌটাগুলোতে একমুখী স্টিম নির্গমনের বল-সিস্টেম ব্যবস্থা থাকে। নির্দিষ্ট সময় পর প্রেসার ক্যানারে তাপ দেয়া বন্ধ করা হয়।

(৩) কৌটা শীতলকরণ, লেভেলিং ও গুদামজাতকরণ : ক্যানার ঠাণ্ডা হওয়ার পর ক্যানারের ঢাকনি খুলে জার লিফটার দিয়ে গরম জারগুলো তুলে নিয়ে রেকের ওপর রাখা হয়। জার বা কৌটা শীতল হওয়ার পর সংরক্ষণ করা হয়। [এত উচ্চচাপ প্রয়োগে খাদ্যবস্তু সংরক্ষণের একমাত্র কারণ হলো মাইক্রোঅর্গানিজম ক্রুসট্রিডিয়াম বটুলিনামের স্পোরগুলোকে নিষ্ক্রিয় রাখা। তখন খাদ্য বস্তুতে মারাত্মক বটুলিনাম টক্সিন উৎপন্ন হতে পারে না।]

'প্রেসার ক্যানিং'-এ ব্যবহৃত কৌটা বা জার : বল জার, মেসন জার।

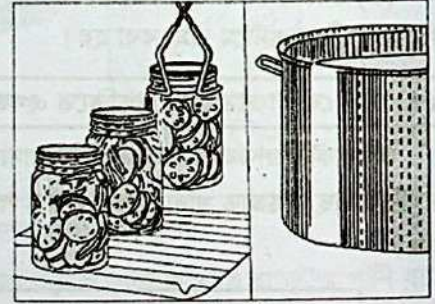
সাইজ : 250 mL (অর্ধ পাইন্ট) থেকে 2L (অর্ধগ্যালন)

বাড়ি-ঘরে ক্যানিং কাজে প্রয়োজনীয় সামগ্রী :

- (১) জার লিফটার : উত্তপ্ত জারকে উঠিয়ে নিতে ব্যবহৃত হয়।
- (২) জার ফানেল : ক্যানিং জারে তরল খাদ্যবস্তু ঢালতে ব্যবহৃত হয়।
- (৩) লিড বা ঢাকনি সরানোর দণ্ড : এটি চুষক দণ্ড, গরম পানির মধ্য থেকে ঢাকনি তোলার জন্য ব্যবহৃত হয়।
- (৪) ফলের খোসা ছাড়ানোর ছুরি।
- (৫) ফল, সবজি কাটা ছুরি : খাদ্যবস্তু তৈরির কাজে ব্যবহৃত হয়।
- (৬) রাবার স্প্যাচুলা।

\* কৌটাজাতকরণের সুফল বা সুবিধা : কৌটাজাতকরণ বা ক্যানিং পদ্ধতির সাহায্যে বিভিন্ন কৃষিজ খাদ্যবস্তু, সামুদ্রিক মৎস্য ও গৃহপালিত পশুর মাংস সংরক্ষণ করে দেশের মানুষের খাদ্য নিরাপত্তা প্রদান ও বিদেশে রপ্তানি করে বৈদেশিক মুদ্রা অর্জন করা সম্ভব। ফুড ক্যানিং থেকে নিম্নোক্ত সুফল বা সুবিধা পাওয়া যায়।

- ১। খাদ্য নিরাপত্তার জন্য ক্যানিং হলো আধুনিক বিশ্বের একটি সফল খাদ্য সংরক্ষণ পদ্ধতি।
- ২। কৃষিপ্রধান বাংলাদেশের মৌসুমি ফল-মূল ও কৃষিজ পণ্যের যথাযথ ব্যবহার ও পচন থেকে রক্ষা করার জন্য ক্যানিং ইন্ডাস্ট্রি উন্নয়নমুখী ভূমিকা রাখতে পারে।
- ৩। ক্যানিং ইন্ডাস্ট্রি গড়ে উঠলে অনেক লোকের কর্মসংস্থানের সুযোগ সৃষ্টি হবে।
- ৪। এতে ক্যানিং সংশ্লিষ্ট কৃষিজ পণ্যের অধিক উৎপাদনে কৃষকেরা আগ্রহী হবে। উৎপাদিত কৃষিপণ্য ক্যানিং ইন্ডাস্ট্রিতে বিপণন করে কৃষকেরা আর্থিকভাবে লাভবান হবে।
- ৫। বাংলাদেশের গভীর সমুদ্র থেকে অধিক পরিমাণে মাছ সংগ্রহ করে এবং পার্শ্ববর্তী দেশ থেকে গৃহপালিত পশু সরকারিভাবে আমদানির ব্যবস্থা করে থ্রোটিন ক্যানিং ইন্ডাস্ট্রি প্রতিষ্ঠা বাংলাদেশকে আর্থনৈতিকভাবে লাভবান করবে।



চিত্র-৫.৫ : কৌটা শীতল করা।



৬। বিদেশে ক্যানিং করা খাদ্য রপ্তানি করে প্রচুর বৈদেশিক মুদ্রা অর্জন করা সম্ভব হবে।

৭। ফুড ক্যানিং ইন্ডাস্ট্রি প্রতিষ্ঠাকালে এর সাথে সংশ্লিষ্ট অন্যান্য ইন্ডাস্ট্রি যেমন কৌটা বা ক্যান-ইন্ডাস্ট্রি ও ফুড লেকার (food-lacquer) ইন্ডাস্ট্রি গড়ে উঠবে।

\* খাদ্য কৌটাজাতকরণের কৌটা বা ক্যান : 1964 সালে সর্বপ্রথম আমেরিকায় ফুড ক্যানিং এর জন্য লোহা ধাতু থেকে তৈরি ক্যান ব্যবহৃত হয়। পরে 1972 সালে টিনের পাত থেকে ফুড ক্যানিং এর জন্য উন্নত ক্যান তৈরি করা হয়। বর্তমানে One piece ও Two piece নামে বিভিন্ন আকার ও সাইজের ধাতব ক্যান ব্যবহৃত হয়। পার্শ্বের চিত্র-৫.৬-এ এরূপ কিছু ক্যান দেখানো হলো। এ সব ক্যানের ভেতরে ফুড লেকারের আবরণ বা প্রলেপ দেয়া থাকে।



চিত্র-৫.৬ : বিভিন্ন প্রকার ক্যান

\* ফুড লেকার (Food Lacquer) : ফুড লেকার হলো ফুড ক্যানিং কাজে ব্যবহৃত ধাতব ক্যানের ভেতরে প্রলেপ দেয়ার জন্য উপযুক্ত প্রাকৃতিক অথবা কৃত্রিমভাবে তৈরি করা ফেনলিক, ইপক্সি অথবা ভিনাইল রেজিনের একটি দ্রবণ। রেজিনের এ দ্রবণটি জৈব দ্রাবকে অথবা ড্রায়িং অয়েলে করা হয়। ফুড লেকারের প্রলেপটি ক্যানের ভেতরের খাদ্যবস্তুকে ক্যানের ধাতব পদার্থের সংস্পর্শ থেকে দূরে রাখে এবং ক্যানের ভেতরে মরিচা সৃষ্টি রোধ করে। এদের মৃদু চমৎকার ফ্রেভার থাকে। বর্তমানে ক্যানের ভেতরে ব্যবহারের জন্য পলিবিউটাডাইনস ও ডাইফেনলিক রেজিন ফুড লেকার অধিক ব্যবহৃত হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ-৫.৪ : খাদ্যবস্তুর কৌটাজাতকরণভিত্তিক :

প্রশ্ন-৫.১১ : কাঁচা সবজি কৌটাজাতকরণের মূলনীতি ব্যাখ্যা কর।

প্রশ্ন-৫.১২ : পানি স্ফুটন বাথ পদ্ধতি ক্যানিং কোন ক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয়? তা সংক্ষেপে বর্ণনা কর।

প্রশ্ন-৫.১৩ : চাপ-কৌটাজাতকরণ পদ্ধতি কোন ক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয়? তা সংক্ষেপে বর্ণনা কর।

প্রশ্ন-৫.১৪ : সংজ্ঞা ও ব্যাখ্যা কর।

(ক) কৌটাজাতকরণ কী?

(খ) ব্লাঙ্কিং কী?

(গ) বায়ু শূন্যকরণ কী?

(ঘ) রিটার্টিং বা নিরীজকরণ কী?

(ঙ) ফুড লেকার কী?

[চ. বো. ২০১৫]

[য. বো. ২০১৫]

[চ. বো. ২০১৫]

### ৫.৪.১ দেশি ফলের কৌটাজাতকরণ

#### Canning of Some Country fruits

\*\*দেশি ফল (আম, আনারস, পেয়ারা, কাঁঠাল) কৌটাজাতকরণ : এসব ফল কৌটাজাতকরণের সাধারণ ধাপগুলো হলো নিম্নরূপ :

(১) ফল সংগ্রহ, ধৌতকরণ ও খোসা ছাড়ানো : পুষ্ট ও পরিপক্ব ফল সংগ্রহ, বাছাই ও পরিষ্কার পানিতে ধৌত করে ফলের বোটা, খোসা ছাড়ানো হয়।

(২) ফলের টুকরা করা : স্টিলের ছুরি বা স্লাইসার দিয়ে ফলকে ছোট টুকরা করা হয়।

(৩) কৌটায় ফলের টুকরা ও ক্যানিং তরল ভর্তি : ফলের টুকরা (কাঁঠালের খোয়া) গুলোকে স্টেরিলাইজড (100°C এ পানিতে ফুটানো) কৌটার মধ্যে স্তরে স্তরে সাজিয়ে রেখে এর মধ্যে 30-40% চিনির দ্রবণ ও 0.25% সায়ট্রিক এসিড (প্রিজারভেটিভ) দ্রবণ যোগ করে ফলের টুকরাগুলোকে ডুবিয়ে রাখা হয় এবং কৌটার ঢাকনি হালকাভাবে লাগানো হয়।



(৪) এগজস্টিং, সিলিং ও রিটার্টিং : এরপর পানি-স্ফুটন বাথ পদ্ধতিতে কৌটামধ্যস্থ ফলের টুকরাকে  $85^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায় এগজস্টিং করে কৌটার মুখের ঢাকনিকে সিল্ড করা হয়। পরে 20-30 মিনিট  $100^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায় ফুটন্ত পানিতে রিটার্টিং বা নির্বীজকরণ করা হয়।

(৫) লেবেলিং ও বাজারজাতকরণ : শেষে পানি-স্ফুটন বাথ ঠাণ্ডা করে কৌটাগুলোকে বের করে লেবেল লাগানো হয়। সবশেষে গুদামে সংরক্ষণ অথবা বাজারজাত করা হয়।

\* (ক) আমের কৌটাজাতকরণ : আম একটি মৌসুমি সুমিষ্ট ফল। রাজশাহী অঞ্চলে প্রচুর আম উৎপাদিত হয়। মৌসুমি ফল এ আমকে কৌটাজাত করে সারা বছর খাওয়ার উপযোগী করে সংরক্ষণ করা যায়।

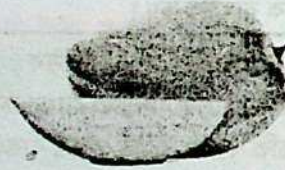
#### আমের কৌটাজাতকরণ প্রণালি

(১) ফল সংগ্রহ, ধৌতকরণ ও খোসা ছাড়ানো : পুষ্ট, পরিপক্ব ও আঁটসাঁট আম সংগ্রহ ও বাছাই করতে হবে। বাছাই করা আম ভালো করে ধুয়ে বোঁটা ও খোসা ছাড়ানো হয়।

(২) ফলের টুকরা বা স্লাইস করা : এরপর স্টিলের ছুরি বা স্লাইসার দিয়ে আমের নরম অংশ নির্দিষ্ট আকারে টুকরা বা স্লাইস করা হয় এবং আঁট ফেলে দেয়া হয়।

(৩) কৌটায় ফলের টুকরা ও ক্যানিং তরল ভর্তি : এবার স্টেরিলাইজড ( $100^{\circ}\text{C}$ -এ পানিতে ফুটানো) কৌটার মধ্যে আমের টুকরাগুলো সুসমভাবে ভর্তি করার পর 30-40% চিনির দ্রবণ ও 0.25% সায়ট্রিক এসিড দ্রবণ যোগ করে কৌটার ঢাকনি হালকাভাবে লাগানো হয়। এক্ষেত্রে চিনির গাঢ় দ্রবণ ও সায়ট্রিক এসিড প্রিজারভেটিভস্বরূপে কাজ করে। প্রিজারভেটিভসের দ্রবণে আমের টুকরাগুলো নিমজ্জিত থাকে।

(৪) এগজস্টিং, সিলিং ও রিটার্টিং : এরপর পানি স্ফুটন বাথ পদ্ধতিতে কৌটা ও কৌটা মধ্যস্থ খাদ্যবস্তুর  $85^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায় এগজস্টিং করে কৌটার মুখে ভালোভাবে ঢাকনি লাগিয়ে সিল্ড করা হয়। এ অবস্থায় কৌটাকে 20-30 মিনিট  $100^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায় ফুটন্ত পানিতে রিটার্টিং বা নির্বীজকরণ করা হয়।



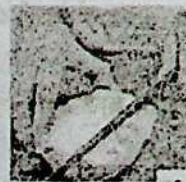
চিত্র-৫.৭ : আমের কৌটাজাতকরণ

(৫) লেবেলিং ও বাজারজাতকরণ : শেষে পানি স্ফুটন-বাথ ঠাণ্ডা করে কৌটাগুলোকে বের করে লেবেল লাগানো হয়। এ লেবেলে খাদ্য কৌটাজাতকরণ তারিখ ও মেয়াদ উত্তীর্ণ তারিখ উল্লেখসহ খাদ্যবস্তুর গুণাগুণ উল্লেখ থাকে। সব শেষে বাজারজাত করা হয়।

\* (খ) আনারসের কৌটাজাতকরণ : আনারস একটি মৌসুমি সুমিষ্ট ফল। এটি সহজেই পচনশীল এবং সংরক্ষণের অভাবে প্রতি বছর প্রচুর আনারস বিনষ্ট হয়। তাই আনারস কৌটাজাত করা লাভজনক হবে।

#### আনারসের কৌটাজাতকরণ প্রণালি

(১) ফল সংগ্রহ, ধৌতকরণ ও খোসা ছাড়ানো : পুষ্ট, সুগন্ধযুক্ত ও শক্ত ধরনের মোটা আনারস; কিন্তু খুব বেশি পাকা নয় এমন আনারস বাছাই করে পরিষ্কার পানিতে ধুয়ে নিতে হয়।



চিত্র-৫.৮ : আনারসের কৌটাজাতকরণ

(২) ফলের টুকরা বা স্লাইস করা : স্টিলের ছুরির সাহায্যে খোসা ছাড়িয়ে 1" আকারের টুকরা করতে হবে যেন কৌটা বা বয়েমের মুখে সহজে ঢুকানো যায়।

(৩) কৌটায় ফলের টুকরা ও ক্যানিং তরল ভর্তি : আনারসের টুকরাগুলোকে বিন্যস্ত করে স্টেরিলাইজড কৌটায় ভর্তি করে 30-40% চিনির দ্রবণ ও 0.25% সায়ট্রিক এসিড দ্রবণ দিয়ে আনারসের টুকরাগুলো নিমজ্জিত রাখা হয়।



(৪) এগজস্টিং, সিলিং ও রিটার্টিং : এরপর পানি স্ফুটন বাথ পদ্ধতিতে কৌটা ও কৌটামধ্যস্থ খাদ্যবস্তুকে  $85^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায় এগজস্টিং করে কৌটার মুখে ঢাকনি দিয়ে সিল্ড করা হয়। এ অবস্থায় কৌটাকে 20–30 মিনিট  $100^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায় ফুটন্ত পানিতে রিটার্টিং করা হয়।

(৫) লেবেলিং ও বাজারজাতকরণ : সবশেষে পানি স্ফুটন-বাথ ঠাণ্ডা করে কৌটাগুলোকে বের করে লেবেল যুক্ত করা হয়। সবশেষে বাজারজাত করা হয়।

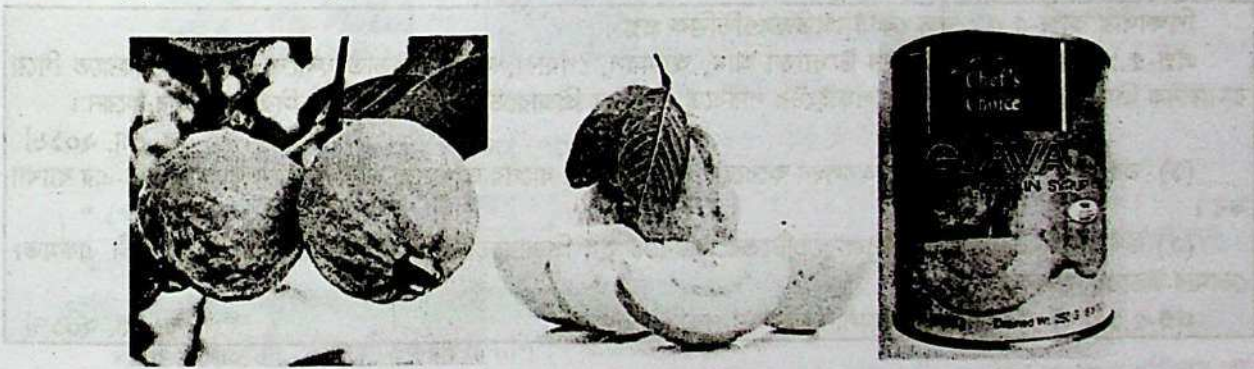
#### \* (গ) পেয়ারা কৌটাজাতকরণ

ফল কৌটাজাতকরণের সাধারণ ধাপগুলো অনুসরণ করে পেয়ারা কৌটাজাতকরণ করা হয় :

(১) ফল সংগ্রহ, ধৌতকরণ ও খোসা ছাড়ানো : পুষ্ট ও পরিপক্ব পেয়ারা সংগ্রহ, বাছাই ও পরিষ্কার পানিতে ধৌত করার পর বোঁটা ও প্রয়োজন মতো খোসা ছাড়ানো হয়।

(২) ফলের টুকরা করা : স্টিলের ছুরি দিয়ে প্রতিটি পেয়ারাকে আকার অনুসারে ৬ থেকে ৮ টুকরা করা হয়।

(৩) কৌটায় ফলের টুকরা ও ক্যানিং তরল ভর্তি : পেয়ারার টুকরাগুলোকে স্টেরিলাইজড কৌটার মধ্যে সাজিয়ে রেখে ক্যানিং তরলরূপে 10% চিনির দ্রবণ, 0.06% সায়ট্রিক এসিড (প্রিজারভেটিভ) ও 0.125% এসকরবিক এসিড বা ভিটামিন-C (অ্যান্টি অক্সিডেন্ট) মিশ্রণ যোগ করা হয়। তখন এ ক্যানিং তরলে পেয়ারার টুকরাগুলো নিমজ্জিত থাকে। কৌটার ঢাকনিকে হালকাভাবে লাগানো হয়।



চিত্র-৫.৯ : পেয়ারা কৌটাজাতকরণ

(৪) এগজস্টিং, সিলিং ও রিটার্টিং : এরপর পানি-স্ফুটন বাথ পদ্ধতিতে কৌটামধ্যস্থ পেয়ারাকে  $85^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায় এগজস্টিং করে কৌটার মুখে ঢাকনি ভালোভাবে লাগিয়ে সিল্ড করা হয়। এ অবস্থায় কৌটাকে 20–30 মিনিট  $100^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায় ফুটন্ত পানিতে রিটার্টিং বা নির্বীজকরণ করা হয়।

(৫) লেবেলিং ও বাজারজাতকরণ : শেষে পানি-স্ফুটন বাথ ঠাণ্ডা করে কৌটাগুলোকে বের করে লেবেল লাগানো হয়। সব শেষে কৌটাজাতকৃত পেয়ারাকে বাজারজাত করা হয়।

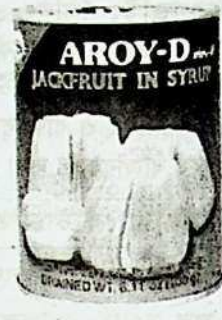
#### \* (ঘ) কাঁঠাল কৌটাজাতকরণ

(১) ফল সংগ্রহ, ধৌতকরণ ও খোসা ছাড়ানো : পুষ্ট, সুগন্ধযুক্ত শক্ত ধরনের বড় আকারের কাঁঠাল সংগ্রহ ও বাছাই করে পরিষ্কার পানিতে ধুয়ে নেয়া হয়।

(২) কাঁঠালের খোয়া পৃথক করা : কাঁঠাল একটি যৌগিক ফল (multiple aggregate fruit)। কাঁঠাল ভেঙ্গে হলুদ বর্ণের পুষ্ট কোয়াগুলোকে সংগ্রহ করা হয়। কোয়াগুলোর এক পাশে স্টিলের ছুরি দিয়ে কেটে কাঁঠালের বীজ ও বীজ আবরণী বের করে নেয়া হয়।

(৩) কৌটায় কাঁঠালের কোয়া ও ক্যানিং তরল ভর্তি : কোয়াগুলোকে স্টেরিলাইজড কৌটায় ভাঁজ করে সাজিয়ে রেখে ক্যানিং তরলরূপে 40% চিনির দ্রবণ ও 0.25% সায়ট্রিক এসিড দ্রবণ যোগ করা হয়। তখন ক্যানিং তরলে কাঁঠালের কোয়াগুলো নিমজ্জিত থাকে। এ অবস্থায় কৌটার ঢাকনি হালকাভাবে আটকানো হয়।





চিত্র-৫.১০ : কাঁঠাল কৌটাজাতকরণ

(৪) এগজস্টিং, সিলিং ও রিটার্টিং : এবার পানি-স্ফুটন বাথ পদ্ধতিতে কৌটাভর্তি কাঁঠালের কোয়াগুলোকে  $85^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায় এগজস্টিং করে কৌটার মুখের ঢাকনি ভালোভাবে লাগিয়ে সিলড করা হয়। এ অবস্থায় কৌটাকে 20-30 মিনিট  $100^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায় ফুটন্ত পানিতে রিটার্টিং বা নির্বীজকরণ করা হয়।

(৫) লেবেলিং ও বাজারজাতকরণ : শেষে পানি-স্ফুটন বাথ ঠাণ্ডা করে কৌটাগুলোকে বের করে লেবেল লাগানো হয়। সবশেষে কৌটাভর্তি কাঁঠালের কোয়াগুলোকে বাজারজাত করা হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ-৫.৫ : ফল কৌটাজাতকরণভিত্তিক প্রশ্ন :

প্রশ্ন-৫.১৫(ক) : একজন তরুণ উদ্যোক্তা আম, আনারস, পেয়ারা, আপেল প্রভৃতি ফলকে কৌটাজাত করতে গিয়ে রাসায়নিক প্রিজারভেটিভ সোডিয়াম সালফাইটের পরিবর্তে প্রাকৃতিক প্রিজারভেটিভ হিসেবে চিনির সিরাপ ব্যবহার করেন।

[ব. বো. ২০১৬]

(১) তরুণ উদ্যোক্তা যে পদ্ধতি অবলম্বন করেছেন, তাতে বিভিন্ন ধাপের তাপমাত্রা সুনির্দিষ্ট মানে থাকা জরুরি-এর ব্যাখ্যা কর।

(২) উদ্দীপকে উল্লেখিত ১ম প্রিজারভেটিভের পরিবর্তে ২য় প্রিজারভেটিভটি ব্যবহারের সিদ্ধান্তে তুমি কী একমত? তোমার উত্তরের পক্ষে যুক্তি দাও।

প্রশ্ন-৫.১৫(খ) : পেয়ারার দীর্ঘকালীন সংরক্ষণ পদ্ধতি বর্ণনা কর।

[কু. বো. ২০১৭]

## ৫.৪.২ সবজির কৌটাজাতকরণ

### Canning of Vegetables

রাসায়নিক সংযুক্তিতে সবজি হলো ফল থেকে কিছুটা ভিন্ন। ফলের চেয়ে সবজির মধ্যে স্টার্চ ও সেলুলোজ বেশি থাকে; কিন্তু চিনি ও এসিড কম থাকে। এছাড়া মাটি থেকে বিভিন্ন তাপসহিষ্ণু অণুজীব বা মাইক্রো অর্গানিজম সবজিতে আশ্রয় নেয়। এর ফলে অনেক সবজিতে আপত্তিকর গন্ধ থাকে। তাই কৌটাতে সবজিকে ভর্তি করার পূর্বে সবজিকে ব্লাঞ্চিং করে সবজির আপত্তিকর গন্ধ দূর করা হয়। দেশি ফল ও সবজির কৌটাজাতকরণে একটি পার্থক্য হলো ব্লাঞ্চিং। নিচে সবজির কৌটাজাতকরণ পদ্ধতি বর্ণনা করা হলো :

\* (ক) কচি ভুট্টার কৌটাজাতকরণ :

কচি ভুট্টা হলো শর্করা জাতীয় শস্যদানা। শ্রেণীগতভাবে ভুট্টা হলো নিম্ন এসিডভুক্ত খাদ্যবস্তু। তাই কৌটাজাতকরণের নিয়ম মতে ভুট্টার প্রেসার ক্যানিং ব্যবহার করাই উত্তম। কচি ভুট্টাকে দু'প্রকারে কৌটাজাত করা হয়; প্রথমটি হলো ভুট্টার শস্যদানাসহ বা 'শস্য-স্টাইল' ও দ্বিতীয়টি হলো আন্ত ভুট্টাসহ বা 'ক্রিম স্টাইল'। 'শস্য স্টাইল' পদ্ধতিতে কচি ভুট্টার দানা কে মঞ্জুরি থেকে কেটে আলাদা করে কৌটাজাত করা হয়। 'ক্রিম-স্টাইল' পদ্ধতিতে ভুট্টার ওপরের অংশ কেটে মাঝখানের নরম ক্রিমজাতীয় অংশ বের করে ফেলা হয়।

কচি ভুট্টার কৌটাজাতকরণ প্রণালি :

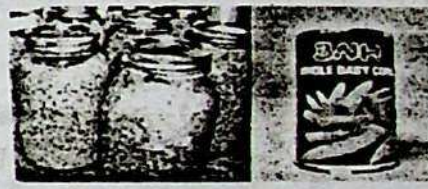
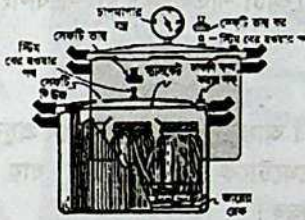
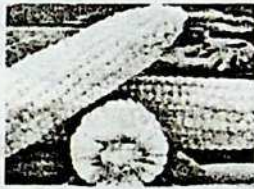
(১) কচি ভুট্টা সংগ্রহ ও দানা পৃথক করা : ক্ষেত থেকে সংগৃহীত কচি ভুট্টাকে খোসা মুক্ত করে পরিষ্কার পানিতে ধুয়ে নেয়া হয় এবং ভুট্টার দানা পৃথক করা হয়।



(২) ভুট্টার দানােকে ব্লাঞ্চিং করা : এরপর ভুট্টার দানাগুলোকে কড়াইতে নিয়ে প্রতি চার কাপ ভুট্টার জন্য এক কাপ ফুটন্ত পানি যোগ করে প্রায় পাঁচ মিনিট ফুটন্ত পানিতে উত্তপ্ত করে ব্লাঞ্চিং শেষ করা হয়। আস্ত ভুট্টাকে একই নিয়মে ব্লাঞ্চিং করা হয়।

(৩) কৌটায় ভুট্টা ও ক্যানিং তরল ভর্তি : ব্লাঞ্চিং শেষে ভুট্টাকে জীবাণুমুক্ত কৌটা ভর্তি করে কৌটার মুখে  $\frac{1}{2}$ " খালি রেখে (Head space) ক্যানিং তরলরূপে 2% লবণ পানি ও 5% চিনির দ্রবণ যোগ করা হয়। এখন কৌটার মুখ হালকাভাবে আটকানো হয়।

(৪) এগ্জস্টিং, সিলিং ও রিটর্টিং : এরপর কৌটাগুলোকে প্রেসার ক্যানে রেখে প্রথমে 85°-90°C তাপমাত্রায় 10 মিনিট এগ্জস্টিং এবং পরে কৌটার মুখ সিলিং করা হয়। এরপর প্রেসার ক্যানারে 115°-121°C তাপমাত্রায় 30 মিনিট রিটর্টিং করা হয়।



চিত্র-৫.১১ : কচি ভুট্টার কৌটাজাতকরণ

৫। লেবেলিং ও বাজারজাতকরণ : সব শেষে কৌটা শীতলকরণ, লেবেলিং ও গুদামজাত করা হয়।

**\* (খ) সবুজ মটরশুটি কৌটাজাতকরণ :**

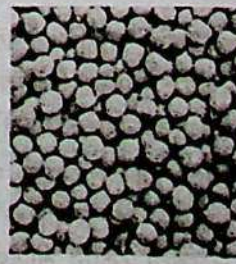
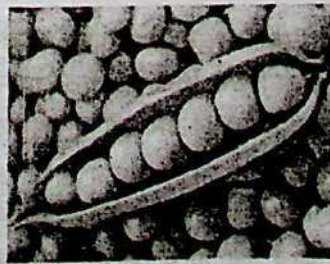
সবুজ মটরশুটি হলো শর্করা জাতীয় শস্যদানা। শ্রেণিগতভাবে সবুজ মটরশুটি হলো নিম্নমান এসিডভুক্ত খাদ্যবস্তু। তাই কৌটাজাতকরণের নিয়ম মতে প্রেসার ক্যানিং পদ্ধতিতে এটি সংরক্ষণ করা হয়।

সবুজ মটরশুটির কৌটাজাতকরণ প্রণালি :

(১) সবুজ মটরশুটি সংগ্রহ ও ধৌতকরণ : ক্ষেত থেকে সংগৃহীত সবুজ মটরশুটিকে খোসামুক্ত করে পরিষ্কার পানিতে কয়েকবার ধুয়ে নেয়া হয়। এর মধ্যে পাতার অংশ বা বোঁটা যেন না থাকে তা নিশ্চিত করা হয়।

(২) কৌটা জীবাণুমুক্তকরণ : এর মধ্যে কৌটাগুলোকে পরিষ্কার পানিতে ধুয়ে জীবাণুমুক্ত করা হয় এবং কৌটার ঢাকনা ও রিংগুলোকে একইভাবে জীবাণুমুক্ত করে উত্তপ্ত পানিতে রাখা হয়।

(৩) ব্লাঞ্চিং : এরপর মটরশুটির দানাগুলোকে কড়াইতে (saucepan-এ) নিয়ে প্রতি চার কাপ মটরদানার জন্য এক কাপ ফুটন্ত পানি যোগ করা হয়। এরপর ফুটন্ত পানিতে পাঁচ মিনিট যাবৎ উত্তপ্ত করে ব্লাঞ্চিং করা হয় এবং বাঁঝরি (colander) ব্যবহার করে সিদ্ধ করা মটরদানাগুলোকে 'সিদ্ধ করা তরল' (cooking liquid) থেকে আলাদা করা হয়। 'সিদ্ধ করা তরলটি'কে অন্য একটি জীবাণুমুক্ত কড়াইতে রাখা হয়।



চিত্র-৫.১২ : সবুজ মটরশুটি কৌটাজাতকরণ



(৪) সিদ্ধ মটরকে ক্যানিং তরলসহ জারে ভর্তি : ব্রাঞ্চিং শেষে সিদ্ধ করা মটরশুটিকে জীবাণুমুক্ত কৌটায় ভর্তি করা হয়। এরপর 'সিদ্ধ করা তরলে' ক্যানিং লবণরূপে 2% লবণ ও 5% চিনি মিশিয়ে 'ক্যানিং তরল' তৈরি করা হয়। এবার কৌটাগুলোকে ওপর থেকে  $\frac{1}{2}$  ইঞ্চি ফাঁকা রেখে ক্যানিং তরল যোগ করে পূর্ণ করা হয়। মটরশুটির ফাঁকে তরলের মধ্যে যেন বাতাসের বুদবুদ না থাকে, তা নিশ্চিত করা হয়। এখন কৌটার মুখ হালকাভাবে যুক্ত করা হয়।

(৫) এগজস্টিং, রিটার্টিং, লেবেলিং ও শুদামজাতকরণ : এরপর কৌটাগুলোকে প্রেসার ক্যানে রেখে প্রথমে 85°–90°C তাপমাত্রায় দশ মিনিট যাবৎ উত্তপ্ত করে এগজস্টিং করা হয় এবং শেষে কৌটার মুখের ঢাকনাকে সম্পূর্ণ সিল্ড করা হয়। এরপর প্রেসার ক্যানারে 115°–121°C তাপমাত্রায় ৩৫ মিনিট যাবৎ রিটার্টিং করা হয়।

**MCQ-5.5 :** আম কৌটাজাতকরণে নিচের কোনটি যোগ করা হয়? [ঢা. বো. ২০১৫]

(ক) ইথানল (খ) সায়ট্রিক এসিড  
(গ) ফরমালিন (ঘ) এসকরবিক এসিড

(৬) কৌটা শীতলকরণ ও লেবেলিং : সব শেষে কৌটা শীতলকরণ ও লেবেলিং করে শুদামজাত করা হয়।

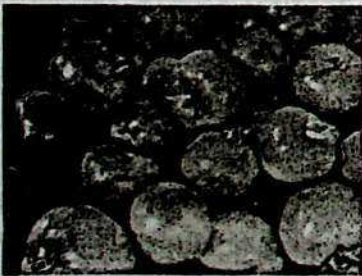
**\* (গ) টমেটো কৌটাজাতকরণ :**

টমেটো হলো একটি উন্নতমানের সবজি শ্রেণির ফল। আমাদের দেশে মৌসুমে প্রচুর পরিমাণে টমেটো উৎপন্ন হয়। তখন টমেটো বাজার দর কম থাকে। সহজে পচনশীল টমেটোকে বেশিদিন রাখা যায় না। তাই কৌটাজাতকরণ পদ্ধতিতে টমেটোকে সংরক্ষণ করে সারা বছর এর ব্যবহার করা সম্ভব।

টমেটোর কৌটাজাতকরণ প্রণালি :

(১) টমেটো সংগ্রহ ও ধৌতকরণ : বাজার থেকে পুষ্ট লাল বর্ণের টমেটো সংগ্রহ করা হয়। সবচেয়ে ভালো আকারের টমেটোর বোঁটা বাদ দিয়ে পরিষ্কার পানিতে ধুয়ে নেয়া হয়। ছুরি দিয়ে কেটে টমেটোর ছোট বীজগুলো দূর করা হয়।

(২) টমেটোকে গরম পানিতে ব্রাঞ্চিং : পরিষ্কার টমেটোগুলোকে ফুটন্ত পানিতে 2–3 মিনিট রেখে ঝাঁঝরি দিয়ে তুলে নেয়া হয়। তখন টমেটোর পাতলা চামড়া টিলে হয়ে থাকে। এবার টিলে চামড়া পৃথক করে টমেটোগুলোকে গরম পানিতে ধুয়ে নেয়া হয়।



চিত্র-৫.১৩ : টমেটো কৌটাজাতকরণ

(৩) কৌটায় টমেটো ও ক্যানিং তরল ভর্তি : ব্রাঞ্চিং শেষে টমেটোর টুকরাগুলোকে স্টেরিলাইজড বা জীবাণুমুক্ত কৌটায় ভর্তি করে কৌটার মুখে  $\frac{1}{2}$ '' খালি রেখে ক্যানিং তরলরূপে প্রাকৃতিক প্রিজারভেটিভ যেমন 10% NaCl দ্রবণ ও 5% চিনির দ্রবণ যোগ করে টমেটোর টুকরাগুলোকে নিমজ্জিত করা হয়। এবার কৌটার মুখ হালকাভাবে আটকানো হয়।

(৪) এগজস্টিং, সিলিং ও রিটার্টিং : এরপর কৌটাগুলোকে পানি স্কুটন বার্থের ক্যানে রেখে প্রথমে 85°C তাপমাত্রায় 10 মিনিট এগজস্টিং করা হয়। পরে কৌটার মুখ সিলিং করে 100°C তাপমাত্রায় 30 মিনিট রিটার্টিং করা হয়।

(৫) লেবেলিং ও বাজারজাতকরণ : শেষে কৌটা শীতল করে এর গায়ে লেবেল লাগানো হয়। পরে টমেটোর কৌটাগুলোকে বাজারজাত করা হয়।



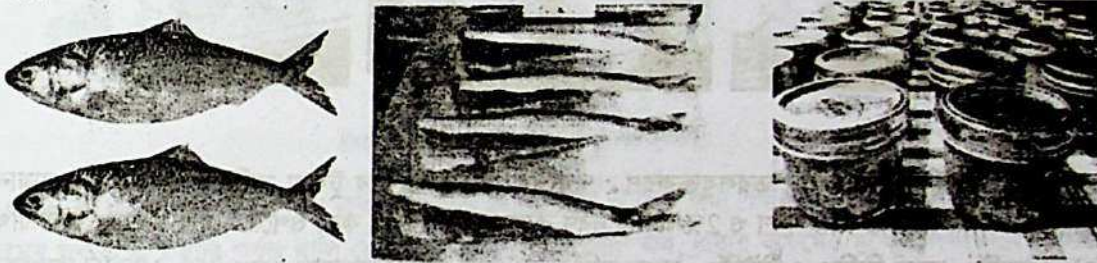
## ৫.৪.৩ মাছের কৌটাজাতকরণ

## Fish Canning

বিভিন্ন প্রকার মাছ উচ্চ মানের প্রোটিন, চর্বি ও খনিজ লবণ সমৃদ্ধ থাকে। বাংলাদেশে পুকুর, খাল বিল, নদী, হাওর ও সমুদ্রে প্রচুর মাছ রয়েছে। পুষ্টিমানের হিসেবে বিভিন্ন মাছে খাদ্য উপাদান হলো : প্রোটিন (14–20%), চর্বি (0.2–20%), খনিজ লবণ (1–1.8%), ভিটামিন (0.2–1%) এবং কঠিন পদার্থ (24–35%)। মাছের অসম্পূর্ণ ফ্যাটি এসিডযুক্ত চর্বিতে সহজে জারণ ঘটে। তাই খাদ্যবস্তুর মধ্যে মাছ অত্যন্ত পচনশীল খাদ্য। কিন্তু মাছের এ চর্বি ভিটামিন A ও D এর একটি প্রধান উৎস। মাছকে সঠিকভাবে কৌটাজাত করে 2–3 বছর সংরক্ষণ করা যায়।

মাছের কৌটাজাতকরণ বা ক্যানিং প্রণালি :

(১) মাছ নির্বাচন : তাজা ও চর্বিযুক্ত মাছ ক্যানিং-এর জন্য সংগ্রহ করা হয়। এজন্য ইলিশ, টুনা ও চিংড়ি মাছ নির্বাচন করা হলো।



চিত্র-৫.১৪ : মাছের কৌটাজাতকরণ

(২) মাছ কেটে ধৌতকরণ : মাছের আঁইশ ফেলে, মাথা কেটে, পেটের নাড়িভূড়ি পরিষ্কার করে আকার অনুযায়ী মাছগুলোকে গ্রেডিং করা হয়। বড় মাছের মেরুদণ্ড বাদ দিয়ে ছোট টুকরা করা হয়। মাছের টুকরাগুলোকে খাদ্য লবণের পানিতে ভিজিয়ে রেখে জমাট বাঁধা রক্ত ও অন্যান্য ময়লা পরিষ্কার করা হয়।

(৩) ব্লাঞ্চিং ও কৌটা ভর্তিকরণ : এরপর বাষ্পীয় চুল্লিতে মাছকে সিদ্ধ করে মাছের গন্ধ দূর করা হয়। এতে মাছের অণুজীব মরে যায়। ভেতরে ZnO প্রলেপযুক্ত সালফার প্রতিরোধক কৌটাতে মাছের টুকরাগুলোকে ভর্তি করা হয়। এতে মাছের প্রোটিনের মনোমার সিস্টিন ও মিথিয়োনিন অ্যামাইনো এসিডের সালফার ZnO এর সাথে বিক্রিয়া করে সাদা বর্ণের ZnS গঠন করে যা মাছের বর্ণ উজ্জ্বল করে।

(৪) ক্যানিং দ্রবণ যোগ, এগজস্টিং, সিলিং ও রিটর্টিং : এরপর কৌটার ওপরে খালি রেখে 2% NaCl দ্রবণ ও 2% চিনির দ্রবণ যোগ করা হয়। এ অবস্থায় প্রেসার ক্যানে কৌটাগুলো রেখে 85°–100°C তাপমাত্রায় 10 মিনিট এগজস্টিং করে কৌটার মুখ সিলিং করা হয়। এরপর প্রেসার ক্যানে 1–1½ ঘণ্টা যাবৎ 121°C তাপমাত্রায় রিটর্টিং করা হয়।

(৫) কৌটা লেবেলিং ও শুদামজাতকরণ : সবশেষে ঠাণ্ডা অবস্থায় কৌটাগুলো বের করে, লেবেল লাগিয়ে শুদামজাত করা হয়।

## ৫.৪.৪ মাংসের কৌটাজাতকরণ

## Meat Canning

মাংস বলতে মূলত গরু, মহিষ, ছাগল, ভেড়া প্রভৃতি পশুর মাংসকে বোঝানো হয়। এছাড়া মুরগির মাংস রয়েছে। মাংস হলো সুস্বাদু প্রোটিনজাতীয় খাদ্য। পশুর মুরগির ও মাংসের উপাদান হলো : পানি 75%, প্রোটিন 19%, চর্বি 2.5%, কার্বোহাইড্রেট 0.3%, অ্যামাইনো এসিড 1.65%, অজৈব লবণ 0.65%, ল্যাকটিক এসিড 0.9%।

বাংলাদেশে কোরবানির সময় প্রয়োজনের অধিক মাংস পাওয়া যায়। তাই এ সব মাংসকে সঠিকভাবে কৌটাজাত করে বছরব্যাপী সংরক্ষণ করা যায়। মাংসের ও মাছের কৌটাজাতকরণ একই প্রকার।

## MCQ-5.6 : মাংস কৌটাজাতকরণ

নিচের কোনটি যোগ করা হয়?

(i) 2% লবণ (ii) 2% চিনি (iii)

1% সায়ট্রিক এসিড

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i, ii (খ) ii, iii

(গ) i, iii (ঘ) i, ii, ও iii



৫৫৮

রসায়ন-প্রথম পত্র

মাংসের কৌটাজাতকরণ বা ক্যানিং প্রণালি :

(১) পশু নির্বাচন : সুস্থ, সবল, মাঝবয়সী পশু নির্বাচন করা হয়।

(২) পশু জবাই ও মাংস ধৌতকরণ : পশু জবাই করার পর, চামড়া মুক্ত করে, পশুর মাংসকে প্রয়োজনমত টুকরা করা হয়। চর্বি, কলিজা, কিডনি, মস্তিষ্ক ও হাড় ফেলে দেয়া হয়। শেষে মাংসকে পরিষ্কার পানিতে ধুয়ে রক্ত মুক্ত করে এবং চাপে পানি বের করা হয়।



চিত্র-৫.১৫ : মাংসের কৌটাজাতকরণ

(৩) ক্যানে ভর্তিকরণ ও ক্যান তরলযুক্তকরণ : ক্যানের ভেতর মাংসের টুকরা সাজিয়ে ওপর দিকে সামান্য খালি জায়গা রাখা হয়। এরপর ২% খাদ্য লবণ ও ২% চিনির দ্রবণ ক্যানের মধ্যে যোগ করে ওপরে সামান্য জায়গা খালি রাখা হয়।

(৪) এগজস্টিং, ক্যান সিলিং ও রিটর্টিং : মাংস ভর্তি ক্যানগুলো প্রেসার ক্যানারে রেখে ৪৫°-১০০°C তাপমাত্রায় ১০ মিনিট এগজস্টিং করে ক্যানগুলোকে সিলিং করা হয়। এরপর ক্যানগুলোকে প্রেসার ক্যানারে ১২১°C তাপমাত্রায় ১ - ১½ ঘণ্টা রিটর্টিং করা হয়।

(৫) ক্যান লেবেলিং ও গুদামজাতকরণ : প্রেসার ক্যানার থেকে মাংস ভর্তি ক্যানগুলো বের করে ঠাণ্ডা অবস্থায় লেবেল যুক্ত করে গুদামজাত করা হয়।

### ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণি শিক্ষকের সহায়তায় চার জনের গ্রুপ করে নিম্নোক্ত ধাপে খাদ্যবস্তু যেমন- সবজি কৌটাজাতকরণ প্রক্রিয়া সম্পাদন কর।

পরীক্ষা নং-১৫

তারিখ : .....

পরীক্ষার সময় : ২ পিরিয়ড

৫.৫ পরীক্ষার নাম : খাদ্যবস্তু সবজি কৌটাজাতকরণ

Canning Vegetable Food

প্রয়োজনীয় সবজি :

(১) বাঁশ কোরল : ½ কেজি।

(২) মূলা বা গাজর : ½ কেজি।

(বর্ষাকালে বাজারে পাওয়া যায়)

(শীতকালে বাজারে মূলা পাওয়া যায়)

(৩) লবণ : ৫ গ্রাম,

(৪) পানি : ½ কেজি।

প্রয়োজনীয় সরঞ্জাম : (১) কৌটা হিসেবে B.D. Food Limited অথবা PRAN Fruit Products কোম্পানির ব্যবহৃত সামগ্রীর কৌটা ব্যবহার করতে পার।

(২) ইম্পাত সস্পেন : ২টি (চিত্র-৫.৩ দেখ); (৩) রেক (rack) : ১টি; (৪) বড় চামচ : ১টি; (৫) জার-লিফটার।



কার্যপদ্ধতি : (১) প্রথমে  $\frac{2}{3}$  কেজি সবজি নিয়ে ভালো করে ধুয়ে নাও। সবজি কাটার ছুরি দিয়ে সবজির চামড়া তুলে টুকরা কর।

(২) ইস্পাতের সস্পেন  $\frac{2}{3}$  লিটার পানিতে ৫ গ্রাম লবণ ও সবজির টুকরাগুলো রেখে তোমার ল্যাবরেটরির গ্যাস বার্নারে ১০ মিনিট ফুটন্ত পানিতে সিদ্ধ কর। এবার বার্নার বন্ধ করে সস্পেনটিকে ঠাণ্ডা হতে দাও।



চিত্র-৫.১৬ : বাঁশ কোরল কৌটাজাতকরণ

(৩) কৌটা বা বয়েমগুলো ধুয়ে নাও। এখন বড় চামচের সাহায্যে ঐ সিদ্ধ করা সবজি কাচের বয়েমে নিয়ে  $\frac{9}{8}$  অংশ ভর্তি কর। বয়েমের মুখ হতে ১ ইঞ্চি পর্যন্ত খালি রেখে গরম লবণ পানি যোগ কর, এবার বয়েমের মুখে হালকাভাবে ঢাকনি যুক্ত কর। এরূপে ৪ জন শিক্ষার্থী মিলে ৪টি বয়েম ভর্তি কর।

(৪) এখন বড় সস্পেনে রেকের ওপর সবজি ভর্তি বয়েমগুলো রাখ। এবার সস্পেনটিতে (water bath) গরম পানি যোগ কর যেন মুখ বন্ধ বয়েমগুলোর ওপরে ১-২ ইঞ্চি খালি থাকে।

(৫) এরপর Water bath সস্পেনটিকে গ্যাস বার্নার দ্বারা ২০-২৫ মিনিট  $100^{\circ}\text{C}$ -এ উত্তপ্ত কর। এবার ওয়াটার বাথটিকে ঠাণ্ডা হতে দাও।

(৬) এরপর জার-লিফটার দ্বারা গরম বয়েম বা কৌটাগুলোকে Water bath থেকে বের করে নিয়ে রেকের ওপর রাখ এবং ঠাণ্ডা হতে দাও।

(৭) কাজ শেষ করে বয়েম বা কৌটাভর্তি খাদ্যবস্তু তোমাদের শিক্ষককে দেখাও।

## ৫.৬ সাসপেনশন ও কোয়াগুলেশন Suspension and Coagulation

তুমি বিভিন্ন কঠিন পদার্থকে যেমন  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ও বালির গুঁড়াকে মর্টারে ঘষে সূক্ষ্মতিসূক্ষ্ম গুঁড়া করে পৃথক পৃথক বিকারে নাও। প্রত্যেকটিতে সমপরিমাণে পানি যোগ করে ভালো করে নেড়ে টেবিলের ওপর রেখে দাও। কিছুক্ষণ অপেক্ষা করে ভালোভাবে লক্ষ্য করলে তুমি কী দেখতে পাবে?

রসায়নের ভাষায় আমরা এ সব মিশ্রণকে প্রধানত দু'শ্রেণিতে বিভক্ত করতে পারব। যেমন,

(ক) সমসত্ত্বীয় মিশ্রণ বা স্বচ্ছ মিশ্রণ বা দ্রবণ : যেমন  $\text{NaCl}$  এর পানিতে দ্রবণ।

(খ) অসমসত্ত্বীয় মিশ্রণ বা অস্বচ্ছ ঘোলাটে মিশ্রণ : বালি ও পানি এবং  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ও পানির মিশ্রণ।

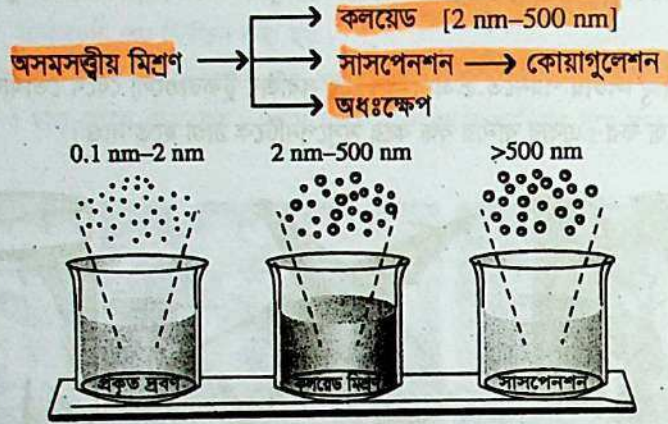
পানিতে সমসত্ত্বীয় মিশ্রণ বা দ্রবণ তৈরি হবে নাকি অসমসত্ত্বীয় অস্বচ্ছ মিশ্রণ তৈরি হবে তা নির্ভর করে দ্রব বা কঠিন পদার্থের ক্ষুদ্রতম সূক্ষ্ম কণার আকারের ওপর। স্বচ্ছ দ্রবণ তখনই তৈরি হবে যদি পানিতে মিশ্রিত অবস্থায় দ্রব বা কঠিন পদার্থটির সূক্ষ্ম কণা বা আয়নের আকারের ব্যাস  $0.1 \text{ nm}$  থেকে  $2 \text{ nm}$  ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) এর মধ্যে থাকে। দ্রবণে দ্রব অণু বা আয়নসমূহ দীর্ঘদিন দ্রবণে থাকে; পৃথক হয়ে তলায় জমে না।



৫৬০

রসায়ন—প্রথম পত্র

এবার অসমসত্ত্বীয় মিশ্রণের কথা জানব। অসমসত্ত্বীয় মিশ্রণকে নিম্নমতে শ্রেণিবদ্ধ করা যায়। যেমন—



চিত্র-৫.১৭ : বিভিন্ন প্রকার মিশ্রণের কণা

সারণি-৫.২ : দ্রবণ, কলয়েড ও সাসপেনশন অবস্থায় তুলনামূলক বস্তু কণার আকার, ভৌত অবস্থা, কণার দৃশ্যমান মাধ্যম, মিশ্রণে স্থিতি, ব্রাউনীয় গতি ও আলোক ধর্ম ইত্যাদি উদাহরণসহ দেয়া হলো :

মিশ্রণের শ্রেণি	ভৌত অবস্থা	কণার ব্যাস	দৃশ্যমান মাধ্যম	ব্রাউনীয় গতি	আলোর বিচ্ছুরণ, টিভাল প্রভাব	মিশ্রণের স্থিতি	উদাহরণ
দ্রবণ :	সমসত্ত্ব, স্বচ্ছ মিশ্রণ	0.1 nm – 2 nm	অদৃশ্য	ব্রাউনীয় গতিহীন	আলো বিচ্ছুরিত হয় না, টিভাল প্রভাব নেই	দ্রবণ সুস্থিত মিশ্রণ	NaCl দ্রবণ, গ্লুকোজ দ্রবণ
কলয়েড :	অসমসত্ত্ব, অস্বচ্ছ মিশ্রণ	2 nm – 500 nm	আলট্রা মাইক্রোস্কোপ	ব্রাউনীয় গতি আছে	আলোক রশ্মির বিচ্ছুরণ ঘটে অর্থাৎ টিভাল প্রভাব দেখায়	কলয়েড সুস্থিত মিশ্রণ	দুধ, বাটার মিল্ক অব ম্যাগনেসিয়া
সাসপেনশন :	অসমসত্ত্ব, অস্বচ্ছ মিশ্রণ	> 500 nm	সাধারণ মাইক্রোস্কোপ দ্বারা বা খালি চোখে দেখা যায়	ব্রাউনীয় গতিহীন	কোনো কোনো ক্ষেত্রে আলোর বিচ্ছুরণ ঘটে, কিন্তু টিভাল প্রভাব নেই	সাসপেনশন অস্থায়ী, অধঃক্ষিপ্ত হয়ে পড়ে	রক্ত, কলেরা ভ্যাকসিন, পানিতে কাদার মিশ্রণ

(১) কলয়েড (Colloid) : 'কলয়েড'-এর উদাহরণ হলো দুধ বা মিল্ক। প্রকৃতপক্ষে দুধ হলো কলয়েড শ্রেণির একটি ইমালশন। কলয়েড হলো অসমসত্ত্বীয় মিশ্রণের একটি শ্রেণি; তবে কলয়েড অবস্থায় অদ্রবণীয় পদার্থের কণাসমূহ তরল পদার্থের মাধ্যমে প্রায় সর্বত্র সমভাবে বিরাজ করে। এক্ষেত্রে কঠিন পদার্থের সূক্ষ্মতম কণাগুলোর আকারের ব্যাস হয় 2 nm থেকে 500 nm এর মধ্যে থাকে। কলয়েড কণাগুলো হলো একক ম্যাক্রো অণু বা বৃহৎ পলিমার অণু যেমন প্রোটিন ও সংশ্লিষ্ট পলিমার অণু অথবা অনেক আয়ন বা অণুর গুচ্ছ অবস্থা। তাই কলয়েড মিশ্রণটি অস্বচ্ছ দেখায়। দীর্ঘদিন একই অবস্থায় থাকে, পৃথক হয় না। তবে কলয়েড মিশ্রণ প্রকৃতপক্ষে সমসত্ত্বীয় থাকে না; অসমসত্ত্বীয় অবস্থা হয়।

**কলয়েডের সংজ্ঞা :** যখন কোনো কঠিন, তরল অথবা গ্যাসীয় পদার্থের 2 nm – 500 nm আকারের সূক্ষ্ম কণাগুলো অপর কোনো তরল, গ্যাসীয় অথবা কঠিন পদার্থের মাধ্যমে বিস্তারিত হয়ে একটি অস্বচ্ছ, অসমসত্ত্ব কিন্তু স্থায়ী মিশ্রণ উৎপন্ন করে, তখন ঐ অস্বচ্ছ, অসমসত্ত্ব স্থায়ী মিশ্রণটিকে কলয়েড বলে। যেমন দুধ, জিলেটিন, গাম ইত্যাদি।

**কলয়েডের দশা বা ফেজ (phase) :** প্রতিটি কলয়েডে দুটি অংশ বা, দশা বা, মাধ্যম থাকে; প্রথমটি পরিমাণে বেশি থাকে, একে বিস্তারণ মাধ্যম (বা dispersion medium) বলে এবং দ্বিতীয়টি পরিমাণে কম, একে বিস্তারিত বস্তু কণা (বা dispersed phase or substance) বলে। যেমন,



দুধের বেলায়- বিস্তারিত বস্তুকণা হলো- চর্বি ও প্রোটিন; বিস্তারণ মাধ্যম হলো- পানি।

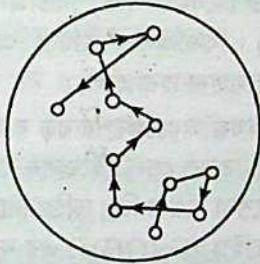
বাটারের বেলায়- বিস্তারিত বস্তুকণা হলো- পানির শুষ্ক অণু; বিস্তারণ মাধ্যম হলো চর্বিডেলা।

মিল্ক অব ম্যাগনেসিয়া  $[Mg(OH)_2 + \text{পানি}]$ -এর বেলায়- বিস্তারিত বস্তুকণা হলো কঠিন  $Mg(OH)_2$ -এর কণা, বিস্তারণ মাধ্যম হলো পানি।

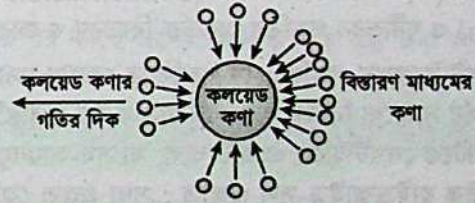
মিল্ক অব লাইম  $[Ca(OH)_2 + \text{পানি}]$  এর বেলায় বিস্তারিত কণা হলো  $Ca(OH)_2$ , বিস্তারণ মাধ্যম হলো পানি।

কলয়েডের বিশেষ ধর্ম : কলয়েডের ভৌত ধর্মের মধ্যে (১) ব্রাউনীয় গতি (Brownian motion) ও (২) টিভাল প্রভাব (Tyndall effect) বিশেষ গুরুত্ববহ।

(১) ব্রাউনীয় গতি : কোনো কলয়েড মিশ্রণে কলয়েড কণাগুলো বিস্তারণ মাধ্যমের অণুসমূহের ধাক্কা খেয়ে অবিরাম ও বিক্ষিপ্তভাবে গতিশীল থাকে। কলয়েড কণার এরূপ নিজস্ব গতিশীল ধর্মকে আবিষ্কারক (Robert Brown) এর নামানুসারে ব্রাউনীয় গতি বলে। ব্রাউনীয় গতির কারণ হলো- কলয়েড কণার ওপর বিস্তারণ মাধ্যমের অণুগুলোর চারদিক থেকে অসম সংঘর্ষজনিত সমষ্টিগত বলের গতিসমূহের ফল। যে দিক থেকে বেশি ধাক্কা আসে, তার বিপরীত দিকে কলয়েড কণাটি গতিশীল হয় [চিত্র-৫.১৮(খ)]। আবার এ গতিপথে বিস্তারণ মাধ্যমের অন্য অণুর সাথে সংঘর্ষের ফলে কলয়েড কণার গতিপথ পরিবর্তিত হয়। এরূপে কলয়েড কণা অবিরাম বিভিন্ন দিকে আঁকাবাঁকা পথে গতিশীল থাকে [চিত্র-৫.১৮(ক)]। কলয়েড কণার আকার যত ছোট হয় এর গতি তত বেশি হয় এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে কলয়েড কণার ব্রাউনীয় গতি বৃদ্ধি পায়।



চিত্র-৫.১৮(ক) : ব্রাউনীয় গতি।



চিত্র-৫.১৮(খ) : ব্রাউনীয় গতি সৃষ্টিতে কলয়েড কণার ওপর বিস্তারণ মাধ্যমের অণুসমূহের অসম সংঘর্ষ।

ব্রাউনীয় গতির তাৎপর্য : (১) কলয়েড কণাগুলোর ব্রাউনীয় গতির ফলে অভিকর্ষজ বলের প্রভাবে কলয়েড কণা অধঃক্ষিপ্ত হয় না। সুতরাং কলয়েড অবস্থার স্থায়িত্ব প্রদানে ব্রাউনীয় গতির ভূমিকা আছে। (২) ব্রাউনীয় গতি গ্যাসের গতিতত্ত্বের গ্যাস অণুসমূহের বিরামহীন বিশৃঙ্খল গতির সর্বোৎকৃষ্ট প্রমাণ।

(২) টিভাল প্রভাব : কলয়েড কণার আকার (2 nm – 500 nm) পানিতে দ্রবণীয় অন্যসব কণার আকার (0.1 nm – 2 nm) অপেক্ষা বড় হওয়ায় কলয়েড কণাসমূহ দৃশ্যমান আলো বিচ্ছুরণ করতে পারে। কলয়েড কণাসমূহ দ্বারা দৃশ্যমান আলোর বিচ্ছুরণ ধর্মকে আবিষ্কারক বিজ্ঞানী টিভালের নামানুসারে টিভাল প্রভাব (Tyndall effect) বলে।

টিভাল-প্রভাবের ব্যাখ্যা : কোনো বস্তু কণার আকার আপতিত আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের (380 nm – 780 nm এর) অর্ধেক অপেক্ষা বড় হলে তখন ঐ বস্তু কণা ঐ আলোক রশ্মিকে বিচ্ছুরিত করতে পারে; এর ছোট হলে পারে না। অধিকাংশ কলয়েডের কণাগুলোর আকার দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চেয়ে ছোট হওয়ায় ঐ সব কলয়েড কণা সাধারণ মাইক্রোস্কোপে সরাসরি দেখা যায় না; আলট্রা মাইক্রোস্কোপে দেখা যায়।

অপরদিকে স্বচ্ছ কাচের বিকারে নেয়া কলয়েডের ওপর বিকারের পার্শ্ব থেকে উজ্জ্বল আলো উত্তল লেন্সের মাধ্যমে কলয়েড কণার ওপর আপতিত হলে তখন কলয়েড কণাগুলো প্রথমে ঐ আপতিত আলোক রশ্মিকে অধিশোষণ করে। পরে ঐ অধিশোষিত দৃশ্যমান আলো (380 nm – 780 nm) থেকে ক্ষুদ্রতর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলো বিচ্ছুরিত হয়। তখন সাধারণ মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে কলয়েড মিশ্রণকে ওপর থেকে দেখলে কলয়েড কণাগুলো থেকে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র উজ্জ্বল আলোক বিন্দু দেখা যায়। এটিকে টিভাল প্রভাব বলে। প্রকৃতিতে টিভাল প্রভাবে ওপরের আকাশ আসমানি ( $\lambda = 451 \text{ nm} - 500 \text{ nm}$  এর আলোর বিচ্ছুরণ) এবং গভীর সমুদ্রের জলরাশি নীল বর্ণ দেখায় ( $\lambda = 424 \text{ nm} - 450 \text{ nm}$  এর আলোর বিচ্ছুরণ)।



**টিভাল-প্রভাবের ব্যবহার :** (১) স্পর্শ পদ্ধতিতে  $H_2SO_4$  উৎপাদনে ব্যবহৃত  $SO_2$  এবং  $O_2$  গ্যাস মিশ্রণে ধূলিকণার উপস্থিতি (যা পদ্ধতিতে ব্যবহৃত মূল্যবান প্রভাবক  $V_2O_5$  অথবা Pt এর প্রভাবন ক্ষমতা নষ্ট করে) শনাক্ত করার জন্য টিভাল-প্রভাব ব্যবহৃত হয়। (২) টিভাল-প্রভাব দ্বারা একই বর্ণের একটি কলয়েড মিশ্রণ ও একটি প্রকৃত দ্রবণের মধ্যে পার্থক্য করা যায়। (৩) টিভাল-প্রভাবের ওপর ভিত্তি করে সর্বপ্রথম বিজ্ঞানী জিগমন্ডি (Zsigmondy) আলট্রা মাইক্রোস্কোপ আবিষ্কার করেন।

(৩) কলয়েডের বর্ণ : কলয়েডের বর্ণ নির্ভর করে কলয়েড কণা দ্বারা বিচ্ছুরিত দৃশ্যমান আলোর বিশেষ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ওপর। আবার বিচ্ছুরিত আলোর বিশেষ তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ভর করে কলয়েড কণার আকারের ওপর। কোনো কণা দ্বারা শোষিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য ঐ কণার ব্যাসার্ধের সমানুপাতিক। তাই বড় কণা দীর্ঘ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এবং ছোট কণা ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দৃশ্যমান আলো শোষণ করে। এর ফলে বড় কণা দ্বারা বিচ্ছুরিত দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য ছোট এবং ক্ষুদ্র কণা দ্বারা বিচ্ছুরিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য দীর্ঘ হয়। যেহেতু কলয়েড কণার ব্যাস 2 nm–500 nm এর মধ্যে পরিবর্তিত হয়; তাই কলয়েড কণার আকারের ওপর নির্ভর করে বিচ্ছুরিত দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যও পরিবর্তিত হয়। যেমন,

(১) বড় কলয়েড কণার সিলভার-সল বেগুনি বর্ণের এবং ছোট কণার সিলভার-সল হলুদাভ-কমলা বর্ণের দেখায়।

(২) বড় কলয়েড কণার গোল্ড-সল নীল বর্ণের এবং ছোট কণার গোল্ড-সল লাল বর্ণের হয়।

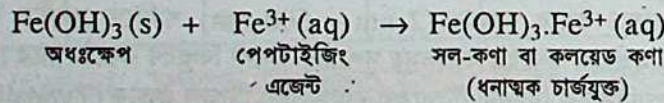
কলয়েড প্রস্তুত প্রণালি : দ্রাবক-আকর্ষী কলয়েড যেমন জিলেটিন, গাম প্রভৃতিকে গরম পানিতে ঝাঁকিয়ে সহজে প্রস্তুত করা যায়।

দ্রাবক-বিকর্ষী কলয়েড (সল) প্রস্তুতির পদ্ধতিগুলো দু'ভাগে বিভক্ত। যেমন- (ক) বিভাজন পদ্ধতি (dispersion method) ও (খ) ঘনীভবন পদ্ধতি (condensation method)। বিভাজন পদ্ধতির অন্তর্ভুক্ত পেপটাইজেশন (peptisation) ও ঘনীভবন পদ্ধতির অন্তর্ভুক্ত বিজারণ ও জারণ পদ্ধতি আলোচনা করা হলো :

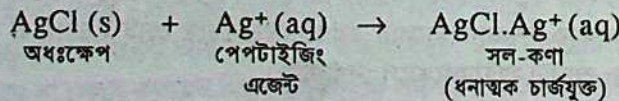
(১) পেপটাইজেশন পদ্ধতি : যে পদ্ধতিতে কোনো সদ্য প্রস্তুত জমাটবদ্ধ অধঃক্ষেপের বড় কণাগুলোকে কোনো তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের সাহায্যে বিচ্ছিন্ন করে কলয়েড কণায় রূপান্তরিত করা হয়, তাকে পেপটাইজেশন বলে। এ প্রক্রিয়ায় ব্যবহৃত তড়িৎ-বিশ্লেষ্যটিকে পেপটাইজিং এজেন্ট বলে; যা সম-আয়নযুক্ত তড়িৎ-বিশ্লেষ্য অথবা ভিন্ন তড়িৎ বিশ্লেষ্য হতে পারে। যেমন-

(i) ফেরিক হাইড্রক্সাইড-সল প্রস্তুতি : সদ্য প্রস্তুত ফেরিক হাইড্রক্সাইড  $[Fe(OH)_3]$  এর বাদামি অধঃক্ষেপকে পানি দিয়ে ধুয়ে নিয়ে পরিমাণমতো পানি ও অল্প  $FeCl_3$  দ্রবণ মিশিয়ে ঝাঁকালে বাদামি বর্ণের 'ফেরিক হাইড্রক্সাইড-সল' বা কলয়েডের অস্বচ্ছ মিশ্রণ উৎপন্ন হয়।

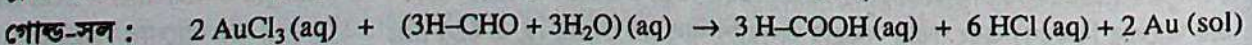
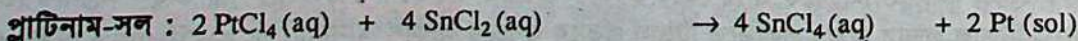
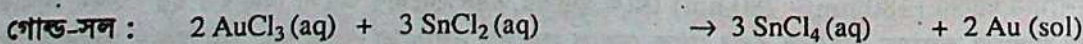
মেকানিজম : এক্ষেত্রে  $Fe(OH)_3$  এর অধঃক্ষিপ্ত বড় কণাগুলো মিশ্রণের 'সম-আয়ন' যেমন  $Fe^{3+}$  আয়নকে অধিশোষণ (বা পৃষ্ঠতলে শোষণ) করে ধনাত্মক-চার্জযুক্ত যেমন  $[Fe(OH)_3.Fe^{3+}]$  আয়নে পরিণত হয়। পরে চার্জযুক্ত কণাগুলোর মধ্যে বিকর্ষণের কারণে পরস্পর থেকে বিচ্ছিন্ন হয়ে ক্ষুদ্রতর কলয়েড কণায় রূপান্তরিত হয়।



(ii) সিলভার ক্লোরাইড-সল প্রস্তুতি :  $AgCl$  এর অধঃক্ষেপের মধ্যে  $AgNO_3$  দ্রবণ যোগ করে ঝাঁকালে  $AgCl$ -সল উৎপন্ন হয়। সল-কণাগুলো ধনাত্মক চার্জযুক্ত হয়।



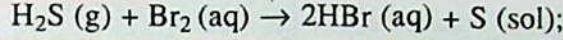
(২) বিজারণ পদ্ধতি : রাসায়নিক বিজারণ পদ্ধতিতে গোল্ড-সল ও প্লাটিনাম-সল নিম্নরূপে প্রস্তুত করা হয়। এ সব ধাতুর লবণের জলীয় দ্রবণকে বিভিন্ন বিজারক যেমন স্ট্যানাস ক্লোরাইড ও ফরম্যালডিহাইড দ্বারা বিজারিত করা হয়।





এক্ষেত্রে বিক্রিয়ায় উৎপন্ন HCl কলয়েড গোল্ড-সলের স্থায়িত্ব নষ্ট করে দেয়। তাই AuCl<sub>3</sub> দ্রবণের সাথে অল্প K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> দ্রবণ যোগ করে HCl কে প্রশমিত করা হয়।

(৩) জারণ পদ্ধতি : জারণ পদ্ধতিতে অধাতব মৌলের কলয়েড-সল প্রস্তুত করা হয়। যেমন H<sub>2</sub>S গ্যাসকে ব্রোমিন পানিতে অথবা লঘু HNO<sub>3</sub> এর দ্রবণে চালনা করলে সালফার-সল উৎপন্ন হয়।



\*\* এসব 'সল' শ্রেণির বিস্তারণ মাধ্যম পানি হওয়ায় এরা 'হাইড্রোসল' হয়।

\*\* ধাতব হাইড্রক্সাইড 'সল' হলো ধনাত্মক চার্জযুক্ত [Fe(OH)<sub>3</sub>, Al(OH)<sub>3</sub>, Ca(OH)<sub>2</sub>]

\*\* ধাতুর 'সল' হলো ঋণাত্মক চার্জযুক্ত [যেমন গোল্ড-সল, প্লাটিনাম-সল, সিলভার-সল]

\*\* ধাতব সালফাইড 'সল' হলো ঋণাত্মক চার্জযুক্ত [যেমন Ag<sub>2</sub>S<sub>3</sub> সল, Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub> সল, CdS সল]

কলয়েডের সুস্থিতি বা স্থায়িত্বের কারণ : কলয়েডের সুস্থিতি বা স্থায়িত্ব কলয়েডের প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে। প্রকৃতিগতভাবে কলয়েড (i) দ্রাবক-আকর্ষী ও (ii) দ্রাবক-বিকর্ষী; এ দু'শ্রেণিতে বিভক্ত। দ্রাবক-আকর্ষী কলয়েড যেমন স্টার্চের-সল, গাম, জিলেটিন প্রভৃতিকে গরম পানিতে ঝাঁকিয়ে সহজে প্রস্তুত করা যায়। এরা অধিকতর স্থায়ী কলয়েড। অপরদিকে দ্রাবক-বিকর্ষী কলয়েড যেমন বিভিন্ন সল-শ্রেণির কলয়েড, ফেরিক হাইড্রক্সাইড-সল, গোল্ড-সল, প্লাটিনাম-সল, সালফার-সল প্রভৃতি হলো কম স্থায়ী কলয়েড।

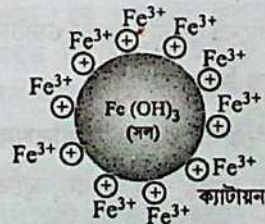
কলয়েডের স্থায়িত্ব নষ্ট হয় যখন কলয়েড কণাগুলো পরস্পর কাছে এসে জোটবদ্ধ হয়ে বড় কণা সৃষ্টি করে। বড় কণাগুলোর ভর বেশি হওয়ায় এদের ব্রাউনীয় গতি লোপ পায়। তখন অভিকর্ষজ বলের প্রভাবে অধঃক্ষিপ্ত হয় বা থিতিয়ে পড়ে।

\* দ্রাবক-বিকর্ষী কলয়েডের স্থায়িত্বের কারণ হলো ২টি; যেমন— (i) কলয়েড কণার ব্রাউনীয় গতি ও (ii) কলয়েড কণাসমূহে একই চার্জের উপস্থিতি।

\* দ্রাবক-আকর্ষী কলয়েডের স্থায়িত্বের কারণ হলো ৩টি; যেমন— (i) কলয়েড কণার ব্রাউনীয় গতি, (ii) কলয়েড কণার একই চার্জের উপস্থিতি ও (iii) কলয়েড কণাসমূহের দ্রাবকায়ন।

(১) ব্রাউনীয় গতি : কলয়েড কণাসমূহের ব্রাউনীয় গতির ফলে কণাগুলোর কাছাকাছি আসার সম্ভাবনা কমে যায়। তখন কণাগুলো পরস্পরের সাথে জোটবদ্ধ হতে পারে না এবং অভিকর্ষজ বলের প্রভাবমুক্ত থাকে। তাই ব্রাউনীয় গতি কলয়েডের স্থায়িত্ব বা সুস্থিতির অন্যতম কারণ।

(২) কলয়েড কণাসমূহে একই চার্জের উপস্থিতি : দ্রাবক-বিকর্ষী কলয়েডগুলো ধনাত্মক অথবা ঋণাত্মক যেকোনো একপ্রকার চার্জযুক্ত হয়। ফলে কণাগুলোর মধ্যে বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করে। তাই কলয়েড কণাগুলো একত্রিত হতে পারে না। এরূপে কলয়েডের চার্জ কলয়েডের স্থায়িত্বের জন্য মুখ্য ভূমিকা পালন করে।



চিত্র-৫.১৯(ক) : ধনাত্মক চার্জযুক্ত কলয়েড কণা।



চিত্র-৫.১৯(খ) : ঋণাত্মক চার্জযুক্ত কলয়েড কণা।

উল্লেখ্য জলীয় দ্রবণে সাবানের অ্যানায়ন (C<sub>15</sub>H<sub>31</sub>COO<sup>-</sup>) গুলোর হাইড্রোকার্বন অংশ (C<sub>15</sub>H<sub>31</sub>)<sup>-</sup> ভ্যানডার ওয়ালস আকর্ষণ বল যেমন লন্ডন বল বা বিস্তারণ বল দ্বারা জোটবদ্ধ অবস্থায় গোলকাকার অ্যানায়নরূপে কলয়েড কণার আকার ধারণ করে। এদেরকে মিসেল (micelle) বলে। মিসেল হাইড্রোসল গঠন করে। এরূপে গঠিত সুস্থিত মিসেল কণা কাপড়ের তৈলযুক্ত ময়লাকে পরিষ্কার করতে ভূমিকা রাখে।



(৩) কলয়েড কণার দ্রাবকায়ন : দ্রাবক-আকর্ষী কলয়েড কণার সাথে দ্রাবক অণুসমূহ ভ্যানডার ওয়ালস আকর্ষণ বল দ্বারা জোটবদ্ধ অবস্থায় থাকে; একে কলয়েড কণার দ্রাবকায়ন বা দ্রাবক-সংযোজন ঘটে। ফলে কলয়েড কণার চারদিকে দ্রাবক-অণুর একটি খোলস বা স্পায়ার (sphere) সৃষ্টি হয়; যা কণাগুলোকে জোটবদ্ধ হতে বাধা দেয়। দ্রাবক-সংযোজনের মাধ্যমে অধিক স্থায়িত্ব লাভের ফলে দ্রাবক-আকর্ষী কলয়েডসমূহ দ্রাবক-বিকর্ষী কলয়েড অপেক্ষা অধিকতর স্থায়ী বা সুস্থিত হয়।

কলয়েডের শ্রেণিবিভাগ : বিস্তারিত বস্তুকণা ও বিস্তারণ মাধ্যমের ভৌত অবস্থা (গ্যাস, তরল অথবা কঠিন) এর ওপর ভিত্তি করে বিভিন্ন শ্রেণি বা টাইপের কলয়েড আছে। বিভিন্ন শ্রেণির কলয়েড সারণি-৫.৩ এ দেখানো হলো।

সারণি-৫.৩ : বিভিন্ন শ্রেণির কলয়েড :

কলয়েড শ্রেণি	বিস্তারিত বস্তুকণা	বিস্তারণ মাধ্যম	উদাহরণ
১। এরোসল (aerosol)	কঠিন তরল	গ্যাস গ্যাস	ধোঁয়া (smoke), বায়ুতে ভাসমান ধুলো কুয়াশা (fog), মেঘ
২। ফোম (foam)	গ্যাস	তরল	পাকানো ক্রিম (Whipped cream) সাবানের ফেনা
৩। জেল (Jel)	তরল	কঠিন	জেলি, পনির, দই ও জুতোর কালি
৪। ইমালশন (emulsion)	তরল তরল	তরল কঠিন	দুধ, শ্যাম্পু, ক্রিম, বাটার (butter).
৫। সল (sol)	কঠিন	তরল	পেইন্ট, মিল্ক অব ম্যাগনেসিয়া [Mg (OH) <sub>2</sub> + পানি] কোষ-তরল (Cell-fluid)

বিভিন্ন শ্রেণির কলয়েডের নাম মনে রাখার সহজ পদ্ধতিগত তালিকা নিম্নরূপ :

\* 'গ্যাস' বিস্তারণ মাধ্যম হলে, তখন কলয়েডটির নাম 'এরোসল' (aerosol) হবে।

এরোসল দুই প্রকার : (১) কঠিন + গ্যাস → কঠিন এরোসল। যেমন, ধোঁয়া, বায়ুতে ভাসমান ধুলো।

(২) তরল + গ্যাস → তরল এরোসল। যেমন, কুয়াশা, মেঘ।

\* 'গ্যাস' বিস্তারিত বস্তুকণা হলে, তখন কলয়েডটির নাম 'ফোম' (foam) হবে।

ফোম দুই প্রকার : (১) গ্যাস + কঠিন → কঠিন ফোম। কেক, ঝামা পাথর (বায়ু সিলিকেটের মধ্যে)

(২) গ্যাস + তরল → ফোম (তরল)। সাবানের ফেনা, সোডা ওয়াটার (CO<sub>2</sub> + পানি)

\* গ্যাস + গ্যাস → কলয়েড হয় না; সমসত্ত্ব মিশ্রণ হয়।

\* 'তরল' বিস্তারিত বস্তু কণা হলে, তখন কলয়েডটির নাম 'জেল' অথবা 'ইমালশন' হবে। যেমন—

(১) তরল + কঠিন → জেল (Jel)। জেলি, পনির, দই, মাখন, জুতোর কালি।

(২) তরল + তরল → ইমালশন (emulsion)। দুধ, শ্যাম্পু, ক্রিম, পানিতে তেল।

\* 'কঠিন' বিস্তারিত বস্তু কণা হলে, তখন কলয়েডটির নাম 'সল' (sol) হবে।

'সল' দুই প্রকার : (১) কঠিন + কঠিন → কঠিন সল। সংকর ধাতু, জেম পাথর (gem stone), রঙিন কাচ।

(২) কঠিন + তরল → সল (তরল)। গোল্ড সল, রং, মিল্ক অব ম্যাগনেসিয়া,

দেহকোষ তরল, ঘোলা পানি।



(২) সাসপেনশন (Suspension) : সাসপেনশন হলো অসমসত্ত্বীয় মিশ্রণের দ্বিতীয় শ্রেণিগত উদাহরণ। যে অবস্থায় তরলের মাধ্যমে সর্বত্র বিরাজমান সূক্ষ্মতম কণাগুলোর আকারের ব্যাস কলয়েডের কণাগুলোর চেয়ে বড় অর্থাৎ 500 nm এর চেয়ে বড় হয়, তাকে সাসপেনশন বলে।

বৈশিষ্ট্য : দীর্ঘদিন রেখে দিলে 'সাসপেনশনের' কঠিন বস্তুর কণাগুলো ধীরে ধীরে তলায় পৃথক হয়ে জমতে থাকে। সাসপেনশনের উদাহরণ হলো রক্ত। রক্তকে কাচনলে রেখে দিলে রক্তের সিরাম তরলের মধ্য থেকে WBC, RBC কণাগুলো নিচে জমতে থাকে। ডাক্তারি পরীক্ষায় রক্তের SR (Sedimentation rate) পরীক্ষা করে দেখা হয়। মাইক্রোস্কোপ দিয়ে এ সব কণাগুলো দেখা যায়। অপর কথায় তুমি বলতে পার, 'সাসপেনশন' হলো কলয়েডের একটি অস্থায়ী অবস্থা।

\* কলয়েড ও সাসপেনশনের মধ্যে মূল পার্থক্য হলো- কণার ব্যাসার্ধ ও পাত্রের তলায় জমা পড়বে বা অধঃক্ষেপ সৃষ্টি করবে কিনা। কলয়েড কণার ব্যাস (2 nm – 500 nm) থেকে সাসপেনশন কণার ব্যাস (> 500 nm) বা  $10^{-5}$  cm থেকে অনেক বড় হয়।

সারণি-৫.২ এ কলয়েড ও সাসপেনশনের পার্থক্যসমূহ দেখানো হয়েছে।

\*\* সাসপেনশনের তাৎপর্য ও ভূমিকা :

(১) কলয়েড মিশ্রণ সুস্থিত থাকে, কিন্তু সাসপেনশন অস্থায়ী হওয়ায় কণাগুলো ধীরে ধীরে অধঃক্ষিপ্ত হতে থাকে।

সাসপেনশনের কণার আকার  $10^{-5}$  cm থেকে বড় হয়।

সাসপেনশনের কণার আকার  $10^{-3}$  cm ও এর বড় হলে তখন এদেরকে খালি চোখে যায়; এ সব কণা ফিল্টার পেপার দিয়ে যেতে পারে না।

(২) ওষুধ শিল্পে সাসপেনশনের গুরুত্ব সর্বাধিক। যেমন,

(i) সাসপেনশন অবস্থায় ওষুধের কার্যকারিতা বজায় থাকে। যেমন অক্সি-ট্রেট্রোসাইক্লিন সাসপেনশন।

(ii) সাসপেনশন অবস্থায় ওষুধের তিক্ত গুণ দূর করা যায়। যেমন ক্লোরামপেনিকল পালমিটেট সাসপেনশন।

(iii) স্থানিক প্রয়োগের জন্য ওষুধ তৈরি করা হয়। যেমন ক্যালামিন লোশন।

(iv) কলেরা ভ্যাকসিন হলো একটি সাসপেনশন।

(v) অন্ত্রের (intestine-এর) ইমেজিং কাজে ব্যবহৃত  $BaSO_4$  মিশ্রণ হলো একটি সাসপেনশন।

(৩) কোয়াগুলেশন (Coagulation) : কোয়াগুলেশন হলো একটি রাসায়নিক অথবা যান্ত্রিক প্রক্রিয়া, যাতে কলয়েডের বিস্তারণ মাধ্যমে বিস্তারিত অবস্থায় থাকা কণাগুলো বা কলয়েড কণাগুলো পিণ্ডীভূত হয়ে মাধ্যমের তলদেশে অথবা ওপরে ভেসে ওঠে। যেমন দুধে এসিড যোগ করলে কলয়েড কণাগুলো (চর্বি ও প্রোটিন) গুচ্ছবদ্ধ হয়ে দই তৈরি করে। এতে দুধের প্রোটিন অণুগুলোর মধ্যস্থ আন্তঃকণা বল  $H^+$  আয়নের প্রভাবে বিনষ্ট হয়ে পড়ে। তখন প্রোটিন অণুগুলো পরস্পরের নিকটে এসে পিণ্ডীভূত হয় এবং বিস্তারণ মাধ্যমে ভেসে ওঠে।

কোয়াগুলেশনের সংজ্ঞা : যে বল দ্বারা কলয়েড সিস্টেমের বিস্তারণ মাধ্যমে বিস্তারিত বস্তু কণা সুস্থিত থাকে, সে বলকে বিনষ্ট করে কলয়েড সিস্টেমকে অস্থিত করার মাধ্যমে কলয়েড কণাগুলোকে গুচ্ছ আকারে পৃথক করার প্রক্রিয়াকে কোয়াগুলেশন বলে। যে রাসায়নিক পদার্থের প্রভাবে কলয়েড মধ্যস্থ বল নষ্ট হয়, তাকে কোয়াগুলেন্ট (coagulant) বলে। যেমন, 'ক্যাটায়নিক কোয়াগুলেন্ট' ধনাত্মক বিদ্যুৎ চার্জ যোগান দিয়ে কলয়েড কণাগুলোর সুস্থিত ঋণাত্মক চার্জ (জিটা পটেনশিয়াল) কে হ্রাস করে দেয়। ফলে কলয়েডের কণাগুলো আকৃষ্ট হয়ে গুচ্ছ অণু তৈরি করে পিণ্ডে পরিণত হয়। এ প্রক্রিয়া দুধে ঘটে দই তৈরি করে।

কোয়াগুলেশন প্রক্রিয়ার ব্যাখ্যা হলো- (১) কলয়েড কণাগুলো সূক্ষ্ম অবস্থার কারণে বিস্তারণ মাধ্যমে আন্তঃকণা বল যেমন আয়ন-ডাইপোল বল দ্বারা সুস্থিত থাকে। সলজাতীয় ধাতব অথবা অধাতব ধনাত্মক অথবা ঋণাত্মক চার্জযুক্ত কলয়েড কণাগুলো পরস্পর বিকর্ষণ করে নির্দিষ্ট ব্যবধানে থাকে। (২) কিন্তু তড়িৎ বিশ্লেষ্যের সংস্পর্শে বিপরীত চার্জযুক্ত আয়ন কলয়েড কণাগুলোর চার্জ হ্রাস করে দেয়। তখন কলয়েড কণাগুলোর মধ্যস্থ বিকর্ষণ বল সুস্থিত থাকে না, কণাগুলো জমাট বাঁধে, আকারে বড় হয়। তখন কোয়াগুলেশন ঘটে।



৫৬৬

রসায়ন—প্রথম পত্র

বিজ্ঞানী হার্ডি (Hardy), শুল্জে (Schulze) বিভিন্ন শ্রেণির কলয়েডকে বিভিন্ন তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্বারা কোয়াগুলেশন করেন। তাঁদের পরীক্ষার ফলাফল হার্ডি-শুল্জে নিয়ম (Hardy-Schulze rule) নামে পরিচিত। হার্ডি-শুল্জে নিয়ম মতে কোয়াগুলেন্টের নিম্নোক্ত বৈশিষ্ট্য রয়েছে:

(১) কলয়েড কণার বিপরীত চার্জযুক্ত ক্যাটায়ন অথবা অ্যানায়ন কোয়াগুলেন্টরূপে কাজ করে।

(২) কোয়াগুলেন্টের কোয়াগুলেশন ক্ষমতা আয়নের চার্জ সংখ্যার সমানুপাতিক অর্থাৎ কোয়াগুলেন্ট আয়নের চার্জ সংখ্যা যতো বাড়ে এর কোয়াগুলেশন ক্ষমতাও ততো বাড়ে। যেমন ঋণাত্মক কলয়েড আয়নের কোয়াগুলেশনে ত্রিযোজী ক্যাটায়ন ( $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ) অধিক কার্যকর।

সাধারণ ব্যবহৃত কোয়াগুলেন্ট হলো ক্যাটায়ন হিসেবে: (১) হাইড্রোটেড অ্যালুমিনিয়াম আয়ন  $[Al(H_2O)_6]^{3+}$  রূপে  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $AlCl_3$ ; (২) ফেরিক আয়ন ( $Fe^{3+}$ ) রূপে  $FeCl_3$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$  ইত্যাদি।

অ্যানায়ন হিসেবে:  $Na_3PO_4$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $MgSO_4$  ইত্যাদি অধিক ব্যবহৃত হয়। কোয়াগুলেন্টের চার্জ সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে কোয়াগুলেশন ক্ষমতা বৃদ্ধি পাওয়ায় এদের ব্যবহৃত মোল সংখ্যা হ্রাস পায়। যেমন,

(১) ঋণাত্মক চার্জের আর্সেনিক সালফাইড ( $As_2S_3$ ) কলয়েডকে কোয়াগুলেশনে ব্যবহৃত ক্যাটায়নের কোয়াগুলেশন ক্ষমতা হলো  $Al^{3+} > Ba^{2+} > Na^+$ ।

ব্যবহৃত তড়িৎ বিশ্লেষ্য :	NaCl	BaCl <sub>2</sub>	AlCl <sub>3</sub>
সক্রিয় কোয়াগুলেন্ট :	Na <sup>+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>
কার্যকর মোল সংখ্যা (m mol) :	52	0.69	0.093

(২) ধনাত্মক চার্জের ফেরিক হাইড্রক্সাইড,  $Fe(OH)_3$  কলয়েডকে কোয়াগুলেশনে ব্যবহৃত অ্যানায়নের কোয়াগুলেশন ক্ষমতা হলো  $[Fe(CN)_6]^{3-} > Cr_2O_7^{2-} > SO_4^{2-} > C_2O_4^{2-} > Br^-$

ব্যবহৃত তড়িৎ বিশ্লেষ্য :	KBr	K <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	K <sub>3</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]
সক্রিয় কোয়াগুলেন্ট :	Br <sup>-</sup>	C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup>	[Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup>
কার্যকর মোল সংখ্যা (m mol) :	138	0.238	0.210	0.190	0.096

রাসায়নিক শিল্পের ক্ষতিকর তরল বর্জ্য থাকে— (i) দ্রবীভূত অবস্থায় বিভিন্ন জৈব ও অজৈব পদার্থ, (ii) কলয়েডরূপে থাকে রাসায়নিক যৌগ ও আয়ন এবং (iii) সাসপেনশনে থাকে বিভিন্ন পদার্থের অপেক্ষাকৃত বড় কণাগুলো।

কম্বাইন্ড ইফ্লুয়েন্ট ট্রিটমেন্ট প্ল্যান্টে (CETP) সাসপেনশনে থাকা বড় কণাগুলোকে অধঃক্ষিপ্ত করা হয়; কলয়েড কণাগুলোকে কোয়াগুলেন্ট দ্বারা কোয়াগুলেশন করে পৃথক করা হয়। এক্ষেত্রে ব্যবহৃত কোয়াগুলেন্টের নিম্নোক্ত তিনটি বৈশিষ্ট্য থাকে:

(১) ঋণাত্মক কলয়েড আয়নের কোয়াগুলেশনের জন্য ত্রিযোজী ক্যাটায়ন ( $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ) অত্যন্ত কার্যকর কোয়াগুলেন্টরূপে ক্রিয়া করে।

(২) ন্যূনতম মোল অনুপাতে কোয়াগুলেন্ট ব্যবহৃত হয়। এতে কোয়াগুলেশন শেষে দ্রবণে কোনো কোয়াগুলেন্ট আয়ন অবশিষ্ট থাকে না।

(৩) তরল বর্জ্য পরিশোধনের ক্ষেত্রে ব্যবহৃত কোয়াগুলেন্টের কোনো বিষ-ক্রিয়া থাকবে না।

শিক্ষার্থীর কাজ-৫.৬ : কলয়েড ও সাসপেনশনভিত্তিক :

প্রশ্ন-৫.১৬ : সংজ্ঞা ও ব্যাখ্যা কর : (ক) কলয়েড কী?

(খ) সাসপেনশন বলতে কী বোঝায়?

(গ) কোয়াগুলেশন বলতে কী বোঝায়?

[য. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-৫.১৭ : সাসপেনশন ও কলয়েডের মধ্যে পার্থক্য কী?

প্রশ্ন-৫.১৮ : সাসপেনশন ও কোয়াগুলেশনের মধ্যে পার্থক্য কী? প্রত্যেকটির দুটি করে প্রয়োগ উল্লেখ কর।



## ৫.৭ দুধের শতকরা সংযুক্তি

### Percentage Composition of Milk

প্রাকৃতিক খাদ্যদ্রব্যের মধ্যে দুধ অদ্বিতীয় ও অতুলনীয়। দুধ হলো স্তন্যপায়ী প্রাণীর মাতৃ প্রজাতির দুগ্ধ গ্রন্থি বা মাম্মারি গ্ল্যান্ড (mammary glands) থেকে নিঃসৃত সাদা বর্ণের তরল পদার্থ। পিটুইটারি (pituitary) গ্ল্যান্ড থেকে নিঃসরিত প্রোল্যাকটিন হরমোন রক্ত প্রবাহে মাম্মারি গ্ল্যান্ডে এসে দুগ্ধের নিঃসরণ ঘটায়। দুধে প্রাণিদেহের প্রয়োজনীয় সব প্রকার পুষ্টি উপাদান সুষমভাবে থাকে বলে, একে আদর্শ খাদ্য বলে। নবজাতক ও শিশুর দৈহিক প্রবৃদ্ধি এবং রোগ প্রতিরোধ ক্ষমতা গঠনের জন্য দুধ অপরিহার্য। এ কারণে শিশুর জন্য মায়ের দুধের অন্য কোনো বিকল্প নেই। বড় হলে সকলের জন্য গরুর দুধ আদর্শ খাদ্য।

দুধে রয়েছে চর্বি, প্রোটিন বা আমিষ, শর্করা ল্যাকটোজ, ভিটামিন, খনিজ পদার্থ ও পানি। গাভীর দুধের আপেক্ষিক গুরুত্ব হলো 1.029 – 1.039। দুধের আপেক্ষিক গুরুত্ব ল্যাকটোমিটারের সাহায্যে মাপা হয়। দুধের pH মান হলো 6.6 – 6.9। দুধকে সংরক্ষণের জন্য 10°C তাপমাত্রা ও ব্যাকটেরিয়ামুক্ত পরিবেশ দরকার। তাই ব্যাকটেরিয়ামুক্ত পাস্তুরিত দুধকে প্যাকেটজাত করে রেফ্রিজারেটরে সংরক্ষণ করা হয়। দুধের প্রধান উপাদান ও শতকরা সংযুক্তি নিম্নরূপ:

১। পানি : পানি হলো দুধের প্রধান উপাদান; প্রাণিভেদে দুধে পানির পরিমাণ 82 – 88% হয়।

২। চর্বি (Fat) : দুধের চর্বি হলো বিভিন্ন লিপিড মিশ্রণ, এতে ট্রাইগ্লিসারাইডসমূহ থাকে। এটি দেহে প্রধান শক্তি যোগানকারী উপাদান। দুধের বাণিজ্যিক মান এর চর্বি বা মাখনের ওপর নির্ভর করে। দুধের চর্বি সাধারণত মাখন, ঘি ও আইসক্রিমরূপে বাজারজাত করা হয়। দুধে প্রায় সমপরিমাণে সম্পৃক্ত ও অসম্পৃক্ত ফ্যাটি এসিড থেকে উৎপন্ন চর্বি থাকে। দুধের চর্বিতে অল্প পরিমাণে কোলস্টেরল ও ফসফোলিপিড থাকে। প্রাণিভেদে চর্বির পরিমাণ 3.5 – 7.4% হয়।

৩। প্রোটিন (Protein) : মায়ের দুধে 0.9% এবং পশুর দুধে 3.2 – 4.6% প্রোটিন থাকে। দুধে তিন শ্রেণির প্রোটিন থাকে। যেমন, (১) ক্যাজিন (casein), (২) ল্যাক্ট এলবুমিন (lact-albumin) ও (৩) ল্যাক্টো গ্লোবুলিন (lacto-globulin)। ল্যাক্ট এলবুমিন ও ল্যাক্টোগ্লোবুলিনকে সেরাম বা হোয়ে-প্রোটিন (whey protein or serum) বলে। দুধের মোট প্রোটিন (0.9 – 4.6%) এর মধ্যে 82% হলো ক্যাজিন এবং 18% হলো হোয়ে-প্রোটিন।

ক্যাজিন হলো দুধের প্রধান প্রোটিন উপাদান। গুটামিন ও এসপারাজিন অ্যামাইনো এসিড বাদে অন্য সব অ্যামাইনো এসিড ক্যাজিনে আছে। তাই তরুণ-তরুণীদের দেহ বৃদ্ধির জন্য প্রায় সব অপরিহার্য অ্যামাইনো এসিড সমৃদ্ধ দুধের প্রোটিন উৎকৃষ্ট প্রোটিন খাদ্যরূপে বিবেচিত হয়। গঠনগতভাবে ক্যাজিন হলো এক প্রকার ফসফোপ্রোটিন। আর্দ্রবিশ্লেষণের ফলে ক্যাজিন ফসফরিক এসিড ও অ্যামাইনো এসিডে বিভক্ত হয়। ক্যাজিন পানিতে অদ্রবণীয়; দুধে এসিড মিশালে ক্যাজিন অধঃক্ষেপরূপে পৃথক হয়ে পড়ে। আবার দুধের প্রধান প্রোটিন ক্যাজিন চার ধরনের হয়। যেমন, (১)  $\alpha S1$  ক্যাজিন, (২)  $\alpha S2$  ক্যাজিন, (৩)  $\beta$  ক্যাজিন ও (৪)  $K$  (kappa) ক্যাজিন।

৪। দুগ্ধচিনি বা ল্যাকটোজ (Lactose) : ল্যাকটোজ বা দুগ্ধচিনি দুধের একমাত্র ডাইস্যাকারাইড কার্বহাইড্রেট উপাদান। ল্যাকটোজ অণু সমসংখ্যক গ্লুকোজ ও গ্যালাকটোজ অণুর সমন্বয়ে গঠিত। ল্যাকটোজ দুধের অসমোল (osmole) রূপে কাজ করে; অর্থাৎ এটি মাম্মারি গ্ল্যান্ডে বা স্তনে পানিকে অসমসিস (osmosis) প্রক্রিয়ায় টেনে আনে। মায়ের দুধে 7.1% এবং প্রাণীর দুধে 4.6 – 4.8% ল্যাকটোজ থাকে।

৫। দুধের খনিজ উপাদান (Minerals) : অস্থি গঠনের জন্য অত্যন্ত সহায়ক  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  ও ফসফরাস অধিক পরিমাণে থাকে। দুধে খুব কম পরিমাণে লোহা ও কপার থাকে। এতে দুগ্ধপোষ্য শিশুর রক্তশূন্যতা রোগের আশঙ্কা থাকে, তাই শিশু-খাদ্যে অন্য কোনো উৎস থেকে লোহা ও কপার উপাদান থাকার ব্যবস্থা করা উচিত।

৬। ভিটামিন ও অন্যান্য উপাদান (Vitamines & others) : 'ভিটামিন-এ' দুধে বেশি থাকে। তবে ভিটামিন-ডি ও ভিটামিন-সি কম থাকে। দুধের পাস্তুরিকরণ ও ফুটানোর কারণে দুধে ভিটামিন-সি নষ্ট হয়। শ্বেতকণিকা (W.B.C বা লিউকোসাইট) থাকে।



সারণি-৫.৩ : বিভিন্ন প্রাণীর দুধের শতকরা সংযুক্তি (w/v%)

প্রাণী	পানি	চর্বি (fat)	প্রোটিন	ল্যাকটোজ	খনিজ উপাদান	ভিটামিন	খাদ্য ক্যালরি k.cal/100g
১। মানুষ : (Human)	87.1	4.5	0.9	7.1	0.2	A, D, B, C	72
২। গাভী : (Cow)	87.8	3.9	3.2	4.8	0.7	A, D, B, C	69-70
৩। ছাগল : (Goat)	87.0	4.2	3.3	4.8	0.7	A, D, B, C	73
৪। মহিষ : (Buffalo)	82.7	7.4	3.6	5.5	0.8	A, D, B, C	110
৫। ভেড়া : (Sheep)	82.0	7.2	4.6	4.8	0.9	A, D, B, C	105-109
৬। উট : (Camel)	87.6	5.3	3.0	3.3	0.8	A, D, B, C	76

জেনে রাখো : দুধের প্রধান খনিজ উপাদানসমূহ হলো :  $Ca^{2+}$ (0.12%),  $K^{+}$ (0.13%),  $Na^{+}$ (0.05%),  $Mg^{2+}$  (0.02%),  $P$ (0.09%),  $Cl^{-}$ (0.11%)। প্রতি গ্রাম চর্বি, প্রোটিন ও শর্করার খাদ্য মান যথাক্রমে 9 ক্যালরি, 4 ক্যালরি, 4 ক্যালরি। দেহের ক্যালরির চাহিদা = দেহের ওজন (কি. গ্রাম)  $\times$  30 ক্যালরি। খাদ্য গ্রহণের অনুমোদিত অনুপাত হলো- চর্বি : প্রোটিন : শর্করা = 1 g : 1.36 g : 5.4 g

**MCQ-5.7** : সাসপেনশনের বেলায় কণাগুলোর ব্যাস হতে হয় কোনটি?

(ক) 0.1 – 2.0 nm

(খ) 10 – 400 nm

(গ) 400 – 500 nm

(ঘ) 550 – 1000 nm

### ৫.৮ দুধ থেকে মাখন পৃথকীকরণ

#### Separation of Butter from Milk

তোমরা জেনেছ, গরুর দুধ হলো একটি কলয়েড। এতে 3.9% ফ্যাট বা চর্বি ও 3.2% প্রোটিন কণা থাকে। এ চর্বি বা ফ্যাটকে দুধ থেকে পৃথক করলে ক্রীম পাওয়া যায়। কাঁচা দুধের মধ্যস্থ সাসপেনশনে থাকা চর্বির ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণাসমূহের কোয়াগুলেশন বা জমাটবদ্ধকরণ প্রক্রিয়ায় ক্রীম তৈরি করা হয়। ক্রীমকে পরিশোধনে মাখন পাওয়া যায়। গরুর দুধকে মছন (churn) করে চর্বি পৃথক করা যায়। এজন্য পূর্বে হস্তচালিত ঘুটনি ব্যবহৃত হলেও বর্তমানে বিদ্যুৎ চালিত ক্রীম মেশিন ব্যবহৃত হয়। এ মেশিনে চর্বি পৃথকীকরণ দ্রুত হয়; ক্রীম ও মাখন উৎপাদন বৃদ্ধি পায়। দুধ থেকে মাখন তৈরি নিম্নোক্ত ধাপে করা হয়।

উপাদান : (১) গরুর স্বাভাবিক বা কাঁচা দুধ, (২) লবণ

প্রক্রিয়া : (১) **দুধের শীতলীকরণ বা রেফ্রিজারেশন** : কাঁচা দুধকে পরিষ্কার পাত্রে নিয়ে কমপক্ষে একদিন রেফ্রিজারেটরে রেখে ঠাণ্ডা করা হয়। তখন দুধের ওপর অংশে ক্রীম বা দুধের সর বা ছানা ভেসে ওঠে। হাতা বা dipper এর সাহায্যে ক্রীমগুলো আলাদা করে রাখা হয়।

(২) **দুধের মছন বা কোয়াগুলেশন** : এ দুধকে হস্তচালিত ক্রীম মেশিন চিত্র-৫.২০(ক) অথবা বিদ্যুৎ চালিত ক্রীম মেশিন চিত্র-৫.২০(খ) অথবা রেন্ডার মেশিন দ্বারা আলোড়িত করে সাসপেনশনে থাকা সমস্ত চর্বি কণাকে কোয়াগুলেশন বা জমাটবদ্ধকরণ প্রক্রিয়ার টেলায় রূপ দেয়া হয়। মেশিনের ধাক্কা খেয়ে কিছু টেলা নিচে মায় এবং অধিকাংশ টেলা পানির ওপরে ভাসমান অবস্থায় থাকে। ভাসমান টেলাগুলোকে হাতা দ্বারা আলাদা করে নেয়া হয়। জলীয় অংশ বা ঘোল পৃথক হয়ে বের হয়ে পড়ে। সমস্ত ক্রীমের টেলাগুলোকে একটি গামলায় নিয়ে গোলাকার টেলা তৈরি করে বার বার পানি দিয়ে ধুয়ে ফেলা হয়। এ প্রক্রিয়াটি হলো দুধের মছন।

দুধকে ক্রীম মেশিন দিয়ে সেন্ট্রিফিউগাল (centrifugal) বা কেন্দ্রবিমুখী চক্রাকারে আলোড়িত করে দুধের সমস্ত চর্বি কণাকে ক্রীম রূপে দুধের জলীয় অংশ বা ঘোল থেকে পৃথক করার প্রক্রিয়াকে দুধের মছন বলে। ঘোলের মধ্যে ল্যাক্ট এলবুমিন ও ল্যাকটোগ্লোবুলিন অর্থাৎ হোয়ে-প্রোটিন থাকে।



## কর্মমুখী রসায়ন

৫৬৯

(৩) ক্রীমের প্রসেসিং ও পাস্তুরায়ন : একটি স্টিলের পাত্রে ঐ ক্রীম নিয়ে  $60^{\circ}-70^{\circ}\text{C}$  এর মধ্যে 30 মিনিট উত্তপ্ত করা হয়। এর চেয়ে তাপমাত্রা বেশি হলে উৎপন্ন মাখনের স্বাদ নষ্ট হয়। উত্তপ্ত করার সময় ক্রীমকে অনবরত একটি কাঠি দিয়ে নাড়তে হয় যেন ক্রীমের নিচের ও ওপরের অংশ সমানভাবে উত্তপ্ত হয়। এর ফলে ক্রীমের অতিরিক্ত পানি ও বাতাস দূর হয় এবং ক্রীম পাস্তুরিত অর্থাৎ ব্যাকটেরিয়া মুক্ত হয়।



চিত্র-৫.২০(ক) : হস্তচালিত ক্রীম মেশিনে  
দুধ থেকে ক্রীম পৃথকীকরণ।



চিত্র-৫.২০(খ) : বিদ্যুৎ-চালিত ক্রীম মেশিনে  
দুধ থেকে ক্রীম পৃথকীকরণ।

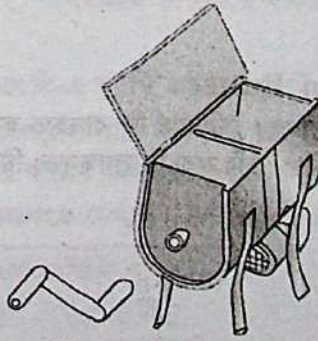
(৪) দুধের পাস্তুরিত ক্রীমকে 10-12 ঘন্টা যাবৎ ফ্রিজে  $5^{\circ}-10^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রার মধ্যে রাখা হয়। তখন ক্রীমের চর্বি আকস্মিকভাবে ছোট ছোট দানা বা বাটার কণা বা বাটার-চর্বি কেলাস গঠন করে। এ প্রক্রিয়াকে ক্রীমের এজিং (aging) বলে।

(৫) মাখন মছন (Butter churn) : এজিং করা ক্রীমকে উপযুক্ত তাপমাত্রা যেমন  $9^{\circ}-11^{\circ}\text{C}$ -এ রেখে যান্ত্রিক পদ্ধতিতে আলোড়িত করে বাটার-চর্বি কেলাসগুলোকে সম্পূর্ণভাবে একত্রিত করার প্রক্রিয়াকে বাটার চার্নিং বা মাখন মছন বলে। এ প্রক্রিয়ায় ক্রীমের কিছু পানি ও বাতাস দূর হয়।

মাখন মছন প্রক্রিয়ার বর্ণনা : বাটার চার্নিং মেশিনের 40-50% অংশ এজিং করা ক্রীম দ্বারা পূর্ণ করা হয়। মেশিনের ভেতরের ক্রীমকে কেন্দ্রমুখী আলোড়নের জন্য মেশিনকে প্রথম 5 মিনিট প্রতি মিনিটে 25-35 বার হারে ঘুরানো হয়। এরপর ঘূর্ণনের ফলে চর্বি কণার চারদিকে থাকা লিপোপ্রোটিনের আবরণটি ভেঙ্গে যায়। এ আবরণটি চর্বি কণাগুলোকে পরস্পর থেকে দূরে রাখে। এ আবরণটি ভাঙ্গনের ফলে চর্বি কণাগুলো সংবদ্ধ হয়ে বড় আকারের বাটার কণা (butter grains) সৃষ্টি করে। এ সময় বাতাসের ফেনা ও বাষ্পের বুদ্ধবুদ্ধ তৈরি হয়। মেশিন বন্ধ করে উৎপন্ন গ্যাস ও বাষ্প বের করা হয়। [চিত্র-৫.২১ : (অল্প পরিমাণ ক্রীমের জন্য) চিত্র-৫.২১(ক) : (মাঝারি পরিমাণ ক্রীমের জন্য)] এরপর একই হারে 20-25 মিনিট মেশিন ঘুরানো হয়। বাটার মছনে ক্রীম থেকে বের হওয়া ঘোল বা বাটার-মিক্সকে মেশিন কাত করে ডেলে নেয়া হয়।



চিত্র-৫.২১ : হস্তচালিত বাটার চার্নিং মেশিন।  
[অল্প পরিমাণ ক্রীমের জন্য]



চিত্র-৫.২১(ক) : হস্তচালিত বাটার চার্নিং মেশিন  
[মাঝারি পরিমাণ ক্রীমের জন্য]

MCQ-5.8 : তরল দুধ সংরক্ষণে কোন পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়?  
(ক) হিমায়ন  
(খ) কৌটাজাতকরণ  
(গ) পাস্তুরিকরণ  
(ঘ) ভিনেগার যুক্তকরণ

(৬) যে পরিমাণ বাটার-মিক্স বের হয়েছে, সে পরিমাণ বরফ শীতল পানি মেশিনে যোগ করে 5 মিনিট যাবৎ প্রতি মিনিটে 10-15 বার হারে মেশিন ঘুরানো হয়। এরপরে মিক্সমুক্ত বাটার বা মাখন পাওয়া যায়। কিন্তু উৎপন্ন মাখনে কিছু পানি থেকে যায়।



(৭) মাখনে লবণ প্রয়োগ : মাখন মস্তুনের পর মাখনের ভরের 1-2% পরিমাণে খাদ্য লবণ ঐ মাখনে যোগ করে 10-15 মিনিট একই হারে বাটার চার্নিং মেশিনের প্যাডেল ঘুরানো হয়। মাখনে লবণ মিশানোর কারণ হলো লবণ মাখনের পানি শোষণ করে নেয়। লবণ মিশালে মাখনের স্বাদ এবং মাখনের স্থায়িত্ব বাড়ে। লবণ (NaCl) মাখনের প্রিজারভেটিভরূপে কাজ করে। এরপর উৎপাদিত মাখন মেশিন থেকে বের করে নেয়া হয়।

(৮) উৎপাদিত মাখনকে চাপড়িয়ে বিভিন্ন আকৃতির করা হয়। পরে প্লাস্টিক ফয়েল, অ্যালুমিনিয়াম ফয়েল বা গ্রীজ প্রুফ কাগজে তৈরি মোড়ক করে বাজারজাত করা হয়।

(৯) রেফ্রিজারেশন : মোড়কে আবদ্ধ মাখনকে সুবিধামতো পাত্রে চেপে 10°C এর নিচে ফ্রিজে সংরক্ষণ করা হয়।

মাখনের খাদ্যমান : আন্তর্জাতিক মান অনুসারে উন্নত মাখনে কমপক্ষে 80% দুগ্ধচর্বি থাকা উচিত। এছাড়া 16-17% পানি এবং মিশ্রিত লবণসহ 2% অন্যান্য কঠিন পদার্থ থাকে। মাখনের অন্যান্য উপাদানের মধ্যে 0.6-0.8% প্রোটিন ও 0.4-0.5% কার্বোহাইড্রেট বা শর্করা থাকে। মাখন 'ভিটামিন-এ' এর উৎকৃষ্ট উৎস। প্রতি শতগ্রাম মাখনে 3000-4000 I.U পরিমাণ ভিটামিন-'এ' থাকে। শতগ্রাম মাখনের খাদ্যমান 730 kcal.

## ৫.৯ মাখন পানি মুক্তকরণ

### Dewatering of Butter

মাখনের সংযুক্তি : বাণিজ্যিক বাটার বা মাখনে 80-82% দুগ্ধ চর্বি, 16-17% পানি ও 0.8% দুগ্ধ প্রোটিনসহ 1-2% খাদ্য লবণ (NaCl) প্রিজারভেটিভরূপে মিশ্রিত থাকে। মাখনের স্বাদের জন্য এ পানি থাকা প্রয়োজন।

প্রকৃতপক্ষে পানির অসংখ্য অতি ক্ষুদ্র গুচ্ছ অণু মাখনের চর্বির মাঝে ছড়িয়ে থাকে। অর্থাৎ রাসায়নিকভাবে মাখন হলো কঠিন বিস্তারণ মাধ্যম চর্বিতে বিস্তারিত অসংখ্য গুচ্ছ পানি অণু (H<sub>2</sub>O)<sub>n</sub> এর একটি ইমালশন। এ কারণে ঐ পরিমাণ পানি থাকা সত্ত্বেও মাখনকে শুষ্ক মনে হয়। যখন মাখনের মধ্যে পানির পরিমাণ 17% এর বেশি থাকে; তখন ঐ অধিক পানিতে দুগ্ধ প্রোটিন ও ল্যাকটোজ মাখনকে পচনশীল করে; মাখন থেকে গন্ধ বের হয়। তাই মাখনের স্থায়িত্ব বৃদ্ধির জন্য অতিরিক্ত পানি মাখন থেকে বের করা দরকার হয়। সুতরাং 'মাখনকে পানি মুক্তকরণ'-এর অর্থ হলো মাখনে পানির পরিমাণ 16-17% এর মধ্যে রাখা; এবং এর অধিক পানি থেকে মাখনকে মুক্ত করা।

মাখনকে পানি মুক্তকরণ পদ্ধতি :

মাখন-পানি মুক্তকরণের সহজ পদ্ধতিটি হলো— (১) পরিষ্কার পানিতে মাখনের পুনঃপুনঃ ধৌতকরণ ও (২) চাপ প্রয়োগে দলাকরণ বা টেলাকরণ। এ পদ্ধতিতে মাখনের দলাকে পাতলা কাপড়ে জড়িয়ে বড় বাটিতে নেয়া পরিষ্কার পানিতে নেড়ে নেড়ে এবং ঐ মাখন দলাতে বার বার চাপ দিয়ে মাখনের ভেতরে থাকা প্রোটিন ও ল্যাকটোজ যুক্ত পানিকে বের করা হয়। তখন ঐ মাখন ধোয়া পানি ঘোলা হয়ে থাকে। এভাবে মাখনের টেলাকে কয়েকবার পানিতে ধৌতকরণ ও চাপ দিয়ে দলাকরণ করা হয়। পরিশেষে মাখন-ধোয়া পানি পরিষ্কার থাকলে বা ঘোলা না হলে তবে ঐ মাখন প্রোটিন ও ল্যাকটোজ যুক্ত পানি মুক্ত হয়েছে বোঝায়। এক পর্যায়ে মাখন দলায় চাপ দিলে মাখন দলা থেকে আর পানি বের হয় না এবং মাখনটি বেশ নরম বা কোমল হয়। এ অবস্থায় মাখনটিতে 'water-in-fat' ইমালশনরূপে 16-17% পানি রয়েছে ধরা হয়।

অপরদিকে মাখনকে অধিক তাপে উত্তপ্ত করে সম্পূর্ণ পানিমুক্ত করে ঘি উৎপন্ন করা হয়।

## ৫.১০ মাখন থেকে ঘি উৎপাদন

### Production of Ghee from Butter

ভারতীয় উপমহাদেশে রন্ধন শিল্পে রান্নার তেলের পরিবর্তে ঘি ব্যবহৃত হয়। তাপীয় পদ্ধতিতে মাখন থেকে পানিকে সম্পূর্ণরূপে দূর করে ঘি তৈরি করা হয়। গৃহস্থের ঘরে তৈরি করা ঘি সুগন্ধযুক্ত; নিম্ন তাপমাত্রায় ঘি জমাট বেঁধে কঠিন অবস্থায় থাকে।

ঘি প্রস্তুতির উপাদান :

- (১) লবণমুক্ত সাদা বাটার ... 1kg
- (২) Bay leaves অথবা তেজপাতা ... 2 টি
- (৩) রান্নার লবণ ... অল্প (১ চিমটে)
- (৪) পরিষ্কার কাপড়
- (৫) স্টিলের পুরুতলাযুক্ত কড়াই (পাত্র)
- (৬) বড় চামচ, থার্মোমিটার (150°C বা 200°C)
- (৭) বার্নার বা চুল্লি।

MCQ-5.9 : দুধ থেকে ছানা তৈরিতে কোন প্রক্রিয়া ঘটে?

- (ক) আর্দ্র বিশ্লেষণ (খ) ফারমেন্টেশন  
(গ) কোয়াগুলেশন (ঘ) অক্সিডেশন

MCQ-5.10 : দুধের প্রধান প্রোটিন কোনটি? [য. বো. ২০১৫]

- (ক) ক্যারোটিন (খ) লিপিড  
(গ) ক্যাভিন (ঘ) ল্যাক্টালবুমিন



প্রস্তুত পদ্ধতি :

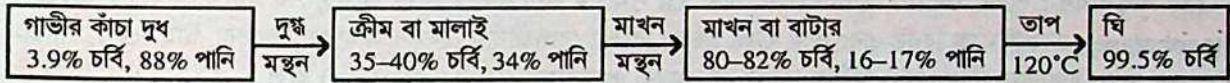
১। পুরু তলাযুক্ত ধাতব পাত্র মধ্যম শিখায় ধীরে ধীরে উত্তপ্ত করা হয়। উত্তপ্ত পাত্রে বাটার ও দুটি Bay leaves অথবা তেজ পাতা দেয়া হয়। বাটার ধীরে ধীরে গলতে থাকে।  $64^{\circ}\text{C}$ -এ সম্পূর্ণ গলে যায়।

২। প্রায়  $94^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায় উত্তপ্ত তরল বাটারে ফেনা জমলে তা চামচ দিয়ে তুলে ফেলে দেয়া হয়। এক্ষেপে  $110^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রা পর্যন্ত ফেনা জমা ও তুলে ফেলা কাজ চলতে থাকে, ফেনা উঠা শেষ না হওয়া পর্যন্ত।

৩। এরপর সুগন্ধ সৃষ্টিকারী তেজপাতাগুলো তুলে নেয়া হয় প্রায়  $120^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রা পর্যন্ত উত্তপ্ত করলে তখন ঘি-এর দানা পাত্রের তলায় জমা হয়; কোনো ফেনা থাকে না। তরলটি পটপট শব্দসহকারে ফুটতে থাকে। এ অবস্থায় ঘি সম্পূর্ণ পানিমুক্ত হয়েছে বোঝায়। তখন তরলটিকে ঠাণ্ডা করে পরিষ্কার কাপড়ে ছেকে নেয়ার পর প্রাপ্ত তরল ঘি হালকা সোনালি বর্ণের হয়।

৪। এরপর ঐ ঘি এর মধ্যে এক চিমটে লবণ যোগ করে মিশানো হয়। এর ফলে কঠিন অবস্থায় ঘি এর মধ্যে সূক্ষ্ম দানা সৃষ্টি হয়। এক্ষেপে প্রস্তুত ঘি স্বাভাবিক অবস্থায় 4-6 মাস সংরক্ষণ করা সম্ভব এবং রেফ্রিজারেটরে আরো দীর্ঘকাল সঠিকভাবে সংরক্ষণ করা যায়।

মাখন বা বাটার ও ঘি তৈরির প্রবাহ চিত্র :



শিক্ষার্থীর ব্যবহারিক বাড়ির কাজ : (Student's Practical Home Work)

### ৫.১১ কাজের নাম : মাখন থেকে ঘি এর উৎপাদন

প্রয়োজনীয় উপকরণ : লবণ ছাড়া মাখন- 250 গ্রাম

প্রয়োজনীয় সরঞ্জাম : (১) স্টিলের পাত্র- ১ লিটার আয়তনের

(২) ঢাকনিসহ বয়েম- ১টি,

(৩) সূক্ষ্ম সুতার পরিষ্কার কাপড়- ১টি টুকরা

(৪) তেজপাতা- ২টি, (৫) বড় চামচ- ১টি, (৬) চুলা, (৭) থার্মোমিটার ( $200^{\circ}\text{C}$ )।

কার্যপদ্ধতি : (১) স্টিলের পাত্রটিতে 250 গ্রাম পরিমাণ মাখন নাও।

(২) মাখনসহ পাত্রটিকে চুলার ওপর রেখে ধীরে ধীরে তাপ দাও।  $64^{\circ}\text{C}$ -এ মাখন সম্পূর্ণ গলে যায়।

(৩) প্রায়  $94^{\circ}\text{C}$  পর্যন্ত উত্তপ্ত কর। তরল মাখনে ফেনা জমলে তা চামচ দিয়ে তুলে ফেলে দাও। ফেনা ওঠা শেষ না হওয়া পর্যন্ত তাপ দাও। কিছুক্ষণ পর  $120^{\circ}\text{C}$  তাপমাত্রায় তা ফুটতে থাকবে। তরলটির বর্ণ সোনালী হবে, কিছু কঠিন দানা পাত্রের তলায় জমবে।

(৪) তেজ পাতাটি তুলে নাও। তেজপাতা ঘি-এ সুগন্ধি বাড়ায়। পাত্রটি ঠাণ্ডা কর। তলায় পদার্থের কণা দেখা যাবে।

(৫) কাচের বয়েম-এর মুখে পাতলা কাপড় বসিয়ে, মাঝখানে চেপে নিচু করে দাও। এরপর তরল ঘি কাপড়ের ওপর ধীরে ধীরে ঢাল। বিশুদ্ধ তরল ঘি ফিল্টার হয়ে বয়েমে জমা হবে। পাত্রের তলায় জমে থাকা কঠিন পদার্থ ফেলে দাও।

(৬) তোমার উৎপন্ন করা ঘি তোমার শিক্ষককে দেখাও। ঐ ঘি এক চিমটে লবণ দিয়ে ঠাণ্ডা স্থানে বা ফ্রিজে সংরক্ষণ কর।

শিক্ষার্থীর কাজ-৫.৭ : দুধ ও ঘি উৎপাদনভিত্তিক :

প্রশ্ন-৫.১৯ : (ক) দুধের ক্যাজিন বলতে কী বোঝ?

(খ) বাটার চার্নিং বা মাখন মস্থন বলতে কী বোঝ?

(গ) মাখনে লবণ মিশানোর কারণ ব্যাখ্যা কর।

(ঘ) মাখনকে পানি মুক্ত করা প্রয়োজন কেন?

[অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]



**জেনে নাও :**

\* দুধের pH মান নিয়ন্ত্রণ : মাখন তৈরির বেলায়, দুধের pH মান (6.6-6.9) নিয়ন্ত্রণ করা দরকার। দুধ সংগ্রহের পর দীর্ঘসময় (৮-১২ ঘণ্টা) খোলা অবস্থায় রেখে দিলে দুধের ল্যাকটোজ ল্যাক্টো-ককাস ব্যাকটেরিয়া দ্বারা জারিত হয়ে ল্যাকটিক এসিডে পরিণত হয়। তখন দুধের pH মান 6.5 এর কম হলে দুধের চর্বি ও প্রোটিন কণা জমাটবদ্ধ হয়ে থাকে এবং এ দুধ থেকে মাখন উৎপাদন অসম্ভব হয়ে পড়ে। তাই,

(১) দুধ সংগ্রহের পর দ্রুত ঠাণ্ডা করে 10°C এর নিচে রাখা উচিত।

(২) দুধের pH মান pH মিটার দিয়ে জেনে যদি pH মান 6.5 এর কম হয়, তখন অল্প পরিমাণে  $\text{NaHCO}_3$  অথবা  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  দ্রবণ যোগ করে দুধের pH মানকে 6.6 - 6.9 এর মধ্যে রাখতে হয়।

\* দুধের বাণিজ্যিকীকরণে অনুসৃত পদ্ধতি : দুধের বাণিজ্যিকীকরণের বেলায় দুধকে ২৪ ঘণ্টার অধিক সময় ধরে ব্যাকটেরিয়া দ্বারা দুধের গাঁজন বন্ধ করে দুধকে souring থেকে রক্ষা করতে হয়। এজন্য দুটি পদ্ধতি যেমন, (১) দুধের পাস্তুরায়ন ও (২) দুধের স্টেরিলিজেশন (sterilisation) অনুসরণ করা হয়।

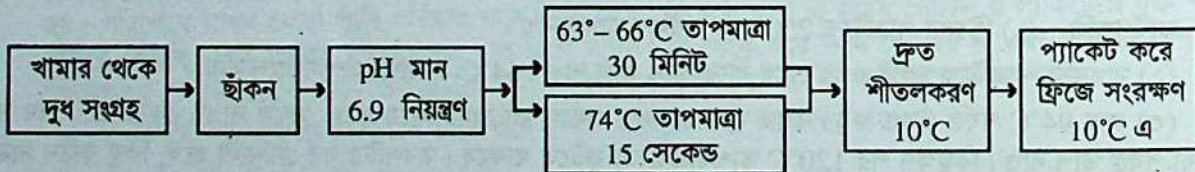
(১) পাস্তুরায়ন : দুধের গুণাগুণ অপরিবর্তিত রেখে স্বল্প সময়ের জন্য দুধকে উত্তপ্ত করে দুধের মধ্যস্থ কেবল ফসফেটেস (phosphatase) এনজাইমকে বিনষ্ট এবং দুধে থাকা সম্ভাব্য বিভিন্ন রোগজীবাণু (যেমন আমাশয়, কলেরা, টাইফয়েড, প্যারা-টাইফয়েড, যক্ষ্মা ইত্যাদির জীবাণুকে) নিষ্ক্রিয় করার প্রক্রিয়াকে পাস্তুরায়ন (Pasteurisation) বলে।

পাস্তুরায়ন দুই পদ্ধতিতে করা হয় : ১. Holder Process ও ২. High Temp. Short time process (HTST),

১. **Holder** পদ্ধতি : এ পদ্ধতিতে দুধকে 63°-66°C তাপমাত্রায় অনধিক 30 মিনিট উত্তপ্ত করে দ্রুত 10°C এ শীতল করা হয়।

২. **HTST** পদ্ধতি : HTST পদ্ধতিতে দুধকে দ্রুত 74°C তাপমাত্রায় 15 সেকেন্ড উত্তপ্ত করে দ্রুত 10°C এ শীতল করা হয়।

এরূপে পাস্তুরিত দুধে ইস্ট, মোল্ড, ফসফেটেস এনজাইম বিনষ্ট হয় এবং ব্যাকটেরিয়া ও সম্ভাব্য রোগজীবাণু নিষ্ক্রিয় হয়। বাংলাদেশে মিল্কভিটা, আড়ং ও প্রাণ কোম্পানির পাস্তুরিত দুধ এ পদ্ধতিতে প্যাকেট করে ফ্রিজে সংরক্ষণ এবং পরে বাজারজাত করা হয়। যেমন,



(২) দুধের স্টেরিলিজেশন : এ প্রক্রিয়ায় দুধকে ছাঁকন ও বোতলে আবদ্ধ করে 100°C তাপমাত্রায় 25 মিনিট ওয়াটার বাথ অথবা অধিক চাপযুক্ত স্টিম দ্বারা উত্তপ্ত করা হয়। এতে দুধের সকল এনজাইম, ব্যাকটেরিয়া, রোগজীবাণু সম্পূর্ণ ধ্বংস হয়। দুধের ভিটামিন নষ্ট হয়, দুধের গুণাগুণ হ্রাস পায়। শিশুদের জন্য এ দুধ উপযোগী নয়। তবে খামার থেকে দূরবর্তী এলাকার জন্য তাজা দুধের অভাব পূরণে স্টেরিলাইজড দুধ যোগান দেয়া হয়।

[Ref : A Treatise on Hygiene & Public Health : By Birendra Nath Ghose, Calcutta Scientific Publication Co.]

## ৫.১২ টয়লেট্রিজ ও পারফিউমারিতে সুগন্ধি যোগ করার রসায়ন

### Adding Perfume in Toiletries-Perfumeries & Chemistry

তোমরা নবম-দশম শ্রেণির রসায়নে জেনেছ যে, ইথানল প্রধানত পারফিউম, কসমেটিক্স ও গন্ধ শিল্পে দ্রাবক হিসেবে ব্যবহৃত হয়। পঞ্চম অধ্যায়ে রাসায়নিক বন্ধনে জেনেছ যে, পানি হলো পোলার সমযোজী তরল; পানি অণুর দুটি H-পরমাণুতে আংশিক ধনাত্মক চার্জ ( $\delta+$ ) ও অক্সিজেন পরমাণুতে সমতুল্য আংশিক ঋণাত্মক চার্জ ( $\delta-$ ) থাকে বলে পানিকে



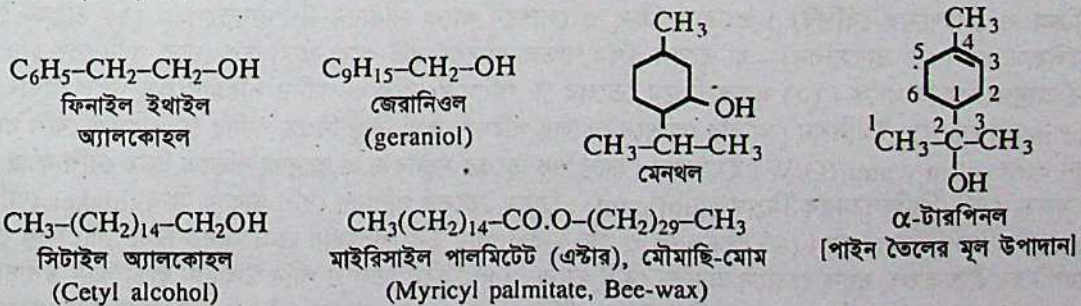
পোলার সমযোজী যৌগ বলা হয়। পানিতে আয়নিক যৌগসমূহ (কঠিন) ও অধিকাংশ পোলার সমযোজী যৌগ দ্রবীভূত হয়। এজন্য পানিকে সার্বিক দ্রাবকও বলা হয়। পানির মতো ইথানলও পোলার তরল। কারণ পানিও ইথানল অণুতে তড়িৎ ঋণাত্মক O-পরমাণু H-পরমাণুর সাথে সমযোজী বন্ধনে আবদ্ধ আছে। অক্সিজেন পরমাণুর সাথে সমযোজী বন্ধনে আবদ্ধ অপর কোনো পরমাণুর তড়িৎ ঋণাত্মকতার মানের পার্থক্য 0.5 থেকে 1.7 বা 1.9 এর মধ্যে হলে সেই সমযোজী যৌগ পোলার হয়। কিন্তু হাইড্রোকার্বন শ্রেণিভুক্ত কেরোসিন, পেট্রোল, বেনজিন সমযোজী অপোলার তরল। এসব হাইড্রোকার্বন যৌগ পানিতে অদ্রবণীয়। কারণ দুটি তরল পরস্পর দ্রবণীয় হবে কী হবে না, তা বোঝার জন্য রসায়নবিদ এক নীতি উপস্থাপন করেছেন।

সমযোজী যৌগের দ্রবণীয়তার নীতিটি হলো; 'Like dissolves like' অর্থাৎ সমধর্মী পদার্থ সমধর্মী পদার্থে দ্রবীভূত হয়। তখন মিশ্রিত অবস্থায় দ্রব-অণু ও দ্রাবক অণুর মধ্যে আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বলের মান এবং বিস্তৃত অবস্থায় দ্রব-অণুসমূহের আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বল ও দ্রাবক অণুসমূহের আন্তঃআণবিক আকর্ষণ বলের মান এ তিনটি বলের মান সমান অথবা কাছাকাছি হয়। অর্থাৎ  $(A \dots B) = (A \dots A) = (B \dots B)$ । আবার আন্তঃআণবিক বলের মান অপরিবর্তিত থাকায় উভয় তরল মিশ্রণের ফলে আয়তনের বৃদ্ধি বা হ্রাস এবং মিশ্রণের তাপমাত্রার পরিবর্তন ঘটে না।

এ নীতি অনুসারে টয়লেট্রিজ ও পারফিউমারিতে সুগন্ধি যৌগ মিশ্রিত করা হয়। এসব সুগন্ধি হলো মূলত উদ্ভিদজাত অ্যারোমা (aroma) বা সুগন্ধযুক্ত পোলার বা অপোলার জৈব অ্যারোমেটিক যৌগ। এ সব সুগন্ধ যৌগসমূহকে বিশেষ গাছের ছাল বা বাকল, শিকড়, পাতা, ফুল ও ফল ইত্যাদি থেকে নিষ্কাশন করা হয়।

পারফিউমারি তৈরিতে ব্যবহৃত পোলার সুগন্ধির দ্রাবক হিসেবে ইথানল-পানির মিশ্রণ ব্যবহৃত হয়। তখন পারফিউমারিতে মিশ্রিত 2-3% সুগন্ধিকে দ্রবীভূত করতে দ্রাবকরূপে '7-8% ইথানল ও 1% পানির মিশ্রণ' ব্যবহৃত হয়। যেমন মেনথল সুগন্ধ বস্তু বলে 'পারফিউম' প্রভৃতিতে মিশ্রিত করা হয়। এ মেনথল হলো একটি চাক্রিক অ্যালকোহল। মেনথল সুগন্ধ বস্তু ছাড়াও গলা ও শ্বাসনালির পরিষ্কারকরূপে কাজ করে। অধিকাংশ প্রাকৃতিক উদ্ভিদের সুগন্ধ রাসায়নিক যৌগ হলো এন্টার অর্থাৎ জৈব কার্বক্সিলিক এসিডও অ্যালকোহল থেকে উৎপন্ন যৌগ। এসব এন্টার অণুতে তড়িৎ ঋণাত্মক O-পরমাণু থাকায় ঐ সব যৌগ পোলার ইথানল ও পানিতে দ্রবণীয় হয়। এ সব পোলার সুগন্ধ যৌগ টয়লেট্রিজ ও পারফিউমারিতে যোগ করা হলে এবং ঐ সব টয়লেট্রিজ পারফিউমারি ব্যবহারকারীর কাপড়ে কোনো দাগ সৃষ্টি করবে না। ব্যবহার শেষে কাপড় চোপড় পানিতে ধুয়ে নিলে ঐ সব সুগন্ধ যৌগও ধুয়ে চলে যায়। সুতরাং দ্রাব্যতা রসায়নের মূলনীতি 'Like dissolves like' পারফিউম ও কসমেটিক তৈরিতে অনুসৃত ও সুপ্রতিষ্ঠিত।

প্রসাধন সামগ্রীতে ব্যবহৃত সুগন্ধি রাসায়নিক যৌগের মধ্যে অধিকাংশই হলো উদ্ভিদের নির্যাস থেকে প্রাপ্ত। এদের কয়েকটির উদাহরণ হলো :



দ্রষ্টব্য :  $\alpha$ -Terpineol এর IUPAC নাম হলো 2-(4-Methyl cyclo hex-3-en-1-yl) propan-2-ol]

### ৫.১৩ টয়লেট্রিজ ও পারফিউমারি Toiletries & Perfumeries

মুখের অভ্যন্তর ও বাহ্যিক দেহ-ত্বককে পরিষ্কার করার জন্য ব্যবহৃত রাসায়নিক সামগ্রীকে টয়লেট্রিজ বলে। অপরদিকে পারফিউমারি হলো জীবাণুনাশক সুগন্ধযুক্ত তরল, জেলিসদৃশ অথবা সূক্ষ্ম গুঁড়ার সামগ্রী যা ত্বকের-দুর্গন্ধ দূরীকরণে ও রক্ষণাবেক্ষণে ব্যবহৃত হয়।



এখন প্রথমে দেহ-ত্বকের গঠন (skin anatomy) এবং পরে দেহ-ত্বকের ওপর টয়লেট্রিজ ও পারফিউমারি সামগ্রী কীভাবে কাজ করে তা জানবো।

দেহ-ত্বকের গঠন : দেহ-ত্বক মানব শরীরের

সবচেয়ে বড় তন্ত্র বা organ; এটি প্রায় 20 sq. feet আয়তন নিয়ে পুরো শরীরকে ঢেকে রাখে। এ ত্বকে থাকে— (১) স্নায়ু-প্রান্ত (nerve endings), (২) ঘামের গ্র্যান্ড (sweat glands), (৩) তৈলের গ্র্যান্ড (sebaceous glands), (৪) হেয়ার ফলিকলস্ (hair follicles) ও (৫) রক্তনালি (blood vessels)।

ত্বক মূলত তিনটি অংশে বিভক্ত— (i) বহিঃত্বক (epidermis), (ii) মধ্যত্বক (dermis) ও (iii) অন্তঃত্বক (hypodermis)। আবার বহিঃত্বক বা এপিডারমিসের পাঁচটি স্তর বা layers থাকে; যেমন ওপর থেকে ক্রমান্বয়ে— (1) Stratum corneum, (2) S. Lucidum, (3) S. granulosum, (4) S. spinosum, (5) S. basale.

বাইরের Corneum layer বা কর্নিয়াল স্তরটি মৃতকোষ (corneocytes)ও কেরাটিন (keratin) নামক তন্তুময় প্রোটিন দ্বারা গঠিত। কেরাটিন এপিথেলিয়াল কোষকে ক্ষতিকর প্রভাব থেকে রক্ষা করে এবং keratin থেকেই চুল, নখ ও পশুর শিং গঠিত হয়। এ keratin এ প্রায় 10% পানি বা আর্দ্রতা থাকে। যখন এর আর্দ্রতা 10% থেকে কমে যায়; তখন ত্বক শুষ্ক হতে থাকে। এ অবস্থায় তৈলের গ্র্যান্ড বা sebaceous glands থেকে sebum নামক তৈলাক্ত পদার্থ নিঃসরিত হয়; যা ত্বকের হারানো আর্দ্রতা পূরণ করে ত্বককে সতেজ রাখে। বয়স বৃদ্ধির ফলে sebaceous glands ত্বকের আর্দ্রতা বজায় রাখতে না পারায়, স্বাভাবিকভাবেই ত্বক শুষ্ক হতে থাকে। ত্বক কুঁচকে যায়, অমসৃণ হয়। এছাড়া সূর্যের তাপে ও শুষ্ক বায়ু দ্বারা ত্বক সহজে শুষ্ক ও খসখসে হয়। তখন ত্বকের শুষ্কতা দূর করার জন্য ব্যবহার করতে হয় বিভিন্ন ক্রিম ও লোশন জাতীয় পারফিউমারি।

ক্রিম ও লোশনের বৈশিষ্ট্য : প্রত্যেক ক্রিম ও লোশনে থাকে সাধারণ উপাদানরূপে— (১) উদ্ভিজ্জ তৈল অথবা পেট্রোলিয়াম জেলি (বা ভ্যাসেলিন)—যা ত্বকের ওপর পাতলা আবরণ সৃষ্টি করে; ফলে ত্বক থেকে পানি বের হতে বাধা পায়, ত্বকের আর্দ্রতা বজায় থাকে। (২) মূলত ক্রিমে তৈলের % পরিমাণ বেশি ও পানির পরিমাণ কম থাকে অর্থাৎ ক্রিম হলো water in oil (W/O) ইমালশন। আবার লোশনে তৈলের পরিমাণ কম, কিন্তু বিশুদ্ধ পানির % পরিমাণ বেশি থাকে। অর্থাৎ লোশন হলো oil in water (O/W) ইমালশন। ফলে শুষ্ক ত্বকের সজীবতা ও আর্দ্রতা বৃদ্ধিতে ক্রিম বেশি কাজ করে। (৩) ক্রিম মূলত একটি পিচ্ছিলকারক মিশ্রণ (lubricant)। ক্রিমে তৈলের পরিমাণ বেশি থাকায় ক্রিম thicker (অধিক ঘন) ও greaser (অধিক পিচ্ছিল) হয়। (৪) শীতকালে ও শুষ্ক আবহাওয়ায় ত্বক পরিচর্যায় ক্রিম অধিক উপযোগী; কিন্তু লোশন বেশি উপযোগী হয় গ্রীষ্মকালে, যখন বাতাসে আর্দ্রতা বেশি থাকে। (৫) ক্রিমে তৈল ও পানি উপাদান ছাড়া অন্য উপাদানরূপে ত্বক কোমলকারক বা emollient রূপে প্রাকৃতিক তৈল-চর্বি যেমন Lanolin বা Wool-wax (ভেড়ার উল থেকে সংগৃহীত), অলিভ অয়েল ব্যবহৃত হয়। ক্রিমকে গাঢ় করার জন্য মোম বা wax মিশানো হয়। এছাড়া যোগ করা হয় গ্লিসারিন ও সুগন্ধি (এসেনসিয়াল অয়েল) ইত্যাদি।

উল্লেখ্য ভ্যানিশিং ক্রিম (স্নো) হলো oil in water (O/W) emulsion; কিন্তু কোন্ড ক্রিম হলো 'water in oil' (W/O) emulsion.

বর্তমানে টয়লেট্রিজ বলতে টয়লেট সাবান, শ্যাম্পু ও টুথপেস্টকে বোঝায়। পারফিউমারি বলতে গোলাপজল, হেয়ার অয়েল, টেলকম পাউডার, স্নো, কোন্ড ক্রিম, লিপস্টিক, আফটার সেভ, মেহেদি ইত্যাদি অন্তর্ভুক্ত করা হয়েছে। এসব ব্যবহার সামগ্রী প্রস্তুত পদ্ধতি আমরা আলোচনা করব।



চিত্র-৫.২২ : দেহ-ত্বকের একটি অংশ



## ৫.১৩.১ পারফিউমারি গোলাপজল প্রস্তুতি

## Rose Water Preparation

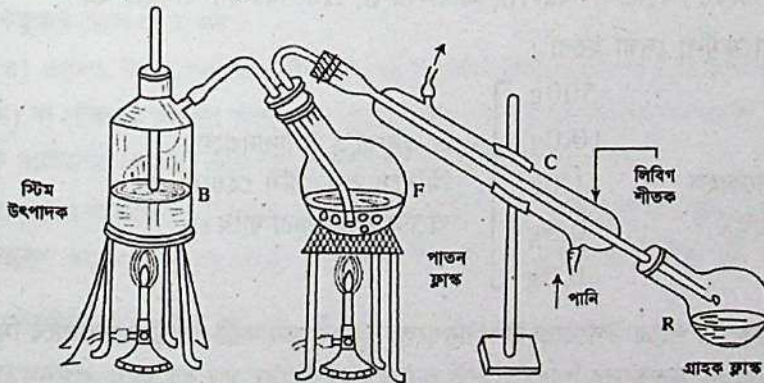
গোলাপ ফুলের পাপড়ি ও পানির মিশ্রণকে স্টিম পাতিত করে সংগৃহীত পাতিত তরলকে গোলাপ জল বলে। এটি একটি হাইড্রোসল (hydrosol)।

ব্যবহার : গোলাপজল ফুড এডিটিভরূপে খাদ্যবস্তুতে মিশিয়ে খাবারকে সুগন্ধময় করা হয়। কসমেটিক ও ওষুধ প্রস্তুতিতে গোলাপজল সুগন্ধ বস্তুরূপে ব্যবহৃত হয়। এছাড়া ধর্মীয় আচার অনুষ্ঠানে সুগন্ধময় পবিত্র শান্তিময় পরিবেশ সৃষ্টিতে গোলাপজল ছিটিয়ে দেয়া হয়। চিনির সিরাপে গোলাপজল যোগ করে রোজ সিরাপ প্রস্তুত করা হয়।

উপাদানসমূহ : (১) ফিনাইল ইথাইল অ্যালকোহল, (২) অ্যালকেন সদস্য; পেন্টাডেকেন ( $C_{15}H_{32}$ ), হেক্টাডেকেন ( $C_{17}H_{36}$ ), অক্টাডেকেন ( $C_{18}H_{38}$ ), ইকোসেন ( $C_{20}H_{42}$ ), ডোকোসেন ( $C_{22}H_{46}$ ), পেটাকোসেন ( $C_{25}H_{52}$ ) ইত্যাদি যৌগ প্রধানত গোলাপ তৈলে পাওয়া যায়। তবে গোলাপজলের মনোমুখকর সুগন্ধের কারণ হলো ফিনাইল ইথাইল অ্যালকোহল ( $C_6H_5CH_2CH_2OH$ ) ও (40-50%) জেরানিওল ( $C_9H_{15}CH_2OH$ ) নামক টারপিন (terpenes)।

প্রস্তুতি : নিচের চিত্র মতে, গোলাপ ফুলের বৃতি ও পাপড়ির স্টিম পাতন করে গোলাপজল উৎপাদন করা হয়।

গোলতলী ফ্লাস্কে (F) অল্প পানিসহ গোলাপ ফুলের বৃতি ও পাপড়ি নেয়া হয়। ফ্লাস্কের মুখে রাবার কন্টেকের সাহায্যে স্টিম উৎপাদক (B) এর সাথে স্টিমের আগম নল সংযোগ করা হয়। অপরদিকে উদ্বায়ী বাষ্পের নির্গম নলের সাথে লিবিগ শীতক যোগ করা হয় (চিত্র-৫.২৩)।



চিত্র-৫.২৩ : স্টিম বা বাষ্প পাতন পদ্ধতিতে গোলাপ জল প্রস্তুতি।

শীতকের (C) শেষ প্রান্তে গ্রাহক পাত্র থাকে। গোলতলী ফ্লাস্কটিকে স্টিম উৎপাদক পাত্রের দিকে একটু হেলান অবস্থায় রেখে স্টিম চালনা করা হয়, যেন স্ফুটনকালে লাফ দিয়ে নির্গম-নল পর্যন্ত তরলটি পৌঁছতে না পারে। স্টিম উৎপাদক (B) ও পাতন ফ্লাস্কে (F) এমনভাবে তাপ দেয়া হয় যেন পাতন ফ্লাস্কে প্রবিশ্ট ও তা থেকে নির্গত বাষ্পের পরিমাণ প্রায় সমান থাকে। গ্রাহক ফ্লাস্কে (R) পাতিত তরলরূপে গোলাপজল জমা হয়।

জেনে নাও : (১) পাতিত তরলে দুটি স্তর থাকলে তখন ঐ তরলকে পৃথকীকরণ ফানেলে নিয়ে হালকা স্তর ও ভারী স্তর দুটিকে পৃথক করা হয়। (২) অনুরূপভাবে, পাইন গাছ (pinus sylvestris) এর সূঁচালো পাতা, ছোট শাখা ও ফল ইত্যাদি বাষ্প-পাতন করে পাইন তৈল পৃথক করা হয়। পাইন তৈলে প্রধানত  $\alpha$ -টারপিনল (মনোটারপিন অ্যালকোহল) থাকে।  $\alpha$ -Terpineol যুক্ত পাইন তৈল (pine oil) সুগন্ধিরূপে ব্যবহৃত হয়। এছাড়া household cleaning agents এর antiseptic উপাদানরূপে এবং perfumes, cosmetics & flavours এর common ingredient রূপে ব্যবহৃত হয়।

MCQ-5.12 : মাখনকে পানি মুক্ত করা হয় কিভাবে? [সি. বো. ২০১৫]  
(ক) পানি শোষণ করে  
(খ) মাখনকে চাপে দলিত করে  
(গ) মাখনে  $P_2O_5$  যোগ করে  
(ঘ) মাখনে CaO যোগ করে



৫৭৬

রসায়ন-প্রথম পত্র

## ৫.১৩.২ হেয়ার অয়েল প্রস্তুতি

## Hair Oil Preparation

বাজারের হেয়ার অয়েলকে ব্যবহৃত মূল উপাদান তেলভিত্তিক নিম্নোক্ত গ্রুপে পাঠের সুবিধার্থে আলোচনা করা হলো :

(ক) ডাবুর আমলা হেয়ার অয়েল ও (খ) হার্বাল হেয়ার অয়েল।

ডাবুর আমলা হেয়ার অয়েলে মূল উপাদান হলো নারকেল তেল। অপরদিকে হার্বাল হেয়ার অয়েলে তিন প্রকার ভেজেটেবল অয়েল যেমন সূর্যমুখী তেল, বাদাম তেল ও তিল তেল থাকে।

ডাবুর আমলা হেয়ার অয়েলের ক্ষেত্রে প্রথমে 'আমলা বেরি' ফলকে নারকেল তেলে সিদ্ধ করে নির্যাস বের করা হয়। আমলা চুলকে মজবুত করে এবং চুলের কালো রং বিবর্ণ হতে বাধা দেয়। এছাড়া 'False daisy' ও 'Indian spikenard' এর নির্যাস চুলের বৃদ্ধি ও চুলকে মজবুত করে।

এছাড়া উভয় গ্রুপের হেয়ার অয়েলে মূল উপাদান নারকেল তেল অথবা সূর্যমুখী তেল, বাদাম তেল ও তিল তেলের মিশ্রণের সাথে অতিরিক্ত নিম্নোক্ত উপাদান মিশ্রিত থাকে :

(১) চুলের কোমলতাদায়ক (Emollients) : ডাবুর আমলায় পেট্রোলিয়াম অয়েল ও কেনোলা অয়েল ব্যবহৃত হয়।

(২) ইমালশিফাইয়ার (Emulsifier) : এরা তেল ও পানির মিশ্রণ দুটিকে বিন্যস্ত রাখে। তেলকে ঘন করে যেমন, ওলিক এসিড (কেনোলা তেলের উপাদান)

(৩) অ্যান্টিঅক্সিড্যান্ট (Antioxidant) : এটি অত্যধিক সূর্যালোকে তেলের বিয়োজন রোধকরূপে কাজ করে। যেমন t-বিউটাইল হাইড্রোকুইনোন।

(৪) অতিরিক্ত উপাদানসমূহ : সুগন্ধ বস্তুরূপে মেনথল, মিন্ট অয়েল, রোজমেরি।

(৫) রং (dye) : অনুমোদিত অ্যাজো রংরূপে ইয়েলো নম্বর-10, গ্রিন নম্বর-6, রেড নম্বর-17 ব্যবহার হয়।

হেয়ার অয়েল প্রস্তুতির একটি নমুনা ফর্মুলা দেয়া হলো :

(১) নারিকেল তেল	: 500g	এ অনুপাতে উপাদানগুলো মিশিয়ে কম বেশি হেয়ার অয়েল প্রস্তুত করা যাবে।
(২) কেনোলা অয়েল	: 10.0g	
(৩) t-বিউটাইল অ্যালকোহল	: 1.0g	
(৪) মিন্ট অয়েল (সুগন্ধি)	: 0.5g	
(৫) রং বা ডাই	: 0.2g	

প্রস্তুত প্রণালি : একটি 1 লিটার আয়তনের পাত্রে উপরোক্ত উপাদানগুলো নিয়ে নাড়ন কাঠি নেড়ে ভালোভাবে মিশানো হয়। একরূপে প্রস্তুত করা হেয়ার অয়েলকে বিভিন্ন আয়তনের শিশিতে ভর্তি করা হয়। শিশিরের মুখ বন্ধ করে, লেবেল লাগিয়ে বাজারজাত করা হয়।

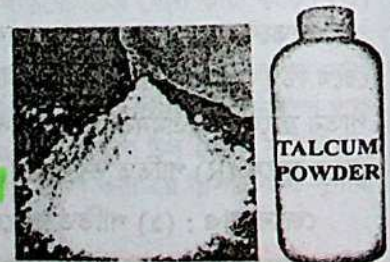
## ৫.১৩.৩ টেলকম পাউডার প্রস্তুতি

## Talcum Powder Preparation

প্রসাধন সামগ্রীর মধ্যে টেলকম পাউডার অন্যতম। শরীরের আর্দ্রতা ও ঘর্মরোধের জন্য টেলকম পাউডার ব্যবহার করা হয়। উন্নতমানের টেলকম পাউডার পিচ্ছিল ও উজ্জ্বল সাদা বর্ণের।

টেলকম পাউডারের উপাদানসমূহ :

(১) টেলকম পাউডারের প্রধান বা, মূল উপাদান হলো টেলক। 'টেলক'-এর রাসায়নিক নাম হাইড্রেটেড ম্যাগনেসিয়াম সিলিকেট; এর সংকেত  $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$  বা,  $H_2Mg_3(SiO_3)_4$  বা,  $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ ।



চিত্র-৫.২৪ : ট্যালকম পাউডার



(২) মূল পিচ্ছিলকারক টেলক্-এর সাথে অতিরিক্ত পিচ্ছিলতার জন্য ব্যবহার করা হয় জিঙ্ক স্টিয়ারেট, ম্যাগনেসিয়াম সিলিকেট ও অন্যান্য সিলিকেট। জিঙ্ক স্টিয়ারেট হলো কোমল অ্যান্টিসেপটিক। অ্যান্টিসেপটিক হিসেবে বোরিক এসিডও ব্যবহার করা হয়। স্টিয়ারেটের পরিমাণ 4-10% এর মধ্যে হয়ে থাকে। (৩) পাউডারকে ফাঁপানোর জন্য ক্যালসিয়াম বা ম্যাগনেসিয়াম কার্বনেটও ব্যবহার করা হয়। এগুলো টেলকম পাউডারের সুগন্ধি ধরে রাখে। (৪) এছাড়া পাউডারের সাথে সুগন্ধিরূপে মেনথল ও ক্যাফর সামান্য পরিমাণে যোগ করা হয়।

টেলকম পাউডার প্রস্তুতির একটি সাধারণ ফর্মুলা নিচে দেয়া হলো :

উপাদানসমূহ	% পরিমাণ	উপাদানের কার্যকারিতা
* ১. টেলক্ বা, অর্দ্র ম্যাগনেসিয়াম সিলিকেট (মূল উপাদান)	92 ভাগ	ত্বক পিচ্ছিলকারক ও ঘর্মরোধক
২. জিঙ্ক বা, ম্যাগনেসিয়াম স্টিয়ারেট (অ্যান্টিসেপটিক)	3 ভাগ	ত্বকে ঘামাচি ও rash প্রতিরোধক
৩. ম্যাগনেসিয়াম বা, ক্যালসিয়াম কার্বনেট (আয়তন-বৃদ্ধিকারক)	4.5 ভাগ	পাউডারকে ঝড় ঝড়ে করে বা ফুলিয়ে তোলে
৪. মেনথল (সুগন্ধ বস্তু)	0.5 ভাগ	সুগন্ধবস্তু মনে প্রশান্তি আনে

টেলকম পাউডার প্রস্তুত পদ্ধতি :

(১) নির্দিষ্ট অনুপাতে টেলক্ ও জিঙ্ক স্টিয়ারেট মিশিয়ে গুঁড়া করার মেশিনে সূক্ষ্ম গুঁড়া করা হয়।

(২) ম্যাগনেসিয়াম কার্বনেটকে সূক্ষ্মভাবে গুঁড়া করার পর এর মধ্যে স্প্রে করে 0.5% সুগন্ধ বস্তু মেনথল মিশানো হয় এবং কিছুক্ষণ রেখে দেয়া হয়।

(৩) এরপর উভয় পাউডার মিশ্রণকে ভালোভাবে মিশানোর পর সূক্ষ্ম চালনি (200 জালিওয়ালা বা 200 mesh এর মাধ্যমে) বা পরিষ্কার পাতলা কাপড়ের মাধ্যমে চালনে সূক্ষ্ম পাউডার মিশ্রণ পাওয়া যায়। এটিই হয়ে গেল টেলকম পাউডার। এটিকে প্লাস্টিকের বোতলে ভরে লেবেলসহকারে বাজারজাত করা হয়।

ব্যবহারে সতর্কতা : টেলকম পাউডার সূক্ষ্ম কঠিন বস্তু। অ্যাসবেস্টস গুঁড়ার মতো টেলক গুঁড়া প্রশ্বাসের মাধ্যমে ফুসফুসে বেশি প্রবেশ করলে ফুসফুসে প্রদাহ সৃষ্টির সাথে কফ সৃষ্টি ও শ্বাস-প্রশ্বাসে বিঘ্ন ঘটে।

### বেবী পাউডার প্রস্তুতি (Baby Powder Preparation)

(ক) বড়দের ব্যবহৃত টেলকম পাউডার এবং শিশুদের ব্যবহৃত পাউডার এক নয়। কারণ শিশুদের ত্বক অতি কোমল এবং অধিক সংবেদনশীল। তাই শিশুদের বেবী পাউডার ও সাধারণ টেলকম পাউডারের উপাদানে কিছু তারতম্য বা পার্থক্য আছে।

বেবী পাউডারে বাধ্যতামূলক একটি অ্যান্টিসেপটিক এবং খুব হালকা সুগন্ধ দ্রব্য মিশানো হয়। বেবী পাউডারে অ্যান্টিসেপটিকরূপে বোরিক এসিড পাউডার ব্যবহৃত হয়। Diaper ব্যবহারে বেবীর প্রস্রাবের স্থান ও মলদ্বার প্রায় ভিজা থাকে। ফলে ঐ স্থানে rash বা লালচে প্রদাহ ভাব হয়। এ rash নিবারণে অ্যান্টিসেপটিক বোরিক এসিড পাউডার ভূমিকা রাখে। এছাড়া জিঙ্ক স্টিয়ারেট অথবা ম্যাগনেসিয়াম স্টিয়ারেট ব্যবহৃত হয়; এটি পাউডারের পানি শোষণ ক্ষমতা বাড়ায়। তাই এ উপাদান দুটি ব্যবহৃত হয় 3% থেকে 5% এর মধ্যে। এর ফলে বেবী পাউডার অত্যন্ত মসৃণ, পিচ্ছিল ও গায়ে এঁটে থাকার গুণ সম্পন্ন হয়। জিঙ্ক স্টিয়ারেটের বদলে লিথিয়াম স্টিয়ারেট অথবা অলিভ অয়েলও ব্যবহৃত হয়। বেবী পাউডারে 2% থেকে 5% জিঙ্ক অক্সাইড, 0.5% থেকে 1.5% স্টিরাইল অ্যালকোহল মিশ্রিত করলে ঐ পাউডার সুন্দর কমনীয় গুণ সম্পন্ন হয়।



৫৭৮

রসায়ন-প্রথম পত্র

(খ) বেবী পাউডার প্রস্তুতির একটি ফর্মুলা নিচে দেয়া হলো :

উপাদানসমূহ	% পরিমাণ	উপাদানের কার্যকারিতা
* (১) টেলক (মূল উপাদান, পিচ্ছিলকারক ও ঘর্মরোধক)	83.5 ভাগ	(১) ত্বকে পিচ্ছিল ও ঘর্ম রোধ করে
(২) ম্যাগনেসিয়াম স্টিয়ারেট (অ্যান্টিসেপ্টিক)	5.0 ভাগ	(২) ঘামাচি ও ত্বকে rash রোধ করে
* (৩) বোরিক এসিড পাউডার (অ্যান্টিসেপ্টিক)	2.5 ভাগ	(৩) diaper rash দূর করে
(৪) ম্যাগনেসিয়াম কার্বনেট (পাউডার হালকা রাখে)	5.0 ভাগ	(৪) পাউডার ঝড় ঝড়ে বা ফুলিয়ে তোলে
(৫) জিঙ্ক অক্সাইড (ত্বকের কোমলতা বর্ধক)	3.0 ভাগ	(৫) ত্বকে আরাম দেয়, ত্বক শুষ্ক রাখে
(৬) স্টিরাইল অ্যালকোহল (ত্বকের কোমলতা বর্ধক)	1.0 ভাগ	(৬) ত্বক পরিষ্কার ও সুগন্ধ করে

প্রস্তুত পদ্ধতি : টেলকম পাউডার প্রস্তুতির অনুরূপ।

## ৫.১৩.৪ স্নো বা, ভ্যানিশিং ক্রিম প্রস্তুতি

## Snow or, Vanishing Cream Preparation

স্নো বা, ভ্যানিশিং ক্রিম হলো একটি প্রলেপন জাতীয় আর্দ্র-ক্রিম যা ত্বকের তেলতেলে ভাব দূর করে ত্বকে আকর্ষণীয় ও লাভণ্যময় করে থাকে। এটি ত্বকে সহজে মিশে অদৃশ্য হয়ে পড়ে এবং ত্বকের ওপর আঠালো প্রলেপ সৃষ্টি করে, তাই এটিকে ভ্যানিশিং ক্রিমও বলে। গরমের দিনে ভ্যানিশিং ক্রিম ব্যবহার করলে আরামপ্রদ হয়। এটি তৈলাক্ত ত্বকের বেশ উপযোগী। ত্বকের ওপর স্নো বা, ভ্যানিশিং ক্রিম অনেকক্ষণ স্থায়ী হয়; এটি ত্বকে নরম ও কোমল রাখে। ভ্যানিশিং ক্রিম হলো রাসায়নিকভাবে তেল-পানি বা oil in water (O/W) ইমালশন। নিচে স্নো বা ভ্যানিশিং ক্রিম তৈরির একটি সহজ ফর্মুলা ও প্রস্তুত পদ্ধতি দেয়া হলো :

স্নো বা ভ্যানিশিং ক্রিম তৈরির সহজ ফর্মুলা :

[ক]	১। গ্লিসারিন মনোস্টিয়ারেট	...	8 ভাগ
	২। পলি ইথাইলিন গ্রাইকল	...	12 ভাগ
	৩। সয়াবিন অয়েল	...	8 ভাগ
	৪। স্টিরাইল অ্যালকোহল	...	2 ভাগ
	৫। আইসোপ্রোপাইল লিনোলেট	...	1 ভাগ
[খ]	৬। সোডিয়াম লরাইল সালফেট	...	1 ভাগ
	৭। গ্লিসারিন	...	8 ভাগ
	৮। পাতিত পানি	...	60 ভাগ
[গ]	৯। সুগন্ধি	...	10 ফোঁটা

MCQ-5.13 : টেলকম পাউডার প্রস্তুতির মূল উপাদান কোনটি?

[কু. বো. ২০১৫]

(ক)  $3MgO.4SiO_2.H_2O$ (খ)  $Na_2B_4O_7.10H_2O$ (গ)  $C_3H_8O_3$ (ঘ)  $CaCO_3.MgCO_3$ 

স্নো বা, ভ্যানিশিং ক্রিম প্রস্তুত পদ্ধতি :

১। একটি পাত্রে (ক) গ্রুপের উপাদানসমূহ ও অপর একটি পাত্রে (খ) গ্রুপের উপাদানসমূহ নিয়ে এদেরকে  $80^{\circ}-85^{\circ}C$  তাপমাত্রায় গলানো হয়। ফলে ভ্যানিশিং ক্রিমের প্রয়োজনীয় যথাক্রমে 'তৈল দশা' বা, oily phase (ক) এবং 'জলীয় দশা' বা, aqueous phase (খ) তৈরি করা হলো।

রসায়ন-১ম (হাসান)-৩৭(খ)



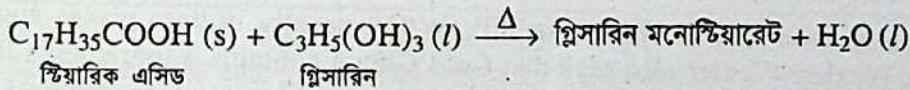
২। এখন (ক) গ্রুপের গলিত তরলের মধ্যে (খ) গ্রুপের তরলকে ধীরে ধীরে ঢেলে হাতের ইলেকট্রিক্যাল মিক্সিং মেশিন দ্বারা একদিকে উত্তমরূপে অনবরত নাড়তে হয়। মিশ্রণটি ক্রমে গাঢ় হয়ে ওঠে। এরূপে উভয় তরলের ঘনিষ্ঠ মিশ্রণে 'তেল-পানি' বা, oil in water (O/W) ইমালশন (emulsion) তৈরি হয়।

৩। এরপর আলাদা পাত্রে ঐ মিশ্রণকে ঢেলে ও ঠাণ্ডা করে 35°C তাপমাত্রায় সুগন্ধি মেশানো হয়। এরূপে প্রস্তুত স্নো কাচের কৌটায় ভরে প্যাকিং করে বাজারজাত করা হয়।

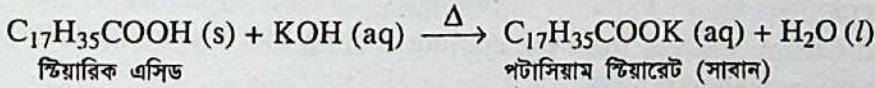
### ৫.১৩.৪(ক) স্টিয়ারিক এসিড থেকে ভ্যানিশিং ক্রিম প্রস্তুতি [Oil in Water (O/W) Emulsion] Preparation of Vanishing Cream from Stearic acid

বাজারে ভ্যানিশিং ক্রিম তৈরি করার বিভিন্ন ফর্মুলা ও প্রস্তুত পদ্ধতি আছে। কঠিন স্টিয়ারিক এসিড (C<sub>17</sub>H<sub>35</sub>COOH) থেকেও ভ্যানিশিং ক্রিম প্রস্তুত করা হয়। এক্ষেত্রে অধিক পরিমাণ সাদা বর্ণের দানাদার স্টিয়ারিক এসিড (মোট মিশ্রণের 20%) এর সাথে প্রথমে অল্প পরিমাণে গ্লিসারিন (মিশ্রণের 2.5%) এবং পরে অল্প পরিমাণে সবল ক্ষার কস্টিক পটাস (KOH) [মিশ্রণের 1.5%] মিশ্রিত করে প্রতি ক্ষেত্রে মিশ্রণটি উত্তপ্ত করা হয়। এর ফলে যথাক্রমে আংশিক এস্টারিকরণ ও আংশিক স্যাপোনাইফিকেশন বা সাবানায়ন প্রক্রিয়ায় 'তেল-স্তর' ও 'জলীয়-স্তর' তৈরি হয়। এ উভয় অমিশ্রণীয় স্তরকে যান্ত্রিক প্রক্রিয়ায় প্রবল আলোড়নের দ্বারা 'তেল-পানি' ইমালশনে পরিণত করা হয়; যা ভ্যানিশিং ক্রিম নামে সুপরিচিত।

(১) সংশ্লিষ্ট এস্টারিকরণে 'তেল-স্তর' গঠন : স্টিয়ারিক এসিড ও গ্লিসারিনের মধ্যে বিক্রিয়া :



(২) সংশ্লিষ্ট স্যাপোনাইফিকেশনে 'জলীয়-স্তর' গঠন : স্টিয়ারিক এসিড ও KOH এর মধ্যে বিক্রিয়া :



ভ্যানিশিং ক্রিম প্রস্তুতির প্রয়োজনীয় উপাদান ও শতকরা পরিমাণ :

১. স্টিয়ারিক এসিড [CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>16</sub>COOH] (আঃ ভর = 284) ... 20% (মিশ্রণের ভরের) = 200 g

২. গ্লিসারিন [CH<sub>2</sub>OHCHOHCH<sub>2</sub>OH] (আঃ ভর = 92) ... 2.5% (মিশ্রণের ভরের) = 25 g

অথবা, সিটাইল অ্যালকোহল [CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>14</sub>CH<sub>2</sub>OH] (আঃ ভর = 242)

অথবা, কারবিটল বা, (ইথোক্সি-ইথোক্সি) ইথানল [C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>O<sub>3</sub>] (আঃ ভর = 134)

৩. কস্টিক পটাস [KOH] (আঃ ভর = 56) ... 1.5% (মিশ্রণের ভরের) = 15 g

৪. পানি (পাতিত) ... 75.5% (মিশ্রণের ভরের) = 755 g

৫. মিথাইল প্যারাবেন (প্রিজারভেটিভ) ... 0.05% (মিশ্রণের ভরের) = 0.5 g

৬. সুগন্ধি ... 0.5% (মিশ্রণের ভরের) = 5.0 g

প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি :

(১) বিকার (1000 mL) 2টি, (২) মেজারিং সিলিডার (1000 mL) 1টি, (৩) রাফ ব্যালেন্স, (৪) গ্রাস রড, (৫) ওয়াটার বাথ, (৬) বার্নার, (৭) থার্মোমিটার (150°C)।

ভ্যানিশিং ক্রিম প্রস্তুত প্রণালি : (১) একটি বিকারে স্টিয়ারিক এসিড (200 g) ও গ্লিসারিন (25 g) নিয়ে ওয়াটার বাথে [চিত্র-১.২২] উত্তপ্ত করা হয়। তখন থার্মোমিটারটিকে বিকারের মধ্যে ঝুলিয়ে রাখা হয়। স্টিয়ারিক এসিডের গলনাঙ্ক হলো 70°C। এস্টারিকরণের জন্য মিশ্রণটিকে 80°—85°C পর্যন্ত উত্তপ্ত করা হয়। এরূপে উৎপন্ন তরল মিশ্রণটি হলো ভ্যানিশিং ক্রিমের জন্য প্রস্তুতকৃত 'তেল-স্তর' বা oily phase [A]।

(২) এরপর রাফ ব্যালেন্সে কস্টিক পটাস (KOH) এর 15 g দানা ওজন করে দ্বিতীয় 1000 mL বিকারে নিয়ে এর মধ্যে মেজারিং সিলিডারে মেপে 755 mL বিশুদ্ধ পানি যোগ করে ওয়াটার বাথে 80°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করা হয়। এ ক্ষার



দ্রবণটি পরে স্টিয়ারিক এসিডের সাথে বিক্রিয়া করে পটাসিয়াম সাবানের জলীয় দ্রবণ তৈরি হয়; যা ভ্যানিশিং ক্রিমের জন্য হলো 'জলীয়-স্তর' বা aqueous phase [B].

(৩) এখন 'তৈল স্তরের' তরল মিশ্রণ [A] এর মধ্যে ক্ষার (KOH) দ্রবণটি যোগ করার পর উত্তপ্ত মিশ্রণটিকে গ্লাস রড দিয়ে অনবরত নাড়ানো হয় যতক্ষণ না এটি ক্রিমের মতো ঘন হয়। তাপমাত্রা ধীরে ধীরে হ্রাস পেয়ে  $40^{\circ}-35^{\circ}\text{C}$  হলে তখন প্রিজারভেটিভ মিথাইল প্যারাবেন (0.5 g) ও সুগন্ধি মেশানো হয়। তখন মিশ্রণটি সাদা ক্রিমের মতো গাঢ় হয়।

(৪) এরপর ভ্যানিশিং ক্রিমটিকে কাচের কৌটায় ভর্তি করা হয়।

### ৫.১৩.৫ কোল্ড ক্রিম প্রস্তুতি

#### Cold Cream Preparation

কোল্ড ক্রিম শীতকালে ও শুষ্ক আবহাওয়ায় ব্যবহৃত হয়। কোল্ড ক্রিম হলো রাসায়নিকভাবে 'পানি-তৈল' ইমালশন [water in oil (W/O) emulsion]। এটি ত্বকে ব্যবহার করলে ত্বক থেকে তাপ শোষণ করে ইমালশনের পানি ড্রপলেটস (droplets) ও সুগন্ধি বস্তু বাষ্পীভূত হতে থাকে। তখন ত্বকের তাপমাত্রা কমে ও শীতলতা অনুভূত হয়। এজন্য এ ক্রিমকে Cold Cream বলে। এ ক্রিম ত্বকের পানি-শূন্যতা রোধ করে। এ ক্রিম ত্বকের ওপর দীর্ঘক্ষণ স্থায়ী হয় এবং ত্বককে শীতের প্রভাব থেকে মুক্ত এবং কোমল ও মসৃণ রাখে। কোল্ড ক্রিমের মূল উপাদান হলো- তৈল, মোম, বোরাক্স ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) ও পানি। এছাড়া এতে গ্লিসারিন ও সুগন্ধি দেয়া হয়।

'Cold-Cream is an emulsion of 'Water in oil' (W/O), usually in bees waxes and various fragrances' – says Wexler. Wexler also says that Cold Cream contains 4 ingredients like— (1) water, (2) oil, (3) emulsifier, and a (4) thickening agent; then more ingredients such as preservative and fragrances.

'The name 'Cold Cream' derives from the cooling feeling that the cream leaves on skin, after water and fragrances evaporate.'

কোল্ড ক্রিম তৈরির দুটি পৃথক ফর্মুলা দেয়া হলো :

কোল্ড ক্রিম প্রস্তুতির ১ম ফর্মুলা :

[ক]	১। মিনারেল অয়েল (লুব্রিকেটিং এজেন্ট) (বা তরল প্যারAFFIN)	...	55	গ্রাম
	২। হোয়াইট বি-ওয়াক্স (গাঢ়কারী এজেন্ট)	...	15	গ্রাম
	৩। গ্লিসারিন (থ্রলেপন এজেন্ট)	...	4	গ্রাম
[খ]	৪। বোরাক্স (অ্যান্টিসেপ্টিক, প্রিজারভেটিভ)	...	2	গ্রাম
	৫। পাতিত পানি	...	24	গ্রাম
[গ]	৬। সুগন্ধি রোজমেরি (এসেনসিয়াল অয়েল)	...	0.4	গ্রাম



চিত্র-৫.২৫ : কোল্ড ক্রিম

কোল্ড ক্রিম প্রস্তুতির ২য় ফর্মুলা :

[ক]	১। বাদাম তৈল (almond oil)	...	55	গ্রাম
	২। হোয়াইট বি-ওয়াক্স	...	15	গ্রাম
[খ]	৩। বোরাক্স (প্রিজারভেটিভ)	...	2	গ্রাম
	৪। রোজ ওয়াটার (পাতিত পানির বিকল্প)	...	24	গ্রাম
[গ]	৫। মিন্ট অয়েল (সুগন্ধি তৈল)	...	0.4	গ্রাম

MCQ-5.14 : বেবী পাউডারে কোন্টি অ্যান্টিসেপ্টিকরূপে কাজ করে? [সি. বো. ২০১৫]

(ক) ZnO (খ) টেল্ক  
(গ)  $\text{MgCO}_3$  (ঘ) বোরিক পাউডার

[\* বোরাক্স ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) উপাদানটি Bees Wax এর fatty acid এর সাথে বিক্রিয়ায় emulsion তৈরি করে ক্রিমকে stable করে থাকে।]



## প্রস্তুত পদ্ধতি :

- ১। [ক] এর উপাদান ও [খ] এর উপাদানগুলোকে দুটি পাত্রে আলাদাভাবে 80°-90°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করে গলাতে হয়। এর ফলে কোল্ড ক্রিমের প্রয়োজনীয় 'তৈল-দশা' বা, oily phase [ক] এবং 'জলীয়-দশা' বা, aqueous phase [খ] তৈরি করা হলো। উভয় তরলের ঘনিষ্ঠ মিশ্রণে 'পানি-তৈল' বা, water in oil (W/O) ইমালশন তৈরি করা হবে।
- ২। এখন তরল [ক] এর মধ্যে [খ] তরলকে ধীরে ধীরে ঢেলে একদিকে হাতের ইলেকট্রিকেল মিক্সিং মেসিন দ্বারা ভালোভাবে নাড়তে হবে। এরূপে সমসত্ত্ব মিশ্রণ তৈরি হয়।
- ৩। এরপর মিশ্রণটিকে আলাদা পাত্রে ঢেলে ঠাণ্ডা করে 35°C তাপমাত্রায় সুগন্ধি তেল মিশাতে হয়।
- ৪। সবশেষে পচন নিবারক (preservative) হিসেবে 0.02% প্রোপাইল প্যারাহাইড্রক্সি বেনজয়েট এবং 0.15% মিথাইল প্যারাহাইড্রক্সি বেনজয়েট মেশানো যায়।
- ৫। এরপর-কাচের কৌটায় অথবা প্লাস্টিকের টিউবে পুরে মুখ বন্ধ অবস্থায় ব্যবহার বা বাজারজাত করা হয়।

## অধিক জেনে নাও :

\* ভ্যানিশিং ক্রিম ও কোল্ড ক্রিমের মধ্যে বৈশিষ্ট্যপূর্ণ পার্থক্যসমূহ :

ভ্যানিশিং ক্রিম (বা স্নো)	কোল্ড ক্রিম
১. সংযুক্তি : স্টিয়ারিক এসিড ও গ্লিসারিন সৃষ্ট গ্লিসারিন মনোস্টিয়ারেট 'তৈল-স্তর' এবং (60—75%) পানিতে পটাসিয়াম সাবান (KOH ও Stearic acid হতে সৃষ্ট) বা সোডিয়াম লরাইল সালফেট সাবান ও অ্যালকোহলের মিশ্রণটি হলো 'জলীয়-স্তর'।	১. সংযুক্তি : মিনারেল অয়েল বা তরল প্যারাক্সিন, মৌমাছির সাদা মোম (White Bees Wax) ও গ্লিসারিন সমন্বিত 'তৈল-স্তর' এবং (17—25%) পানিতে বোরাক্স (Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ) এর দ্রবণ হলো 'জলীয় স্তর'; বোরাক্স Bees Wax এর fatty acid এর সাথে বিক্রিয়ায় emulsion তৈরি করে ক্রিমকে স্থায়ী করে।
২. ইমালশনের প্রকৃতি : ভ্যানিশিং ক্রিম হলো 'তৈল-পানি' (O/W) ইমালশন। এক্ষেত্রে তৈলের পরিমাণ কম; পানির পরিমাণ বেশি অর্থাৎ তৈলের বিন্দুসমূহ (droplets) পানির মাধ্যমে বিস্তারিত থাকে।	২. ইমালশনের প্রকৃতি : কোল্ড ক্রিম হলো 'পানি-তৈল' (W/O) ইমালশন। এক্ষেত্রে পানির পরিমাণ কম; তৈলের পরিমাণ বেশি অর্থাৎ পানির বিন্দুসমূহ (droplets) তৈলের মাধ্যমে বিস্তারিত থাকে।
৩. ব্যবহার : গ্রীষ্মকালে ও বায়ুতে আর্দ্রতা বা জলীয়-বাষ্প যখন বেশি থাকে; তখন ভ্যানিশিং ক্রিম ব্যবহার আরামদায়ক। তখন ত্বকের তেলতেলে ভাব কমিয়ে ত্বককে সতেজ ও আকর্ষণীয় করে তোলে।	৩. ব্যবহার : শীতকালে ও শুষ্ক আবহাওয়ায় অর্থাৎ বাতাসে জলীয় বাষ্প যখন কম থাকে; তখন কোল্ড ক্রিম ব্যবহৃত হয়। কোল্ড ক্রিম ত্বকের ওপর মোমের পাতলা আস্তরণ সৃষ্টি করে ত্বকের পানি বের হতে বাধা দেয়; ত্বককে নরম ও মসৃণ রেখে ত্বক-ফাঁটা রোধ করে।
৪. বিশেষত্ব : Moisturizer হিসেবে গ্লিসারিন আর্দ্র-বায়ু থেকে জলীয়-বাষ্প H-বন্ধন দ্বারা আবদ্ধ করে ত্বকের আর্দ্রতা বজায় রাখে। এটিই গ্লিসারিনের মূল বৈশিষ্ট্য। [glycerine is a marvellous Emollient acting as humectant, lubricant and occludent.]	৪. বিশেষত্ব : মোম ও বোরাক্স কোল্ড ক্রিমে ব্যবহৃত হওয়ায় ত্বকের ওপর মোমের আস্তরণ ত্বকের পানি বের হতে বাধা দেয়; বোরাক্স মোমের ফ্যাটি এসিডসহ বিক্রিয়ায় Na-সাবান তৈরি করে সৃষ্ট ইমালশনকে স্থায়ীত্ব দেয়। গ্লিসারিন যথাসম্ভব moisturizer রূপে কাজ করে ত্বককে কোমল ও মসৃণ রাখে।

## ৫.১৩.৬ লিপস্টিক প্রস্তুতি

## Lipstick Preparation

আধুনিক কসমেটিক লিপস্টিক 1883 খ্রিস্টাব্দে নেদারল্যান্ডের Amsterdam এ অনুষ্ঠিত 'World Exhibition'-এ প্রদর্শিত হয় এবং 1884 খ্রিস্টাব্দে ফ্রান্সে বাণিজ্যিকভাবে লিপস্টিক উৎপাদন শুরু হয়। তখন লিপস্টিকের উপাদান রূপে Bees Wax, Castor oil ও Deer tallow ব্যবহৃত হতো। বর্তমানে লিপস্টিকে Bees Wax, Castor oil-এর সাথে



moisturizer রূপে অ্যালকোহল, পিগমেন্টরূপে  $TiO_2$ , iron oxides বিভিন্ন ধাতব অক্সাইড, রঞ্জক বা ডাই (dye) রূপে কসমেটিক কালার্স ও সুগন্ধি ইত্যাদি ব্যবহৃত হয়।

উল্লেখ্য লিপস্টিকের মূল উপাদান মোম (Wax) ও তৈল (oil) এর সংযুক্তির সঠিক অনুপাতের ওপর লিপস্টিকের গুণাগুণ নির্ভর করে। মোম লিপস্টিকের দৃঢ়তা বা কাঠামো দেয়; এবং তৈল যেমন কাষ্টর অয়েল লিপস্টিকে চাক্চিক্য বা গুঞ্জল্য আনে। কাষ্টর অয়েলের সান্দ্রতা বা আঠালো ধর্ম (viscosity) অন্যান্য তৈলের চেয়ে বেশি হওয়ায় এটি লিপস্টিকের অন্যান্য উপাদানগুলোকে আকৃষ্ট রাখে। একরূপে সুগন্ধ মিশ্রিত অয়েল ও ওয়াস্ক বা মোম-এর মধ্যে ডাই বা রঞ্জক ও পিগমেন্ট মিশিয়ে মহিলাদের লিপস্টিক প্রস্তুত করা হয়। টিউবে লিপস্টিক ভর্তি থাকে। টিউবটি কভার ও বেস-এ দুটি অংশে বিভক্ত থাকে। আবার বেসটি এককেন্দ্রিক দুটি টিউবে ট্যুস্টিং অথবা স্লাইডিং পদ্ধতিতে অন্তস্থ থাকে।

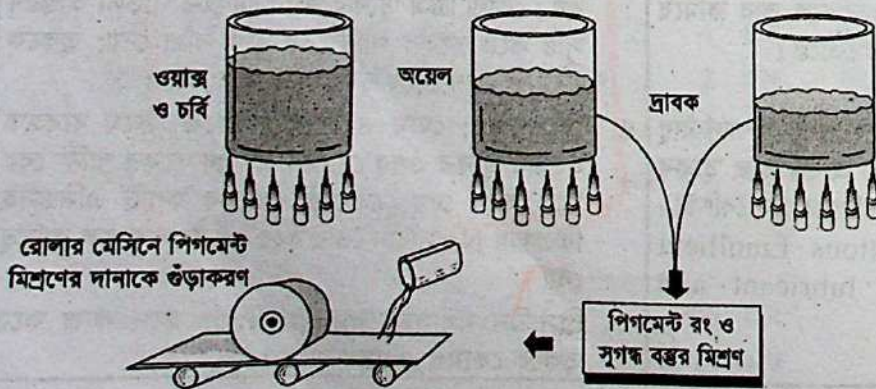
লিপস্টিকের প্রধান উপাদানসমূহ ও শতকরা পরিমাণ :

মূল উপাদান	উপাদানের নাম	শতকরা পরিমাণ
* (১) ওয়াস্ক ও চর্বি :	বি-ওয়াস্ক, কেনডেলিলা ওয়াস্ক (বা কেমাউবা ওয়াস্ক) :	40%
(২) অয়েল :	কাষ্টর অয়েল, লিনোলিন অয়েল, ভিজিটেবল অয়েল, মিনারেল বা পেট্রোলিয়াম অয়েল :	34%
(৩) অ্যালকোহল :	ইথানল, গ্লিসারল (ময়শ্চারাইজার) :	20%
(৪) পিগমেন্ট ও রঞ্জক (রং) :	পিগমেন্ট রেড-40, কারমিন :	5%
(৫) সুগন্ধ বস্তু :	1% এর কম, ডাইপ্রোপালিন অ্যালকোহল, ডাইপ্রোপালিন গ্রাইকল :	1%

প্রস্তুত পদ্ধতি : লিপস্টিক উপাদান পদ্ধতি তিন অংশে বিভক্ত। যেমন;

- উপাদানগুলোকে বিগলিত করে মিশ্রণ প্রস্তুতি;
- লিপস্টিক মিশ্রণকে টিউবে ভর্তিকরণ;
- প্যাকেজিং ও বাজারজাতকরণ :

১। প্রথমে চিত্র মতে, স্টিল বা চীনা মাটির তিনটি পাত্র নেয়া হলো। ১ম পাত্রে ওয়াস্ক বা মোম ও চর্বি মিশ্রণ-4 k g তাপ দিয়ে গলানো হয়। ২য় পাত্রে তেল বা অয়েল 3.4 k g ও ৩য় পাত্রে দ্রাবক অ্যালকোহল 2 L পরিমাণ নিয়ে গরম করা হলো।



চিত্র-৫.২৬ : লিপস্টিকের মিশ্রণ প্রস্তুতি।

MCQ-5.15 : লিপস্টিকের মূল উপাদান কোনটি? [চ. বো. ২০১৫]

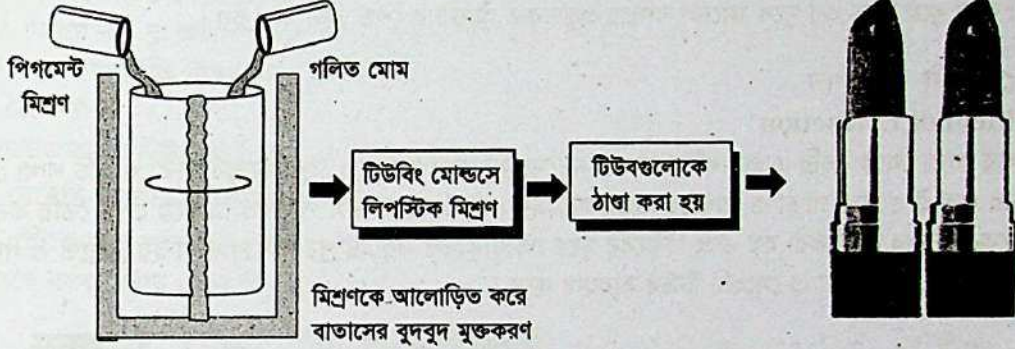
- মোম
- খনিজ তৈল
- রঞ্জক
- ভেসেলিন

২। প্রয়োজনমতো পিগমেন্ট-রং (500 g) ও প্রায় 1.0 g সুগন্ধ বস্তু ডাইপ্রোপালিন অ্যালকোহল মিশ্রণে গরম তেল ও দ্রাবক অ্যালকোহল মিশিয়ে পেস্ট তৈরি করা হয়। এ পিগমেন্ট মিশ্রণে থাকা দানাগুলোকে রোলার মেশিনে সূক্ষ্ম গুঁড়া করা হয়। পরে গরম মোম ও চর্বির মিশ্রণকে পিগমেন্ট মিশ্রণে যোগ করা হয়।



৩। এরপর লিপস্টিক মিশ্রণকে আলোড়িত করে বাতাসের বুদবুদ মুক্ত করা হয়। এখন মোল্ডস বা ছাঁচে ঠাণ্ডা করা হয়। শেষে টিউবগুলোকে ছাঁচ থেকে আলাদা করা হয়।

৪। সবশেষে লিপস্টিক লেবেলিং ও প্যাকেজিং করে বাজারজাত করা হয়।



চিত্র-৫.২৭ : লিপস্টিক মিশ্রণের প্রসেসিং।

### ৫.১৩.৭ আফটার শেভ প্রস্তুতি

#### After Shave Preparation

শেভ করার পর 'আফটার শেভ' লোশন, জেল, অথবা দ্রবণরূপে ব্যবহৃত হয়। আফটার শেভ প্রস্তুতির মূল উপাদান হলো তিনটি। যেমন,

- \* ১। অ্যান্টিসেপটিক (Antiseptics) : ডি-ন্যাচার্ড অ্যালকোহল-৪০
- ২। ময়শ্চারাইজার (Moisturizer) : গ্লিসারিন, (বা অ্যালো ভেরা/অলিভ অয়েল)
- ৩। সুগন্ধ বস্তু (Fragrance) : স্যান্ডেলউড তেল, লবঙ্গ, দারুচিনি কমলালেবুর খোসা।

আফটার শেভ প্রস্তুতির ফর্মুলা :

আফটার শেভের উপাদানসমূহ ও শতকরা পরিমাণ :

১। ডি-ন্যাচার্ড অ্যালকোহল-৪০ (অ্যান্টিসেপটিক) ...	250 mL = 85%	
২। অলিভ অয়েল (ময়শ্চারাইজার) ...	20 mL = 7%	
৩। কমলা লেবুর খোসার টুকরা	] সুগন্ধ বস্তু	
৪। দারুচিনি		... 1/2 কাপ = 8%
৫। লবঙ্গ		... 1 picce
	... 4টি	

প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি :

১। ঢাকনিসহ গ্রাস জার	... 1L
২। গামলা	... 1
৩। ফানেল	... 1
৪। সূক্ষ্ম ছিদ্রযুক্ত চালনি	... 1
৫। আফটার শেভ বোতল	...

আফটার-শেভ প্রস্তুত পদ্ধতি :

(১) উপাদানসমূহ গ্রাস জারে নিয়ে মুখে ঢাকনি আটকিয়ে দেয়া হয়।



চিত্র-৫.২৮ : আফটার শেভ।



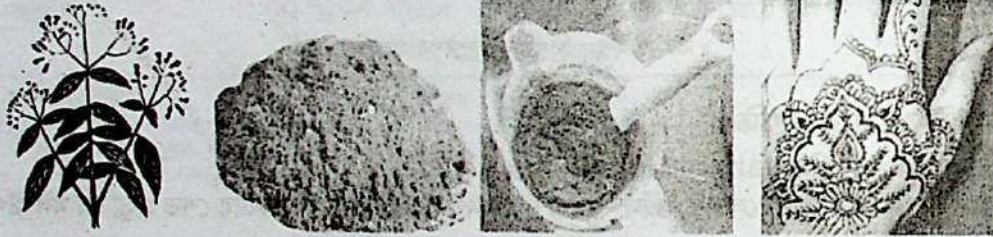
(২) জারের ভেতরের উপাদানসমূহকে ঝাঁকিয়ে নেয়া হয়। প্রতিদিন একইভাবে মিশ্রণটি একবার করে ঝাঁকিয়ে নেয়া হয়। প্রতিদিন একইভাবে মিশ্রণটি একবার করে ঝাঁকিয়ে এক সপ্তাহ যাবৎ রেখে দেয়া হয় যেন সুগন্ধ এসেনশিয়াল অয়েল অ্যালকোহলে ব্যাপিত হতে পারে।

(৩) সূক্ষ্ম ছিদ্রের চালনি দিয়ে কঠিন বস্তুসমূহ ছেকে আফটার শেভ তরলটিকে গামলায় রাখা হয়। পুরানো আফটার শেভ বোতল ভালো করে ধুয়ে নিয়ে এর মুখে ফানেল বসিয়ে প্রস্তুতকৃত আফটার শেভ ভর্তি করা হয়।

### ৫.১৩.৮ মেহেদি নিষ্কাশন

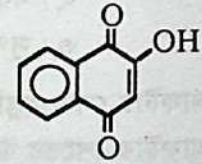
#### Mehndi Extraction

হেনাগুলোর পাতা থেকে তৈরি এ প্রসাধনীর নাম হেনা মেহেদি রাখা হয়েছে। হেনা গুলোর পাতা ও কচি শাখা থেকে রেড ডাই নিষ্কাশনের পর ঐ গুলোর পাতা ও শাখাকে গুঁড়া করা হয়। এ গুঁড়াকে গরম পানিতে মিশিয়ে পেস্ট তৈরি করা হয়। এ পেস্টকে প্রাস্টিকের টিউবে ভর্তি করা হয় এবং টিউবের মুখে কোণাকৃতির সরু ছিদ্রের ব্যবস্থা রাখা হয়। হাতে ও পায়ে বিভিন্ন নকশার অলংকরণ কাজে মেয়েরা এ মেহেদি টিউব ব্যবহার করে।



চিত্র-৫.২৯ : মেহেদি

মেহেদি পাতার নির্ঘাসে প্রধান উপাদান অল্পধর্মী লাসোন (Lawson) নামক 2-হাইড্রক্সি-1,4-ন্যাথাকুইনোন জৈব যৌগ থাকে। এটি চুল ও চাপড়ার বহিঃস্তরের প্রোটিনের অ্যামিনো গ্রুপের সাথে যুক্ত হয়ে গাঢ় বাদামি সুন্দর রং সৃষ্টি করে। লাসোন গরম পানিতে এবং অম্লীয় দ্রবণে সহজে দ্রবণীয়। তাই গরম পানিতে মেহেদি পেস্ট তৈরি করে শেষে অম্লীয় করার জন্য সায়ট্রিক এসিড বা এডিপিক এসিড যোগ করা হয়। হাতে ব্যবহারের জন্য মেহেদি পেস্টের pH মান 5.5 হলে এটির কার্যকারিতা বৃদ্ধি পায়।



'লাসোন' এর গঠন

মেহেদির ব্যবহার : বিভিন্ন অনুষ্ঠানে মেয়েরা হাতে ও পায়ে বিভিন্ন নকশার অলংকরণ কাজে মেহেদি রং ব্যবহার করে থাকে। এছাড়া হেনাগুলোর পাতা ও কচি শাখার গুঁড়া থেকে তৈরি করা ডাই বিবর্ণ চুলকে রঙিন করার জন্য ব্যবহৃত হয়। এর সাথে ইন্ডিগো, আমলা অথবা কেসিয়া ওবটাভা মিশ্রিত করে বিভিন্ন বর্ণ ও উজ্জ্বলতা সৃষ্টি করা হয়। হেনা পাউডারে নীল বা ইন্ডিগো মিশালে বাদামি বা ব্রাউন রং; আমলা মিশালে সোনালি হলুদ, উজ্জ্বলতা বৃদ্ধিসহ কুঞ্চিত হয় এবং কেসিয়া ওবটাভা মিশালে চুল মসৃণ ও চকচকে হয়।

মেহেদির মিশ্র পাউডারের সাধারণ উপাদান হলো নিম্নরূপ :

১। হেনা পাউডার	.....	20 g
২। লেমন জুস বা টক ফলের রস (অথবা সায়ট্রিক এসিড)	.....	$\frac{1}{4}$
৩। প্রাকৃতিক উদ্ভিজ্জ রং যেমন নীল, আমলা বা কেসিয়া ওবটাভা	.....	সামান্য
৪। এসেনশিয়াল অয়েল যেমন জিনজার, সিনামন বা দারুচিনি, লেভেভার	.....	$1\frac{1}{2}$ কাপ
৫। ময়শ্চারাইজার যেমন অলিভ অয়েল, ডিম।	.....	1 চামচ



হেনাপেষ্ট প্রস্তুত প্রণালি :

- ১। প্রথমে 1 কাপ পানিতে নীল বা আমলা গুঁড়া নিয়ে ভালোভাবে ফুটিয়ে রেখে দাও।
- ২। একটি প্লাস্টিকের গামলায় হেনা পাউডার ও লেবুর রসকে (অথবা সায়ট্রিক এসিড) ভালোভাবে নেড়ে মিশাও।
- ৩। হেনা পাউডার ও লেবুর রসের মিশ্রণে ডিম ভেঙ্গে দিয়ে মিশিয়ে ঘন পেষ্ট তৈরি না হওয়া পর্যন্ত নাড়তে থাক।
- ৪। এ মিশ্রণে নীল বা আমলার মিশ্রণ ও প্রয়োজনমতো এসেনশিয়াল অয়েল যেমন দারুচিনি অয়েল যোগ কর।
- ৫। এবার গামলাভর্তি মিশ্রণটিকে ঢাকনি দিয়ে কয়েক ঘণ্টা রেখে দাও। ঘন পেষ্টের মতো হলে ফ্রিজে ঠাণ্ডা অবস্থায় রেখে দাও।
- ৬। প্রয়োজনমতো টিউব ভর্তি করে বাজারজাত করতে পারো।

চুলে মেহেদি লাগানোর প্রক্রিয়া :

ছোট বাটিতে হেনা পেষ্ট অল্প পরিমাণে নিয়ে এর মধ্যে লেবুর রস (অথবা সায়ট্রিক এসিড) মিশানো হয়। ব্রাশ দিয়ে চুলে লাগিয়ে চুলকে কাপড় দিয়ে ঢেকে কিছু সময় শুকাতে দাও। শেষে শ্যাম্পু দিয়ে ধুয়ে নিতে হয়। মেহেদির রঙে চুল রঙিন হয়ে ওঠে।

### ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : দুটি টয়লেট্রিজ উৎপাদন

পরীক্ষা নং-১৬

তারিখ : .....

পরীক্ষার সময় : ১ পিরিয়ড

৫.১৪.১ পরীক্ষার নাম : কোল্ডক্রিম/স্নো প্রস্তুতি

Cold Cream/Snow preparation

(ক) উদ্দেশ্য : সাধারণ প্রসাধন সামগ্রী তৈরি করার অভিজ্ঞতা অর্জন।

(খ) কোল্ডক্রিম-এর উপাদান ও প্রয়োজনীয় বস্তু : কোল্ডক্রিম তৈরির ফর্মুলা :

(A) (১) বাদাম তৈল (almond oil) :	(লুব্রিকেটিং এজেন্ট)	... 55 g	এ অনুপাতে দ্বিগুণ, তিনগুণ করে নিয়ে বেশি পরিমাণে তৈরি করা যাবে।
(২) হোয়াইট বি-ওয়াস	: (মৌচাক মোম) (জমাট বাঁধার জন্য)	... 15 g	
(B) (৩) বোরাক্স	: (অ্যান্টিসেপটিক প্রিজারভেটিভ)	... 2 g	
(৪) রোজ ওয়াটার	: (সুগন্ধি)	... 24 g	
(৫) গ্লিসারিন	: (জলীয় বাষ্প শোষক)	... 4 g	
(C) (৬) মিন্ট ওয়েল	: (সুগন্ধি)	... 0.4 g	

(গ) প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) বিকার ২টি, (২) মিক্সিং মেশিন, (৩) বুনসেন বার্নার বা স্পিরিট ল্যাম্প, (৪) প্লাস্টিকের টিউব বা কাচের কৌটা।

(ঘ) কার্যক্রম : ১। [A] গ্রুপের উপাদান (বাদাম তৈল ও ওয়াস) এবং [B] গ্রুপের উপাদান (বোরাক্স, রোজ ওয়াটার, গ্লিসারিন) গুলোকে দুটি বিকারে আলাদাভাবে 80°-90°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করে গলাতে হবে।

২। এখন [A] এর তরলের মধ্যে [B] এর তরল ধীরে ধীরে ঢেলে মিক্সিং মেশিন দ্বারা নেড়ে সমসত্ত্ব মিশ্রণ তৈরি করা হয়।

৩। এখন মিক্সিং মেশিন থেকে মিশ্রণটিকে আলাদা পাত্রে ঢেলে ঠাণ্ডা করে 35°C এ সুগন্ধি তৈল মিশানো হয়। এটিই কোল্ডক্রিম।

৪। এরপর কাচের কৌটায় অথবা প্লাস্টিকের টিউবে পুরে মুখ বন্ধ করা হয়।

MCQ-5.16 : কোল্ড ক্রিমে লুব্রিকেটিং এজেন্টরূপে ব্যবহৃত হয় কোনটি? [সি. বো. ২০১৫]  
(ক) তরল প্যারাফিন (খ) গ্লিসারিন  
(গ) মোম (ঘ) প্রোপানল



৫৮৬

রসায়ন-প্রথম পত্র

পরীক্ষা নং-১৭

তারিখ : .....

সময় : ১ পিরিয়ড

৫.১৪.২. পরীক্ষার নাম : আফটার শেভ লোশন প্রস্তুতি  
After-shave Preparation

(ক) উপাদানসমূহ :

(১) রেকটিফাইড স্পিরিট	... 60 mL	(৪) মেহুল	... 0.1 g
(২) সরবিটল	... 5.0 g	(৫) পারফিউম অয়েল	... 1.0 g
(৩) বোরিক এসিড	... 2.0 g	(৬) পাতিত পানি	... 32 mL

(খ) প্রয়োজনীয় সরঞ্জাম : (১) বিকার (500 mL) ... ১টি, (২) গ্লাস রড,  
(৩) মেজারিং সিলিন্ডার, (৪) ব্যালেস।

- (গ) কার্যক্রম : (১) পানি বাদে অন্যান্য উপাদান (১ – ৪ নং) সমূহ মেপে নাও এবং 500 mL বিকারের মধ্যে রাখ।  
(২) গ্লাস রড দিয়ে বিকারের উপাদানগুলোকে ভালোভাবে নেড়ে মিশাও।  
(৩) মেজারিং সিলিন্ডার দ্বারা 32 mL পানি মেপে বিকারের মিশ্রণে যোগ করে গ্লাস রড দিয়ে নেড়ে মিশাও।  
(৪) অদ্রবণীয় বস্তু থাকলে প্রয়োজন হলে ফিল্টার করে নাও।  
(৫) পরিষ্কার কাচের শিশিতে প্রাপ্ত দ্রবণ ভর্তি করে মুখ বন্ধ কর। এটি তোমার তৈরি করা আফটার শেভ।

পরীক্ষা নং-১৮

তারিখ : .....

সময় : ১ পিরিয়ড

৫.১৪.৩. পরীক্ষার নাম : গোলাপজল প্রস্তুতি  
Rose-Water Preparation

[শিক্ষার্থী কলেজ ল্যাবরেটরিতে গোলাপজল প্রস্তুত করতে পারবে।]

(ক) উপাদানসমূহ : (১) গোলাপ ফুল - ২০টি, (২) পানি

(খ) প্রয়োজনীয় সরঞ্জাম : (১) পাতন ফ্লাস্ক, (২) লিবিগ শীতক, (৩) স্টিম জেনারেটর, (৪) স্ট্যান্ড-ক্ল্যাম্প,  
(৫) পৃথকীকরণ ফানেল, (৬) বার্নার, ত্রিপদী, তারজালি, গ্লাস বোতল।

(গ) কার্যক্রম : (১) একটি 500 mL আয়তনের পাতন ফ্লাস্কে গোলাপের পাপড়িগুলো নিয়ে এর মধ্যে 250 mL পানি যোগ কর।

(২) পাতন ফ্লাস্কটিকে স্ট্যান্ডের সাথে আটকানোর পর লিবিগ শীতক গ্রাহক ফ্লাস্কে ও স্টিম জেনারেটর-এর নির্গম নলের সাথে যুক্ত কর। [চিত্র-৫.১৭ দেখ।]

(৩) এখন স্টিম জেনারেটরকে পানিপূর্ণ করে উত্তপ্ত কর। পাতন ফ্লাস্কে স্টিম আসা শুরু হলে পাতন ফ্লাস্কটিকেও উত্তপ্ত করে। পাতন ফ্লাস্কে স্টিম ঢোকা ও স্টিম বের হওয়া সমান পরিমাণে থাকে এ মত তাপ দেয়ার ব্যবস্থা কর।

(৪) গ্রাহক ফ্লাস্কে পাতিত পানির পরিমাণ প্রায় 100 mL জমা হলে বুনসেন বার্নার নিভিয়ে পাতন প্রক্রিয়া বন্ধ কর। গ্রাহক ফ্লাস্কে জমা হওয়া তরলটি সুগন্ধ হয়েছে কিনা স্বাণ নাও। সুগন্ধযুক্ত এই পাতিত পানি হলো 'গোলাপজল'। এই গোলাপজলকে গ্লাস বোতলে পূর্ণ কর। তোমার শিক্ষককে এই প্রস্তুত করা গোলাপজল দেখাও।



শিক্ষার্থীর কাজ-৫.৮ : টয়লেট্রিজভিত্তিক :

প্রশ্ন-৫.২০ : (ক) টয়লেট্রিজ ও পারফিউমারি বলতে কী বোঝায়?

(খ) টেল্ক কী?

[কু. বো. ২০১৬]

(গ) টেলকম পাউডার প্রস্তুতির উপাদানসমূহ এদের শতকরা পরিমাণসহ লেখ।

(ঘ) ভ্যানিলাইং ক্রিম প্রস্তুতির উপাদানসমূহের নাম ও শতকরা পরিমাণ লেখ।

[বি. বো. ২০১৫]

(ঙ) লিপস্টিক প্রস্তুতির উপাদানসমূহের নাম ও শতকরা পরিমাণ লেখ।

(চ) আফটার শেভ প্রস্তুতির উপাদানসমূহের নাম ও শতকরা পরিমাণ লেখ।

## ৫.১৫ গ্লাস ক্লিনার প্রস্তুতি

### Preparation of Glass Cleaner

জানালার গ্লাসে ও বিভিন্ন সামগ্রীর গ্লাসে ময়লা, গিঁজ ও গুঁড়া কার্বনের কালি জমা হয়ে থাকে। তাই এসবের পরিষ্কার করার কাজে গ্লাস ক্লিনার দরকার হয়। গ্লাসের সংযুক্তিতে বিভিন্ন সিলিকেট থাকে। তাই সবল ক্ষার যেমন কস্টিক সোডা (NaOH) ও কস্টিক পটাস (KOH) দ্রবণ গ্লাসের সংস্পর্শে গ্লাসের উপাদান সিলিকেটের সাথে বিক্রিয়া করে পানিতে দ্রবণীয় সোডিয়াম সিলিকেট বা পটাসিয়াম সিলিকেট উৎপন্ন করে। এর ফলে গ্লাসে দাগ সৃষ্টি হয়। তাই গ্লাস ক্লিনারের উপাদানরূপে ঐ সব ক্ষার দ্রবণ ব্যবহার করা সঠিক হবে না। এ কারণে গ্লাস ক্লিনারে গিঁজের দ্রাবকরূপে অ্যামোনিয়া ক্ষার দ্রবণ ব্যবহার করা হয়।



চিত্র-৫.৩০ : গ্লাস ক্লিনার

নিচে গ্লাস ক্লিনার প্রস্তুতির একটি সাধারণ ফর্মুলা দেয়া হলো :

গ্লাস ক্লিনারের উপাদানসমূহ ও শতকরা পরিমাণ :

১। 28% অ্যামোনিয়া দ্রবণ	... (গিঁজের দ্রাবক)	0.05%
২। সোডিয়াম লরাইল সালফেট	... (Surface-active)	0.10%
৩। iso-প্রোপাইল অ্যালকোহল	... (বেশি উদ্বায়ী দ্রাবক)	4.00%
৪। ইথিলিন গ্লাইকল	... (কম উদ্বায়ী দ্রাবক)	1.00%
৫। টেট্রাসোডিয়াম পাইরোফসফেট ( $Na_4P_2O_7$ )	... (পানির খরতা নিবারক)	0.01%
৬। রং বা ডাই দ্রবণ	... (রঙিন করার জন্য)	1.00%
৭। পারফিউম (সুগন্ধ বস্তু)	... (সুগন্ধ পরিবেশ সৃষ্টি)	0.01%
৮। পানি	... (ময়লা দ্রবীভূত ও ধুয়ে ফেলে)	অবশিষ্ট

MCQ-5.17 : মেহেদির  
রঙের কারণ কোনটি?

[রা. বো. ২০১৫]

(ক) ল্যানোলিন

(খ) লাসোন

(গ) ওলিক এসিড

(ঘ) উইন্টার গ্রিন

প্রস্তুতি : সাধারণ ফর্মুলা মতে উপাদানগুলো একত্রে মিশ্রিত করে প্রাস্টিকের বোতলে ভর্তি করে মুখ বন্ধ করে বাজারজাত করা হয়।



## ৫.১৬ টয়লেট ক্লিনার প্রস্তুতি

## Preparation of Toilet Cleaner

টয়লেট ক্লিনার প্রস্তুতির বেলায় তিনটি বিষয় চিন্তা করে উপাদান নির্দিষ্ট করা হয়। এ তিনটি বিষয় হলো Toilet bowl এর দাগ (stains), দুর্গন্ধ (bad odor) দূরীকরণ ও জীবাণু (germs) ধ্বংস করা। কষ্টিক ব্যবহার করে টয়লেট ক্লিনার প্রস্তুতির একটি সাধারণ ফর্মুলা দেয়া হলো। যেমন—

টয়লেট ক্লিনারের উপাদানসমূহ ও এদের ভূমিকা :

১। কষ্টিক সোডা (NaOH)	:	(চর্বি বা গ্রিজেস দ্রাবক)	1.0 k g
২। সোডিয়াম লরাইল সালফেট ( $C_{12}H_{25}SO_4Na$ )	:	(Surfactant)	1.0 k g
৩। ক্যালসিয়াম হাইপো ক্লোরাইট [ $Ca(OCl)_2$ ]	:	(ব্লিচিং এজেন্ট জীবাণুনাশক)	1.5 k g
৪। পানি	:	(মূল দ্রাবক)	5.0 Litre
৫। রং (এসিড ব্লু-৯ ডাই)	:	(রঞ্জক)	200 g
৬। ফেনল	:	(দুর্গন্ধনাশক, জীবাণুনাশক)	100 g



চিত্র-৫.৩১ : টয়লেট ক্লিনার

প্রস্তুতি : দুটি পাত্রের একটিতে ক্যালসিয়াম হাইপোক্লোরাইট যথাসম্ভব কম পানিতে দ্রবীভূত করা হয়। দ্বিতীয় পাত্রের পানিতে কষ্টিক সোডা ও অন্যান্য বস্তু যোগ করে মিশ্রিত করা হয়। এরপর দুটি মিশ্রণকে একত্রে মিশ্রিত করা হয়। মিশ্রণটি প্লাস্টিকের বোতলে ভর্তি করে মুখ বন্ধ করা হয়।

সতর্কতা : কষ্টিক সোডা তীব্র ক্ষয়ক্ষারক; এটি চামড়ার ক্ষতি করে। কষ্টিক সোডা ব্যবহারে হাতে গ্লাভস ও চোখে গগলস পরে নিতে হবে।

## ৫.১৭ গ্লাস ক্লিনার ও টয়লেট ক্লিনারের পরিষ্কারকরণ কৌশল

## Clearing Mechanism of Glass &amp; Toilet Cleaners

(ক) গ্লাস ক্লিনারের ময়লা পরিষ্কার করার কৌশল :

(১) গ্লাসে লেগে থাকা ময়লার মধ্যে থাকে গ্রিজ বা চর্বি ও ধূলাবালি। গ্রিজ বা তৈলাক্ত পদার্থকে দ্রবীভূত করার জন্য গ্লাস ক্লিনারে থাকে অ্যামোনিয়া।

(২) এছাড়া দ্বিতীয় উপাদান সোডিয়াম লরাইল সালফেট হলো অ্যানায়নিক ডিটারজেন্ট। এটি Wetting agent রূপে পানির Surface tension-কে হ্রাস করে। এর ফলে মূল পরিষ্কারক পদার্থ  $NH_4OH$  ময়লাকে দূর করতে পারে। ডিটারজেন্টের অ্যানায়নিক প্রান্ত (মাথা) হাইড্রোফিলিক হওয়ায় কাচের তলকে সিজ করতে সাহায্য করে। আবার ডিটারজেন্টের অপর প্রান্তে (লেজ) হাইড্রোফোবিক (পানিতে অদ্রবণীয়); কিন্তু লিপোফিলিক (তৈল চর্বিতে দ্রবণীয়) হওয়ায় এটি তৈলাক্ত ময়লার সাথে আবদ্ধ হয়ে কাচতল থেকে ময়লাকে তুলে ফেলে।

(৩) পানি হলো তৃতীয় উপাদান যা গ্লাস বা কাচের গায়ের এ সব ময়লা ও ধূলাবালিকে ধুয়ে ফেলে।

(৪) চতুর্থ উপাদান iso-প্রোপাইল অ্যালকোহল কাচের গায়ে লেগে থাকা পানিকে টেনে নেয়।

(৫) আবার অ্যালকোহলটির উদ্বায়িত্বহাসে সহায়ক ও জীবাণুনাশকরূপে ইথিলিন গ্লাইকল ব্যবহার করা হয়।

সোডিয়াম লরাইল সালফেট [ $CH_3(CH_2)_{10}-CH_2-O-SO_3Na^+$ ]

(ডিটারজেন্ট)

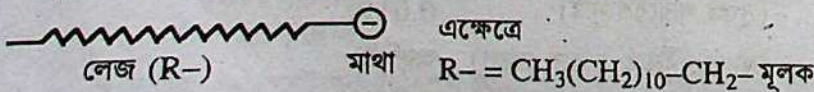
পানিতে অদ্রবণীয়

পানিতে দ্রবণীয়

ননপোলার অংশ (লেজ)

পোলার অংশ (মাথা)

সংক্ষেপে ডিটারজেন্টের লেজ ও মাথাকে এভাবে দেখানো হয়



(খ) টয়লেট ক্লিনারের ময়লা পরিষ্কার করার কৌশল :

(১) টয়লেট ক্লিনারের কষ্টিক সোডা ও ডিটারজেন্ট সোডিয়াম লরাইল সালফেট তৈল চর্বি ও ময়লা পরিষ্কারকরূপে কাজ করে।



চিত্র-৫.৩২ : দৌতকার্বে ডিটারজেন্টের ক্রিয়াকৌশল।





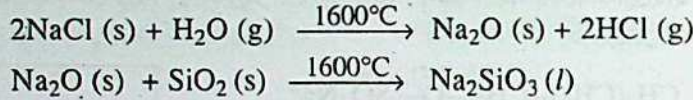


৫৯০

রসায়ন—প্রথম পত্র

\*\* (গ) NaOH টয়লেট সামগ্রীর ক্ষতি করে না— এর ব্যাখ্যা হলো নিম্নরূপ :

টয়লেট হলো পোর্সেলিন সামগ্রী। পোর্সেলিন তৈরি হয় চায়না ক্লে ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ), সিলিকা বালি ( $SiO_2$ ) ও পটাস ফেল্ডস্পার ( $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ ) মিশ্রণকে  $1400^\circ C$  তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করে। এরূপে উৎপন্ন সূক্ষ্ম ছিদ্রযুক্ত পোর্সেলিনকে  $1600^\circ C$  তাপমাত্রার উর্ধ্বে NaCl ও স্টিমসহ উত্তপ্ত করলে স্টিমের উপস্থিতিতে NaCl বিয়োজিত হয়ে  $Na_2O$  ও HCl গ্যাস উৎপন্ন করে। উৎপন্ন  $Na_2O$  ঐ পোর্সেলিনের অতিরিক্ত সিলিকাসহ বিক্রিয়া করে সোডিয়াম সিলিকেট তৈরি করে এবং উৎপন্ন  $Na_2SiO_3$  বিগলিত হয়ে পোর্সেলিনের গায়ের সূক্ষ্ম ছিদ্রগুলোকে বন্ধ করে মসৃণ গ্লেজ (glaze) সৃষ্টি করে। এর ফলে উৎপন্ন পোর্সেলিন সিরামিক পানিরোধী হয়। সুতরাং পোর্সেলিনের ওপর NaOH ক্ষার দ্রবণের কোনো ক্রিয়া চলে না।



শিক্ষার্থীর কাজ-৫.৯ : গ্লাস ক্রিনার ও টয়লেট ক্রিনারভিত্তিক :

প্রশ্ন-৫.২১ : (ক) গ্লাস ক্রিনারের উপাদানসমূহ ও এদের শতকরা পরিমাণ লেখ।

(খ) টয়লেট ক্রিনারের উপাদানসমূহ ও এদের ভূমিকা লেখ।

(গ) গ্লাস ক্রিনারে কৃত্তিক সোডা ব্যবহার না করে অ্যামোনিয়া কেন ব্যবহৃত হয়?

[ব. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-৫.২২ : (ক) গ্লাস ক্রিনারের ময়লা পরিষ্কার করার কৌশল ব্যাখ্যা কর।

(খ) টয়লেট ক্রিনারের ময়লা পরিষ্কার কৌশল ব্যাখ্যা কর।

(গ) NaOH টয়লেট সামগ্রীর ক্ষতি করে না কেন তা ব্যাখ্যা কর।

### ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : চারজন শিক্ষার্থী গ্রুপ করে নিম্নোক্ত উপায়ে মল্ট ভিনেগার পদ্ধতিতে ভিনেগার প্রস্তুতির কাজ সম্পাদন করে।

পরীক্ষা নং-১৯

তারিখ : .....

পরীক্ষার সময় : ১ পিরিয়ড

৫.১৮ পরীক্ষার নাম : ভিনেগার প্রস্তুতি : ইথানোয়িক এসিড থেকে

Vinegar from Ethanoic acid

(ক) উদ্দেশ্য : সাধারণ প্রিজারভেটিভ তৈরি করার অভিজ্ঞতা অর্জন

(খ) পরিচিতি : ইথানোয়িক এসিড বা অ্যাসিটিক এসিডের ৬-১০% জলীয় দ্রবণকে ভিনেগার বলা হয়। এতে কিছু খাদ্যবস্তুর রং ও সুগন্ধি বস্তু মিশানো হয়। ভিনেগার ফলের আচার সংরক্ষণে, স্যুপের স্বাদ বৃদ্ধি করতে, মাছ মাংস রান্না কাজে, সালাত তৈরি ও ফ্রিজ পরিষ্কার করতে ব্যবহৃত হয়।

(গ) প্রয়োজনীয় রাসায়নিক বস্তু : (১) ইথানোয়িক এসিড বা অ্যাসিটিক এসিড;

(২) পাতিল পানি;

(৩) ফ্লেভার বা সুগন্ধ বস্তু : গোলাপজল।

(ঘ) প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) বিকার (500 mL) ..... 2টি;

(২) মেজারিং সিলিন্ডার (100 mL) 1টি;

মেজারিং সিলিন্ডার (20 mL/10 mL) 1টি;

(৩) গ্লাস রড ... 1টি।

MCQ-5.18 : টয়লেট ক্রিনারের প্রধান উপাদান কোনটি?

[ব. বো. ২০১৫]

(ক) NaOH (খ)  $NH_4OH$

(গ)  $Ca(OCl)Cl$  (ঘ) KOH



(ঙ) কার্যক্রম :

- (১) একটি 500 mL বিকারে মেজারিং সিলিন্ডারে করে 200 mL পাতিত পানি নেয়া হলো।
- (২) এরপর মেজারিং সিলিন্ডারে করে প্রায় 15 mL বিশুদ্ধ ইথানোয়িক এসিড ঐ পানিতে যোগ করে গ্লাস রড দ্বারা নেড়ে মিশানো হয়।
- (৩) শেষে ঐ মিশ্রণে 2 mL গোলাপজল মিশানো হয়।

প্রজেক্ট : শিক্ষার্থীর দলবদ্ধ কাজ

### ৫.১৯ মল্ট ভিনেগার পদ্ধতিতে ভিনেগার প্রস্তুতি Malt-Vinegar preparation

MCQ-5:19 : গ্লাস ক্লিনারের মূল উপাদান কোনটি? [দি. বো. ২০১৫]  
(ক) কস্টিক সোডা (খ) ডিটারজেন্ট  
(গ)  $\text{NH}_4\text{OH}$  দ্রবণ (ঘ)  $\text{NaOCl}$

(ক) মূলনীতি : আখ অথবা খেজুরের রসে 16–20% সুক্রোজ চিনি ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ) থাকে। সুক্রোজের লঘু জলীয় দ্রবণে মল্ট এক্সট্রাক্ট ও ঙ্ট গুঁড়া যোগ করা হয়। ঙ্ট থেকে নিঃসৃত ইনভারটেস ও জাইমেস এনজাইমের প্রভাবে সুক্রোজের ফার্মেন্টেশন ঘটে; এতে প্রথমে ইথানল ও পরে অ্যাসিটো-ব্যাকটর নামক ব্যাকটেরিয়ার প্রভাবে বায়ুর অক্সিজেন দ্বারা ইথানল জারিত হয়ে ইথানোয়িক এসিডের লঘু জলীয় দ্রবণ উৎপন্ন হয়। ইথানোয়িক এসিডের 6–10% লঘু জলীয় দ্রবণই ভিনেগার নামে পরিচিত।

(খ) প্রয়োজনীয় বস্তু :

- (১) মল্ট এক্সট্রাক্ট (Malt Extract) : 300 mL. (এটি চোলাই মদ তৈরির দোকানে পাওয়া যায়)
- (২) ঙ্ট গুঁড়া : বাজারে পাওয়া যায়। পাউরুটি তৈরিতে ব্যবহৃত হয়।
- (৩) আখের রস/খেজুরের রস।
- (৪) অ্যামোনিয়াম সালফেট ( $\text{NH}_4$ )<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> লবণ ও অ্যামোনিয়াম ফসফেট ( $\text{NH}_4$ )<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> লবণ।
- (গ) প্রয়োজনীয় পাত্র : (১) 10 লিটার প্রাস্টিকের বালতি ঢাকনিযুক্ত; (২) স্টিলের পাত্র; (৩) 5 লিটার মাটির পাত্র;
- (৪) হাইড্রোমিটার।

পদ্ধতি : ১ম স্তর : [অ্যালকোহল উৎপাদন করে] :

- ১। একটি 10 লিটার প্রাস্টিকের বালতি সোডার পানি দিয়ে ধুয়ে নাও। এর মধ্যে 2.5 লিটার ঠাণ্ডা খাবার পানি নাও।
- ২। একটি স্টিলের পাত্রে 3 লিটার খেজুরের রস বা আখের রস 20 মিনিট উত্তপ্ত করে ফুটিয়ে নাও। এতে অবাঞ্ছিত অণুবীজ মরে যায়। এটিকে 35°C তাপমাত্রায় ঠাণ্ডা করে এর মধ্যে Malt Extract সহ 2 চা চামচ ( $\text{NH}_4$ )<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> এবং 2 চা চামচ ( $\text{NH}_4$ )<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> লবণ যোগ কর; নেড়ে মিশাও।
- ৩। মিশ্রণটিকে 10 লিটার প্রাস্টিকের বালতিতে নেয়া 2.5 লিটার ঠাণ্ডা পানিতে ঢেলে নাও। আরো ফুটানো ও ঠাণ্ডা করা পানি যোগ করে অর্ধপূর্ণ অর্থাৎ 5 লিটার আয়তনের মিশ্রণ কর। তাপমাত্রা 37°C এ বজায় রাখ।
- ৪। ঐ মিশ্রণে 5g ঙ্ট গুঁড়া ছড়িয়ে ছিটিয়ে দাও। এর আগে মিশানো ( $\text{NH}_4$ )<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> এবং ( $\text{NH}_4$ )<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> লবণ দুইটি ঙ্টের বৃদ্ধিতে সহায়তা করে। বালতির মুখে ঢাকনি হালকা করে রাখ যেন উৎপন্ন CO<sub>2</sub> গ্যাস বের হয়ে যেতে পারে। ঙ্ট থেকে ইনভারটেস ও জাইমেস এনজাইম নিঃসৃত হয়।

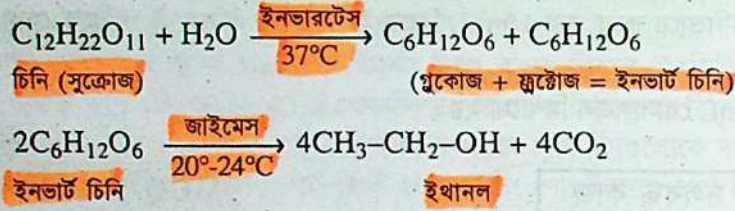
৫। এখন 20°–24°C তাপমাত্রায় পাত্রটিকে 6–10 দিন রেখে দাও। তখন নিঃসৃত এনজাইমের প্রভাবে চিনির ফার্মেন্টেশন ঘটতে থাকবে; ইনভারটেসের প্রভাবে সুক্রোজ চিনি অর্ধবিশ্লেষিত হয়ে সমমোলার গ্লুকোজ ও ফ্রুক্টোজ-এর



৫৯২

রসায়ন-প্রথম পত্র

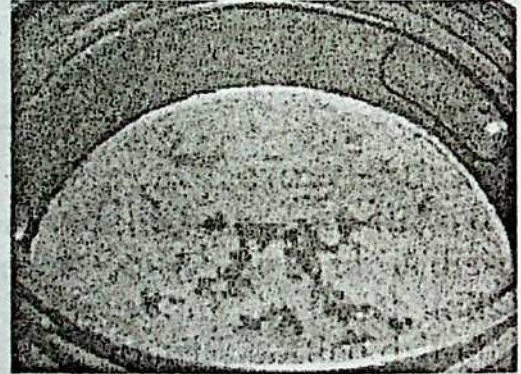
মিশ্রণ বা ইনভার্ট চিনি তৈরি হয়। জাইমেস এনজাইমের প্রভাবে ইনভার্ট চিনি বিয়োজিত হয়ে ইথানল উৎপন্ন হয় এবং বৃদ্ধি সহ CO<sub>2</sub> গ্যাস বের হতে থাকে।



৬। এরপর Hydrometer দিয়ে পরীক্ষা করলে 1.008 ঘনত্ব নির্দেশক মিটার রিডিং দেবে। Hydrometer এর অভাবে মিশ্রণ থেকে এক চামচ নিয়ে জিহ্বে দিয়ে দেখ মিষ্টি স্বাদ দূর হয়েছে কিনা। এ অবস্থায় উৎপন্ন মল্ট-মিশ্রণে বৃদ্ধি দেখা যায় না। তখন মল্ট-মিশ্রণটি প্রক্রিয়ার দ্বিতীয় স্তরের উপযোগী হয়েছে। এ মল্ট-মিশ্রণে প্রায় 10% ইথানল উৎপন্ন হয়ে থাকে।

**২য় স্তর : অ্যাসিটো-ব্যাকটর রূপান্তর (Aceto-bactor conversion) : অ্যাসিটিক এসিড উৎপন্ন হয় :**

৭। উৎপন্ন মল্ট-মিশ্রণ থেকে প্রায় 300 mL পরিমাণ নিয়ে একটি বড় আকারের খোলা মাটির পাত্রে রাখ। [এতে মল্টের ছাতাপড়া স্তর বেড়ে ওঠে। একে ভিনেগার মাদার বা মাইকো ডার্মা-অ্যাসিটি বা অ্যাসিটো-ব্যাকটর বলে।] এ পাত্রটিকে ঠাণ্ডা ও অন্ধকার রুমে ৭ দিন রেখে দাও। গাঢ় মল্টের ছাতা সৃষ্টি হবে; এটিই হলো 'finished mother vinegar'। এখন পাতলা মসলিন কাপড়ে করে উপরের malt আলাদা করে নিয়ে পূর্বের মূল মল্ট-মিশ্রণের মধ্যে যোগ কর। মসলিন কাপড়ে জড়িয়ে মূল 10 লিটার বালতির ওপর কমপক্ষে 2-3 মাস রেখে দাও। এ সময়ের মধ্যে মল্ট মিশ্রণের সব ইথানল অ্যাসিটো-ব্যাকটরের প্রভাবে বায়ুর অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়ে লঘু অ্যাসিটিক এসিডে পরিণত হয়। এরূপে স্বাস্থ্যকর চমৎকার Malt vinegar তৈরি হলো।



চিত্র-৫.৩৩ : মাটির পাত্রে মল্ট ভিনেগার-এর ২য় স্তর।



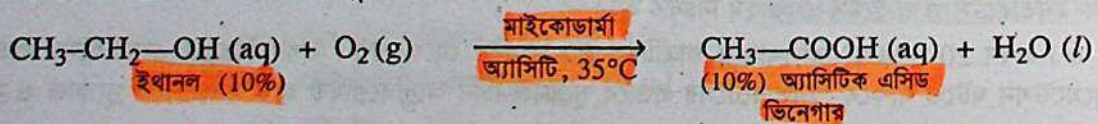
**৩য় স্তর : পাস্টুরিকরণ (Pasteurization) :**

৮। এ অবস্থায় Malt vinegar ঘোলাটে থাকে এবং aceto-bactor জীবিত থাকে। এ অবস্থায় দীর্ঘদিন থাকলে মিশ্রণটি 'mother malt' হয়ে ওঠবে। তাই এ ভিনেগারকে 75°-80°C তাপমাত্রায় 20 মিনিট উত্তপ্ত করে সব aceto-bactor নষ্ট করা হয়। শেষে তড়িকর ও স্থায়ী হালকা বাদামি বর্ণের ভিনেগার পাওয়া যায়।

বিকল্প পদ্ধতি :

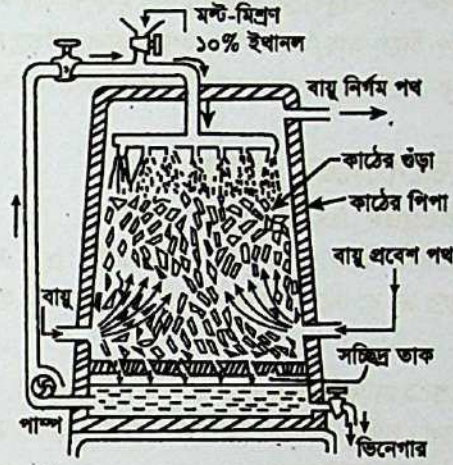
মল্ট মিশ্রণ (10% ইথানল) থেকে মল্ট ভিনেগার প্রস্তুতি :

কার্টের পিপা পদ্ধতি : মল্ট মিশ্রণটিতে 10% ইথানল থাকে। এ মল্ট মিশ্রণের জলীয় দ্রবণকে 'মাইকোডার্মা-অ্যাসিটি' বা 'অ্যাসিটো-ব্যাকটর' নামক ব্যাকটেরিয়ার উপস্থিতিতে উত্তপ্ত বায়ুর অক্সিজেন দ্বারা জারিত করে মল্ট ভিনেগার প্রস্তুত করা যায়। এত 6-10% অ্যাসিটিক এসিড উৎপন্ন হয়।





প্রস্তুতির বর্ণনা : এ পদ্ধতিতে ব্যবহৃত কাঠের পিপার ওপর ও নিচের দিকে দুটি ছিদ্রযুক্ত তাক থাকে। ঐ তাক দুটির মাঝখানে নরম বীচ কাঠের গুঁড়া ভর্তি করে 'মাইকোডার্মা-অ্যাসিটি' নামক ব্যাকটেরিয়া যুক্ত লঘু অ্যাসিটিক এসিড দ্বারা ঐ কাঠের গুঁড়াকে ভিজিয়ে রাখা হয়।



চিত্র-৫.৩৪ : কাঠের পিপা পদ্ধতিতে মল্ট ভিনেগার প্রস্তুতি

পরে ঐ ব্যাকটেরিয়া বৃদ্ধির সহায়ক অ্যামোনিয়াম ফসফেট ও সালফেট লবণ মিশ্রিত 10% ইথানলের জলীয় দ্রবণ পিপার ওপর দিক থেকে কাঠের গুঁড়ার মধ্যে সূক্ষ্ম ধারায় স্প্রে করা হয় এবং 35°C উত্তপ্ত বায়ুকে নিচের দিক থেকে কাঠের গুঁড়ার মধ্যে চালনা করা হয়। তখন ব্যাকটেরিয়ার প্রভাবে ইথানল বায়ুর অক্সিজেন দ্বারা জারিত হয়ে 6-10% অ্যাসিটিক এসিডের জলীয় দ্রবণ উৎপন্ন হয় এবং পিপার তলদেশের নির্গম পথ দিয়ে তা সংগ্রহ করা হয়। এটিই হলো মল্ট ভিনেগার।

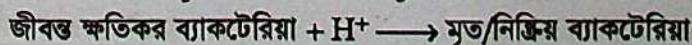
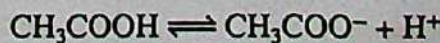
জেনে নাও : মল্ট ও অ্যাসিটো ব্যাকটের কী? বার্লির দানাকে পানিতে 15°C-এ অঙ্কুরিত খোলা অবস্থায় রেখে দিলে বার্লির দানা অঙ্কুরিত হয়। এ অঙ্কুরিত বার্লির দানাকে শুকিয়ে গুঁড়া করা হয়। একে মল্ট গুঁড়া বলে। মল্ট গুঁড়াকে অ্যালকোহলের সংস্পর্শে রাখলে অ্যাসিটো-ব্যাকটের বা মাইকোডার্মা-অ্যাসিটি নামক ব্যাকটেরিয়া জন্মে ও বৃদ্ধি পায়; যা ইথানলকে বায়ুর O<sub>2</sub> দ্বারা জারিত হতে সাহায্য করে।

## ৫.২০ ভিনেগারের খাদ্যদ্রব্য সংরক্ষণ কৌশল

### Food Preservative Mechanism of Vinegar

ভিনেগার : অ্যাসিটিক এসিড CH<sub>3</sub>COOH এর 6-10% জলীয় দ্রবণ হলো ভিনেগার। এর pH মান 4.74 থাকে। তাই pH 4.74 অম্লীয় মাধ্যমে ব্যাকটেরিয়া জন্মাতে পারে না। অ্যাসিটিক এসিডের জীবাণু ধ্বংসকরণ প্রক্রিয়া এ অম্লীয় পরিবেশের ওপর নির্ভর করে। তাই প্রিজারভেটিভরূপে মাত্র 3% অ্যাসিটিক এসিড ও 4% অ্যাসিটিক এসিডের লবণের মিশ্রণে মাইক্রো অর্গানিজম মরে যায় অথবা এদের বৃদ্ধি বাধা প্রাপ্ত হয়।

প্রিজারভেটিভরূপে ভিনেগারের ক্রিয়াকৌশল : সকল খাদ্যদ্রব্যকে ব্যাকটেরিয়া নিজেদের খাবার হিসাবে গ্রহণ করে এবং বংশ বিস্তার ঘটায়। এর ফলে আমাদের খাদ্যের পচন শুরু হয়। সব ধরনের প্রিজারভেটিভস্ এর কৌশল হলো ক্ষতিকর ব্যাকটেরিয়ার আক্রমণ হতে খাদ্যদ্রব্যকে রক্ষা করা। এক্ষেত্রে সামান্য মৃদু এসিড যেমন ভিনেগার বা অম্লীয় লবণ ব্যবহার করে খাদ্যের pH যত কম রাখা যায় ততই ওই ক্ষতিকর ব্যাকটেরিয়ার বংশ বিস্তার হ্রাস করানো যায়। অর্থাৎ সামান্য H<sup>+</sup> এর উপস্থিতিতে ক্ষতিকর ব্যাকটেরিয়া বেঁচে থাকতে পারে না। তাই খাদ্যদ্রব্য সংরক্ষণে প্রিজারভেটিভরূপে ভিনেগারের গুরুত্ব রয়েছে। যেমন, ভিনেগার যা প্রধানত অ্যাসিটিক এসিড; এটি নিম্নভাবে ক্রিয়া করে—





**ভিনেগারের ব্যবহার :** খাদ্যবস্তুকে ট্রাইন বা গাঢ় লবণের পানিতে ডুবিয়ে নিলে খাদ্য থেকে পানি দূর হয়। এরপর ঐ খাদ্যবস্তুকে ভিনেগারে সিদ্ধ করে নেয়া হয়। এরূপ সমগ্র প্রক্রিয়াকে পিকলিং (Pickling) বলে। সব্জি যেমন শসা ও মাছ, মাংস ভিনেগারে পিকলিং করে সংরক্ষণ করা যায়।

**লবণ দ্বারা খাদ্য সংরক্ষণের কৌশল :** খাদ্যদ্রব্যকে ব্যাকটেরিয়া মুক্ত রাখাই সকল প্রকার প্রিজারভেটিভস্ এর মূলনীতি। খাদ্যলবণ পানিস্রাহী পদার্থ; অর্থাৎ লবণ দিয়ে মাছ/মাংস সংরক্ষণ করলে অভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় খাদ্যদ্রব্য থেকে পানি লবণে স্থানান্তরিত হয়ে যায়, ফলে ব্যাকটেরিয়ার বেঁচে থাকার মাধ্যমের অনুপস্থিতিতে ব্যাকটেরিয়া খাদ্যদ্রব্যকে নষ্ট করতে পারে না।

## ৫.২১ খাদ্যদ্রব্য সংরক্ষণে ভিনেগারের গুরুত্ব

### Importance of Vinegar as Preservative

ভিনেগার সহজলভ্য ও নির্দোষ একটি প্রিজারভেটিভ। ভিনেগারের pH মান 4.74 হওয়ায় এ অম্লীয় পরিবেশে প্যাথোজেনিক ব্যাকটেরিয়া জন্মাতে পারে না বা এদের বৃদ্ধিতে বাধা পায়। তাই মাছ, মাংস, শাক-সব্জি সংরক্ষণে ভিনেগার ব্যবহৃত হয়।

ভিনেগার স্বাদে তুষ্ণিকর অম্লস্বাদযুক্ত হওয়ায় বিভিন্ন ফলের আচার সংরক্ষণে, সুপের স্বাদ বৃদ্ধি করতে, মাছ মাংস রান্নার কাজে ব্যবহৃত হয়। ভিনেগারের সংস্পর্শে প্রোটিন অণুতে বিয়োজন সহজে ঘটে; তাই মাছ-মাংস রান্নায় ভিনেগার সুফলদায়ক ভূমিকা রাখে। সালাত তৈরিতে ভিনেগার ব্যবহার করা হয়।

এসিড মাধ্যমে পিকলিং বা আচার তৈরিতে ভিনেগারের গুরুত্ব সবচেয়ে বেশি। পেঁয়াজ, রসুন, কাঁচামরিচ, শীতের বিভিন্ন সব্জি, মাংস প্রভৃতি ভিনেগারে ডুবিয়ে সংরক্ষণ করা যায়। ভিনেগারসহ খাদ্যবস্তুকে তাপ দিয়ে ফুটিয়ে নিলে বিভিন্ন অপুবিজ বা ব্যাকটেরিয়া মরে যায়। এ অবস্থায় খাদ্য সংরক্ষণ অনেক বেশি কার্যকর ও দীর্ঘকাল থাকা সম্ভব হয়।

চাটনির মতো রেসিমোস নামক বিভিন্ন মিশ্র সব্জি থেকে মুখরোচক খাদ্য তৈরি করা যায়। যেমন ফুলকপি, মুলা, শালগম, গাজর, বরবটি, শসা, কাঁচাপেপে, কামরাঙা ইত্যাদি সব্জিকে টুকরা করে চিনি, লবণ ও ভিনেগারসহ ফুটিয়ে নিলে রেসিমোস তৈরি হয়। এ মিশ্র সব্জিকে বায়ুরোধী করে কাচের বয়েমে ভর্তি করে রাখা হয়। পরবর্তী মৌসুমে তা খাওয়া যায়।

**শিক্ষার্থীর কাজ-৫.১০ :** ভিনেগারভিত্তিক :

প্রশ্ন-৫.২৩ : (ক) ভিনেগারের খাদ্য সংরক্ষণ কৌশল ব্যাখ্যা কর।

(খ) খাদ্যদ্রব্য সংরক্ষণে প্রিজারভেটিভরূপে ভিনেগারের গুরুত্ব লেখ।

**সারণি-৫.১ :** কতিপয় সাধারণ এনজাইমের উৎস ও ক্রিয়ার বস্তু :

এনজাইমের নাম	এনজাইমের প্রধান উৎস	সাবস্ট্রেট (বা যাকে এনজাইম আক্রমণ করে)	উৎপাদ যৌগ
<b>(ক) কার্বোহাইড্রেস্ :</b>			
১। সেলুলেস্	১। ছত্রাক, ব্যাকটেরিয়া, শামুক	১। সেলুলোজ → গ্লুকোজ ও অন্যান্য মনোস্যাকারাইড	
২। অ্যামাইলেস্	২। অঙ্কুরিত বীজ, স্যালিভারি গ্রন্থি, অগ্ন্যাশয়	২। স্টার্চ, ডেক্সট্রিন → মাল্টোজ (গ্লুকোজ + গ্লুকোজ)	
*৩। ইনভার্টেস্ (সুক্রোেস্)	*৩। ইস্ট, ক্ষুদ্রাণুীয় রস	৩। সুক্রোজ → গ্লুকোজ + ফ্রুক্টোজ	
৪। ল্যাক্টেস্	৪। ক্ষুদ্রাণুর বিপ্লি	৪। ল্যাক্টোজ → গ্লুকোজ + গ্যালাক্টোজ	
*৫। ম্যাল্টেস্	*৫। ইস্ট, মাল্ট, ক্ষুদ্রাণুীয় রস	৫। মাল্টোজ → গ্লুকোজ + গ্লুকোজ	
*৬। জাইমেস্	*৬। ইস্ট	৬। (গ্লুকোজ + ফ্রুক্টোজ) → C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH + CO <sub>2</sub>	
৭। ইনুলিনেস্	৭। ছত্রাক, ব্যাকটেরিয়া, শামুক	৭। ইনুলিন → ফ্রুক্টোজ + ফ্রুক্টোজ [C <sub>6n</sub> H <sub>10n+2</sub> O <sub>5n+1</sub> ]	
<b>(খ) প্রোটিনেজ (Proteases) :</b>			
১। পেপসিন	১। পাকস্থলীর পরিপাক রস	১। প্রোটিন → ক্ষুদ্রতর পেপটাইড	
২। ট্রিপসিন	২। অগ্ন্যাশয় গ্রন্থি	২। প্রোটিন → অ্যামাইনো এসিডস	



<b>(গ) লিপেস (Lipases) :</b>		
১। লিপেস	১। অগ্ন্যাশয় (pancreas), উদ্ভিদ কোষ	১। তৈল ও চর্বি (fat) → ফ্যাটি এসিড + গ্লিসারিন
২। এস্টারেস	২। যকৃত (liver), উদ্ভিদ কোষ	২। 1° অ্যালকোহল এস্টার → ফ্যাটি এসিড + অ্যালকোহল
৩। কোলস্টেরেস	৩। রক্ত, অন্যান্য দেহকোষ	৩। কোলস্টেরল এস্টার → ফ্যাটি এসিড + কোলস্টেরল
৪। লেসিথিনেস	৪। বৃক্ক (kidney), মগজ, অস্ত্রের ঝিল্লি	৪। লেসিথিন → ডাইস্যা কারাইড + কোলিন + ফসফেট
<b>(ঘ) অন্যান্য এনজাইম :</b>		
১। নিউক্লিয়েস (nucleases)	১। DNA, RNA → নিউক্লিয়োটাইডস্	
২। DNA পলিমারেস্	২। ডিঅক্সিনিউক্লিয়োটাইড ট্রাইফসফেট → DNA	
৩। RNA পলিমারেস্	৩। রাইবোনিউক্লিয়োটাইড ট্রাইফসফেট → RNA	

### অধ্যায়ের সার-সংক্ষেপ (Recapitulations)

১। টক্সিন (Toxin) : ক্ষতিকর জীবাণু থেকে নিঃসৃত ফুড পয়জনিং-এর বিষাক্ত উপাদানকে টক্সিন বলে।

২। প্রিজারভেটিভস (Preservatives) : যে সব রাসায়নিক পদার্থ নির্দিষ্ট মাত্রায় ব্যবহারের ফলে খাদ্যবস্তুতে ছত্রাক ও ব্যাকটেরিয়া জন্মাতে পারে না, খাদ্যবস্তু রক্ষিত থাকে, এদেরকে ফুড প্রিজারভেটিভস বা প্রিজারভেটিভস বলে। যেমন, বেনজয়িক এসিড, সোডিয়াম বেনজোয়েট।

৩। বটুলিজম (Botulism) : খাদ্যবস্তুর ক্যানিং ঠিকমত করা না হলে ঐ খাদ্যবস্তুতে ব্যাকটেরিয়া জন্মে এবং এদের থেকে নিঃসৃত বিষাক্ত উৎসেচক বা টক্সিন খাদ্যবস্তুকে পয়জনিং করে, এ অবস্থাকে বটুলিজম বলে।

৪। স্পোর (Spore) : ব্যাকটেরিয়া কোষগুলো প্রতিকূল পরিবেশে (নিম্ন pH ও উচ্চ তাপমাত্রায়) দেহের চারদিকে প্রতিরক্ষা আবেরণ সৃষ্টি করে সুপ্ত থাকে, এ অবস্থায় থাকা জীবাণুকে ঐ জীবাণুর স্পোর বলে।

৫। জ্যাম-জেলি (Jam, Jelly) : ফলের খোসা ছাড়ানোর পর ছোট ছোট বিচিযুক্ত ফলকে কুচি কুচি করে বা ক্রাসিং করে প্রয়োজনীয় প্রিজারভেটিভসহ সংরক্ষণ করলে জ্যাম তৈরি হয়। আবার ফলের রস অথবা ফলকে সিদ্ধ করে ছেঁকে বিচিযুক্ত তরলকে প্রয়োজনমতো প্রিজারভেটিভসহ সংরক্ষণ করলে জেলি তৈরি হয়।

৬। সিরাম (Serum) : রক্তের জলীয় অংশ। শ্বেতকণিকা, লোহিত কণিকা ও প্লেটলেট পৃথক করার পর অবশিষ্ট জলীয় অংশকে রক্তের সিরাম বলে।

৭। কলয়েড (Colloid) : অসমসত্বীয় মিশ্রণে অদ্রবণীয় পদার্থের কণাগুলোর আকার প্রায় 2-500 nm (10<sup>-9</sup>-10<sup>-6</sup> nm) হলে এবং সর্বত্র সমভাবে বিরাজ করলে এরূপ মিশ্রণকে কলয়েড বলে, যেমন দুধ।

৮। সাসপেনশন (Suspension) : অসমসত্বীয় মিশ্রণে অদ্রবণীয় পদার্থের কণাগুলোর আকার 500 nm-এর চেয়ে বড় হলে অস্থায়ী কলয়েড সৃষ্টি হয়, এরূপ মিশ্রণকে সাসপেনশন বলে; যেমন- রক্ত।

৯। কোয়াগুলেশন (Coagulation) : কলয়েড বা সাসপেনশন অবস্থায় থাকা অদ্রবণীয় কঠিন পদার্থের কণাগুলোকে আলোড়ক মেসিন দ্বারা কেন্দ্রমুখী বল প্রয়োগে অথবা রাসায়নিকভাবে আন্তঃকণা বল যেমন আয়ন- ডাইপোল বলকে নষ্ট করে পিণ্ডীভূত করার প্রক্রিয়াকে কোয়াগুলেশন বলে।

১০। লিপিড (Lipid) : ট্রাইগ্লিসারাইডস বায়োঅণু যেমন, অয়েল ও চর্বি সমূহ।

১১। ফসফোলিপিড (Phospholipid) : প্রাণিকোষের মেমব্রেনের প্রধান উপাদান; যেমন, লেসিথিন। এর প্রতি অণুতে একটি গ্লিসারিন অণুর সাথে দুটি ফ্যাটি এসিড অণু ও একটি ফসফেট মূলক যুক্ত থাকে।

১২। অ্যামাইনো এসিড (Amino acid) : বায়োঅণু প্রোটিনের একক হলো অ্যামাইনো এসিড। বিশটি প্রধান অ্যামাইনো এসিড থেকে প্রাণিকোষে প্রোটিন সংশ্লেষিত হয়। এদের সাধারণ সংকেত হলো R-CH(NH<sub>2</sub>)COOH; এক্ষেত্রে R-এর মান ভিন্ন হয়।



১৩। অসমসিস (Osmosis) : অর্ধভেদ্যপর্দা (semipermeable membrane) দ্বারা আলাদা রাখা দুটি ভিন্ন ঘনমাত্রার দ্রবণের বেলায়, লঘু দ্রবণ থেকে দ্রাবক গাঢ় দ্রবণে প্রবেশ করার প্রক্রিয়াকে অসমসিস বলে। এ প্রক্রিয়ায় উভয় দ্রবণের ঘনমাত্রা সমান হয়।

১৪। হাইড্রোসল (Hydrosol) : পানির মাধ্যমে তৈলের যেমন উদ্ভিদের বাকল বা ফুলের পাপড়ির মধ্যস্থ এন্টার মিশ্রিত থেকে কলয়েড তৈরি হলে, তাকে হাইড্রোসল বলা হয়। যেমন, গোলাপ জল।

১৫। হাইড্রোফিলিক (Hydrophilic) : যে সব পোলার বা অ্যানায়নিক যৌগ পানি অণুকে আকর্ষণ করে পানিতে দ্রবণীয় হয় এদেরকে হাইড্রোফিলিক বলে। যেমন, পানিতে সাবান ও ডিটারজেন্টের অ্যানায়ন।

১৬। হাইড্রোফোবিক (Hydrophobic) : অপোলার হাইড্রোকার্বন বা যৌগাংশ যা পানিতে আকৃষ্ট হয় না, এদেরকে হাইড্রোফোবিক বলে। যেমন, সাবান বা ডিটারজেন্টের হাইড্রোকার্বনের দীর্ঘ শিকল।

১৭। লিপোফিলিক (Lipophilic) : 'লিপো' শব্দের অর্থ হলো চর্বি। অপোলার দীর্ঘকার্বন শিকল চর্বি বা তেলে দ্রবণীয়, এ অংশকে লিপোফিলিক অংশ বলে।

১৮। অ্যাসিটো-ব্যাকটর (Aceto-bacter) : অক্ষতিকারী ব্যাকটেরিয়াসমূহের অন্যতম হলো অ্যাসিটো ব্যাকটর। এটি সুক্রোজ ও গ্লুকোজের ফারমেন্টেশনের প্রয়োজনীয় এনজাইম নিঃসৃত করে।

১৯। পাস্তুরিকরণ (Pasteurization) : খাদ্যবস্তুকে জীবাণুমুক্ত করার জন্য যে সব প্রক্রিয়া রয়েছে, যেমন, 70°-80°C তাপমাত্রা পর্যন্ত উত্তপ্ত করা ইত্যাদিকে খাদ্য পাস্তুরিকরণ বলা হয়।

MCQ-এর উত্তরমালা :

- 5.1 (ঘ), 5.2 (ক), 5.3 (ঘ), 5.4 (ঘ), 5.5 (খ), 5.6 (ক), 5.7 (ঘ), 5.8 (গ), 5.9 (গ), 5.10 (গ),  
5.11 (খ), 5.12 (খ), 5.13 (ক), 5.14 (ঘ), 5.15 (ক), 5.16 (ক), 5.17 (খ), 5.18 (ক), 5.19 (গ)।

### অনুশীলনী-৫

ক-বিভাগ : জ্ঞানস্মরণভিত্তিক প্রশ্নাবলি (এক নজরে)

(১) খাদ্য নিরাপত্তা ও রসায়ন :

- ১। খাদ্য নিরাপত্তা কী? [কু. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৬; দি. বো. ২০১৫, ২০১৭; ব. বো. ২০১৯; য. বো. ২০১৯]
- ২। খাদ্য গ্রহণের সামর্থ্য কী?
- ৩। TSP কী?
- ৪। DAP কী?
- ৫। ইনসেকটিসাইড কী?
- ৬। টক্সিন কী?
- ৭। ফুড-পয়জনিং কী?

(২) প্রিজারভেটিভস্ ও খাদ্য সংরক্ষণ কৌশল :

- ১। ফুড প্রিজারভেটিভস্ কী? [য. বো. ২০১৫; রা. বো. ২০১৯]
- ২। কিউরিং কী? [রা. বো. ২০১৬; ঢা. বো. ২০১৯]
- ৩। পিকলিং কী?
- ৪। অ্যান্টি মাইক্রোবায়োল কী?
- ৫। সোডিয়াম বেনজোয়েট দ্রবণের pH কত?





প্রতিদিনের চাকুরীর মার্কুলার পেতে [এখানে ক্লিক করুন](#)

প্রতি মাসের কারেন্ট অ্যাফেয়ার্স পিডিএফ [এখানে ক্লিক করুন](#)

চাকুরীর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

বিসিএম এর প্রয়োজনীয় পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

প্রতি সপ্তাহের চাকুরী পত্রিকা ডাউনলোড [এখানে ক্লিক করুন](#)

সকল নিয়োগ পরীক্ষার প্রশ্ন সমাধান [এখানে ক্লিক করুন](#)

**বিডিনিয়োগ.কম দেশের মেরা পিডিএফ কালেকশন**

SSC এর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

HSC এর প্রয়োজনীয় সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

বিশ্ববিদ্যালয় ভর্তির সকল পিডিএফ বই [এখানে ক্লিক করুন](#)

সকল ধরনের **মাজেশন** ডাউনলোড [এখানে ক্লিক করুন](#)

