| | |
|---|---|
| তত্ত্বীয় আলোচনা | = ২০ |
| শ্রেণি কর্মকাণ্ড | = ৮ |
| মোট পিরিয়ড | = ২৮ |

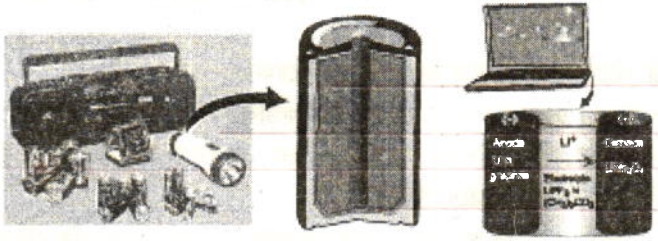
চতুর্থ অধ্যায়

# তড়িৎ রসায়ন

## Electro-chemistry

## ভূমিকা (Introduction)

তড়িৎ বা বিদ্যুৎ বলতে ইলেকট্রন প্রবাহকে বোঝানো হয়। সব Redox বিক্রিয়ায় ইলেকট্রনের স্থানান্তর ঘটে। Redox বিক্রিয়ার স্থানান্তরিত ইলেকট্রনকে বাহ্যিক পরিবাহীতে প্রবাহিত করার প্রক্রিয়া হলো তড়িৎ কোষ। এক্ষেত্রে তড়িৎ কোষে রাসায়নিক বিক্রিয়া বা Redox বিক্রিয়ার শক্তি বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। টর্চ লাইটে ব্যবহৃত শুষ্ক ব্যাটারি, ক্যালকুলেটরে ব্যবহৃত Ni-Cd ব্যাটারি, হার্টপেচ মেকার ও ঘড়িতে ব্যবহৃত Li-ব্যাটারি, ল্যাপটপ, সেলফোন, ডিজিটেল ক্যামেরায় ব্যবহৃত লিথিয়াম-আয়ন ব্যাটারি, পরিবেশবান্ধব $H_2$ ফুয়েল সেল ইত্যাদি প্রত্যেকটিতে Redox বিক্রিয়া ঘটে।



**অধ্যায়ের প্রধান শব্দসমূহ (Key Words) :** তড়িৎ পরিবাহী, তড়িৎ বিশ্লেষ্য, ফ্যারাডে, ধাতুর সক্রিয়তা সিরিজ, জারণ অর্ধকোষ, বিজারণ অর্ধকোষ, লবণ সেতু, তড়িৎদ্বার বিভব, কোষ বিভব, প্রাইমারি কোষ, সেকেন্ডারি কোষ, ফুয়েল সেল।

**শিখনফল : এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—**

১. তড়িৎ পরিবাহী ও এর প্রকারভেদ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
২. তড়িৎবিশ্লেষ্যের পরিবাহিতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৩. **ব্যবহারিক :** পরীক্ষার মাধ্যমে বিভিন্ন দ্রবণের পরিবাহিতার পার্থক্য দেখাতে এবং তীব্র ও দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য এবং তড়িৎ অবিশ্লেষ্য চিহ্নিত করতে পারবে।
৪. ফ্যারাডের প্রথম সূত্র প্রয়োগ করে তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের পরিমাণ নির্ণয় বর্ণনা করতে পারবে।
৫. ধাতুর সক্রিয়তা সিরিজ বর্ণনা করতে পারবে।
৬. **ব্যবহারিক:** ধাতুর তুলনামূলক সক্রিয়তা পরীক্ষার মাধ্যমে দেখাতে পারবে।
৭. জারণ অর্ধবিক্রিয়া ও বিজারণ অর্ধবিক্রিয়া এবং তড়িৎদ্বার বিভব ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৮. তড়িৎদ্বার বিভবের সাথে ধাতুর সক্রিয়তা সিরিজের সম্পর্ক বর্ণনা করতে পারবে।
৯. Redox বিক্রিয়া ও কোষ বিভব ও প্রমাণ কোষ বিভব ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১০. তড়িৎদ্বার এবং কোষের বিভব সংক্রান্ত নার্নস্ট সমীকরণ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১১. তড়িৎদ্বার ও এর প্রকারভেদ বর্ণনা করতে পারবে।
১২. **ব্যবহারিক :** ধাতু-ধাতব আয়ন তড়িৎদ্বার গঠন করতে পারবে।
১৩. **ব্যবহারিক :** দুটি তড়িৎদ্বারের সাহায্যে কোষ গঠন করে রাসায়নিক শক্তিকে বিদ্যুৎশক্তিতে রূপান্তরিত করে দেখাতে পারবে।
১৪. এক ও দুই প্রকোষ্ঠবিশিষ্ট তড়িৎ রাসায়নিক কোষের গঠন ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৫. রিচার্জেবল (লেড স্টোরেজ ও লিথিয়াম) ব্যাটারির কার্যপ্রণালি এবং রিচার্জ প্রক্রিয়া ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৬. লেড স্টোরেজ এবং লিথিয়াম ব্যাটারি ব্যবহারের সুবিধা অসুবিধা বর্ণনা করতে পারবে।
১৭. ফুয়েল সেলের প্রকারভেদ এবং বিভিন্ন ফুয়েল সেলের অ্যানোড, ক্যাথোড ও ফুয়েল উল্লেখ করতে পারবে।
১৮. হাইড্রোজেন ফুয়েল সেলের গঠন, সংঘটিত বিক্রিয়া ও এর সুবিধা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৯. pH মিটারের সাহায্যে কোনো দ্রবণের pH নির্ণয়ের কৌশল ব্যাখ্যা করতে পারবে।

ডাক্তারি পড়,
ডাক্তারগো
ম্যালা পইসা

## ৪.১ তড়িৎ পরিবাহী ও এর প্রকারভেদ

**Electric-Conductors and their Classification**

'বিদ্যুতের তার' এ শব্দ দুটি আমাদের খুবই পরিচিত শব্দ। ঘরে, অফিসে, কারখানার বিদ্যুতের তার (wire) হলো 'কপার ধাতুর' এবং রাস্তায় বিদ্যুৎ বা তড়িৎ প্রবাহের মোটা 'তার' কয়েকটি ধাতুর সংমিশ্রণে তৈরি 'ধাতু সংকর'। সব ধাতু কম-বেশি তড়িৎ পরিবাহী। ধাতু ছাড়া 'গ্রাফাইট' এবং এসিড, ক্ষার, আয়নিক যৌগ যেমন, NaCl এর জলীয় দ্রবণ বা গলিত NaCl এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ চলাচল করতে পারে।

**তড়িৎ পরিবাহী : যেসব ধাতব-অধাতব পদার্থের মধ্য দিয়ে তড়িৎ চলাচল করতে পারে, এদেরকে তড়িৎ পরিবাহী (electric conductors) বলে।** যেমন, 'কপার তার' হলো ধাতব পরিবাহী; গ্রাফাইট হলো অধাতব পরিবাহী। তরল পদার্থ পারদ বা মার্কারি তড়িৎ পরিবহণ করে।

**তড়িৎ অপরিবাহী : যেসব পদার্থের ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হতে পারে না, এদেরকে অপরিবাহী বা ইনসুলেটর (insulator) বলে।** 'ইলেকট্রিক তার' এর ওপর প্লাস্টিক অথবা রাবারের যে আবরণ দেয়া হয়, এরা হলো তড়িৎ অপরিবাহী বা ইনসুলেটর।

*** তড়িৎ পরিবাহীর শ্রেণিবিভাগ :** তড়িৎ পরিবাহীকে তিন শ্রেণিতে ভাগ করা হয়। যেমন,

(১) তড়িৎ সুপরিবাহী, (২) তড়িৎ অর্ধপরিবাহী ও (৩) সুপার পরিবাহী বা সুপার কন্ডাক্টর।

**(১) তড়িৎ সুপরিবাহী :** যেসব ধাতু যেমন কপার, অ্যালুমিনিয়াম, আয়রন, জিঙ্ক, সিলভার ইত্যাদি সহজে বিদ্যুৎ পরিবহণ করতে পারে, এদেরকে তড়িৎ সুপরিবাহী (good conductor) বলা হয়।

**(২) অর্ধপরিবাহী বা সেমিকন্ডাক্টর :** তড়িৎ পরিবাহী ও তড়িৎ অপরিবাহী বা ইনসুলেটর–এ দুয়ের মাঝামাঝি পরিবাহিতা গুণসম্পন্ন কিছু পদার্থ আছে, এদেরকে অর্ধপরিবাহী বা সেমিকন্ডাক্টর (semiconductors) বলা হয়। পর্যায় সারণির গ্রুপ IV A (14) এর সিলিকন (Si) ও জার্মেনিয়াম (Ge)-এসব অর্ধধাতু বা মেটালয়েড হলো সেমিকন্ডাক্টর।

**(৩) সুপার কন্ডাক্টর :** বর্তমানে সুপার পরিবাহী বা সুপার কন্ডাক্টর নামক বিশেষ তড়িৎ পরিবাহী আবিষ্কৃত হয়েছে। এসব সুপার কন্ডাক্টর হলো সংকর ধাতু ও সংকর ধাতুর অক্সাইড। এদের নির্দিষ্ট একটি সন্ধি তাপমাত্রা $T_c$ (Super conducting transition temperature) নামক নিম্ন তাপমাত্রা থাকে; ঐ তাপমাত্রার নিচে এসব ধাতব পরিবাহীর কোনো বিদ্যুৎ রোধ থাকে না। যেমন, $Nb_3Ge$ এর $T_c$ হলো 23.2 K এবং $YBa_2Cu_3O_7$ এর $T_c$= 90 K। এসব সুপার কন্ডাক্টরের মধ্য দিয়ে কোনো শক্তির অপচয় (loss) ছাড়া তড়িৎ অনায়াসে চলতে পারে।

*** তড়িৎ পরিবাহীর প্রকারভেদ : তড়িৎ পরিবহণের মেকানিজমের ভিন্নতার ওপর ভিত্তি করে তড়িৎ পরিবাহী মূলত দু'প্রকার।** যেমন– **(১) ইলেকট্রনীয় বা ধাতব পরিবাহী ও (২) তড়িৎ বিশ্লেষ্য পরিবাহী।**

**ইলেকট্রনীয় বা ধাতব পরিবাহী :** কঠিন ধাতব ও অধাতব তড়িৎ পরিবাহীকে **ইলেকট্রনীয় পরিবাহী বা ধাতব পরিবাহী** বলে। যেমন, কপার ধাতু ও গ্রাফাইট অধাতু হলেও ইলেকট্রনীয় পরিবাহী।

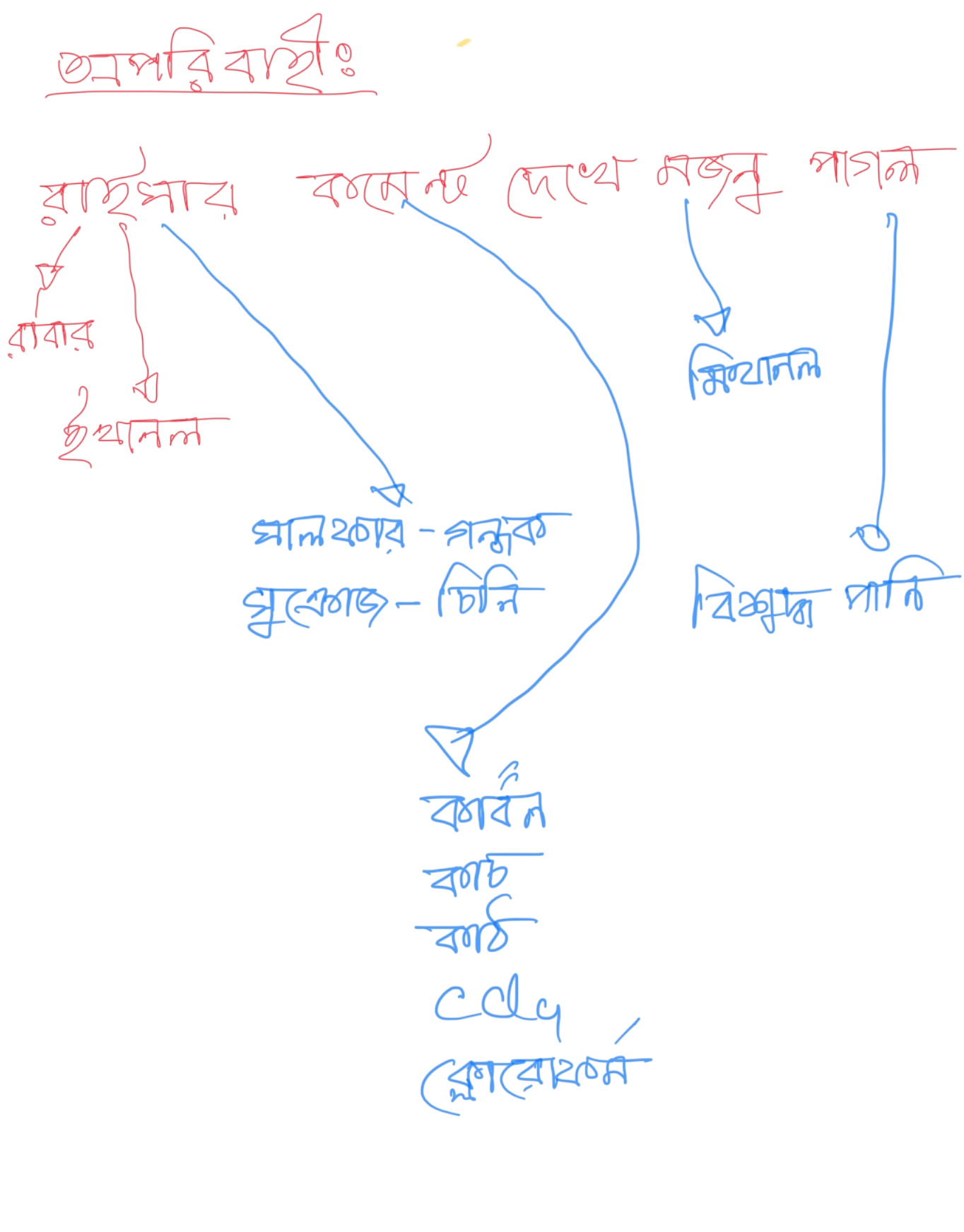
**বৈশিষ্ট্য :** (১) এসব কঠিন পদার্থে পরমাণুর বহিঃস্তরে এক বা একাধিক সঞ্চরণশীল ইলেকট্রন থাকে। তাই এসব পরিবাহীর এক প্রান্তে তড়িৎক্ষেত্র এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ বা বিদ্যুৎ পরিবহণকালে জারণ-বিজারণ বিক্রিয়া ঘটে। তাই এদের এরূপ নামকরণ হয়েছে।

(২) এসব তড়িৎ বিশ্লেষ্য আয়নিক যৌগ গলিত অবস্থায় এবং জলীয় দ্রবণে এদের উভয় প্রকার আয়নগুলো কেলাস ল্যাটিস (lattice) বা কেলাস জালি থেকে মুক্ত হয়ে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নরূপে তরল মাধ্যমে সঞ্চরণশীল থাকে বলে তড়িৎ পরিবহণ করতে পারে।

**(৩) জলীয় দ্রবণে আয়নিক যৌগের ও পোলার সমযোজী যৌগের ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নগুলো যথাক্রমে ইলেকট্রন গ্রহণ ও বর্জন করে অর্থাৎ রাসায়নিক পরিবর্তনের মাধ্যমে তড়িৎ পরিবহণ করে থাকে। তাই এরূপ তড়িৎ পরিবাহীকে তড়িৎ বিশ্লেষ্য পরিবাহী** (electrolyte) **বা আয়নিক পরিবাহী বলে।**

**তড়িৎ বিশ্লেষ্যের শ্রেণিবিভাগ :** কঠিন পরিবাহীর মতো পদার্থের জলীয় দ্রবণও সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য (strong electrolyte), দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য (weak electrolyte) ও তড়িৎ অবিশ্লেষ্য (non-electrolyte)—এ তিন শ্রেণিতে

অপরিবাহী:



রাইখার কাবেল্ড দেখে মজনু পাগল

রাবার

ইথানল

মিথানল

অ্যালকোহল - গন্ধক

গ্লুকোজ - চিনি

বিশুদ্ধ পানি

কার্বন

কাচ

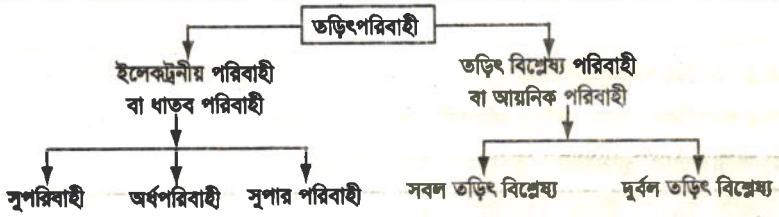
কাঠ

$CCl_4$

ক্লোরোফর্ম

বিভক্ত। যেসব আয়নিক যৌগ জলীয় দ্রবণে প্রায় 70% –100% পরিমাণে আয়নিত হয়, এরা হলো সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য যেমন, KCl, NaCl, HCl, $H_2SO_4$, NaOH, KOH ইত্যাদির দ্রবণ।

অপরদিকে যেসব যৌগ খুব কম পরিমাণে যেমন 1% –10% দ্রবণে আয়নিত হয়, এদেরকে দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য বলে। যেমন, 0.1M $CH_3COOH$, HF দ্রবণ। আবার যেসব যৌগ পানিতে আয়নিত হয় না ; তাই তড়িৎ পরিবহণ করতে পারে না, এদেরকে **তড়িৎ অবিশ্লেষ্য** পদার্থ বলে। যেমন– চিনির দ্রবণ, অ্যালকোহল, তরল হাইড্রোকার্বনসমূহ।




**জেনে নাও :**

* ধাতব বন্ধনে আবদ্ধ ধাতুর কেলাস জালির (crystal lattice) মধ্যে থাকা মুক্ত ইলেকট্রনগুলো তড়িৎ পরিবহণ করে থাকে।
* কঠিন আয়নিক যৌগের কেলাস জালিতে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়ন আবদ্ধ থাকে; এদের কোনো মুক্ত ইলেকট্রন থাকে না। তাই কঠিন আয়নিক যৌগ তড়িৎ পরিবহণ করতে পারে না। কঠিন আয়নিক যৌগ তড়িৎ অপরিবাহী।
* দ্রবণে বা গলিত অবস্থায় আয়নিক যৌগের ধনাত্মক আয়ন ও ঋণাত্মক আয়নগুলো কেলাস জালি থেকে মুক্ত হয়ে সচল হয়। তখন বিপরীতধর্মী আয়নগুলো তড়িৎ পরিবহণ করতে পারে। এ অবস্থায় আয়নগুলোর মধ্যে তড়িৎ শক্তির প্রভাবে জারণ বিজারণ ঘটে। তাই আয়নিক যৌগের জলীয় দ্রবণ ও গলিত অবস্থায় তড়িৎ পরিবহণ করাকে **তড়িৎ বিশ্লেষণ** বলে এবং ঐ রূপ পরিবাহীকে **তড়িৎ বিশ্লেষ্য পরিবাহী** বলে।
* গ্রাফাইট হলো কার্বনের একটি বহুরূপ। এটিতে $sp^2$ সংকরিত কার্বন পরমাণুগুলোর একটি করে মুক্ত ইলেকট্রন থাকে। তাই গ্রাফাইট তড়িৎ পরিবাহী হয়। গ্রাফাইট হলো অধাতব ইলেকট্রনীয় পরিবাহী।
* **ব্যতিক্রম :** পারদ (Hg) তরল ধাতু হলেও এটি একটি ইলেকট্রনীয় তড়িৎ পরিবাহী।

## ৪.১.১ ধাতব বা ইলেকট্রনীয় পরিবাহী ও তড়িৎ বিশ্লেষ্য পরিবাহীর মধ্যে পার্থক্য

**Differences between Electronic & Electrolytic conductors**

১। ধাতব বা ইলেকট্রনীয় পরিবাহীতে সঞ্চরণশীল ইলেকট্রন দ্বারা তড়িৎ প্রবাহ চলে। অপরদিকে তড়িৎ বিশ্লেষ্যের সঞ্চরণশীল ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়ন দ্বারা তড়িৎ প্রবাহ ঘটে।

২। ইলেকট্রনীয় পরিবাহীতে তড়িৎ প্রবাহ একটি ভৌত প্রক্রিয়া, এতে তাপমাত্রার পরিবর্তন ঘটে মাত্র; সংশ্লিষ্ট পরমাণুতে ইলেকট্রনের গ্রহণ বা বর্জন বা শেয়ার ঘটে না।

অপরদিকে তড়িৎ বিশ্লেষ্য পরিবাহীতে তড়িৎ পরিবহণ একটি রাসায়নিক প্রক্রিয়া, এতে সংশ্লিষ্ট আয়ন দ্বারা ইলেকট্রন গ্রহণ বা বর্জন ঘটে।

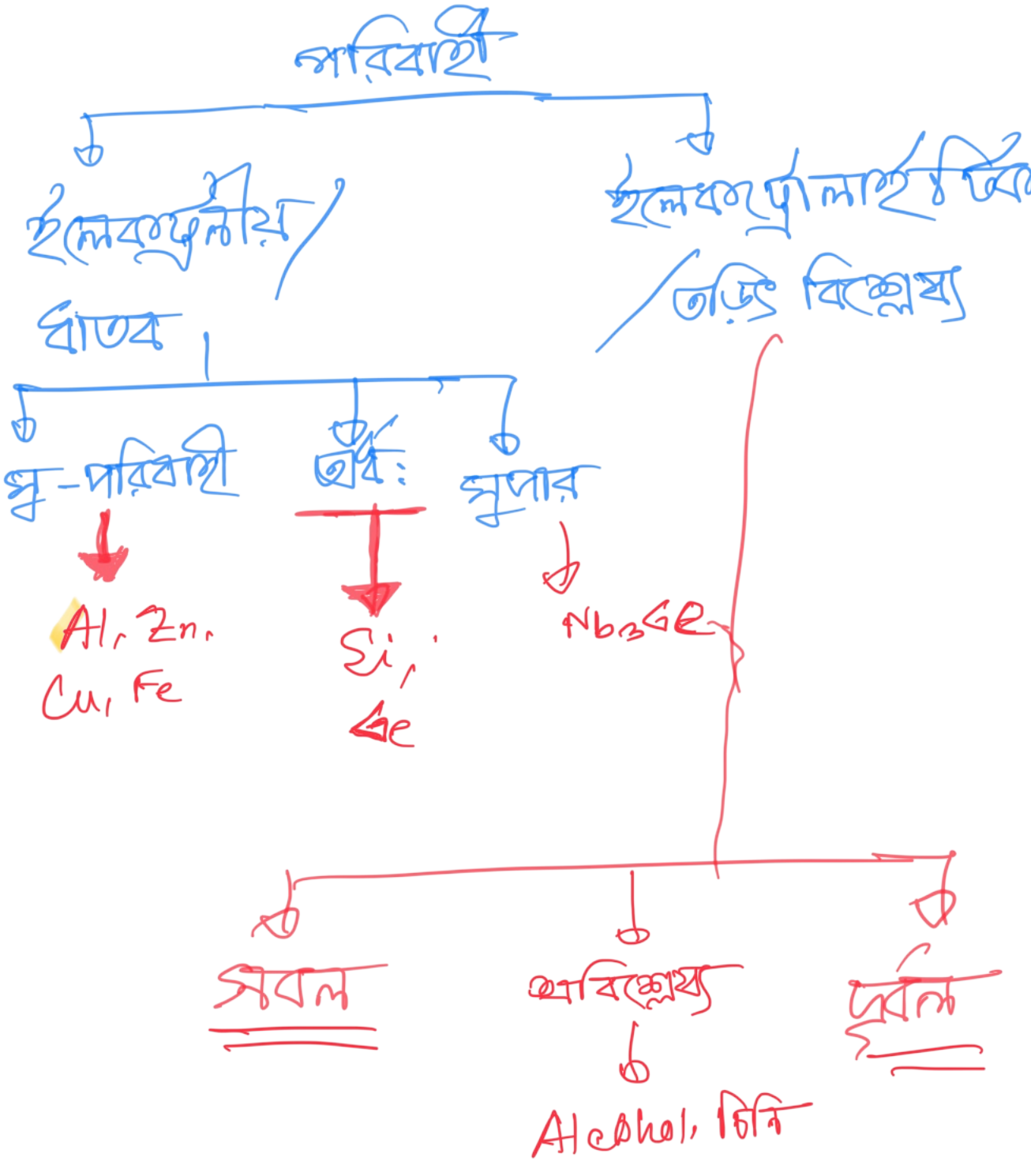
৩। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে ধাতব পরিবাহীর তড়িৎ পরিবহণ ক্ষমতা হ্রাস পায়।

অপরদিকে তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে তড়িৎ বিশ্লেষ্যের তড়িৎ পরিবহণ ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়। কারণ তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে আয়নসমূহের গতি বৃদ্ধি পায়।

৪। ধাতব পরিবাহীর ক্ষেত্রে কুলম্বের সূত্র প্রযোজ্য ; অপরদিকে, তড়িৎ বিশ্লেষ্য পরিবাহীর ক্ষেত্রে ফ্যারাডের সূত্র প্রযোজ্য।

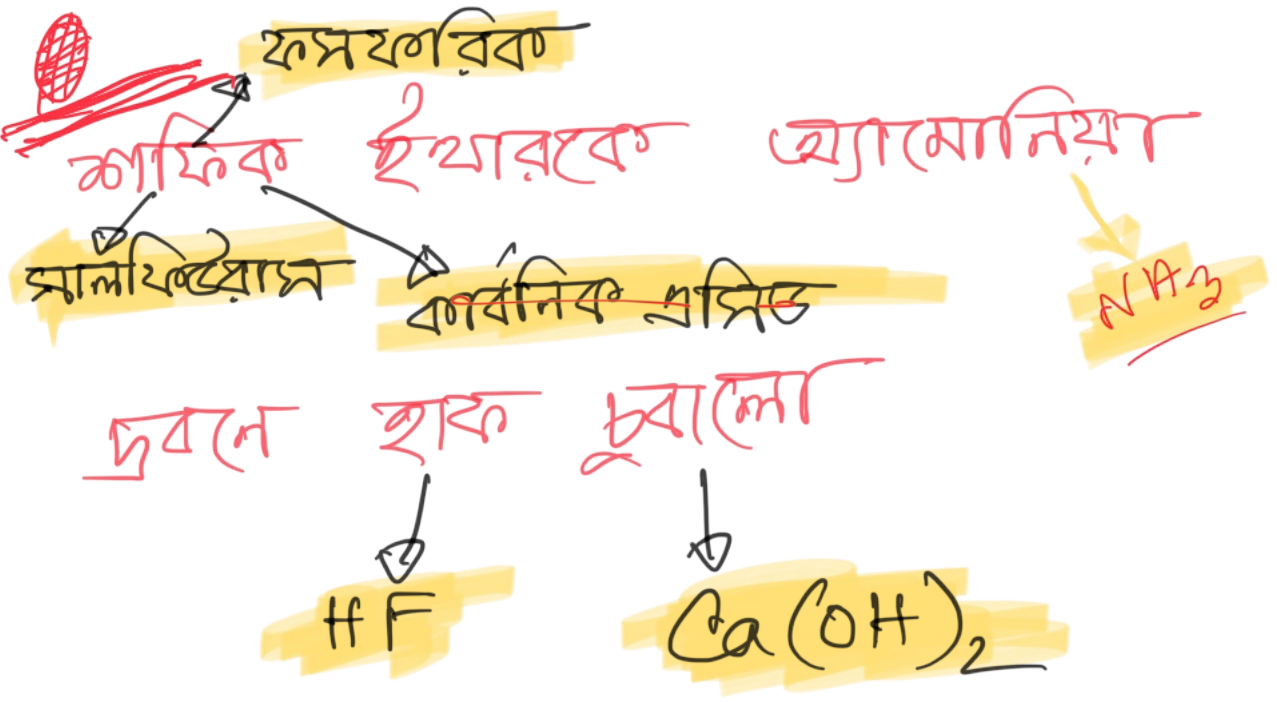
৫। ইলেকট্রনীয় পরিবাহীতে তড়িৎ পরিবহণ ক্ষমতা তড়িৎ বিশ্লেষ্য পরিবাহীর তুলনায় অনেক গুণ বেশি থাকে।

৬। ধাতব পরিবাহীগুলো ধাতু অথবা গ্রাফাইট কার্বন হয়। অপরদিকে তড়িৎ বিশ্লেষ্য পরিবাহী আয়নিক যৌগ বা পোলার সমযোজী যৌগের দ্রবণ হয়।



পরিবাহী

- ইলেকট্রনীয় / ধাতব
  - সু-পরিবাহী → Al, Zn, Cu, Fe
  - অর্ধ: → Si, Ge
  - সুপার → $Nb_3Ge$
- ইলেকট্রোলাইটিক / তড়িৎ বিশ্লেষ্য
  - সবল
  - অবিশ্লেষ্য → Alcohol, চিনি
  - দুর্বল



ফসফরিক

শক্তিক ইথারকে অ্যামোনিয়া

সালফিউরাস

~~কার্বনিক এসিড~~

$NH_3$

দুর্বলে হাফ চুবালো

HF

$Ca(OH)_2$

**জেনে নাও : তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে ধাতুর বা ইলেকট্রনীয় পরিবাহীর তড়িৎ প্রবাহ হ্রাস পায় কেন?** [চ. বো. ২০১৯]

কারণ তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে ধাতুর কেলাস ল্যাটিস বা কেলাস জালিকার নির্দিষ্ট অবস্থানে থাকা ধনাত্মক আয়নগুলো (বা positive cores) তাদের অবস্থানের আশেপাশে দোদুল্যমান (oscillating) অবস্থায় থাকে। তখন দোদুল্যমান ধনাত্মক আয়নগুলোর সাথে গতিশীল বা ডিলোকালাইজড ইলেকট্রনগুলো ধাক্কা খেতে থাকে। ফলে ইলেকট্রনসমূহের গতি হ্রাস পায়। অর্থাৎ ধাতুর রোধ বা resistance বেড়ে যায়। তাই তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে ইলেকট্রনীয় পরিবাহী বা ধাতুর তড়িৎ প্রবাহ হ্রাস পায়।

**শিক্ষার্থীর কাজ-৪.১ : তড়িৎ পরিবাহীভিত্তিক :**

**প্রশ্ন-৪.১ :** নিচের পদার্থসমূহ কোন শ্রেণির পরিবাহী, তা ব্যাখ্যা করো : [অনুধাবনভিত্তিক]

(ক) কপার তার, গ্রাফাইট, কেরোসিন, NaOH দ্রবণ।

(খ) কঠিন NaCl, হীরক, গ্রাফাইট, গলিত $CaCl_2$।

**প্রশ্ন-৪.২ :** ইলেকট্রনীয় বা ধাতব পরিবাহী ও তড়িৎ বিশ্লেষ্য পরিবাহীর মধ্যে পার্থক্যসমূহ লেখ। [অনুধাবনভিত্তিক]

**প্রশ্ন-৪.৩ :** গ্রফাইট বিদ্যুৎ পরিবাহী, কিন্তু হীরক বিদ্যুৎ অপরিবাহী; ব্যাখ্যা করো। [অনুধাবনভিত্তিক]

## ৪.২ তড়িৎ বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতা

### Conductance or Conductivity of Electrolytes

এখন আমরা তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থসমূহ কীরূপে তড়িৎ পরিবহণ করে, তা নিচের ব্যাখ্যা থেকে জানতে পারবো।

**তড়িৎ বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতার সংজ্ঞা :** আয়নিক যৌগের জলীয় দ্রবণে অথবা গলিত অবস্থায় তড়িৎ বা বিদ্যুৎ পরিবহণ করার ক্ষমতাকে তড়িৎ বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতা বলে। পরিমাণগতভাবে তড়িৎ বিশ্লেষ্যের রোধের ব্যস্তানুপাতিক হলো ঐ তড়িৎ বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতা। তড়িৎ বিশ্লেষ্য পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হওয়ার কালে আয়নগুলো দ্বারা তড়িৎ বহনের বিরুদ্ধে ঐ পরিবাহী যে বাধা সৃষ্টি করে, তাকে ঐ তড়িৎ বিশ্লেষ্য পরিবাহীর রোধ বলে। যেমন, কোনো তড়িৎ বিশ্লেষ্যের রোধ R এবং পরিবাহিতা L হলে, তখন $L = \frac{1}{R}$; **পরিবাহিতার একক** $= \frac{1}{\text{রোধের একক}}$

CGS পদ্ধতিতে পরিবাহিতার একক হলো ওম$^{-1}$ (ohm$^{-1}$) বা, mho $= \Omega^{-1}$। SI পদ্ধতিতে পরিবাহিতার একক হলো সিমেনস্ (Siemens)। সিমেনস্‌কে S প্রতীক দ্বারা প্রকাশ করা হয়। $1S = 1ohm^{-1} = 1\ \Omega^{-1} = 1$ mho

* তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রবণের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ ওমের সূত্র মেনে চলে।

* তড়িৎ বিশ্লেষ্যের ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নগুলো দ্রবণ বা তরল মাধ্যমে প্রবাহিত হওয়ার সময় তরল মাধ্যম আয়নগুলোর গতির বিপরীতে বাধা সৃষ্টি করে। **তরল মাধ্যমে প্রাপ্ত তড়িৎ বিশ্লেষ্যের আয়নগুলোর গতির বাধাকে ঐ তড়িৎ বিশ্লেষ্যের রোধ বলে।**

* কঠিন পরিবাহীর বেলায় রোধ (resistance) যেমন, পরিমাপ করা হয়, তেমনি তড়িৎ বিশ্লেষ্যের বেলায় রোধের পরিবর্তে পরিবাহিতা (conductance) পরিমাপ করা হয়।

### ৪.২.১ তড়িৎ বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতার প্রকারভেদ

#### Different Types of Conductivity

বিভিন্ন পদার্থের তড়িৎ পরিবাহিতার তুলনা করার জন্য তাদের তড়িৎ পরিবাহিতাকে নিম্নোক্ত তিন প্রকারে প্রকাশ বা গণনা করা হয়। যেমন—

(১) তড়িৎ বিশ্লেষ্যের আপেক্ষিক পরিবাহিতা (Specific Conductance), $\kappa$ (Kappa)

(২) তড়িৎ বিশ্লেষ্যের তুল্য পরিবাহিতা (Equivalent Conductance), $\Lambda$ (Lamda)

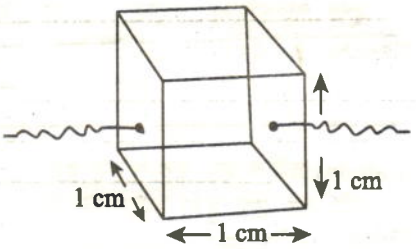
(৩) তড়িৎ বিশ্লেষ্যের মোলার পরিবাহিতা (Molar Conductance), $\Lambda_m$ বা, $\mu$ (Mu)

**(১) তড়িৎ বিশ্লেষ্যের আপেক্ষিক পরিবাহিতা :** ওমের সূত্র অনুসারে, $l$ cm. দূরে অবস্থিত ও A $cm^2$ প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট দুটি ধাতব তড়িৎদ্বারের মধ্যবর্তী কোনো তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রবণের রোধ যদি R হয়, তবে

$$R \propto \frac{l}{A}; \text{ বা, } R = \rho \times \frac{l}{A} \quad \ldots\ldots (1)$$

এ সমীকরণে 'ρ' (rho) একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক।

এ ধ্রুবকটিকে তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রবণের আপেক্ষিক রোধ বলা হয়। অপর কথায়, যখন $l$ = 1 cm এবং A = 1 $cm^2$ হয়, তখন R = ρ হয়। সুতরাং **1 cm দূরত্বে থাকা ও 1 $cm^2$ প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট দুটি তড়িৎদ্বারের মধ্যবর্তী তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রবণের রোধকে ঐ তড়িৎবিশ্লেষ্যের আপেক্ষিক রোধ (ρ) বলে। আপেক্ষিক রোধের বিপরীত রাশিকে আপেক্ষিক পরিবাহিতা বলা হয়।**



চিত্র-৪.১ : আপেক্ষিক রোধ

**আপেক্ষিক পরিবাহিতার সংজ্ঞা :** এক সেন্টিমিটার দূরত্বে থাকা ও এক বর্গসেন্টিমিটার ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট দুটি তড়িৎদ্বারের মধ্যবর্তী অংশের তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রবণের পরিবাহিতাকে ঐ তড়িৎ বিশ্লেষ্যের আপেক্ষিক পরিবাহিতা বলে। অপর কথায়, কোনো তড়িৎ বিশ্লেষ্যের এক ঘন সেন্টিমিটার আয়তনের পরিবাহিতাকে ঐ তড়িৎ বিশ্লেষ্যের আপেক্ষিক পরিবাহিতা বলে। আপেক্ষিক পরিবাহিতাকে κ (Kappa) প্রতীক দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

**MCQ-4.1 : SI পদ্ধতিতে পরিবাহিতার একক কোনটি?**

(ক) S (খ) $ohm^{-1}$

(গ) mho (ঘ) $\Omega^{-1}$

$$\therefore \text{ আপেক্ষিক পরিবাহিতা, } \kappa = \frac{1}{\rho} \quad \ldots\ldots (2)$$

(1) নং সমীকরণ থেকে 'ρ' এর মান (2) নং সমীকরণে বসিয়ে পাই,

$$\kappa = \left(\frac{1}{R}\right) \times \frac{l}{A}; \quad \text{বা, } \kappa = L \times \frac{l}{A} \quad \ldots\ldots (3)$$

[যেহেতু দ্রবণের পরিবাহিতা, $L = \frac{l}{R}$]

**আপেক্ষিক পরিবাহিতার একক :** আমরা জানি, আপেক্ষিক পরিবাহিতা, $\kappa = L \times \frac{l}{A}$

$\therefore$ CGS পদ্ধতিতে আপেক্ষিক পরিবাহিতা κ এর একক $= \frac{l}{R} \times \frac{l}{A}$

$$= \frac{1}{\text{রোধের একক}} \times \frac{\text{দৈর্ঘ্যের একক}}{\text{ক্ষেত্রফলের একক}} = \frac{1}{\text{ওম}} \times \frac{\text{সেমি}}{(\text{সেমি})^2}$$

$$= \text{ওম}^{-1}\ \text{সেমি}^{-1}\ (ohm^{-1}\ cm^{-1}) \text{ বা, } mho.\ cm^{-1}$$

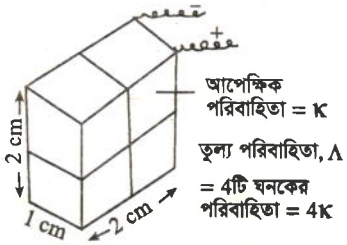
$\therefore$ SI এককে আপেক্ষিক পরিবাহিতার একক = সিমেনস্ $\times \frac{\text{মিটার}}{(\text{মিটার})^2} = Sm^{-1}$

**জেনে নাও :** কোনো তড়িৎ বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতা ও আপেক্ষিক পরিবাহিতা নিম্নোক্ত বিষয়ের ওপর নির্ভর করে।

(১) তড়িৎ বিশ্লেষ্যের উপস্থিত আয়নের সংখ্যা, (২) আয়নগুলোর চার্জ বা আধান, (৩) আয়নগুলোর আকার, (৪) আয়নগুলোর গতিবেগ, (৫) তাপমাত্রা, (৬) দ্রবণের গাঢ়ত্ব, (৭) দ্রাবকের প্রকৃতি [দ্রাবক তড়িৎ বিশ্লেষ্যের ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নগুলোকে আকর্ষণ করে পরস্পর থেকে বিচ্ছিন্ন হতে সাহায্য করে। তড়িৎ বিশ্লেষ্যের বিপরীতধর্মী আয়নগুলোকে বিচ্ছিন্ন করার ক্ষমতাকে দ্রাবকের ডাই-ইলেকট্রিক ধ্রুবক বলে। এটির মান যত বেশি হয়, তড়িৎ বিশ্লেষ্য ঐ দ্রাবকে তত বেশি আয়নিত হয়। ফলে তড়িৎ পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায়। যেমন, পানির ডাই-ইলেকট্রিক ধ্রুবক হলো ৮০ এবং মিথাইল অ্যালকোহলের ৩০। তাই তড়িৎ বিশ্লেষ্য পানিতে বেশি আয়নিত হয়।]

**(২) তড়িৎ বিশ্লেষ্যের তুল্য পরিবাহিতা :** তড়িৎ বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতা নির্ণয়ের ক্ষেত্রে তড়িৎ বিশ্লেষ্যের পরিমাণ নির্দিষ্ট না থাকায় বিভিন্ন তড়িৎ বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতা সঠিকভাবে তুলনা করা যায় না। এজন্যে তুল্য পরিবাহিতা ও মোলার পরিবাহিতা নামে অপর দুটি রাশি ব্যবহৃত হয়ে থাকে।

**তুল্য পরিবাহিতার সংজ্ঞা :** কোনো তড়িৎ বিশ্লেষ্যের এক গ্রাম তুল্যভর পরিমাণের দ্রবণকে এক সেন্টিমিটার (1 cm) দূরত্বে থাকা দুটি উপযুক্ত তড়িৎদ্বারের মধ্যবর্তী স্থানে রাখলে তড়িৎ প্রবাহে দ্রবণটির যে পরিবাহিতা হয়, তাকে ঐ তড়িৎ বিশ্লেষ্যের তুল্য পরিবাহিতা বলে। তুল্য পরিবাহিতাকে $\Lambda$ (Lamda) প্রতীক দ্বারা প্রকাশ করা হয়।



চিত্র-৪.২: 4 $cm^3$ আয়তনের দ্রবণের 1.0 গ্রাম তুল্যভর গড়ি বিশ্লেষ্য আছে। ∴ A = 4 k

যদি এক গ্রাম তুল্য তড়িৎ বিশ্লেষ্য V $cm^3$ দ্রবণে থাকে এবং দ্রবণের আপেক্ষিক পরিবাহিতা $\kappa$ (Kappa) হয়, তখন তুল্যপরিবাহিতা, $\Lambda = \kappa \times V$। অর্থাৎ এ সমীকরণ থেকে বোঝা যায়, তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রবণের আপেক্ষিক পরিবাহিতা ($\kappa$) কে দ্রবণের মোট আয়তন (V) দ্বারা গুণ করলে তুল্য পরিবাহিতার মান পাওয়া যায়।

**** তড়িৎ বিশ্লেষ্যের তুল্য পরিবাহিতা ও আপেক্ষিক পরিবাহিতার মধ্যে সম্পর্ক :**

মনে করি, এক গ্রাম তুল্যভর একটি তড়িৎ বিশ্লেষ্য 4 $cm^3$ পানিতে দ্রবীভূত করে দ্রবণ তৈরি করা হলো। [ আণবিক ভরকে ক্যাটায়নের মোট চার্জ সংখ্যা দ্বারা ভাগ করলে ঐ যৌগের তুল্যভর পাওয়া যায়। যেমন $Na_2CO_3$ এর তুল্যভর হলো $(106 \div 2) = 53$ ।] এ দ্রবণটিকে 1 cm দূরত্বে থাকা 4 $cm^2$ আয়তনের দুটি প্লাটিনাম (Pt) পাতের মধ্যবর্তী স্থানে রাখা হলো। চিত্র-৪.২ অনুযায়ী দ্রবণটি 1 $cm^3$ আয়তনের 4টি ঘনকের আয়তনের সমান। প্রতি 1 $cm^3$ দ্রবণে থাকা ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নের পরিবাহিতা হলো ঐ দ্রবণের আপেক্ষিক পরিবাহিতা ($\kappa$)। সম্পূর্ণ দ্রবণের পরিবাহিতা হবে $4\kappa$। সুতরাং একইভাবে V $cm^3$ দ্রবণের আয়তন V সংখ্যক একক ঘনকের মধ্যবর্তী স্থানে অবস্থান করবে। তখন মোট তুল্য পরিবাহিতা হবে, $\Lambda = \kappa \times V$

ধরা যাক, একটি তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রবণের ঘনমাত্রা C গ্রাম তুল্যভর/লিটার (বা এক নরমাল দ্রবণ 1 N)।

∴ C গ্রাম তুল্যভর তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রবীভূত আছে 1000 $cm^3$ দ্রবণে

∴ 1 গ্রাম তুল্যভর তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রবীভূত আছে $\frac{1000}{C}$ $cm^3$ দ্রবণে

তুল্য পরিবাহিতার সংজ্ঞা মতে, কোনো দ্রবণের যে আয়তনে এক গ্রাম তুল্যভর তড়িৎ বিশ্লেষ্য বর্তমান থাকে, সে দ্রবণের মোট পরিবাহিতা হলো দ্রবণটির তুল্য পরিবাহিতা ($\Lambda$)। অর্থাৎ মোট আয়তন $V = \frac{1000}{C}$ $cm^3$

∴ তুল্য পরিবাহিতা, $\Lambda = \kappa \times \frac{1000\ cm^3}{C}$, এখানে C = গ্রাম তুল্যভর/লিটার

**তুল্য পরিবাহিতার একক :** তুল্য পরিবাহিতা, $\Lambda = \kappa \times \frac{1000\ cm^3}{C}$

∴ $\Lambda$ এর একক = $\kappa$ এর একক $\times$ $\frac{\text{আয়তনের একক}}{\text{দ্রবণের ঘনমাত্রার একক}}$

**MCQ-4.2 : আপেক্ষিক পরিবাহিতার সূত্র কোনটি?**

(ক) $L = R^{-1}$ (খ) $\kappa = \frac{l}{\rho}$

(গ) $R = \rho$ (ঘ) $R = \frac{l}{A}$

CGS এককে $\Lambda$ এর একক $= \frac{\text{ওম}^{-1}\ \text{সেমি}^{-1} \times \text{সেমি}^3}{\text{গ্রাম তুল্যভর}}$

$= \text{ওম}^{-1}\ \text{সেমি}^2\ (\text{গ্রাম তুল্যভর})^{-1} = ohm^{-1}.\ cm^2.\ (g.\ eqv)^{-1}$

SI এককে $\Lambda$ এর একক $= S.m^2.\ (g.eqv)^{-1}$

**(৩) তড়িৎ বিশ্লেষ্যের মোলার পরিবাহিতা : সংজ্ঞা :** কোনো তড়িৎ বিশ্লেষ্যের এক মোল পরিমাণের দ্রবণকে এক সেন্টিমিটার (1 cm) দূরত্বে থাকা দুটি উপযুক্ত তড়িৎদ্বারের মধ্যবর্তী স্থানে রাখলে তড়িৎ প্রবাহে দ্রবণটির যে পরিবাহিতা হয়, তাকে ঐ তড়িৎ বিশ্লেষ্যের মোলার পরিবাহিতা বলে। মোলার পরিবাহিতাকে $\Lambda_m$ প্রতীক দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

V আয়তনের দ্রবণে এক মোল তড়িৎ বিশ্লেষ্য থাকলে মোলার পরিবাহিতা ও আপেক্ষিক পরিবাহিতার মধ্যে নিম্নরূপ সম্পর্ক হয় : $\Lambda_m = \kappa \times V$

যদি M mol তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ 1000 $cm^3$ দ্রবণে দ্রবীভূত থাকে। তখন $\Lambda_m = \kappa \times \frac{1000\ cm^3}{M}$

**মোলার পরিবাহিতার একক :** মোলার পরিবাহিতা, $\Lambda_m = \kappa \times \frac{1000\ cm^3}{M}$

$\therefore \Lambda_m$ এর একক = $\kappa$ এর একক $\times \frac{\text{আয়তনের একক}}{\text{দ্রবণের মোলার একক}}$

CGS এককে $\Lambda_m$ এর একক = ওম$^{-1}$ সেমি$^{-1} \times \frac{\text{সেমি}^3}{\text{মোল}}$

= ওম$^{-1}$ , সেমি$^2$. মোল$^{-1}$ = $ohm^{-1}.cm^2\ mol^{-1}$

**MCQ-4.3 : তুল্য পরিবাহিতার সূত্র কোনটি?**

(ক) $\kappa = \rho^{-1}$ (খ) $L = R^{-1}$

(গ) $\Lambda = \frac{\kappa \times 1000\ cm^3}{C}$ (ঘ) $\Lambda = \kappa \times V$

**জেনে নাও :** তুল্য পরিবাহিতা ও মোলার পরিবাহিতার বৈশিষ্ট্য হলো :

(১) তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের পরিমাণ নির্দিষ্ট যেমন এক গ্রাম তুল্যভর বা এক মোল।

(২) তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের দ্রবণের আয়তন নির্দিষ্ট নয়।

(৩) তড়িৎ বিশ্লেষ্য নির্দিষ্ট; কিন্তু আয়তন নির্দিষ্ট না হওয়ায় ঘনমাত্রা নির্দিষ্ট নয়।

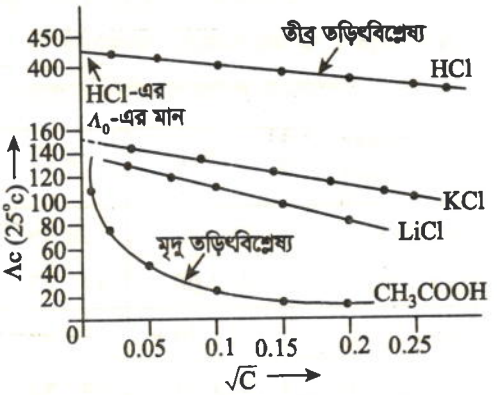
(৪) ঘনমাত্রা নির্দিষ্ট না হওয়ায়; নির্দিষ্ট আয়তনে একই তড়িৎ বিশ্লেষ্যের তুল্য পরিবাহিতা বা মোলার পরিবাহিতা বিভিন্ন হয়।

## ৪.২.২ তড়িৎ বিশ্লেষ্যের ঘনমাত্রা পরিবর্তনে তুল্য পরিবাহিতার পরিবর্তন

### Change of Equivalent Conductance with Concentration Change

কোনো তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্যের তুল্য পরিবাহিতা তড়িৎ বিশ্লেষ্যের ঘনমাত্রা হ্রাসের সাথে সরল রৈখিকভাবে বৃদ্ধি পায়। অপরদিকে মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য ($CH_3COOH$) এর ঘনমাত্রা হ্রাসের সাথে তুল্য পরিবাহিতা বক্র আকারে বৃদ্ধি পায় এবং অসীম লঘুতায় তুল্য পরিবাহিতা নির্ণয় করা যায় না। [চিত্র-৪.৩]

**অসীম লঘুতায় তুল্য পরিবাহিতা :** তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্য (HCl, KCl, LiCl, NaCl ইত্যাদি) পদার্থের দ্রবণকে পানি যোগ করে লঘু করতে থাকলে এর তুল্য পরিবাহিতা ক্রমশ বৃদ্ধি পেয়ে এমন একটি স্থির মানে পৌঁছে যে, ঐ দ্রবণটিকে আরো লঘু করলে সেটির তুল্য পরিবাহিতা মান আর বৃদ্ধি পায় না। তখন ঐ শেষ মানটিকে তড়িৎ বিশ্লেষ্যটির অসীম লঘুতায় তুল্য পরিবাহিতা বলে। এটিকে $\Lambda_o$ দ্বারা চিহ্নিত করা হয়।




চিত্র-৪.৩ : $\Lambda_c$ বনাম $\sqrt{C}$ এর লেখচিত্র

বিজ্ঞানী কোলরাশ পরীক্ষামূলক ফলাফলের ভিত্তিতে তড়িৎ বিশ্লেষ্যের ঘনমাত্রা (C) এর সঙ্গে তুল্য পরিবাহিতার নিম্নরূপ সম্পর্ক নির্ণয় করেন।

সম্পর্কটি হলো,

$\Lambda_c = \Lambda_o - b\sqrt{C}$ ; এক্ষেত্রে $\Lambda_c$ হলো C ঘনমাত্রায় তড়িৎ বিশ্লেষ্যের তুল্য পরিবাহিতা, $\Lambda_o$ = অসীম লঘুতায় ঐ তড়িৎ বিশ্লেষ্যের তুল্য পরিবাহিতা, b = ঐ তড়িৎ বিশ্লেষ্যের একটি ধ্রুবক রাশি। পরীক্ষার ভিত্তিতে নির্ণীত কয়েকটি তড়িৎ বিশ্লেষ্যের $\Lambda_c$ বনাম $\sqrt{C}$ এর লেখচিত্র দেখানো হলো। [চিত্র-৪.৩]

**তড়িৎ বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতার নির্ভরশীলতা :** কোনো তড়িৎ বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতা নির্ভর করে তড়িৎ বিশ্লেষ্যের দ্রবণে উপস্থিত (i) আয়নের সংখ্যা ও (ii) আয়নগুলোর গতিবেগের ওপর।

(1) এক গ্রাম তুল্যভর পরিমাণ তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্য (HCl, KCl) যেকোনো লঘুতায় সম্পূর্ণ আয়নিত থাকে। ফলে তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্যের যেকোনো ঘনমাত্রায় আয়নের সংখ্যা একই থাকে। তাই শুধুমাত্র আয়নগুলোর গতিবেগের ওপর তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতা নির্ভর করে।

তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্যের গাঢ় দ্রবণে আয়নগুলো কাছাকাছি থাকায় বিপরীতধর্মী আয়নগুলো তীব্রভাবে আকৃষ্ট থাকে। ফলে আয়নগুলোর গতিবেগ কম হয় এবং পরিবাহিতাও কম হয়। লঘুকরণের ফলে আয়নগুলো দূরে সরে যায়, বিপরীতধর্মী আয়নের মধ্যে আকর্ষণ কমে যায়। তাই আয়নগুলোর গতিবেগ বেড়ে যায় অর্থাৎ পরিবাহিতা বেশি হয়। অতি লঘু অবস্থায় আয়নগুলোর গতিবেগ সর্বোচ্চ হয়। এরূপ অবস্থায় তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্যের যে পরিবাহিতার মান হয়, সেটিই হলো ঐ তড়িৎ বিশ্লেষ্যের অসীম লঘুতায় তুল্য পরিবাহিতা ($\Lambda_o$)। এ অবস্থায় দ্রবণকে আরো লঘু করলেও পরিবাহিতার মান স্থির থাকে; আর কোনো বাড়ে না। এরূপ অবস্থা HCl, KCl, LiCl এর বেলায় ঘটে।

(2) মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য এর গাঢ় দ্রবণে কম মাত্রায় আয়নিত থাকায় বিপরীত আয়নগুলোর মধ্যে আকর্ষণ বল থাকে না। তাই আয়নগুলোর গতিবেগ প্রভাবিত হয় না। তুল্য পরিবাহিতা শুধুমাত্র আয়নের সংখ্যার ওপর নির্ভর করে। উচ্চ ঘনমাত্রায় মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্যের আয়নের সংখ্যা কম থাকায় তখন পরিবাহিতার মান কম হয় (চিত্র-৪.৩)। গাঢ় দ্রবণকে লঘু করলেও আয়নের সংখ্যা সামান্য বৃদ্ধি পাওয়ায় তড়িৎ পরিবাহিতাও সামান্য বৃদ্ধি পায়। অতি লঘু অবস্থায় আয়নীকরণ হঠাৎ বৃদ্ধি পাওয়ায় পরিবাহিতাও হঠাৎ বৃদ্ধি পায় (চিত্র-৪.৩)। কিন্তু মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্যের আয়নীকরণ একটি উভমুখী প্রক্রিয়া এবং কখনো পূর্ণ আয়নিত না হওয়ায় মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্যের তুল্য পরিবাহিতার মানটি অতি লঘুতায়ও পাওয়া যায় না। অর্থাৎ অসীম লঘুতায়ও মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য ($CH_3COOH$) এর তুল্যপরিবাহিতা ($\Lambda_o$) নির্ণয় করা যায় না। লেখচিত্র তখন Y অক্ষকে ছেদ না করে Y অক্ষের সমান্তরাল অবস্থায় থাকে।

25°C তাপমাত্রায় কতগুলো তড়িৎ বিশ্লেষ্যের জলীয় দ্রবণে তুল্য পরিবাহিতার মান ($ohm^{-1}\ cm^2/g.eqv$) :

| ঘনমাত্রা, গ্রামতুল্যভর $L^{-1}$ | HCl | KCl | $AgNO_3$ | NaCl | $\frac{1}{2}BaCl_2$ | $CH_3COOH$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.1 (N) | 391.32 | 128.96 | 109.14 | 106.74 | 105.19 | 5.21 |
| 0.01 (N) | 412.00 | 141.27 | 124.76 | 118.51 | 123.94 | 16.20 |
| 0.001 (N) | 421.36 | 146.95 | 130.51 | 123.74 | 134.34 | 48.63 |
| 0.0005 (N) | 422.74 | 147.81 | 131.36 | 124.50 | 135.96 | 135.00 |
| অসীম লঘুতায় | 426.16 | 149.90 | 133.30 | 126.45 | 139.98 | 391.00 |

**সমাধানকৃত সমস্যা–৪.১ : তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতা ও আপেক্ষিক পরিবাহিতাভিত্তিক :**

*** তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্য (যেমন–NaCl এর দ্রবণ) এর ঘনমাত্রা হ্রাসের সাথে আপেক্ষিক পরিবাহিতা হ্রাস পায়; এর ব্যাখ্যা করো।**

**সমাধান :** তড়িৎ বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতা প্রধানত নির্ভর করে দ্রবণে থাকা তড়িৎ বিশ্লেষ্যের ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নের সংখ্যা ও আয়নগুলোর গতিবেগের ওপর। তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্যের গাঢ় ও লঘু দ্রবণ প্রতি ক্ষেত্রে অণুগুলো শতভাগ আয়নিত থাকে। তাই দ্রবণে পানি মিশিয়ে লঘুকরণ বা ঘনমাত্রা হ্রাসের ফলে আয়নীকরণে কোনো প্রভাব পড়ে না।

এখন আপেক্ষিক পরিবাহিতা ও সাধারণ পরিবাহিতার মধ্যে তফাৎ জানা যাক। গাঢ় দ্রবণে কম আয়তনে আয়নগুলো কাছাকাছি থাকে, কিন্তু দ্রবণের ঘনমাত্রা হ্রাস বা লঘুকরণের ফলে আয়নগুলো দূরে অবস্থান করে। তখন লঘুকৃত এক সিসি আয়তনে কম সংখ্যক আয়ন থাকে।

আপেক্ষিক পরিবাহিতার বেলায় উভয় তড়িৎদ্বারের মধ্যবর্তী এক সেন্টিমিটার দ্রবণে থাকা আয়নগুলো দ্বারা তড়িৎ পরিবহণকে বোঝায়। লঘু দ্রবণে এক সি.সি. আয়তনে আয়নের সংখ্যা পূর্বাপেক্ষা কম হওয়ায় আপেক্ষিক পরিবাহিতা পূর্বাপেক্ষা বা গাঢ় দ্রবণ অপেক্ষা হ্রাস পায়।

অপরদিকে সাধারণ পরিবাহিতার ক্ষেত্রে দুই তড়িৎদ্বারের মধ্যে নিমজ্জিত দ্রবণের আয়তনে আয়নের সংখ্যা প্রায় একই থাকে। কিন্তু আয়নগুলো দূরে দূরে থাকার ফলে কোনো আয়নের ওপর বিপরীতধর্মী আয়নের আকর্ষণ বল কম হয়, তাই তড়িৎ পরিবাহিতার বৃদ্ধি ঘটে। অতএব তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্যের যেমন- NaCl এর ঘনমাত্রা হ্রাসের সাথে আপেক্ষিক পরিবাহিতা হ্রাস পায়; কিন্তু সাধারণ পরিবাহিতা কিছুটা বৃদ্ধি পায়।

**সমাধানকৃত সমস্যা- ৪.২ : মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্যের আপেক্ষিক ও তুল্য পরিবাহিতাভিত্তিক :**

*** মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্যের (যেমন $CH_3COOH$ এর দ্রবণ) এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধিতে আপেক্ষিক পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায়; কিন্তু তুল্য পরিবাহিতা হ্রাস পায়; ব্যাখ্যা করো।**

**সমাধান :** মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য যেমন $CH_3COOH$ এর অণুগুলো দ্রবণে কম সংখ্যায় আয়নিত হয়, বাকি অণুগুলো অবিয়োজিত অবস্থায় থাকে। দ্রবণের আয়তন স্থির রেখে আরো মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রব যেমন $CH_3COOH$ যোগ করলে ঐ দ্রবণের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায়। এতে মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্যের বিয়োজন মাত্রা হ্রাস পায় বটে। কিন্তু প্রতি এক সি.সি আয়তনে আয়নের সংখ্যা পূর্বাপেক্ষা বেশি হয়। এক সি.সি আয়তনে আয়নের সংখ্যা বেশি হলে তড়িৎ বিশ্লেষ্যের আপেক্ষিক পরিবাহিতাও বেশি হয়। অর্থাৎ মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্যের ঘনমাত্রা বৃদ্ধিতে আপেক্ষিক পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায়।

অপরদিকে তুল্য পরিবাহিতার বেলায়, আমরা জানি তুল্য পরিবাহিতা, $\Lambda = \kappa \times \frac{1000\ cm^3}{C}$। এক্ষেত্রে C এর মান বৃদ্ধি করলে অর্থাৎ প্রতি লিটারে তড়িৎ বিশ্লেষ্যের গ্রাম তুল্যভর বৃদ্ধি করলে তুল্য পরিবাহিতা হ্রাস পায়। কারণ তুল্য পরিবাহিতার ক্ষেত্রে যেহেতু দুটি তড়িৎদ্বারের মধ্যবর্তী দূরত্ব 1 cm থাকে, সেহেতু প্রতিটি তড়িৎদ্বারের ক্ষেত্রফল $\frac{1000}{C}$ বর্গ সে.মি হয়। এক্ষেত্রে $1\ cm \times \frac{1000}{C}\ cm^2 = \frac{1000}{C}\ cm^3$। তাই C এর মান বৃদ্ধি করলে তড়িৎদ্বারের ক্ষেত্রফল হ্রাস পায়, বা প্রতি গ্রাম তুল্যভর দ্রব দ্রবীভূত থাকায় আয়তন (V) হ্রাস পায়। আমরা জানি $\Lambda = \kappa \times V$; দ্রবণের আয়তন হ্রাস পেলে তুল্য পরিবাহিতা $\Lambda$ হ্রাস পায়। অতএব মৃদু তড়িৎ বিশ্লেষ্য $CH_3COOH$ এর ঘনমাত্রা বৃদ্ধিতে তুল্য পরিবাহিতা হ্রাস পায়।

## ৪.২.৩ পরিবাহিতা নির্ণয়ে ব্যবহৃত পরিবাহিতা কোষ ও কোষ ধ্রুবক

**Conductivity Cell and Cell Constant**

**পরিবাহিতা কোষ :** একটি নির্দিষ্ট আয়তনের তড়িৎ বিশ্লেষ্যের রোধ মাপার জন্য নির্দিষ্ট ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট দুটি তড়িৎদ্বারকে নির্দিষ্ট ব্যবধানে কাচের পাত্রে রেখে যে কোষ ব্যবহার করা হয়, তাকে পরিবাহিতা কোষ বলে।

**পরিবাহিতা কোষ ধ্রুবক :** কোনো পরিবাহিতা কোষের তড়িৎদ্বার দুটির ক্ষেত্রফল সমান ও নির্দিষ্ট এবং উভয় তড়িৎদ্বারের মধ্যে ব্যবধানও নির্দিষ্ট থাকে। মনে করি, কোনো পরিবাহিতা কোষের প্রতিটি তড়িৎদ্বারের ক্ষেত্রফল হলো A এবং উভয় তড়িৎদ্বারের মধ্যবর্তী দূরত্ব হলো $l$। এক্ষেত্রে A ও $l$ নির্দিষ্ট থাকে। এ নির্দিষ্ট মানের $\frac{l}{A}$ এর অনুপাতকে ঐ পরিবাহিতা কোষের কোষ-ধ্রুবক (Cell constant) বলা হয়।

**সংজ্ঞা :** কোনো পরিবাহিতা কোষের দুই তড়িৎদ্বারের মধ্যবর্তী দূরত্ব ($l$) এবং তড়িৎদ্বারের ক্ষেত্রফল (A) এর অনুপাতকে কোষ ধ্রুবক বলে।

**কোষ ধ্রুবকের একক :** পরিবাহিতা কোষের কোষ ধ্রুবক হলো $\frac{l}{A}$ ।

CGS এককে কোষ ধ্রুবকের একক $= \frac{cm}{cm^2} = cm^{-1}$

SI এককে কোষ ধ্রুবকের একক $= \frac{m}{m^2} = m^{-1}$

**MCQ-4.4 : মোলার পরিবাহিতার সূত্র কোনটি?**
(ক) $\Lambda = \frac{\kappa \times 1000\ cm}{C}$ (খ) $\Lambda = \frac{\kappa \times 1000\ cm^2}{C}$
(গ) $\Lambda = \frac{\kappa \times 1000\ cm^3}{C}$ (ঘ) $\Lambda_m = \frac{\kappa \times 1000\ cm^3}{C}$

## তড়িৎ বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতাভিত্তিক গাণিতিক সমস্যা ও সমাধান :

**সমাধানকৃত সমস্যা-৪. ৩ :** 25°C তাপমাত্রায় একটি পরিবাহিতা কোষের তড়িৎদ্বার দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব হলো 1 cm এবং প্রতিটির প্রস্থচ্ছেদ হলো 2 $cm^2$। প্রতি লিটার দ্রবণে 50 g KCl দ্রবীভূত আছে এরূপ দ্রবণ দ্বারা ঐ কোষকে পূর্ণ করা হলে কোষটির রোধ হয় 7.25 ohm। ঐ দ্রবণের তুল্য পরিবাহিতা কত?

**দক্ষতা :** আপেক্ষিক পরিবাহিতা, $(\kappa) = \left(\frac{1}{R}\right) \times \frac{l}{A}$ এবং তুল্য পরিবাহিতা, $\Lambda = \kappa \times \frac{1000\ cm^3}{C}$ সমীকরণ দুটি ব্যবহৃত হবে।

**সমাধান :** আমরা জানি, আপেক্ষিক পরিবাহিতা, $\kappa = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$

$\therefore \kappa = \frac{1}{7.25\ ohm} \times \frac{1\ cm}{2\ cm^2} = 0.0689\ ohm^{-1}.\ cm^{-1}$

প্রশ্নমতে, $R = 7.25\ ohm$
$l = 1\ cm$
$A = 2\ cm^2$
$\Lambda = ?$

আবার তুল্য পরিবাহিতা, $\Lambda = \kappa \times \frac{1000\ cm^3}{C}$;

$\therefore \Lambda = 0.0689\ ohm^{-1}.\ cm^{-1} \times \frac{1000\ cm^3}{0.6711\ g.eqv.}$

$= 102.67\ ohm^{-1}.\ cm^2\ (g.eqv)^{-1}$

**প্রশ্নমতে,** KCl এর গ্রামতুল্য ভর = 74.5 g

$\therefore$ KCl এর ঘনমাত্রা, $C = \frac{50\ g\ eqv}{74.5}$
$= 0.6711\ g\ eqv.$

$\kappa = 0.0689\ ohm^{-1}.\ cm^{-1}$

$\therefore$ KCl দ্রবণের তুল্য পরিবাহিতা = 102. 67 $ohm^{-1}.\ cm^2.\ (g.eqv)^{-1}$

**সমাধানকৃত সমস্যা– ৪.৪ : 25° C তাপমাত্রায় একটি পরিবাহিতা কোষে 0.05 M NaOH দ্রবণের রোধ হয় 30.5 ohm। পরিবাহিতা কোষের কোষ ধ্রুবক 0.367 $cm^{-1}$ হলে ঐ NaOH দ্রবণের মোলার পরিবাহিতা নির্ণয় করো।**

**দক্ষতা :** $\kappa = \left(\frac{1}{R}\right) \times \frac{l}{A}$ এবং মোলার পরিবাহিতা, $\Lambda_m = \frac{\kappa \times 1000\ cm^3}{M}$ সমীকরণ ব্যবহৃত হবে।

**সমাধান :** আপেক্ষিক পরিবাহিতা, $\kappa = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$;

$\therefore \kappa = \frac{1 \times 0.367\ cm^{-1}}{30.5\ ohm} = 0.012\ ohm^{-1},\ cm^{-1}$

আবার মোলার পরিবাহিতা, $\Lambda_m = \kappa \times \frac{1000\ cm^3}{M}$

বা, $\Lambda_m = \frac{0.012 \times 1000}{0.05}\ ohm^{-1}.\ cm^2.\ mol^{-1}$

বা, $\Lambda_m = 240\ ohm^{-1}.\ cm^2.\ mol^{-1}$

$\therefore$ NaOH দ্রবণের মোলার পরিবাহিতা = 240 $ohm^{-1}.\ cm^2.\ mol^{-1}$

প্রশ্নমতে, কোষ ধ্রুবক, $\frac{l}{A} = 0.367\ cm^{-1}$

দ্রবণের রোধ, R = 30.5 ohm

দ্রবণের ঘনমাত্রা, M = 0.05 mol

মোলার পরিবাহিতা, $\Lambda_m = ?$

**MCQ-4.5 : CGS এককে তুল্য পরিবাহিতার একক কোনটি?**
(ক) $ohm^{-1}.\ cm^2\ (g.eqv)^{-1}$
(খ) $sm^{-1}.\ (g.eqv)^{-1}$
(গ) $ohm^{-1}.\ cm^2\ mol^{-1}$
(ঘ) $ohm^{-1}.\ (g.eqv)^{-1}$

**সমাধানকৃত সমস্যা–৪.৫: 25° C তাপমাত্রায় একটি পরিবাহিতা কোষে 0.005 (N) $K_2SO_4$ দ্রবণের রোধ হয় 326 ohm। ঐ পরিবাহিতা কোষের কোষ ধ্রুবক = 0.228 $cm^{-1}$। ঐ দ্রবণটির (a) আপেক্ষিক পরিবাহিতা ও (b) তুল্য পরিবাহিতা কত হবে?**

**দক্ষতা :** $\kappa = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$ এবং $\Lambda = \kappa \times \frac{1000\ cm^3}{C}$ সমীকরণ দুটি ব্যবহৃত হবে।

**সমাধান :** আপেক্ষিক পরিবাহিতা :

$\kappa = \frac{1}{R} \times \frac{l}{A}$ বা, $\kappa = \frac{1 \times 0.228\ cm^{-1}}{326\ ohm}$

বা, $\kappa = 6.994 \times 10^{-4}\ ohm^{-1}.\ cm^{-1}$

আবার তুল্য পরিবাহিতা, $\Lambda = \kappa \times \frac{1000\ cm^3}{C}$

বা, $\Lambda = \frac{6.994 \times 10^{-4}\ ohm^{-1}.\ cm^{-1} \times 1000\ cm^3}{0.005\ g.\ eqv.} = 139.88\ ohm^{-1}.\ cm^2.\ g.eqv^{-1}$

প্রশ্নমতে, ঘনমাত্রা, C = 0.005 g. eqv.

দ্রবণের রোধ, R = 326 ohm

কোষ ধ্রুবক, $\frac{l}{A} = 0.228\ cm^{-1}$

আপেক্ষিক পরিবাহিতা, $\kappa$ =?

তুল্য পরিবাহিতা, $\Lambda$ = ?

∴ $K_2SO_4$ দ্রবণের (a) আপেক্ষিক পরিবাহিতা, $\kappa = 6.994 \times 10^{-4}\ ohm^{-1}\ cm^{-1}$

$K_2SO_4$ দ্রবণের (b) তুল্য পরিবাহিতা, $\Lambda = 139.88\ ohm^{-1}.\ cm^2.\ g.\ eqv^{-1}$

**সমাধানকৃত সমস্যা–৪.৬ : কোনো পরিবাহিতা কোষের তড়িৎদ্বারের মাত্রা (dimension)গুলো হলো 0.90 cm ও 1.005 cm এবং তড়িৎদ্বার দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 4.5 cm হলে ঐ পরিবাহিতা কোষের কোষ ধ্রুবক কত?**

**দক্ষতা :** কোষ ধ্রুবকের সমীকরণ $\frac{l}{A}$ ব্যবহৃত হবে।

**সমাধান :** কোষ ধ্রুবকের সমীকরণ $= \frac{l}{A}$

∴ কোষ ধ্রুবক $= \frac{4.5\ cm}{0.9045\ cm^2} = 4.975\ cm^{-1}$

∴ কোষ ধ্রুবক $= 4.975\ cm^{-1}$

প্রশ্নমতে, $l = 4.5$ cm

তড়িৎদ্বারের ক্ষেত্রফল. A

$= (0.90 \times 1.005)\ cm^2$

$= 0.9045\ cm^2$

**সমাধানকৃত সমস্যা–৪.৭ : একটি পরিবাহিতা কোষের প্রত্যেক তড়িৎদ্বারের ক্ষেত্রফল 1.25 $cm^2$। 25°C তাপমাত্রায় কোষটিতে একটি তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রবণ দিয়ে পূর্ণ করে রোধের মান পাওয়া গেল 160 ohm। দ্রবণটির আপেক্ষিক পরিবাহিতা 0.016 $ohm^{-1}.\ cm^{-1}$ হলে ঐ কোষের তড়িৎদ্বার দুটির মধ্যে দূরত্ব ও কোষ ধ্রুবক নির্ণয় করো।**

**সমাধান :** আপেক্ষিক পরিবাহিতা, $\kappa = \left(\frac{l}{R}\right) \times \frac{l}{A}$

বা, $l = \kappa \times R \times A$

বা, $l = 0.016\ ohm^{-1}.\ cm^{-1} \times 160\ ohm \times 1.25\ cm^2$

বা, $l = 0.016 \times 160 \times 1.25$ cm

∴ $l = 3.2$ cm

কোষ ধ্রুবক $= \frac{l}{A} = \frac{3.2\ cm}{1.25\ cm^2}$

∴ কোষ ধ্রুবক $= 2.56\ cm^{-1}$

∴ কোষে তড়িৎদ্বার দুটির দূরত্ব = 3.2 cm, কোষ ধ্রুবক = $2.56\ cm^{-1}$

প্রশ্নমতে, তড়িৎদ্বারের ক্ষেত্রফল, $A = 1.25\ cm^2$

তড়িৎবিশ্লেষ্যের রোধ, R = 160 ohm

আপেক্ষিক পরিবাহিতা, $\kappa = 0.016\ ohm^{-1}.\ cm^{-1}$

তড়িৎদ্বারের দূরত্ব, $l$ = ? কোষ ধ্রুবক = ?

**শিক্ষার্থীর কাজ–৪.২ : কোষ ধ্রুবক ও বিভিন্ন পরিবাহিতাভিত্তিক সমস্যা :**

**সমস্যা–৪.১ :** 25°C তাপমাত্রায় 0.1 (N) ঘনমাত্রার একটি তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রবণে দুটি তড়িৎদ্বারকে (1 cm × 5 cm) সমান্তরালভাবে 1.5 cm দূরত্বে স্থাপন করে দ্রবণটির রোধ পাওয়া গেল 50 ohm। দ্রবণটির তুল্য-পরিবাহিতা নির্ণয় করো। [উ: 60 $ohm^{-1}. cm^2. g.eqv^{-1}$]

**সমস্যা-৪.২ :** 25°C তাপমাত্রায় 0.01 (N) NaCl দ্রবণের রোধ 200 ohm হয়। পরিবাহিতা কোষটির কোষ ধ্রুবক এক একক হলে দ্রবণটির তুল্য পরিবাহিতা কত হবে? [উ: $5.0 \times 10^2$ $ohm^{-1}$ $cm^2$ g. $eqv^{-1}$]

**সমস্যা–৪.৩ :** 25°C তাপমাত্রায় 0.01 (M) NaCl দ্রবণ দ্বারা একটি পরিবাহিতা কোষকে পূর্ণ করা হলো। তখন দ্রবণটির রোধ 384 ohm হয়। এই কোষের কোষ ধ্রুবক 0.5 $cm^{-1}$ হলে ঐ NaCl দ্রবণের মোলার পরিবাহিতা কত হবে? এক্ষেত্রে NaCl এর মোলার পরিবাহিতা ও তুল্য পরিবাহিতার সম্পর্ক কী হবে?

[উ: 130.2 $ohm^{-1}$ $cm^2$ $mol^{-1}$; উভয় পরিবাহিতার মান সমান হবে। কারণ NaCl এর মোলার ভর ও গ্রাম তুল্য ভর সমান, 58.5 g]

**সমস্যা-৪.৪ :** 25°C তাপমাত্রায় কোনো পরিবাহিতা সেলে 0.05 (M) NaOH দ্রবণের রোধ হয় 31.16 ohm। ঐ পরিবাহিতা সেলের সেল ধ্রুবক 0.367 $cm^{-1}$ হলে NaOH দ্রবণটির মোলার পরিবাহিতা নির্ণয় করো।

[উ: 235.56 $ohm^{-1}. cm^2. mol^{-1}$]

**সমস্যা-৪.৫ :** 25°C তাপমাত্রায় একটি তড়িৎ বিশ্লেষ্যের 0.1 (M) দ্রবণ দ্বারা 2.25 $cm^2$ প্রস্থচ্ছেদ ও 0.75 cm ব্যবধানে রাখা দুটি তড়িৎদ্বার বিশিষ্ট একটি পরিবাহিতা কোষকে পূর্ণ করে রাখলে দ্রবণটির রোধ 53 ohm হয়। ঐ দ্রবণটির মোলার পরিবাহিতা গণনা করো। [উ: 62.89 $ohm^{-1}. cm^2. mol^{-1}$]

**সমস্যা-৪.৬ :** একটি পরিবাহিতা কোষের তড়িৎদ্বারের দূরত্ব হলো 1 cm এবং প্রতিটি তড়িৎদ্বারের প্রস্থচ্ছেদ $4cm^2$। প্রতি লিটার দ্রবণে 50 g KCl দ্রবীভূত আছে। এরূপ দ্রবণ দ্বারা পরিবাহিতা কোষটিকে পূর্ণ করে রাখলে কোষটির রোধ 7.25 ohm হয়। ঐ দ্রবণের তুল্য পরিবাহিতা গণনা করো। [উ: 51.379 $ohm^{-1}. cm^2. g.eqv^{-1}$]

**সমস্যা-৪.৭ :** 20°C তাপমাত্রায় 0.1 (N) KCl দ্রবণের আপেক্ষিক পরিবাহিতা 0.0112 $ohm^{-1}. cm^{-1}$ হয়। ঐ দ্রবণ দ্বারা একটি পরিবাহিতা কোষকে পূর্ণ করলে 20°C তাপমাত্রায় ঐ কোষটির রোধ হয় 55 ohm। ঐ পরিবাহিতা কোষটির কোষ ধ্রুবকের মান কত হবে? [উ: 0.616 $cm^{-1}$]

**সমস্যা–৪.৮ :** 25°C তাপমাত্রায় একটি পরিবাহিতা কোষে 0.01(N) KCl ও 0.01 (N) HCl দ্রবণের রোধ যথাক্রমে 150 ohm ও 51.4 ohm হয়। ঐ তাপমাত্রায় KCl দ্রবণটির আপেক্ষিক পরিবাহিতা $1.41 \times 10^{-3}$ $ohm^{-1}. cm^{-1}$ হলে একই তাপমাত্রায় HCl দ্রবণটির তুল্য পরিবাহিতা কত হবে?

[দ্রষ্টব্য : উভয় ক্ষেত্রে কোষ ধ্রুবক সমান] [উ: 411.48 $ohm^{-1}. cm^2. g.eqv^{-1}$]

## ৪.২.৪ তড়িৎ বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতা মাপন

### Measurement of Electrolytic Conductivity

**মূলনীতি :** তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রবণের পরিবাহিতা দ্রবণটির তড়িৎ রোধের বিপরীত হয়। সুতরাং হুইটস্টোন সেতু (Whitstone bridge) এর তড়িৎ বর্তনীর মধ্যে একটি জ্ঞাত রোধের সাথে তুলনা করে যেকোনো ঘনমাত্রার তড়িৎ বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতা মাপা যায়। দ্রবণের পরিবাহিতা মাপার জন্য দ্রবণটিকে 'পরিবাহিতা কোষ' (Conductivity cell) এর মধ্যে নেয়া হয়। এক্ষেত্রে উচ্চ ফ্রিক্যুয়েন্সির AC কারেন্ট ব্যবহার করতে হয়।

**প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি :** (১) হুইটস্টোন সেতু বা মিটার ব্রিজ, (২) রোধ বাক্স, (৩) পরিবাহিতা কোষ, (৪) ইনডাক্শন কয়েল, (৫) জকি যুক্ত বাজ্জার (buzzer) বা টেলিফোন, (৬) ব্যাটারি, (৭) সংযোগ কপার তার ইত্যাদি।

**প্রয়োজনীয় রাসায়নিক বস্তু :** 0.1 M HCl বা 0.1 M NaCl দ্রবণ।

**কাজের ধারা :** (১) হুইটস্টোন সেতু বা মিটার ব্রিজের ওপরের ডান দিকে পরিবাহিতা কোষ C এর মধ্যে তড়িৎ বিশ্লেষ্য 0.1 M HCl দ্রবণটি যোগ করো।

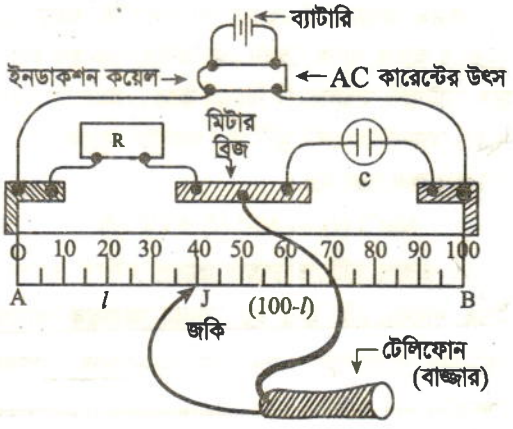
(২) মিটার ব্রিজের ওপরের বাম দিকের অংশে রোধ বাক্স (R)-কে কপার তার দিয়ে যুক্ত করো।

(৩) চিত্র-৪.৪ মতে, ব্যাটারি ও ইনডাকশন কয়েল (বা আবেশ কুণ্ডলী) এর সংযোগ করো।

(৪) টেলিফোন (বা বাজ্জার) টি মিটার ব্রিজের ওপরের অংশে মাঝখানে কপার তার দিয়ে যুক্ত করে জকির সাথে সংযোগ করো।

(৫) রোধ বাক্স থেকে একটি উপযুক্ত রোধ সংযোগ করার জন্য একটি প্লাগ তুলে নাও। জকিটি (J)-কে মিটার ব্রিজের AB তারের বিভিন্ন স্থানে স্পর্শ করো এবং টেলিফোন বা বাজ্জারটিকে কানের কাছে নিয়ে গুঞ্জন শব্দ শোনা যায় কীনা দেখো। গুঞ্জন শব্দ শোনা গেলে মিটার ব্রিজে তড়িৎ প্রবাহের বর্তনী সংযোগ সঠিক হয়েছে বোঝা যায়।

(৬) এবার জকি (J)টিকে মিটার ব্রিজের এক মিটার দীর্ঘ AB তারের ওপর দিয়ে খুব ধীরে ধীরে ডান দিকে এবং বাম দিকে চালনা করে প্রশম বিন্দু বা নাল-পয়েন্ট (null point) ঠিক করতে হবে। AB তারের ওপর জকির যে অবস্থানে বাজ্জার থেকে কোনো গুঞ্জন শব্দ ক্ষীণ থেকে ক্ষীণতর হয়ে আর শোনা যাবে না; সে অবস্থান সূচক বিন্দুই হলো নাল-পয়েন্ট।



চিত্র-৪.৪ : দ্রবণের পরিবাহিতা মাপন

AB তারের দৈর্ঘ্য 100 cm। A প্রান্ত থেকে নাল-পয়েন্টের দূরত্ব $l$ cm হলে ডান দিক থেকে দূরত্ব $(100 - l)$ cm হবে। এ দূরত্ব দুটি রেকর্ড করতে হবে।

**গণনা :** হুইটস্টোন সেতুর নিয়ম অনুসারে,

$$\frac{\text{কোষের রোধ}}{R} = \frac{100-l}{l} \quad \text{বা, কোষের রোধ} = R \times \left(\frac{100-l}{l}\right)$$

$$\text{বা, কোষের পরিবাহিতা} = \frac{1}{\text{কোষের রোধ}} = \frac{l}{R(100-l)} \quad \ldots\ldots (1)$$

**MCQ-4.6 : CGS পদ্ধতিতে মোলার পরিবাহিতার একক কী ?**
(ক) $Ohm^{-1}.\ cm^2\ (g.eqv)^{-1}$
(খ) $Ohm^{-1}.\ cm^2\ mol^{-1}$
(গ) $Ohm^{-1}.\ mol^{-1}$
(ঘ) $Ohm^{-1}.\ cm^2\ mol^{-1}$

যেহেতু $l$ এবং R-এর মান জ্ঞাত, অতএব সমীকরণ (1) হতে কোষের দ্রবণের পরিবাহিতা হিসাব করা যায়। এ পদ্ধতি শুদ্ধ ফল প্রদান করে। ফলাফলের শুদ্ধতা বৃদ্ধির জন্য উন্নত মানের বহু বাণিজ্যিক হুইটস্টোন সেতু তৈরি করা হয়েছে। প্রতিটি হুইটস্টোন সেতু একই নীতির ভিত্তিতে কাজ করে।

**জেনে নাও :** (১) একযোজী ধনাত্মক আয়ন ও একযোজী ঋণাত্মক আয়ন দ্বারা সৃষ্ট লবণ বা তড়িৎ বিশ্লেষ্য যৌগের দ্রবণের তুল্য পরিবাহিতা ($\Lambda$) ও মোলার পরিবাহিতা ($\Lambda_m$) সমান হয়। যেমন– HCl, NaCl, $KNO_3$ ইত্যাদি। কারণ এ সবের তুল্য ভর = আণবিক ভর হয়। 1 (M) দ্রবণ = 1 (N) দ্রবণ

(২) যৌগের তুল্যভর = যৌগের আণবিক ভর ÷ মোট ধনাত্মক আয়ন সংখ্যার মোট চার্জ সংখ্যা।

$Na_2CO_3$ এর তুল্যভর = $(106 \div 2) = 53$.

$Al_2(SO_4)_3$ এর তুল্য ভর = আঃ ভর ÷ ক্যাটায়নের মোট চার্জ সংখ্যা = $(332 \div 6) = 55.33$

(৩) জারক ও বিজারকের তুল্যভর = আঃ ভর ÷ গ্রহণ বা ত্যাগ করা মোট ইলেকট্রন সংখ্যা

$KMnO_4$ এর তুল্যভর = আঃ ভর ÷ 5 (কারণ $MnO_4^-$ আয়ন 5টি ইলেকট্রন গ্রহণ করে।)

$\therefore KMnO_4$ এর তুল্যভর = $(158 \div 5) = 31.6$

$K_2Cr_2O_7$ এর তুল্যভর = $(294 \div 6) = 49$

## তুলনাঃ

$NaCl \longrightarrow$

$Na_2CO_3$

তুলনার =

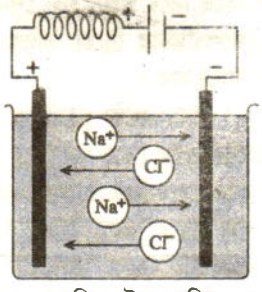
## ৪.২.৫ তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের পরিবাহিতার ব্যাখ্যা

**Explanation of Electrolytic Conduction**

কঠিন অবস্থায় তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের যেমন NaCl এর আয়নসমূহ কেলাসের মধ্যে কেলাস জালিতে নির্দিষ্ট স্থানে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে, তখন এরা তড়িৎ পরিবহণ করে না। বিগলিত বা দ্রবীভূত অবস্থায় আয়নসমূহ কেলাসজালি থেকে মুক্ত হয়ে মোটামুটি স্বাধীনভাবে বিচরণ করে। যেমন বিগলিত অবস্থায় সোডিয়াম ক্লোরাইডের সোডিয়াম আয়ন ($Na^+$) ও ক্লোরাইড ($Cl^-$) আয়নসমূহ মোটামুটি মুক্ত অবস্থায় চলাচল করে। তখন ধনাত্মক আয়ন ($Na^+$) ও ঋণাত্মক আয়ন ($Cl^-$) দ্বারা তড়িৎ পরিবহণ করা সম্ভব হয়।

$$NaCl\ (l) \rightarrow Na^+\ (l) + Cl^-\ (l)$$

এ তরলে দুটি তড়িৎদ্বার প্রবেশ করিয়ে এদের মধ্যে ব্যাটারির সাহায্যে বিভব পার্থক্য সৃষ্টি করা হয়। তখন ঋণাত্মক ক্যাথোডে ধনাত্মক আধানযুক্ত সোডিয়াম আয়নসমূহ আকৃষ্ট হয়ে ক্যাথোডে পৌঁছামাত্র ক্যাথোড এদেরকে ইলেকট্রন দান করে; ফলে সোডিয়াম ধাতুরূপে ক্যাথোডে সঞ্চিত হয়।



চিত্র-৪.৫: আয়নিক যৌগের গলিত অবস্থায় ও দ্রবণে তড়িৎ পরিবহণ কৌশল।

$$Na^+\ (l) + e^-\ (\text{ক্যাথোড হতে}) \longrightarrow Na\ (s)\ [\text{ক্যাথোডে বিজারণ}]$$

অন্যদিকে অ্যানোডে ঋণাত্মক ক্লোরাইড আয়নসমূহ আকৃষ্ট হয়ে ইলেকট্রন ত্যাগ করে ক্লোরিন পরমাণু এবং শেষে ক্লোরিন গ্যাসের অণু সৃষ্টি করে। এ প্রক্রিয়াকে গলিত NaCl এর তড়িৎ বিশ্লেষণ বলা হয়।

$$Cl^- \longrightarrow Cl + e^-\ [\text{অ্যানোডে জারণ}]\ ;\ 2Cl \longrightarrow Cl_2\ (g)$$

**ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন :** তড়িৎ বিশ্লেষণকালে তড়িৎ বিশ্লেষ্যের ধনাত্মক আয়নসমূহ ক্যাথোড কর্তৃক আকৃষ্ট হয় বলে তাদেরকে **ক্যাটায়ন** বলে। যেমন, $Na^+$, $Mg^{2+}$, $Al^{3+}$, $NH_4^+$ ও $H^+$ আয়ন ইত্যাদি এবং ঋণাত্মক আয়নসমূহ অ্যানোড কর্তৃক আকৃষ্ট হয় বলে তাদেরকে **অ্যানায়ন** বলা হয়। যেমন, $Cl^-$, $Br^-$, $I^-$, $OH^-$, $NO_3^-$, $SO_4^{2-}$ ইত্যাদি।

# ব্যবহারিক (Practical)

## ৪.৩ বিভিন্ন দ্রবণের পরিবাহিতার পার্থক্য

**Conductivity Difference of Different Solutions**

বিভিন্ন তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণের পরিবাহিতা ঐ সব যৌগের জলীয় দ্রবণে আয়নিত হওয়ার পরিমাণের ওপর নির্ভর করে।

যে তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রবণে যত বেশি আয়ন তৈরি করে সে পদার্থ তত বেশি বিদ্যুৎ পরিবহণ করতে পারে।

এ থেকে বোঝা যায়, (১) আয়নিক যৌগ NaCl, সবল এসিড ও সব ক্ষার জলীয় দ্রবণে অধিক আয়নিত হওয়ায় এরা বেশি তড়িৎ পরিবহণ করতে পারে এবং এরা সবল পরিবাহী ও সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য।

অপরদিকে (২) দুর্বল এসিড যেমন অ্যাসিটিক এসিড ও অ্যামোনিয়া জলীয় দ্রবণে কম আয়নিত হয়, তাই এরা কম তড়িৎ পরিবহণ করে। তাই এরা দুর্বল পরিবাহী এবং এদেরকে দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য বলে।

(৩) অপোলার বা আংশিক পোলার সমযোজী যৌগ পানিতে দ্রবীভূত অবস্থায় আয়নিত হয় না; যেমন সুক্রোজ বা চিনি, গ্লুকোজ, মিথানল, ইথানল ইত্যাদি। তাই এসব যৌগের জলীয় দ্রবণ বিদ্যুৎ পরিবহণ করতে পারে না; এদের দ্রবণকে তড়িৎ অবিশ্লেষ্য বলা হয়।

সারণি-৪.১ : সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য, দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য ও তড়িৎ অবিশ্লেষ্য

| (ক) সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য | (খ) দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য | (গ) তড়িৎ অবিশ্লেষ্য |
|---|---|---|
| ১. আয়নিক যৌগ, NaCl, KCl দ্রবণ | ১. $CH_3COOH$ দ্রবণ | ১. $CH_3OH$, $C_2H_5OH$ দ্রবণ |
| ২. HCl, $H_2SO_4$, $HClO_4$ এসিড | ২. HF দ্রবণ | ২. সুক্রোজ ($C_{12}H_{22}O_{11}$) দ্রবণ |
| ৩. NaOH, KOH ক্ষার দ্রবণ | ৩. $H_3PO_4$ দ্রবণ | ৩. $H_2O$ (বিশুদ্ধ) |

## ব্যবহারিক (Practical)

শিক্ষার্থীর কাজ :

সময় : ১ পিরিয়ড

পরীক্ষা নং : ১৪

তারিখ : ................

পরীক্ষার নাম : বিভিন্ন দ্রবণের পরিবাহিতার পার্থক্য পরীক্ষা

**মূলনীতি :** সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রবণে অধিক আয়নিত হয়। তাই অধিক সংখ্যক আয়ন দ্বারা অধিক পরিমাণ তড়িৎ পরিবহণ সম্ভব হয়। অর্থাৎ সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্যের তড়িৎ পরিবাহিতার মান বেশি হয়। দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রবণে কম আয়নিত হয়। তাই কম সংখ্যক আয়ন দ্বারা কম পরিমাণ তড়িৎ পরিবহণ সম্ভব অর্থাৎ দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্যের তড়িৎ পরিবাহিতার মান কম হয়। অপরদিকে যেসব যৌগ জলীয় দ্রবণে আয়নিত হয় না; এরা তড়িৎ পরিবহণ করতে পারে না বলে তড়িৎ অপরিবাহী হয়।

**প্রয়োজনীয় রাসায়নিক পদার্থ :** (১) 0.1 M HCl দ্রবণ, (২) 0.1 M $CH_3COOH$,
(৩) 0.1 M $C_{12}H_{22}O_{11}$ (সুক্রোজ) দ্রবণ

**প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি :** (১) বিকার-৩টি, (২) ব্যাটারি সেট, (৩) বাল্‌ব, (৪) কপার তারের সংযোগ।

**কাজের ধারা :** (১) তিনটি বিকারে 0.1 M HCl দ্রবণ, 0.1 M $CH_3COOH$ দ্রবণ ও 0.1 M সুক্রোজ দ্রবণ নাও।

(২) নিচের চিত্র মতে প্রথমে 0.1M HCl দ্রবণে তড়িৎ সার্কিট সংযোগ করো। তখন তড়িৎ বাল্‌ব জ্বলে ওঠবে। উজ্জ্বল আলো দেবে। এতে প্রমাণিত হয় 0.1 M HCl সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য।

(৩) এবার 0.1 M HCl এর বিকারটি সরিয়ে নাও এবং 0.1 M $CH_3COOH$ এর বিকারের দ্রবণে ইলেকট্রোড দুটো ডুবাও। এখন বাল্‌ব কম আলো দেবে। বিদ্যুৎ কম প্রবাহিত হচ্ছে বলে কম আলো হয়। এতে প্রমাণিত হয় 0.1 M $CH_3COOH$ দ্রবণ দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য।

তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রবণে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়ন দ্বারা বিদ্যুৎ পরিবাহিত হওয়ায় তড়িৎ সার্কিট পূর্ণ হয়েছে। তড়িৎ বাল্‌ব জ্বলে উঠেছে।

সুক্রোজের দ্রবণে চার্জ যুক্ত আয়ন না থাকায় বিদ্যুৎ পরিবহন ঘটেনি। তড়িৎ সার্কিট অপূর্ণ থাকায় তড়িৎ বাল্‌ব জ্বলেনি।

চিত্র-৪.৬ : বিভিন্ন দ্রবণের তড়িৎ পরিবাহিতার পার্থক্য নির্ণয়।

(৪) এবার 0.1 M $CH_3COOH$ দ্রবণের বিকারটি সরিয়ে 0.1 M সুক্রোজ দ্রবণের বিকারটিতে তড়িৎ সংযোগ করো। এবার দেখো, বাল্‌বটি কোনো আলো দিচ্ছে না। এতে প্রমাণিত হয় সুক্রোজ দ্রবণ দিয়ে তড়িৎ পরিবহণ সম্ভব না হওয়ায় তড়িৎ সার্কিট পূর্ণ হয় নি। অর্থাৎ সুক্রোজ দ্রবণ তড়িৎ অপরিবাহী।

## ৪.৩.১ তড়িৎ বিশ্লেষণে ব্যবহৃত পদ ও তাদের একক

### Terms used in Electrolysis and their Units

তড়িৎ বিশ্লেষণ সংক্রান্ত ফ্যারাডের সূত্র বোঝার জন্য নিম্নোক্ত পদসমূহ যেমন তড়িৎ বা বিদ্যুৎ, তড়িৎ প্রবাহ, তড়িৎ চার্জ, কুলম্ব, অ্যাম্পিয়ার, তড়িৎ বিভব ইত্যাদি সম্বন্ধে জানা দরকার।

**১। তড়িৎ (Electricity) :** কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে 'ইলেকট্রনের প্রবাহকে' তড়িৎ বা বিদ্যুৎ বলে। বিদ্যুৎ পরিমাপের একক হলো **কুলম্ব** (coulomb), এর প্রতীক হলো C।

**২। তড়িৎ প্রবাহ (Electric Current) :** কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে 'ইলেকট্রন বা তড়িৎ চার্জের প্রবাহ হারকে' তড়িৎ প্রবাহ বলা হয়। তড়িৎ প্রবাহের একক হলো **অ্যাম্পিয়ার** (ampere)। এর এককের প্রতীক হলো A। অর্থাৎ প্রতি সেকেন্ডে পরিবাহীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ চার্জের পরিমাণকে অ্যাম্পিয়ার বলে। এর মাত্রার প্রতীক হলো I।

সিলভার নাইট্রেটের জলীয় দ্রবণে যে পরিমাণ বিদ্যুৎ প্রবাহের ফলে এক সেকেন্ডে 0.001118 গ্রাম ধাতব সিলভার ক্যাথোডে জমা হয়, সে পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহকে এক অ্যাম্পিয়ার বলে।

**৩। তড়িৎ চার্জ (Electric charge) :** কোনো সুপরিবাহীর মধ্য দিয়ে 1.0 অ্যাম্পিয়ার (1A) তড়িৎ প্রবাহ 1.0 সেকেন্ড সময় চললে যে পরিমাণ ইলেকট্রন চার্জ প্রবাহিত হয়, তাকে তড়িৎ চার্জ বলে। তড়িৎ চার্জের SI একক হলো কুলম্ব (C)। তড়িৎ চার্জের প্রতীক হলো Q। তড়িৎ চার্জ (কুলম্ব C) = তড়িৎ প্রবাহ (অ্যাম্পিয়ারে) × সময় (সেকেন্ডে)

$$\therefore Q\,(C) = I\,(A) \times t\,(s)$$

কুলম্ব হলো তড়িৎ পরিমাণের ক্ষুদ্রতম একক।

**৪। অ্যাম্পিয়ার (Ampere) :** কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে 1.0 সেকেন্ডে যত কুলম্ব তড়িৎ চার্জ প্রবাহিত হয় তাকে 1.0 অ্যাম্পিয়ার বলে। অ্যাম্পিয়ারকে I দ্বারা প্রকাশ করা হয়। অ্যাম্পিয়ারের একক হলো $Cs^{-1}$ যেহেতু $A = \frac{C}{s}$।

**৫। কুলম্ব (Coulomb) :** কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে 1.0 সেকেন্ড যাবৎ 1.0 অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহের ফলে প্রবাহিত মোট তড়িৎ চার্জের পরিমাণকে 1.0 কুলম্ব তড়িৎ প্রবাহ বলে। এর প্রতীক হলো C।

$$\therefore 1C = 1A \times 1s$$

**কুলম্ব ও অ্যাম্পিয়ারের মধ্যে সম্পর্ক :** মনে করি, কোনো তড়িৎ পরিবাহীর মধ্য দিয়ে C অ্যাম্পিয়ার তড়িৎ প্রবাহ t সেকেন্ড সময় ধরে চালনা করা হলো। এর ফলে প্রবাহিত তড়িতের পরিমাণ হলো Q কুলম্ব।

$\therefore Q = C \times t$; অর্থাৎ, কুলম্ব = অ্যাম্পিয়ার × সময়।

**জেনে নাও :** তড়িৎ পরিমাণের ক্ষুদ্রতম একক হলো কুলম্ব এবং বৃহত্তম একক হলো ফ্যারাডে (F)।

**৬। ফ্যারাডে (Faraday) :** এক মোল পরিমাণ ইলেকট্রনের চার্জকে 96500 কুলম্ব ধরা হয়। মোল পরিমাণ তড়িৎ চার্জকে এক ফ্যারাডে চার্জ বলা হয়। এর প্রতীক হলো F। সুতরাং 1F = 96500 C তড়িৎ চার্জ।

**৭। তড়িৎ বিভব (Electric Potential) :** কোনো পরিবাহীর মাধ্যমে ইলেকট্রনের প্রবাহ থাকলে তখন ঐ মাধ্যমের নির্দিষ্ট এলাকা জুড়ে তড়িতক্ষেত্রের প্রভাব কার্যকর থাকে। এরূপ তড়িতক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে অসীম দূরত্ব থেকে একটি একক ধনাত্মক তড়িৎ চার্জকে আনতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন হয়, তাকে ঐ বিন্দুর তড়িৎ বিভব বলে। তড়িৎ বিভবের SI একক হলো ভোল্ট (volt) এবং এর প্রতীক হলো V। তড়িৎ বিভব $(V) = \frac{\text{সম্পাদিত কাজ (J)}}{\text{চার্জের পরিমাণ (C)}} = JC^{-1}$

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$1F =$$

**শিক্ষার্থীর কাজ-৪.২ (ক) : দ্রবণের তড়িৎ পরিবাহিতা পরীক্ষাভিত্তিক :**

**প্রশ্ন-৪.৫ :** 0.1M HCl দ্রবণ তড়িৎ পরিবহণ করতে পারে; কিন্তু 0.1M সুক্রোজ দ্রবণ তড়িৎ পরিবহণ করতে পারে না কেন; তা তড়িৎ পরিবহণের শর্তসহ ব্যাখ্যা করো। [অনুধাবনভিত্তিক]

**উত্তর :** 0.1 HCl দ্রবণে আয়নিত হয়ে $H^+$ আয়ন ও $Cl^-$ আয়ন তৈরি করে। এ বিপরীতধর্মী আয়ন দ্বারা তড়িৎ পরিবহণ সম্ভব হয়। সুক্রোজ দ্রবণে আয়ন সৃষ্টি হয় না। তাই 0.1M সুক্রোজ দ্রবণ বিদ্যুৎ অপরিবাহী হয়।

## ৪.৪ ফ্যারাডের তড়িৎ বিশ্লেষণের প্রথম সূত্র

### Faraday's First Law of Electrolysis

**তড়িৎ বিশ্লেষণ :** তড়িৎ বিশ্লেষ্যের মধ্য দিয়ে তড়িৎ চলাচল কালে আয়নদ্বয়ের জারণ-বিজারণ ঘটে, তড়িৎ বিশ্লেষ্য যৌগটি উপাদানে বিশ্লেষিত হয়। এরূপ পরিবর্তনকে **তড়িৎ বিশ্লেষণ** (Electrolysis) বলে।

**তড়িৎ বিশ্লেষ্যের বিয়োজন বিভব :** বিজ্ঞানী মাইকেল ফ্যারাডে তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণে তড়িৎ প্রবাহিত করে লক্ষ্য করেন যে, একটি ন্যূনতম মাত্রার চেয়ে সামান্য বেশি পরিমাণ তড়িৎ বিভব প্রয়োগ করলেই তখন ঐ তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের দ্রবণের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চলতে থাকে। **তড়িৎ বিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে তড়িৎ প্রবাহের প্রয়োজনীয় তড়িৎ বিভবের এ ন্যূনতম মাত্রাকে তড়িৎ বিশ্লেষ্যের বিয়োজন বিভব** (decomposition potential) বলে। বিয়োজন বিভবের চেয়ে সামান্য বেশি পরিমাণে তড়িৎ বিভব প্রয়োগ করলেই তখন তড়িৎ বিশ্লেষ্যের জারণ-বিজারণের ফলে তড়িৎ বিশ্লেষণ ঘটে।

তড়িৎ বিশ্লেষণের সাথে রাসায়নিক পরিবর্তনের মাত্রিক পরিমাণ সম্পর্কে ফ্যারাডের দুটি বিখ্যাত সূত্র আছে। এখানে ফ্যারাডের তড়িৎ বিশ্লেষণের প্রথম সূত্রটি আলোচনা করা হলো।

**ফ্যারাডের প্রথম সূত্র : তড়িৎ বিশ্লেষণের সময় যেকোনো তড়িৎদ্বারে সংঘটিত রাসায়নিক বিক্রিয়ার পরিমাণ অর্থাৎ কোনো তড়িৎদ্বারে সঞ্চিত বা দ্রবীভূত পদার্থের পরিমাণ প্রবাহিত বিদ্যুতের পরিমাণের সমানুপাতিক।**

কোনো পদার্থের তড়িৎ বিশ্লেষণের সময় যদি 1 অ্যাম্পিয়ার মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহ t সেকেন্ড সময় তড়িৎ কোষে প্রবাহিত হয়। তবে ঐ সময়ে Q কুলম্ব পরিমাণ বিদ্যুৎ প্রবাহিত হওয়ার ফলে Wg ভরের একটি পদার্থ তড়িৎদ্বারে সঞ্চিত বা দ্রবীভূত হয়, তাই ফ্যারাডের প্রথম সূত্র মতে,

$W \propto Q$

বা, $W = ZQ$ ... (i)

আবার, $Q = I \times t$ ... (ii)

সুতরাং $W = ZIt$ ... (iii)

**MCQ-4.7:** ক্রোমিয়াম সালফেট দ্রবণে তিন ফ্যারাডে বিদ্যুৎ চালনা করলে ক্যাথোডে কত গ্রাম Cr জমা হবে? [Cr = 52] [ঢা. বো. ২০১৫]
(ক) 17.33 g (খ) 52 g (গ) 62 g (ঘ) 70 g

এখানে Z একটি স্থির সংখ্যা যা পদার্থের ধর্মের ওপর নির্ভর করে এবং একে সে পদার্থের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক (Electrochemical equivalent) বলা হয়। যখন Q = 1 কুলম্ব, তখন W = Z × 1 coulomb, বা, Z = W g coulomb$^{-1}$ হয়ে থাকে।

**তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের একক :** ফ্যারাডের ১ম সূত্র মতে, W = ZQ

$\therefore Z = \frac{W}{Q} = \frac{\text{গ্রাম}}{\text{কুলম্ব}}$ ; ∴ মৌলের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক Z এর একক হলো গ্রাম. কুলম্ব$^{-1}$($g.C^{-1}$)

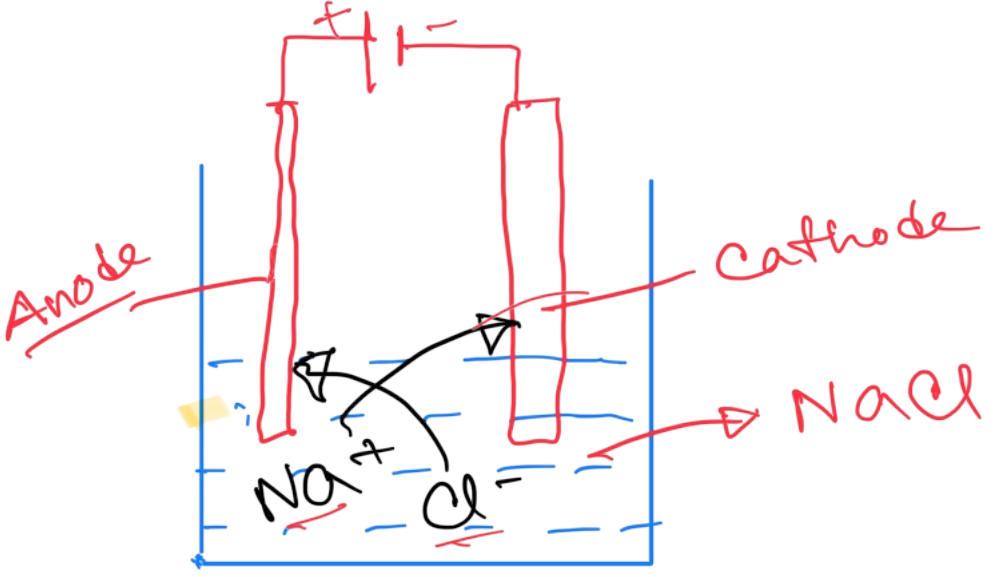
**তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক :** তড়িৎ বিশ্লেষণের সময় এক কুলম্ব বিদ্যুৎ প্রবাহের ফলে কোনো পদার্থের যত পরিমাণ অ্যানোডে দ্রবীভূত বা ক্যাথোডে সঞ্চিত হয়, তাকে সেই পদার্থের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক বলা হয়। যেমন,

(১) সিলভারের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক হচ্ছে 0.001118 g coul$^{-1}$;

(২) হাইড্রোজেনের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক হচ্ছে 0.000010447 g coul$^{-1}$।

3. cu → 0.000329 g coul$^{-1}$

0.000010447 gc$^{-1}$




## প্রথম সূত্র:

**MCQ-4.8:** ফ্যারাডের সূত্রটি শতভাগ প্রযোজ্য হবে নিম্নোক্ত ক্ষেত্রে; যেমন—
(i) সবল তড়িৎ বিশ্লেষ্য (ii) দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য (iii) গ্রাফাইটের ক্ষেত্রে
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

**MCQ-4.9:** ফ্যারাডের সূত্র মতে তড়িৎ বিশ্লেষণকালে তড়িৎদ্বার ক্যাথোডে সঞ্চিত পদার্থের পরিমাণ তিনটি বিষয় বা ফ্যাক্টরের ওপর নির্ভর করে। যেমন—
(i) বিদ্যুতের মাত্রা (I) (ii) বিদ্যুৎ প্রবাহের সময় (t) এবং (iii) ধনাত্মক আয়নের চার্জ সংখ্যা।
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

**শিক্ষার্থীর কাজ-৪.৩ : তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্কভিত্তিক সমস্যা :**

**প্রশ্ন ৪.৬(ক) :** হাইড্রোজেনের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক হলো $0.000010447\ g\ C^{-1}$ ব্যাখ্যা করো।

**প্রশ্ন ৪.৬(খ) :** সিলভারের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $0.001118\ g\ C^{-1}$ হয় কেন; ব্যাখ্যা করো। [অনুধাবনভিত্তিক]

**প্রশ্ন ৪.৬(গ) :** Fe এর তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $2.894 \times 10^{-4}\ g\ C^{-1}$ এবং $1.929 \times 10^{-4}\ g\ C^{-1}$ হতে পারে। ব্যাখ্যা করো।

**প্রশ্ন ৪.৬(ঘ) :** Cu এর তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $6.586 \times 10^{-4}\ g\ C^{-1}$ এবং $3.293 \times 10^{-4}\ g\ C^{-1}$ হতে পারে। ব্যাখ্যা করো।

**প্রশ্ন ৪.৬(ঙ) :** Zn এর তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $3.3886 \times 10^{-4}\ g\ C^{-1}$ বলতে কী বোঝায় ? [দি. বো. ২০১৭]

**জেনে নাও :** (১) মৌলের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক মৌলটির গ্রাম-পারমাণবিক ভর ও নির্দিষ্ট জারণ অবস্থা বা যৌগ গঠনে ব্যবহৃত যোজ্যতা সংখ্যার ওপর নির্ভর করে।

(২) স্থির যোজ্যতা বা স্থির জারণ অবস্থার মৌলের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক স্থির থাকে। কিন্তু একাধিক যোজ্যতা বা জারণ সংখ্যার মৌলের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক তাদের যোজনী বা জারণ সংখ্যার ওপর নির্ভর করে ভিন্ন ভিন্ন হয়।

যেমন, মৌলের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক, $Z = \frac{\text{গ্রাম-পারমাণবিক ভর}}{\text{যোজনী} \times 96473\ C}$

**স্থির যোজ্যতার মৌল :**

| মৌল | পাঃ ভর | যৌগে মৌলটির যোজ্যতা | তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক, Z |
|---|---|---|---|
| H | 1.0079 | 1 (HCl) | $1.0447 \times 10^{-5}\ gC^{-1}$ |
| O | 15.9994 | 2 ($H_2O$) | $8.2921 \times 10^{-5}\ gC^{-1}$ |
| Cl | 35.4530 | 1 (HCl) | $3.6749 \times 10^{-4}\ gC^{-1}$ |
| Zn | 65.409 | 2. (ZnO) | $3.390 \times 10^{-4}\ gC^{-1}$ |
| Ag | 107.868 | 1(AgCl) | $1.1181 \times 10^{-3}\ gC^{-1}$ |

**পরিবর্তনশীল যোজ্যতার মৌল :**

| মৌল | পাঃ ভর | যৌগে মৌলটির যোজ্যতা | তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক, Z |
|---|---|---|---|
| Fe | 55.845 | 2 (FeO) | $2.894 \times 10^{-4}\ gC^{-1}$ |
| Fe | 55.845 | 3 ($FeCl_3$) | $1.929 \times 10^{-4}\ gC^{-1}$ |
| Cu | 63.546 | 1 (CuCl) | $6.586 \times 10^{-4}\ gC^{-1}$ |
| Cu | 63.546 | 2 (CuO) | $3.293 \times 10^{-4}\ gC^{-1}$ |

**(৩) মৌলের রাসায়নিক তুল্যভর :** মৌলের পারমাণবিক ভরকে ঐ মৌলের যৌগ গঠনে ব্যবহৃত যোজ্যতা সংখ্যা দ্বারা ভাগ করলে, যে সংখ্যা পাওয়া যায় তাকে ঐ মৌলের রাসায়নিক তুল্যভর বলে। রাসায়নিক তুল্যভরকে রাসায়নিক তুল্যাঙ্কও বলে। যেমন, $CuSO_4$ যৌগে কপারের ব্যবহৃত যোজনী হলো 2 এবং Cu এর পারমাণবিক ভর হলো 63.5।

∴ Cu এর রাসায়নিক তুল্যভর = (63.5 ÷ 2) = 31.75।

**(৪) যৌগের তুল্যভর :** যৌগের আণবিক ভরকে ক্যাটায়ন বা অ্যানায়নের মোট যোজনী সংখ্যা দ্বারা ভাগ করলে প্রাপ্ত ভাগফলকে যৌগটির তুল্যভর বলে। যেমন,

$CuSO_4$ এর আণবিক ভর হলো 159.5। $CuSO_4$ যৌগে $Cu^{2+}$ আয়নের যোজনী 2;

∴ $CuSO_4$ এর তুল্যভর = (159.5 ÷ 2) = 79.75। তদ্রূপ,

$H_2SO_4$ এর তুল্যভর = (98 ÷ 2) = 49; $Na_2CO_3$ এর তুল্যভর = (106 ÷ 2) = 53।

**(৫) তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ও গ্রাম রাসায়নিক তুল্যভরের মধ্যে সম্পর্ক :**

মৌলের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক × 96500 C (প্রায়) = মৌলটির গ্রাম রাসায়নিক তুল্যভর। যেমন,

Ag এর তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $1.1181 \times 10^{-3}$ g $C^{-1} \times 96500$ C = 107.896 g (Ag এর গ্রাম রাসায়নিক তুল্যভর)।

## ৪.৪.১ ফ্যারাডের সূত্রের প্রযোজ্যতা ও সীমাবদ্ধতা

### Applicability and Limitation of Faraday's Law

**(ক) প্রযোজ্যতা :** (i) ফ্যারাডের সূত্র তড়িৎ বিশ্লেষ্য-দ্রবণে ও গলিত তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের ক্ষেত্রে সমভাবে প্রযোজ্য। (ii) ফ্যারাডের সূত্রের উপর চাপ ও দ্রবণের ঘনমাত্রার বিশেষ কোনো প্রভাব নেই। তবে তাপের প্রভাব আছে, উত্তপ্ত অবস্থায় তড়িৎ বিশ্লেষ্যের পরিবহণ সহজ হয়।

**(খ) সীমাবদ্ধতা :** (i) ফ্যারাডের সূত্র কেবলমাত্র তড়িৎ বিশ্লেষ্য পরিবাহীর বেলায় প্রযোজ্য। ইলেকট্রনীয় পরিবাহীর ক্ষেত্রে প্রযোজ্য নয়; কারণ এক্ষেত্রে জারণ-বিজারণ ঘটে না। (ii) যেসব ক্ষেত্রে শতভাগ তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদ্ধতিতে তড়িৎ প্রবাহিত হয়, শুধুমাত্র সেসব ক্ষেত্রে ফ্যারাডের সূত্র শতভাগ প্রযোজ্য। (iii) কোনো তড়িৎ-বিশ্লেষ্যে এক সাথে একাধিক জারণ-বিজারণ ঘটলে ফ্যারাডের সূত্রের গণনার ক্ষেত্রে ত্রুটি ঘটবে।

## ৪.৪.২ ফ্যারাডের সূত্র প্রয়োগে তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের পরিমাণ নির্ণয়

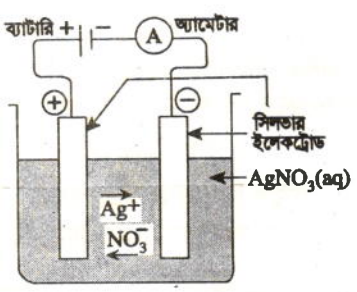
### To Determine Amount of Electrolytic Substance From Faraday's Law

চিত্র-৪.৭ এর তড়িৎ বিশ্লেষ্য কোষটিতে অ্যানোড ও ক্যাথোডরূপে দুটি সিলভার ইলেকট্রোড এবং তড়িৎ বিশ্লেষ্যরূপে সিলভার নাইট্রেট ($AgNO_3$) দ্রবণ ব্যবহৃত হয়েছে। প্রবাহিত বিদ্যুতের পরিমাপের জন্য অ্যামেটার ব্যবহৃত হয়েছে। এখন সিলভার নাইট্রেট ($AgNO_3$) এর জলীয় দ্রবণে বিদ্যুৎ চালনা করলে তড়িৎ বিশ্লেষণ দ্বারা ক্যাথোডে সিলভার ধাতু জমা হয়। নিম্নরূপে ক্যাথোডে সিলভার আয়ন ($Ag^+$) বিজারিত হয়।

$$\underset{\text{1 মোল}}{Ag^+(aq)} + \underset{\text{1 মোল}}{e^-} \longrightarrow \underset{\text{1 মোল}}{Ag(s)}$$

এ সমীকরণ মতে বোঝা যায় যে, 1 মোল সিলভার আয়ন 1 মোল ইলেকট্রন দ্বারা বিজারিত হয়ে 1 মোল সিলভার পরমাণু উৎপন্ন করে। আবার উৎপন্ন সিলভারের পরিমাণ সার্কিট বা বর্তনীতে প্রবাহিত ইলেকট্রনের সংখ্যার সমানুপাতিক অর্থাৎ বর্তনীতে প্রবাহিত মোট বিদ্যুৎ বা বিদ্যুৎ চার্জের সমানুপাতিক। আবার 1 মোল সিলভার পরমাণুর ভর 108 g এবং এর মধ্যে $N_A$ সংখ্যক (অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা $6.022 \times 10^{23}$টি) সিলভার পরমাণু আছে। কিন্তু 1 মোল ইলেকট্রনেও সমসংখ্যক ইলেকট্রন থাকে। একটি ইলেকট্রনের চার্জ হলো = $1.602 \times 10^{-19}$ কুলম্ব। অতএব 1 মোল ইলেকট্রনের মোট চার্জ = $1.602 \times 10^{-19} \times 6.022 \times 10^{23}$ C

= 96473 C = 96500 C (প্রায়)।




চিত্র-৪.৭ : ফ্যারাডের ১ম সূত্রের সাহায্যে তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের পরিমাণ নির্ণয়।

- তড়িৎ বিশ্লেষ্য কোষঃ
- তড়িৎ রাসায়নিক কোষঃ

**ফ্যারাডে (Faraday) :** এক মোল ইলেকট্রনের মোট চার্জ হলো 96,500 কুলম্ব। এ পরিমাণ বিদ্যুৎ চার্জকে এক ফ্যারাডে চার্জ বা ফ্যারাডে ধ্রুবক বলা হয় এবং একে F দ্বারা চিহ্নিত করা হয়।

∴ IF = 96500 C বিদ্যুৎ চার্জ।

1 মোল সিলভার (Ag) উৎপাদনের জন্য 1F বিদ্যুৎ চার্জ প্রয়োজন।

∴ x মোল সিলভার (Ag) উৎপাদনের x × F বিদ্যুৎ চার্জ প্রয়োজন।

সুতরাং তড়িৎদ্বারে সঞ্চিত সিলভারের পরিমাণ প্রবাহিত বিদ্যুৎ চার্জের সমানুপাতিক।

**MCQ-4.10: এক ফ্যারাডে বলতে কী বোঝায়?**
(ক) 96500 টি $e^-$
(খ) 96500 টি $e^-$ এর চার্জ
(গ) $6.022 \times 10^{23}$ টি $e^-$ এর চার্জ
(ঘ) $N_A$ সংখ্যক ইলেকট্রন

অর্থাৎ তড়িৎ বিশ্লেষ্য কোষে প্রবাহিত বিদ্যুতের পরিমাণ থেকে তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের পরিমাণ নির্ণয় করা যায়।

## ৪.৪.৩ ফ্যারাডের সূত্রের তাৎপর্য

**Significance of Faraday's Law**

১। পরমাণুর ইলেকট্রনীয় গঠন ও রাসায়নিক বন্ধনের ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব জানার পরে ফ্যারাডের সূত্রসমূহ পরিষ্কারভাবে বোঝা যায়। যেকোনো মৌলের পরমাণুর নিউক্লিয়াসে মৌলটির পারমাণবিক সংখ্যার সমান সংখ্যক প্রোটন থাকে। একটি পরমাণুতে সাধারণ অবস্থায় প্রোটনের সমান সংখ্যক ইলেকট্রন থাকে, যারা নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে পরিভ্রমণ রত।

২। কোনো পরমাণু থেকে একটি ইলেকট্রন বর্জন করা হলে সে পরমাণুতে একটি নিট ধনাত্মক আধানের সৃষ্টি হয়; অপরদিকে একটি পরমাণু অন্য কোনো পরমাণু থেকে একটি ইলেকট্রন গ্রহণ করলে তাতে একটি ঋণাত্মক আধানের সৃষ্টি হয়।

৩। একটি পরমাণু বা পরমাণুগুচ্ছ যখন তড়িৎ নিরপেক্ষ থাকে না, অর্থাৎ তাতে যখন নিট ধনাত্মক বা ঋণাত্মক আধানের সৃষ্টি হয়, তখন তাকে আয়ন বলা হয়।

৪। যদি কোনো পরমাণু n সংখ্যক ইলেকট্রন বর্জন করে, তখন $n^+$ আধানবিশিষ্ট ক্যাটায়নের সৃষ্টি হয়। আবার কোনো পরমাণু n সংখ্যক ইলেকট্রন গ্রহণ করলে $n^-$ আধানবিশিষ্ট অ্যানায়নের সৃষ্টি হয়।

৫। সাধারণভাবে একটি ধাতু ও অধাতু পরস্পরের সাথে বিক্রিয়া করার সময় ধাতু পরমাণু থেকে এক বা একাধিক ইলেকট্রন অধাতু পরমাণুতে স্থানান্তরিত হয়। এভাবে আয়নিক যৌগসমূহ গঠিত হয়। যেমন Na ও Cl পরমাণুর মধ্যে বিক্রিয়ার সময় সোডিয়াম পরমাণু থেকে একটি ইলেকট্রন ক্লোরিন পরমাণুতে স্থানান্তরিত হয়। অর্থাৎ $Na^+$ ও $Cl^-$ আয়নের সৃষ্টি হয়। $Na = Na^+ + e^-$; $Cl + e^- = Cl^-$। আয়নিক যৌগের স্ফটিকে আয়নসমূহ কেলাস ল্যাটিসে আবদ্ধ থাকে।

৬। দ্রবণে বা গলিত অবস্থায় তড়িৎ বিশ্লেষ্যের আয়নগুলো মুক্ত অবস্থায় চলাচল করে। তখন তাদের পক্ষে তড়িৎ পরিবহণ সম্ভব হয়। তড়িৎ বিশ্লেষণের সময় আয়নিক যৌগ গঠনের বিপরীত প্রক্রিয়া সম্পন্ন হয়। অর্থাৎ ক্যাথোডে ক্যাটায়ন প্রয়োজনীয় সংখ্যক ইলেকট্রন গ্রহণ করে আধান বা চার্জবিহীন পরমাণুতে পরিণত হয়। যেমন,

$$Na^+ + e^- \longrightarrow Na$$

আবার অ্যানোডে অ্যানায়ন প্রয়োজনীয় সংখ্যক ইলেকট্রন ত্যাগ করে আধানবিহীন পরমাণুতে পরিণত হয় এবং পরে অণু গঠন করে। অথবা দ্রাবকের সাথে বা তড়িৎদ্বারের সাথে বিক্রিয়া করতে পারে। যেমন,

$$Cl^- \longrightarrow Cl + e^-, \qquad Cl + Cl \longrightarrow Cl_2, \qquad Na^+ + OH^- \longrightarrow NaOH$$

৭। তড়িৎ বিশ্লেষণের সময় একটি একযোজী ক্যাটায়ন বা অ্যানায়ন যথাক্রমে একটি ইলেকট্রন গ্রহণ বা বর্জন করে। যোজনী n হলে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন nটি ইলেকট্রন যথাক্রমে গ্রহণ ও বর্জন করে।

৮। আবার ক্যাটায়নের এক মোল পরিমাণের মধ্যে অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যক $N_A$টি ক্যাটায়ন থাকে। তাই n যোজনী বিশিষ্ট এক মোল ক্যাটায়ন এক মোল পরমাণু তৈরিতে $nN_A$টি ইলেকট্রন প্রয়োজন হয়। একই ভাবে m যোজুনীবিশিষ্ট এক মোল অ্যানায়ন থেকে এক মোল পরমাণু পেতে $mN_A$ সংখ্যক ইলেকট্রন বর্জন করতে হয়।

৯। বিদ্যুৎ বিশ্লেষণকালে কোনো পদার্থের আয়ন থেকে 1 মোল পদার্থকে সঞ্চিত করতে প্রয়োজনীয় বিদ্যুতের পরিমাণ সে পদার্থের ধনাত্মক আয়নের চার্জের সমান মোল ইলেকট্রন (যেমন ১, ২, ৩ মোল ইত্যাদি) এর সমান।

তড়িৎ বিশ্লেষণ থেকে জানা যায়, ক্যাথোডে 1 মোল Ag. 1 মোল Cu এবং 1 মোল Cr এর সঞ্চিত হওয়ার কালে যথাক্রমে 96500 C, 2 × 96500 C এবং 3 × 96500 C বিদ্যুৎ প্রয়োজন হয়। এসব তথ্য নিম্নোক্ত সমীকরণের সাথে সামঞ্জস্যপূর্ণ। যেমন,

$Ag^+$ (1 মোল) + $e^-$ (1 মোল) ⟶ Ag; (1 মোল) এক্ষেত্রে বিদ্যুৎ প্রয়োজন 1 × 96500 C = 1 F

$Cu^{2+}$ (1 মোল) + $2e^-$ (2 মোল) ⟶ Cu; (1 মোল) এক্ষেত্রে বিদ্যুৎ প্রয়োজন 2 × 96500 C = 2 F

$Cr^{3+}$ (1 মোল) + $3e^-$ (3 মোল) ⟶ Cr; (1 মোল) এক্ষেত্রে বিদ্যুৎ প্রয়োজন 3 × 96500 C = 3F

সুতরাং, 1 মোল এক–ধনাত্মক আয়নকে বিজারিত করতে 1 F বিদ্যুৎ প্রয়োজন।
1 মোল দ্বি–ধনাত্মক আয়নকে বিজারিত করতে 2 F বিদ্যুৎ প্রয়োজন।
1 মোল ত্রি–ধনাত্মক আয়নকে বিজারিত করতে 3 F বিদ্যুৎ প্রয়োজন।

অপর কথায়, $96.5 \times 10^3$C বিদ্যুৎ তিনটি তড়িৎ বিশ্লেষ্য কোষে প্রবাহিত হওয়ার ফলে সঞ্চিত ধাতুসমূহের পরিমাণ হয় যথাক্রমে 1 মোল Ag, $\frac{1}{2}$ মোল Cu, $\frac{1}{3}$ মোল Cr অর্থাৎ 1 মোল/(ধনাত্মক আয়নের চার্জ)। মৌলের এরূপ সম্পর্কযুক্ত পরিমাণকে বিজ্ঞানী ফ্যারাডে তাঁর সূত্রে ধাতুসমূহের তুল্যভর বা তুল্যাঙ্ক (equivalents) বলেছেন।

**ধাতুর তুল্যভরের সংজ্ঞা :** কোনো ধাতুর লবণের দ্রবণের তড়িৎ বিশ্লেষ্য কোষে এক ফ্যারাডে তড়িৎ দ্বারা ক্যাথোডে যত গ্রাম ধাতু সঞ্চিত হয়, ঐ পরিমাণকে ধাতুটির তুল্যভর বা তুল্যাঙ্ক বলে। ধাতুর এক মোল ও ধাতুর ধনাত্মক চার্জের অনুপাত হলো ধাতুটির তুল্যভর। যেমন, Cu এর তুল্যভর বা রাসায়নিক তুল্যভর = (63.55g ÷ 2) = 31.775 g।

**১০। ফ্যারাডের সূত্রের সাহায্যে ইলেকট্রনের চার্জ গণনা করা সম্ভব।**

তড়িৎ বিশ্লেষণের সমীকরণ মতে, একযোজী এক মোল ক্যাটায়নকে চার্জ মুক্ত করতে 1F বিদ্যুতের প্রয়োজন হয়।

এক মোল ক্যাটায়নের সংখ্যা হলো অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা, $N_A$

একটি ইলেকট্রনের চার্জ = $e^-$

$\therefore N_A \times e^- = 1$ ফ্যারাডে = 96500 কুলম্ব (C).

$$\therefore e^- = \frac{96500\ C}{N_A} = \frac{96500\ C}{6.022 \times 10^{23}} = 1.60245 \times 10^{-19}\ C$$

এভাবে হিসাবকৃত ইলেকট্রনের চার্জের পরিমাণ বিভিন্ন পরীক্ষা থেকে প্রাপ্ত ইলেকট্রনের চার্জের সমান। এ থেকে ফ্যারাডের সূত্রের তাৎপর্য বোঝা যায় এবং প্রমাণিত হয় যে, **1 মোল ইলেকট্রন = 1 ফ্যারাডে (F)**

**সমাধানকৃত সমস্যা-৪ :** 5 অ্যাম্পিয়ার মাত্রার তড়িৎ 60 মিনিট ধরে $CuSO_4$ দ্রবণের মধ্য দিয়ে চালনা করলে তড়িৎদ্বারে কী পরিমাণ কপার সঞ্চিত হবে? [Cu = 63.5]

**দক্ষতা :** সংশ্লিষ্ট বিজারণ সমীকরণ ও ফ্যারাডের ১ম সূত্র প্রয়োগ করতে হবে।

**সমাধান :** প্রশ্নমতে মোট সময়, t = 60 × 60 সেকেন্ড।

$\therefore$ প্রবাহিত বিদ্যুতের পরিমাণ, Q = I × t = 5 × 60 × 60 C বা, $Q = \frac{5 \times 60 \times 60}{965000}\ F = \frac{36 \times 5}{965}\ F$

কপার সালফেট ($CuSO_4$) এর দ্রবণে তড়িৎ বিশ্লেষণে $Cu^{2+}$ আয়ন নিম্নরূপে বিজারিত হয়।

$Cu^{2+}(aq) + 2e^-$ (2F) ⟶ Cu (s) (1 মোল = 63.5 g Cu)

সমীকরণ মতে, 2 F বিদ্যুৎ দ্বারা সঞ্চিত হয় 1 মোল কপার = 63.5 g Cu

$\therefore \frac{36 \times 5}{965}$ F বিদ্যুৎ দ্বারা সঞ্চিত হয় = $\frac{63.5 \times 36 \times 5}{2 \times 965}$ g Cu = 5.922 g Cu (প্রায়) (উত্তর)

**সমাধানকৃত সমস্যা-৪.৯ : $CuSO_4$ দ্রবণের মধ্য দিয়ে 160 mA বিদ্যুৎ 40 min. যাবৎ চালনা করা হলো। তড়িৎদ্বারে সঞ্চিত কপার পরমাণুর সংখ্যা নির্ণয় করো।**

**সমাধান :** প্রশ্নমতে, t = 40 × 60 সেকেন্ড। বিদ্যুতের মাত্রা, I = 160 mA = 0.16 A

$\therefore$ প্রবাহিত বিদ্যুতের পরিমাণ, $Q = I \times t = (0.16 \times 40 \times 60)\ C = \frac{384}{96500}\ F$

$CuSO_4$ দ্রবণের তড়িৎ বিশ্লেষণে $Cu^{2+}$ আয়ন নিম্নরূপে বিজারিত হয় :

$$\underset{}{Cu^{2+}(aq)} + \underset{2F}{2e^-} \longrightarrow \underset{1\text{ মোল}}{Cu(s)}$$

সমীকরণ মতে, 2 F বিদ্যুৎ দ্বারা সঞ্চিত হয় 1 মোল Cu বা, $6.022 \times 10^{23}$ টি Cu পরমাণু

$\therefore \frac{384}{96500}$ F বিদ্যুৎ দ্বারা সঞ্চিত হয় $= \frac{6.022 \times 10^{23} \times 384}{2 \times 96500}$ টি Cu পরমাণু

$= 1.198159585 \times 10^{21}$ টি Cu পরমাণু (উত্তর)

**সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১০ : সালফিউরিক এসিডের লঘু জলীয় দ্রবণের মধ্য দিয়ে প্লাটিনাম তারের মাধ্যমে ১ ঘণ্টা বিদ্যুৎ প্রবাহিত করায় আদর্শ তাপমাত্রা ও চাপে 250 mL হাইড্রোজেন গ্যাস উৎপন্ন হয়। বিদ্যুতের মাত্রা কত ছিল?**

**সমাধান :** প্রশ্নমতে, উৎপন্ন $H_2$ গ্যাসের আয়তন (আদর্শ তাপমাত্রা ও চাপে) 250 mL = 0.250 L

আবার 1 মোল $H_2 = 1.008 \times 2$ g $H_2$

অর্থাৎ 22.4 L $H_2 = 1.008 \times 2$ g $H_2$

$\therefore 0.250\ L\ H_2 = \frac{1.008 \times 2 \times 0.250}{22.4}$ g $H_2$ = 0.0225 g $H_2$

> **MCQ-4.11: 1 মোল ইলেকট্রন কোনটি ?**
> (ক) 1 ফ্যারাডে (খ) 1C
> (গ) 1.62 C (ঘ) $1.602 \times 10^{-19}$ C

বিদ্যুৎ বিশ্লেষণকালে $H^+$ এর বিজারণ নিম্ন সমীকরণ মতে ঘটে :

$$\underset{1\text{ মোল}}{H^+(aq)} + \underset{1\text{ মোল}}{e^-} \rightarrow \frac{1}{2} H_2(g)$$

1 মোল হাইড্রোজেন পরমাণু = 1.008 g

$\therefore$ 1.008 g হাইড্রোজেন মুক্ত করতে প্রয়োজন হয় 1F = 96500 C

$\therefore$ 0.0225 g হাইড্রোজেন মুক্ত করতে প্রয়োজন হয় $= \frac{96500 \times 0.0225}{1.008}$ C = 2154.0178 C

আমরা জানি, $Q = I \times t$ ; $\therefore$ বিদ্যুতের মাত্রা, $I = \frac{Q}{t} = \frac{2154.0178C}{60 \times 60\ s}$ = 0.5983 A (প্রায়)। (উত্তর)

**সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১১: লঘু $H_2SO_4$ মিশ্রিত পানিতে Pt তড়িৎদ্বারের মাধ্যমে 3.0 A বিদ্যুৎ 2 ঘণ্টা যাবৎ প্রবাহিত করা হলো। এতে কত গ্রাম পানি তড়িৎ বিশ্লেষিত হবে এবং STP-তে কত আয়তনের $H_2$ গ্যাস ও $O_2$ গ্যাস উৎপন্ন হবে?**

**সমাধান :** লঘু $H_2SO_4$ মিশ্রিত পানিতে Pt তড়িৎদ্বার ব্যবহার করে তড়িৎ বিশ্লেষণকালে জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ার সমীকরণটি হলো নিম্নরূপ :

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| তড়িৎ বিয়োজন | : | $4H_2O$ | $\longrightarrow$ | $4H^+$ | + | $4OH^-$ |
| ক্যাথোডে বিজারণ | : | $4H^+ + 4e^-$ | $\longrightarrow$ | $2H_2$ | | |
| অ্যানোডে জারণ | : | $4OH^-$ | $\longrightarrow$ | $2H_2O$ | + | $O_2 + 4e^-$ |
| সামগ্রিক তড়িৎ বিশ্লেষণ | : | $2H_2O$ | $\xrightarrow{4F}$ | $2H_2$ | + | $O_2$ |
| | | 36 g | | $2 \times 22.4$L (STP-তে) | | 22.4 L(STP-তে) |

**প্রশ্নমতে, প্রবাহিত মোট বিদ্যুতের পরিমাণ,** $Q = 1 \times t = 3.0 \times 2 \times 60 \times 60$ C $= 21600$ C

সমীকরণ মতে, পানিতে 4F বা, $4 \times 96500$ C বিদ্যুৎ প্রবাহে 36 g পানি বিশ্লেষিত হয়

$\therefore$ 21600 C বিদ্যুৎ প্রবাহে $\frac{36 \times 21600}{4 \times 96500}$ g $= 2.0145$ g পানি।

**STP-তে উৎপন্ন $H_2$ গ্যাস ও $O_2$ গ্যাস-এর আয়তন গণনা :**

সমীকরণ মতে, 4F বা, $4 \times 96500$ C বিদ্যুৎ প্রবাহে STP-তে $2 \times 22.4$ L $H_2$ উৎপন্ন হয়।

$\therefore$ 21600 C বিদ্যুৎ প্রবাহে STP-তে $\frac{2 \times 22.4 \times 21600}{4 \times 96500}$ L $= 2.5069$ L $H_2$।

আবার, সমীকরণ মতে, উৎপন্ন $O_2$ গ্যাসের আয়তন $H_2$ গ্যাসের অর্ধেক হয়।

$\therefore$ উৎপন্ন $O_2$ গ্যাসের আয়তন $= (2.5069 \div 2)$ L $= 1.25345$ L

**উত্তর:** পানি $= 2.0145$ g, $H_2 = 2.5069$ L, $O_2 = 1.25345$ L

**সমাধানকৃত সমস্যা- ৪.১২ : সিলভার নাইট্রেট দ্রবণের মধ্য দিয়ে 1.5 অ্যাম্পিয়ারের বিদ্যুৎ কতক্ষণ ধরে প্রবাহিত করলে 1.89 g সিলভার ক্যাথোড সঞ্চিত হবে?**

**সমাধান :** মনে করি, সময় $= t$ সেকেন্ড।

এখানে সঞ্চিত সিলভারের পরিমাণ $= 1.89$ g

প্রবাহিত মোট বিদ্যুৎ, $Q = I \times t = 1.5 \times t$ (C)

**MCQ-4.12 : 1 mol Cr ক্যাথোডে সঞ্চিত হতে বিদ্যুৎ প্রয়োজন কত ফ্যারাডে?**

(ক) 1 F (খ) 2 F

(গ) 3 F (ঘ) 4 F

এখানে সিলভার আয়ন ($Ag^+$) বিজারণের সমীকরণ নিম্নরূপ :

| $Ag^+$ (aq) | $+ e^-$ | $\rightarrow$ | Ag (s) |
|---|---|---|---|
| 1 মোল | 1 মোল | | 1 মোল = 107.88 g |

আবার 1 মোল Ag (অর্থাৎ 107.88 g) সঞ্চিত হতে 1.0 মোল ইলেকট্রন প্রয়োজন।

$\therefore$ 1,89 g সিলভার সঞ্চিত হতে $\frac{1.0 \times 1.89}{107.88}$ মোল ইলেকট্রন প্রয়োজন।

$\therefore$ মোট বিদ্যুতের পরিমাণ, $Q = \frac{96500 \times 1.0 \times 1.89}{107.88}$ C $= 1690.63$ C (প্রায়)

আবার $Q = 1.5 \times t$; $\therefore t = \frac{Q}{1.5A} = \frac{1690.63 \text{ C}}{1.5A} = 1127.08$ sec $= 18$ min $47.08$ sec **(উত্তর)**

**সমাধানকৃত সমস্যা- ৪.১৩ : ক্রোমিয়াম (III) সালফেট দ্রবণে 0.120 অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ কত সময় যাবৎ প্রবাহিত করলে ক্যাথোডে 1.00 g ক্রোমিয়াম সঞ্চিত হবে? [Cr = 52]**

**সমাধান :** ক্রোমিয়াম (III) আয়নের বিজারণের সমীকরণ নিম্নরূপ :

$$Cr^{3+}(aq) + 3e^- \longrightarrow Cr(s)$$

1 মোল 3 মোল 1 মোল = 52

অর্থাৎ 1 মোল ক্রোমিয়াম (অর্থাৎ 52 g Cr) সঞ্চিত হতে 3 মোল ইলেকট্রন প্রয়োজন।

সুতরাং 1 g ক্রোমিয়াম সঞ্চিত হতে 3/52 মোল ইলেকট্রন প্রয়োজন হবে।

$\therefore$ মোট বিদ্যুতের পরিমাণ, $Q = \frac{96500 \times 3}{52}$ C = 5567.3 C

আবার $Q = I \times t$, $\therefore t = \frac{Q}{I} = \frac{5567.3 \text{ C}}{0.120 \text{ A}}$ = 46394 s = 12 hr 53 min **(উত্তর)**

**সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৪ : ক্রোমিয়াম (III) সালফেট দ্রবণে 0.0422 A বিদ্যুৎ 1 hr যাবৎ প্রবাহিত করার ফলে ক্যাথোডে 0.0275 g ক্রোমিয়াম সঞ্চিত হয়। ক্রোমিয়াম আয়নের চার্জ কত? [Cr = 52.0]**

**সমাধান :** মোট সময়. t = 1 hr = 60 × 60 s.

প্রবাহিত মোট বিদ্যুতের পরিমাণ, $Q = I \times t = 0.0422 \times 60 \times 60$ C = 151.92 C = $\frac{151.92}{96500}$ F

সঞ্চিত ক্রোমিয়ামের মোল সংখ্যা = $\frac{0.0275}{52.0}$ = 0.00053 (প্রায়)

$$Cr^{n+}(aq) + ne^- \longrightarrow Cr(s)$$

1 মোল n মোল 1 মোল

0.00053 মোল ক্রোমিয়াম সঞ্চিত হতে দরকার হয় $\frac{151.92}{96500}$ F বিদ্যুৎ।

$\therefore$ 1.0 মোল ক্রোমিয়াম সঞ্চিত হতে দরকার = $\frac{151.92 \text{ F}}{96500 \times 0.00053} = \frac{151.92}{51.145}$ F = 2.97 F ≈ 3 F

$\therefore$ ক্রোমিয়াম আয়নের চার্জ +3 অর্থাৎ ক্রোমিয়াম আয়ন হলো $Cr^{3+}$ **(উত্তর)**

**সমাধানকৃত সমস্যা ৪.১৫ : 2 অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ 1 ঘণ্টা যাবৎ সিরিজ সংযোগে $AgNO_3$ দ্রবণ, $CuSO_4$ দ্রবণ ও $Cr_2(SO_4)_3$ দ্রবণের তড়িৎ বিশ্লেষ্য কোষে চালনা করা হয়। প্রতিটি তড়িৎ বিশ্লেষ্য কোষে সঞ্চিত ধাতুর পরিমাণ নির্ণয় কর। [Ag = 108, Cu = 63.5, Cr = 52]**

**সমাধান :** সংশ্লিষ্ট বিজারণ বিক্রিয়া নিম্নরূপে ক্যাথোডে ঘটে;

(i) $Ag^+(aq) + e^- \longrightarrow Ag(s)$ — 1F — 1 মোল

(ii) $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$ — 2F — 1 মোল

(iii) $Cr^{3+}(aq) + 3e^- \longrightarrow Cr(s)$ — 3F — 1 মোল

প্রশ্নমতে, $t = 1 \times 60 \times 60$ s

প্রবাহিত বিদ্যুতের পরিমাণ,

$Q = I \times t = 2 \times 60 \times 60$ C

$= \frac{2 \times 60 \times 60 \text{ F}}{96500} = \frac{72 \text{ F}}{965}$

(i) নং সমীকরণ মতে, 1 F বিদ্যুৎ দ্বারা সঞ্চিত হয় 1 মোল Ag অর্থাৎ = 108 g Ag

$\therefore \frac{72 \text{ F}}{965}$ বিদ্যুৎ দ্বারা সঞ্চিত হয় = $\frac{108 \times 72}{965}$ g Ag = 8.058 g Ag

(ii) নং সমীকরণ মতে, 2 F বিদ্যুৎ দ্বারা সঞ্চিত হয় 1 মোল Cu অর্থাৎ = 63.5 g Cu

$\therefore \frac{72\ F}{965}$ বিদ্যুৎ দ্বারা সঞ্চিত হয় $\frac{63.5 \times 72}{2 \times 965}$ g Cu = 2.369 g Cu

(iii) নং সমীকরণ মতে, 3 F বিদ্যুৎ দ্বারা সঞ্চিত হয় 1 মোল Cr অর্থাৎ = 52 g Cr

$\therefore \frac{72\ F}{965}$ বিদ্যুৎ দ্বারা সঞ্চিত হয় = $\frac{52 \times 72}{3 \times 965}$ g Cr = 1.293 g Cr

**উত্তর :** Ag = 8.058 g; Cu = 2.369 g; Cr = 1.293 g.

**শিক্ষার্থীর কাজ-৪.৪ : ফ্যারাডের সূত্রভিত্তিক গণনা :**

**সমস্যা-৪.৯ :** $Ni(NO_3)_2$ দ্রবণে প্লাটিনাম তড়িৎদ্বার ব্যবহার করে 5 অ্যাম্পিয়ার শক্তির বিদ্যুৎ 30 মিনিট যাবৎ চালনা করা হলো। ক্যাথোডে কী পরিমাণ নিকেল জমা হবে? [Ni = 58.7] [উ: 2.737 g]

**সমস্যা-৪.১০ :** অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইড ও ক্রায়োলাইটের গলিত মিশ্রণে $1.0 \times 10^5$ A বিদ্যুৎ 8.0 h যাবৎ চালনা করলে কত কিলোগ্রাম অ্যালুমিনিয়াম উৎপাদিত হবে? [উ: 268.6 kg]

**সমস্যা-৪.১১ :** চট্টগ্রামের দত্ত জুয়েলার্স মেয়েদের জন্য ইমিটেশন চেইন তৈরি করে। কম দামের ধাতুর তৈরি 10 টি চেইনের ওপর গোল্ডের প্রলেপ দিতে গোল্ড লবণের ($Au^{3+}$) দ্রবণে গোল্ড অ্যানোড ব্যবহার করে 5.0 A বিদ্যুৎ 10 মিনিট যাবৎ চালনা করা হয়। প্রতি 10 g গোল্ডের দাম 40,000 টাকা হলে প্রতি চেইনে কত টাকার গোল্ড ব্যবহৃত হয়েছে। [Au = 196.97] [উ: 816.40 টাকা]

**সমস্যা-৪.১২(ক) :** $FeSO_4$ এর দ্রবণে 250 A বিদ্যুৎ 40 মিনিট চালনা করলে ক্যাথোডে কত গ্রাম ধাতু জমা হবে? [উ: 173.61 g] [দি. বো. ২০১৫]

**সমস্যা- ৪.১২(খ) :** $FeSO_4$ এর দ্রবণে 5 A বিদ্যুৎ 10 মিনিট চালনা করলে কী পরিমাণ ধাতু ক্যাথোডে জমা হবে? [উ: 0.868 g] [কু. বো.২০১৬]

**সমস্যা-৪.১২(গ) :** $CaCl_2$ এর দ্রবণে 5 A বিদ্যুৎ 10 min চালনা করলে ক্যাথোডে কত গ্রাম ধাতু জমা হবে? [উ: 0.622 g] [কু. বো. ২০১৭]

**সমস্যা-৪.১২(ঘ):** $AgNO_3$ এর দ্রবণে 6 A বিদ্যুৎ 40 min চালনা করলে ক্যাথোডে কত গ্রাম ধাতু জমা হবে? [উ: 16.096 g] [মাদ্রাসা. বো. ২০১৭]

**সমস্যা-৪.১৩(ক) :** এক ধাতব সালফেট দ্রবণে 0.5 অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ 1 ঘণ্টা চালনা করলে ক্যাথোডে 0.59 গ্রাম ধাতু জমা হয়। ধাতুটির তুল্যভর কত হবে? [উ: 31. 63 g]

**সমস্যা-৪.১৩(খ) :** $AgNO_3$ এর দ্রবণে 3 A বিদ্যুৎ 10 মিনিট চালনা করলে ক্যাথোডে 2.015 g সিলভার সঞ্চিত হয়। সিলভারের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ও রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় করো। [উ: $1.11944 \times 10^{-3}\ gC^{-1}$, 108.02 g]

**সমস্যা-৪.১৩(গ) :** $CuSO_4$ এর দ্রবণে 30 মিনিট যাবৎ 0.5 A বিদ্যুৎ প্রবাহ চালনা করলে ক্যাথোডে 0.2964 গ্রাম কপার জমা হয়। কপারের তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক কত? [উ: 0.000329 g $C^{-1}$]

**সমস্যা-৪.১৩(ঘ) :** $CuSO_4$ এর দ্রবণে 0.25 A বিদ্যুৎ 1 ঘণ্টা চালনা করলে 0.295 g কপার ক্যাথোডে জমা হয়। কপারের তুল্যাঙ্ক ভর কত? [উ: 31.63 g]

**সমস্যা-৪.১৪(ক) :** একটি একযোজী ধাতব আয়ন $1.60245 \times 10^{-19}$ C বিদ্যুৎ পরিবহণ করলে তবে ঐ ধাতুর 1 g মোল আয়ন কী পরিমাণ বিদ্যুৎ পরিবহণ করবে ? [উ: 96499.5 C]

**সমস্যা–৪.১৪(খ)** : গলিত $CaCl_2$ থেকে তড়িৎ বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে 20.0 g ক্যালসিয়াম ধাতু নিষ্কাশনে কত কুলম্ব বিদ্যুৎ প্রয়োজন হবে? [উ: 96500 C]

**সমস্যা–৪.১৫(ক)** : একটি $AgNO_3$ দ্রবণে 50 min যাবৎ 0.20 অ্যাম্পিয়ার শক্তিসম্পন্ন বিদ্যুৎ চালনা করলে ক্যাথোডে কত পরিমাণ সিলভার সঞ্চিত হবে? [Ag = 108] [উ: 0.6715 g]

**সমস্যা–৪.১৫(খ)** : $AgNO_3$ দ্রবণের মধ্য দিয়ে 5 অ্যাম্পিয়ার শক্তির বিদ্যুৎ 10 মিনিট চালনা করা হলো। এতে কত পরিমাণ সিলভার ও কয়টি সিলভার পরমাণু ক্যাথোডে সঞ্চিত হবে? [উ: 3.3575 g, $187.211713 \times 10^{20}$]

**সমস্যা–৪.১৬(ক)** : $CuSO_4$ এর দ্রবণে 15 min. সময় যাবৎ 5 A বিদ্যুৎ প্রবাহ চালনা করলে ক্যাথোডে কী পরিমাণ কপার জমা হবে? [Cu = 63.5] [উ: 1.48 g Cu (প্রায়)]

**সমস্যা–৪.১৬(খ)** : তুঁতের জলীয় দ্রবণে 0.5 A মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহ 10 min ধরে চালনা করলে কী পরিমাণ কপার ও কয়টি কপার পরমাণু ক্যাথোডে জমা হবে? [উ: 0.0987 g, $936.0179528 \times 10^{18}$]

**সমস্যা–৪.১৭(ক)** : $CuSO_4$ দ্রবণে 2 অ্যাম্পিয়ার মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহ কতক্ষণ চালনা করলে ক্যাথোডে 2.368 g কপার সঞ্চিত করে? [Cu = 63.54] [উ: 59.94 min বা, 60 min]

**সমস্যা–৪.১৭(খ)** : গলিত $AlCl_3$ তড়িৎ বিশ্লেষ্যের মধ্য দিয়ে 1.5 A শক্তির বিদ্যুৎ কত সময় যাবৎ চালনা করলে ক্যাথোডে 1.6 g Al ধাতু জমা হবে? (Al এর পাঃ ভর = 27) [উ: 3.177 hrs]

**সমস্যা–৪.১৮(ক)** : $H_2SO_4$ এর লঘু দ্রবণের মধ্য দিয়ে 2.5 অ্যাম্পিয়ার শক্তির বিদ্যুৎ কতক্ষণ চালনা করলে আদর্শ তাপমাত্রায় ও চাপে 600 mL হাইড্রোজেন গ্যাস উৎপন্ন হবে? [উ: 34.46 min]

**সমস্যা–৪.১৮(খ)** : $H_2SO_4$ মিশ্রিত পানির মধ্য দিয়ে প্লাটিনাম তড়িৎদ্বারের মাধ্যমে 1.5 ঘণ্টা বিদ্যুৎ প্রবাহিত করায় আদর্শ তাপমাত্রায় ও চাপে 500 mL হাইড্রোজেন গ্যাস উৎপন্ন হয়। বিদ্যুতের শক্তিমাত্রা কত ছিল? [উ: 0.7978 A]

**সমস্যা–৪.১৮(গ)** : $H_2SO_4$ মিশ্রিত পানির মধ্য দিয়ে প্লাটিনাম তড়িৎদ্বারের মাধ্যমে বিদ্যুৎ প্রবাহিত করে STP-তে 500 mL $H_2$ গ্যাস পাওয়া গেল। এতে কত কুলম্ব বিদ্যুৎ চালনা করা হয়? [উ: 4308.036 C]

**সমস্যা–৪.১৮(ঘ)** : এসিড মিশ্রিত পানির মধ্য দিয়ে 10 A বিদ্যুৎ 3 মিনিট 13 সেকেন্ড ধরে চালনা করলে কত পরিমাণ পানি বিয়োজিত হবে? STP-তে কত আয়তনের $H_2$ গ্যাস ও $O_2$ গ্যাস উৎপন্ন হবে?

[উ: পানি = 0.36 g, $H_2$ = 0.224 L, $O_2$ = 0.112 L]

**সমস্যা–৪.১৮(ঙ)** : 100 সেকেন্ড ধরে 10 A বিদ্যুৎ এসিড মিশ্রিত পানিতে চালনা করলে STP-তে কত আয়তন $H_2$ ও $O_2$ উৎপন্ন হবে? [উ: $H_2$ = 116 mL, $O_2$ = 58 mL]

**সমস্যা- ৪.১৯(ক)** : একটি গোল্ড লবণের দ্রবণ থেকে 2.6267 গ্রাম গোল্ড মুক্ত করতে যে পরিমাণ তড়িৎ ব্যয়িত হয়, ঐ একই পরিমাণ তড়িৎ দ্বারা $CuSO_4$ দ্রবণে কপার অ্যানোড ব্যবহার করে তড়িৎ বিশ্লেষণ করলে 1.26 g কপার দ্রবীভূত হয়। গোল্ড লবণটিতে গোল্ডের জারণ সংখ্যা নির্ণয় করো। [Cu = 63, Au = 197]

[উ: Au এর জারণ সংখ্যা = + 3]

**সমস্যা-৪.১৯(খ)** : $AgNO_3$ এর জলীয় দ্রবণে যে পরিমাণ বিদ্যুৎ চালনা করলে 10 গ্রাম Ag তড়িৎদ্বারে জমা হয়, একই পরিমাণ বিদ্যুৎ গোল্ড লবণের দ্রবণে চালনা করলে 6.08 গ্রাম Au তড়িৎদ্বারে জমা হয়। ঐ গোল্ড লবণে গোল্ডের আধান কত? [Ag = 108, Au = 197] [উ: +3]

**সমস্যা-৪.২০(ক)** : 1 ফ্যারাডে তড়িৎ প্রবাহে কত গ্রাম ফেরাস আয়ন ও ফেরিক আয়ন চার্জ মুক্ত হবে? [Fe = 56] [উ: ফেরাস = 2 8 g; ফেরিক = 18.66 g]

**সমস্যা-৪.২০.(খ)** : 1 মোল $Cr_2O_7^{2-}$ আয়নকে $Cr^{3+}$ আয়নে বিজারিত করতে কত কুলম্ব বিদ্যুতের প্রয়োজন হবে? [উ: $5.79 \times 10^5$ কুলম্ব]

**সমস্যা-৪.২০(গ) :** $CrO_3$ এর অম্লীয় দ্রবণের তড়িৎ বিশ্লেষণে নিম্ন সমীকরণ মতে Cr উৎপন্ন করা যায় :

$CrO_3\,(aq) + 6H^+ + 6e^- \longrightarrow Cr(s) + 3H_2O$

এক্ষেত্রে 12.5 A তড়িৎ প্রবাহ কত সেকেন্ড যাবৎ চালনা করলে 15 g Cr উৎপন্ন হবে? [Cr = 52]

[উ: 13361.5 s]

**সমস্যা- ৪.২১(ক) :** 0.5 L আয়তনের 2 M $Ni(NO_3)_2$ দ্রবণের মধ্য দিয়ে 3.7 A শক্তির বিদ্যুৎ 6.0 ঘণ্টা যাবৎ চালনা করা হলে তড়িৎ বিশ্লেষণের পর ঐ দ্রবণের ঘনমাত্রা কত হবে? [Ni = 58.7] [উ: 1.172 M]

**সমস্যা- ৪.২১(খ) :** একটি অ্যালুমিনিয়াম শিল্পে দৈনিক 20 টন Al ধাতু উৎপাদন করে। যদি দৈনিক সময় 30000 সেকেন্ড কার্যকাল হয়, তবে এতে দৈনিক কত ফ্যারাডে বিদ্যুৎ ও কত শক্তির বিদ্যুৎ প্রয়োজন হবে?

[1 টন = 1000 kg এবং Al = 26.98] [উ: $2.22387 \times 10^6$ F; $7.15 \times 10^6$ A]

**সমস্যা-৪.২২(ক) :** নিকেল আয়নের দ্রবণে 160 মিনিট যাবৎ 0.1 A শক্তির বিদ্যুৎ চালনা করলে ক্যাথোডে 0.295 g নিকেল জমা হয়। ঐ নিকেল আয়নের চার্জ কত? [Ni = 58.7] [উ: $Ni^{2+}$]

**সমস্যা–৪.২২(খ) :** $AgNO_3$ ও $Cu(NO_3)_2$ এর দুটি পৃথক দ্রবণকে সিরিজে সংযুক্ত করে তাদের মধ্য দিয়ে কিছুক্ষণ বিদ্যুৎ প্রবাহিত করা হয়। এ সময় দ্বিতীয় দ্রবণ থেকে 0.705 g কপার ক্যাথোডে সঞ্চিত হলে প্রথম দ্রবণ থেকে কী পরিমাণ সিলভার সঞ্চিত হবে? [Ag = 108, Cu = 63.5] [উ: 2.398 g]

**সমস্যা–৪.২৩ :** $M'SO_4$ দ্রবণ ও $M''SO_4$ দ্রবণে 50 কুলম্ব বিদ্যুৎ চালনা করলে ভিন্ন ভিন্ন তড়িৎদ্বারে ভিন্ন ভিন্ন পরিমাণ পদার্থ সঞ্চিত হওয়ার কারণ ব্যাখ্যা করো। [ব. বো. ২০১৬]

[M' = 108, M'' = 52] [উ: তুল্যভরের ভিন্নতার কারণে]

**সমস্যা–৪.২৪(ক) :** কোনো $CuSO_4$ দ্রবণে প্লাটিনাম তড়িৎদ্বারের সাহায্যে 1 ঘণ্টা যাবৎ 1.25 A বিদ্যুৎ চালনা করলে ক্যাথোডে কতগুলো Cu পরমাণু জমা পড়বে? [উ: $14.04 \times 10^{21}$ টি]

**সমস্যা–৪.২৪(খ) :** একটি ধাতব তারে 1A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে। এক সেকেন্ডে এ তারের কোনো একটি বিন্দুর মধ্য দিয়ে কত সংখ্যক ইলেকট্রন প্রবাহিত হবে? [উ: $6.2404 \times 10^{18}$ টি]

**সমস্যা–৪.২৪(গ) :** Al লবণের দ্রবণে 2 কুলম্ব বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে ক্যাথোডে কত সংখ্যক Al পরমাণু জমা পড়বে? [উ: $4.16 \times 10^{18}$]

**সমস্যা–৪.২৫(ক) :** 30 মিনিট যাবৎ 1.5 A বিদ্যুৎ কোনো লবণের জলীয় দ্রবণে চালনা করলে ক্যাথোডে 0.8898 g ধাতু সঞ্চিত হয়। ধাতুটির যোজ্যতা 2 হলে এর পারমাণবিক ভর কত হবে? [উ: 63.592]

**সমস্যা–৪.২৫(খ) :** একটি ধাতুর পারমাণবিক ভর 112। ধাতুটির লবণের জলীয় দ্রবণে 1.5 A বিদ্যুৎ 15 মিনিট চালনা করলে ক্যাথোডে 0.788 g ধাতু জমা হয়। ঐ লবণটিতে ধাতুটির যোজ্যতা কত? [উ: 2]

## ৪.৪.৪ দ্রবণে আয়নিক যৌগের তড়িৎ বিশ্লেষণ, ইলেকট্রোড বিক্রিয়া

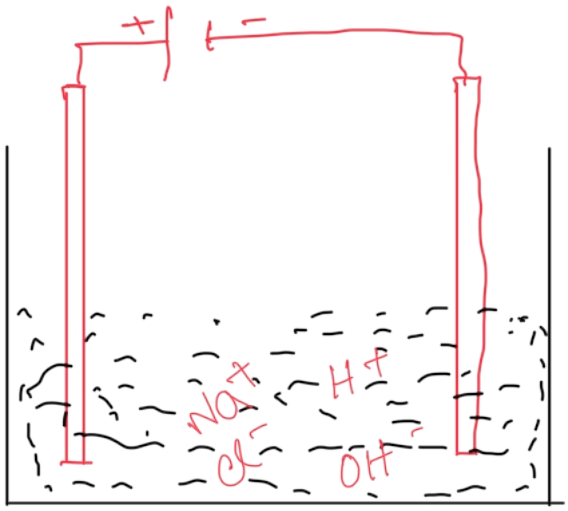
### Electrolysis of Aqueous Electrolytes and Electrode Reaction

যখন কোনো গলিত তড়িৎ বিশ্লেষ্য কোষে একটি মাত্র ক্যাটায়ন ও একটি মাত্র অ্যানায়ন থাকে যেমন, গলিত NaCl, তখন ইলেকট্রোড বিক্রিয়া লেখা সহজ। তখন তড়িৎ বিশ্লেষণকালে ক্যাটায়নটি ক্যাথোড থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে ধাতুতে পরিণত হয় এবং অ্যানায়নটি অ্যানোডে ইলেকট্রন ত্যাগ করে চার্জ নিরপেক্ষ পরমাণুতে রূপান্তরিত হয়।

কিন্তু আয়নিক যৌগের জলীয় দ্রবণে একাধিক ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন থাকে। যেমন, $CuSO_4$ এর জলীয় দ্রবণে নিম্নোক্ত সমীকরণ মতে দুটি ক্যাটায়ন বা ধনাত্মক আয়ন যেমন $H^+$, $Cu^{2+}$ এবং দুটি অ্যানায়ন বা ঋণাত্মক আয়ন যেমন $OH^-$, $SO_4^{2-}$ থাকে।

$H_2O\,(l) \rightleftharpoons H^+\,(aq) + OH^-\,(aq)$

$CuSO_4\,(aq) \longrightarrow Cu^{2+}\,(aq) + SO_4^{2-}\,(aq)$


+
−
Na+
Cl−
H+
OH−

সুতরাং তড়িৎ–বিশ্লেষ্য কোষে বিদ্যুৎ চালনা করলে ক্যাথোডের দিকে $H^+$ আয়ন ও $Cu^{2+}$ আয়ন এবং অ্যানোডের দিকে $OH^-$ আয়ন ও $SO_4^{2-}$ আয়ন ধাবিত হবে। এখন ক্যাথোডে পৌঁছে উভয় ধনাত্মক আয়নের মধ্যে কোনটি অগ্রাধিকার ভিত্তিতে বিজারিত হবে এবং অ্যানোডে পৌঁছে উভয় ঋণাত্মক আয়নের মধ্যে কোনটি অগ্রাধিকার ভিত্তিতে জারিত হবে তা নির্ভর করে নিম্নোক্ত তিন শর্তের উপর। যেমন,

(১) তড়িৎ রাসায়নিক সারিতে সংশ্লিষ্ট আয়নের অবস্থান;

(২) তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রবণে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের ঘনমাত্রার প্রভাব;

(৩) তড়িৎ কোষে ব্যবহৃত তড়িৎদ্বারের প্রকৃতি ও তড়িৎদ্বারের প্রভাব।

**১। তড়িৎ রাসায়নিক সারি (Electrochemical series) :** তড়িৎ বিশ্লেষণের সময় বিভিন্ন আয়নের চার্জমুক্ত হওয়ার প্রবণতার উপর ভিত্তি করে আয়নসমূহকে একটি সারিতে সাজানো হয়েছে, তাকে **তড়িৎ রাসায়নিক সারি** বলা হয়। এ সারিটি বিজারণ বিভবের উচ্চক্রম অনুসারে সজ্জিত। **সহজে বিজারণযোগ্য ক্যাটায়নটি এ সারিতে সবচেয়ে নিচে স্থান পেয়েছে।** [এক্ষেত্রে নিচের ২নং ও ৩নং শর্ত অপরিবর্তিত থাকতে হবে।] উল্লেখ্য ধনাত্মক আয়ন বা ক্যাটায়নের সারিতে সবচেয়ে অধিক সক্রিয় ধাতুটি সারির প্রথমে রয়েছে এবং নিচের দিকে ক্রমান্বয়ে কম সক্রিয় মৌলসমূহ স্থান পেয়েছে। অর্থাৎ **দ্রবণ থেকে কোনো আয়ন চার্জমুক্ত হওয়ার প্রবণতা হলো তার ধাতুর সক্রিয়তার বিপরীত।**

**সারণি-৪.২ : তড়িৎ রাসায়নিক সিরিজের একাংশ**

| ক্যাটায়ন | সক্রিয়তা | ক্যাথোডে অর্ধবিক্রিয়া | অ্যানায়ন | সক্রিয়তা | অ্যানোডে অর্ধবিক্রিয়া |
|---|---|---|---|---|---|
| $K^+$ | $M^{n+} + ne^- \rightarrow M$ ক্যাথোডে চার্জমুক্ত হওয়ার প্রবণতা নিচের দিকের আয়নের ক্রমান্বয়ে বাড়ছে। | ধাতুর রাসায়নিক সক্রিয়তা ক্রমান্বয়ে কমছে। $M \rightarrow M^{n+} + ne^-$ | $NO_3^-$ | চার্জমুক্ত হওয়ার প্রবণতা নিচের দিকের আয়নের ক্রমান্বয়ে বাড়ছে। | $NO_3^- \rightarrow NO_2 + \frac{1}{2}O_2 + e$ |
| $Ca^{2+}$ | | | $SO_4^{2-}$ | | $SO_4^{2-} \rightarrow SO_2 + O_2 + 2e$ |
| $Na^+$ | | | $Cl^-$ | | $Cl^- \rightarrow \frac{1}{2}Cl_2 + e$ |
| $Mg^{2+}$ | | | $Br^-$ | | $Br^- \rightarrow \frac{1}{2}Br_2 + e$ |
| $Al^{3+}$ | | | $I^-$ | | $I^- \rightarrow \frac{1}{2}I_2 + e$ |
| $Zn^{2+}$ | | | $OH^-$ | | $2OH^- \rightarrow H_2O + \frac{1}{2}O_2 + 2e^-$ |
| $Fe^{2+}$ | | | | | |
| $Sn^{2+}$ | | | | | |
| $Pb^{2+}$ | | | | | |
| $H^+$ (বা, $H_3O^+$) | | | | | |
| $Cu^{2+}$ | | | | | |
| $Ag^+$ | | | | | |
| $Au^{3+}$ | | | | | |

**ব্যাখ্যা :** কোনো তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রবণে $Na^+$ ও $K^+$ আয়ন উপস্থিত থাকলে তড়িৎ বিশ্লেষণের সময় প্রথমে $Na^+$ ক্যাথোড থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে চার্জমুক্ত হবে। দ্রবণের সমস্ত $Na^+$ চার্জমুক্ত হওয়ার পর $K^+$ আয়নের চার্জমুক্ত হওয়ার সুযোগ হবে। কারণ তড়িৎ রাসায়নিক সারিতে $Na^+$ এর স্থান $K^+$ এর নিচে।

$$Na^+ + e^- \longrightarrow Na; \quad K^+ + e^- \rightarrow K$$

অনুরূপভাবে দ্রবণে $Cl^-$ আয়ন ও $I^-$ আয়ন থাকলে তড়িৎ বিশ্লেষণের সময় প্রথমে $I^-$ আয়ন অ্যানোডে ইলেকট্রন ত্যাগ করে চার্জমুক্ত হবে। এরূপে সব $I^-$ আয়ন চার্জমুক্ত হওয়ার পর $Cl^-$ আয়নের চার্জমুক্ত হওয়ার সুযোগ হবে।

$$2I^- \longrightarrow I_2 + 2e^-; \quad 2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$$

**২। সমধর্মী আয়নের ঘনমাত্রার প্রভাব :** আবার তড়িৎ রাসায়নিক সারিতে কোনো আয়নের অবস্থানের অগ্রাধিকারের চেয়ে ঐ আয়নের ঘনমাত্রার প্রভাব বেশি কার্যকরী হয়। যেমন, 0.1M NaCl এর জলীয় দ্রবণে ঋণাত্মক আয়ন $OH^-$ এর ঘনমাত্রা থাকে $10^{-7}$ মোল $L^{-1}$ এবং $Cl^-$এর ঘনমাত্রা থাকে 0.1 মোল $L^{-1}$ অর্থাৎ $Cl^-$ এর ঘনমাত্রা $OH^-$ এর ঘনমাত্রার

চেয়ে $10^6$ গুণ বেশি। তড়িৎ রাসায়নিক সারিতে $OH^-$ আয়নের অবস্থান $Cl^-$ আয়নের নিচে হওয়ায় $OH^-$ আয়ন আগে চার্জমুক্ত হওয়া উচিত; কিন্তু ঘনমাত্রা বেশি থাকায় $Cl^-$ আয়ন আগে চার্জমুক্ত হয়ে থাকে। একই নিয়মে $PbCl_2$ এর জলীয় দ্রবণে $Pb^{2+}$ আয়নের ঘনমাত্রা $H_3O^+$ আয়নের ঘনমাত্রার চেয়ে অনেক বেশি থাকায় তড়িৎ বিশ্লেষণের সময় $H_3O^+$ এর পরিবর্তে $Pb^{2+}$ আয়ন ক্যাথোডে চার্জমুক্ত হয়।

**৩। তড়িৎদ্বারের প্রকৃতি :** তড়িৎকোষে ব্যবহৃত তড়িৎদ্বারের প্রকৃতি অনেক সময় তড়িৎ রাসায়নিক সারির অগ্রাধিকার নিয়মের ব্যতিক্রম ঘটায়। যেমন, NaCl এর জলীয় দ্রবণে (দুটি ধনাত্মক আয়ন $H^+$ ও $Na^+$ থাকে) প্লাটিনাম তড়িৎদ্বার ব্যবহার করে তড়িৎ বিশ্লেষণ ঘটালে ক্যাথোডে তড়িৎ রাসায়নিক সারির অগ্রাধিকার মতে $H^+$ আয়ন, চার্জমুক্ত হয়ে $H_2$ গ্যাস উৎপন্ন করে। কিন্তু ক্যাথোডরূপে পারদ ব্যবহৃত হলে তখন $H^+$ এর পরিবর্তে $Na^+$ আয়ন আগে চার্জমুক্ত হয়। কারণ এক্ষেত্রে $Na^+$ আয়ন পারদের সাথে মিশে গিয়ে পারদ সংকর Hg.Na তৈরি করে; ফলে $Na^+$ আয়নের বিজারিত হওয়ার প্রবণতা বেড়ে যায়।

**শিক্ষার্থীর কাজ-৪.৫: তড়িৎ রাসায়নিক সিরিজভিত্তিক সমস্যা :**

**প্রশ্ন-৪.৭ : নিচের প্রশ্নগুলো অনুধাবন করে উত্তর দাও।**

(ক) কোনো দ্রবণে $Fe^{2+}$ ও $Al^{3+}$ আয়ন আছে। এ দ্রবণে বিদ্যুৎ চালনা করলে কোন আয়নটি প্রথমে ক্যাথোডে ইলেকট্রন গ্রহণ করে চার্জ মুক্ত হবে? ব্যাখ্যা করো।

(খ) কোনো দ্রবণে $Zn^{2+}$ ও $Cu^{2+}$ আয়ন আছে। ঐ দ্রবণে বিদ্যুৎ চালনা করলে কোন আয়নটি আগে চার্জমুক্ত হবে —ব্যাখ্যা করো।

(গ) কোনো জলীয় দ্রবণে $Cl^-$ ও $I^-$ আয়ন আছে। বিদ্যুৎ চালনা করলে কোন আয়নটি অ্যানোডে আগে চার্জমুক্ত হবে?

(ঘ) 0.1 M NaCl এর জলীয় দ্রবণে $Cl^-$ ও $OH^-$ আয়ন দুটিই থাকে। বিদ্যুৎ বিশ্লেষণকালে কোন আয়নটি আগে চার্জমুক্ত হবে তা ব্যাখ্যা করো।

(ঙ) $PbCl_2$ এর লঘু দ্রবণে $Pb^{2+}$ আয়ন ও $H^+$ আয়ন উভয়ই থাকে। বিদ্যুৎ বিশ্লেষণের ফলে কোন আয়নটি আগে চার্জমুক্ত হবে তা ব্যাখ্যা করো।

(চ) গাঢ় NaCl এর দ্রবণ বা ব্রাইনের তড়িৎ বিশ্লেষণের বিক্রিয়াগুলো লেখ। এক্ষেত্রে ক্যাথোডটি মারকারি (Hg) ও অ্যানোডটি লোহার তৈরি।

## ৪.৪.৫ শিল্পক্ষেত্রে তড়িৎ বিশ্লেষণের ব্যবহার

### Uses of Electrolysis in Industry

শিল্পক্ষেত্রে তড়িৎ বিশ্লেষণের ব্যাপক ব্যবহার আছে; বিশেষ করে তড়িৎ বিশ্লেষণের মাধ্যমে বিভিন্ন ধাতুর নিষ্কাশন, ধাতুর বিশুদ্ধকরণ, বিভিন্ন যৌগ উৎপাদন এবং ইলেকট্রোপ্লেটিং ইত্যাদি উল্লেখযোগ্য। নিম্নে শিল্পক্ষেত্রে তড়িৎ বিশ্লেষণের কিছু ব্যবহার উল্লেখ করা হলো :

১। ডাউন পদ্ধতিতে গলিত NaCl এর তড়িৎ বিশ্লেষণে সোডিয়াম ধাতু নিষ্কাশন।

২। মারকারি ক্যাথোড সেলে NaCl এর জলীয় দ্রবণের তড়িৎ বিশ্লেষণে কস্টিক সোডা NaOH, $H_2$, ক্লোরিন উৎপাদন।

৩। NaCl এর জলীয় দ্রবণের তড়িৎ বিশ্লেষণে সোডিয়াম ক্লোরেট (I), NaClO উৎপাদন।

৪। গলিত $CaCl_2$ ও গলিত $MgCl_2$ এর তড়িৎ বিশ্লেষণে যথাক্রমে Ca ধাতু ও Mg ধাতু নিষ্কাশন।

৫। বিশুদ্ধ বক্সাইট বা অ্যালুমিনা ($Al_2O_3$) এর তড়িৎ বিশ্লেষণে অ্যালুমিনিয়াম ধাতু নিষ্কাশন।

৬। তড়িৎ-বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় ইলেকট্রোপ্লেটিং বা তড়িৎ প্রলেপন পদ্ধতিতে বিভিন্ন ধাতুর উপর নিকেল ও ক্রোমিয়ামের প্রলেপ দেওয়া হয়।

## ৪.৫ ধাতুর সক্রিয়তা সিরিজ
### Reactivity Series of Metals

আমরা জানি, ধাতুসমূহ বিক্রিয়াকালে ইলেকট্রন ত্যাগ করে ধনাত্মক আয়নে জারিত হয়। আবার ধনাত্মক আয়ন অবস্থাভেদে ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয়ে ধাতুর পরমাণুতে পরিণত হতে পারে। এ ধাতব আয়নের বিজারিত হওয়ার প্রবণতা ধাতুর সক্রিয়তার ওপর নির্ভর করে।

*** একক প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া :** জারণ-বিজারণ বিক্রিয়া বা রিডক্স বিক্রিয়াসমূহ হলো **একক-প্রতিস্থাপন** (Single-displacement) বিক্রিয়া। ধাতুর সক্রিয়তা একক-প্রতিস্থাপন বিক্রিয়া দ্বারা পানি ও এসিড থেকে H-প্রতিস্থাপন সহযোগে প্রমাণিত হয়। এছাড়া অধিক সক্রিয় ধাতু লবণের দ্রবণে আয়নকে প্রতিস্থাপন করে।

**ধাতু দ্বারা পানি অথবা এসিডের H এর একক প্রতিস্থাপন :** অত্যধিক সক্রিয় গ্রুপ IA (1) ধাতুসমূহ এবং গ্রুপ 2A (2) এর Ca, Sr ও Ba ধাতু প্রবল বিক্রিয়াসহকারে পানি থেকে $H_2$ প্রতিস্থাপন করতে পারে। যেমন,

$$\overset{0}{2Li}\,(s) + \overset{+1\ -2\ +1}{2H-O-H}\,(l) \xrightarrow{\leq 25^\circ C} \overset{+1\ -2\ +1}{2Li\,O-H}\,(aq) + \overset{0}{H_2}\,(g)$$

কম সক্রিয় ধাতু Al ও Zn এর বেলায় বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধির জন্য তাপ শক্তি দরকার হয়; তাই এরা স্টিমের সাথে বিক্রিয়ায় $H_2$ প্রতিস্থাপন করে।

$$\overset{0}{2Al}\,(s) + \overset{+1\ -2\ +1}{6H-O-H}\,(l) \xrightarrow{\leq 100^\circ C} \overset{+3\ \ -2\ +1}{2Al\,(O-H)_3}\,(s) + \overset{0}{3H_2}\,(g)$$

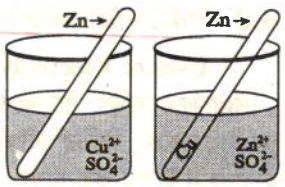
এদের চেয়ে কম সক্রিয় ধাতু যেমন নিকেল ও টিন (Sn) স্টিমের সাথেও বিক্রিয়া করে না; লঘু এসিড দ্রবণের সাথে এরা বিক্রিয়া করে। কারণ পানির চেয়ে এসিডের দ্রবণে $H^+$ আয়নের ঘনমাত্রা বেশি থাকে।

$$\overset{0}{Ni}\,(s) + \overset{+1}{2H^+}\,(aq) \longrightarrow \overset{+2}{Ni^{2+}}\,(aq) + \overset{0}{H_2}\,(g)$$

সবচেয়ে কম সক্রিয় ধাতু সিলভার ও গোল্ড কোনো অবস্থায় পানি ও এসিড থেকে $H_2$ প্রতিস্থাপন করতে পারে না। লক্ষ্যণীয় এসব বিক্রিয়ায় ধাতু হলো বিজারক (ধাতুর O.N. বিক্রিয়া শেষে বেড়েছে) এবং পানি ও এসিডের $H^+$ আয়ন হলো জারক (বিক্রিয়া শেষে এদের O.N. কমেছে)।

*** অধিক সক্রিয় ধাতু দ্বারা দ্রবণে অন্য ধাতব আয়নকে প্রতিস্থাপন :**

এক্ষেত্রে সরাসরি পরীক্ষার মাধ্যমে ধাতুর সক্রিয়তা তুলনা করা যায়। যেমন হালকা নীল বর্ণের কপার (II) সালফেটের দ্রবণে জিঙ্ক ধাতুর দণ্ড রেখে দাও। কিছু সময় পর দেখা যাবে নীল দ্রবণটির বর্ণ আরো হালকা হয়ে যাচ্ছে এবং জিঙ্ক দণ্ডের ওপর লালচে কপার গুঁড়া জমা হচ্ছে।

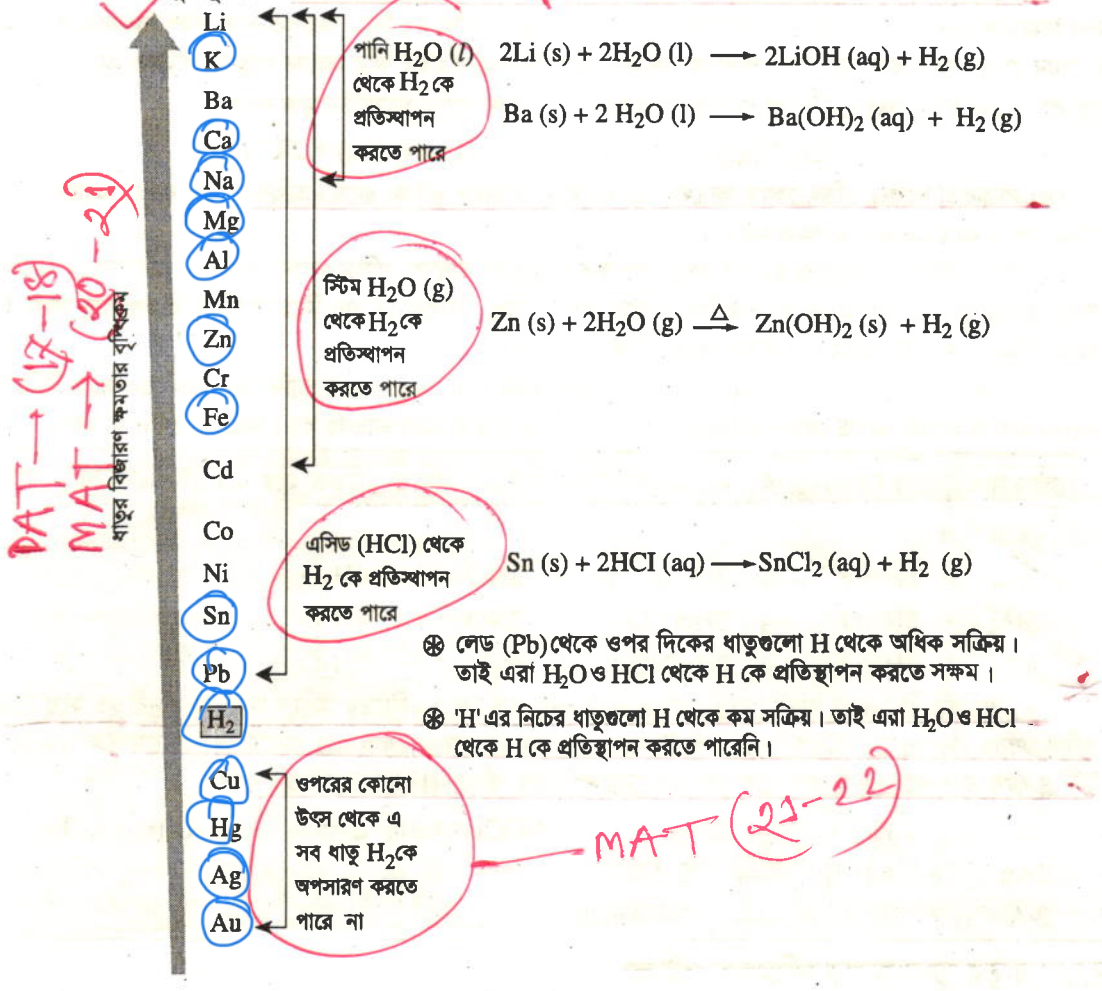


চিত্র-৪.৮ : ধাতুর সক্রিয়তা পরীক্ষা

$$Cu^{2+}\,(aq) + SO_4^{2-}\,(aq) + \overset{0}{Zn}\,(s) \rightarrow \overset{0}{Cu}\,(s) + Zn^{2+}\,(aq) + SO_4^{2-}\,(aq)$$

**সংজ্ঞা : একক প্রতিস্থাপন বিক্রিয়ার মাধ্যমে ধাতুসমূহের সক্রিয়তার তুলনামূলক সারি রসায়নবিদেরা তৈরি করেছেন; ধাতুসমূহের এ সারিকে ধাতুর সক্রিয়তা সিরিজ বলা হয়।** এ সারিতে সবচেয়ে অধিক সক্রিয় ধাতুটিকে ওপরে এবং সবচেয়ে কম সক্রিয় ধাতুকে সারির নিচে স্থান দেয়া হয়েছে। যেমন,

**সারণি-৪.৩ : ধাতুসমূহের সক্রিয়তা সিরিজ**




⊛ লেড (Pb) থেকে ওপর দিকের ধাতুগুলো H থেকে অধিক সক্রিয়। তাই এরা $H_2O$ ও HCl থেকে H কে প্রতিস্থাপন করতে সক্ষম।

⊛ 'H' এর নিচের ধাতুগুলো H থেকে কম সক্রিয়। তাই এরা $H_2O$ ও HCl থেকে H কে প্রতিস্থাপন করতে পারেনি।

**ধাতুর সক্রিয়তা সিরিজের গুরুত্ব :**

(১) ধাতুর সক্রিয়তা সিরিজে বিভিন্ন ধাতুর রাসায়নিক সক্রিয়তার একটি ক্রম দেখানো হয়েছে। এ সিরিজে কোনো ধাতুর অবস্থান যত ওপরে তার সক্রিয়তা নিচের ধাতুগুলোর চেয়ে তত বেশি। যেমন, প্রদত্ত সক্রিয়তা সিরিজে Li হলো সবচেয়ে বেশি সক্রিয় ধাতু।

(২) এ সক্রিয়তা সিরিজ থেকে জানা যায়, ওপরে স্থান প্রাপ্ত অধিক সক্রিয় ধাতুটি সিরিজে এর নিচে অবস্থিত কম সক্রিয় ধাতুর লবণের দ্রবণে ঐ কম সক্রিয় ধাতুর আয়নকে একক প্রতিস্থাপিত করতে পারে। অর্থাৎ ঐ আয়নকে বেশি সক্রিয় ধাতু বিজারিত করতে পারে। যেমন, Mg ধাতু দ্বারা $ZnSO_4$ লবণের $Zn^{2+}$ আয়নকে, Zn ধাতু দ্বারা $FeSO_4$ এর $Fe^{2+}$ আয়নকে এবং Fe দ্বারা $CuSO_4$ এর $Cu^{2+}$ আয়নকে বিজারিত করতে পারে।

$$ZnSO_4\,(aq) \rightarrow Zn^{2+}\,(aq) + SO_4^{2-}\,(aq)$$
$$Mg\,(s) + Zn^{2+}\,(aq) \rightarrow Mg^{2+}\,(aq) + Zn\,(s)$$
$$\therefore Mg\,(s) + ZnSO_4\,(aq) \rightarrow MgSO_4\,(aq) + Zn\,(s)$$

$$FeSO_4\,(aq) \rightarrow Fe^{2+}\,(aq) + SO_4^{2-}\,(aq)$$
$$Zn\,(s) + Fe^{2+}\,(aq) \rightarrow Zn^{2+}\,(aq) + Fe\,(s)$$
$$\therefore Zn\,(s) + FeSO_4\,(aq) \rightarrow ZnSO_4\,(aq) + Fe\,(s)$$

কে → K

কে → Ca

না → Na

ম্যাগাইজার → Mg

এলো → Al

যেনো → Zn

ফিরে → Fe

সোনা → Sn

পাবে → Pb

হায় → $H_2$

কোথাকার

কোন → Cu

হাজী → Hg

আজ → Ag

পিতাকে —

আমায় → → Au

(৩) ধাতুর সক্রিয়তা সিরিজ থেকে সবল বিজারক ও দুর্বল বিজারক চিহ্নিত করা যায়। সিরিজের ওপরে অবস্থিত ধাতু **সবল বিজারক** এবং এদের ক্যাটায়ন সুস্থিত এবং দুর্বল জারক হয়। সিরিজের নিচে অবস্থিত ধাতু **দুর্বল বিজারক** এবং এদের ক্যাটায়ন অপেক্ষাকৃত কম স্থায়ী এবং **সবল জারক** হয়। এরা ইলেকট্রন গ্রহণ করে সহজে ধাতুতে পরিণত হয়। যেমন, Cu ধাতু কম সক্রিয় ধাতু, কিন্তু $Cu^{2+}$ আয়ন সবল জারকরূপে KI দ্রবণ থেকে আয়োডিন মুক্ত করে।

$$Cu^{2+}(aq) + 2KI(aq) \longrightarrow Cu(s) + I_2(aq) + 2K^+(aq)$$

(৪) সক্রিয়তা সিরিজ তড়িৎ কোষে ক্যাথোড ও অ্যানোড নির্ধারণে ভূমিকা রাখে। অধিক সক্রিয় ধাতুটি অ্যানোড ও কম সক্রিয় ধাতুটি ক্যাথোডরূপে ব্যবহৃত হয়।

(৫) ধাতুর সক্রিয়তা সিরিজে H এর ওপরে অবস্থিত ধাতুগুলো সাধারণ এসিড যেমন লঘু HCl এসিডের H পরমাণুকে একক প্রতিস্থাপিত বা $H^+$ আয়নকে বিজারিত করতে পারে। কিন্তু সিরিজে H এর নিচে অবস্থিত ধাতুগুলোর সাথে HCl কোনো বিক্রিয়া করে না অর্থাৎ $H^+$ আয়নকে বিজারিত করে না।

(৬) সক্রিয়তা সিরিজে H এর নিচে অবস্থিত ধাতুগুলো যেমন, Cu, Ag, Au ইত্যাদি HCl এসিডের সাথে বিক্রিয়া না করলেও এরা জারণধর্মী এসিড যেমন, $HNO_3$ এর সাথে রিডক্স বিক্রিয়া দ্বারা আক্রান্ত হয়। নিচে তা দেখানো হলো :

**জেনে নাও :** (১) Cu, Hg, Ag ধাতু জারণধর্মী লঘু নাইট্রিক এসিডে দ্রবীভূত হয়ে নাইট্রেট লবণ, NO গ্যাস ও পানি উৎপন্ন করে।

$$3Cu + 8HNO_3 \longrightarrow 3Cu(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$$
$$3Hg + 8HNO_3 \longrightarrow 3Hg(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$$
$$3Ag + 4HNO_3 \longrightarrow 3AgNO_3 + NO + 2H_2O$$

(২) রাজঅম্ল বা 1mol গাঢ় $HNO_3$ এসিড ও 3 mol গাঢ় HCl এসিডের মিশ্রণে স্বর্ণ (Au) দ্রবীভূত হয়ে ক্লোরো অরিক এসিড ($HAuCl_4$) উৎপন্ন করে। স্বর্ণের সাথে জায়মান Cl-পরমাণু যুক্ত হয়ে প্রথমে অরিক ক্লোরাইড ($AuCl_3$) উৎপন্ন করে এবং পরে HCl এর সাথে যুক্ত হয়ে ক্লোরো অরিক এসিড ($HAuCl_4$) তৈরি করে।

$$3HCl + HNO_3 \longrightarrow 2H_2O + NOCl \text{ (নাইট্রোসিল ক্লোরাইড)} + 2[Cl] \ldots\ldots \times 3$$
$$2Au + 6[Cl] \longrightarrow 2AuCl_3$$
$$2AuCl_3 + 2HCl \longrightarrow 2HAuCl_4$$

## ৪.৬। ধাতুর তুলনামূলক সক্রিয়তা পরীক্ষা

### Comparative Reactivity Tests of Metals

অনুচ্ছেদ-৪.৫ এর আলোচনা থেকে আমরা জেনেছি, ধাতুর তুলনামূলক সক্রিয়তা জানার জন্য ধাতুসমূহের সাথে বিভিন্ন তাপীয় অবস্থায় পানির বিক্রিয়া এবং HCl এসিডের সাথে ধাতুসমূহের বিক্রিয়া ব্যবহার করা যায়। এক্ষেত্রে পানি ও HCl এসিডের $H^+$ আয়ন ধাতু দ্বারা বিজারিত হয়। এছাড়া অধিক সক্রিয় ধাতু দ্বারা দ্রবণে কম সক্রিয় ধাতুর আয়ন বিজারিত হওয়ার প্রবণতা থেকে সক্রিয়তার তুলনা করা যায়।

**ব্যবহারিক (Practical)**

সময় : ১ পিরিয়ড

**শিক্ষার্থীর কাজ :**
**পরীক্ষা নং : ১৫**
**তারিখ : .....**
**পরীক্ষার নাম : ধাতুর তুলনামূলক সক্রিয়তা পরীক্ষা**

**মূলনীতি :** কম সক্রিয় ধাতুর লবণের দ্রবণে অধিক সক্রিয় ধাতু ডুবালে কম সক্রিয় ধাতুর ধনাত্মক আয়ন অধিক সক্রিয় ধাতু দ্বারা বিজারিত হয়ে ধাতুর পরমাণুতে পরিণত হয়। অধিক সক্রিয় ধাতুর পরমাণু জারিত হয়ে ধনাত্মক আয়নরূপে দ্রবণে দ্রবীভূত থাকে।

**প্রয়োজনীয় রাসায়নিক পদার্থ :** (১) Zn ধাতুর পাত, (২) $ZnSO_4$ দ্রবণ, (৩) Cu ধাতুর পাত, (৪) $CuSO_4$ দ্রবণ।

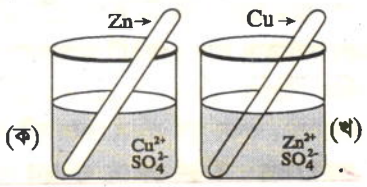
**প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি :** (১) বিকার-২টি।

**কাজের ধারা :** (১) নিচের চিত্র-৪.৯(ক) মতে ১টি বিকারে $CuSO_4$ দ্রবণ নিয়ে এতে Zn ধাতুর পাত ডুবাও এবং কিছুক্ষণ রেখে দাও।

(২) দ্বিতীয় বিকারটিতে $ZnSO_4$ দ্রবণ নিয়ে Cu ধাতুর পাত ডুবাও এবং কিছুক্ষণ রেখে দাও (চিত্র-৪.৯(খ)।

(৩) দশ মিনিট পর প্রথম বিকারে (ক) দেখতে পাবে $CuSO_4$ দ্রবণের নীল বর্ণ হালকা নীল হয়েছে এবং জিঙ্ক পাতটি কালো হয়েছে। এর কারণ জিঙ্ক পাতের ওপর সূক্ষ্ম কপার কণা জমা হয়েছে। বিক্রিয়াটি হলো : Zn পরমাণু দ্বারা $Cu^{2+}$ আয়নের বিজারণ।

$$Zn\,(s) + Cu^{2+}\,(aq) \longrightarrow Zn^{2+}\,(aq) + Cu\,(s)$$






**চিত্র-৪.৯ : ধাতুর তুলনামূলক সক্রিয়তা পরীক্ষা**

(৪) অপরদিকে দ্বিতীয় বিকারে (খ) কপার পাতটি অপরিবর্তিত রয়েছে অর্থাৎ Cu পরমাণু $Zn^{2+}$ আয়নকে বিজারিত করতে পারে নি।

**সিদ্ধান্ত :** Zn ধাতু কপার ধাতু অপেক্ষা অধিক সক্রিয় প্রমাণিত।

> **শিক্ষার্থীর কাজ-৪.৬ : ধাতুর সক্রিয়তা পরীক্ষাভিত্তিক :**
>
> **প্রশ্ন–৪.৮ : কপার সালফেটের নীল দ্রবণে জিঙ্ক দণ্ড ডুবলে কিছু সময় পরে দ্রবণের নীল বর্ণ ক্রমশ হালকা হতে থাকে এর কারণ ব্যাখ্যা করো।**
>
> **উত্তর : উপরোক্ত কাজের ধারায় (৩) ও (৪) নং দেখো।**

## ৪.৭ জারণ অর্ধ-বিক্রিয়া ও বিজারণ অর্ধ-বিক্রিয়া

### Oxidation Half reaction and Reduction Half reaction

প্রতিটি জারণ-বিজারণ বা রিডক্স বিক্রিয়া দুটি অংশে বিভক্ত। একটি অংশে বিজারকের ইলেকট্রন ত্যাগ ও অপর অংশে জারকের ইলেকট্রন গ্রহণ হয়ে থাকে। তাই প্রতিটি অংশকে রিডক্স বিক্রিয়ার **অর্ধ-বিক্রিয়া** বলে। যেমন-জারণ অর্ধ-বিক্রিয়া ও বিজারণ অর্ধ-বিক্রিয়া।

**জারণ অর্ধ-বিক্রিয়া :** রিডক্স বিক্রিয়ায় বিজারক যে ইলেকট্রন ত্যাগ করে জারক পদার্থ তা গ্রহণ করে থাকে। বিজারক ইলেকট্রন ত্যাগ করে জারিত হয়। এতে বিজারকের সংশ্লিষ্ট পরমাণুর O.N বৃদ্ধি পায়। একে **জারণ অর্ধবিক্রিয়া** বলে।

**বিজারণ অর্ধ-বিক্রিয়া :** রিডক্স বিক্রিয়ায় জারক কর্তৃক ইলেকট্রন গ্রহণের ফলে এর সংশ্লিষ্ট মৌলের পরমাণুটি বিজারিত হয়। এতে জারকের সংশ্লিষ্ট পরমাণুর O.N হ্রাস পায়, একে **বিজারণ অর্ধ-বিক্রিয়া** বলে। যেমন–

বিকারে নেয়া $CuSO_4$ দ্রবণে জিঙ্ক ধাতুর পাত ডুবালে তখন জিঙ্ক (Zn) ধাতু ও $Cu^{2+}$ (aq) আয়ন এর মধ্যে ইলেকট্রন আদান-প্রদানের মাধ্যমে বিক্রিয়া ঘটে এবং প্রমাণিত হয় Zn ধাতুর সক্রিয়তা Cu ধাতুর সক্রিয়তার চেয়ে বেশি। এটি একটি রিডক্স বিক্রিয়া। অর্ধ-বিক্রিয়ার সাহায্যে বিক্রিয়াটি নিম্নরূপে লেখা যায় :

$$Zn\,(s) \longrightarrow Zn^{2+}\,(aq) + 2e^- \quad ..... \quad \text{[জারণ অর্ধ-বিক্রিয়া]}$$

$$Cu^{2+}\,(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu\,(s) \quad ..... \quad \text{[বিজারণ অর্ধ-বিক্রিয়া]}$$

উভয় বিক্রিয়া থেকে বোঝা যায়, এক্ষেত্রে **ইলেকট্রনের** আদান প্রদান ঘটেছে। এটি একটি **স্বতঃস্ফূর্ত** রিডক্স বিক্রিয়া। এ স্বতঃস্ফূর্ত রিডক্স বিক্রিয়াকে কাজে লাগিয়ে **গ্যালভানিক কোষ** (Galvanic Cell) বা ভোল্টার কোষ (Voltar cell) তৈরি

**রিডক্স বিক্রিয়া ও গ্যালভানিক কোষ :** লক্ষ্য কর, পূর্বের চিত্র-৪.৯-এ জারক ও বিজারকের মধ্যে সংশ্লিষ্ট রিডক্স বিক্রিয়াটি ($Zn/Cu^{2+}$) ঘটেছে একই বিকারে এবং দ্রবণের মাধ্যমে। তাই ঐ ক্ষেত্রে বিদ্যুৎ উৎপন্ন করা সম্ভব নয়। কিন্তু রিডক্স বিক্রিয়ার দুটি অর্ধ-বিক্রিয়াকে পৃথক পাত্রে সংঘটিত করে বাহ্যিক পরিবাহী তার দ্বারা যুক্ত করলে, তখনই পরিবাহীর মাধ্যমে ইলেকট্রনের প্রবাহ বিজারক (Zn) থেকে জারক ($Cu^{2+}$) এর দিকে ঘটবে। **এরূপে ইলেকট্রন প্রবাহই গ্যালভানি: কোষে রাসায়নিক শক্তিকে বিদ্যুৎ শক্তিতে রূপান্তর করা হয়।** তখন উপরোক্ত দুটি অর্ধ-বিক্রিয়া দুটি পৃথক পাত্রে সংঘটিত করা হয় এবং এদেরকে জারণ অর্ধকোষ ও বিজারণ অর্ধকোষ বলা হয়।

**জারণ-অর্ধকোষ ও বিজারণ-অর্ধকোষ :**

যে পাত্রে জারণ অর্ধ-বিক্রিয়া ঘটে, এটিকে **জারণ অর্ধ-কোষ** বলে এবং যে পাত্রে বিজারণ অর্ধ-বিক্রিয়া ঘটে, সেটিকে **বিজারণ অর্ধকোষ** বলে। প্রতিটি অর্ধকোষে **তড়িৎদ্বার** (electrode) রূপে ধাতব দণ্ডকে ঐ ধাতুর লবণের দ্রবণ (1M দ্রবণ) বা **তড়িৎ বিশ্লেষ্য** (electrolyte-এ) ডুবিয়ে রাখা হয়। দুই অর্ধকোষ (half-cell)-কে **লবণ** সেতু (salt-bridge) দ্বারা যুক্ত করা হয়। তখন পূর্ণ তড়িৎ কোষ সৃষ্টি হয়।

**লবণ সেতু : তড়িৎ কোষে ব্যবহৃত লবণ সেতু হলো KCl বা $KNO_3$ বা $NH_4NO_3$ বা $Na_2SO_4$ এর 0.1M ঘনমাত্রার দ্রবণ ভর্তি উল্টানো U-আকৃতির কাচনল। এটির দু'মুখে তুলা ভর্তি থাকে। লবণ সেতুর দু'বাহু বা দু'প্রান্ত দুটি অর্ধকোষে ডুবানো থাকে।** (চিত্র-৪.১০)

**লবণ সেতুর বৈশিষ্ট্য :** (১) লবণ সেতুতে ব্যবহৃত তড়িৎ বিশ্লেষ্যের ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের গতিবেগ সমান বা প্রায় সমান হয়ে থাকে।

(২) তড়িৎ বিশ্লেষ্যটি তড়িৎ কোষের দ্রবণ দুটির সাথে কোনো বিক্রিয়া করবে না।

(৩) তড়িৎ বিশ্লেষ্যের আয়ন দুটি অ্যানোডে ও ক্যাথোডে জারিত বা বিজারিত হবে না।

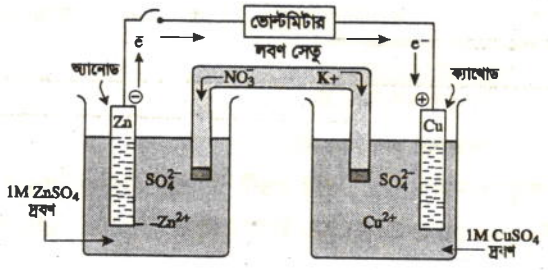
**লবণ সেতুর ভূমিকা :** লবণ সেতুর নিম্নোক্ত ভূমিকা রয়েছে–

(১) দুটি অর্ধকোষের পরোক্ষ সংযোগকারীরূপে লবণ সেতু ভূমিকা রাখে।

(২) লবণ সেতু কোষের বর্তনী পূর্ণ করে এবং (৩) উভয় অর্ধকোষে বৈদ্যুতিক চার্জের নিরপেক্ষতা বজায় রাখে।

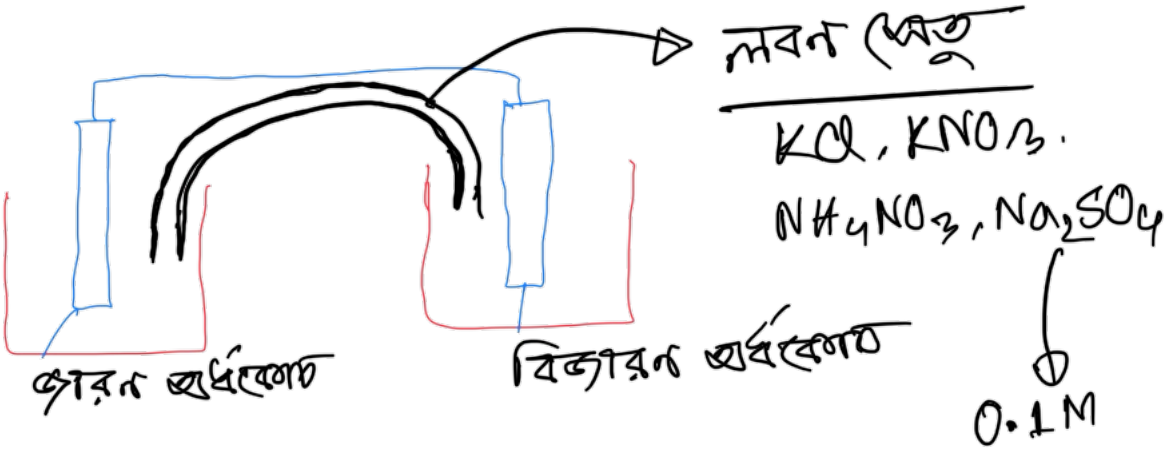
**লবণ সেতু প্রস্তুত পদ্ধতি :** ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের গতিবেগ প্রায় সমান এরূপ কোনো উপযুক্ত তড়িৎ বিশ্লেষ্য যেমন KCl, $KNO_3$, $NH_4NO_3$ বা $Na_2SO_4$ এর 0.1M জলীয় দ্রবণে সামান্য জিলেটিন অথবা সামুদ্রিক শৈবাল থেকে তৈরি আঠালো অ্যাগার-অ্যাগর (agar-agar) মিশিয়ে উত্তপ্ত করা হয়। পরে দ্রবণটিকে U আকৃতির কাচের নলের মধ্যে নিয়ে শীতল করলে দ্রবণটি জেলির মতো জমে যায়। U নলের মুখ দুটিকে তুলো বা গ্লাসউল দ্বারা বন্ধ করে রাখা হয়। এটিই হলো লবণ সেতু।

**কোষ বিভব বা তড়িৎ কোষে বিদ্যুৎ প্রবাহ সৃষ্টি :** জারণ অর্ধকোষ বা অ্যানোডকে বাহ্যিক বর্তনীরূপে কপার তার ও ভোল্টমিটারসহ বিজারণ অর্ধকোষ বা ক্যাথোডের সাথে সুইচের মাধ্যমে যুক্ত করলে উভয় তড়িৎদ্বারের বিভব পার্থক্যের কারণে বিদ্যুৎ প্রবাহ ভোল্টমিটারে 1.1V রেকর্ড হয়। এটিই হলো বিদ্যুৎ প্রবাহ সৃষ্টিকারী গ্যালভানিক কোষ।




চিত্র-৪.১০ : গ্যালভানিক কোষ (ডেনিয়েল কোষ)।

চিত্র-৪.১১ : জিঙ্ক-কপার কোষ।


লবন সেতু
KCl, KNO3.
NH4NO3, Na2SO4
0.1M
জারণ অর্ধকোষ
বিজারণ অর্ধকোষ

গ্যালভানিক তড়িৎ কোষে নিম্নরূপ অর্ধবিক্রিয়া দুটি ঘটে :

অ্যানোডে জারণ অর্ধ-বিক্রিয়া : $Zn(s) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$

ক্যাথোডে বিজারণ অর্ধ-বিক্রিয়া : $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$

কোষ বিক্রিয়া : $Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$ $\quad E^\circ = 1.1V$

**কোষ বিভব :** কোষের অ্যানোডের জারণ বিভব ও ক্যাথোডের বিজারণ বিভবের সমষ্টি হলো **কোষ বিভব** বা **কোষটির তড়িচ্চালক বল বা কোষের** (electro motive force বা, emf)। ভোল্টমিটারে রেকর্ডকৃত প্রমাণ অবস্থায় কোষটির emf = 1.10V. তড়িৎ কোষের emf-কে অর্থাৎ $E_{cell}$-কে নিম্নরূপে লেখা হয়।

$$\therefore E^\circ_{cell} = E^\circ_{cathode(red)} - E^\circ_{anode(red)}$$

$$= E^\circ_{anode(ox)} - E^\circ_{cathode(ox)}$$

$$= E^\circ_{anode(ox)} + E^\circ_{cathode(red)}$$

এক্ষেত্রে, $E^\circ_{anode(red)}$ = অ্যানোডের বিজারণ বিভব

$E^\circ_{cathode(red)}$ = ক্যাথোডের বিজারণ বিভব

$E^\circ_{anode(ox)}$ = অ্যানোডের জারণ বিভব

$E^\circ_{cathode(ox)}$ = ক্যাথোডের জারণ বিভব

যেমন সারণি-৪.৩ এ দেয়া প্রমাণ তড়িৎদ্বারের বিজারণ বিভব মতে, জিঙ্ক-কপার কোষটির emf হবে :

$$E^\circ_{cell} = E^\circ_{cathode} - E^\circ_{anode} = [0.34 - (-0.76)]\ V = (0.34 + 0.76)\ V = 1.10\ V$$

**MCQ-4.13** : নিচের বক্তব্য মনোযোগসহকারে পড়। লবণ সেতুর তিনটি ভূমিকা হলো নিম্নরূপ :
(i) গ্যালভানিক কোষের বর্তনী পূর্ণ করা, (ii) উভয় অর্ধকোষে ধনাত্মক আয়ন সংখ্যা সমান রাখা,
(iii) উভয় অর্ধকোষে বৈদ্যুতিক চার্জের নিরপেক্ষতা বজায় রাখা।
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

## ৪.৭.১ তড়িৎদ্বার ও তড়িৎ কোষ লেখার সাংকেতিক চিহ্ন ও রীতি

### Notations and Conventions of Writing Electrodes and Cells

(১) তড়িৎদ্বার ও তড়িৎ বিশ্লেষ্যের সংস্পর্শ তলের স্থানটিকে একটি খাড়া রেখা বা তির্যক রেখা দ্বারা বা কমা দ্বারা প্রকাশ করে তড়িৎদ্বারের সংকেত লেখা হয়। যেমন :

$Zn(s) \mid Zn^{2+}(aq)$ বা, $Zn(s)/Zn^{2+}(aq)$ বা, $Zn(s), Zn^{2+}(aq)$

(২) অর্ধকোষকে প্রথমে তড়িৎদ্বার (অ্যানোড)রূপে ও পরে তড়িৎ বিশ্লেষ্যরূপে লিখলে এক্ষেত্রে জারণ ক্রিয়া ঘটে বোঝায় এবং এটিকে **জারণ অর্ধকোষ** বলে। কিন্তু প্রথমে তড়িৎ বিশ্লেষ্য ও পরে তড়িৎদ্বার (ক্যাথোড)রূপে লিখলে তখন বিজারণ ক্রিয়া ঘটে বোঝায় এটিকে **বিজারণ অর্ধকোষ** বলে। যেমন,

জারণ অর্ধকোষ : $Zn(s)/Zn^{2+}(aq)$ ; $Zn(s) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + 2e^-$ (জারণ)

বিজারণ অর্ধকোষ : $Cu^{2+}(aq)/Cu(s)$ ; $Cu^{2+}(aq) + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$ (বিজারণ)

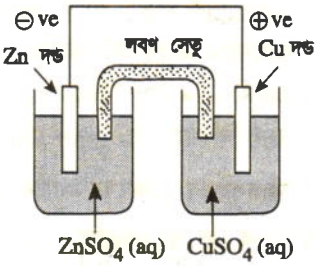
(৩) জারণ-বিজারণ তড়িৎদ্বারে অথবা গ্যাসবিশিষ্ট তড়িৎদ্বারে যেখানে নিষ্ক্রিয় ধাতুকে যেমন, Pt, Au ইত্যাদিকে নিষ্ক্রিয় তড়িৎদ্বাররূপে বৈদ্যুতিক সংযোগের জন্য ব্যবহার করা হয়, সে ক্ষেত্রেও বিধি (১) ও (২) ব্যবহৃত হয়। এছাড়া নিষ্ক্রিয় তড়িৎদ্বারের আগে একটি কমা চিহ্নসহ লেখা হয়। যেমন,

$Pt, H_2(g)/H^+(aq)$; $\quad \frac{1}{2} H_2(g) \longrightarrow H^+(aq) + e^-$ (জারণ)

$Pt, Fe^{2+}(aq)/Fe^{3+}(aq)$, $\quad Fe^{2+}(aq) \longrightarrow Fe^{3+}(aq) + e^-$ (জারণ)

$Fe^{3+}(aq)/Fe^{2+}(aq), Pt$ $\quad Fe^{3+}(aq) + e^- \longrightarrow Fe^{2+}(aq)$ (বিজারণ)

**(৪) কোষ সংকেত :** দুটি অর্ধকোষ বা তড়িৎদ্বার দ্বারা গঠিত একটি পূর্ণাঙ্গ কোষ লেখার সময় যে তড়িৎদ্বারটিতে জারণ ঘটে, তাকে বাম পাশে (অ্যানোড) এবং যে তড়িৎদ্বারটিতে বিজারণ ঘটে, তাকে ডান পাশে (ক্যাথোড) লেখা হয়। উভয় অর্ধকোষের দুটি তড়িৎ বিশ্লেষ্যকে সচ্ছিদ্র দেয়াল দ্বারা সরাসরি সংযোগ করা হলে তখন উভয়ের মধ্যবর্তী স্থানে একটি খাড়া রেখা স্থাপন করা হয়। যেমন ডেনিয়েল কোষের :



চিত্র-৪.১২ : একটি কোষ (লবণ সেতুসহ)

**কোষ সংকেত বা কোষ ডায়াগ্রাম হলো নিম্নরূপ :**

$$Zn\ (s)/\ ZnSO_4\ (aq)\ |\ CuSO_4\ (aq)\ /Cu\ (s)$$

এক্ষেত্রে অর্ধকোষের মধ্যবর্তী রেখাটি দ্বারা অর্ধকোষে তড়িৎ বিশ্লেষ্য দুটি সরাসরি সংস্পর্শে আছে, তা প্রকাশ পায়।

(৫) তবে উভয় অর্ধকোষের সংযোগ সাধন যদি একটি লবণ সেতু (salt bridge) দ্বারা করা হয়, তাহলে অর্ধকোষ দুটির মাঝখানে একটি খাড়া দ্বিরেখা দিতে হয়। তখন কোষ সংকেত বা কোষ ডায়াগ্রামটি নিম্নরূপ হয়। যেমন,

$$Zn\ (s)/ZnSO_4\ (aq)\ \|\ CuSO_4\ (aq)/Cu\ (s)$$

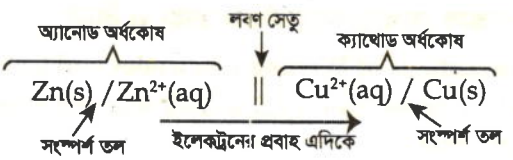
**(৬) পূর্ণকোষ বিক্রিয়া :** দুটি অর্ধকোষের জারণ ও বিজারণ বিক্রিয়াকে যোগ করলে **পূর্ণ কোষ বিক্রিয়া** হয়। যেমন, ডেনিয়েল কোষের জারণ অর্ধকোষ ও বিজারণ অর্ধকোষ বিক্রিয়া দুটি যোগ করলে **পূর্ণ কোষ বিক্রিয়ার** সমীকরণ পাওয়া যায় :

জারণ অর্ধকোষ বিক্রিয়া : $Zn\ (s) \longrightarrow Zn^{2+}\ (aq) + 2e^-$

বিজারণ অর্ধকোষ বিক্রিয়া : $Cu^{2+}\ (aq) + 2e^- \longrightarrow Cu\ (s)$

যোগ করে, পূর্ণ কোষ বিক্রিয়া : $Zn\ (s) + Cu^{2+}\ (aq) \longrightarrow Zn^{2+}\ (aq) + Cu\ (s)$

৭। কোষ সংকেত বা কোষ ডায়াগ্রাম এর বিভিন্ন প্রতীক ও সাংকেতিক চিহ্ন নিম্নোক্ত বিষয় প্রকাশ করে :




**কোষ বিক্রিয়া ও কোষ ডায়াগ্রাম সম্পর্কিত সমস্যা ও সমাধান**

**সমাধানকৃত সমস্যা-৪.১৬ :** $Fe(s)/Fe^{2+}\ (aq)$ ও $Cu\ (s)/Cu^{2+}\ (aq)$ ইলেকট্রোড সমন্বয়ে গঠিত তড়িৎ কোষ ডায়াগ্রাম ও কোষ বিক্রিয়া লেখ।

**সমাধান :** এক্ষেত্রে জারণ অর্ধকোষ বিক্রিয়া হলো : $Fe\ (s) \longrightarrow Fe^{2+}\ (aq) + 2e^-$

বিজারণ অর্ধকোষ বিক্রিয়া হলো : $Cu^{2+}\ (aq) + 2e^- \longrightarrow Cu\ (s)$

∴ মোট কোষ বিক্রিয়া হলো : $Fe\ (s) + Cu^{2+}\ (aq) \longrightarrow Fe^{2+}\ (aq) + Cu\ (s)$

∴ কোষ ডায়াগ্রাম হলো : $Fe\ (s)/Fe^{2+}\ (aq)|\ Cu^{2+}\ (aq)/Cu\ (s)$

**সমাধানকৃত সমস্যা- ৪.১৭ :** $Zn(s)\ /\ ZnSO_4\ (aq)|\ CuSO_4\ (aq)\ /\ Cu\ (s)$ এ কোষটির কোষ বিক্রিয়া লেখ।

**সমাধান :** এক্ষেত্রে জারণ অর্ধকোষ বিক্রিয়া হলো : $Zn\ (s) \longrightarrow Zn^{2+}\ (aq) + 2e^-$

বিজারণ অর্ধকোষ বিক্রিয়া হলো : $Cu^{2+}\ (aq) + 2e^- \longrightarrow Cu\ (s)$

∴ মোট কোষ বিক্রিয়া হলো : $Zn\ (s) + Cu^{2+}\ (aq) \longrightarrow Zn^{2+}\ (aq) + Cu\ (s)$

**সমাধানকৃত সমস্যা–৪.১৮ :** $Fe(s)/FeSO_4\ (aq)$ এবং $Pt, H_2/H_2SO_4\ (aq)$ ইলেকট্রোড সমন্বয়ে গঠিত তড়িৎ কোষের ডায়াগ্রাম ও কোষ বিক্রিয়া লেখ।

**সমাধান :** এক্ষেত্রে জারণ অর্ধকোষ বিক্রিয়া হলো : $Fe\ (s) \longrightarrow Fe^{2+}\ (aq) + 2e^-$

বিজারণ অর্ধকোষ বিক্রিয়া হলো : $2H^+\ (aq) + 2e^- \longrightarrow H_2\ (g)$

∴ মোট কোষ বিক্রিয়া হলো : $Fe\ (s) + 2H^+\ (aq) \longrightarrow Fe^{2+}\ (aq) + H_2\ (g)$

কোষ ডায়াগ্রাম হলো : $Fe\ (s)/FeSO_4\ (aq) \parallel H_2SO_4\ (aq)/H_2\ Pt.$

**সমাধানকৃত সমস্যা–৪.১৯ :** নিম্নোক্ত কোষ বিক্রিয়া থেকে কোষ ডায়াগ্রাম লেখ।

$$Zn\ (s) + H_2SO_4\ (aq) \longrightarrow ZnSO_4\ (aq) + H_2\ (g)$$

**সমাধান :** এক্ষেত্রে অ্যানোডরূপে জিঙ্ক ইলেকট্রোড $Zn\ (s)/ZnSO_4\ (aq)$ এবং ক্যাথোডরূপে হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বার সমন্বয়ে লবণ সেতুসহকারে কোষ ডায়াগ্রাম হলো :

$$Zn\ (s)\ /\ ZnSO_4(aq) \parallel H_2SO_4\ (aq)\ /\ H_2\ (g),\ Pt$$

**সমাধানকৃত সমস্যা–৪.২০ :** নিম্নোক্ত কোষ বিক্রিয়া থেকে কোষ ডায়াগ্রাম বা কোষ সংকেত লেখ।

$$Mg\ (s) + CuSO_4\ (aq) \longrightarrow MgSO_4\ (aq) + Cu\ (s)$$

**সমাধান :** এক্ষেত্রে অ্যানোডরূপে Mg-ইলেকট্রোড $Mg\ (s)\ /\ MgSO_4\ (aq)$ এবং ক্যাথোডরূপে Cu-ইলেকট্রোড $Cu(s)\ /\ CuSO_4(aq)$ সমন্বয়ে কোষ ডায়াগ্রামটি হলো : $Mg\ (s)\ /\ MgSO_4\ (aq) \mid CuSO_4\ (aq)\ /\ Cu\ (s).$

**সমাধানকৃত সমস্যা–৪.২১ :** $Zn\ (s)/Zn^{2+}\ (aq)$ এবং $Ag\ (s)/Ag^+\ (aq)$ ইলেকট্রোড সমন্বয়ে গঠিত তড়িৎকোষ ডায়াগ্রাম ও কোষ বিক্রিয়া লেখ।

**সমাধান :** এক্ষেত্রে Ag ধাতু অপেক্ষা Zn ধাতু অধিক সক্রিয় হওয়ায় Zn-ইলেকট্রোডে অ্যানোড এবং Ag-ইলেকট্রোডকে ক্যাথোডরূপে ব্যবহার করে তড়িৎ কোষটি তৈরি করতে হবে।

এক্ষেত্রে জারণ-অর্ধকোষ বিক্রিয়া হলো : $Zn\ (s) \longrightarrow Zn^{2+}\ (aq) + 2e^-$

বিজারণ-অর্ধকোষ বিক্রিয়া হলো : $2Ag^+\ (aq) + 2e^- \longrightarrow 2Ag\ (s)$

∴ মোট কোষ বিক্রিয়া হলো : $Zn\ (s) + 2Ag^+\ (aq) \longrightarrow Zn^{2+}\ (aq) + 2Ag\ (s)$

কোষ ডায়াগ্রাম হলো : $Zn\ (s)/Zn^{2+}\ (aq) \mid Ag^+\ (aq)\ /\ Ag\ (s)$

**শিক্ষার্থীর কাজ-৪.৭ : তড়িৎ কোষের অর্ধ-বিক্রিয়াভিত্তিক গণনা :**

**সমস্যা-৪.২৬ :** নিচের তড়িৎ কোষের অর্ধকোষ বিক্রিয়াসহ কোষ বিক্রিয়া লেখ।

(ক) $Zn/Zn^{2+}$ এবং $Ag/Ag^+$ দ্বারা গঠিত তড়িৎ কোষ।

(খ) $Zn\ (s)/Zn^{2+}\ (aq) \parallel H^+\ (aq)/H_2\ (g),\ Pt$

**সমস্যা- ৪.২৭ :** নিচের গ্যালভানিক কোষগুলোর অর্ধকোষ বিক্রিয়া ও কোষ বিক্রিয়া লেখ :

(ক) $Cu\ (s)/Cu^{2+}\ (aq) \parallel Ag^+\ (aq)/Ag\ (s)$

(খ) $Zn\ (s)/Zn^{2+}\ (aq) \parallel Ag^+\ (aq)/Ag\ (s)$

(গ) $Cr\ (s)/Cr^{3+}\ (aq) \parallel Pb^{2+}\ (aq)/Pb\ (s)$

**সমস্যা- ৪.২৮ :** নিচের রিডক্স বিক্রিয়াগুলো থেকে গ্যালভানিক কোষগুলোর কোষ সংকেত বা কোষ ডায়াগ্রাম লেখ :

(ক) $Al\ (s) + Zn^{2+}\ (aq) \longrightarrow Al^{3+}\ (aq) + Zn\ (s)$

(খ) $Ag^+\ (aq) + Ni\ (s) \longrightarrow Ni^{2+}\ (aq) + Ag\ (s)$

(গ) $Cd\ (s) + Ni^{2+}\ (aq) \longrightarrow Cd^{2+}\ (aq) + Ni\ (s)$

## ৪.৭.২ তড়িৎদ্বার বিভব

### Electrode Potential

যেকোনো তড়িৎ রাসায়নিক কোষের দুটি অর্ধকোষের প্রত্যেকটিতে একটি তড়িৎ বিশ্লেষ্য ও একটি ধাতব দণ্ড থাকে। প্রতিটি অর্ধকোষের ধাতব দণ্ডকে একক তড়িৎদ্বার বলে। **প্রতিটি একক তড়িৎদ্বারের বৈদ্যুতিক বিভব থাকে, একে তড়িৎদ্বার বিভব বলে।**

**একক তড়িৎদ্বার বিভবের সংজ্ঞা :** যখন কোনো ধাতব দণ্ডকে ঐ ধাতুর লবণের দ্রবণে ডোবানো হয় তখন ধাতব দণ্ডটি দ্রবণের সাপেক্ষে ধনাত্মক বা ঋণাত্মক আধান প্রাপ্ত হয়। ফলে ধাতব দণ্ড ও দ্রবণের সাপেক্ষে **একটি নির্দিষ্ট বৈদ্যুতিক বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি হয়, এ বিভব পার্থক্যকে ধাতব দণ্ডের একক তড়িৎদ্বার বিভব বলে।**

তড়িৎদ্বার বিভবের একক : তড়িৎদ্বার বিভবের একক হলো ভোল্ট (V)।

**ব্যাখ্যা :** তড়িৎদ্বার বিভবের উৎসরূপে বিজ্ঞানী নার্নস্ট নিম্নরূপ তত্ত্ব উপস্থাপন করেন। ধাতব দণ্ডের কেলাসে ধাতুর আয়নসমূহ ল্যাটিসে নির্দিষ্ট স্থানে থাকে এবং এর যোজনী ইলেকট্রনসমূহ ল্যাটিসের ফাঁকা স্থানে চলাচল করে। কোনো ধাতুর দণ্ডকে এর কোনো লবণের দ্রবণে ডুবালে তখন ধাতুর আয়ন ল্যাটিস ত্যাগ করে দ্রবণে প্রবেশের প্রবণতা দেখায়। একে **'দ্রবণ চাপ'** বলা হয়। এ অবস্থায় ধনাত্মক চার্জযুক্ত আয়নের চার্জের সমসংখ্যক ইলেকট্রন ধাতব দণ্ডে অতিরিক্ত থাকে, এই ধাতব দণ্ডটি ঋণাত্মক চার্জযুক্ত হয়। ধাতব আয়নগুলো পানির সাথে যুক্ত হয়ে হাইড্রেটেড আয়নরূপে থাকে। আবার হাইড্রেটেড ধাতব ধনাত্মক আয়নগুলো ঐ ধাতব দণ্ডের ইলেকট্রন গ্রহণ করে পুনরায় পরমাণুরূপে ধাতব দণ্ডে যুক্ত হতে চায়। একে ধনাত্মক আয়নের **অসমোটিক চাপ** বলে। এরূপে ধাতুটির ইলেকট্রন ত্যাগের বেশি বা কম প্রবণতার ফলে ধাতব দণ্ড ঋণাত্মক বা ধনাত্মক চার্জযুক্ত হতে পারে।

$$M\,(s) \rightleftharpoons M^{n+}\,(aq) + ne^-$$

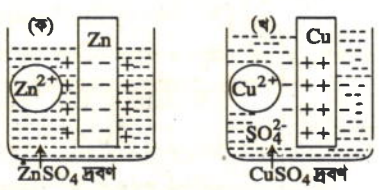
প্রত্যেকটি তড়িৎদ্বারের পৃষ্ঠতলে ইলেকট্রন ত্যাগ বা ইলেকট্রন গ্রহণ–এ দুটি বিপরীতমুখী প্রবণতার পরিমাণ কখনো সমান হয় না; তাই ধাতব দণ্ড ও এর দ্রবণের আয়নের মধ্যে একটি বৈদ্যুতিক বিভব সৃষ্টি হয়। এ বিভবকে **তড়িৎদ্বার বিভব** বলা হয়।

ধাতব পরমাণুর সক্রিয়তা বা ইলেকট্রন ত্যাগের প্রবণতা বেশি হলে এর **'দ্রবণ-চাপ'** বেশি হয় এবং এর আয়নের 'অস্‌মোটিক-চাপ' কম হয়। তখন ঐ **তড়িৎদ্বারটি ঋণাত্মক চার্জযুক্ত হয়ে অ্যানোডরূপে কাজ করে।** যেমন,

জিঙ্ক ইলেকট্রোড-এর বেলায় জিঙ্ক পরমাণুর ইলেকট্রন ত্যাগের প্রবণতা বেশি। তাই Zn-দণ্ডের বহিঃস্তরে জমা হওয়া ইলেকট্রনের ঋণাত্মক চার্জের এবং এর খুব নিকটে সংযোগস্থলের দ্রবণে জিঙ্ক ক্যাটায়ন ($Zn^{2+}$) এর ধনাত্মক চার্জের একটি বৈদ্যুতিক দ্বি-স্তর (electrical double layer) সাম্যাবস্থায় থাকে। ফলে জিঙ্ক দণ্ড ও জিঙ্ক আয়নের সংযোগস্থলে নির্দিষ্ট মানের ইলেকট্রনীয় চাপ বা ঋণাত্মক তড়িৎ শক্তি সৃষ্টি হয়। একে জিঙ্ক ইলেকট্রোডের বিভব বা জারণ বিভব বলে। চিত্র-৪.১৩(ক)]

$$Zn\,(s) \rightleftharpoons Zn^{2+}\,(aq) + 2e^-$$

অপরদিকে ধাতব পরমাণুর সক্রিয়তা বা ইলেকট্রন ত্যাগের প্রবণতা কম হলে এর 'দ্রবণ-চাপ' কম হয় এবং এর আয়নের 'অস্‌মোটিক-চাপ' বেশি হয়। তখন ঐ তড়িৎদ্বারটি ধনাত্মক চার্জযুক্ত হয়ে ক্যাথোডরূপে কাজ করে। যেমন, কপার ইলেকট্রোড এর বেলায় Cu-পরমাণুর ইলেকট্রন ত্যাগের প্রবণতার চেয়ে $Cu^{2+}$ আয়নের ইলেকট্রন গ্রহণের প্রবণতা বেশি। তাই Cu দণ্ডের বহিঃস্তরে জমা হওয়ায় $Cu^{2+}$ আয়নের ধনাত্মক চার্জের এবং এর সংযোগস্থলের দ্রবণে ঋণাত্মক সালফেট ($SO_4^{2-}$) আয়নের চার্জের একটি বৈদ্যুতিক দ্বি-স্তর সাম্যাবস্থা তৈরি করে ধনাত্মক তড়িৎ শক্তি সৃষ্টি হয়। একে কপার ইলেকট্রোডের বিভব বা বিজারণ বিভব বলে [চিত্র-৪.১৩(খ)]



চিত্র-৪.১৩ : ইলেকট্রোড বিভব

$$Cu\,(s) \rightleftharpoons Cu^{2+}\,(aq) + 2e^-$$

ধাতুর মতো হাইড্রোজেন পরমাণুও এর আয়নের দ্রবণে তড়িৎদ্বার বিভব সৃষ্টি করে।

**তড়িৎদ্বার বিভবের নির্ভরশীলতা :** (i) তড়িৎদ্বারের ধাতব প্রকৃতি, (ii) দ্রবণে আয়নের ঘনমাত্রা ও (iii) দ্রবণের তাপমাত্রার ওপর তড়িৎদ্বার বিভব নির্ভর করে। যেমন, ডেনিয়েল কোষে ব্যবহৃত দুটি অর্ধকোষের সংযোগের ফলে জিঙ্ক তড়িৎদ্বার থেকে ইলেকট্রন কপার তড়িৎদ্বারে প্রবাহিত হয়। অর্থাৎ কপারের তুলনায় জিঙ্ক পরমাণু সহজে $Zn^{2+}$ আয়নরূপে জারিত হয়ে দ্রবণে প্রবেশের অধিক প্রবণতা দেখায়। তড়িৎদ্বারসমূহের জারিত বা বিজারিত হওয়ার তুলনামূলক পরিমাপ হচ্ছে তড়িৎদ্বার বিভব।

**MCQ-4.14: তড়িৎদ্বার বিভব নির্ভর করে নিম্নোক্ত বিষয়ের ওপর–(i) ধাতব দণ্ডের প্রকৃতি; (ii) তাপমাত্রা (iii) তড়িৎ বিশ্লেষ্যের ঘনমাত্রা নিচের কোনটি সঠিক?**
(ক) i ও ii, (খ) ii ও iii (গ) i ও iii, (ঘ) i, ii ও iii

**MCQ-4.15: নিচের কোন্ তড়িৎদ্বার জারণ অর্ধকোষ বোঝায়?**
(ক) $Zn^{2+}/Zn$ (খ) $Zn/Zn^{2+}$
(গ) $Cu^{2+}/Cu$ (ঘ) $H^+/H_2$, Pt

## ৪.৮ তড়িৎদ্বার বিভব ও ধাতুর সক্রিয়তা সিরিজ

### Electrode Potential and Reactivity Series of Metals

একক অবস্থায় যেকোনো তড়িৎদ্বারই তড়িৎ উৎপাদনে সক্ষম নয়। অতএব, এর বিভবের সুনির্দিষ্ট মান থাকলেও e.m.f থাকে না; কিন্তু সম্পূর্ণ কোষের e. m. f থাকে। অর্থাৎ দুটি ভিন্ন তড়িৎদ্বারের বিভব পার্থক্য অথবা দুটি তড়িৎদ্বারের সংযোজনের ফলে উৎপন্ন কোষের e. m. f-ই কেবল মাপা যায়।

**প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বার :** কোনো তড়িৎদ্বার বিভবের মান সর্বসম্মতিক্রমে শূন্য ধরে এর সাথে পরীক্ষণীয় তড়িৎদ্বার সংযোগে সৃষ্ট কোষের উৎপন্ন e.m.f-কে তড়িৎদ্বার বিভব ধরা হয়। সর্বজনীন রীতি অনুযায়ী প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বারের বিভবের মান শূন্য ধরা হয়। যেকোনো তড়িৎদ্বারের বিভব **প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বারের** আপেক্ষিকে মাপা হয়।

**প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব :** বিভিন্ন তড়িৎদ্বারের বিভবের তুলনামূলক মান প্রকাশের জন্য প্রতিটি তড়িৎদ্বারের তড়িৎ বিশ্লেষ্য দ্রবণের ঘনমাত্রা 1M এবং তাপমাত্রা 25°C বা, 298 K রাখা হয়। এ অবস্থায় প্রতিটি তড়িৎদ্বারের বিভবকে **প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব** বলা হয়। যেমন, প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বারের বিভব মানকে 0.0 V ধরা হয়।

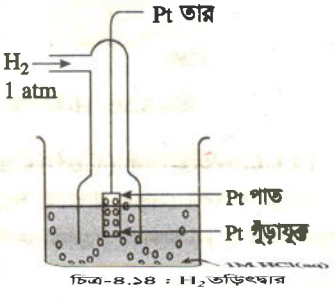
**প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বারের গঠন :** প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বারের বেলায় বিশুদ্ধ $H_2$ গ্যাসকে প্রমাণ অবস্থায় যেমন 1.0 atm চাপে 25°C তাপমাত্রায় 1.0 M $H^+$ আয়নের দ্রবণে ডুবানো নিষ্ক্রিয় ধাতু প্লাটিনাম পাতের সংস্পর্শে চালনা করা হয় ; [চিত্র-৪.১৪]। প্লাটিনাম ধাতু $H_2$ গ্যাস শোষণ করে। শোষিত অবস্থায় $H_2$ তড়িৎদ্বারে নিম্নরূপ অর্ধকোষ বিক্রিয়া চলতে থাকে এবং এর তড়িৎদ্বার বিভবকে 0.0V ধরা হয়।

$$H_2\ (g,\ 1\ atm) \longrightarrow 2H^+\ (aq,\ 1M) + 2e^- \qquad E^\theta = 0.0\ V$$
$$2H^+\ (aq,\ 1M) + 2e^- \longrightarrow H_2\ (g,\ 1\ atm) \qquad E^\theta = 0.0\ V$$

**H-তড়িৎদ্বার ডায়াগ্রাম :** নিষ্ক্রিয় তড়িৎদ্বার প্লাটিনাম সহযোগে **হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বারকে** নিম্নরূপে লেখা হয়।

Pt (s). $H_2$ (g) (1atm)/ $H^+$ (aq) (1M) $\qquad E^\theta = 0.0\ V$

**প্রাইমারি বা মুখ্য নির্দেশক তড়িৎদ্বার (Primary Reference Electrode) :** প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বারকে (Standard Hydrogen Electrode, S.H.E) প্রাইমারি বা মুখ্য নির্দেশক তড়িৎদ্বার বলা হয়। কারণ প্রমাণ হাইড্রোজেন তড়িৎদ্বার (S.H.E) দ্বারা অন্যান্য তড়িৎদ্বারের প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব নির্ণয় করা হয়।



চিত্র-৪.১৪ : $H_2$ তড়িৎদ্বার

**সেকেন্ডারি বা গৌণ নির্দেশক তড়িৎদ্বার (Secondary Reference Electrode) :** দৈনন্দিন বিভিন্ন ইলেকট্রোডের বিভব মাপার জন্য প্রাইমারি নির্দেশক তড়িৎদ্বাররূপে প্রমাণ H-তড়িৎদ্বার (S.H.E) ব্যবহার করা সুবিধাজনক নয়। কারণ এর মধ্যে (১) 25°C তাপমাত্রায় সব সময় HCl দ্রবণের ঘনমাত্রা 1.0M রাখা যায় না; এবং (২) ঐ HCl দ্রবণে 1 atm চাপে বিশুদ্ধ $H_2$ গ্যাস চালনা করা সম্ভব হয় না। তাই S.H.E. এর পরিবর্তে S.H.E. দ্বারা সঠিকভাবে নির্ধারিত তড়িৎ বিভব যুক্ত কিছু 'ধাতু ও ধাতুর অদ্রবণীয় লবণ তড়িৎদ্বার' বা অর্ধকোষকে প্রয়োগ ক্ষেত্রে ব্যবহার করা হয়। এরূপ তড়িৎদ্বার বা অর্ধকোষকে সেকেন্ডারি বা গৌণ নির্দেশক তড়িৎদ্বার' বলে। যেমন–

(i) ক্যালোমেল ($Hg_2Cl_2$) তড়িৎদ্বার, Hg (*l*), $Hg_2Cl_2$ (s)/KCl (aq)

(ii) সিলভার-সিলভার ক্লোরাইড তড়িৎদ্বার, Ag (s), AgCl (s)/HCl (aq)

**প্রমাণ H-তড়িৎদ্বার সহযোগে বিভিন্ন তড়িৎদ্বারের বিভব নির্ণয় :**

**(১) Zn-তড়িৎদ্বার ($Zn^{2+}/Zn$)-এর বিভব মান নির্ণয় :** Zn-ইলেকট্রোডকে অ্যানোডরূপে ও H-ইলেকট্রোডকে ক্যাথোডরূপে লবণ সেতুর মাধ্যমে সংযোগ করা হয়। তখন Zn-ইলেকট্রোডটি ভোল্টমিটারের ঋণাত্মক প্রান্তের সাথে ও H-ইলেকট্রোডকে উচ্চরোধবিশিষ্ট ভোল্টমিটারের ধনাত্মক প্রান্তের সাথে যুক্ত করা হলেই তখন এক্ষেত্রে ভোল্টমিটার নির্দেশ করে Zn-ইলেকট্রোড থেকে ইলেকট্রন H-ইলেকট্রোডে প্রবাহিত হচ্ছে অর্থাৎ Zn-ইলেকট্রোডে জারণ ক্রিয়া ঘটছে এবং ভোল্টমিটার নির্দেশ করছে কোষটির emf 0.76 V; অর্থাৎ Zn-ইলেকট্রোডের জারণ বিভব + 0.76 V। প্রমাণ H-ইলেকট্রোডের জারণ বা বিজারণ মান শূন্য অর্থাৎ

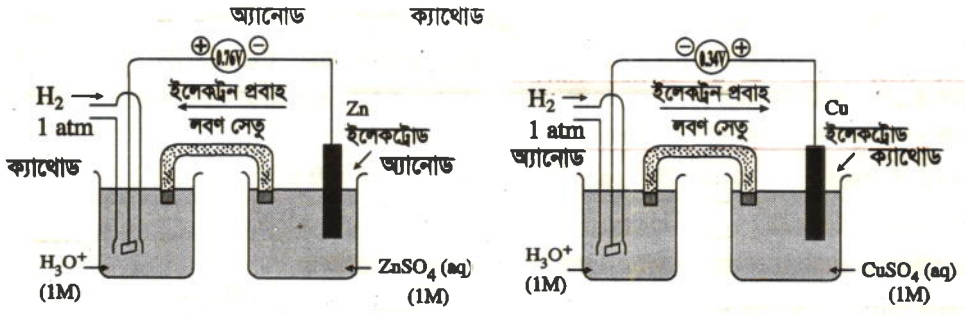
$$\therefore E^{\theta}_{cell} = E^{\theta}_{Zn/Zn^{2+}} + E^{\theta}_{H^+/H_2} = (E^{\theta}_{Zn/Zn^{2+}} + 0.0)\ V = 0.76\ V$$

$$E^{\theta}_{H^+/H_2} = 0.00\ V = E^{\theta}_{H_2/H^+}$$

∴ Zn-ইলেকট্রোডের জারণ বিভব = + 0.76 V। সুতরাং Zn ইলেকট্রোডের বিজারণ বিভব = – 0.76 V

∴ কোষ বিক্রিয়াটি হলো : $Zn\ (s) + 2H^+\ (aq) \longrightarrow Zn^{2+}\ (aq) + H_2\ (g).$ $\quad E^{\theta}_{cell} = 0.76\ V$

**তড়িৎ কোষ সংকেত হলো :** $Zn/Zn^{2+}\ (aq) \parallel H^+\ (aq)/H_2\ (1\ atm).\ Pt$




চিত্র-৪.১৫: H-ইলেকট্রোডের সাহায্যে Zn-ইলেকট্রোড ও Cu-ইলেকট্রোডের বিভব মান নির্ণয়।

**(২) Cu-তড়িৎদ্বার ($Cu^{2+}/Cu$) এর বিভব মান নির্ণয় :** Cu-ইলেকট্রোডকে ক্যাথোডরূপে ও H-ইলেকট্রোডকে অ্যানোডরূপে লবণ সেতুর মাধ্যমে সংযোগ করা হয়। তখন Cu-ইলেকট্রোডটিকে উচ্চরোধবিশিষ্ট ভোল্টমিটারের ধনাত্মক প্রান্তের সাথে ও H-ইলেকট্রোডকে ভোল্টমিটারের ঋণাত্মক প্রান্তের সাথে যুক্ত করা হলে তবেই ভোল্টমিটারটি পাঠ দেয় এবং নির্দেশ করে H-ইলেকট্রোডে জারণ ঘটছে এবং ভোল্টমিটার নির্দেশ করছে কোষটির e. m. f 0.34 V। যেহেতু H-ইলেকট্রোডে জারণ ঘটছে; কোষের e. m. f এর সম্পর্ক হতে

$\therefore E^{\theta}_{cell} = E^{\theta}_{H_2/H^+} + E^{\theta}_{Cu^{2+}/Cu} = (0.0 + E^{\theta}_{Cu^{2+}/Cu} = 0.34\ V$

$\therefore$ Cu-ইলেকট্রোডের বিজারণ বিভব, $E^{\theta}_{Cu^{2+}/Cu} = 0.34\ V$ এবং জারণ বিভব $E^{\theta}_{Cu/Cu^{2+}} = -0.34\ V$

$\therefore$ কোষ বিক্রিয়াটি হলো : $2H\ (g) + Cu^{2+}\ (aq) \longrightarrow 2H^+\ (aq) + Cu\ (s)$ $E^{\theta}_{cell} = 0.34\ V$

**তড়িৎকোষ সংকেত হলো :** Pt. $H_2$ (1 atm)/$H^+$(aq)|| $Cu^{2+}$ (aq)/Cu
অ্যানোড ক্যাথোড

### (৩) ধাতুর সক্রিয়তা সিরিজ (Reactivity Series of Metals)

ধাতুসমূহের জারণ-বিজারণ প্রবণতার তুলনা বা আপেক্ষিক সক্রিয়তা সম্বন্ধে ধারণা পাওয়ার জন্য এবং তড়িৎকোষের অ্যানোড ও ক্যাথোড নির্বাচনের সুবিধার্থে বিভিন্ন ধাতুর বিজারণ বিভবের মানসমূহকে ক্রমবৃদ্ধি অনুসারে সারিবদ্ধ করা হয়েছে। ধাতুর আয়নসমূহের বিজারণ প্রবণতার এ সারিকে ধাতুসমূহের **প্রমাণ বিজারণ বিভব** (25°C) বা, তড়িৎ রাসায়নিক সিরিজ বা ধাতুর সক্রিয়তা সিরিজ বলা হয় (সারণি-৪.৪)।

**সারণি-৪.৪ : ধাতুসমূহের প্রমাণ বিজারণ বিভব ক্রমবৃদ্ধি (25°C) বা সক্রিয়তা সিরিজ (নিচের দিকে ক্রম হ্রাস)**

| তড়িৎদ্বার বা ইলেকট্রোড | | তড়িৎদ্বার অর্ধ-বিক্রিয়া | | E°(V) (at 25°C) |
|---|---|---|---|---|
| $Li^+/Li$ | | $Li^+$ (aq) + $e^-$ ⇌ Li (s) | ধাতব বিজারকের শক্তিমাত্রা বৃদ্ধিক্রম | − 3.04 |
| $K^+/K$ | | $K^+$ (aq) + $e^-$ ⇌ K (s) | | − 2.92 |
| $Ca^{2+}$/ Ca | | $Ca^{2+}$ (aq) + $2e^-$ ⇌ Ca (s) | | − 2.87 |
| $Na^+$ /Na | | $Na^+$ (aq) + $e^-$ ⇌ Na (s) | | − 2.71 |
| $Mg^{2+}$/Mg | | $Mg^{2+}$ (aq) + $2e^-$ ⇌ Mg (s) | | − 2.36 |
| $Al^{3+}$/Al | | $Al^{3+}$ (aq) + $3e^-$ ⇌ Al (s) | | − 1.66 |
| $Zn^{2+}$/Zn | | $Zn^{2+}$ (aq) + $2e^-$ ⇌ Zn (s) | | − 0.76 |
| $Cr^{3+}$/Cr | | $Cr^{3+}$ (aq) + $3e^-$ ⇌ Cr (s) | | −0.74 |
| $Fe^{2+}$/Fe | | $Fe^{2+}$ (aq) + $2e^-$ ⇌ Fe (s) | | − 0.44 |
| $Cd^{2+}$ /Cd | | $Cd^{2+}$ (aq) + $2e^-$ ⇌ Cd (s) | | − 0.40 |
| $Co^{2+}$/Co | | $Co^{2+}$ (aq) + $2e^-$ ⇌ Co (s) | | − 0.28 |
| $Ni^{2+}$/ Ni | | $Ni^{2+}$ (aq) + $2e^-$ ⇌ Ni (s) | | − 0.25 |
| $Sn^{2+}$/Sn | | $Sn^{2+}$ (aq) + $2e^-$ ⇌ Sn (s) | | − 0.14 |
| $Pb^{2+}$/Pb | | $Pb^{2+}$ (aq) + $2e^-$ ⇌ Pb (s) | | − 0.13 |
| $H^+/H_2$,Pt | | $2H^+$ (aq) + $2e^-$ ⇌ $H_2$ (g) | | 0.00 |
| $Cu^{2+}$/Cu | | $Cu^{2+}$ (aq) - $2e^-$ ⇌ Cu (s) | | + 0.34 |
| $Hg_2^{2+}$/Hg | | $Hg_2^{2+}$ (aq) + $2e^-$ ⇌ 2Hg (*l*) | | + 0.79 |
| Ag+/Ag | | Ag+ (aq) + $e^-$ ⇌ Ag (s) | | + 0.80 |
| $Au^{3+}$/Au | ধাতব আয়ন জারকের শক্তিমাত্রা বৃদ্ধিক্রম | $Au^{3+}$ (aq) + $3e^-$ ⇌ Au (s) | | + 1.42 |

**জেনে রাখো :**

(১) প্রতিটি তড়িৎদ্বারের প্রমাণ বিজারণ বিভবের মান হলো প্রমাণ H তড়িৎদ্বারের সাপেক্ষে নির্ণীত মান। প্রতিটি তড়িৎদ্বারকে H তড়িৎদ্বারের সাথে যুক্ত করে একটি পূর্ণ তড়িৎ কোষ গঠন করা হয়। ঐ পূর্ণ কোষে প্রমাণ H তড়িৎদ্বারের বিভব শূন্য ধরে কোষটির যে emf পাওয়া যায়, সেটি হলো ঐ তড়িৎদ্বার বা অর্ধকোষের প্রমাণ বিজারণ বিভবের মান।

(২) কোনো তড়িৎদ্বারের বিজারণ বিভব মান যতো হয়; ঐ তড়িৎদ্বারের জারণ বিভব মান সংখ্যাগত তত হয়। তবে ধনাত্মক বা ঋণাত্মক চিহ্ন বিপরীত হয়। যেমন, কপার তড়িৎদ্বারের প্রমাণ বিজারণ বিভব $Cu^{2+}/Cu$ হলো + 0.34 V; তাই এর প্রমাণ জারণ বিভব ($Cu/Cu^{2+}$) হলো – 0.34 V।

(৩) যে তড়িৎদ্বারের বিজারণ বিভবের মান যত বেশি ঋণাত্মক তার প্রমাণ জারণ বিভবের মান তত বেশি ধনাত্মক। অর্থাৎ ঐ তড়িৎদ্বারে তত বেশি জারণ ক্রিয়া সম্পন্ন হয় এবং সে ধাতুর বিজারণ ক্ষমতাও তত বেশি।

(৪) শ্রেণির ওপর থেকে নিচের দিকে তড়িৎদ্বারসমূহের প্রমাণ বিজারণ বিভবের ঋণাত্মক মান ক্রমশ কমতে থাকে। অর্থাৎ ঐ সব তড়িৎদ্বারের ধাতুর জারিত হওয়ার প্রবণতা এবং তাদের বিজারণ ক্ষমতাও তত কমতে থাকে।

(৫) শ্রেণিতে বিজারক বলতে ধাতুগুলোকে এবং জারক বলতে তাদের ধনাত্মক আয়নকে বোঝায়।

### (৪) ধাতুর ক্ষয় ও অ্যানোডিক জারণ (Metallic Corrosion & Anodic Oxidation)

**ধাতুর ক্ষয় :** কোনো ধাতু পরিবেশ থেকে পানি ও অক্সিজেন সহযোগে বিক্রিয়া করে ক্ষয়প্রাপ্ত হলে, তাকে করোসান বা ধাতুর ক্ষয় বলে। লোহার মরিচা পড়া, রুপার উজ্জ্বলতা হ্রাস, কপার ও ব্রোঞ্জ সংকর ধাতুর উপর সবুজ আস্তরণ সৃষ্টি ইত্যাদি ধাতুক্ষয়ের উদাহরণ।

**ধাতুর ক্ষয়ের ব্যাখ্যা :** ধাতু ক্ষয়ের সাধারণ উদাহরণ হলো লোহার মরিচা পড়া। অবিশুদ্ধ লোহার Fe পরমাণু এবং এর অপদ্রব্য অক্সিজেন মিশ্রিত পানির উপস্থিতিতে অসংখ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ভোল্টার কোষ গঠন করে। লোহার Fe পরমাণু তখন **অ্যানোডরূপে** ক্রিয়া করে। Fe পরমাণু জারিত হয় এবং অক্সিজেন মিশ্রিত পানি বিজারিত হয়ে $Fe(OH)_2$ গঠন করে। পরে বায়ুর অক্সিজেন ও পানি দ্বারা $Fe(OH)_2$ অধিক জারিত হয়ে **সোদক ফেরিক অক্সাইড** বা মরিচা গঠন করে।

$$Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2e^- \quad \text{... [জারণ]}$$

$$H_2O + \frac{1}{2}O_2 + 2e^- \longrightarrow 2HO^- \quad \text{... [বিজারণ]}$$

$$Fe^{2+} + 2HO^- \longrightarrow Fe(OH)_2$$

$$2Fe(OH)_2 + H_2O + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow Fe_2O_3.3H_2O \text{ বা, } 2Fe(OH)_3 \text{ [মরিচা]}$$

সুতরাং ধাতুর ক্ষয় প্রক্রিয়াটি হলো একটি তড়িৎ রাসায়নিক অ্যানোডিক জারণ প্রক্রিয়া।

**ধাতুক্ষয় রোধ প্রক্রিয়া :** (i) যেহেতু ধাতুর ক্ষয় একটি তড়িৎ রাসায়নিক অ্যানোডিক জারণ প্রক্রিয়া সেহেতু ধাতুকে ক্ষয় থেকে রক্ষা করতে হলে ধাতুটি কোনো অবস্থায় যেন অ্যানোডরূপে কাজ করতে না পারে সে ব্যবস্থা করতে হবে।

(ii) কোনো ধাতুর উপর প্রায় সমমানের তড়িৎদ্বার বিভবের অপর ধাতু সংযোগ করে ধাতুকে অ্যানোডিক জারণ থেকে ক্ষয়মুক্ত রাখা সম্ভব। ডেনিয়েল কোষে অ্যানোডরূপে ব্যবহৃত Zn ধাতু ইলেকট্রন ত্যাগ করে জারিত হয়।

$$Zn\,(s) \longrightarrow Zn^{2+}\,(aq) + 2e^-$$

তাই লোহার ওপর মরিচা পড়া রোধ করতে অধিক সক্রিয় Zn ধাতুর প্রলেপ দেয়া বা গ্যালভানাইজিং করা হয়।

(iii) একক ধাতুর পরিবর্তে সম সক্রিয় d- ব্লকের ধাতু সংকর ব্যবহার করে অ্যানোডরূপে লোহার জারণ রোধ করা যায়। যেমন মরিচারোধী ইস্পাত লোহার সঙ্গে কার্বন, Cr ও Ni যুক্ত করে সংকর- ধাতুরূপে লোহার জারণ বিভব হ্রাস ও মরিচা রোধ করা হয়।

**জেনে নাও** **তড়িৎ রাসায়নিক কোষে অ্যানোড নির্বাচনভিত্তিক সমস্যা :**

**সমস্যা :** ডেনিয়েল সেলে Zn দণ্ডটি বিজারকরূপে কাজ করে কেন? [সি. বো. ২০১৯]

**সমাধান :** কোনো তড়িৎ রাসায়নিক কোষে ব্যবহৃত দুটি তড়িৎদ্বার বা, ইলেকট্রোডের মধ্যে যেটির প্রমাণ বিজারণ বিভব মান বেশি ঋণাত্মক সেটির ধাতব দণ্ডটি কার্যকর বিজারকরূপে ক্রিয়া করে। অর্থাৎ ইলেকট্রন ত্যাগ করে এবং এটি ঐ কোষের ঋণাত্মক তড়িৎদ্বার বা, অ্যানোডরূপে ভূমিকা রাখে। অপর ইলেকট্রোডটি ক্যাথোডরূপে কাজ করে।

ডেনিয়েল সেলে ব্যবহৃত দুটি তড়িৎদ্বার হলো জিঙ্ক তড়িৎদ্বার ও কপার তড়িৎদ্বার। জিঙ্ক তড়িৎদ্বারের প্রমাণ বিজারণ বিভব ($Zn^{2+}/Zn$) এর মান = – 0.75 V এবং কপার তড়িৎদ্বারের প্রমাণ বিজারণ বিভব ($Cu^{2+}/Cu$) এর মান = + 0.34V। উভয় তড়িৎদ্বারের প্রমাণ বিজারণ বিভবের মান থেকে সুস্পষ্ট জিঙ্ক তড়িৎদ্বারের বিজারণ বিভবের মান অধিক ঋণাত্মক হওয়ায় জিঙ্ক তড়িৎদ্বারের Zn দণ্ডটি বিজারকরূপে ইলেকট্রন ত্যাগ করে কোষটির অ্যানোডরূপে ভূমিকা রাখে। কপার ইলেকট্রোড ক্যাথোডরূপে কাজ করে।

**সমাধানকৃত সমস্যা–৪.২২ : স্বতঃস্ফূর্ত কোষ বিক্রিয়াভিত্তিক :**

সারণি-৪.৪ অনুসরণ করে ব্যাখ্যা করো ; প্রমাণ অবস্থায় $Pb^{2+}$ (aq) আয়ন, Al (s) অথবা Cu (s) দ্বারা বিজারিত হবে কিনা? 25°C-এ প্রতিটি কোষ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে emf ($E^0_{cell}$) এর মান গণনা করো।

**দক্ষতা :** সক্রিয়তা সিরিজ মতে, কোনো বিজারক এর নিচে স্থান প্রাপ্ত যেকোনো ধাতব আয়ন জারককে বিজারিত করতে পারে; কিন্তু এর ওপরের স্থানের ধাতব আয়ন জারককে বিজারিত করতে পারে না। জারণ অর্ধ-বিক্রিয়া ও বিজারণ অর্ধ-বিক্রিয়ার বিভব মানের যোগফল হবে প্রতিটি কোষ বিক্রিয়ার emf ($E^0_{cell}$)।

**সমাধান :** (১) বিজারক Al (s) এর অবস্থান জারক $Pb^{2+}$ (aq) এর ওপরে এবং বিজারক Cu (s) এর অবস্থান $Pb^{2+}$ (aq) এর নিচে। তাই Al (s) দ্বারা $Pb^{2+}$ (aq) আয়ন বিজারিত হবে; কিন্তু Cu (s) তা পারে না। রিডক্স বিক্রিয়ার কোষ বিভব ($E^0_{cell}$) এর মান **ধনাত্মক হলে** তবে এসব বিক্রিয়ার **স্বতঃস্ফূর্ততা প্রমাণিত** হবে।

$$[Al\ (s) \longrightarrow Al^{3+}\ (aq) + 3e^-] \times 2 \quad \text{(জারণ অর্ধ-বিক্রিয়া)} \quad E^o = +1.66\ V$$
$$[Pb^{2+}\ (aq) + 2e^- \longrightarrow Pb\ (s)] \times 3 \quad \text{(বিজারণ অর্ধ-বিক্রিয়া)} \quad E^o = -0.13\ V$$
$$2Al\ (s) + 3Pb^{2+}\ (aq \longrightarrow 3Pb\ (s) + 2Al^{3+}\ (aq) \quad \text{কোষ বিক্রিয়া} \quad E^0_{cell} = +1.53\ V$$

লক্ষ্য কর $Al/Al^{3+}$ জারণ অর্ধ-বিক্রিয়াকে 2 দ্বারা এবং $Pb^{2+}/Pb$ বিজারণ অর্ধ-বিক্রিয়াকে 3 দ্বারা গুণ করে ইলেকট্রন ত্যাগ ও গ্রহণ সংখ্যার সমতা করা হয়েছে। কিন্তু $E^o$ এর মানকে গুণ করা হয়নি: কারণ বিভব $E^o$ হলো energy/ charge এর অনুপাত। শক্তি বা বস্তুর পরিমাণের সাথে চার্জের পরিমাণও বাড়ে; অনুপাত ঠিক থাকে; এটি বস্তুর ঘনত্বের অনুরূপ। এক্ষেত্রে কোষের emf ($E^0_{cell}$) ধনাত্মক হওয়ায় কোষ বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটবে অর্থাৎ Al দ্বারা $Pb^{2+}$ আয়ন বিজারিত হবে। (২) আবার Cu দ্বারা $Pb^{2+}$ আয়নকে বিজারিত করার সমীকরণ হবে নিম্নরূপ :

$$Cu\ (s) \longrightarrow Cu^{2+}\ (aq) + 2e^- \quad \text{(জারণ অর্ধ-বিক্রিয়া)} \quad E^o = -0.34\ V$$
$$Pb^{2+}\ (aq) + 2e^- \longrightarrow Pb\ (s) \quad \text{(বিজারণ অর্ধ-বিক্রিয়া)} \quad E^o = -0.13\ V$$
$$Cu\ (s) + Pb^{2+}\ (aq) \longrightarrow Pb\ (s) + Cu^{2+}\ (aq) \quad \text{কোষ বিক্রিয়া} \quad E^0_{cell} = -0.47\ V$$

এক্ষেত্রে কোষের emf ($E^0_{cell}$) এর মান ঋণাত্মক হওয়ায় কোষ বিক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটেনি। অর্থাৎ $Pb^{2+}$ আয়ন Cu (s) দ্বারা বিজারিত হবে না।

**সমাধানকৃত সমস্যা–৪.২৩ : নিম্নোক্ত বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটবে কীনা ব্যাখ্যা করো।**

$$Zn\,(s) + Cu^{2+}\,(aq) \longrightarrow Zn^{2+}\,(aq) + Cu\,(s)$$

যদি $E^{0}_{Zn^{2+}/Zn} = -0.76$ V, এবং $E^{0}_{Cu^{2+}/Cu} = +0.34$ V ;

**সমাধান :** প্রদত্ত বিক্রিয়া : $Zn\,(s) + Cu^{2+}\,(aq) \longrightarrow Zn^{2+}\,(aq) + Cu\,(s)$ হলো একটি গ্যালভানিক কোষের বিক্রিয়া। এ কোষটির ডায়াগ্রাম বা কোষ সংকেত হলো : $Zn\,(s)/Zn^{2+}\,(aq)|\,Cu^{2+}\,(aq)/Cu\,(s)$

এক্ষেত্রে কোষটির emf হলো : $E^{0}_{\text{কোষ}} = E^{0}_{Cu^{2+}/Cu} - E^{0}_{Zn^{2+}/Zn}$

$\therefore E^{0}_{\text{কোষ}} = [0.34 - (-0.76)]$ V; $\therefore E_{\text{কোষ}} = +1.1$ V

**প্রশ্নমতে,**

$E^{0}_{Zn^{2+}/Zn} = -0.76$ V

$E^{0}_{Cu^{2+}/Cu} = +0.34$ V

কোষের emf ধনাত্মক হওয়ায় প্রদত্ত বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটবে।

**সমাধানকৃত সমস্যা–৪.২৪ : $Pt, Cl_2\,(g) / Cl^-\,(aq) \,||\, Fe^{2+}\,(aq), Fe^{3+}\,(aq), Pt$**

(ক) কোষটির জন্য অ্যানোডে বিক্রিয়া, ক্যাথোডে বিক্রিয়া ও সর্বমোট কোষ বিক্রিয়া লেখ।

(খ) যদি $E^{0}_{Fe^{3+}/Fe^{2+}} = +0.770$ V; $E^{0}_{Cl_2/Cl^-} = +1.358$ V হয়, তবে তুমি যেভাবে কোষটি লিখেছ, তা স্বতঃস্ফূর্ত হবে কীনা যুক্তি দাও এবং না হলে তা কীভাবে স্বতঃস্ফূর্ত হবে বোঝাও।

**সমাধান (ক) :** প্রদত্ত কোষটির মাঝখানের খাড়া দ্বি-রেখার বাম দিকের ইলেকট্রোডটি অ্যানোড এবং ডানদিকের ইলেকট্রোডটি ক্যাথোড বোঝায়। $Pt, Cl_2\,(g) / Cl^-\,(aq), \,||\, Fe^{2+}(aq), Fe^{3+}\,(aq), Pt$

অ্যানোডে জারণ বিক্রিয়া : $2Cl^-\,(aq) \longrightarrow Cl_2\,(g) + 2e^-$

ক্যাথোডে বিজারণ বিক্রিয়া : $2Fe^{3+}\,(aq) + 2e^- \longrightarrow 2Fe^{2+}\,(aq)$

সর্বমোট কোষ বিক্রিয়া : $2Fe^{3+}\,(aq) + 2Cl^-\,(aq), \longrightarrow 2Fe^{2+}\,(aq) + Cl_2\,(g)$

**সমাধান (খ) :** কোষের e.m.f, $E^{0}_{cell} = \left(E^{0}_{\text{ডান}} - E^{0}_{\text{বাম}}\right) = \left(E^{0}_{Fe^{3+}/Fe^{2+}} - E^{0}_{Cl_2/Cl^-}\right)$

$= +0.770$ V $- (+1.358$ V$) = -0.588$ V

যেহেতু কোষের e. m. f., $E^{0}_{cell}$ এর মান ঋণাত্মক হয়েছে; তাই কোষটি বা কোষ বিক্রিয়াটি যেভাবে লেখা হয়েছে তা স্বতঃস্ফূর্ত হবে না। এর বিপরীতমুখী বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হবে। যেমন,

$$2Fe^{2+}\,(aq) + Cl_2\,(g) \longrightarrow 2Fe^{3+}\,(aq) + 2\,Cl^-\,(aq)$$

**সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৫:** $Pb(s)\ Pb^{2+}\,(aq) \,||\, Br_2(l)\,|Br^-(aq)\,|\,Pt(s)$; এ গ্যালভানিক কোষভিত্তিক নিচের প্রশ্নের সমাধান করো।

(ক) প্রদত্ত গ্যালভানিক কোষের অর্ধ-বিক্রিয়াসহ সমতাযুক্ত কোষ বিক্রিয়া লেখ।

(খ) প্রদত্ত কোষ ডায়াগ্রামভিত্তিক কোষটির পূর্ণাঙ্গ সংযোগ প্রক্রিয়া বর্ণনা করো।

**সমাধান (ক) :** প্রদত্ত কোষ ডায়াগ্রাম মতে কোষটির মাঝখানের খাড়া দ্বি-রেখার বামদিকের লেড ইলেকট্রোডটি অ্যানোড এবং ডানদিকের তরল ব্রোমিনসহ ইলেকট্রোডটি হলো ক্যাথোড। উভয়ের অর্ধ-বিক্রিয়া নিম্নরূপ :

অ্যানোডে জারণ : $Pb(s) \longrightarrow Pb^{2+}\,(aq) + 2e^-$

ক্যাথোডে বিজারণ : $Br_2(l) + 2e^- \longrightarrow 2Br^-\,(aq)$

সর্বমোট কোষ বিক্রিয়া : $Pb(s) + Br_2(l) \longrightarrow Pb^{2+}\,(aq) + 2Br^-\,(aq)$

**সমাধান (খ) :** প্রদত্ত গ্যালভানিক কোষটির পূর্ণাঙ্গ সংযোগভিত্তিক সংক্ষিপ্ত বর্ণনা নিম্নরূপ :

কোষটির অ্যানোড হলো Pb ধাতুর পাত যা $Pb^{2+}$ আয়নের যেমন $Pb(NO_3)_2$ এর জলীয় দ্রবণের পাত্রে আংশিকভাবে ডুবানো আছে। কোষটির ক্যাথোড হলো নিষ্ক্রিয় Pt ধাতুর তার যা আংশিকভাবে ডুবানো আছে $Br_2$ এর সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণ ও তরল $Br_2$ এর পাত্রে।

একটি লবণ সেতু ($NaNO_3$ দ্রবণ ভর্তি) দ্বারা অ্যানোড অর্ধকোষ ও ক্যাথোড অর্ধকোষ যুক্ত আছে। অ্যানোড ও ক্যাথোড উভয় ইলেকট্রোডকে একটি কপার তার দ্বারা যুক্ত করে বহিঃবর্তনী পূর্ণ করা হয়।

**সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৬ : লঘু $H_2SO_4$ এসিড দ্রবণকে জিঙ্ক (Zn) ও কপার (Cu) ধাতুর মধ্যে কোন্ ধাতুর পাত্রে রাখা সম্ভব হবে ব্যাখ্যা করো।** দেয়া আছে, $E^0_{Zn^{2+}/Zn} = -0.76$ V; $E^0_{Cu^{2+}/Cu} = +0.34$ V

**সমাধান :** আমরা জানি, $H_2SO_4$ দ্রবণে $H^+$ আয়ন থাকে। $H^+$ আয়নের প্রমাণ বিজারণ বিভব, $E^0_{H^+ \frac{1}{2}H_2} = 0.0$ V

সুতরাং তিনটি তড়িৎদ্বারের বিজারণ বিভবের ক্রম হলো নিম্নরূপ : $E^0_{Zn^{2+}/Zn} < E^0_{H^+ \frac{1}{2}H_2} < E^0_{Cu^{2+}/Cu}$

অতএব, $H^+$ আয়ন দ্বারা Zn ধাতু জারিত হবে। অর্থাৎ Zn ধাতু দ্বারা $H^+$ আয়ন বিজারিত হয়ে $H_2$ গ্যাসে পরিণত এবং Zn ধাতু $Zn^{2+}$ আয়নে পরিণত হবে। তাই Zn ধাতুর পাত্রে লঘু $H_2SO_4$ রাখা যাবে না।

অপরদিকে, $E^0_{H^+ \frac{1}{2}H_2} < E^0_{Cu^{2+}/Cu}$ হওয়ায় $H^+$ আয়নকে Cu ধাতু বিজারিত করতে পারে না। অর্থাৎ $H^+$ আয়ন দ্বারা Cu জারিত হয় না। তাই Cu ধাতু লঘু $H_2SO_4$ দ্রবণে রিডক্স বিক্রিয়া মুক্ত থাকে। সুতরাং লঘু $H_2SO_4$ দ্রবণকে Cu ধাতুর পাত্রে রাখা যায়।

**সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৭ :** লোহার পাত্রে $CuSO_4$ দ্রবণ রাখা যাবে কি?

অথবা, $Fe(s) + CuSO_4(aq) \longrightarrow FeSO_4(aq) + Cu(s)$, এ বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটবে কি? দেয়া আছে, $E^0_{Fe^{2+}/Fe} = -0.44$ V, $E^0_{Cu^{2+}/Cu} = +0.34$ V

**সমাধান :** $Fe(s) + CuSO_4(aq) \longrightarrow FeSO_4(aq) + Cu(s)$ সমীকরণভিত্তিক গ্যালভানিক কোষের কোষ ডায়াগ্রাম বা কোষ সংকেত হলো :

$$\underset{\text{অ্যানোড}}{Fe(s)/FeSO_4(aq)} \parallel \underset{\text{ক্যাথোড}}{CuSO_4(aq)/Cu(s)}$$

**MCQ-4.16: সক্রিয়তা সিরিজে কোনটির অবস্থান ওপরে?** [চ. বো. ২০১৭]
(ক) Pb (খ) Cu (গ) Ag (ঘ) Ca

ঐ কোষটির emf হলো, $E^0_{cell} = E^0_{Cu^{2+}/Cu} - E^0_{Fe^{2+}/Fe} = 0.34\text{ V} - (-0.44)\text{ V} = +0.78$ V

যেহেতু কোষটির emf মান ধনাত্মক হয়েছে, তাই প্রদত্ত বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটবে। এজন্য লোহার পাত্রে $CuSO_4$ দ্রবণ সংরক্ষণ করা যাবে না।

**সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৮: কোষের emf গণনা ও কোষ বিক্রিয়ার স্বতঃস্ফূর্ততা নির্ণয় :**

নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সমস্যা সমাধান করো : [অভিন্ন বোর্ড-২০১৮]

উদ্দীপক : (i) $E^0_{A^{2+}/A} = +0.20$ V, (ii) $E^0_{B^{2+}/B} = -0.62$ V, (iii) $E^0_{x^{2+}/x} = -0.80$ V

(ক) উদ্দীপকের (i) ও (ii) নং অর্ধকোষ (বা তড়িৎদ্বার) সহকারে সৃষ্ট কোষের তড়িচ্চালক বল (বা emf) গণনা করো।

(খ) উদ্দীপকের $B^{2+}$ আয়নের দ্রবণকে 'A' এবং 'X' ধাতু নির্মিত কোনো পাত্রে সংরক্ষণ করা যাবে কীনা; তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

**সমাধান (ক) : কোষের emf গণনা :**

প্রশ্নমতে, (i) নং তড়িৎদ্বারের প্রমাণ বিজারণ বিভব, $E^0_{A^{2+}/A} = +0.20$ V

এবং (ii) নং তড়িৎদ্বারের প্রমাণ বিজারণ বিভব, $E^0_{B^{2+}/B} = -0.62$ V

এক্ষেত্রে কোষটির অ্যানোড হবে, $E^0_{B^{2+}/B} = -0.62$ V এবং ক্যাথোড হবে, $E^0_{A^{2+}/A} = +0.20$ V

∴ কোষ বিক্রিয়া হলো : $B(s) + A^{2+}(aq) \longrightarrow B^{2+}(aq) + A(s)$

এবং কোষ ডায়াগ্রাম বা কোষ সংকেত হলো : $B(s)/B^{2+}(aq) \,||\, A^{2+}(aq)/A(s)$

∴ কোষটির তড়িচ্চালক বল বা, emf হলো,

$E^0_{cell} \equiv E^0_{A^{2+}/A} - E^0_{B^{2+}/B} = [0.20 - (-0.62)]\ V = (0.20 + 0.62)V = 0.82$ V **(উত্তর)**

**সমাধান (খ) :** প্রশ্নমতে, তড়িৎদ্বার তিনটির বিজারণ বিভবের ক্রম বৃদ্ধি হলো :

$E^0_{x^{2+}/x} = -0.80$ V, $E^0_{B^{2+}/B} = -0.62$ V, $E^0_{A^{2+}/A} = +0.20$ V

∴ ঐ ধাতুসমূহের সক্রিয়তা ক্রম হলো, X (s) > B (s) > A (s)

উদ্দীপক মতে পাত্রটি হলো 'A' ও 'X' ধাতুর তৈরি অর্থাৎ A ও X এর সংকর ধাতুর পাত্র। সুতরাং প্রদত্ত তিনটি ধাতুর সক্রিয়তার ক্রম অনুসারে $B^{2+}$ আয়নের দ্রবণে অধিক সক্রিয় ধাতু X পরমাণু ইলেকট্রন প্রদান করে নিজে জারিত হয়ে $X^{2+}$ আয়নে পরিণত হবে এবং $B^{2+}$ আয়ন বিজারিত হয়ে B ধাতু উৎপন্ন হবে। সুতরাং X ধাতুটি ক্ষয় হয়ে যাবে।

∴ **কোষ বিক্রিয়া :** $X(s) + B^{2+}(aq) \rightarrow X^{2+}(aq) + B(s)$

সুতরাং উপরোক্ত স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়াটি ঘটবে। এক্ষেত্রে সৃষ্ট কোষের তড়িচ্চালক বল (বা, emf) হবে নিম্নরূপ :

$E^0_{cell} \equiv E^0_{B^{2+}/B} - E^0_{x^{2+}/x} = [-0.62 - (-0.80)]\ V = (-0.62 + 0.80)\ V = +0.18$ V

কোষের emf মান ধনাত্মক (+ 0.18 V) হওয়ায় উপরোক্ত কোষ বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটবে। তাই $B^{2+}$ আয়নের দ্রবণকে X ও A ধাতু নির্মিত বা এদের সংকর ধাতুর পাত্রে সংরক্ষণ করা যাবে না। এ সত্যটি গাণিতিকভাবে কোষ বিক্রিয়ার স্বতঃস্ফূর্ততা দ্বারা নিরূপিত বা নির্ণয় করা হলো।

## ৪.৮.১ সিস্টেমের কোনো প্রক্রিয়ার স্বতঃস্ফূর্ততার সাথে গিব্‌স-এর মুক্ত শক্তি হ্রাসের সম্পর্ক

### Relation between Spontaneous Process & Decrease of Gibbs Free Energy

রাসায়নিক তাপগতিবিজ্ঞানে তড়িৎ রাসায়নিক কোষের অভ্যন্তরের বিক্রিয়ক পদার্থসমূহ ও তাদের দ্বারা দখল করা স্থানটিকে বিক্রিয়া **সিস্টেম** (System) এবং অবশিষ্ট অংশকে **পরিবেশ** (surroundings) বলে।

∴ সিস্টেম + পরিবেশ = বিশ্ব (universe)

যেকোনো সিস্টেমের মোট শক্তির দুটি অংশ আছে। একটি অংশ সিস্টেমের মুক্ত-শক্তি (free energy), যাকে কার্যে পরিণত করা যায়।

অপর অংশটি হলো **অলভ্য বা অপ্রাপ্য শক্তি** (unavail energy), যাকে কার্যে পরিণত করা যায় না। এ অপ্রাপ্য শক্তি এনট্রপি' (entropy) নামক অবস্থা নির্ভর অপেক্ষক (State function) দ্বারা পরিমাপ করা হয়।

**এনট্রপির সংজ্ঞা :** কোনো সিস্টেমের কণাগুলোর (অণু, পরমাণু, আয়ন ইত্যাদির) বিশৃঙ্খলতার মাত্রা পরিমাপ করার জন্য যে 'তাপ গতীয় অপেক্ষক' বিবেচনা করা হয়, তাকে ঐ সিস্টেমের এনট্রপি বলে। এনট্রপিকে S অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

**গিব্‌সের মুক্ত-শক্তির সংজ্ঞা :** কোনো সিস্টেমে স্থির চাপ ও তাপমাত্রায় সংঘটিত কোনো প্রক্রিয়ায় যে তাপ গতীয় অপেক্ষকের মান হ্রাসের দ্বারা সিস্টেমটি কী পরিমাণ ব্যবহারযোগ্য কাজ (usable work) বা নিট কাজ (net work) সম্পাদন করতে পারে তা নির্ণয় করা যায়, সেই তাপ গতীয় অপেক্ষকটিকে **গিব্‌সের মুক্ত-শক্তি** বলে। গিব্‌স মুক্ত-শক্তিকে 'G' অক্ষর দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

**গিব্‌সের মুক্ত-শক্তির ব্যবহার :** স্থির চাপ ও তাপমাত্রায় সংঘটিত কোনো **প্রক্রিয়ায় স্বতঃস্ফূর্ততা নির্ণয়ের জন্য গিব্‌স মুক্ত-শক্তি ব্যবহৃত হয়।** স্থির চাপে, TK তাপমাত্রায় সিস্টেমের মোট শক্তি হলো এনথালপি (H) এর সমান। তখন এনট্রপির মান S হলে, সিস্টেমের অলভ্য শক্তির মান হয় $T \times S$।

∴ সিস্টেমের মোট শক্তি H = G (মুক্ত-শক্তি) + TS (সিস্টেমের অলভ্য শক্তি)

∴ H = G + TS; বা, G = H – TS. বা, $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

এ সমীকরণটি হলো রাসায়নিক তাপ গতিবিজ্ঞানে ব্যবহৃত কোনো সিস্টেমের কোনো প্রক্রিয়ায় মুক্ত-শক্তি পরিবর্তনের গাণিতিক রূপ। এটিকে গিবস সমীকরণ বলে।

**(ক) কোষ বিক্রিয়ার স্বতঃস্ফূর্ততার সাথে গিব্‌সের মুক্ত-শক্তি হ্রাসের সম্পর্ক :**

কোনো গ্যালভানিক কোষ বা তড়িৎ-রাসায়নিক কোষে জারণ-বিজারণ বিক্রিয়ার ফলে তড়িৎ শক্তি উৎপন্ন হয়। কোষের উভয় তড়িৎদ্বারকে পরিবাহীর মাধ্যমে যুক্ত করলে উচ্চ তড়িৎদ্বার-বিভবযুক্ত ক্যাথোড থেকে অ্যানোডের দিকে পরিবাহীর মাধ্যমে তড়িতের প্রবাহ ঘটে। তখন তড়িৎ কোষটি বৈদ্যুতিক কাজ সম্পাদন করে।

আবার কোনো তড়িৎ রাসায়নিক কোষের ক্ষেত্রে ঐ কোষটি থেকে তড়িৎ প্রবাহজনিত যে পরিমাণ বৈদ্যুতিক কাজ সম্পন্ন হয়, তা হলো ঐ তড়িৎ কোষ থেকে প্রাপ্ত সর্বাধিক কাজের পরিমাণ ($W_{max}$)।

ধরা যাক, কোষটির তড়িচ্চালক বল = $E_{cell}$ ভোল্ট এবং কোষের রিডক্স বিক্রিয়ায় n সংখ্যক ইলেকট্রন প্রয়োজন হয়। ফলে পরিবাহীতে n ফ্যারাডে (nF) তড়িৎ প্রবাহিত হয়। সুতরাং

তড়িৎ প্রবাহজনিত কোষের সর্বাধিক কাজ ($W_{max}$) = প্রবাহিত তড়িতের পরিমাণ × কোষের তড়িচ্চালক বল।

∴ $W_{max} = nF \times E_{cell}$ ভোল্ট-কুলম্ব = $nF\ E_{cell}$ জুল [∵ 1J = 1VC]

আবার তাপগতিবিদ্যা অনুসারে কোনো তড়িৎ রাসায়নিক কোষে বিক্রিয়ার ফলে যে মুক্ত-শক্তির হ্রাস ঘটে ($-\Delta G$), তা উৎপন্ন তড়িৎ শক্তি তথা তড়িৎ প্রবাহজনিত কাজের সমান হয়। অর্থাৎ

মুক্ত-শক্তির হ্রাস ($-\Delta G$) = বৈদ্যুতিক কাজ ($W_{max}$); বা, $-\Delta G = W_{max} = nF\ E_{cell}$ J

∴ মুক্ত-শক্তির হ্রাস, $-\Delta G = nF\ E_{cell}$ J

যদি কোষ বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী উপাদানগুলো প্রমাণ অবস্থায় থাকে, তবে উপরোক্ত সমীকরণটি হবে,

$-\Delta G^\circ = n\ F\ E^0_{cell}$ J

**$\Delta G^\circ = -nFE^0_{cell}$ সমীকরণের তাৎপর্য :** (তাপগতিবিদ্যা অনুসারে) :

(১) $\Delta G^\circ$ = ঋণাত্মক (– ve) হলে, তখন কোষ বিক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্ত হবে।
এ অবস্থায় $E_{cell}$ এর মান ধনাত্মক (+ ve) হতে হবে।

(২) $\Delta G^\circ$ = ধনাত্মক (+ v) হলে, তখন কোষ বিক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্ত হবে না।
এ অবস্থায় $E_{cell}$ এর ঋণাত্মক (– ve) হতে হবে।

(৩) $\Delta G^\circ = 0$ হলে, $E^0_{cell} = 0$ হয়, তখন কোষটির বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় আছে এবং কোষটি মৃত (dead)।

**সমাধানকৃত-৪.২৯ : কোষের emf থেকে কোষ বিক্রিয়ায় 'মুক্ত-শক্তি হ্রাস' গণনাভিত্তিক :**

নিম্নোক্ত রাসায়নিক বিক্রিয়াভিত্তিক গ্যালভানিক কোষের প্রমাণ কোষ বিভব (emf) 25°-এ 1.10V হয়। এ কোষের রাসায়নিক বিক্রিয়ায় প্রমাণ মুক্ত-শক্তির পরিবর্তন গণনা করো :

$$Zn(s) + Cu^{2+}(aq) \longrightarrow Zn^{2+}(aq) + Cu(s)$$

**সমাধান :** কোষের রাসায়নিক বিক্রিয়া প্রমাণ মুক্ত-শক্তির পরিবর্তন, $\Delta G^\circ$ গণনার জন্য ব্যবহৃত হয় : $\Delta G^\circ = nFE^\circ$ সমীকরণ। এক্ষেত্রে n = কোষ বিক্রিয়ায় সমতাযুক্ত সমীকরণ মতে স্থানান্তরিত ইলেকট্রনের মোট মোল সংখ্যা; F = 96, 500C. $(mol.e^-)^{-1}$ এবং প্রদত্ত $E^\circ$ = 1.10 V. প্রদত্ত কোষ বিক্রিয়ায় 2 mol. ইলেকট্রন Zn থেকে $Cu^{2+}$ আয়নে স্থানান্তরিত হয়েছে, তাই n = 2 $mol.e^-$.

∴ $\Delta G^\circ = -nFE^\circ = -(2\ mole^-).96500\ C\ (mol.e^-)^{-1} \times 1.10\ V = 212,300\ C.V$
∴ $\Delta G^\circ = -212.3\ kJ$ *[Here 1C.V = 1 J]*

**শিক্ষার্থীর কাজ-৪.৮ : স্বতঃস্ফূর্ত কোষ বিক্রিয়াভিত্তিক গণনা :**

**সমস্যা-৪.২৯ :** প্রমাণ অবস্থায় নিম্নোক্ত বিক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটবে কীনা, তা $E^0$ এর মান দ্বারা প্রমাণ করো।

$3\,Ni\,(s) + 2Al^{3+}\,(aq) \longrightarrow 3Ni^{2+}\,(aq) + 2Al\,(s)$ দেয়া আছে, $E^0_{Ni^{2+}/Ni} = 0.25V$, $E^0_{Al/Al^{3+}} = +1.66$

[উ: $E^0_{cell} = -1.41$ V; তাই বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্ত হবে না।]

**সমস্যা-৪.৩০ :** $Zn^{2+}/Zn$ এবং $Cu^{2+}/Cu$ এর বিজারণ বিভব যথাক্রমে – 0.76 V ও + 0.34 V হলে নিচের বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটবে কীনা যুক্তি দেখাও।

$Cu\,(s) + Zn^{2+}\,(aq) \longrightarrow Cu^{2+}\,(aq) + Zn\,(s)$ [উ: $E^0_{cell} = -1.1$ V, স্বতঃস্ফূর্ত হবে না।]

**সমস্যা-৪.৩১(ক) :** জিঙ্ক ধাতুর পাত্রে $FeSO_4$ দ্রবণ রাখা যাবে কীনা; তা ব্যাখ্যা কর।

এক্ষেত্রে $Zn/Zn^{2+} = +0.76V$ এবং $Fe/Fe^{2+} = +0.44$ V [উ: $E^0_{cell} = +0.32$ V, তাই রাখা যাবে না।]

**সমস্যা- ৪.৩১(খ) : জিঙ্ক ধাতুর পাত্রে $NiSO_4$ এর দ্রবণকে দীর্ঘকাল সংরক্ষণ করা যাবে কীনা, তা গাণিতিকভাবে মূল্যায়ন করো।** $E^0_{Ni^{2+}/Ni} = -0.25$ V; $E_{Zn^{2+}/Zn} = -0.76$ V] [য. বো. ২০১৬; সি. বো. ২০১৬]

[উ: $E_{cell} = +0.51$V, তাই রাখা যাবে না।]

**সমস্যা- ৪.৩১(গ) : তামা বা কপার ধাতুর পাত্রে $MgSO_4$ দ্রবণ রাখা যাবে কি? যুক্তি দাও।**

দেয়া আছে, $E^0_{red}$, $Cu^{2+}/Cu = +0.34$ V; $E^0_{red}$, $Mg^{2+}/Mg = -2.3$ V

[ **উত্তর সংকেত :** কপার ধাতুর বিজারণ বিভব ম্যাগনেসিয়ামের চেয়ে বেশি অর্থাৎ কপার ধাতুর জারণ বিভব Mg ধাতুর চেয়ে কম; তাই Cu পরমাণু থেকে ইলেকট্রন $Mg^{2+}$ আয়নে যাবে না। সুতরাং কোনো স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়া ঘটবে না। এক্ষেত্রে $E_{কোষ} = -2.64$ V। তাই স্বতঃস্ফূর্ত কোষ বিক্রিয়া ঘটবে না। তাই কপার ধাতুর পাত্রে $MgSO_4$ দ্রবণ রাখা যাবে।]

**সমস্যা-৪.৩১(ঘ) : কপার ধাতুর পাত্রে $FeSO_4$ দ্রবণ রাখা যাবে কি?**

**দেয়া আছে, $E^0_{Cu/Cu^{2+}} = -0.34$ V এবং $E^0_{Fe/Fe^{2+}} = +0.44$ V**

[**উত্তর সংকেত :** ৪.৩১(গ) নং প্রশ্নের যুক্তির মতো।]

**সমস্যা-৪.৩১(ঙ) :** কপার ধাতুর পাত্রে ফেরাস সালফেট দ্রবণ রাখা যাবে কীনা; তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। এক্ষেত্রে, $E^0_{Fe^{2+}/Fe} = -0.44$V; $E^0_{Cu^{2+}/Cu} = +0.34$V [মাদ্রাসা বোর্ড-২০১৮]

[উ: যাবে, কারণ, $E^0_{cell} = -0.78$ V]

**সমস্যা-৪.৩১(চ) :** দেয়া আছে, $E^0_{A^{2+}/A} = +0.20$ V; $E^0_{B^{2+}/B} = -0.62$ V; $E^0_{x^{2+}/x} = -80$ V)। এক্ষেত্রে $B^{2+}$ আয়নের দ্রবণকে 'A' ও 'X' ধাতুদ্বয়ের তৈরি কোনো পাত্রে সংরক্ষণ করা যাবে কীনা; তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। [সমাধানকৃত সমস্যা-৪.২৭ দেখো। [অভিন্ন বোর্ড-২০১৮]

[উ: যাবে না, কারণ, X ধাতু B ধাতুর চেয়ে অধিক সক্রিয়; $E^0_{cell} = +0.18$ V]

**সমস্যা- ৪.৩১(ছ) : $Zn\,(s) + Cu^{2+}\,(aq) \longrightarrow Zn^{2+}\,(aq) + Cu\,(s)$; এ বিক্রিয়াটি স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটবে কি?**

দেয়া আছে, $Zn^{2+}/Zn$ এবং $Cu^{2+}/Cu$ তড়িৎদ্বারের বিজারণ বিভব হলো যথাক্রমে – 0.76 V এবং + 0.34 V

[উ: $E_{cell} = +1.1$V, বিক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্ত ঘটবে।]

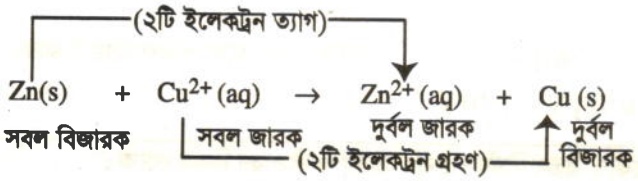
**সমস্যা-৪.৩১ (জ) :** নিম্নোক্ত রাসায়নিক বিক্রিয়াভিত্তিক কোষের প্রমাণ কোষ বিভব (emf) 25°C-এ 0.92V হয়। এ কোষ বিক্রিয়াকালে প্রমাণ মুক্ত-শক্তির পরিবর্তন কত হবে?

$Al\,(s) + Cr^{3+}\,(aq) \longrightarrow Al^{3+}\,(aq) + Cr\,(s)$ [**Ans.** –266.34 kJ]

## ৪.৯ Red-Ox বিক্রিয়া, কোষ বিভব ও প্রমাণ কোষ বিভব

### Red-Ox Reaction, Cell Potentials & Standard Cell Potentials

**(১) রিডক্স (Red-Ox) বিক্রিয়া :** প্রত্যেক রিডক্স বিক্রিয়া হলো দু'টি অর্ধ-বিক্রিয়ার সমষ্টি। এর প্রত্যেক পার্শ্বে একটি বিজারক ও একটি জারক উপাদান থাকে। যেমন, জিঙ্ক-কপার বিক্রিয়ায় Zn ও Cu উভয়ই হলো বিজারক এবং $Cu^{2+}$ আয়ন ও $Zn^{2+}$ আয়ন হলো উভয় জারক। সবল বিজারক ও সবল জারক স্বতঃস্ফূর্তভাবে পরস্পর বিক্রিয়ায় যথাক্রমে দুর্বল জারক ও দুর্বল বিজারকে পরিণত হয়। যেমন—




**জেনে নাও :** এক্ষেত্রে এসিড-ক্ষারক কেমিস্ট্রির মিল রয়েছে। সবল এসিড ও সবল ক্ষারক স্বতঃস্ফূর্তভাবে বিক্রিয়ায় যথাক্রমে দুর্বল ক্ষারক ও দুর্বল এসিড তৈরি করে। তখন কনজুগেট বা অনুবন্ধী অম্ল-ক্ষারকের মধ্যে একটি প্রোটনের পার্থক্য থাকে। তখন এসিডে বেশি প্রোটন থাকে; কিন্তু ক্ষারকে প্রোটন থাকে না। Red-Ox যুগলের বেলায় যেমন Zn ও $Zn^{2+}$ আয়নের ক্ষেত্রেও এক বা একাধিক ইলেকট্রনের পার্থক্য থাকে। তখন বিজারক উপাদানে (Zn) বেশি ইলেকট্রন থাকে; কিন্তু জারিত উপাদানে ($Zn^{2+}$) তা থাকে না। এসিড-ক্ষারক বিক্রিয়ায়, $K_a$ ও $K_b$ এর মান জেনে এসিড-ক্ষারকের সবলতা তুলনা করা হয়। অনুরূপভাবে Red-Ox বিক্রিয়ায় বিজারণ বিভব $E^o$ এর মান জেনে জারক ও বিজারক তুলনা করা হয়।

সারণি-৪.৪-এ দেয়া তড়িৎদ্বারসমূহের প্রমাণ বিজারণ বিভব ($E^o$) এর মান থেকে জানা যায়, অধিক সবল জারক (সারণির বাম দিকের ক্যাটায়ন) এর অর্ধ-বিক্রিয়ার $E^o$ এর মান তুলনামূলক বেশি (বেশি ধনাত্মক অথবা কম ঋণাত্মক) থাকে। অপরদিকে, অধিক সবল বিজারক (সারণির ডান দিকের ধাতু) এর অর্ধ-বিক্রিয়ার $E^o$ এর মান তুলনামূলক কম (কম ধনাত্মক অথবা বেশি ঋণাত্মক) থাকে। সুতরাং 'প্রমাণ বিজারণ বিভব'-এর সারণি-৪.৪ অনুসারে, কোনো বিজারক (ডান দিকের) ও এর নিচে স্থান প্রাপ্ত জারক (বাম দিকে) এর মধ্যে স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়া ঘটবে ($E^o_{cell} > 0$)। অপর কথায়,

তড়িৎ কোষে স্বতঃস্ফূর্ত বিক্রিয়ার জন্য অধিক সবল বিজারক (অ্যানোডরূপে) নিতে হবে সারণির ডানদিকে ওপর থেকে এবং জারক (ক্যাথোডরূপে) নিতে হবে সারণির বামদিকে নিচের থেকে। যেমন, Zn (ডান দিকে ওপরে) ও $Cu^{2+}$ আয়ন (বাম দিকে নিচে) এর মধ্যে স্বতঃস্ফূর্ত কোষ বিক্রিয়া ঘটবে।

**(২) কোষ বিভব : কোষ বিভবের সংজ্ঞা :** কোনো তড়িৎ কোষে অ্যানোড বা ঋণাত্মক ইলেকট্রোড থেকে যে বিকর্ষণ বল দ্বারা ঋণাত্মক ইলেকট্রনসমূহ বিকর্ষিত হয়ে ক্যাথোডে বা ধনাত্মক ইলেকট্রোডের দিকে ধাবিত হয়, তাকে ঐ **কোষের বিভব বা emf** বলে। গাণিতিকভাবে, কোষ বিভব বা কোষের emf ($E_{cell}$) হলো অ্যানোডের জারণ বিভব ও ক্যাথোডের বিজারণ বিভব মানের সমষ্টির সমান।

$$\therefore E_{cell} = E_{anode\ (ox)} + E_{cathode\ (red)}$$
$$= E_{cathode\ (red)} - E_{anode\ (red)}$$

কোষের emf তড়িৎদ্বারের ধাতুর (i) প্রকৃতি, (ii) দ্রবণে আয়নের ঘনমাত্রা ও (iii) দ্রবণের তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে। তাই তড়িৎদ্বারে 1.0 M দ্রবণ ও তাপমাত্রা 25°C স্থির রেখে তড়িৎদ্বারসমূহের প্রমাণ বিজারণ বিভব নির্ণয় করা হয়েছে (সারণি-৪.৪)।

**(৩) প্রমাণ কোষ বিভব : প্রমাণ কোষ বিভবের সংজ্ঞা :** প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভববিশিষ্ট দুটি অর্ধকোষ সমন্বয়ে তৈরি করা তড়িৎ কোষের ক্যাথোড ও অ্যানোডের প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিজারণ বিভবের পার্থক্যের মানকে তড়িৎ কোষটির **প্রমাণ কোষ বিভব বলে।** **প্রমাণ তড়িৎদ্বার বিভব** বলতে প্রতিটি অর্ধকোষে 25°C তাপমাত্রায় ও 1 M ঘনমাত্রার তড়িৎ বিশ্লেষ্যে থাকা তড়িৎদ্বারে সৃষ্ট তড়িৎ বিভবকে বোঝায়। প্রমাণ কোষ বিভব ($E^o_{cell}$)-কে গাণিতিকভাবে নিম্ন সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এক্ষেত্রে উভয় তড়িৎদ্বারের **প্রমাণ বিজারণ বিভব** ব্যবহৃত হয়।

$$E^0_{cell} = E^0_{cathode\,(red)} - E^0_{anode\,(red)}$$

জিঙ্ক-কপার তড়িৎ কোষের বিভব হবে নিম্নরূপ :

$$E^0_{cell} = E^0_{Cu^{2+}/Cu} - E^0_{Zn^{2+}/Zn}$$

$= [0.34 - (-0.76)]$ V    [ সারণি-৪.৪ থেকে তড়িৎদ্বারের বিজারণ বিভব মান নেয়া ]

$= [0.34 + 0.76]$ V $= 1.10$ V

**শিক্ষার্থীর কাজ-৪.৯ : কোষ বিভব নির্ণয় : প্রমাণ জারণ ও বিজারণ বিভব থেকে :**

**সমস্যা-৪.৩২ :** $Zn/Zn^{2+}$ এবং $Ag/Ag^+$ তড়িৎদ্বারের প্রমাণ জারণ বিভব + 0.76 V এবং – 0.80 V। তড়িৎ কোষটির বিভব মান গণনা করো। [উঃ 1.56 V]

**সমস্যা-৪.৩৩ :** নিচের কোষটির প্রমাণ কোষ বিভব 0.92 V এবং $Al^{3+}/Al$ এর প্রমাণ বিজারণ বিভব –1.66 V হলে $Cr^{3+}/Cr$ এর প্রমাণ বিজারণ বিভব কত হবে? $Al\,(s)/Al^{3+}\,(aq)$ । $Cr^{3+}\,(aq)/Cr\,(s)$ । [উঃ – 0.74 V]

**সমস্যা-৪.৩৪ :** নিচের রাসায়নিক কোষটির কোষ বিভব গণনা করো।

$Mg\,(s)/Mg^{2+}\,(aq)$ । $Cu^{2+}(aq)/Cu\,(s)$

এক্ষেত্রে $E_{Mg^{2+}/Mg} = -2.36$ V এবং $E_{Cu^{2+}/Cu} = +0.34$ V [উঃ 2.7 V]

**সমস্যা-৪.৩৫ :** নিচে দেয়া কোষ ডায়াগ্রাম মতে কোষটির emf বের করো। [সি. বো. ২০১৫]

$A/A^{2+} \| B^{2+}/B;\ E^o_{A/A^{2+}} = +0.80$ V ; $E^o_{B/B^{2+}} = +0.40$ V [উঃ 0.40 V]

**জেনে নাও :** বিদ্যুৎ বা তড়িৎ শক্তি দ্বারা কাজ (work) সম্পাদিত হয়। কোষের এ বিদ্যুৎ শক্তি উভয় ইলেকট্রোডের তড়িৎ বিভব পার্থক্যের সমান। একে কোষের ভোল্টেজ বা emf বলা হয়।

নেগেটিভ ইলেকট্রোড থেকে ইলেকট্রন স্বতঃস্ফূর্তভাবে পজিটিভ ইলেকট্রোডে প্রবাহিত হয় অর্থাৎ ইলেকট্রন প্রবাহ অধিকতর পজিটিভ তড়িৎ বিভবের ইলেকট্রোডমুখী হয়। তাই কোষ বিক্রিয়ার স্বতঃস্ফূর্ততা হলো ধনাত্মক কোষ বিভব অর্থাৎ

$E_{cell} > 0$ বা ধনাত্মক হলে, তখন কোষ বিক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্ত হয়।

$E_{cell} = 0$ হলে, কোষ বিক্রিয়া সাম্যাবস্থায় রয়েছে; তখন ঐ কোষটি নিষ্ক্রিয় বা মৃত হয়েছে (The Cell is dead)।

$E_{cell} < 0$ বা ঋণাত্মক হলে, তখন কোষ বিক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্ত নয়।

SI এককে, তড়িৎ বিভব হলো ভোল্ট (V) এবং বৈদ্যুতিক চার্জের একক হলো কুলম্ব (C)। শক্তি বা কাজের সংজ্ঞা মতে, এক ভোল্ট বিভব পার্থক্যের দুটি ইলেকট্রোডের মধ্যে এক কুলম্ব বিদ্যুৎ চার্জ প্রবাহের ফলে এক জুল (J) শক্তি-মুক্ত হয় বা সমতুল্য কাজ সম্পাদিত হয়। তাই 1V = 1J/C, ∴ 1J (কাজ) = 1V(তড়িৎ বিভব) × 1C (তড়িৎ চার্জ)

কয়েকটি গ্যালভানিক বা ভোল্টায়িক কোষের কোষ বিভব হলো নিম্নরূপ :

(১) শুষ্ক কোষ বা ড্রাই ব্যাটারি (ফ্লাশ লাইট) : 1.50 V
(২) লেড-এসিড কার ব্যাটারি (6 সেল =12 V) : 2.00 V
(৩) ক্যালকুলেটর ব্যাটারি (মার্কারি) : 1.30 V
(৪) ক্যালকুলেটর সিলভার বাটন ব্যাটারি : 1.60 V
(৫) লিথিয়াম-আয়ন ল্যাপটপ ব্যাটারি : 3.70 V
(৬) হাইড্রোজেন ফুয়েল সেল ব্যাটারি : 1.23 V

# Q 8 A

* নিচের কোনটি অপরিবাহী ?

(ক) Al (খ) কাচ

(গ) Si (ঘ) তামা

* 1 F = কত ?

(ক) 96500 A (খ) 95600 C

(গ) 96500 C (ঘ) 95600 A

* কোনটি তড়িৎ বিশ্লেষ্য ?

(ক) NaCl দ্রবণ (খ) HF দ্রবণ

(গ) $CH_3COOH$ দ্রবণ (ঘ) $C_{12}H_{22}O_{11}$ দ্রবণ

নিচের কোনটি সঠিক ?

(ক) অ্যানোডে বিজারণ ঘটে

(খ) ক্যাথোডে জারণ ঘটে

(গ) ক্যাথোডে বিজারণ ঘটে

(ঘ) ক্যাথোড ব্যাটারির (+) প্রান্তের সাথে সংযুক্ত করা হয়।

প্র নিচের কোনটি অ্যানোড হিসেবে ব্যবহৃত হবে?

(ক) Zn (খ) Fe

(গ) Sn (ঘ) Cu