RMDAC

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

দ্বিতীয় অধ্যায়

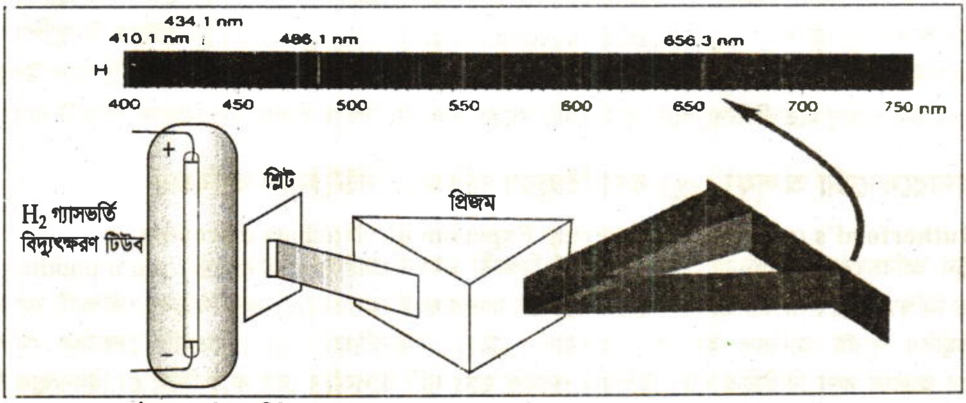
গুণগত রসায়ন

Qualitative Chemistry

ভূমিকা (Introduction)

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

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



শিখনফল এ অধ্যায় পাঠশেষে শিক্ষার্থীরা—

১. পরমাণুর রাদারফোর্ড মডেল ও বোর মডেলের তুলনা করতে পারবে।
২. কোয়ান্টাম সংখ্যাভিত্তিক বিভিন্ন উপস্তর ও ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৩. কোয়ান্টাম উপস্তরের শক্তিক্রম ও আকৃতি বর্ণনা করতে পারবে।
৪. আউফবাউ, হুন্ড ও পাউলির বর্জন নীতি প্রয়োগ করে পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস করতে পারবে।
৫. তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৬. রেখা বর্ণালি দেখে বিভিন্ন মৌল শনাক্ত করতে পারবে।
৭. বোর পরমাণু মডেল অনুসারে H-পরমাণুর বর্ণালির ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৮. জাল পাসপোর্ট ও জাল ব্যাংক নোট শনাক্তকরণে UV রশ্মি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
৯. চিকিৎসাক্ষেত্রে IR রশ্মি প্রয়োগ করে ব্যথা-বেদনা উপশমের ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১০. রোগ নির্ণয়ের MRI পরীক্ষার মূলনীতি বর্ণনা করতে পারবে।

১১. **ব্যবহারিক :** শিখা পরীক্ষা দ্বারা বিভিন্ন ধাতব আয়ন শনাক্ত করতে পারবে।
১২. আয়নিক যৌগের দ্রাব্যতা, দ্রাব্যতা নীতি ও দ্রাব্যতা গুণফল ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৩. **ব্যবহারিক :** দ্রবণে আয়ন শনাক্ত করতে পারবে।
১৪. কেলাসন পদ্ধতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৫. **ব্যবহারিক :** কেলাসন পদ্ধতিতে অবিশুদ্ধ NaCl থেকে বিশুদ্ধ NaCl প্রস্তুতি।
১৬. পাতন, আংশিক পাতন, বাষ্প পাতন, ঊর্ধ্বপাতন ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৭. মিশ্রণ থেকে বিভিন্ন যৌগ পৃথকীকরণে দ্রাবক নিষ্কাশন পদ্ধতি বর্ণনা করতে পারবে।
১৮. ক্রোমাটোগ্রাফির প্রাথমিক ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
১৯. **ব্যবহারিক :** ক্রোমাটোগ্রাফির (চক/ফিল্টার পেপার) সাহায্যে মিশ্রণ থেকে যৌগ পৃথক করে দেখাতে পারবে।
২০. বাস্তবক্ষেত্রে গুণগত বিশ্লেষণের গুরুত্ব ব্যাখ্যা করতে পারবে।

২.১ পরমাণু মডেল ও প্রাথমিক ধারণা

Atom Model and Primary Concept

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

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

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

২.১.১ রাদারফোর্ডের আলফা (α) কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষা : নিউক্লিয়াস আবিষ্কার

Rutherford's α-Particle Scattering Experiment : Nucleus discovery

ইলেকট্রন আবিষ্কারের পর পরমাণুর গঠন সম্পর্কে বিজ্ঞানী থমসন প্রস্তাবিত (1898 খ্রিঃ) plum-pudding পরমাণু মডেল সম্বন্ধে নিশ্চিত প্রমাণ লাভের উদ্দেশ্যে ১৯১১ খ্রিষ্টাব্দে রাদারফোর্ড আলফা (α) কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষাটি করেন। তাঁর পরীক্ষার কিছুদিন পূর্বেই আবিষ্কৃত হয় যে, রেডিয়াম ($_{88}Ra$), ইউরেনিয়াম ($_{92}U$) ইত্যাদি তেজস্ক্রিয় মৌল থেকে স্বতঃস্ফূর্তভাবে আলফা কণা বিকিরিত হয়। **হিলিয়াম পরমাণু হতে দুটি ইলেকট্রন বের করে নিলে যে দ্বিধনাত্মক হিলিয়াম নিউক্লিয়াস অবশিষ্ট থাকে; তাকে α-কণা বলে।**

α-কণার বৈশিষ্ট্য : (১) যৌগিক কণা বা, কম্পোজিট কণার শ্রেণিভুক্ত এ α-কণার প্রচণ্ড গতি থাকে। (২) আলফা কণার গতি $1.0 \times 10^7 \ ms^{-1}$ হতে $2.5 \times 10^7 \ ms^{-1}$ পর্যন্ত হয়ে থাকে। (৩) α-কণাতে দুটি প্রোটন ও দুটি নিউট্রন থাকে ($^4_2He^{2+}$)। (৪) তাই α-কণার ভর সংখ্যা হয় 4।

রাদারফোর্ডের পরীক্ষায় ব্যবহৃত উপকরণ :

(১) তেজস্ক্রিয় মৌল থেকে নির্গত α-কণা, (২) পাতলা সোনার পাত (0.00004 cm পুরু), (৩) জিঙ্ক সালফাইড (ZnS) আবরণযুক্ত পর্দা।

দ্রষ্টব্য : আলফা কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষায় ব্যবহৃত সোনার পাত (gold foil) এর পুরুত্ব নিয়ে বিভিন্ন লেখকের ইংরেজি ও বাংলা ভাষা মাধ্যমে প্রকাশিত পুস্তকে ভিন্নতা দেখা যায়। এ পুস্তকে বর্তমান সংস্করণে "Encyclopedia Britannica" তথ্য অনুসরণে ঐ Gold foil এর thickness 0.00004 cm বা, 4.0×10^{-5} cm উল্লেখ করা হয়েছে। স্বর্ণের ductility মতে Gold foil তৈরিও ঐ সংখ্যা মানে সম্ভব।

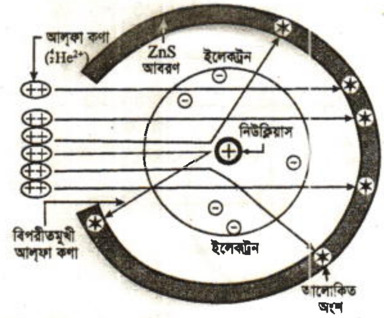
রাদারফোর্ডের পরীক্ষার বর্ণনা : বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড প্রচণ্ড শক্তিসম্পন্ন দ্বিধনাত্মক চার্জযুক্ত আলফা কণাসমূহকে একটি পাতলা সোনার পাতের (0.00004 cm) ওপর টার্গেট বা নিক্ষেপ করেন। সোনার পাতের চারদিকে ঘিরে জিঙ্ক সালফাইড (ZnS) আবরণযুক্ত একটি গোলাকার পর্দা রাখেন। ZnS আবরণীর ওপর পতিত α-কণা আলোকচ্ছটা সৃষ্টি করে।

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

পর্যবেক্ষণ : তিনি লক্ষ্য করেন যে, (১) প্রায় 99% আল্‌ফা কণাই এ সোনার পাত ভেদ করে সোজাসুজি চলে যায় এবং ZnS পর্দাকে আলোকছটায় দীপ্তিমান বা আলোকিত করে।

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

(৩) খুব কমসংখ্যক আল্‌ফা কণা (প্রায় ২০,০০০ এর মধ্যে ১টি) বিপরীত দিকে ফিরে আসে।



চিত্র-২.১ : রাদারফোর্ডের α–কণা (He^{2+}) বিচ্ছুরণ পরীক্ষা।

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

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

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

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

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

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

MAT-(20-21)

২.১.২ রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল
Rutherford's Atom Model

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

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

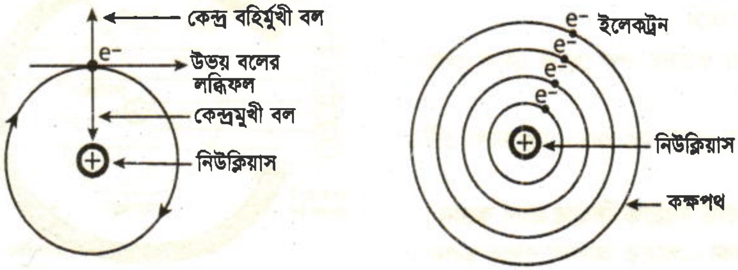
(১) গোলাকার পরমাণুর কেন্দ্রস্থলে একটি ধনাত্মক চার্জবিশিষ্ট ভারী বস্তু বিদ্যমান। এ ভারী বস্তুকে পরমাণুর কেন্দ্র বা **নিউক্লিয়াস** বলা হয়। পরমাণুর মোট আয়তনের তুলনায় নিউক্লিয়াসের আয়তন অতি নগণ্য। নিউক্লিয়াসে পরমাণুর সমস্ত ধনাত্মক চার্জ ও প্রায় সমস্ত ভর কেন্দ্রীভূত।

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

RMDAC

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

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



চিত্র-২.২ : রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল।

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

শিক্ষার্থীর কাজ-২.১ : রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলভিত্তিক :

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

প্রশ্ন-২.২ : আলফা (α) কণার উৎস ও বৈশিষ্ট্য কী?

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

২.১.৩ বোর পরমাণু মডেল

Bohr's Atom Model

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

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

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

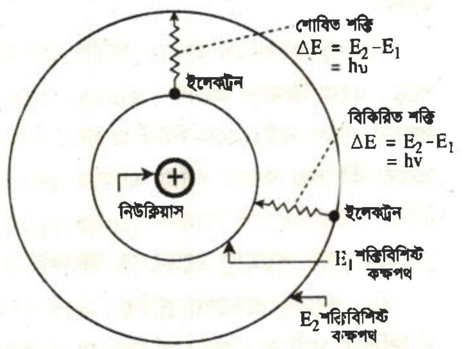
MAT-18-19

অর্থাৎ ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ, $mvr = \frac{n \times h}{2\pi}$ .... (১)

এখানে m = ইলেকট্রনের ভর, v = ইলেকট্রনের সরলরৈখিক গতিবেগ, r = কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, v/r = ω(ওমেগা) = কৌণিক বেগ, h = প্লাঙ্কের ধ্রুবক (6.626×10^{-34} J.s), n = অখণ্ড সংখ্যা অর্থাৎ 1, 2, 3, 4 প্রভৃতি পূর্ণ সংখ্যা।

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

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



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

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

$$\Delta E = (E_2 - E_1) = h\nu \quad \text{......... (২)}$$

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

জেনে নাও : কৌণিক ভরবেগ (ভেক্টর রাশি) ও সরলরৈখিক ভরবেগ (স্কেলার রাশি) নিম্নরূপ সম্পর্কযুক্ত :

(১) আবর্তনশীল বস্তুকণার কৌণিক ভরবেগ (L) এর মান এটির আবর্তনের কেন্দ্রবিন্দু থেকে দূরত্ব (r) ও ঐ বস্তুকণার রৈখিক ভরবেগ ($p = mv$) রাশির গুণফলের সমান। অর্থাৎ $L = p \times r = mvr$.

(২) অপর কথায়, কৌণিক ভরবেগ (L) হলো আবর্তনশীল বস্তু কণার কৌণিক বেগ [ω (ওমেগা)] ও ঐ বস্তুর moment of inertia (I) রাশির গুণফলের সমান। অর্থাৎ $L = I \times \omega$; এক্ষেত্রে, $I = mr^2$ এবং $\omega = v/r$।

$\therefore L = mr^2 \times v/r = mvr$. 'I' এর একক $kg.m^2s^{-1}$ এবং ω এর একক $radian.s^{-1}$.

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

বোর পরমাণু মডেলের সীমাবদ্ধতাগুলো নিম্নরূপ :

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

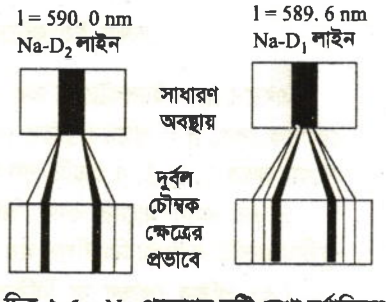
(২) এক শক্তিস্তর হতে অপর শক্তিস্তরে ইলেকট্রনের স্থানান্তর ঘটলে, বোর পরমাণু মডেল অনুসারে একটি রেখা বর্ণালি সৃষ্টি হওয়ার কথা। উচ্চক্ষমতার স্পেকট্রোস্কোপ দ্বারা পরীক্ষণ করলে দেখা যায়, প্রতিটি বর্ণালি রেখা কয়েকটি সূক্ষ্ম রেখা দিয়ে গঠিত। বোর মডেল এসব সূক্ষ্ম রেখার উৎপত্তির কারণ ব্যাখ্যা করতে পারে না।

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

* ২.৫.৪ রাদারফোর্ড পরমাণু মডেল ও বোর পরমাণু মডেলের মধ্যে তুলনা

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

(ক) উভয় পরমাণু মডেলের উপস্থাপনের মূল ধারণাসমূহ :

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

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

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

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

৩। **পরমাণু মডেলের স্থায়িত্ব :** রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলের স্থায়িত্বের কারণ দেখানো হয়েছে ধনাত্মক চার্জযুক্ত কেন্দ্রস্থ নিউক্লিয়াস ও ঋণাত্মক চার্জযুক্ত ইলেকট্রনের মধ্যস্থ স্থির বৈদ্যুতিক আকর্ষণজনিত কেন্দ্রমুখী বল এবং আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কেন্দ্রবহির্মুখী বলদ্বয়ের লব্ধিফল (resultant)। অপরদিকে,

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

(খ) উভয় পরমাণু মডেলের সীমাবদ্ধতা বা উত্থাপিত ত্রুটিসমূহ :

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

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

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

৩। রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলে **পরমাণু দ্বারা সৃষ্ট বর্ণালি** সম্বন্ধে কোনো ধারণা দেয়া হয়নি। কিন্তু বোর পরমাণু মডেলে বর্ণালি সৃষ্টির সুস্পষ্ট ধারণা দেয়া হয়েছে। বোর পরমাণু মডেলের স্বীকার্য মতে, ইলেকট্রন তাপ শক্তি শোষণ করে উদ্দীপিত অবস্থায় নিম্নশক্তিস্তর (E_1) হতে উচ্চশক্তিস্তরে (E_2) লাফিয়ে চলে এবং পরে ঐ শোষিত শক্তি বিকিরণ করে পূর্বের নিম্নশক্তিস্তরে লাফিয়ে চলে আসে। এরূপে **শক্তির শোষণ ও বিকিরণের ফলে যথাক্রমে কালো বর্ণের শোষণ বর্ণালি ও উজ্জ্বল বর্ণের বিচ্ছুরণ বর্ণালি সৃষ্টি করে।** তখন বিকিরিত শক্তি হবে, $\Delta E = (E_2 - E_1)$। প্লাঙ্কের সমীকরণ মতে, সে বিকিরণের স্পন্দন সংখ্যা ν হলে, তখন $\Delta E = (E_2 - E_1) = h\nu$ হয়। অর্থাৎ সৃষ্ট পারমাণবিক বর্ণালিতে ν (নিউ) কম্পাঙ্ক বা, স্পন্দন সংখ্যাবিশিষ্ট একটি রেখা দেখা যাবে [চিত্র ২.৬]।

চিত্র-২.৬ : হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালি

MCQ-2.2 : বোর পরমাণু মডেলের সাফল্য হলো—
(i) স্থির শক্তির অরবিটের ধারণা।
(ii) এক ইলেকট্রনবিশিষ্ট পরমাণু বা আয়নের বর্ণালি সৃষ্টির সুষ্ঠু ব্যাখ্যা।
(iii) H-পরমাণুর ব্যাসার্ধ নির্ণয়।
নিচের কোনটি সঠিক ?
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii
(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

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

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

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

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

ইলেকট্রন উচ্চশক্তিস্তর, $n_2 = 2, 3, 4, 5, 6, 7$ থেকে $n_1 = 1$ নিম্নশক্তিস্তরে আসলে **লাইমেন সিরিজ** সৃষ্টি হয়।
ইলেকট্রন উচ্চশক্তিস্তর, $n_2 = 3, 4, 5, 6, 7$ থেকে $n_1 = 2$ নিম্নশক্তিস্তরে আসলে **বামার সিরিজ** সৃষ্টি হয়।
ইলেকট্রন উচ্চশক্তিস্তর, $n_2 = 4, 5, 6, 7$ থেকে $n_1 = 3$ নিম্নশক্তিস্তরে আসলে **প্যাশ্চেন সিরিজ** সৃষ্টি হয়।
ইলেকট্রন উচ্চশক্তিস্তর, $n_2 = 5, 6, 7$ থেকে $n_1 = 4$ নিম্নশক্তিস্তরে আসলে **ব্রাকেট সিরিজ** সৃষ্টি হয়।
ইলেকট্রন উচ্চশক্তিস্তর, $n_2 = 6, 7$ থেকে $n_1 = 5$ নিম্নশক্তিস্তরে আসলে **ফুন্ড সিরিজ** সৃষ্টি হয়।

সুতরাং বোর পরমাণু মডেলের মূল ধারণা হলো **পরমাণুর প্রতিটি শক্তিস্তর পূর্ণসংখ্যার কোয়ান্টাম শক্তির গুণিতকরূপে থাকে।**

শিক্ষার্থীর কাজ-২.২ : পরমাণু মডেলভিত্তিক :

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

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

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

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

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

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

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

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

সমাধান : এক্ষেত্রে $n = 3, h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s, $\pi = \frac{22}{7}$

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

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

MCQ-2.3 : বর্ণালি সৃষ্টির বেলায় কোন সমীকরণটি প্রযোজ্য?

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

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

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

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

এক্ষেত্রে শক্তিস্তর, $n = M = 3$

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

ধ্রুবক, $\pi = \frac{22}{7}$

ইলেকট্রনের ভর, $m_e = 9.11 \times 10^{-28}$ g $= 9.11 \times 10^{-31}$ kg

শক্তিস্তরের ব্যাসার্ধ, $r = 3.6 \times 10^{-8}$ cm $= 3.6 \times 10^{-10}$ m

কৌণিক ভরবেগ, mvr = ?

ইলেকট্রনের বেগ, v = ?

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

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

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

ইলেকট্রনের গতিবেগ নির্ণয় :

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

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

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

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

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

এক্ষেত্রে

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

গতিবেগ, $v = 5.4452 \times 10^7$ cms^{-1} $= 5.4452 \times 10^5$ ms^{-1}

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

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

$$n = \frac{9.11 \times 10^{-31}\text{kg} \times 5.4452 \times 10^5 \text{ ms}^{-1} \times 8.5 \times 10^{-10} \text{ m} \times 2 \times 22}{6.626 \times 10^{-34} \text{ kgm}^2\text{s}^{-1} \times 7}$$

$= 399.99 \times 10^{-2}$
$= 3.99 = 4$ (পূর্ণ সংখ্যায়)
$\therefore$ ইলেকট্রনটি চতুর্থ কক্ষপথে $(n = 4)$ আবর্তনশীল ছিল।

ইলেকট্রনের ভর, $m_e = 9.11 \times 10^{-28}$ g
$= 9.11 \times 10^{-31}$kg
ধ্রুবক, $h = 6.626 \times 10^{-34}$J.s
$h = 6.626 \times 10^{-34}$ kgm^{2}s^{-1}
কক্ষপথ, n = ?

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

সমস্যা-২.১ : বোর পরমাণু মডেল মতে, ১ম শক্তিস্তরে H-পরমাণুর আবর্তনশীল ইলেকট্রনটির কৌণিক ভরবেগ নির্ণয় করো। [উঃ 1.054136×10^{-34} J.s] [চ. বো. ২০১৭]

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

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

সমস্যা-২.৩ : ইলেকট্রনের দুটি শক্তিস্তরের পার্থক্য 35.64×10^{-13} erg. হলে ঐ ইলেকট্রন উচ্চশক্তিস্তর থেকে নিম্নশক্তিস্তরে পতিত হলে বিকিরিত শক্তির ফ্রিক্যুয়েন্সি কত হবে? ($h = 6.626 \times 10^{-27}$ erg.s; 1 erg = 10^{-7} J)
$[(E_2 - E_1) = h\nu]$ [উঃ 5.3788×10^{14} s^{-1}]

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

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

সমস্যা-২.৪(ক) : কোনো পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরের ব্যাসার্ধ 3.6×10^{-8} cm হলে ঐ শক্তিস্তরে আবর্তনশীল একটি ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ ও গতিবেগ বের করো। [ইলেকট্রনের ভর, $m_e = 9.11 \times 10^{-28}$ g]

[উঃ কৌণিক ভরবেগ = 3.1624×10^{-34} J.s $v = 9.642667 \times 10^{5}$ ms^{-1}]

সমস্যা-২.৪(খ) : হাইড্রোজেন পরমাণুর N কক্ষপথের ব্যাসার্ধ 8.5×10^{-8} cm হলে আবর্তনরত ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ ও গতিবেগ কত হবে? [ইলেকট্রনের ভর, $m_e = 9.11 \times 10^{-28}$ g]

[উঃ কৌণিক ভরবেগ = 4.2165×10^{-34} J.s ; গতিবেগ $v = 5.4452 \times 10^{5}$ ms^{-1}]

সমস্যা-২.৪(গ) : হাইড্রোজেন পরমাণুর কোনো একটি কক্ষপথে ইলেকট্রনের গতিবেগ 9.64×10^{7} cms^{-1} এবং কক্ষপথটির ব্যাসার্ধ হলো 3.6×10^{-8} cm । কোন্ কক্ষপথে ইলেকট্রনটি আবর্তনশীল ছিল তা গণনা করো।

[ইলেকট্রনের ভর, $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg] [উঃ তৃতীয় শক্তিস্তর, n = 3]

অধিক জেনে নাও : For Advanced Students

২.১.৫ বোর পরমাণু তত্ত্বের প্রয়োগ

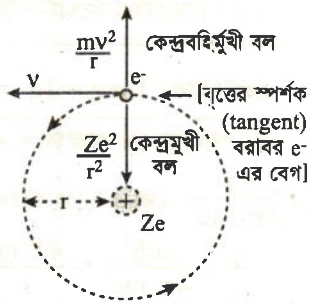
Application of Bohr's Atom Theory

বোরের H পরমাণু মডেলের ধারণা মতে, পরমাণুর প্রতিটি কক্ষপথ নির্দিষ্ট ও বিভিন্ন মানের শক্তিযুক্ত (quantization of energy) এবং এসব স্থায়ী কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনও সমশক্তিসম্পন্ন থাকে। এ ধারণার সাথে পদার্থবিদ্যার বস্তুকণার গতিতত্ত্ব সূত্রসমূহ সমন্বয় করে বোর সার্থকভাবে H পরমাণু ও H পরমাণু সদৃশ আয়ন অর্থাৎ নিউক্লিয়াস ও ১টি মাত্র ইলেকট্রন যুক্ত আয়ন যেমন He^{+} বা, Li^{2+} এর জন্য প্রযোজ্য নিম্নোক্ত গাণিতিক সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করেন।

(১) n-তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ (r_n) নির্ণয়, (২) n-তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের বেগ (v_n) নির্ণয় ও (৩) n-তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের মোট শক্তি (E_n) নির্ণয়।

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

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



চিত্র-২.৬(ক) : বোর পরমাণুর কক্ষপথে ইলেকট্রনের আবর্তন।

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$r_n = \frac{n^2h^2}{4\pi^2mZe^2}$; বা, $\boxed{r_n = \left(\frac{h^2}{4\pi^2 me^2}\right) \times \frac{n^2}{Z}}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

সুতরাং বোর ব্যাসার্ধ (a_0) = 0.5292×10^{-8} cm.

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

জেনে নাও : 1 erg = 1g $cm^2.s^{-2}$; 1 esu = $g^{\frac{1}{2}}.cm^{\frac{3}{2}}.s^{-1}$ এবং 1 emu = 3×10^{10} esu)

***H পরমাণুর ১ম কক্ষপথ ও n-তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধের সম্পর্ক :** আমরা জানি H পরমাণুর n-তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ,

$r_n = \frac{n^2h^2}{4\pi^2 me^2}$ এবং এর ১ম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, $r_1 = \frac{(1)^2 \times h^2}{4\pi^2 me^2} = \frac{h^2}{4\pi^2 me^2}$;

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

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

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

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

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

আবার n-তম কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কক্ষপথের ব্যাসার্ধ,

$$r = \frac{n^2h^2}{4\pi^2 mZe^2} \quad \ldots \quad (4)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

এক্ষেত্রে m ভরবিশিষ্ট ইলেকট্রনটি v বেগে কক্ষপথে আবর্তিত হচ্ছে; তাই এটির গতিশক্তি হলো $= \frac{1}{2} mv^2$।

এক্ষেত্রে $Z \times e$ চার্জযুক্ত নিউক্লিয়াস থেকে r ব্যাসার্ধযুক্ত কক্ষপথের দূরে থাকা ইলেকট্রনটির স্থিতিশক্তি ধরা হয় $= \frac{-Ze^2}{r}$ ।

এর ব্যাখ্যা হলো, কোনো ইলেকট্রনের স্থিতিশক্তি নিউক্লিয়াস থেকে অসীম দূরত্বে শূন্য ধরা হয়। অসীম দূরত্ব থেকে ঐ ইলেকট্রনটিকে নিউক্লিয়াসের সাপেক্ষে r দূরত্বে আনতে **মোট যে পরিমাণ কাজ** সম্পাদিত হয়; সেটিই হলো নিউক্লিয়াসের সাপেক্ষে r দূরত্বে থাকা **ইলেকট্রনের স্থিতিশক্তি**। তখন r দূরত্বে থাকা ইলেকট্রনটির ওপর নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ বল $= \frac{Ze \times e}{r^2} = \frac{Ze^2}{r^2}$ ।

∴ নিউক্লিয়াস থেকে r দূরত্বের কক্ষপথে থাকা ইলেকট্রনের স্থিতিশক্তি হবে :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬ : Li^{2+} আয়নের ২য় বোর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ কত?

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

সমাধান : Li^{2+} আয়নের বেলায়, Z = 3, এক্ষেত্রে ২য় কক্ষপথের জন্য n = 2 বসিয়ে পাই-

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

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

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

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

$$\therefore v_3 = \frac{2\pi e^2 \times 1}{h \times 3} = \frac{2 \times 3.14 \times (4.8 \times 10^{-10}\ esu)^2}{6.626 \times 10^{-27}\ erg.s \times 3}$$

ইলেকট্রনের চার্জ, $e^- = 4.8 \times 10^{-10}$ esu
প্লাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6.626 \times 10^{-27}$ erg.s

$$\text{বা, } v_3 = \frac{6.28 \times 23.04 \times 10^{-20}\ (g^{\frac{1}{2}}.cm^{\frac{3}{2}}.s^{-1})^2}{6.626 \times 10^{-27}\ (g.cm^2.s^{-2}).s \times 3} = \frac{144.6912 \times 10^{-20}\ g.cm^3.s^{-2}}{19.878 \times 10^{-27}\ g.cm^2.s^{-2}.s}$$

বা, $v_3 = 7.2789 \times 10^7\ cm.\ s^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৮ : দেখাও যে, H-পরমাণুর ১ম কক্ষে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের গতিবেগ আলোর গতিবেগের প্রায় 0.73×10^{-2} গুণ।

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

সমাধান : H পরমাণুর বেলায়, Z = 1, ১ম কক্ষপথের জন্য n = 1 ধরে—

$$\therefore v_1 = \frac{2\pi e^2}{h} \times \frac{1}{1} = \frac{2 \times 3.14 \times (4.8 \times 10^{-10}\ esu)^2}{6.626 \times 10^{-27}\ erg.s}$$

ইলেকট্রনের চার্জ, $e^- = 4.8 \times 10^{-10}$ esu
প্লাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6.626 \times 10^{-27}$ erg.s

$$\text{বা, } v_1 = \frac{144.6912 \times 10^{-20}\ cms^{-1}}{6.626 \times 10^{-27}} = 2.1837 \times 10^8\ cms^{-1}$$

আবার আলোর গতিবেগ, $c = 3.0 \times 10^{10}\ cms^{-1}$

$$\therefore \frac{v_1}{c} = \frac{2.1837 \times 10^8\ cms^{-1}}{3.0 \times 10^{10}\ cms^{-1}} = 0.73 \times 10^{-2}$$

সুতরাং ১ম কক্ষপথে H-পরমাণুর ইলেকট্রনটির গতিবেগ আলোর গতিবেগের প্রায় 0.73×10^{-2} গুণ প্রমাণিত।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৯: H পরমাণুর ইলেকট্রনটির বেগ যদি আলোর বেগের $\frac{1}{275}$ অংশ হয়ে থাকে, তবে ইলেকট্রনটি তখন কোন কক্ষপথে আবর্তন করছে?

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

সমাধান : মনে করি, ইলেকট্রনটি n-তম কক্ষপথে আবর্তন করছে।

প্রশ্নমতে v_n = (আলোর বেগ) $\times \frac{1}{275} = 3.0 \times 10^{10}\ cms^{-1} \times \frac{1}{275} = 1.091 \times 10^8\ cms^{-1}$

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

H পরমাণুর $Z = 1$; $e^- = 4.8 \times 10^{-10}$ esu; $h = 6.626 \times 10^{-27}$ erg.s বসিয়ে পাই—

$$v_n = \frac{2 \times 3.14 \times (4.8 \times 10^{-10}\ esu)^2}{6.626 \times 10^{-27}\ erg.s} \times \frac{1}{n} = \frac{2.18369 \times 10^8\ cm.s^{-1}}{n}$$

প্রদত্ত শর্ত মতে, $\frac{2.18369 \times 10^8\ cm.s^{-1}}{n} = 1.091 \times 10^8\ cm.s^{-1}$

$\therefore n = \frac{2.18369}{1.091} = 2.0$, $\therefore$ ইলেকট্রনটি ২য় কক্ষপথে আবর্তন করছে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১০ : প্রথম বোর কক্ষপথের শক্তি –13.5815 eV হলে ৩য় বোর কক্ষপথের শক্তি জুল এককে কত হবে

দক্ষতা : H পরমাণুর n-তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের মোট শক্তি, $E_n = \frac{-2\pi^2 me^4}{n^2 h^2}$

সমাধান : ১ম বোর কক্ষপথের শক্তি, $E_1 = \frac{-2\pi^2 me^4}{(1)^2 \times h^2}$ এবং ৩য় কক্ষপথের শক্তি, $E_3 = \frac{-2\pi^2 me^4}{(3)^2 \times h^2}$

$\therefore \frac{E_3}{E_1} = \frac{(-2\pi^2 me^4)}{9 \times h^2} \times \frac{h^2}{(-2\pi^2 me^4)} = \frac{1}{9}$;

$\therefore E_3 = \frac{1}{9} \times E_1 = \frac{1}{9}(-13.5815\ eV) = -1.50906\ eV$

আবার, $1\ eV = 1.602176 \times 10^{-19}$ J;

$\therefore E_3 = -1.50906 \times 1.602176 \times 10^{-19}\ J = -2.4177 \times 10^{-19}\ J$

RMDAC

২.২ পরমাণুর গঠন সম্পর্কে তরঙ্গ বলবিদ্যা ও স্রোডিঞ্জারের তরঙ্গ সমীকরণ

Wave Mechanical Model of Atom and Schrodinger Wave Equation

বিজ্ঞানী নীলস্ বোর প্রদত্ত পরমাণু মডেলে কতিপয় সীমাবদ্ধতা রয়েছে। বোর পরমাণু মডেলে পরমাণু সম্বন্ধে বিভিন্ন বিজ্ঞানীর প্রস্তাবিত মতবাদের সুষ্ঠু ব্যাখ্যা মিলে না। যেমন বিজ্ঞানী বোর তাঁর পরমাণু মডেলে ইলেকট্রনকে কণা হিসেবে বর্ণনা করেছেন। কিন্তু 1924 খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী লুই ডি ব্রগলি (Lous de Broglie) মত প্রকাশ করেন যে, ইলেকট্রনের কণা ও তরঙ্গ উভয় প্রকার ধর্ম আছে। লুই ডি ব্রগলির এ বক্তব্যকে 1926 খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী ই. স্রোডিঞ্জার (Erwin Schrodinger) আরও সংশোধন ও পরিমার্জন করেন। স্রোডিঞ্জার গতিশীল ইলেকট্রনকে নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট তরঙ্গ হিসেবে গণ্য করে তার বিখ্যাত ত্রিমাত্রিক তরঙ্গ বলবিদ্যার সমীকরণটি উপস্থাপন করেন; যা কোয়ান্টাম বলবিদ্যা পরমাণু মডেলের পরিপূর্ণতা লাভের মূল চাবিকাঠি।

(ক) চলমান বস্তুর কণা ধর্ম ও তরঙ্গ ধর্মের সম্পর্ক : ডি ব্রগলির সমীকরণ

বোর পরমাণু মডেলে ইলেকট্রনকে শুধু কণা হিসেবে বর্ণনা করা হয়েছে। ১৯২৪ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী লুই ডি ব্রগলি (Louis de Broglie) মত প্রকাশ করেন যে, ইলেকট্রনের কণা ও তরঙ্গ উভয় ধর্ম আছে। কোয়ান্টাম তত্ত্বের প্লাঙ্কের সমীকরণ

অনুসারে ν (নিউ) ফ্রিক্যুয়েন্সি যুক্ত একটি ফোটনের শক্তি, $E = h\nu$। অপরদিকে আইনস্টাইনের বস্তুকণার ভর ও শক্তির সমতুল্যতা অনুসারে পাই,

$E = mc^2$, এখানে m হলো কণার ভর।

E = ফোটনের শক্তি; c = আলোর গতি।

উভয় সম্পর্ক থেকে আমরা পাই,

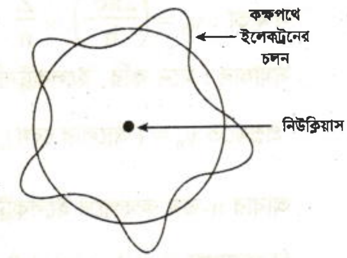
$mc^2 = h\nu = h \times \frac{c}{\lambda}$; $\because c = \nu\lambda$

উভয় দিক থেকে c বাদ দিয়ে পাই, $mc = \frac{h}{\lambda}$

যেহেতু ফোটনের ভর = m এবং সরল গতিবেগ = c

সুতরাং mc = ফোটনের ভরবেগ।

$\therefore$ ফোটনের ভরবেগ, $mc = \frac{h}{\lambda}$ ... (1)



চিত্র-২.৭ : বৃত্তাকার পথে ইলেকট্রনের তরঙ্গরূপে আবর্তন।

ব্রগলি মত প্রকাশ করেন যে, **চলমান বস্তুকণার সাথেও এক ধরনের তরঙ্গ জড়িত থাকে**, যার বেলায়ও উপরোক্ত সমীকরণটি প্রযোজ্য।

যেহেতু চলমান বস্তুকণার বেলায়, ভরবেগ $p = mv$;

সুতরাং এক্ষেত্রে উপরোক্ত (1) নং সমীকরণটি দাঁড়ায় নিম্নরূপ :

$mv = \frac{h}{\lambda}$; বা, $\lambda = h \times \frac{1}{mv}$; এখানে, λ = চলমান বস্তুকণার বা ইলেকট্রনের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য।

বা, চলমান বস্তুকণার তরঙ্গ ধর্ম, $(\lambda) = \frac{\text{ধ্রুবক } (h)}{\text{বস্তুর কণা ভর ধর্ম } (mv)}$

এ সমীকরণটি **ডি ব্রগলির সমীকরণ** নামে পরিচিত।

উল্লেখ্য, ইলেকট্রনের তরঙ্গ ধর্মকে প্রয়োগ করে শক্তিশালী 'ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপ' তৈরি করা হয়েছে; যা গবেষণাগারে ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র কণা পর্যবেক্ষণে ব্যবহৃত হয়।

(খ) ইলেকট্রনের তরঙ্গ ধর্মের ব্যাখ্যা ও ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ, $mvr = \frac{nh}{2\pi}$ এর প্রমাণ

ডি ব্রগলির মতবাদ অনুসারে, ইলেকট্রন তরঙ্গরূপে নিউক্লিয়াসের চারদিকে বৃত্তাকার পথে চলে। এ অবস্থায় তরঙ্গটি বৃত্তে অবস্থান করবে বোঝা যায়। তখন r ব্যাসার্ধবিশিষ্ট বৃত্তাকার কক্ষপথের পরিধিটি ইলেকট্রনের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (λ) এর পূর্ণসংখ্যার (n) গুণিতক হতে হবে। অর্থাৎ

$2\pi r = n\lambda = \frac{n \times h}{mc}$; $\therefore \lambda = \frac{h}{mc}$; [ডি ব্রগলির সমীকরণ মতে]

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

> **MCQ-2.4 :** H পরমাণুর ১ম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি E_1 হলে ৩য় কক্ষপথের শক্তি কত? [দি. বো. ২০১৬]
> (ক) $\frac{E_1}{9}$ (খ) $9E_1$ (গ) $\frac{E_1}{3}$ (ঘ) $3E_1$

এখানে mcr = আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ, যা $\frac{h}{2\pi}$ এর পূর্ণ সংখ্যা (n)-এর গুণিতক।

যেহেতু ইলেকট্রনের গতিবেগ (v) আলোর গতিবেগ (c) এর কাছাকাছি; তাই c = v ধরা হয়।

$\therefore mvr = \frac{nh}{2\lambda}$ [প্রমাণিত]

এটিই প্রকৃতপক্ষে বোর মতবাদের অন্যতম স্বতঃসিদ্ধ; যখন ইলেকট্রনকে তরঙ্গরূপে গণ্য করা হয়। ইতোপূর্বে এর কোনো ব্যাখ্যা দেয়া সম্ভব হয়নি।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১১। বোর মডেল পরমাণুতে একটি বোর ইলেকট্রন তৃতীয় শক্তিস্তর বা স্থির কক্ষপথে একটি পূর্ণ আবর্তন করতে কয়টি পূর্ণ তরঙ্গ সৃষ্টি করবে তা বের করো।

সমাধান : বোর মতবাদ মতে, $mvr = \frac{nh}{2\pi}$

$$\therefore 2\pi r = n \times \frac{h}{mv} \text{ (বজ্র গুণন করে)} \quad \ldots (1)$$

আবার ডি. ব্রগলির সমীকরণ মতে, $\lambda = \frac{h}{mv}$ ... (2)

(1) নং সমীকরণে $\frac{h}{mv}$ এর স্থলে (2) নং সমীকরণ মতে λ বসিয়ে পাই,

$2\pi r = n \times \lambda$

৩য় কক্ষপথের বেলায়, এক্ষেত্রে প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা, n = 3 হয়,

$\therefore 2\pi r = 3\lambda$

$\therefore$ ৩য় কক্ষপথের পরিধি = 3λ

> **MCQ-2.5: ডি-ব্রগলির সমীকরণ কোনটি?**
> (ক) $\Delta E = h\nu$ (খ) $mvr = \frac{nh}{2\pi}$
> (গ) $\lambda = \frac{h}{mv}$
> (ঘ) $a_0 = 0.5292 \times 10^{-8}$ cm

অর্থাৎ ৩য় কক্ষপথের পরিধি আবর্তনশীল ইলেকট্রনের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (λ) এর ৩ গুণ হয়। সুতরাং ৩য় কক্ষপথে প্রত্যেক আবর্তনকালে ইলেকট্রনটি ৩টি পূর্ণ তরঙ্গ সৃষ্টি করবে।

সুতরাং বোর ইলেকট্রন বিভিন্ন কক্ষপথে আবর্তনকালে কক্ষপথের প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যার সমসংখ্যক পূর্ণতরঙ্গ সৃষ্টি করে।

(গ) হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি (Heisenberg's Uncertainty Principle)

গতিশীল ইলেকট্রনের কণা ও তরঙ্গ উভয় ধর্ম থাকায় হাইজেনবার্গ গাণিতিকভাবে প্রমাণ করেন যে, যদি কোনো গতিশীল কণার অবস্থান নির্ভুলভাবে নির্ণয় করা যায়, তখন এর ভরবেগ নির্ণয় অনিশ্চিত হয়ে পড়ে। আবার ঐ কণার ভরবেগ নির্ভুলভাবে নির্ণয় করা সম্ভব হলে, তখন এর অবস্থান নির্ণয় অনিশ্চিত হয়ে পড়ে। এ সম্পর্ককে হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি বলে।

ব্যাখ্যা : একই সময়ে ইলেকট্রনের অবস্থান যেমন নিউক্লিয়াস থেকে নির্দিষ্ট দূরত্বের কক্ষপথে অবস্থান ও ইলেকট্রনের ভরবেগ নির্ণয় করতে গেলে তখন ইলেকট্রনের অবস্থান ও ভরবেগ উভয়ের মানের মধ্যে কিছুটা ভুল বা অনিশ্চয়তা দেখা দেয়। ১৯২৭ খ্রিষ্টাব্দে হাইজেনবার্গ উভয়ের অনিশ্চয়তার সীমার মধ্যে একটি সম্পর্ক উদ্ভাবন করেন। এ অনিশ্চয়তা নীতি অনুসারে যদি Δx এবং Δp একই সময়ে নির্ণীত ইলেকট্রনের যথাক্রমে অবস্থানজ্ঞাপক ও ভরবেগের পরিমাণের ভুলের মাত্রা হয়, তবে উভয় ভুলের মাত্রার গুণফল প্লাঙ্কের ধ্রুবক $\frac{h}{4\pi}$ এর মানের প্রায় সমান হবে। অর্থাৎ

$$\Delta x \times \Delta p \geq \frac{h}{4\pi} \text{ (ধ্রুবক)}, \Delta p = m \times \Delta u, \quad \text{এখানে, } m = \text{কণার ভর}, u = \text{কণার গতিবেগ}$$

সমীকরণ মতে বোঝা যায় যে, Δx এবং Δp রাশিদ্বয় পরস্পরের ব্যস্তানুপাতিক। এক্ষেত্রে ইলেকট্রনের বেগ সঠিকভাবে নির্ণয় করতে গেলে তখন ভরবেগ (Δp) এর ভুলের মাত্রা ক্ষুদ্রতম হতে হবে। এ অবস্থায় Δx এর মান বেড়ে যায় অর্থাৎ ইলেকট্রনের অবস্থান নির্ণয়ের ভুলের মাত্রা বেড়ে যায়। অপর কথায়, ইলেকট্রনের বেগ (তরঙ্গ ধর্ম) সঠিকভাবে নির্ণয় করতে গেলে কণা ধর্মের গুরুত্ব থাকে না। আবার ইলেকট্রনের অবস্থান (কণা ধর্ম) সঠিকভাবে নির্ণয় করতে গেলে এর তরঙ্গ ধর্মের কোনো গুরুত্ব থাকে না।

(ঘ) শ্রোডিঞ্জারের তরঙ্গ সমীকরণ (Schrodinger Wave Mechanics Equation)

বোর পরমাণু মডেল— (i) হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি, (ii) ডি-ব্রগলির ইলেকট্রনের কণাধর্ম ও তরঙ্গ ধর্মের দ্বিত্ব প্রকৃতির সম্পর্ক এবং (iii) ইলেকট্রনের স্থির শক্তিস্তরের ধারণা দ্বারা বর্ণালির ব্যাখ্যা নিখুঁতভাবে দিতে পারে না। এ তিনটি বিষয়কে গ্রাহ্য করে ১৯২৬ খ্রিষ্টাব্দে শ্রোডিঞ্জার পরমাণুর তরঙ্গ বলবিদ্যা মডেল প্রস্তাব করেন। এ মডেলে শ্রোডিঞ্জার—

(১) ইলেকট্রনকে তরঙ্গ ও কণা উভয় বা দ্বিত্ব প্রকৃতিযুক্ত প্রস্তাব করেন। (২) এ তরঙ্গরূপী ইলেকট্রনসমূহ ধনাত্মক চার্জযুক্ত নিউক্লিয়াসের চারদিকে ত্রিমাত্রিকভাবে ঘূর্ণায়মান থাকে। তরঙ্গরূপী ইলেকট্রনের সুষ্ঠুভাবে ব্যাখ্যার জন্য স্রোডিঞ্জার একটি ত্রিমাত্রিক (x, y, z) তরঙ্গ গতীয় সমীকরণ উপস্থাপন করেন, যা **স্রোডিঞ্জারের তরঙ্গ সমীকরণ** নামে পরিচিত :

$$\frac{\delta^2\psi}{\delta x^2} + \frac{\delta^2\psi}{\delta y^2} + \frac{\delta^2\psi}{\delta z^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} \times (E - V)\,\psi = 0$$

এ দ্বিতীয় অন্তরক সমীকরণে (i) m = ইলেকট্রনের ভর, (ii) E = ইলেকট্রনের মোট শক্তি, (iii) V = ত্রিমাত্রিক (x, y, z) কোনো বিন্দুতে ইলেকট্রনের স্থিতিশক্তি $(= \frac{Ze^2}{r})$, (iv) h = প্লাঙ্কের ধ্রুবক, (v) ψ (psi, সাই) = নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে ত্রিমাত্রিক বিভিন্ন স্থানে ইলেকট্রনের তরঙ্গের বিস্তৃতি বা ফাংশন বোঝায়, (vi) x, y, z = নিউক্লিয়াস (0, 0, 0) সাপেক্ষে ত্রিমাত্রিক জ্যামিতির তিনটি পরস্পর সমকোণে স্থিত অক্ষ।

ψ (psi) ও ψ^2 এর বৈশিষ্ট্য : (১) স্রোডিঞ্জারের দ্বিতীয় অন্তরক সমীকরণ (second order differential equation) সমাধান করে E এর যেসব অর্থবহ নির্দিষ্ট মান পাওয়া যায়, এদেরকে **আইজেন মান** (Eigen values) বলা হয়। এসব মান দ্বারা পরমাণুতে কতগুলো নির্দিষ্ট **শক্তিস্তর বা অরবিটকে** বোঝায়। (২) পরমাণুর বেলায় E এর প্রত্যেকটি মানের জন্য ঐ সমীকরণ থেকে প্রাপ্ত সংশ্লিষ্ট ψ এরও কতগুলো বিশেষ মান পাওয়া যায়। তখন ঐ বিশেষ মানযুক্ত তরঙ্গ ফাংশন, ψ-কে **আইজেন ফাংশন** [Eigen function] বলা হয় এবং E এর মানগুলোকে আইজেন মান বলা হয়। (৩) ψ (psi) এর কোনো ভৌত তাৎপর্য নেই, এটি শুধু ইলেকট্রনের তরঙ্গের বিস্তৃতি (amplitude) প্রকাশ করে। (৪) ψ^2 এর মান বিশেষ অর্থ প্রকাশ করে। ψ^2 এর প্রতিটি মান ইলেকট্রনের তরঙ্গের তীব্রতার সমানুপাতিক। কোনো নির্দিষ্ট শক্তির ইলেকট্রনের সম্ভাব্য অবস্থান নিউক্লিয়াসের চারদিকে কোন স্থানে হবে তা ψ^2 এর মান থেকে জানা যায়। (৫) নিউক্লিয়াসের চারদিকে যে নির্দিষ্ট ত্রিমাত্রিক স্থানে কোনো নির্দিষ্ট শক্তির ইলেকট্রনের অবস্থানের সম্ভাবনা বেশি যেমন প্রায় 90 – 95% হয়, একে বিজ্ঞানী সমারফিল্ড **অরবিটাল** (orbital) নামে অভিহিত করেন। সুতরাং ψ^2 এর মানসমূহ পরমাণুতে বিভিন্ন শক্তির অরবিটাল প্রকাশ করে।

তরঙ্গ **সমীকরণের সমাধান** (solve) সমূহ হলো wave functions বা অরবিটাল। সুতরাং—

$$\begin{bmatrix}\text{wave}\\ \text{equation}\end{bmatrix} \xrightarrow{\text{solve}} \begin{bmatrix}\text{wave function}\\ \text{or, orbital } (\psi)\end{bmatrix} \longrightarrow \begin{bmatrix}\text{Probability of finding electron}\\ \text{in a region of space } (\psi^2)\end{bmatrix}$$

প্রকৃতপক্ষে পরমাণুতে বিভিন্ন অরবিট বা শক্তিস্তরে ইলেকট্রনের বিভিন্ন **উপশক্তিস্তর** ও অরবিটাল আছে, তা পূর্ণাঙ্গ ব্যাখ্যার জন্য তিন প্রকারের পরস্পর সম্পর্কযুক্ত সংখ্যামান প্রস্তাব করা হয়, এদেরকে অরবিটাল **কোয়ান্টাম সংখ্যা** বলা হয়।

২.২.১ কোয়ান্টাম বলবিদ্যা পরমাণু মডেল

Quantum Mechanical Atom Model

কোয়ান্টাম বলবিদ্যা পরমাণু মডেল বা **আধুনিক পরমাণু মডেলের** ভিত্তি হলো নিম্নোক্ত মতবাদ এবং এদের সমন্বিত ফলাফল :

(১) রাদারফোর্ড প্রদত্ত পরমাণু মডেলের **কেন্দ্রস্থ নিউক্লিয়াসের অস্তিত্ব**।

(২) নীলস্ বোর (১৯১৩ খ্রি.) প্রদত্ত পরমাণু মডেলের ইলেকট্রনের স্থির কক্ষপথ বা অরবিট বা **শক্তিস্তরের** ধারণা;

(৩) ডি-ব্রগলি প্রদত্ত (১৯২৪ খ্রি.) ইলেকট্রন সদৃশ সূক্ষ্ম কণা-বস্তুর কণাধর্ম (mass property) এবং তরঙ্গ ধর্ম (wave property) অর্থাৎ ইলেকট্রনের **দ্বৈত ধর্ম** (particle-wave duality)।

ব্রগলির সমীকরণ, $\lambda = \frac{h}{\text{ইলেকট্রনের ভরবেগ } (m\,v)}$; কক্ষপথ, $2\pi r = n \times \lambda = \frac{nh}{mv}$,

∴ কৌণিক ভরবেগ, $mvr = \frac{n \times h}{2\pi}$

(৪) বিজ্ঞানী স্রোডিঞ্জার প্রদত্ত (১৯২৬ খ্রি.) তরঙ্গ বলবিদ্যার সমীকরণ;

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{d^2\psi}{dy^2} + \frac{d^2\psi}{dz^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2}(E - V)\psi = 0;$$

এখানে ψ (psi) = ইলেকট্রনের তরঙ্গ ফাংশন, m = ইলেকট্রনের ভর, h = প্লাঙ্কের ধ্রুবক, E = ইলেকট্রন কণার মোট শক্তি, V = ত্রিমাত্রিক (x, y, z) কোনো বিন্দুতে ইলেকট্রন কণার স্থিতিশক্তি = $\frac{Ze^2}{r}$ ।

(৫) বিজ্ঞানী হাইজেনবার্গ প্রদত্ত (১৯২৭ খ্রি.) আবর্তনশীল ইলেকট্রনের অরবিটালে অবস্থান ও ভরবেগ সম্পর্কীয় **'অনিশ্চয়তা নীতি'।**

এক কথায় স্রোডিঞ্জারের এ ত্রিমাত্রিক (*x*, *y*, *z*) দ্বিঘাত তরঙ্গ সমীকরণভিত্তিক পরমাণুর নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে ইলেকট্রন মেঘের অবস্থান সম্পর্কীয় গণনার ফলাফল হলো **কোয়ান্টাম বলবিদ্যা পরমাণু মডেলের পরিপূর্ণতা লাভের মূল চাবিকাঠি**। এ ত্রিমাত্রিক তরঙ্গ গতীয় সমীকরণের গাণিতিক সমাধান থেকে প্রাপ্ত তিনটি রাশি বা প্যারামিটার (parameter) দ্বারা ইলেকট্রনের সম্ভাব্য সর্বাধিক অবস্থান (৯০-৯৫%) বা অরবিটালের শক্তিমাত্রা (energy level) এবং এর ত্রিমাত্রিক আকার-আকৃতিকে প্রকাশ করা যায়। ইলেকট্রনের অরবিটাল সম্পর্কীয় এ তিনটি সম্পর্ক যুক্ত রাশি বা প্যারামিটারকে **'অরবিটালের কোয়ান্টাম সংখ্যা'** বলা হয়।

২.২.২ কোয়ান্টাম সংখ্যাসমূহ, বিভিন্ন উপশক্তিস্তর ও ইলেকট্রন ধারণক্ষমতা

Quantum Numbers, Different Sub-orbits and their Electron Capacities

কোয়ান্টাম সংখ্যা : কোয়ান্টাম বলবিদ্যা অনুসারে পরমাণুর ইলেকট্রনের কক্ষপথ বা শক্তিস্তরের আকার (size), কক্ষপথের আকৃতি (shape) ও কক্ষপথের ত্রিমাত্রিক দিক বিন্যাস (orientation) নির্দেশক পরস্পর সম্পর্কযুক্ত তিনটি রাশি রয়েছে। এছাড়া পারমাণবিক বর্ণালির সূক্ষ্ম গঠন বিশ্লেষণের জন্য ইলেকট্রনের অক্ষ বরাবর ঘূর্ণন (spin) প্রকাশক চতুর্থ রাশি আছে। এ চারটি রাশিকে **কোয়ান্টাম সংখ্যা বলা হয়।** এ চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার নির্দিষ্ট মান দ্বারা একটি পরমাণুতে প্রতিটি আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি ও অবস্থানের সঠিক ও পূর্ণাঙ্গ বর্ণনা দেয়া যায়। এ চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার নাম হলো :

(১) প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা, n (Principal quantum number) MAT-(16-17)

(২) অ্যাজিমুথাল বা সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা, *l* (Azimuthal or subsidiary quantum number)

(৩) চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা, *m* (Magnetic quantum number) ও MAT-(8-9)

(৪) ঘূর্ণন কোয়ান্টাম সংখ্যা, s (Spin quantum number)।

১। প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা, n : বোর পরমাণু মডেল অনুসারে পরমাণুর ইলেকট্রনসমূহ নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে নির্দিষ্ট বৃত্তাকারে অরবিট বা শক্তিস্তরে আবর্তন করে। প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা অরবিট বা শক্তিস্তরের আকার প্রকাশ করে। বিজ্ঞানী বোর শক্তিস্তর সম্পর্কীয় প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা (n) এর ধারণা প্রস্তাব করেন। প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা n এর মান 1, 2, 3, 4 প্রভৃতি পূর্ণ সংখ্যা। n-এর মান বৃদ্ধি পাওয়ার সাথে সাথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের নিট-শক্তি বাড়ে এবং সে সাথে নিউক্লিয়াস থেকে তার কক্ষপথের দূরত্বও বেড়ে যায়। n = 1 হলে ১ম শক্তিস্তর বা K-শেল; n = 2 হলে ২য় শক্তিস্তর বা L-শেল; n = 3 হলে ৩য় শক্তিস্তর বা M-শেল। অনুরূপভাবে ৪র্থ শক্তিস্তর বা N শেল ইত্যাদি হয়। যেকোনো প্রধান শক্তিস্তরের **সর্বোচ্চ ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা হচ্ছে $2n^2$**। মূলত প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা n দ্বারা কোনো ইলেকট্রনের নির্দিষ্ট শক্তিস্তরে থাকা অবস্থায় ইলেকট্রনের শক্তি ও নিউক্লিয়াস থেকে দূরত্বকে বোঝায়। [চিত্র-২.৯ দেখো]

* (i) কক্ষপথের ব্যাসার্ধ বা নিউক্লিয়াসের দূরত্ব, $r_n = \left(\frac{h^2}{4\pi^2 me^2}\right) \times \frac{n^2}{Z}$;

এখন প্রথম বন্ধনীর মধ্যস্থ ধ্রুবক মানের পদগুলো যেমন h, π, m ও e^- এর মান বসিয়ে n-তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ হয় :

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

$e^- = 4.803 \times 10^{-10}$ esu; $\pi = 3.141593$ বসিয়ে পাই—

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

বা, $r_n = 0.5292 \times 10^{-8}\ cm \times \frac{n^2}{Z}$

আবার, $\frac{r_n}{r_1} = \frac{h^2n^2}{4\pi^2me^2Z} \times \frac{4\pi^2me^2Z}{h^2 \times (1)^2} = n^2 \quad \therefore r_n = r_1 \times n^2 = a_0 \times n^2 = 0.5292 \times 10^{-8}\ cm \times n^2$

$r_n = 0.5292 \times n^2 \times 10^{-8}$ cm (or, Å, or 10^4 pm) [$\because$ 1Å = 10^{-8} cm]

$\therefore$ একক ইলেকট্রনযুক্ত যেকোনো পরমাণুর আয়নের বেলায় :

$$\boxed{r_n = 5.292 \times \frac{n^2}{Z} \times 10^{-11}m}$$

$\therefore$ H পরমাণুর বেলায় পারমাণবিক সংখ্যা, Z = 1, ধরে :

$$\boxed{r_n = 5.292 \times 10^{-11}m \times n^2}$$

দ্রষ্টব্য : যেহেতু r_n এর সমীকরণে 'Z' (পাঃ সংখ্যা) জড়িত আছে; তাই প্রত্যেক মৌলের পরমাণুর আয়নের বেলায় r_1 ও r_n এর মান H পরমাণুর তুলনায় ভিন্ন হবে। অনুরূপভাবে E_n ও v_n এর বেলায়ও তা ঘটবে।

* (ii) কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি, $E_n = \left(\frac{-2\pi^2 me^4}{h^2}\right) \times \frac{Z^2}{n^2}$; এক্ষেত্রে h, π, m ও e^- এর মান h = 6.626069×10^{-27}erg.s; π = 3.141593; m = 9.109382×10^{-28} g; e^- = 4.803×10^{-10} esu বসিয়ে n-তম কক্ষপথের শক্তি হয় :

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

$$= \frac{-95690.56038 \times 10^{-68}\ g.(esu)^4}{43.90479039 \times 10^{-54}\ (erg.s)^2} \times \frac{Z^2}{n^2}$$

$$= (-2179.5 \times 10^{-14}) \times 10^{-7}\ J \times \frac{Z^2}{n^2}$$

$$= (-2.18 \times 10^{-18}\ J) \times \frac{Z^2}{n^2}$$

[এক্ষেত্রে একক পরিবর্তন :

$$\frac{g.(esu)^4}{(erg.s)^2} = \frac{g.(g^{\frac{1}{2}}.cm^{\frac{3}{2}}.s^{-1})^4}{(g.cm^2.s^{-2} \times s)^2}$$

$$= \frac{g \times g^2.cm^6.s^{-4}}{g^2.cm^4.s^{-4} \times s^2} = g.cm^2.s^{-2}$$

$$= 10^{-3}\ kg\ (10^{-2}m)^2.s^{-2}$$

$$= 10^{-7}\ kg\ m^2.s^{-2} = 10^{-7}\ J]$$

$E_n = (-2.18 \times 10^{-18}\ J) \times \frac{Z^2}{n^2}$ । H-পরমাণুর জন্য Z = 1, তখন $E_n = -2.18 \times 10^{-18}\ J\left(\frac{1}{n^2}\right)$

H-পরমাণুর ১ম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি, $E_1 = -2.18 \times 10^{-18}$ J এবং এক মোল H পরমাণুর জন্য $E_1 = -2.18 \times 10^{-18}\ J \times 6.022 \times 10^{23}\ mol^{-1} = E_1 = -1312\ kJ\ mol^{-1}$.

২য় কক্ষপথের বেলায়, n = 2, $E_2 = \left(\frac{-1312}{n^2}\right)$ kJ mol^{-1}.

$$বা, E_2 = \left[\frac{-1312}{(2)^2}\right] kJ\ mol^{-1} = -328\ kJ\ mol^{-1}$$

* সুতরাং ২য় ও ১ম কক্ষপথের শক্তির পার্থক্য,

$$(E_2 - E_1) = (-328\ kJ\ mol^{-1}) - (-1312\ kJ\ mol^{-1}) = 984\ kJ\ mol^{-1}.$$

* * অর্থাৎ ১ম কক্ষপথ থেকে H-পরমাণুর ইলেকট্রনটি ২য় কক্ষপথে স্থানান্তরকালে :

$(984\ kJ\ mol^{-1} \div 6.022 \times 10^{23}\ mol^{-1}) = 1.634 \times 10^{-18}$ J শক্তির শোষণ ঘটবে।

২। **অ্যাজিমুথাল বা সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা, l :** পরমাণুতে ইলেকট্রন আবর্তনের জন্য প্রতিটি প্রধান শক্তিস্তর নির্দিষ্ট সংখ্যক উপশক্তিস্তরে বিভক্ত থাকে। একটি ইলেকট্রন প্রধান শক্তিস্তরের যে উপস্তরে রয়েছে তা প্রকাশের জন্য সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা ব্যবহৃত হয়। এটিকে অরবিটাল কোয়ান্টাম সংখ্যা ও সমারফিল্ড কোয়ান্টাম সংখ্যা বলা হয়। বিজ্ঞানী সমারফিল্ড সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা (l) সম্বন্ধে সর্বপ্রথম ব্যাখ্যা দেন। সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যাকে l দ্বারা প্রকাশ করা হয়। কোনো ইলেকট্রনের বেলায় 'l' এর মান দ্বারা ইলেকট্রনটির কৌণিক ভরবেগ নির্দিষ্ট করা হয়। 'l' এর মান 0 থেকে (n −1) পর্যন্ত হয়। l-এর মান দ্বারা উপশক্তিস্তরের আকৃতি নির্ধারিত হয়। l এর মান 0, 1, 2, 3 হলে উপশক্তিস্তরকে যথাক্রমে s, p, d, f দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। এসব উপশক্তিস্তরে বর্তমান ইলেকট্রনগুলোকে s, p, d, f ইলেকট্রন বলা হয়। প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা n এবং সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা l এর মানের ওপর নির্ভর করে নিম্নোক্ত **উপশক্তিস্তর** বা **অরবিটাল** পরমাণুতে থাকে।

প্রধান শক্তিস্তর, n = 1 হলে, $l = 0$ অর্থাৎ ১ম শক্তিস্তরে উপশক্তিস্তর ১টি, 1s

প্রধান শক্তিস্তর, n = 2 হলে, $l = 0, 1$ অর্থাৎ ২য় শক্তিস্তরে উপশক্তিস্তর ২টি, 2s 2p

প্রধান শক্তিস্তর, n = 3 হলে, $l = 0, 1, 2$ অর্থাৎ ৩য় শক্তিস্তরে উপশক্তিস্তর ৩টি, 3s 3p 3d

প্রধান শক্তিস্তর, n = 4 হলে, $l = 0, 1, 2, 3$ অর্থাৎ ৪র্থ শক্তিস্তরে উপশক্তিস্তর ৪টি, 4s 4p 4d 4f

অতএব n এর মান যত উপশক্তিস্তরের সংখ্যাও তত।

[**উপশক্তিস্তরের নামকরণের উৎস :** গ্রুপ-1 এর ক্ষার ধাতুসমূহের পারমাণবিক বর্ণালিতে 8 শ্রেণির রেখা বর্ণালি দেখা যায়। বিজ্ঞানীরা প্রাথমিক অবস্থায় তাদেরকে তীক্ষ্ণ বা sharp (s), প্রধান বা principal (p), পরিব্যাপ্ত বা diffused (d) ও মৌলিক বা fundamental (f) নামকরণ করে যথাক্রমে s, p, d, f প্রতীক দ্বারা এদের জন্য l এর মান 0, 1, 2, 3 নির্দিষ্ট করেন। বিজ্ঞানী সমারফিল্ড পরমাণুতে ইলেকট্রনসমূহের জন্য বোর প্রস্তাবিত প্রধান শক্তিস্তরের মধ্যে বৃত্তাকার ও উপবৃত্তাকার প্রভৃতির উপশক্তিস্তরের ধারণা প্রস্তাব করেন।]

৩। **চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা, m :** পরমাণুর কেন্দ্রে ধনাত্মক চার্জযুক্ত নিউক্লিয়াস ও কক্ষপথে ঋণাত্মক চার্জযুক্ত ইলেকট্রন থাকার কারণে পরমাণুর ভেতরে একটি বিদ্যুৎ ক্ষেত্র এবং এর প্রভাবে চুম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি হয়। এ **চুম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে ইলেকট্রনের বিভিন্ন অরবিটালের ত্রিমাত্রিক দিক স্থিতি বা অরিয়েন্টেশন** (Orientation) **ঘটে।** বিজ্ঞানী জিম্যান চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যার ধারণা দেন। একে m দ্বারা প্রকাশ করা হয়। m এর মান l এর ওপর নির্ভরশীল এবং তা + l থেকে শূন্যসহ − l পর্যন্ত হতে পারে। প্রতি l এর যেকোনো মানের জন্য m এর $(2l + 1)$ সংখ্যক মান আছে। m এর মোট মান দ্বারা **উপশক্তিস্তরে মোট অরবিটাল সংখ্যা** বোঝায়।

উপশক্তিস্তর, s এর জন্য $l = 0$; m = 0 ∴ s উপশক্তিস্তরে ১টি অরবিটাল।

উপশক্তিস্তর, p এর জন্য $l = 1$; m = −1, 0, +1 ∴ p উপশক্তিস্তরে ৩টি অরবিটাল।

উপশক্তিস্তর, d এর জন্য $l = 2$; m = −2, −1, 0, +1, +2 ∴ d উপশক্তিস্তরে ৫টি অরবিটাল।

উপশক্তিস্তর, f এর জন্য $l = 3$; m = −3, −2, −1, 0, +1, +2, +3 ∴ f উপশক্তিস্তরে ৭টি অরবিটাল।

* **যেকোনো উপশক্তিস্তরে মোট অরবিটাল সংখ্যা = $(2l + 1)$।**

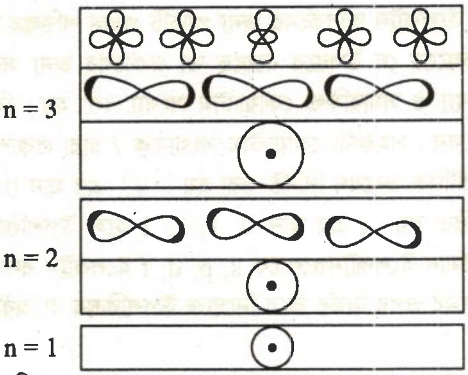
* যেকোনো উপশক্তিস্তরের **সর্বোচ্চ ইলেকট্রন ধারণক্ষমতা = $2(2l + 1)$,** এখানে $l = 0, 1, 2, 3$ ইত্যাদি।

* আবার 'n' এর যেকোনো মানের জন্য মোট অরবিটাল সংখ্যা হয় n^2, যেমন :

n = 1 হলে মোট অরবিটাল = $1^2 = 1$; n = 2 হলে মোট অরবিটাল = $2^2 = 4$টি;

n = 3 হলে মোট অরবিটাল = $3^2 = 9$টি।

* যেকোনো প্রধান শক্তিস্তরে বা অরবিটে সর্বোচ্চ ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা = $2n^2$



$l = 2$, d-subshell; m = −2, −1, 0, 1, 2 = 5

$l = 1$, p-subshell; m = −1, 0, 1 = 3

$l = 0$, s-subshell; m = 0 = 1

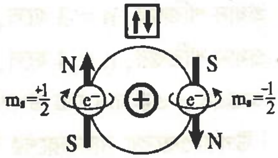
$l = 1$, p-subshell; m = −1, 0, 1 = 3

$l = 0$, s-subshell; m = 0 = 1

$l = 0$, s-subshell; m = 0 = 1

চিত্র-২.৭(ক) : Total orbitals in first three orbits

৪। ঘূর্ণন কোয়ান্টাম সংখ্যা, s বা, m_s : প্রতিটি ইলেকট্রনের সর্বদা নিজ অক্ষের চারদিকে ঘূর্ণন বা স্পিনগতি থাকে। অক্ষ বরাবর ঘুরতে ঘুরতে প্রতিটি ইলেকট্রন নিজের কক্ষপথে আবর্তন করে থাকে। ঘূর্ণন বা স্পিন গতির কারণে প্রতিটি ইলেকট্রন একটি অতি ক্ষুদ্র চুম্বকরূপে মৃদু চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করে। ইলেকট্রনের স্পিন বর্ণনার জন্য যে কোয়ান্টাম সংখ্যা ব্যবহৃত হয়, একে স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যা বলে। এর প্রতীক s বা m_s। ইলেকট্রনের ঘূর্ণনের দিক ঘড়ির কাঁটার আবর্তনের দিকে অথবা বিপরীত দিকে হতে পারে। তাই এ দু'রকম ঘূর্ণনের জন্য s বা, m_s এর দুটি মান যথাক্রমে $+\frac{1}{2}$ অথবা $-\frac{1}{2}$ হতে পারে। এ s বা, m_s এর মানের ওপরও ইলেকট্রনের শক্তি কিছু পরিমাণে নির্ভরশীল। সাধারণ নিয়ম হলো প্রতিটি অরবিটাল বিপরীত স্পিনের (⇅) ভিন্নমান $\left(\pm\frac{1}{2}\right)$ মানযুক্ত দুটি ইলেকট্রন আবর্তন করতে পারে। উল্লেখ্য বিজোড় ইলেকট্রন যুক্ত পরমাণুতে স্পিনজনিত চৌম্বকক্ষেত্র সক্রিয় থাকে; কিন্তু যুগলবদ্ধ দুটি ইলেকট্রনের চৌম্বকক্ষেত্র অকার্যকর হয়ে পড়ে। [এর পক্ষে বিজ্ঞানের প্রমাণ হলো, অসম চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে H-পরমাণুর একটি সূক্ষ্ম ধারা দুটি সূক্ষ্ম ধারায় বিভক্ত হয়ে একটি চৌম্বকক্ষেত্রের N-মেরু দ্বারা আকৃষ্ট হয় এবং দ্বিতীয় ধারাটি বিকর্ষিত হয়। এতে প্রমাণিত হয় একক ইলেকট্রনবিশিষ্ট H-পরমাণুসমূহে দুটি পৃথক স্পিনযুক্ত ইলেকট্রন বিপরীত সূক্ষ্ম চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি করেছে।] বিভিন্ন কোয়ান্টাম সংখ্যার মান থেকে পরমাণুতে বিভিন্ন শক্তিস্তরে অবস্থানকারী মোট অরবিটাল, সর্বাধিক ইলেকট্রনের সংখ্যা ও বিন্যাসের প্রকরণ নিচের ২.১ নং সারণিতে দেখানো হলো :



ইলেকট্রনের স্পিনের ফলে চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টি

চিত্র-২.৮ : ইলেকট্রনের স্পিন।

সারণি ২.১ : কোয়ান্টাম সংখ্যা n, l ও m এর সমন্বয়ে প্রথম চারটি শক্তিস্তরে অরবিটাল ও ইলেকট্রন সংখ্যা গণনা

কক্ষপথ-এর নাম	প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা n	সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা l	উপস্তর বা অরবিটাল	চৌম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা m	প্রতি উপস্তরে অরবিটাল সংখ্যা	স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যা s	প্রতি উপস্তরে ইলেকট্রন সংখ্যা	প্রতি প্রধান স্তরে মোট অরবিটাল সংখ্যা ও মোট ইলেকট্রন সংখ্যা
১ম কক্ষপথ K শেল	n = 1	$l = 0$	1s অরবিটাল	$l = 0$ হলে m = 0 হয়	∴ 1s অরবিটাল হয় 1টি	1টি 1s অরবিটালে $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ স্পিনের ২টি ইলেকট্রন থাকে	2 = $1s^2$	∴ ১ম কক্ষপথে 1টি অরবিটালে 2টি ইলেকট্রন = $1s^2$

২য় কক্ষপথ L শেল	$n = 2$	$l = 0$	2s অরবিটাল	$l = 0$ হলে $m = 0$ হয়	∴ 2s অরবিটাল হয় 1টি	1টি 2s অরবিটালে $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ স্পিনের 2টি ইলেকট্রন থাকে	2 $= 2s^2$	
		$l = 1$	2p অরবিটাল	$l = 1$ হলে $m = -1, 0, +1$ এ তিনটি মান হয়	∴ 2p অরবিটাল হয় 3টি	3টি 2p অরবিটালে প্রতিটিতে $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ স্পিনের দুটি করে $3 \times 2 = 6$টি ইলেকট্রন থাকে	6 $= 2p^6$	∴ ২য় কক্ষপথে $(1 + 3) = 4$টি অরবিটালে $(2 + 6) = 8$টি ইলেকট্রন $= 2s^2 2p^6$
৩য় কক্ষপথ M শেল	$n = 3$	$l = 0$	3s অরবিটাল	$l = 0$ হলে $m = 0$ হয়	∴ 3s অরবিটাল হয় 1টি	1টি 3s অরবিটালে $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ স্পিনের 2টি ইলেকট্রন থাকে	2 $= 3s^2$	
		$l = 1$	3p অরবিটাল	$l = 1$ হলে $m = -1, 0, +1$ এ তিনটি মান হয়	∴ 3p অরবিটাল হয় 3টি	3টি 3p অরবিটালে প্রতিটিতে $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ স্পিনের দুটি করে $3 \times 2 = 6$ টি ইলেকট্রন থাকে	6 $= 3p^6$	∴ ৩য় কক্ষপথে $(1 + 3 + 5) =$ 9টি অরবিটালে $(2 + 6 + 10) =$ 18টি ইলেকট্রন $= 3s^2 3p^6 3d^{10}$
		$l = 2$	3d অরবিটাল	$l = 2$ হলে $m = -2, -1, 0, +1, +2$ এ পাঁচটি মান হয়	∴ 3d অরবিটাল হয় 5টি	5টি 3d অরবিটালে প্রতিটিতে $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ স্পিনের দুটি করে $5 \times 2 = 10$টি ইলেকট্রন থাকে	10 $= 3d^{10}$	

* দ্রষ্টব্য : 'm' এর বিভিন্ন মানের সাথে ৩টি বিভিন্ন p অরবিটাল অর্থাৎ ত্রিমাত্রিক p_x, p_y, p_z অরবিটালসমূহ এবং ৫টি বিভিন্ন d অরবিটাল এর মধ্যে সঠিক সম্পর্ক সবসময় নির্দিষ্ট করা সম্ভব হয় না। তবে কোনো কোনো রসায়নবিদ যেমন ইন্ডিয়ান লেখক Dr. R.D. Madan তাঁর সম্পাদিত 'Modern Inorganic Chemistry' (3rd revised edition, 2011) পুস্তকে ৩টি p অরবিটাল ও ৫টি d অরবিটালের জন্য নিম্নরূপ 'm' এর মান চিহ্নিত করেছেন। যেমন,

p_x $(m = 0)$, p_y $(m = +1)$, p_z $(m = -1)$; এবং d_{z^2} $(m = 0)$, d_{zx} $(m = +1)$, d_{yz} $(m = -1)$, $d_{x^2-y^2}$ $(m = +2)$, d_{xy} $(m = -2)$। কিন্তু অধিকতর নির্ভরযোগ্য ও এদের সঠিক মানের জন্য অনুচ্ছেদ-২.৩ এর শেষে **'অধিক জেনে নাও'** অংশ দেখো; পৃষ্ঠা নং ১২১।

অধিক জেনে নাও [For Advanced Students]

চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার সাথে পারমাণবিক বর্ণালি রেখার সম্পর্ক

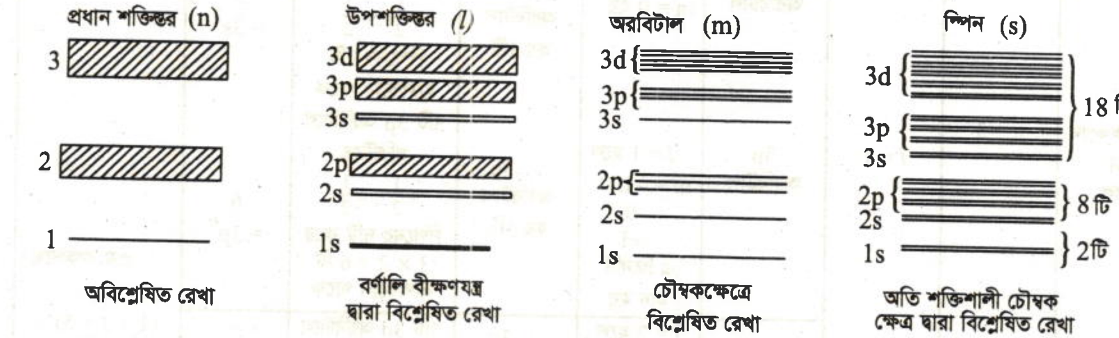
শ্রোডিঞ্জারের তরঙ্গ সমীকরণের গাণিতিক ব্যাখ্যাভিত্তিক 'অরবিটাল কোয়ান্টাম সংখ্যা' n, *l*, m এর পারস্পরিক সম্পর্কভিত্তিক মান থেকে প্রতিটি শক্তিস্তরে **সর্বাধিক অরবিটাল সংখ্যা** গণনা ও পাউলির বর্জন নীতি সমন্বয়ে সুপ্রতিষ্ঠিত ইলেকট্রন বিন্যাস দ্বারা পারমাণবিক বর্ণালি রেখার সুন্দর ব্যাখ্যা মিলে। তা নিচে সুস্পষ্ট করা হলো।

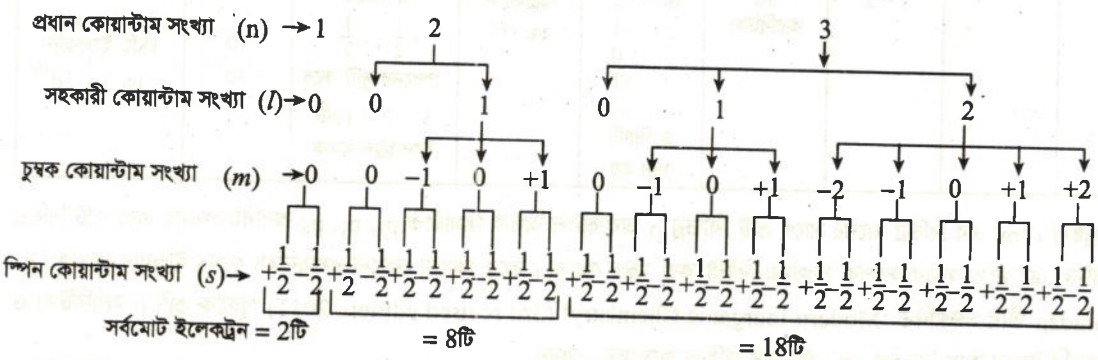
(১) বোর মডেল মতে, উদ্দীপিত ইলেকট্রন উচ্চশক্তিস্তর থেকে নিম্নশক্তিস্তরে লাফিয়ে ফেরার সময় **বিকীর্ণ শক্তি থেকে রেখা বর্ণালি সৃষ্টি হয়।** এক্ষেত্রে পরমাণুর শক্তিস্তর নির্দেশক প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা (n) জড়িত।

(২) আবার উদ্দীপিত ইলেকট্রন থেকে বিকীর্ণ শক্তিকে spectrometer বা **বর্ণালি বীক্ষণযন্ত্রে বিশ্লেষণ** করলে পূর্বের রেখা বর্ণালিটি বিশ্লেষিত হয়ে ক্ষেত্রবিশেষ দুই বা ততোধিক **সূক্ষ্ম রেখা বর্ণালিতে** পরিণত হয়; যা পরমাণুর উপশক্তিস্তর (*l*) সংশ্লিষ্ট s, p, d অরবিটাল বিন্যাসকে বোঝায়।

(৩) আবার ঐ বিকীর্ণ শক্তিকে spectrometer দ্বারা সূক্ষ্ম রেখায় বিশ্লেষণের পর **চুম্বকক্ষেত্রের মধ্যদিয়ে প্রবাহিত** করা হলে তখন পূর্বের উপশক্তিস্তর সংশ্লিষ্ট সূক্ষ্ম রেখা বর্ণালিগুলো বিজোড় সংখ্যায় (1, 3, 5) বিভাজিত হয়ে **সূক্ষ্মতর রেখা বর্ণালি সৃষ্টি** করে, যা চুম্বক কোয়ান্টাম সংখ্যা (m) এর সম্ভাব্য মান সংশ্লিষ্ট মোট ত্রিমাত্রিক অরবিটাল সংখ্যাকে বোঝায়।

(৪) এভাবে সৃষ্ট অরবিটাল সংশ্লিষ্ট সূক্ষ্মতর রেখা বর্ণালিগুলোকে **অধিকতর শক্তিশালী চুম্বকক্ষেত্র** দ্বারা বিশ্লেষিত করা হলে তখন প্রতিটি সূক্ষ্মতর রেখা দুটি **সমঅংশে পৃথক হয়ে পড়ে;** যা ইলেকট্রনের স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যা (s) সংশ্লিষ্ট দুটি চুম্বকধর্মী ইলেকট্রনের বিপরীত স্পিনকে বোঝায়। নিচে বিভিন্ন পারমাণবিক বর্ণালি রেখা সংশ্লিষ্ট ৪টি কোয়ান্টাম সংখ্যার বিভিন্ন মানের মধ্যে সম্পর্ক দেখানো হলো।





সমাধানকৃত সমস্যা-২.১২ : বোর পরমাণু মডেল মতে ৪র্থ শক্তিস্তরে (N-শেলে) কোয়ান্টাম সংখ্যা *l* ও *m* এর মান হিসাব করে মোট অরবিটাল সংখ্যা ও ইলেকট্রন ধারণক্ষমতা ব্যাখ্যা করো। [অভিন্ন বো. (ক-সেট) ২০১৮; মা. বো. ২০১৭]

সমাধান : প্রশ্নমতে, ৪র্থ শক্তিস্তর বা N-শেলের বেলায় প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা, $n = 4$ হয়। তখন,
সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা, $l = 0, 1, 2, 3$ সম্ভব। কারণ $l = 0$ সহ $(n - 1)$ হয়।

∴ এক্ষেত্রে '*l*' এর মান হলো চারটি; তাই ৪র্থ শক্তিস্তরে বিভিন্ন উপ-শক্তিস্তর বা অরবিটাল হলো চার প্রকার; যেমন 4s, 4p, 4d, 4f।

আবার প্রত্যেক প্রকার অরবিটালের মোট সংখ্যা চৌম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা '*m*' এর মানের ওপর নির্ভরশীল এবং '*m*' এর মান '*l*' এর মানের ওপর নির্ভর করে। এক্ষেত্রে '*m*' এর সম্ভাব্য মোট মান থেকে প্রত্যেক প্রকারের অরবিটাল সংখ্যা নিম্নমতে হিসাব করা হয় :

$l = 0$ হলে, $m = 0$ হয় ∴ 4s উপশক্তিস্তরে 1টি অরবিটাল সম্ভব।

$l = 1$ হলে, $m = -1, 0, +1$ হয় ∴ 4p উপশক্তিস্তরে 3টি অরবিটাল সম্ভব।

$l = 2$ হলে, $m = -2, -1, 0, +1, +2$ হয় ∴ 4d উপশক্তিস্তরে 5টি অরবিটাল সম্ভব।

$l = 3$ হলে, $m = -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3$ হয় ∴ 4f উপশক্তিস্তরে 7টি অরবিটাল সম্ভব।

∴ অতএব পরমাণুর ৪র্থ শক্তিস্তরে বা, N-শেলে অনুমোদিত মোট অরবিটাল সংখ্যা = (1 + 3 + 5 + 7)টি = 16টি।

পরমাণুর ৪র্থ শক্তিস্তরে মোট ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা : প্রতিটি অরবিটালে বিপরীত স্পিনযুক্ত দুটি করে ইলেকট্রন থাকতে পারে; তাই ৪র্থ শক্তিস্তরের 16টি অরবিটালে মোট ইলেকট্রন ধারণক্ষমতা হলো = 16 × 2 = 32টি। যেমন— $4s^2\ 4p^6\ 4d^{10}\ 4f^{14}$. সুতরাং প্রতিটি প্রধান শক্তিস্তরে সর্বোচ্চ ইলেকট্রন ধারণক্ষমতা $2n^2$ সূত্রটি কোয়ান্টাম সংখ্যা l, m ও s এর মান থেকে প্রতিষ্ঠিত হলো।

২.২.৩ চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার তাৎপর্য

Significance of four Quantum numbers

কোয়ান্টাম বলবিদ্যা পরমাণু মডেল অনুসারে পরমাণুতে নির্দিষ্ট শক্তিস্তর বা অরবিটে আবর্তনশীল প্রতিটি ইলেকট্রনের শক্তি, অবস্থান ও বৈশিষ্ট্য প্রকাশের জন্য পরস্পর সম্পর্কযুক্ত চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার নির্দিষ্ট মান প্রয়োজন হয়। যেমন—

১। প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যার প্রতীক ও মান : প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যার প্রতীক হলো n এবং n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 পর্যন্ত মান ধরা হয়। **বৈশিষ্ট্য :** n এর মান দ্বারা অরবিট বা শক্তিস্তরের আকার (Size) সম্বন্ধে জানা যায়। এক ইলেকট্রনবিশিষ্ট পরমাণু (H) ও আয়নের বেলায়-

* (i) n-তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, $r_n = (h^2/4\pi^2me^2) \times n^2/Z = a_0 \times n^2/Z$; এখানে-
বোর ব্যাসার্ধ বা H পরমাণুর ব্যাসার্ধ, $a_0 = 5.292 \times 10^{-11}$ m.

* (ii) n-তম কক্ষপথে **ইলেকট্রনের গতিবেগ**, $v_n = (2\pi e^2/h) \times Z/n$;
H পরমাণুর বেলায়, Z = 1, $v_n = 2\pi e^2/nh$।

* (iii) n-তম কক্ষপথে **ইলেকট্রনের শক্তি**, $E_n = (-2.18 \times 10^{-18}\ J) \times Z^2/n^2$।
এক মোল ইলেকট্রনের শক্তি, $E_n = (-1312 \times (Z^2/n^2))\ kJ\ mol^{-1}$। Z = নিউক্লিয়াসে চার্জ সংখ্যা, n = কক্ষপথের ক্রমিক সংখ্যা।
H পরমাণুর বেলায়, Z = 1, n = 1 হলে, $E_1 = -1312\ kJ\ mol^{-1}$ হয়। অপর কথায় + 1312 $kJ\ mol^{-1}$ শক্তি প্রয়োগ করলে H পরমাণুর ইলেকট্রনটি কক্ষপথ থেকে মুক্ত হয়। তাই H পরমাণুর আয়নীকরণ শক্তি, $E_i = +1312\ kJ\ mol^{-1}$.

প্রয়োজনীয়তা : এ কোয়ান্টাম সংখ্যার প্রয়োজন হয় H পরমাণুর বর্ণালির মধ্যে **প্রধান বর্ণালি রেখা** ব্যাখ্যা করার জন্য।

২। সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যার প্রতীক ও মান : সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যার প্রতীক হলো l এবং $l = 0$ থেকে (n – 1) মান ধরা হয়। **বৈশিষ্ট্য :** বহু ইলেকট্রনবিশিষ্ট পরমাণুর বেলায় প্রযোজ্য উপশক্তিস্তরের আকৃতি (Shape) বোঝানোর জন্য l এর মান ব্যবহৃত হয়। এক্ষেত্রে $l = 0, 1, 2, 3$ যথাক্রমে উপশক্তিস্তর s, p, d, f ধরা হয়। উপশক্তিস্তরের সংখ্যা n এর মানের সমান হয়। s-উপশক্তিস্তর হলো গোলক আকার, p-উপশক্তিস্তর ডাম্বেল আকার এবং d-উপশক্তিস্তর ডাবল ডাম্বেল আকার হয়। **প্রয়োজনীয়তা :** এ সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা (l) এর প্রয়োজন হয় পরমাণুর **বর্ণালিতে সৃষ্ট সূক্ষ্ম রেখার উৎপত্তি** বোঝানোর জন্য।

৩। চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যার প্রতীক ও মান : চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যার প্রতীক হলো m এবং m = + l থেকে শূন্যসহ – l মান ধরা হয়। **বৈশিষ্ট্য :** উপশক্তিস্তরে ত্রিমাত্রিকভাবে বিন্যস্ত s, p, d, f অরবিটালের সংখ্যা গণনা করার জন্য m এর মান ব্যবহৃত হয়। **প্রয়োজনীয়তা :** চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে রেখা **বর্ণালির সূক্ষ্ম রেখায় বিভক্ত হওয়ার কারণ** ব্যাখ্যার জন্য চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা প্রয়োজন হয়।

৪। **স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যার প্রতীক ও মান :** স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যার প্রতীক হলো s এবং প্রতিটি m এর মানের জন্য $s = +\frac{1}{2}$ ও $-\frac{1}{2}$ দুটো করে মান হয়। এদের বিপরীত স্পিন বোঝাতে উর্ধ্বমুখী ও নিম্নমুখী তীর চিহ্ন (↑ ও ↓) ব্যবহৃত হয়।

বৈশিষ্ট্য : স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যা ইলেকট্রনের নিজস্ব অক্ষ বরাবর ঘূর্ণন প্রকাশক রাশি।

প্রয়োজনীয়তা : পরমাণুর ইলেকট্রনের চুম্বক ধর্ম ব্যাখ্যার জন্য ইলেকট্রনের স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যা প্রয়োজন হয়।

সংক্ষেপে চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মানের সম্পর্ক ও তাৎপর্য :

আবিষ্কারক	কোয়ান্টাম সংখ্যা	মান	তাৎপর্য
বোর	প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা (n)	n = 1, 2............ ইত্যাদি।	প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যার সাহায্যে প্রধান শক্তিস্তরের আকার সম্পর্কে অবগত হওয়া যায়।
সমারফিল্ড	সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা (l)	n এর যেকোনো মানের জন্য l এর মান 0 থেকে (n – 1) পর্যন্ত হতে পারে।	ইলেকট্রন যে উপকক্ষে ঘুরছে তার আকৃতি সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যার (l) সাহায্যে জানা যায়।
জিম্যান	চৌম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা (m)	l এর যেকোনো মানের জন্য m এ মান 0 সহ $+l$ থেকে $-l$ পর্যন্ত হয়।	এ কোয়ান্টাম সংখ্যার সাহায্যে ইলেকট্রনটি যে উপকক্ষে রয়েছে সে উপকক্ষটি ত্রিমাত্রিকভাবে কীরূপে বিন্যস্ত রয়েছে তা জানা সম্ভব।
উলেন বেক ও গুল্ড স্মিথ	ঘূর্ণন কোয়ান্টাম সংখ্যা (s)	m এর প্রতিটি মানের জন্য s-এর মান $+\frac{1}{2}$ ও $-\frac{1}{2}$ হয়।	ইলেকট্রনের ঘূর্ণনের প্রকৃতি ও দিক এ কোয়ান্টাম সংখ্যার সাহায্যে জানা যায়।

অধিক জেনে নাও :

২.২.৪ পরমাণু ও পরমাণুর মূল কণিকাসমূহ

RMDAC

Atom and Its Fundamental Particles

পরমাণু : মৌলিক পদার্থের ক্ষুদ্রতম কণা, সাধারণত যার স্বাধীন অস্তিত্ব নেই, কিন্তু ক্ষুদ্রতম এককরূপে সরাসরি রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করতে পারে, তাকে পরমাণু বলে। প্রত্যেক মৌলের প্রতীক দ্বারা ঐ মৌলের পরমাণুকে বোঝানো হয়। যেমন, H দ্বারা হাইড্রোজেনের পরমাণু বোঝায়।

পরমাণুসমূহকে বিভিন্নভাবে ভেঙে যেসব কণা আবিষ্কৃত হয়েছে মোটামুটিভাবে তাদেরকে পরমাণুর মূল কণিকা বলা হয়। অবশ্য অন্যভাবেও কিছু কিছু কণা সৃষ্টি সম্ভব হয়েছে। তাদের সংখ্যা প্রায় ২০০-এর মতো এবং এ সংখ্যা আরও বাড়ছে। মূল কণিকার সংজ্ঞা নিম্নরূপ :

মূল উপাদানরূপে যেসব অতি সূক্ষ্ম কণিকা দ্বারা পরমাণু গঠিত, তাদেরকে পরমাণুর মূল কণিকা বলা হয়। মূল কণিকা দু প্রকার; যথা— (১) স্থায়ী মূল কণিকা ও (২) অস্থায়ী মূল কণিকা।

পরমাণুর স্থায়ী মূল কণিকা : এ যাবৎ তিনটি পরমাণু মডেল থেকে জেনেছো, পরমাণুর কেন্দ্রে থাকে নিউক্লিয়াস এবং এর চারদিকে থাকে বিভিন্ন অরবিটালে আবর্তনশীল ইলেকট্রনসমূহ। এ দুটি কণা ছাড়াও 1932 খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী জেমস চ্যাডউইক পরমাণুর কেন্দ্রে চার্জবিহীন কণা নিউট্রন আবিষ্কার করেন। **সাধারণ H পরমাণু (^1_1H) ছাড়া সব মৌলের প্রতিটি পরমাণুর গঠন এককরূপে ইলেকট্রন, প্রোটন ও নিউট্রন থাকে। তাই এ তিনটি কণাকে পরমাণুর স্থায়ী মূল কণিকা বলে।**

MAT-(21-22)

পরমাণুর অস্থায়ী মূল কণিকা : কোনো কোনো মৌলের পরমাণুতে খুবই অল্প সময়ের জন্য অস্থায়িভাবে কিছু কণার অস্তিত্ব পাওয়া গেছে, এদেরকে পরমাণুর **অস্থায়ী মূল কণিকা** বলে। যেমন নিউট্রিনো, অ্যান্টি নিউট্রিনো, গ্র্যাভিট্রন, পজিট্রন, পজিট্রিনো, মেসন, বোসন, পাইওন, মিউওন ইত্যাদি।

MAT-(20-21)

কম্পোজিট কণিকা : স্থায়ী ও অস্থায়ী মূলকণিকা ছাড়াও আরো এক শ্রেণির ভারী কণা বিভিন্ন পরমাণু থেকে নির্গত হয়, এদেরকে যৌগিক কণা বা **কম্পোজিট কণিকা** বলে। যেমন আল্‌ফা (α) কণা ($^4_2He^{2+}$) ও ডিউটেরন কণা ($^2_1H^+$ বা, $^2_1D^+$)। ডিউটেরন হলো ভারী হাইড্রোজেন বা, H এর আইসোটোপ ডিউটেরিয়াম (^2_1H বা, ^2_1D) এর নিউক্লিয়াস; এতে ১টি প্রোটন ও ১টি নিউট্রন থাকে। MAT-(18-19)

আবার বিভিন্ন পরমাণুর নিউক্লিয়াসে প্রোটন ও নিউট্রন সংখ্যার মিল ও গরমিলের ওপর ভিত্তি করে 'পরমাণুগুলোর (১) আইসোটোপ (isotope), (২) আইসোবার (isobar) ও (৩) আইসোটোন (isotone) —এ তিনটি শ্রেণি আছে।

(১) **আইসোটোপ :** যেসব পরমাণুর নিউক্লিয়াসে প্রোটন সংখ্যা (p) সমান কিন্তু নিউট্রন সংখ্যা (n) অসমান হওয়ায় ভর সংখ্যা (n + p) অসমান হয়, এদেরকে **আইসোটোপ পরমাণু** বলে। আইসোটোপ একই মৌলের পরমাণু হওয়ায় পর্যায় সারণিতে এদের অবস্থান একই থাকে (iso = একই topos = অবস্থান)। যেমন H-পরমাণুর তিনটি আইসোটোপ হলো প্রোটিয়াম (^1_1H), ডিউটেরিয়াম (^2_1H বা, D) ও ট্রিটিয়াম (^3_1H বা, T)। অনুরূপভাবে $^{12}_6C$, $^{13}_6C$, $^{14}_6C$ আছে। ডিউটেরিয়াম অক্সাইডকে **ভারী পানি** (D_2O) বা Heavy Water বলে।

MAT-(19-20)

উল্লেখযোগ্য যে, (১) ভরের পার্থক্যের জন্য একই মৌলের আইসোটোপসমূহের মধ্যে রাসায়নিক ধর্মের কোনো পার্থক্য দেখা যায় না। ভৌত ধর্মেরও কোনো বিশেষ পার্থক্য দেখা যায় না। তবে কোনো কোনো ক্ষেত্রে তার পরিমাণগত পার্থক্য থাকতে পারে। (২) তবে ভারী আইসোটোপের স্ফুটনাঙ্ক বা গলনাঙ্ক একটু বেশি হবে, যা অনেকক্ষেত্রে উপেক্ষা করা যায়। MAT-(15-16) (৩) পর্যায় সারণিতেও মৌলের অবস্থান দ্বারাই সেই মৌলের সব আইসোটোপের অবস্থান নিশ্চিত হয়। দু-একটি মৌল (যেমন Na, Au) বাদে প্রকৃতিতে প্রায় সব মৌলের একাধিক আইসোটোপ আছে। তাছাড়া বর্তমানে কৃত্রিমভাবে সব মৌলের বহু MAT-(18-19) আইসোটোপ সৃষ্টি করা হয়েছে। এ পর্যন্ত প্রকৃতিতে প্রাপ্ত ও কৃত্রিমভাবে সৃষ্ট মৌলের সংখ্যা ১১৮; MAT-(16-17) - সর্বমোট আইসোটোপের সংখ্যা প্রায় ১৩০০।

MAT-(17-18)

(২) **আইসোবার :** যেসব পরমাণুর প্রোটন সংখ্যা অসমান (ভিন্ন মৌল); কিন্তু ভর সংখ্যা বা (p + n) সমান হয়; এদেরকে পরস্পরের **আইসোবার** বলে। আইসোবারসমূহ অবশ্যই ভিন্ন ভিন্ন মৌলের পরমাণু। যেমন কপারের আইসোটোপ $^{64}_{29}Cu$ এবং জিঙ্কের আইসোটোপ $^{64}_{30}Zn$ হলো পরস্পরের আইসোবার। উভয় পরমাণুর নিউক্লিয়াসে মোট প্রোটন ও DAT-(20-21) নিউট্রনের সংখ্যা হলো 64; কিন্তু তাদের প্রোটন সংখ্যা ভিন্ন। আইসোবার পরমাণুর ভৌত ও রাসায়নিক উভয় প্রকার ধর্ম ভিন্ন হয়। তদ্রূপ $^{14}_6C$ ও $^{14}_7N$ হলো পরস্পরের আইসোবার।

(৩) **আইসোটোন :** যেসব পরমাণুর নিউট্রন সংখ্যা (n) সমান; কিন্তু প্রোটন সংখ্যা (p) অসমান, এদেরকে আইসোটোন বলে। যেমন $^{14}_6C$ ও $^{16}_8O$ হলো পরস্পরের আইসোটোন।

তিনটি স্থায়ী মূল কণিকার বর্ণনা

MAT-(15-16)

(১) **ইলেকট্রন (Electron), $^0_{-1}e$:** ১৮৯৭ খ্রিষ্টাব্দে স্যার জে. জে. থমসন (Sir. J. J. Thomson) ক্যাথোড রশ্মির ওপর পরীক্ষার সময় ইলেকট্রনের অস্তিত্ব আবিষ্কার করেন। ক্যাথোড রশ্মি হলো ইলেকট্রন কণার প্রবাহ। সব প্রকার পরমাণুতে কম-বেশি ইলেকট্রন বিদ্যমান। পদার্থের মধ্যে ইলেকট্রন সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্রতম কণা। (i) একটি ইলেকট্রনের ভর হচ্ছে 9.1085×10^{-28} g যা একটি প্রোটনের ভরের প্রায় $\frac{1}{1837}$ এর সমান। (ii) ইলেকট্রন ঋণাত্মক চার্জযুক্ত এবং ঋণাত্মক চার্জের পরিমাণ -1.6×10^{-19} C (কুলম্ব)। এর চেয়ে কম চার্জ দেখা যায় না। তাই এ পরিমাণ চার্জকে **বৈদ্যুতিক ঋণাত্মক চার্জের একক** ধরা হয়। অর্থাৎ প্রতিটি ইলেকট্রনে এক একক ঋণাত্মক বৈদ্যুতিক চার্জ আছে। (iii) ইলেকট্রনকে 'e' প্রতীক দ্বারা বোঝানো হয়। (iv) ইলেকট্রন পরমাণুর নিউক্লিয়াসের বাইরে অবস্থান করে।

(২) **প্রোটন (Proton), ^1_1p :** ১৯১৯ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড 'ইলেকট্রনের মতো প্রোটনও সব পদার্থের পরমাণুর একটি সাধারণ উপাদান'— এ তথ্য সর্বপ্রথম প্রমাণ করেন। প্রোটন পরমাণুর নিউক্লিয়াসে বিদ্যমান সর্বাপেক্ষা হাল্কা ধনাত্মক

চার্জবিশিষ্ট একটি স্থায়ী বস্তু কণিকা। (i) প্রোটনের ভর 1.673×10^{-24} g যা হাইড্রোজেনের পরমাণুর ভরের প্রায় সমান। পারমাণবিক ভর স্কেলে এর পরিমাণ 1.007276 amu। (ii) প্রোটন হচ্ছে প্রকৃতপক্ষে H^+ অর্থাৎ একটি হাইড্রোজেন পরমাণু থেকে একটি ইলেকট্রন সরিয়ে নিলেই প্রোটন পাওয়া যায়। সুতরাং প্রোটনের বৈদ্যুতিক চার্জের পরিমাণ ইলেকট্রনের সমান, কিন্তু তা ধনাত্মক। এর পরিমাণও $+ 1.6 \times 10^{-19}$ C যা ধনাত্মক চার্জের এক একক। (iii) প্রোটনের প্রতীক হচ্ছে p। (iv) প্রোটন নিউক্লিয়াসে থাকে।

(৩) নিউট্রন (Neutron), $^{1}_{0}n$: ইলেকট্রন ও প্রোটনের মতো নিউট্রনও একটি মৌলিক কণিকা। ১৯৩২ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী জেমস চ্যাডউইক সর্বপ্রথম নিউট্রন সম্বন্ধে ধারণা দেন এবং সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে, **'হাইড্রোজেন–1 ব্যতীত অন্য যেকোনো পরমাণুর অভ্যন্তরে নিউট্রন বিদ্যমান।'** (i) নিউট্রনের ভর 1.675×10^{-24} g যা ইলেকট্রনের ভরের 1839 গুণ। পারমাণবিক ভর স্কেলে এর পরিমাণ 1.008665 amu। (ii) নিউট্রনের কোনো বৈদ্যুতিক চার্জ নেই, অর্থাৎ এটি তড়িৎ নিরপেক্ষ। (iii) নিউট্রনের প্রতীক হচ্ছে n। (iv) এটি পরমাণুর কেন্দ্র নিউক্লিয়াসে অবস্থান করে।

সারণি-২.২ : পরমাণুর স্থায়ী মূল কণিকাসমূহের বৈশিষ্ট্য :

মূল কণিকার নাম ও প্রতীক	প্রোটনের তুলনায়		প্রকৃত ভর (গ্রাম এককে)	প্রকৃত চার্জ (কুলম্ব এককে)	অবস্থান
	ভর	চার্জ			
প্রোটন, $^{1}_{1}p$ বা, p	1	+1	1.673×10^{-24} g	$+ 1.6 \times 10^{-19}$ C বা, $+ 4.8 \times 10^{-10}$ esu	নিউক্লিয়াসে
নিউট্রন, $^{1}_{0}n$ বা, n	1	0	1.675×10^{-24} g	0	নিউক্লিয়াসে
ইলেকট্রন, $^{0}_{-1}e$ বা, e	$\frac{1}{1837}$	–1	9.1085×10^{-28} g	$- 1.6 \times 10^{-19}$ C বা, $- 4.8 \times 10^{-10}$ esu	কক্ষপথে (নিউক্লিয়াসের বাইরে)

(ক) ইলেকট্রনের ভর নির্ণয় : ১৮৯৭ খ্রিষ্টাব্দে স্যার জে. জে. থমসন ক্যাথোড রশ্মি পরীক্ষা থেকে ইলেকট্রনের চার্জ/ভর বা, $\frac{e}{m}$ অনুপাত বের করেন এবং এর মান, $\frac{e}{m} = 1.76 \times 10^{8}$ C/g (কুলম্ব প্রতি গ্রাম) হয়। আবার ইলেকট্রনের চার্জের মান 1.603×10^{-19} C ধরে ইলেকট্রনের ভর (m) নিম্নরূপে বের করা হয় :

$$\text{ইলেকট্রনের ভর, } m = \frac{e}{e/m} = \frac{1.603 \times 10^{-19}\ C}{1.76 \times 10^{8}\ C/g} = 9.1080 \times 10^{-28}\ g.$$

(খ) ইলেকট্রনের চার্জ নির্ণয় : ১৯০৯ খ্রিষ্টাব্দে রবার্ট মিলিকন 'তৈল-বিন্দু পরীক্ষা'র সাহায্যে ইলেকট্রনের চার্জ (e^-) এর মান 1.6×10^{-19} C (কুলম্ব) নির্ণয় করেন। অপরদিকে মাইকেল ফ্যারাডের তড়িৎ-বিশ্লেষণ পরীক্ষা থেকে জানা যায় 108 g বা, 1 mol Ag^+ আয়নকে Ag পরমাণুতে পরিণত করতে 1 mol ইলেকট্রন অর্থাৎ 6.022×10^{23} টি ইলেকট্রন ক্রিয়া করে।

$$\underset{\substack{1\ mol \\ = 108\ g}}{Ag^{+}} + \underset{\substack{1\ mol \\ = 96{,}500\ C}}{e^{-}} \longrightarrow \underset{\substack{1\ mol \\ = 108\ g}}{Ag}$$

আবার $AgNO_3$ দ্রবণের তড়িৎ বিশ্লেষণের ফলে 108 g Ag ক্যাথোডে জমা হতে 96,500 C (কুলম্ব) বিদ্যুৎ প্রয়োজন হয়।

অর্থাৎ 1 mol ইলেকট্রনের চার্জ, $N_A \times e^- = 96{,}500$ C

$$\therefore \text{একটি ইলেকট্রনের চার্জ, } e^- = \frac{96,500\ C}{N_A} = \frac{96{,}500\ C}{6.022 \times 10^{23}} = 1.603 \times 10^{-19}\ C \text{ (কুলম্ব)}$$

$$= 1.603 \times 10^{-20}\ emu\ [emu = \text{electro magnetic unit}]$$

$$= 4.800 \times 10^{-10}\ esu\ [esu = \text{electro static unit}]$$

২.২.৫। পারমাণবিক সংখ্যা ও পারমাণবিক ভর সংখ্যা

Atomic Number and Atomic Mass Number

MAT-(13-14)

(ক) **পারমাণবিক সংখ্যা : কোনো মৌলের একটি পরমাণুর নিউক্লিয়াসে যতটি প্রোটন থাকে; প্রোটনের সে সংখ্যাকে ঐ মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা বা প্রোটন সংখ্যা বলা হয়।** প্রোটন সংখ্যাকে সাধারণত Z দ্বারা প্রকাশ করা হয়। যেমন, সোডিয়াম পরমাণুর নিউক্লিয়াসে 11টি প্রোটন আছে। তাই সোডিয়ামের পারমাণবিক সংখ্যা হলো, $Z = 11$। তদ্রূপ, ক্লোরিনের পারমাণবিক সংখ্যা হলো, $Z = 17$।

মৌলের ধর্ম-এর পারমাণবিক সংখ্যার ওপর নির্ভর করে। রাসায়নিক বিক্রিয়ার সময় পরমাণুর সর্ববহিস্থ শক্তিস্তরের ইলেকট্রনসমূহ অংশগ্রহণ করে এবং ইলেকট্রনের সংখ্যার পরিবর্তন ঘটে; কিন্তু প্রোটন সংখ্যা বা পারমাণবিক সংখ্যার কোনো পরিবর্তন ঘটে না।

(খ) **পারমাণবিক ভর সংখ্যা :** কোনো পরমাণুর ভর মূলত এর নিউক্লিয়াসে পুঞ্জিভূত থাকে। নিউক্লিয়াসে প্রোটন ও নিউট্রন থাকে বলে এদেরকে একত্রে **নিউক্লিয়ন** (nucleon) বলে। **কোনো মৌলের পরমাণুর প্রোটন ও নিউট্রনের মোট সংখ্যাকে নিউক্লিয়ন সংখ্যা বা পারমাণবিক ভর সংখ্যা বা মাস-সংখ্যা বলা হয়।**

নিউক্লিয়ন সংখ্যাকে A দ্বারা প্রকাশ করা হয়। কোনো পরমাণুর নিউক্লিয়াসে প্রোটন ও নিউট্রন সংখ্যা যথাক্রমে p ও n হলে, তখন ঐ মৌলের পারমাণবিক ভর সংখ্যা, $A = (p + n)$ হবে। যেমন, কার্বনের পরমাণুতে প্রোটন সংখ্যা হলো 6 ও নিউট্রন সংখ্যা হলো 6। তাই কার্বনের পারমাণবিক ভর সংখ্যা, $A = (6 + 6) = 12$।

(গ) **মৌলের পাঃ সংখ্যা, ভর সংখ্যা, চার্জ ও পরমাণু সংখ্যা লেখার নিয়ম :**

কোনো মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা (Z)-কে প্রতীকের বাম পার্শ্বের নিচে, মৌলের ভর সংখ্যা (A)-কে প্রতীকের বাম পার্শ্বের ওপর দিকে লেখা হয়। এছাড়া অণুস্থিত পরমাণুর সংখ্যা (n)-কে প্রতীকের ডান পার্শ্বের নিচে, আয়নের চার্জ সংখ্যা (m±) কে প্রতীকের ডান পার্শ্বের ওপর দিকে লেখা হয়। কোনো মৌলের প্রতীককে X ধরে উপরিউক্ত সব নিয়মকে নিম্নমতে লেখা হয়। যেমন—

$$^{A}_{Z}X^{m\pm}_{n}$$

২.২.৬ পরমাণুর ভর ও আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর

Mass of an Atom and Relative Atomic Mass

(ক) **আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর :** পরমাণু এত ছোটো যে, শক্তিশালী মাইক্রোস্কোপ দ্বারাও দেখা যায় না এবং রাসায়নিক নিক্তিতে ওজন করা যায় না। সেজন্য বিজ্ঞানীরা পরোক্ষভাবে পরমাণুর প্রকৃত ভর স্থির করেছেন। যেমন,

হাইড্রোজেনের ১টি পরমাণুর প্রকৃত ভর $= 0.1673 \times 10^{-23}$ g

কার্বনের ১টি পরমাণুর প্রকৃত ভর $= 1.9924 \times 10^{-23}$ g

অক্সিজেনের ১টি পরমাণুর প্রকৃত ভর $= 2.6560 \times 10^{-23}$ g

উপরিউক্ত গ্রাম এককে প্রকাশিত পরমাণুসমূহের ক্ষুদ্র ভর নিয়ে রাসায়নিক গণনা করা সম্ভব নয়। এ কারণে কোনো একটি মৌলের একটি পরমাণুর ভরকে 'একক' বা স্ট্যান্ডার্ড ধরে তার সাপেক্ষে বিভিন্ন মৌলের এক একটি পরমাণু কতগুণ ভারী তা নির্ণয় করা হয়। একেই সংশ্লিষ্ট মৌলের আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর বলা হয়। যেমন ১টি হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরকে একক বা স্ট্যান্ডার্ড ধরলে তখন কার্বন পরমাণুর আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর ১২ হয়। তা নিম্নে হিসাব করে দেখানো হলো :

$$\text{কার্বনের আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর} = \frac{1.9924 \times 10^{-23}\ g}{0.1673 \times 10^{-23}\ g} = 12\ (\text{প্রায়})$$

বিভিন্ন বিজ্ঞানী এ যাবৎ আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর প্রকাশের জন্য তিনটি স্ট্যান্ডার্ড বা স্কেল ব্যবহার করেছেন। যেমন— (১) হাইড্রোজেন স্কেল, (২) অক্সিজেন স্কেল ও (৩) কার্বন স্কেল।

১৯৬১ খ্রিষ্টাব্দ (IUPAC সম্মেলন) থেকে বিজ্ঞানীরা সর্বসম্মতিক্রমে সব ক্ষেত্রে কার্বন-স্কেল ব্যবহার করে এসেছেন। **কার্বন-স্কেল মতে আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর বা পারমাণবিক ভরের সংজ্ঞা** নিম্নরূপ :

সংজ্ঞা : কার্বন-12 আইসোটোপ (^{12}C) এর একটি পরমাণুর ভরকে 12 একক ধরে অন্যান্য মৌলের আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর নির্ণয় করা হয়। কোনো মৌলের একটি পরমাণুর ভর কার্বন-12 আইসোটোপের ভরের $\frac{1}{12}$ অংশের তুলনায় যতগুণ ভারী, সে সংখ্যাকে ঐ মৌলের পারমাণবিক ভর বলা হয়। অর্থাৎ

$$\text{মৌলের আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর} = \frac{\text{মৌলের ১টি পরমাণুর ভর}}{\text{'কার্বন-12' এর ১টি পরমাণুর ভর} \times \frac{1}{12}}$$

'কার্বন-12' আইসোটোপের ভরের $\frac{1}{12}$ অংশকে 'এ্যাটমিক মাস ইউনিট' সংক্ষেপে a.m.u বলা হয়। এর অপর নাম ডাল্টন (dalton)। 1 dalton = 1.6605×10^{-24} g. আপেক্ষিক পারমাণবিক ভরকে 'পারমাণবিক ভর'ও বলা হয়। এটা **একটি বিশুদ্ধ সংখ্যা।**

উদাহরণ : অক্সিজেনের আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর $= \frac{\text{অক্সিজেনের ১টি পরমাণুর ভর} \times 12}{\text{কার্বন-12 এর ১টি পরমাণুর ভর}}$

$$= \frac{2.6560 \times 10^{-23}\ g \times 12}{1.9924 \times 10^{-23}\ g} = 15.99678779$$

(খ) পারমাণবিক ভর একক (amu) : পরমাণুর ভর মাপার জন্য ১৯৬১ খ্রিষ্টাব্দের IUPAC সম্মেলনে যে একক ব্যবহার করার জন্য প্রস্তাব করা হয়, তা হচ্ছে **পারমাণবিক ভর একক** (atomic mass unit সংক্ষেপে **amu**)। 1 amu = 1.6605×10^{-24} g। একটি কার্বন-12 পরমাণুর ভরকে 12 amu একক ধরে এর হিসাব করা হয়।

$\therefore$ পরমাণুর ভর = আপেক্ষিক পারমাণবিক ভর $\times 1.6605 \times 10^{-24}$ g।

গ্রাম-পরমাণু (gram-atom) : কোনো মৌলিক পদার্থের পারমাণবিক ভরকে গ্রামে প্রকাশ করলে যে পরিমাণ হয়, সেই পরিমাণ মৌলিক পদার্থকে তার এক **গ্রাম-পরমাণু** বলা হয়। যেমন, কার্বনের পারমাণবিক ভর 12। সুতরাং 12 g কার্বন হলো 1 গ্রাম পরমাণু কার্বন।

এক গ্রাম-পরমাণু পরিমাণ মৌলিক পদার্থে 6.022×10^{23} সংখ্যক পরমাণু থাকে। এ সংখ্যা অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা (Avogadro number) হিসেবে পরিচিত। সুতরাং 12 g কার্বনে 6.022×10^{23} সংখ্যক কার্বন পরমাণু থাকবে। ফলে

$$\text{একটি কার্বন-12 পরমাণুর ভর} = \frac{12}{6.022 \times 10^{23}}\ g$$

$$\therefore \text{পারমাণবিক ভর একক} = \frac{\text{১টি কার্বন-12 পরমাণুর ভর}}{12}\ (g)$$

$$= \frac{12}{6.022 \times 10^{23} \times 12}\ (g)$$

$$= \frac{1}{6.022 \times 10^{23}}\ (g) = 1.6605 \times 10^{-24}\ g = 1.6605 \times 10^{-27}\ kg$$

MCQ-2.6 : নিচের কোনটির ক্ষেত্রে বর্ণালির বেলায় বোর মতবাদ প্রযোজ্য?

[দি. বো. ২০১৭]

(ক) H^+ (খ) He^+ (গ) Li^+ (ঘ) Be^{2+}

পারমাণবিক ভর একক ব্যবহার করলে একটি পরমাণুর ভর সেই মৌলের পারমাণবিক ভরের সমান সংখ্যাবিশিষ্ট হয়। কিন্তু গ্রাম, কিলোগ্রাম একক ব্যবহারে সেই মান সম্পূর্ণ ভিন্ন হয়। যেমন, অক্সিজেনের পারমাণবিক ভর 16। অক্সিজেন পরমাণুর ভর 16 পারমাণবিক ভর একক (বা amu) $= 16 \times 1.6605 \times 10^{-24}$ g $= 2.6568 \times 10^{-23}$ g বা, 2.6568×10^{-26} kg। অনুরূপভাবে পানির আণবিক ভর 18। সুতরাং পানির একটি অণুর ভর = 18 amu = $18 \times 1.6605 \times 10^{-24}$ g $= 2.9889 \times 10^{-23}$ g $= 2.9889 \times 10^{-26}$ kg।

২.২.৭ আইসোটোপের আপেক্ষিক পরিমাণ ও মৌলের পারমাণবিক ভর

Relative amount of Isotopes and Atomic Mass of Elements MAT-(19-20)

প্রকৃতিতে যেসব মৌল পাওয়া যায়, তাদের আইসোটোপসমূহের আপেক্ষিক প্রাচুর্য সম্পূর্ণ ভিন্ন ধরনের। উদাহরণস্বরূপ, প্রাকৃতিক অক্সিজেনে তিনটি আইসোটোপ যেমন— অক্সিজেন-16, অক্সিজেন-17, অক্সিজেন-18 বিদ্যমান। এদের আপেক্ষিক প্রাচুর্য যথাক্রমে 99.76%, 0.037% ও 0.204%। প্রকৃতিতে কার্বনের দুটি স্থায়ী আইসোটোপ বিদ্যমান। এরা হচ্ছে কার্বন-12, কার্বন-13। এদের আপেক্ষিক প্রাচুর্য যথাক্রমে 98.89%, 1.11%। মৌলের বিভিন্ন আইসোটোপের পারমাণবিক ভর ও শতকরা পরিমাণ থেকে মৌলের পারমাণবিক ভর নিম্নরূপে নির্ধারিত হয়।

মনে করি, একটি মৌলের তিনটি আইসোটোপ আছে যাদের পারমাণবিক ভর যথাক্রমে, M_1, M_2, M_3 এবং আপেক্ষিক প্রাচুর্য যথাক্রমে a%, b%, c%।

সুতরাং সে মৌলের ১০০টি পরমাণুর মধ্যে a সংখ্যক পরমাণুর প্রতিটির ভর M_1 a.m.u, b সংখ্যক পরমাণুর প্রতিটির ভর M_2 a.m.u. এবং c সংখ্যক পরমাণুর প্রতিটির ভর M_3 a.m.u। সুতরাং ১০০টি পরমাণুর ভর হচ্ছে $= (aM_1 + bM_2 + cM_3)$ a.m.u।

সুতরাং সে মৌলের একটি পরমাণুর গড় ভর $= \left(\dfrac{aM_1 + bM_2 + cM_3}{100}\right)$ a.m.u।

এটিই সেই পরমাণুর গ্রাম-পারমাণবিক ভর নির্দেশ করে।

উদাহরণ ২.১। প্রকৃতিতে ক্লোরিনের দুটি আইসোটোপ বিদ্যমান। এদের ভর যথাক্রমে 35 ও 37 পারমাণবিক ভর একক এবং এদের প্রাচুর্য হচ্ছে যথাক্রমে 75.53% ও 24.47%। ক্লোরিনের পারমাণবিক ভর বের করো।

সমাধান : এখানে, প্রথমটির আপেক্ষিক পরিমাণ, a = 75.53%; দ্বিতীয়টির আপেক্ষিক পরিমাণ, b = 24.47%

প্রথমটির পাঃ ভর, A = 35, দ্বিতীয়টির পাঃ ভর, B = 37

$\therefore$ সূত্র মতে ক্লোরিনের পারমাণবিক ভর $= \dfrac{(35 \times 75.53 + 37 \times 24.47)}{100} = 35.45$।

উদাহরণ ২.২। প্রাকৃতিক অক্সিজেনে ^{16}O, ^{17}O, ^{18}O এর পরিমাণ যথাক্রমে 99.76%, 0.037%, 0.204% হলে অক্সিজেনের পারমাণবিক ভর নির্ণয় করো।

সমাধান : প্রশ্নমতে, প্রকৃতিতে 100টি অক্সিজেন পরমাণুর মধ্যে গড়ে 99.76 টি পরমাণুর ভর 16 a.m.u, 0.037 টি অক্সিজেন পরমাণুর ভর 17 a.m.u. এবং 0.204 টি পরমাণুর ভর 18 a.m.u। সুতরাং 100টি অক্সিজেন পরমাণুর সর্বমোট ভর $= (16 \times 99.76 + 17 \times 0.037 + 18 \times 0.204) = 1599.9$ a.m.u.

সুতরাং একটি অক্সিজেন পরমাণুর গড় ভর $= \dfrac{1599.9}{100} = 15.999$ a.m.u.

$\therefore$ অক্সিজেনের পারমাণবিক ভর = 15.999।

২.২.৮ পরমাণুতে প্রোটন, ইলেকট্রন ও নিউট্রন সংখ্যার সম্পর্ক

Relationship among Number of Protons, Electrons and Neutrons

পরমাণু সামগ্রিকভাবে কোনোরূপ চার্জযুক্ত থাকে না। যেহেতু নিউট্রন চার্জবিহীন, সেহেতু পরমাণুতে ইলেকট্রন ও প্রোটনের সংখ্যা অবশ্যই সমান হবে। কেননা, প্রোটন ও ইলেকট্রনের আধান বিপরীতধর্মী ও সমপরিমাণের। অপরদিকে ইলেকট্রনের ভর প্রোটন ও নিউট্রনের তুলনায় অতি নগণ্য বলে একটি পরমাণুর ভর এর প্রোটন ও নিউট্রনের সংখ্যা দ্বারাই নিরূপিত হয়। সব আইসোটোপের পারমাণবিক ভর সাধারণত একটি অখণ্ড সংখ্যার খুব কাছাকাছি হয়। এ অখণ্ড সংখ্যাকে আইসোটোপের ভর-সংখ্যা বলা হয় এবং তা সেই আইসোটোপে বিদ্যমান প্রোটন ও নিউট্রনের সর্বমোট সংখ্যা নির্দেশ করে। প্রতিটি মৌলের আবার নির্দিষ্ট পারমাণবিক সংখ্যা আছে। বর্তমানে এটি নিশ্চিতভাবে প্রমাণিত যে, একটি মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা সে মৌলের পরমাণুতে বিদ্যমান প্রোটনের সংখ্যার সমান। উপরোক্ত আলোচনা হতে এ সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, কোনো আইসোটোপের ভর সংখ্যা A এবং সে মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা Z হলে সে আইসোটোপে Z টি প্রোটন, Z টি ইলেকট্রন ও (A – Z) টি নিউট্রন আছে। সারণি ২.৩ থেকে তা পরিষ্কার হবে।

সারণি ২.৩ হতে এটি স্পষ্ট যে, ^{12}C, ^{13}C-এর মধ্যে এবং ^{16}O, ^{17}O, ^{18}O-এর মধ্যে একমাত্র পার্থক্য নিউট্রনের সংখ্যা। অর্থাৎ নিউট্রনের সংখ্যার তারতম্যের জন্যই আইসোটোপের সৃষ্টি। যেহেতু একই মৌলের সব আইসোটোপের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্ম একই, সেহেতু একথা নিশ্চিতভাবে বলা চলে যে, ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মাবলির ওপর নিউট্রনের কোনো প্রভাব নেই। প্রশ্ন ওঠে, পরমাণুর ভেতরে নিউট্রন, প্রোটন, ইলেকট্রন কোথায় এবং কীভাবে থাকে। নিউট্রন আবিষ্কারের বহু পূর্বেই রাদারফোর্ড প্রমাণ করেন যে, পরমাণুতে দুটি ভাগ আছে; একটি কেন্দ্র এবং অপরটি কেন্দ্রের চারদিকে পরিক্রমণরত ইলেকট্রনসমূহ। বর্তমানে এটি সন্দেহাতীতভাবে প্রমাণিত যে, নিউট্রন ও প্রোটনসমূহ কেন্দ্রে থাকে।

সারণি-২.৩ : C, N, O এর কয়েকটি আইসোটোপে নিউট্রন, প্রোটন ও ইলেকট্রনের সংখ্যার সম্পর্ক।

আইসোটোপ	বিভিন্ন কণিকার সংখ্যা			সর্বমোট ভর সংখ্যা	সর্বমোট আধান বা চার্জ
	প্রোটন	ইলেকট্রন	নিউট্রন	প্রোটন + নিউট্রন = মোট	প্রোটন + ইলেকট্রন + নিউট্রন = মোট
$^{12}_{6}C$	6	6	6	6 + 6 = 12	+6 + (–6) + 0 = 0
$^{13}_{6}C$	6	6	7	6 + 7 = 13	+6 + (–6) + 0 = 0
$^{14}_{7}N$	7	7	7	7 + 7 = 14	+7 + (–7) + 0 = 0
$^{15}_{7}N$	7	7	8	7 + 8 = 15	+7 + (–7) + 0 = 0
$^{16}_{8}O$	8	8	8	8 + 8 = 16	+8 + (–8) + 0 = 0
$^{17}_{8}O$	8	8	9	8 + 9 = 17	+8 + (–8) + 0 = 0
$^{18}_{8}O$	8	8	10	8 + 10 = 18	+8 + (–8) + 0 = 0

২.২.৯ মৌলের তেজস্ক্রিয়তা ও তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ

Radioactivity and Radioactive Isotopes of Elements

এ যাবৎ আবিষ্কৃত ১১৮টি মৌলের মধ্যে অধিকাংশ মৌলের পরমাণু ও এদের আইসোটোপ সুস্থিত (stable) এবং কম সংখ্যক মৌলের পরমাণু ও এদের আইসোটোপগুলো অস্থিত (unstable)। অস্থিত পরমাণু বা আইসোটোপগুলো স্বতঃস্ফূর্তভাবে বিভিন্ন ধরনের রশ্মি বিকিরণ করে অন্য মৌলের আইসোটোপে পরিণত হয়। কোনো মৌলের পরমাণু বা

আইসো টোপ দ্বারা স্বতঃস্ফূর্তভাবে বিভিন্ন রশ্মি বিকিরণ-ধর্মকে ঐ মৌলের তেজস্ক্রিয়তা ধর্ম বলে। তেজস্ক্রিয়তা ধর্মযুক্ত মৌলকে তেজস্ক্রিয় মৌল বা তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ বলে। তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ দু প্রকার; যেমন— (১) প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ; এরা প্রকৃতিতে সৃষ্ট পরমাণু; উদাহরণ Rn(86), Fr(87), Ra(88), U(92) ইত্যাদি। (২) কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ; এরা পরীক্ষাগারে বিজ্ঞানীদের দ্বারা **'নিউক্লীয় বিক্রিয়ার'** মাধ্যমে সৃষ্ট; উদাহরণ Tc(43), Pm(61), Np(93) থেকে Og(118) পর্যন্ত সব কৃত্রিম তেজস্ক্রিয় মৌল।

তেজস্ক্রিয় মৌলের বিকিরিত রশ্মি তিন প্রকার; যেমন— (i) আল্ফা (α) রশ্মি, (ii) বিটা (β) রশ্মি ও (iii) গামা (γ) রশ্মি।

* তেজস্ক্রিয় মৌলের α-রশ্মি বিকিরণে সৃষ্ট নতুন পরমাণুতে প্রোটন সংখ্যা 2 একক এবং ভর সংখ্যা 4 একক হ্রাস পায়। যেমন,

$$^{226}_{88}Ra \longrightarrow ^{222}_{86}Rn + ^{4}_{2}He\ (\alpha\text{-particle})$$

* **তেজস্ক্রিয় মৌলের β রশ্মি বিকিরণে সৃষ্ট নতুন পরমাণুতে প্রোটন সংখ্যা 1 একক বৃদ্ধি পায়; কিন্তু ভর সংখ্যা ঠিক থাকে। এক্ষেত্রে একটি নিউট্রন থেকে β রশ্মি বিকিরিত হয়ে একটি প্রোটন সৃষ্টি হয়।** যেমন,

$$^{232}_{89}Ac \longrightarrow ^{232}_{90}Th + ^{0}_{-1}e\ (\beta\ ray)$$

* **গামা রশ্মির ভর ও তড়িৎ চার্জ থাকে না; গামা রশ্মি হলো তড়িৎ চুম্বকীয় রশ্মি।**

তিনটি তেজস্ক্রিয় রশ্মির সাধারণ বৈশিষ্ট্য হলো : (১) এরা অস্বচ্ছ পদার্থের মধ্যদিয়ে যেতে পারে; (২) যে গ্যাসের মধ্য দিয়ে যায় তাকে আয়নিত করে; (৩) অন্ধকারে রাখা ফটোগ্রাফিক প্লেটে দাগ সৃষ্টি করে।

আলফা (α), বিটা (β) ও গামা (γ) রশ্মির তুলনা

রশ্মি বা কণা	আপেক্ষিক চার্জ	আপেক্ষিক ভর	রশ্মি বা কণার প্রকৃতি	ছেদন ক্ষমতা
α - রশ্মি	+2	4 একক	দ্বিধনাত্মক চার্জযুক্ত (He^{2+})	1 গুণ ধরে
β - রশ্মি	−1	0	একক ঋণাত্মক চার্জ (e^-)	1,000 গুণ
γ - রশ্মি	0	0	তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ	10,000 গুণ

নিউক্লীয় বিক্রিয়া (Nuclear Reaction)

সংজ্ঞা : কোনো উচ্চগতিসম্পন্ন কণা বা ক্ষুদ্র নিউক্লিয়াস (যেমন আলফা কণা) দ্বারা অপর কোনো পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে আঘাত করলে সংশ্লিষ্ট নিউক্লিয়াসের পরিবর্তনের মাধ্যমে নতুন নিউক্লিয়াসবিশিষ্ট নতুন মৌলের পরমাণুর যখন উদ্ভব ঘটে, তখন তাকে নিউক্লীয় বিক্রিয়া বলা হয়। নিউক্লীয় বিক্রিয়ায় নিউক্লিয়াসের পরিবর্তন ঘটলেও সর্বমোট প্রোটন ও নিউট্রন সংখ্যার কোনো পরিবর্তন ঘটে না। প্রধান তিন প্রকার নিউক্লীয় বিক্রিয়া যেমন **নতুন মৌল সৃষ্টিতে**-(১) ট্রান্সম্যুটেশন বিক্রিয়া এবং **শক্তি উৎপাদনে**-(২) নিউক্লীয় ফিশান (fission) ও (৩) নিউক্লীয় ফিউশান (fusion) বিক্রিয়া উদাহরণসহ দেখানো হলো।

(১) ট্রান্সম্যুটেশন বিক্রিয়া : কোনো মৌলের স্থায়ী নিউক্লিয়াসকে উচ্চগতিশীল নিউট্রন, প্রোটন অথবা আলফা কণা অথবা অপর পরমাণুর নিউক্লিয়াস দ্বারা আঘাত করে নতুন মৌলে পরিণত করাকে ট্রান্সম্যুটেশন বিক্রিয়া বলে। যেমন—

$$^{45}_{21}Sc + \underset{\text{নিউট্রন}}{^{1}_{0}n} \longrightarrow ^{45}_{20}Ca + \underset{\text{প্রোটন}}{^{1}_{1}H}\ ; \quad ^{58}_{28}Ni + \underset{\text{প্রোটন}}{^{1}_{1}H} \longrightarrow ^{58}_{29}Cu + \underset{\text{নিউট্রন}}{^{1}_{0}n}$$

$$^{27}_{13}Al + \underset{\text{আলফা কণা}}{^{4}_{2}He} \longrightarrow ^{30}_{15}P + \underset{\text{নিউট্রন}}{^{1}_{0}n}\ ; \quad \underset{\text{নেপচুনিয়াম}}{^{237}_{93}Np} + \underset{\text{Ca-নিউক্লিয়াস}}{^{48}_{20}Ca} \longrightarrow \underset{\text{নিহোনিয়াম}}{^{282}_{113}Nh} + 3\,^{1}_{0}n$$

একইভাবে 243 পাঃ ভরের অ্যামেরিসিয়াম $\left({}^{243}_{95}\text{Am}\right)$ পরমাণুকে Ca-48 এর নিউক্লিয়াস দিয়ে আঘাত করে 288 পাঃ ভরের মস্কোভিয়াম $\left({}^{288}_{115}\text{Mc}\right)$ পরমাণু সৃষ্টি এবং এটির α কণা বিকিরণে নিহোনিয়াম পরমাণু উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{অ্যামেরিসিয়াম}}{{}^{243}_{95}\text{Am}} + {}^{48}_{20}\text{Ca} \longrightarrow \underset{\text{মস্কোভিয়াম}}{{}^{288}_{115}\text{Mc}} + 3\,{}^{1}_{0}\text{n} \longrightarrow \underset{\text{নিহোনিয়াম}}{{}^{284}_{113}\text{Nh}} + {}^{4}_{2}\text{He} + 3\,{}^{1}_{0}\text{n}$$

(২) নিউক্লীয় ফিশান : অতি বৃহৎ নিউক্লিয়াসের পরমাণু যেমন ${}^{235}_{92}\text{U}$ এবং ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ ইত্যাদিকে উচ্চগতিসম্পন্ন নিউট্রন দ্বারা (প্রায় 8 MeV শক্তিতে) আঘাত করে কাছাকাছি পাঃ ভরবিশিষ্ট দুটি ভিন্ন মৌল উৎপন্ন করাকে নিউক্লীয় বিভাজন বা নিউক্লীয় ফিশান বলে। নিউক্লীয় ফিশান বিক্রিয়ায় উৎপন্ন বিপুল তাপশক্তি থেকে পারমাণবিক চুল্লিতে বিদ্যুৎ শক্তি উৎপন্ন করা হয়। [MeV = মেগা (10^6) ইলেকট্রন ভোল্ট; 1MeV = 1.602176×10^{-13} J ≡ 1.16×10^{10} K]

$${}^{235}_{92}\text{U} + {}^{1}_{0}\text{n} \xrightarrow{8\text{ MeV}} {}^{141}_{56}\text{Ba} + {}^{92}_{36}\text{Kr} + 3\,{}^{1}_{0}\text{n} + \text{Energy (200 MeV)}$$

(৩) নিউক্লীয় ফিউশান : দুটি ক্ষুদ্র নিউক্লিয়াসকে অত্যধিক উচ্চতাপমাত্রায় (10^8 K) উত্তপ্ত করে অপেক্ষাকৃত বড়ো নিউক্লিয়াসবিশিষ্ট নতুন মৌলে পরিণত করার বিক্রিয়াকে নিউক্লীয় সংযোজন বা থার্মোনিউক্লিয়ার ফিউশান বিক্রিয়া বলে। **সূর্যের শক্তির উৎস হলো নিউক্লীয় ফিউশান বিক্রিয়া।** H-বোমার শক্তি এ ফিউশান বিক্রিয়া। যেমন—

$${}^{2}_{1}\text{H} + {}^{1}_{1}\text{H} \xrightarrow{10^8\text{ K}} {}^{3}_{2}\text{He} + \gamma + \text{Energy}; \quad {}^{2}_{1}\text{H} + {}^{3}_{1}\text{H} \xrightarrow{10^8\text{ K}} {}^{4}_{2}\text{He} + {}^{1}_{0}\text{n} + \text{Energy}.$$

এক্ষেত্রে ${}^{1}_{1}\text{H}$, ${}^{2}_{1}\text{H}$ ও ${}^{3}_{1}\text{H}$ হলো হাইড্রোজেনের তিনটি আইসোটোপ পরমাণু; এদের নাম যথাক্রমে সাধারণ হাইড্রোজেন বা প্রোটিয়াম, ডিউটেরিয়াম ও ট্রিটিয়াম।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১৩ : অরবিটাল শনাক্তকরণ :

কোনো অরবিটালের কোয়ান্টাম সংখ্যা n = 3, l = 1 এবং m = 1 হলে অরবিটালটির শেল ও সাবশেল কী শনাক্ত করো।

দক্ষতা (Strategy) : প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা n এর মান থেকে শেল, সহকারী কো : স : l এর মান থেকে সাবশেল (উপশক্তি স্তর) ও চুম্বকীয় কো : স : m-এর মান অরবিটালের দিক নির্দেশ করে।

সমাধান (Solution) : n = 3 হওয়ায়, অরবিটালটির শেল হলো ৩য়; l = 1 হওয়ায় অরবিটালটি হলো p টাইপ। তাই অরবিটালটির প্রতীক হলো 3p.

শিক্ষার্থীর কাজ-২.৪ : বিভিন্ন সমস্যা : কোয়ান্টাম সংখ্যা, অরবিটাল ও ইলেকট্রন বিন্যাসভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.৮ : নিম্নোক্ত কোয়ান্টাম সংখ্যার বর্ণনা দাও।

(ক) প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা, (খ) সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা, (গ) চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা।

সমস্যা-২.৫ : প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা n = 5 হলে, পঞ্চম শেলে মোট অরবিটাল সংখ্যা কত হবে, তা গণনা করো। [l = 4 হলে g উপশক্তিস্তর হবে।]

সমস্যা-২.৬ : নিম্নোক্ত কোয়ান্টাম সংখ্যার মানযুক্ত অরবিটালসমূহের প্রতীক লেখ।

(ক) n = 2, l = 1, m = 1, (খ) n = 4, l = 3, m = – 2, (গ) n = 3, l = 2, m = – 1

সমস্যা-২.৭ : নিম্নোক্ত প্রতীকের অরবিটালের জন্য প্রযোজ্য কোয়ান্টাম সংখ্যার মান বের করো।

(১) একটি 3s অরবিটাল, (২) একটি 2p অরবিটাল, (৩) একটি 4d অরবিটাল।

সমস্যা-২.৭ (ক) : বোর পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরে (M-শেলে) সর্বোচ্চ কয়টি ইলেকট্রন থাকতে পারে তা কোয়ান্টাম সংখ্যার সাহায্যে গণনা করো। [অভিন্ন বোর্ড (খ-সেট) ২০১৮; রা. বো. ২০১৭]

সমস্যা-২.৭ (খ) : বোর পরমাণু মডেল মতে পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরে l ও m এর মান হিসাব করে মোট অরবিটাল সংখ্যা গণনা করো। [ঢা. বো. ২০১৭]

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১৪ : ইলেকট্রনের কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, গতিবেগ ও শক্তি নির্ণয় :

Li^{2+} আয়নের ২য় কক্ষপথের (ক) বোর ব্যাসার্ধ, (খ) $2s^1$ ইলেকট্রনের গতিবেগ ও (গ) $2s^1$ ইলেকট্রনের শক্তি নির্ণয় করো।

সমাধান : (ক) একক ইলেকট্রনযুক্ত পরমাণুর শক্তিস্তরের ব্যাসার্ধ নির্ণয়ের সমীকরণ হলো :

$$r_n = \left(\frac{h^2}{4\pi^2 me^2}\right) \times \frac{n^2}{Z} = a_0 \times \frac{n^2}{Z} \; ; a_0 = 5.292 \times 10^{-11}\,m$$

Li^{2+} আয়নের বেলায়, কক্ষপথ, n = 2, পারমাণবিক সংখ্যা, Z = 3

$\therefore$ ২য় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, $r_2 = 5.292 \times 10^{-11}\,m \times \frac{(2)^2}{3}$

$\therefore r_2 = 5.292 \times 10^{-11} \times 10^9\,nm \times \frac{4}{3}$

বা, $r_2 = 7.056 \times 10^{-2}\,nm$

MCQ-2.7 : N_2 এর প্রকৃত ভর নিচের কোনটি?

(ক) $14 \times 1.66 \times 10^{-24}\,g$

(খ) $28 \times 1.66 \times 10^{-24}\,g$

(গ) $28 \times 1.6605 \times 10^{-24}\,g$

(ঘ) $28 \times 1.6605 \times 10^{-24}\,g$

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

Li^{2+} আয়নের বেলায়, কক্ষপথ, n = 2; পাঃ সংখ্যা, Z = 3; ইলেকট্রনের চার্জ, $e = 4.803 \times 10^{-10}$ e.s.u ; $h = 6.626 \times 10^{-27}$ erg.sec, $\pi = 3.14$ [দ্রষ্টব্য, e^- এর চার্জ e.s.u এককে হলে h এর মান erg.sec এককে হবে।]

ওপরের সমীকরণে মানগুলো বসিয়ে পাই;

$$v_2 = \frac{2 \times 3.14 \times (4.803 \times 10^{-10})^2}{6.626 \times 10^{-27}} \times \frac{3}{2}$$

$$= \frac{6.28 \times 23.068809 \times 10^{-20} \times 3}{13.252 \times 10^{-27}} = 327.96 \times 10^6\,cms^{-1}$$

MCQ-2.8: p-উপস্তরের জন্য— [অভিন্ন বোর্ড ২০১৮]

(i) $l = 1$ (ii) $m = -1, 0, +1$

(iii) অরবিটাল 2টি

কোনটি সঠিক?

(ক) i, ii (খ) ii, iii

(গ) i, iii (ঘ) i, ii, iii

(গ) n-তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি, $E_n = \frac{-2.18 \times 10^{-18}\,J \times Z^2}{n^2}$

Li^{2+} বেলায়, ৩য় ইলেকট্রনের কক্ষপথ, n = 2; পাঃ সংখ্যা Z = 3।

ওপরের সমীকরণে এসব মান বসিয়ে পাই, $E_2 = \frac{-2.18 \times 10^{-18}\,J \times (3)^2}{(2)^2} = -4.905 \times 10^{-18}\,J$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১৫ : হাইড্রোজেন পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের গতিবেগ বের করো। প্রতি সেকেন্ডে ঐ ইলেকট্রনটি নিউক্লিয়াসের চারদিকে কতবার আবর্তন করে?

দক্ষতা : শক্তিস্তরের ব্যাসার্ধ নির্ণয়ের সমীকরণ, $r_n = 5.292 \times 10^{-11}\,m \times \frac{n^2}{Z}$ থেকে ৩য় শক্তিস্তরের ব্যাসার্ধ (r) এর মান বের করে $mvr = nh/2\pi$ সমীকরণ থেকে গতিবেগ (v) বের করতে হবে।

সমাধান : H পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরের জন্য n = 3, পারমাণবিক সংখ্যা, Z = 1

$\therefore r_3 = 5.292 \times 10^{-11}\,m \frac{(3)^2}{1} = 5.292 \times 10^{-11} \times 9\,m$

$\therefore r_3 = 47.628 \times 10^{-11}$m

আবার, $mvr = \dfrac{n \times h}{2\pi}$:

$\therefore v = \dfrac{3 \times 6.626 \times 10^{-34}\ J.s}{2 \times 3.14 \times 9.11 \times 10^{-31}\ kg \times 47.628 \times 10^{-11}}$

এক্ষেত্রে,

ইলেকট্রনের ভর, $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg

শক্তিস্তরের ব্যাসার্ধ, $r_3 = 47.628 \times 10^{-11}$ m

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

$\pi = 3.14$

বা, $v = \dfrac{19.878 \times 10^{-34}\ J.s}{2724.84 \times 10^{-42}\ kg.\ m} = \dfrac{19.878 \times 10^{8}\ ms^{-1}}{2724.84}$

বা, $v = 7.295 \times 10^{5}\ ms^{-1}$

আবর্তন সংখ্যা গণনা : শক্তিস্তরের বৃত্তাকার পথের দৈর্ঘ্য = $2\pi r$

$\therefore$ ৩য় শক্তিস্তরের বৃত্তাকার পথের দৈর্ঘ্য = $2\pi r$

$\therefore$ $2\pi r$ মিটার পথ অতিক্রম করলে আবর্তন সংখ্যা হয় = 1 বার।

বা, 1.0 মিটার পথ অতিক্রম করলে আবর্তন সংখ্যা = $\dfrac{1}{2\pi r}$

বা, সেকেন্ডে 7.295×10^{5} m পথ অতিক্রম করলে আবর্তন সংখ্যা $\dfrac{7.295 \times 10^{5}\ ms^{-1}}{2 \times 3.14 \times 47.628 \times 10^{-11}\ m}$

$= 24.3895 \times 10^{13}\ s^{-1}$

$\therefore$ নিউক্লিয়াসের চারদিকে বৃত্তাকার পথে সেকেন্ডে আবর্তন সংখ্যা হলো 24.3895×10^{13} বার।

MCQ-2.9 : আলফা কণা কোনটি?

(ক) $^{1}_{0}n$ (খ) $^{1}_{1}n$

(গ) $^{4}_{2}He$ (ঘ) $^{4}_{2}He^{2+}$

শিক্ষার্থীর কাজ-২.৫ : কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, ইলেকট্রনের গতিবেগ ও শক্তিভিত্তিক :

সমস্যা-২.৭.১ : হাইড্রোজেন পরমাণুর ৫ম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ নির্ণয় করো। [উঃ 13.23×10^{-8} cm]

সমস্যা-২.৭.২ : Li^{2+} আয়নের ২য় কক্ষপথের বোর ব্যাসার্ধ নির্ণয় করো। [উঃ 7.056×10^{-9} cm]

সমস্যা-২.৭.৩ : H-পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি কত হবে? [উঃ 2.422×10^{-19} J]

সমস্যা-২.৭.৪ : একটি পরমাণুর প্রথম শক্তিস্তরের ব্যাসার্ধ 5.291×10^{-11}m হলে এ কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের গতিবেগ কত হবে? [উঃ $2.1867 \times 10^{6}\ ms^{-1}$]

সমস্যা-২.৭.৫ : H-পরমাণুর চতুর্থ শক্তিস্তরের ব্যাসার্ধ এবং এ শক্তিস্তরে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের গতিবেগ কত? [উঃ ব্যাসার্ধ = 8.467×10^{-10}m ; গতিবেগ = $5.466 \times 10^{5}\ ms^{-1}$]

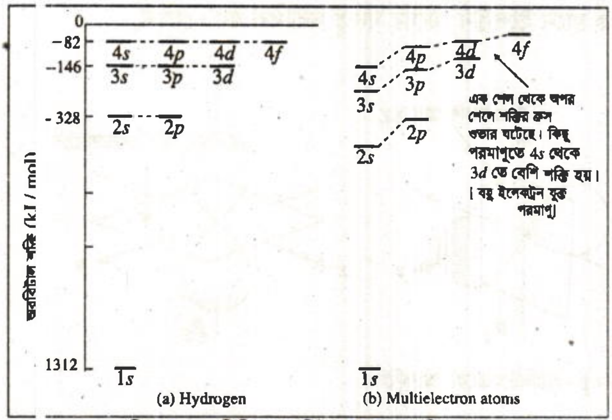
সমস্যা-২.৭.৬ : H-পরমাণুর নিউক্লিয়াস থেকে তৃতীয় কক্ষপথের দূরত্ব কত হবে? [উঃ 4.763×10^{-8} cm]

২.৩ কোয়ান্টাম উপশক্তিস্তর বা অরবিটালের শক্তিক্রম ও আকৃতি

Orbital Energy Levels and Their Shapes

চিত্র-২.৯ এ বিভিন্ন অরবিটাল বা উপশক্তিস্তরের শক্তিক্রম (ইলেকট্রন দ্বারা বিকিরিত অবস্থায়) দেখানো হয়েছে। [চিত্রটিতে পার্থক্যের সুস্পষ্ট ধারণার জন্য বড়ো করে দেখানো হয়েছে]। বর্ণালি আলোচনায় H-পরমাণুর শক্তি বিভিন্ন শক্তিস্তরে কেবল n এর ওপর নির্ভর করে অর্থাৎ সব অরবিটালের বেলায় শক্তি সমান থাকে। কিন্তু বহু ইলেকট্রনবিশিষ্ট পরমাণুর বেলায় [নিচের

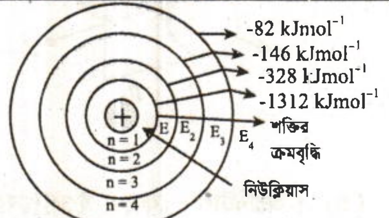
(b)] বিভিন্ন অরবিটালের শক্তি n ও l উভয়ের ওপর নির্ভর করে এবং বিভিন্ন অরবিটালের শক্তির সামান্য পার্থক্য ঘটে। আবার দুই উচ্চশক্তিস্তরে অরবিটালের মধ্যেও ক্রস-ওভার ঘটে; যেমন কোনো কোনো পরমাণুতে 4s অরবিটালের চেয়ে 3d অরবিটালের শক্তি বেশি হয়।



চিত্র-২.৯ : বিভিন্ন অরবিটালসমূহের শক্তিক্রম।

['n' এর মান বৃদ্ধির সাথে অরবিটাল তথা ইলেকট্রনের শক্তির ঋণাত্মক মান হ্রাস পায়। অর্থাৎ ইলেকট্রনের নিট-শক্তির মান বৃদ্ধি পায়।]

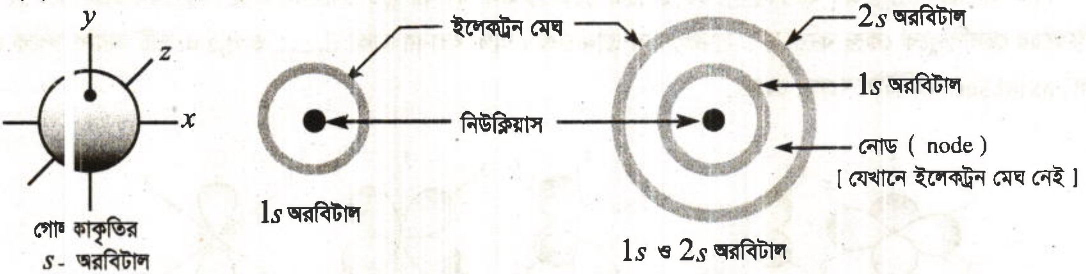
চিন্তা করো :
চিত্র-২.৯ মতে, 'পরমাণুর অরবিটালে ইলেকট্রনের শক্তির মান ঋণাত্মক ধরা হয় কেন'; তা ব্যাখ্যা করো।
সমাধান : পরবর্তী পৃষ্ঠাসমূহে এর ব্যাখ্যা দেখো।



বিভিন্ন অরবিটালের আকৃতি (Shapes of different orbitals) : নিউক্লিয়াসের চারদিকে যে এলাকায় আবর্তনশীল ও নির্দিষ্ট শক্তিযুক্ত ইলেকট্রন মেঘের অবস্থানের সম্ভাবনা 90 – 95% হয়ে থাকে, ইলেকট্রন মেঘের সে এলাকাকে অরবিটাল বলা হয়। **'অরবিটাল' শব্দটি দ্বারা পরমাণুতে বিভিন্ন উপশক্তিস্তর বোঝানো হয়।**

(১) **s-অরবিটাল :** প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা (n) এর যেকোনো মানের জন্য s-অরবিটাল (l = 0) এর ক্ষেত্রে m = 0 হয় বলে এর একটি মাত্র ত্রিমাত্রিক সমবিন্যাস সম্ভব। s অরবিটালের আকৃতি গোলকের ন্যায় (spherical); যার কেন্দ্রে নিউক্লিয়াস অবস্থিত। s-অরবিটাল ত্রিমাত্রিকভাবে x-অক্ষ, y-অক্ষ ও z-অক্ষ বরাবর সমভাবে বিস্তৃত থাকে। প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা 'n' এর মান যত বড়ো হবে, s-অরবিটালের গোলকাকৃতিও তত বড়ো হয়।

(২)

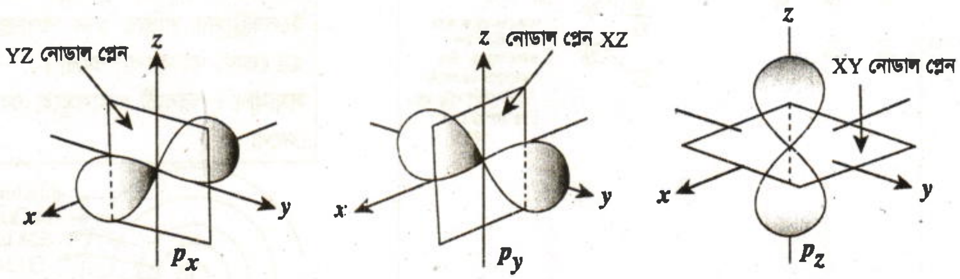


চিত্র-২.১০ : s-অরবিটালের আকৃতি।

(২) **p-অরবিটাল :** দ্বিতীয় শক্তিস্তরের জন্য n = 2 হয়। তখন l = 0, 1 দুটি মান হয়। l = 1 হলে p অরবিটাল হয়। আবার l = 1 হলে চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা, m = – 1, 0, + 1 তিনটি মান সম্ভব। অতএব একই শক্তিসম্পন্ন তিনটি করে p অরবিটাল আছে; এদেরকে p_x, p_y ও p_z অরবিটাল বলা হয়। p অরবিটালসমূহের আকৃতি অনেকটা ডাম্বেলের (dumb-bell) ন্যায়। এদের আকৃতি একই প্রকারের হয়; কিন্তু এরা যথাক্রমে X, Y, Z অক্ষে পরস্পরের ওপর লম্বভাবে থাকে এবং

নিজ নিজ অক্ষ বরাবর দিক নির্দেশকরূপে বিস্তৃত থাকে। প্রতিটি p-অরবিটালের ইলেকট্রন মেঘের দুটি লোবকে (lobe) একটি নোডাল প্লেন আলাদা করে রাখে। নোডাল প্লেনটি (nodal plan) নিউক্লিয়াসকে ভেদ করে।

p-অরবিটালত্রয় s-অরবিটালের মতো নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে সমভাবে বিস্তৃত থাকে না। পরমাণুর কেন্দ্রের দিকে ইলেকট্রন মেঘের ঘনত্ব কম এবং অক্ষ বরাবর ত্রিমাত্রিক স্থানে ইলেকট্রন মেঘের ঘনত্ব সর্বাধিক হয়। যেমন,



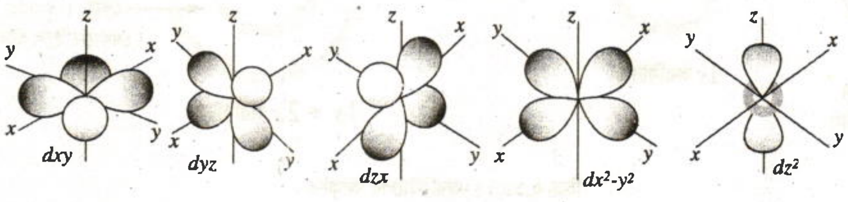
চিত্র-২.১১ : p–অরবিটালত্রয়ের আকৃতি।

(৩) d-অরবিটাল : কোনো ইলেক্ট্রনের শক্তিস্তরের সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা $l = 2$ হলে তখন d-অরবিটাল সম্ভব। যখন $l = 2$, হয়, তখন m এর মান পাঁচটি হয়; যেমন $m = (2l + 1) = (2 \times 2 + 1) = 5$; এসব মান হলো – 2, – 1, 0, + 1, + 2। তাই d-অরবিটালের পাঁচ প্রকার ত্রিমাত্রিক বিন্যাস সম্ভব অর্থাৎ পাঁচটি সমশক্তির d-অরবিটাল আছে; এদেরকে d_{xy}, d_{yz}, d_{zx}, $d_{x^2-y^2}$, d_{z^2} বলে। d-অরবিটালের আকৃতি চারটি লোববিশিষ্ট ডাবল-ডাম্বেলের মতো। প্রতি দুটি বিপরীত লোবকে একটি নোডাল প্লেন আলাদা করে রাখে। দুটি নোডাল প্লেনই নিউক্লিয়াসকে ভেদ করে।

* প্রথম তিনটি দুটি অক্ষের মাঝখানে থাকে; যেমন d_{xy} এর চারটি লোব X ও Y উভয় অক্ষের মাঝখানে, d_{yz} এর চারটি লোব Y ও Z উভয় অক্ষের মাঝখানে, d_{zx} এর চারটি লোব Z ও X উভয় অক্ষের মাঝখানে অবস্থান করে। দুটি অক্ষের মাঝখানে থাকা এ তিনটি অরবিটাল (d_{xy}, d_{yz}, d_{zx}) কে t_{2g} set বা, non-axial set অরবিটাল বলে।

* চতুর্থ অরবিটাল $d_{x^2-y^2}$ এর চারটি লোব X ও Y অক্ষ বরাবর অবস্থান করে।

* পঞ্চম অরবিটাল d_{z^2} এর ইলেকট্রন মেঘপুঞ্জ চিত্র মতে Z-অক্ষ বরাবর দুটি লোবসহ এবং কিছু মেঘ চক্রাকারে X ও Y অক্ষদ্বয়ের ছেদবিন্দুকে কেন্দ্র করে XY সমতলে অবস্থান নেয়। অক্ষ বরাবর থাকা $d_{x^2-y^2}$ ও d_{z^2} এ দুটি অরবিটালকে e_g set বা, axial set অরবিটাল বলে। যেমন,



চিত্র-২.১২ : পাঁচটি d-অরবিটালের আকৃতি।

উল্লেখ্য f অরবিটালে আটটি করে ইলেকট্রন লোবকে তিনটি নোডাল প্লেন আলাদা করে রাখে। তবে সবসময় মনে রাখা প্রয়োজন যে, সুবিধাজনকভাবে দ্বিমাত্রিকভাবে আঁকা হলেও এসব অরবিটালের আকৃতি প্রকৃতপক্ষে ত্রিমাত্রিক। যেমন s-অরবিটালের আকৃতি বৃত্তের ন্যায় নয় বরঞ্চ ফুটবলের ন্যায় গোলকাকার।

অধিক জেনে নাও :

বর্তমানে কোনো কোনো প্রসিদ্ধ রসায়ন-গ্রন্থকার তাঁদের রচিত ও সম্পাদিত রসায়ন পুস্তকে [**Ref :** Modern Inorganic Chemistry : Dr. R.D. Madan. (Revised Edn.-2011)] তিনটি p অরবিটাল ও পাঁচটি d অরবিটালের জন্য চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা 'm' এর সম্ভাব্য বিভিন্ন মানকে x, y, z এ তিনটি অক্ষ সংশ্লিষ্ট বিভিন্ন অরবিটালের সাথে সমন্বয় করে নিম্নরূপে প্রকাশ করেছেন।

* তিনটি p অরবিটালের জন্য : p_x (m = 0), p_y (m = + 1), p_z (m = – 1)
* পাঁচটি d অরবিটালের জন্য : d_{z^2} (m = 0), d_{zx} (m = + 1), d_{yz} (m = – 1), $d_{x^2-y^2}$ (m = + 2), d_{xy} (m = – 2)

ভিন্ন তথ্য : (1) W.U. Malik, G.D. Tuli, R.D. Madan এর 'Selected Topics in Inorganic Chemistry' (reprint 2001) বইটিতে পাঁচটি d অরবিটালের জন্য 'm' এর নিম্নরূপ মান চিহ্নিত করা হয়েছে (Page-19, table 1.3) : d_{xy} (m = 0), d_{yz} (m = + 1), d_{zx} (m = – 1), $d_{x^2-y^2}$ (m = + 2), d_{z^2} (m = – 2)।

* (2) আবার Internet উৎসভিত্তিক তথ্য মতে, p_z (m = 0); p_x [m = + 1 (50%) or, – 1 (50%)]; p_y [m = – 1 (50%) or, + 1 (50%) সম্ভব।] This happens because p_x and p_y orbitals are not eigenstates of L_z operator [or, z axis component of orbital angular momentum, L]

* (3) একই উৎস মতে, d_{z^2} (m = 0); কিন্তু অন্যান্য d অরবিটালের জন্য 'm' এর নির্দিষ্টকরণ খুবই জটিল ও অনিশ্চিত। তাই বিভিন্ন অরবিটালের জন্য সর্বসম্মত 'm' এর মান চিহ্নিত করা যায়নি।

* (4) Quantum Chemistry : Ira N. Levine, 5th Edn. Page-153 এর তথ্য মতে, p_z (m = 0), p_x [m = ± 1 (50%)], p_y [m = ∓ 1 (50%)]। অপরদিকে,
d_{z^2} (m = 0), d_{yz} (m = ± 1), d_{zx} (m = ∓ 1), $d_{x^2-y^2}$ (m = ± 2), d_{xy} (m = ∓ 2) সম্ভব।
এ তথ্যটি Internet উৎসভিত্তিক তথ্য (2) ও (3) এর অনুরূপ। এ তথ্যটির যথাযথ ব্যাখ্যা এ পুস্তকে রয়েছে। তাই এটিই সঠিক তথ্য ও সকলের গ্রহণীয়।

* কৃতজ্ঞতা ও ধন্যবাদ জানাই জনাব মো. রফিকুল ইসলামকে (প্রভাষক, জয়পুরহাট সরকারী কলেজ, সেপ্টেম্বর ২০১৯); তিনি উক্ত বইটির সংশ্লিষ্ট অংশের ফটোকপিসহ এসব তথ্য যোগান দিয়ে আমার জ্ঞানভাণ্ডারকে সমৃদ্ধ করেছেন। তাঁর অধ্যাপনা জীবন সাফল্যমণ্ডিত হোক।

২.৩.১ অরবিট ও অরবিটাল

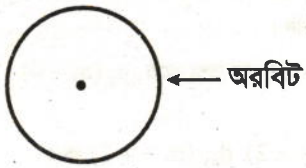
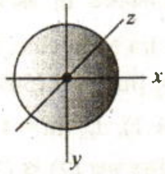
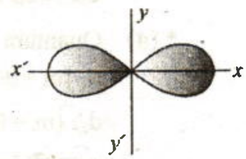
Orbit and Orbital

RMDAC

অরবিট : বোর পরমাণু মডেল অনুসারে পরমাণুর নিউক্লিয়াসের চারদিকে ইলেকট্রনসমূহ আবর্তনের জন্য কতগুলো বৃত্তাকার স্থির কক্ষপথ বা শক্তিস্তর আছে। এসব বৃত্তাকার স্থির শক্তিস্তরকে অরবিট বলা হয়। প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা (n)-এর সাথে অরবিটসমূহের সম্পর্ক রয়েছে। নিউক্লিয়াসের সবচেয়ে কাছের অরবিট হলো ১ম শক্তিস্তর এবং এক্ষেত্রে n = 1 হয়। অনুরূপভাবে ২য় শক্তিস্তর বা ২য় অরবিটের ক্ষেত্রে n = 2 হয়। প্রথম অরবিট থেকে দ্বিতীয় অরবিট আকারে বড়ো। একই নিয়মে ৩য়, ৪র্থ, ৫ম অরবিট ক্রমান্বয়ে আকারে বড়ো হয়ে থাকে।

অরবিটাল : কোয়ান্টাম বলবিদ্যা অনুসারে ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের কাছেও থাকতে পারে; আবার নিউক্লিয়াস থেকে দূরেও থাকতে পারে। তবে নিউক্লিয়াসের চারদিকে যে এলাকায় আবর্তনশীল ও নির্দিষ্ট শক্তিযুক্ত ইলেকট্রন মেঘের অবস্থানের সম্ভাবনা 90–95% হয়ে থাকে, ইলেকট্রন মেঘের সে এলাকাকে অরবিটাল বলা হয়। প্রকৃতপক্ষে, অরবিটাল হলো তরঙ্গ ফাংশন অর্থাৎ তরঙ্গ বলবিদ্যায় গাণিতিক ফাংশন, যা দ্বারা কোনো পরমাণুতে ইলেকট্রনের অবস্থা বর্ণনা করা যায়। 'অরবিটাল' শব্দটি দ্বারা পরমাণুতে বিভিন্ন উপশক্তিস্তর বোঝানো হয়।

অরবিট ও অরবিটালের পার্থক্যসূচক বৈশিষ্ট্যসমূহ (Comparison between Orbit and Orbitals)

অরবিট (orbit)	অরবিটাল (orbital)
১। "অরবিট" শব্দটির উৎস হচ্ছে বোর প্রদত্ত H পরমাণুর গঠন সংক্রান্ত মতবাদ। এ মতবাদ অনুসারে নিউক্লিয়াসের চারদিকে সুনির্দিষ্ট বৃত্তাকার কক্ষপথে ইলেকট্রনসমূহ আবর্তন করে। এ বৃত্তাকার কক্ষপথসমূহকে **অরবিট** বলে।	১। "অরবিটাল" শব্দটির উৎস হচ্ছে কোয়ান্টাম বলবিদ্যা। এ বলবিদ্যা অনুসারে নিউক্লিয়াসের চারদিকে কিছু স্থানে ইলেকট্রনসমূহের প্রাপ্তির সম্ভাবনা খুব বেশি। নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে নির্দিষ্ট শক্তিযুক্ত ইলেকট্রন মেঘের উচ্চঘনত্ব যেমন 90–95% বিশিষ্ট ত্রিমাত্রিক অঞ্চলসমূহকে **অরবিটাল** বলা হয়। প্রকৃতপক্ষে অরবিটাল দ্বারা পরমাণুতে বিভিন্ন উপশক্তিস্তরও বোঝানো হয়।
২। অরবিট দ্বারা নিউক্লিয়াসের চারদিকে দ্বিমাত্রিক বৃত্তাকার পথে ইলেকট্রন আবর্তন করার এলাকাকে বোঝায়।	২। অরবিটাল দ্বারা নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে ত্রিমাত্রিক স্থানে (X, Y ও Z-অক্ষ বরাবর) ইলেকট্রন আবর্তন করে বোঝায়।
৩। ইলেকট্রনের অরবিটসমূহ বৃত্তাকার (circular)। যেমন— 	৩। বিভিন্ন অরবিটালের আকৃতি বিভিন্ন। যেমন s অরবিটাল গোলক আকৃতির, p অরবিটাল দুটি লোববিশিষ্ট ডাম্বেলের মতো; d অরবিটাল ডাবল ডাম্বেলের মতো; প্রতি d অরবিটালে চারটি লোব থাকে।  S-অরবিটাল  P_x-অরবিটাল
৪। অরবিটসমূহ প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা n এর সাথে সম্পর্কিত। n = 1, 2, 3, 4 ইত্যাদি পূর্ণ সংখ্যা হয়।	৪। অরবিটালসমূহ প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা n ও সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা l এর সাথে সম্পর্কিত। প্রকৃতপক্ষে এর সাথে চৌম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা দ্বারা অরবিটালসমূহের সংখ্যা নির্ণীত হয়।
৫। অরবিটসমূহকে K, L, M, N, O প্রভৃতি দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা, n = 1 হলে K অরবিট, n = 2 হলে L অরবিট; এভাবে অরবিটসমূহ চিহ্নিত হয়।	৫। সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা, l = 0, 1, 2, 3, 4 হলে অরবিটালসমূহকে s, p, d, f, g দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। আরো সূক্ষ্মভাবে প্রকাশের জন্য এসব প্রতীক চিহ্নের সাথে প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা ও বিভিন্ন অক্ষের সাথে এসব অরবিটালের দিকস্থিতিও লেখা হয়, যেমন 1s, 2s, $2p_x$, $2p_y$, $2p_z$ অরবিটাল।
৬। বোর পরমাণুর অরবিটে একই সময়ে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের অবস্থান ও ভরবেগ নির্ণয় সম্ভব বলে ধারণা দেয়া হয়; যা হাইজেনবার্গের নীতি বিরুদ্ধ।	৬। অরবিটালে একই সময়ে ইলেকট্রনের সঠিক অবস্থান ও ভরবেগ নির্ণয় করা সম্ভব হয় না। এটি হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি সমর্থন করে।
৭। কোনো অরবিটের সর্বাধিক ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা হলো $2n^2$।	৭। প্রতিটি অরবিটালে বিপরীত স্পিনযুক্ত সর্বাধিক দুটো করে ইলেকট্রন থাকতে পারে।

জেনে নাও : পরমাণুস্থিত অরবিটালে ইলেকট্রনের শক্তির মান ঋণাত্মক ধরা হয় কেন?

এর কারণ, নিউক্লিয়াস ও ইলেকট্রনের অবস্থান অসীম দূরত্বে হলে তখন উভয়ের মধ্যে স্থিরবৈদ্যুতিক প্রভাব শূন্য হওয়ায় পরমাণুর শক্তি শূন্য (Zero) ধরা হয় $E = 0$, যখন $n = \infty$ (infinity) হয়। অরবিট বা কক্ষপথে ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের নিকটে আসলে n এর মান কমতে থাকে, $E < 0$ হয়। তখন নিউক্লিয়াসের প্রভাবে আবর্তনশীল ইলেকট্রন দ্বারা 'কাজ' (work) সম্পাদনজনিত শক্তির ব্যয় ঘটে; তাই কক্ষপথে অবস্থানকালে ইলেকট্রনের শক্তির মান ঋণাত্মক ধরা হয়। ইলেকট্রন যতই নিউক্লিয়াসের নিকটে হবে শক্তির মান তত বেশি ঋণাত্মক হবে। পরমাণুর শক্তিস্তরের মান গণনার জন্য নিম্নরূপ বোর সমীকরণ রয়েছে : $E_n = -2.18 \times 10^{-18}\ J \times (Z^2/n^2)$; Z = নিউক্লিয়াসের চার্জ সংখ্যা, n = 1, 2, 3 ...ইত্যাদি কক্ষপথ সংখ্যা। H-পরমাণুর বেলায়, Z = 1, n =1(গ্রাউন্ড স্টেট), তখন $E_1 = -2.18 \times 10^{-18}$ J অথবা $E_1 = -1312$ kJ/mol হয়।

MAT-(16-17) MAT-(19-20)

২.৪ পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস : আউফবাউ, হুন্ড ও পাউলির বর্জন নীতি

Electronic Configuration of Atoms : Aufbau, Hund and Pauli's Exclusion principles

পরমাণুর নিউক্লিয়াসে যতটি প্রোটন থাকে, তাকে ঐ মৌলের **প্রোটন সংখ্যা বা পারমাণবিক সংখ্যা** বলে। আবার নিউক্লিয়াসে যতটি প্রোটন থাকে, নিউক্লিয়াসের বাইরে বিভিন্ন কক্ষপথে ঠিক ততটি ইলেকট্রন থাকে। তখন পরমাণুটি বিদ্যুৎ চার্জ নিরপেক্ষ হয়।

ইলেকট্রন বিন্যাস : কোয়ান্টাম বলবিদ্যা অনুসারে কোনো পরমাণুর নির্দিষ্ট সংখ্যক ইলেকট্রন ঐ পরমাণুর বিভিন্ন শক্তিস্তরস্থিত নির্দিষ্ট উপশক্তিস্তরের বিভিন্ন অরবিটালে নির্দিষ্ট নিয়মে সজ্জিত থাকে। পরমাণুর বিভিন্ন অরবিটালে ইলেকট্রনের এ সজ্জাকে **পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস বলে।**

আউফবাউ নীতি (Aufbau principle) নামে **তিনটি নিয়ম** (rules) অনুসারে বিভিন্ন অরবিটালে ইলেকট্রন প্রবেশ করে। 'আউফবাউ' হলো জার্মান শব্দ; এর অর্থ 'building up'। ইলেকট্রনগুলো পরমাণুতে সম্ভাব্য নিম্নতম শক্তির ডিজেনারেট অরবিটালগুলোতে অবস্থান করলে এ অবস্থাকে **গ্রাউন্ড স্টেট** (ground state) ইলেকট্রন বিন্যাস বলে। সমশক্তির অরবিটালগুলোকে **ডিজেনারেট** (degenerate) **অরবিটাল** বলে। সমশক্তির ৩টি p-অরবিটাল, ৫টি d-অরবিটাল ও ৭টি f-অরবিটাল আছে।

আউফবাউ নীতির তিনটি নিয়ম (rule) এর সারাংশ হলো নিম্নরূপ :

* ১। ইলেকট্রন সবচেয়ে **নিম্নশক্তির অরবিটাল পূর্ণ করে শক্তির উচ্চক্রম অনুসারে** পরের অরবিটালে প্রবেশ করে;

শক্তিক্রম হলো : 1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, **3d**, 4p, 5s, **4d**, 5p, 6s, **4f**, **5d**, 6p, 7s, **5f**, **6d** (চিত্র ২.১৩ দেখো)।

এ নিয়মটিকে **সাধারণত আউফবাউ নীতি** বলা হয়।

* ২। একটি **অরবিটালে দুটি বিপরীত স্পিনের ইলেকট্রন প্রবেশ করতে পারে।** এটি হলো **পাউলির বর্জন** নিয়মের মূল কথা (১৯২৫ খ্রি.)। বিভিন্ন মৌলের পারমাণবিক বর্ণালি বিশ্লেষণ পরীক্ষা করে পাউলি এ সিদ্ধান্তে পৌঁছেন।

* ৩। **একই শক্তিসম্পন্ন বিভিন্ন অরবিটালে ইলেকট্রনগুলো সম্ভাব্য অধিক সংখ্যায় বিজোড় অবস্থায় একই মুখী স্পিনযুক্ত** থাকবে। **এটিই হুন্ডের নিয়ম** নামে পরিচিত। হুন্ডের নিয়মের মূলে রয়েছে ইলেকট্রন পরস্পরকে বিকর্ষণ করে এবং পরস্পর দূরে অবস্থান করে সম্ভাব্য নিম্নশক্তির স্থায়ী অবস্থায় থাকে।

(১) পাউলির বর্জন নিয়ম ও এর ব্যাখ্যা

পাউলির বর্জন নিয়মটি হলো : একই পরমাণুতে দুটি ইলেকট্রনের চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান কখনো সমান থাকে না। কমপক্ষে যেকোনো একটির মান অসমান হয়।

পাউলির বর্জন নিয়মের ব্যাখ্যা : পাউলির বর্জন নিয়মটির সত্যতা হিলিয়াম (He) পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস থেকে জানা যায়। যেমন, হিলিয়াম (He) পরমাণুতে ২টি ইলেকট্রন থাকে। এ দুটি ইলেকট্রনের ৪টি কোয়ান্টাম সংখ্যার মধ্যে প্রথম ৩টির মান সমান হলেও চতুর্থ কোয়ান্টাম সংখ্যা অর্থাৎ স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যার মান ভিন্ন হয়ে থাকে। যেমন—

১ম ইলেকট্রন e_1 এর জন্য $n = 1, l = 0, m = 0, s = +\frac{1}{2}$

২য় ইলেকট্রন e_2 এর জন্য $n = 1, l = 0, m = 0, s = -\frac{1}{2}$

সুতরাং হিলিয়ামের দুটি ইলেকট্রনের চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান থেকে বোঝা যায় যে, একটি পরমাণুর ২টি ইলেকট্রনের কক্ষপথের আকার (n), আকৃতি (l) ও কৌণিক অবস্থান (m) একই হতে পারে, যদি নিজ অক্ষের ওপর ঐ ইলেকট্রনদ্বয়ের ঘূর্ণনের দিক বিপরীতমুখী হয় অর্থাৎ এক্ষেত্রে ৪র্থ কোয়ান্টাম সংখ্যা ইলেকট্রনের স্পিনের মান ভিন্ন হয়েছে।

পাউলির বর্জন নীতির প্রয়োগ :

(১) বিভিন্ন উপশক্তিস্তরে সর্বাধিক অরবিটাল ও ইলেকট্রন সংখ্যা : পাউলির বর্জন নীতি ব্যবহার করে বিভিন্ন উপশক্তিস্তরে সর্বাধিক কতগুলো অরবিটাল ও ইলেকট্রন থাকা সম্ভব তা জানা যায়। যেমন,

s-উপশক্তিস্তরে $l = 0$ এবং $m = 0$ হয় অর্থাৎ m এর মান একটিমাত্র হওয়ায় s-উপশক্তিস্তরে **একটি মাত্র অরবিটাল** থাকে। এ একটি s-অরবিটালে বিপরীত স্পিনের দুটি করে $1 \times 2 =$ **2 টি ইলেকট্রন** (s^2) থাকা সম্ভব।

p-উপশক্তিস্তরে $l = 1$ এবং $m = -1, 0, +1$ হয় অর্থাৎ m এর তিনটি মান হওয়ায় p উপশক্তিস্তরে **তিনটি অরবিটাল** সম্ভব। এ তিনটি p-অরবিটালে বিপরীত স্পিনের দুটি করে $3 \times 2 =$ **6 টি ইলেকট্রন** (p^6) থাকা সম্ভব।

d-উপশক্তিস্তরে $l = 2$ এবং $m = -2, -1, 0, +1, +2$ অর্থাৎ m এর পাঁচটি মান হওয়ায় d-উপশক্তিস্তরে **পাঁচটি অরবিটাল সম্ভব**। এ পাঁচটি অরবিটালে বিপরীত স্পিনের দুটি করে $5 \times 2 =$ **10 টি ইলেকট্রন** (d^{10}) থাকা সম্ভব।

f-উপশক্তিস্তরে $l = 3$ এবং $m = -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3$ অর্থাৎ m এর সাতটি মান হওয়ায় f-উপশক্তিস্তরে **সাতটি অরবিটাল সম্ভব**। এ সাতটি অরবিটালে বিপরীত স্পিনের দুটি করে $7 \times 2 =$ **14 টি ইলেকট্রন** (f^{14}) থাকা সম্ভব।

উপশক্তিস্তর	অরবিটাল সংখ্যা	সর্বাধিক ইলেকট্রন সংখ্যা	ইলেকট্রন বিন্যাস
s	1	$1 \times 2 = 2$	s^2
p	3	$3 \times 2 = 6$	p^6
d	5	$5 \times 2 = 10$	d^{10}
f	7	$7 \times 2 = 14$	f^{14}

(২) প্রধান শক্তিস্তরে সর্বাধিক ইলেকট্রন সংখ্যা : পাউলির বর্জন নীতি অনুসারে কোনো পরমাণুর অভ্যন্তরে একটি নির্দিষ্ট প্রধান শক্তিস্তরে সর্বোচ্চ n^2 সংখ্যক অরবিটাল সম্ভব। প্রতিটি অরবিটালে বিপরীত স্পিনের দুটি করে ইলেকট্রন ধারণ করলে সর্বোচ্চ $2 \times n^2$ সংখ্যক ইলেকট্রন প্রতিটি প্রধান শক্তিস্তরে থাকতে পারে। যেমন- ১ম শক্তিস্তরে সর্বাধিক ইলেকট্রন সংখ্যা = $2 \times (1)^2 = 2$ টি ($1s^2$)। ২য় শক্তিস্তরে সর্বাধিক ইলেকট্রন সংখ্যা = $2 \times (2)^2 = 8$ (আট)টি ($2s^2 2p^6$) এবং ৩য় শক্তিস্তরে সর্বাধিক ইলেকট্রন সংখ্যা = $2 \times (3)^2 = 18$ টি ($3s^2 3p^6 3d^{10}$)।

*(৩) পাউলির ইলেকট্রন বিন্যাসের এ নীতিকে **'বর্জন নীতি'** বা 'Exclusion principle' বলার কারণ হলো, এ নীতি অনুসারে প্রতিটি প্রধান শক্তিস্তর (n) বা অরবিটে সর্বোচ্চ ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা $2n^2$ সংখ্যক ইলেকট্রনের চেয়ে বেশি সংখ্যক ইলেকট্রনকে exclude বা **'বর্জন করা'**—এ সত্যকে ভিত্তি করে উপস্থাপিত হয়েছে।

(২) হুন্ডের নিয়ম ও এর ব্যাখ্যা

হুন্ডের নিয়মটি হলো : একই শক্তিসম্পন্ন বিভিন্ন অরবিটালে ইলেকট্রনগুলো এমনভাবে অবস্থান করবে যেন তারা সর্বাধিক সংখ্যায় অযুগ্ম বা বিজোড় অবস্থায় থাকতে পারে। এসব অযুগ্ম ইলেকট্রনের স্পিন একইমুখী হবে। 'একই শক্তিসম্পন্ন বিভিন্ন

অরবিটাল বলতে তিনটি p অরবিটাল, পাঁচটি d অরবিটাল ও সাতটি f অরবিটালকে বোঝানো হয়। s অরবিটালের জন্য হুন্ডের নিয়ম প্রযোজ্য নয়।

হুন্ডের নিয়মের ব্যাখ্যা : হুন্ডের নিয়মটির প্রয়োগ N(7) ও O (8) পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাসে দেখানো হলো। যেমন, নাইট্রোজেনের ইলেকট্রন বিন্যাস N (7) = $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$। আবার 2p অরবিটালে প্রকৃতপক্ষে সমশক্তিসম্পন্ন তিনটি অরবিটাল আছে; এদেরকে p_x, p_y, p_z অরবিটাল হিসেবে চিহ্নিত করা হয়। সুতরাং নাইট্রোজেনের বেলায় উপরোক্ত $2p^3$ এর তিনটি ইলেকট্রন তিনটি সমশক্তির অরবিটালে আলাদাভাবে থাকবে এবং এদের স্পিনসমূহ একইমুখী হবে। যেমন,

N (7) = $1s^2\ 2s^2\ 2p_x^1\ 2p_y^1\ 2p_z^1$

[এ ইলেকট্রন বিন্যাস পড়ার নিয়ম হলো : ওয়ান-এস-টু ($1s^2$), টু-এস-টু ($2s^2$), টু-পি-এক্স-ওয়ান ($2p_x^1$), টু-পি-ওয়াই-ওয়ান ($2p_y^1$), টু-পি-জেড-ওয়ান ($2p_z^1$) ইত্যাদি।]

এটিকে **'ইলেকট্রন-বক্স'** পদ্ধতিতে নিম্নরূপে প্রকাশ করা যায় :

	1s	2s	2p		
	⇅	⇅	↑	↑	↑
m =	0	0	−1	0	+1

> **MCQ-2.10: p-উপশক্তিস্তরে মোট কয়টি অরবিটাল?**
> (ক) 1 (খ) 3 (গ) 5 (ঘ) 7

এখানে, তীর (↑) চিহ্ন দ্বারা ইলেকট্রনের স্পিনের দিক নির্দেশ করা হয়েছে।

N (7) পরমাণুর বেলায় $2p^3$ ইলেকট্রন তিনটি অযুগ্ম বা বিজোড় অবস্থায় থাকবে। N এর সাতটি ইলেকট্রনের ৪টি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান নিম্নরূপ হবে :

ইলেকট্রন	n	l	m	s	
e_1	1	0	0	$+\frac{1}{2}$	$1s^2$ (জোড়বদ্ধ)
e_2	1	0	0	$-\frac{1}{2}$	
e_3	2	0	0	$+\frac{1}{2}$	$2s^2$ (জোড়বদ্ধ)
e_4	2	0	0	$-\frac{1}{2}$	
e_5	2	1	1	$+\frac{1}{2}$	[$3p^3$ একই মুখী (↑) স্পিন যুক্ত তিনটি ইলেকট্রন]
e_6	2	1	0	$+\frac{1}{2}$	
e_7	2	1	−1	$+\frac{1}{2}$	

অনুরূপভাবে, অক্সিজেনের ইলেকট্রন বিন্যাস হবে O(8) = $1s^2\ 2s^2\ 2p_x^2\ 2p_y^1\ 2p_z^1$ কেননা 2p অরবিটালে ৪র্থ ইলেকট্রনটি একটি ইলেকট্রনের সাথে জোড়বদ্ধ অবস্থায় থাকতে বাধ্য হয়।

	1s	2s	2p		
O(8) =	⇅	⇅	⇅	↑	↑

দ্রষ্টব্য : 'হুন্ডের নিয়ম'-এর দুটি অংশ রয়েছে। যেমন, (i) সমশক্তির অরবিটালসমূহ (যেমন p_x, p_y, p_z) এর প্রতিটিতে প্রথমে একটি করে ইলেকট্রন প্রবেশ করে এবং শেষে অবশিষ্ট ইলেকট্রন দ্বারা যুগল গঠন হতে পারে। (ii) অর্ধ-পূর্ণ

অরবিটালসমূহে ইলেকট্রনসমূহ একইমুখী স্পিন বা parallel spin যুক্ত থাকে। কারণ একইমুখী স্পিনযুক্ত ইলেকট্রনসমূহের মধ্যে বিকর্ষণ কম ঘটে; তাই অধিক স্থিতিশীল হয়।

* (iii) হুন্ডের নিয়ম-এর ভিত্তি হলো 'ইলেকট্রন স্পিন'-এর চুম্বকীয় ফল অর্থাৎ magnetic effect of electron-spin.

(৩) আউফবাউ নীতি ও এর ব্যাখ্যা

আউফবাউ নীতিটি হলো : পরমাণুতে ইলেকট্রনসমূহ বিভিন্ন অরবিটালে তাদের শক্তির উচ্চক্রম অনুসারে প্রবেশ করে। অর্থাৎ ইলেকট্রনসমূহ প্রথমে নিম্নশক্তির অরবিটাল পূর্ণ করে এর পরে ক্রমান্বয়ে উচ্চশক্তির অরবিটালে স্থান গ্রহণ করে পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস সম্পন্ন করে। এর কারণ হলো নিম্নশক্তিযুক্ত ইলেকট্রন বিন্যাস অধিক স্থিতিশীল। নিম্নশক্তিস্তর থেকে ধারাবাহিকভাবে উচ্চশক্তিস্তরের অরবিটালে ইলেকট্রনসমূহের প্রবেশের এ নিয়মকে জার্মান ভাষায় **'উচ্চক্রম'** বোঝাতে **আউফবাউ** (aufbau) শব্দ ব্যবহৃত হয়েছে।

আউফবাউ নীতির ব্যাখ্যা : শক্তিক্রম নির্ণয়ে $(n + l)$ নিয়ম :

অরবিটালসমূহের $(n + l)$ এর মান ব্যবহার করে অরবিটালসমূহের শক্তি গণনা করা হয়েছে। অরবিটালসমূহের শক্তি ক্রমবৃদ্ধি নিম্নরূপ যা চিত্র ২.১৩ তে দেখানো হয়েছে :

1s, 2s 2p, 3s, 3p, 4s, **3d**, 4p, 5s, **4d**, 5p, 6s, **4f**, **5d**, 6p, 7s, **5f**, **6d**, 7p ও 8s.

আউফবাউ নীতি অনুসারে পটাসিয়াম K (19) ও **স্ক্যান্ডিয়াম** Sc(21) এর **ইলেকট্রন বিন্যাস নিম্নরূপ :**

$$K(19) \longrightarrow 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ \boxed{4s^1}$$

$$Sc(21) \longrightarrow 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ \boxed{3d^1\ 4s^2}$$

যেহেতু 4s অরবিটালের শক্তি 3d অরবিটালের শক্তির চেয়ে কম, তাই পটাসিয়ামের সর্বশেষ অর্থাৎ ১৯তম ইলেকট্রনটি 3d অরবিটালে না গিয়ে 4s অরবিটালে স্থান করে নিয়েছে।

আবার স্ক্যান্ডিয়ামের বেলায় নিম্নশক্তির 4s অরবিটাল পূর্ণ করে পরবর্তী উচ্চশক্তি 3d অরবিটালে সর্বশেষ ২১তম ইলেকট্রনটি প্রবেশ করেছে। উভয় উদাহরণ দ্বারা আউফবাউ নিয়মটি প্রমাণিত হলো।

অরবিটালের শক্তিক্রম মনে রাখার জন্য চিত্র ২.১৩ ব্যবহার করা হয়।

ইলেকট্রনের দুটি অরবিটালের শক্তির তুলনামূলক মান নির্ণয় :

(১) দুটি অরবিটালের মধ্যে যার $(n + l)$ এর মান কম তার শক্তিও কম হয়। অর্থাৎ সেটি নিম্নশক্তির অরবিটাল এবং ইলেকট্রন তুলনামূলকভাবে ঐ অরবিটালে আগে প্রবেশ করবে। যেমন,

3d অরবিটালের জন্য : $n = 3$ এবং $l = 2$

$\therefore (n + l) = (3 + 2) = 5$

4s অরবিটালের জন্য : $n = 4$ এবং $l = 0$

$\therefore (n + l) = (4 + 0) = 4$

> **MCQ-2.11 : p-অরবিটালের আকৃতি কী রূপ?**
> (ক) গোলাকৃতি (খ) ডাম্বেলাকৃতি
> (গ) ডাবল ডাম্বেল (ঘ) দ্বিমাত্রিক

∴ 3d অরবিটালের শক্তি বেশি 4s অরবিটালের শক্তি কম। তাই ইলেকট্রন 4s অরবিটালে আগে প্রবেশ করে এবং সেটি পূর্ণ হলে 3d অরবিটালে স্থান নেয়।

(২) আবার দুটি অরবিটালে $(n + l)$ এর মান সমান হলে যার n-এর মান কম অর্থাৎ প্রধান শক্তিস্তর নিম্নতর হয়; সে অরবিটালে ইলেকট্রন আগে প্রবেশ করে। যেমন,

3d অরবিটালের জন্য : $n = 3$ এবং $l = 2$

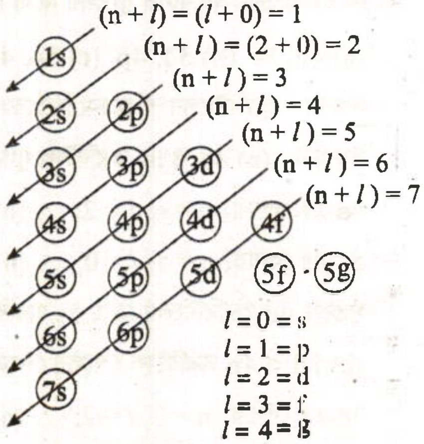
$\therefore (n + l) = (3 + 2) = 5$

4p অরবিটালের জন্য : $n = 4$ এবং $l = 1$

$\therefore (n + l) = (4 + 1) = 5$

এ ক্ষেত্রে উভয় অরবিটাল $(n + l)$ এর মান সমান হয়েছে। কিন্তু 4p অপেক্ষা 3d অরবিটালের ক্ষেত্রে n এর মান কম। তাই 4p অরবিটাল অপেক্ষা 3d অরবিটালের শক্তি কম। অতএব 3d অরবিটালে ইলেকট্রন আগে প্রবেশ করে থাকে।

অবশ্য সবসময় মনে রাখা উচিত এসব হিসাব একটি মোটামুটি হিসাব যা সবসময় সঠিক ইলেকট্রন বিন্যাস দেয় না। তা সত্ত্বেও এ দুটি নিয়ম অত্যন্ত সহায়ক।



চিত্র-২.১৩ : অরবিটালসমূহের শক্তির ক্রম মনে রাখার ছক।

ইলেকট্রন বিন্যাস লেখার নিয়ম হলো : ইলেকট্রন বিন্যাসে s, p, d, f অরবিটালগুলো n এর মানের ক্রম অনুসারে সাজিয়ে লেখা হয়।

ইলেকট্রন বিন্যাস লেখার নিয়ম প্রয়োগ : ইলেকট্রন বিন্যাস লেখার সময় অবশ্যই n এর মান অনুসারে সাজাতে হবে। যেমন, জারকোনিয়াম Zr (40) এর ইলেকট্রন বিন্যাস আউফবাউ নীতি অনুসারে এভাবে হিসাব করা হয়। যেমন,

Zr (40)-এর ইলেকট্রন বিন্যাস : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ \boxed{3d^{10}}\ 4p^6\ 5s^2\ \boxed{4d^2}$

কিন্তু সবশেষে লেখার সময় n-এর মান অনুযায়ী সাজিয়ে লেখা হয়। যেমন,

Zr (40) = $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 4d^2\ 5s^2$

> **MCQ-2.12: d-উপশক্তিস্তরে মোট অরবিটাল কয়টি?**
> (ক) 1 (খ) 3 (গ) 5 (ঘ) 7

ইলেকট্রন বিন্যাসের সাধারণ নিয়মের কিছু ব্যতিক্রম :

ইলেকট্রন বিন্যাসের সুস্থিতি (Stable Configuration) : সমশক্তিসম্পন্ন অরবিটালসমূহ অর্ধপূর্ণ বা সম্পূর্ণরূপে ইলেকট্রন দ্বারা দখলীকৃত হলে সে ইলেকট্রন বিন্যাস সুস্থিতি অর্জন করে। অর্থাৎ np^3, np^6, nd^5, nd^{10}, nf^7 এবং nf^{14} ইলেকট্রন বিন্যাস অরবিটালের প্রতিসমতার কারণে সুস্থিতি লাভ করে। এর ফলেই d^4s^2 এর পরিবর্তে d^5s^1 এবং d^9s^2 এর পরিবর্তে $d^{10}s^1$ ইলেকট্রন বিন্যাস ঘটে। তাই $_{24}Cr$ ও $_{29}Cu$ এর ইলেকট্রন বিন্যাস নিম্নরূপ :

$_{24}Cr = 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ \boxed{3d^5\ 4s^1}$ MAT-(17-18)

$_{29}Cu = 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ \boxed{3d^{10}\ 4s^1}$

> **MCQ-2.13 : f-উপশক্তিস্তরে মোট অরবিটাল কয়টি?**
> (ক) 3 (খ) 5 (গ) 7 (ঘ) 9

(n + 1)d ও nf অরবিটালের শক্তির ন্যূনতম পার্থক্য : উচ্চ পারমাণবিক সংখ্যাবিশিষ্ট মৌলসমূহের ক্ষেত্রে nf ও (n + 1) d অরবিটালের শক্তির পার্থক্য খুব কম হয়। ফলে এদের ক্ষেত্রে অর্থাৎ f অরবিটালের বদলে পরবর্তী d অরবিটালে ইলেকট্রন এর অবস্থানে 'ক্রস-ওভার' ঘটে। যেমন 4f এর বদলে $5d^1$ হয়।

$_{57}La = 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}\ 4s^2\ 4p^6\ 4d^{10}\ \boxed{4f^0}\ 5s^2\ 5p^6\ \boxed{5d^1}\ 6s^2$

(সাধারণ নিয়মে ইলেকট্রন বিন্যাস হওয়া উচিত ছিল – $4d^{10}\ \boxed{4f^1}\ 5s^2\ 5p^6\ 6s^2$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১৬ : অরবিটালের শক্তিক্রম বিচার :

নিচের প্রতিটি অরবিটাল যুগলের মধ্যে নিম্নতর শক্তিসম্পন্ন অরবিটাল শনাক্ত করো :

(a) 4d, 5s (b) 3d, 4p (c) 3p, 4s

দক্ষতা : অরবিটালের শক্তিক্রম নির্ণয়ের $(n + l)$ নিয়ম প্রয়োগ করো।

সমাধান : (a) 4d ও 5s অরবিটাল যুগলের ক্ষেত্রে—

4d এর বেলায়, $n = 4, l = 2; \therefore (n + l) = (4 + 2) = 6$

5s এর বেলায়, $n = 5, l = 0; \therefore (n + l) = (5 + 0) = 5$

সুতরাং 4d অরবিটালের চেয়ে 5s অরবিটাল হলো নিম্নতর শক্তিসম্পন্ন।

(b) 3d ও 4p অরবিটাল যুগলের ক্ষেত্রে—

3d এর বেলায়, $n = 3, l = 2; \therefore (n + l) = (3 + 2) = 5$

4p এর বেলায়, $n = 4, l = 1; \therefore (n + l) = (4 + 1) = 5$

উভয় অরবিটালের $(n + l)$ এর মান 5 (সমান) হওয়ায়, প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা n এর নিম্নতর মান যুক্ত অরবিটালটি নিম্নতর শক্তিযুক্ত হয়। সুতরাং 4p এর চেয়ে 3d নিম্নতর শক্তিযুক্ত।

(c) 3p ও 4s অরবিটাল যুগলের ক্ষেত্রে—

3p এর বেলায়, $n = 3, l = 1; \quad \therefore (n + l) = (3 + 1) = 4$

4s এর বেলায়, $n = 4, l = 0; \quad \therefore (n + l) = (4 + 0) = 4$

উপরোক্ত একই কারণে 4s এর চেয়ে 3p নিম্নতর শক্তিযুক্ত।

> **MCQ-2.14 : কোন্ অরবিটালটি অবাস্তব হবে?**
> (ক) 3s (খ) 2d (গ) 3p (ঘ) 4f

> **MCQ-2.15 : কোন্ অরবিটালের শক্তি সবচেয়ে বেশি?**
> (ক) 4s (খ) 3p (গ) 3d (ঘ) 4f

> **MCQ-2.16 : উপশক্তিস্তরে ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা নির্ণয়ে সূত্র কোনটি? [কু. বো. ২০১৬]**
> (ক) $2n^2$ (খ) $(2l + 1)$
> (গ) $2(2l + 1)$ (ঘ) $2(l + 1)$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১৭ : অনুমোদিত কোয়ান্টাম সংখ্যা মানের সেট :

নিম্নোক্ত কোয়ান্টাম সংখ্যার সেট ইলেকট্রনের জন্য অনুমোদিত কীনা? অনুমোদিত না হলে এর কারণ উল্লেখ করো।

(a) $n = 3, l = 2, m = 0, s = +\frac{1}{2}$; (b) $n = 3, l = 1, m = -2, s = +\frac{1}{2}$

(c) $n = 2, l = 2, m = 1, s = -\frac{1}{2}$; (d) $n = 2, l = 1, m = 0, s = 1$

দক্ষতা : $l = (n - 1), m = \pm l$ এবং $s = \pm\frac{1}{2}$ প্রযোজ্য।

সমাধান : (a) অনুমোদিত। কারণ এক্ষেত্রে সাধারণ নিয়ম অনুসৃত হয়েছে।

(b) অনুমোদিত নয়। কারণ এক্ষেত্রে $l = 1$ হওয়ায়, $m = -1, 0, +1$ হতে হয়, -2 হতে পারে না।

(c) অনুমোদিত নয়। কারণ কোয়ান্টাম সংখ্যা l এর মান n এর সমান হয়েছে; যা সম্ভব নয়।

(d) অনুমোদিত নয়। কারণ ইলেকট্রনের স্পিন $+\frac{1}{2}$ অথবা $-\frac{1}{2}$ হয়। প্রদত্ত মান 1 সঠিক নয়।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১৮ : অনুমোদিত অরবিটালের প্রতীক চিহ্নিতকরণ :

নিম্নোক্ত অরবিটালগুলোর মধ্যে কোন্‌টি সম্ভব ও কোন্‌টি সম্ভব নয়; তা ব্যাখ্যা করো।

(a) 1p (b) 2d (c) 3d

দক্ষতা : $l = (n - 1)$ এবং $l = 0 = s$ অরবিটাল, $l = 1 = p$ অরবিটাল, $l = 2 = d$ অরবিটাল।

সমাধান : (a) 1p এর বেলায়, n = 1 অর্থাৎ ১ম শক্তিস্তর হওয়ায় $l = 0$ সম্ভব অর্থাৎ কেবল 1s অরবিটাল সম্ভব। 1p অসম্ভব।

(b) 2d এর বেলায়, n = 2 অর্থাৎ ২য় শক্তিস্তর হওয়ায়, $l = 0, 1$ মান সম্ভব অর্থাৎ 2s ও 2p অরবিটাল সম্ভব; 2d অসম্ভব।

(c) 3d বেলায়, n = 3 অর্থাৎ ৩য় শক্তিস্তর হওয়ায়, $l = 0, 1, 2$ মান সম্ভব অর্থাৎ 3s, 3p, 3d অরবিটাল ৩য় শক্তিস্তরে সম্ভব। সুতরাং 3d অরবিটাল বাস্তব।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.৬ : অরবিটালভিত্তিক :

সমস্যা-২.৮ : নিচের প্রতিটি অরবিটাল যুগলের মধ্যে নিম্নতর শক্তির অরবিটাল শনাক্ত করো :

(a) 2p, 3s; (b) 3d, 4p; (c) 3d, 4s

সমস্যা-২.৯ : নিম্নোক্ত কোয়ান্টাম সংখ্যার সেট পরমাণুর কোনো ইলেকট্রনের ক্ষেত্রে অনুমোদিত কীনা ব্যাখ্যা করো :

(a) $n = 2, l = 1, m = 0, s = +\frac{1}{2}$; (b) $n = 1, l = 1, m = 0, s = -\frac{1}{2}$

(c) $n = 3, l = 2, m = -3, s = +\frac{1}{2}$; (d) $n = 2, l = 1, m = -1, s = +1$

সমস্যা-২.১০ : নিম্নোক্ত অরবিটালগুলোর মধ্যে কোন্‌টি বাস্তব বা সম্ভব এবং কোনটি অবাস্তব বা অসম্ভব তা ব্যাখ্যা করো :

(a) 2d, (b) 3f, (c) 2p, (d) 3d

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১৯ : ইলেকট্রন বিন্যাসভিত্তিক :

কোনো মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা, Z = 13; মৌলটির পরমাণুর সর্বনিম্নশক্তি যুক্ত (গ্রাউন্ড স্টেট) ইলেকট্রন বিন্যাস লেখ এবং যোজ্যতাস্তরের ইলেকট্রনসমূহের স্পিনসহ অরবিটাল পূর্ণকরণ দেখাও।

দক্ষতা : চিত্র-২.১৩ অনুসারে ইলেকট্রন বিন্যাস শক্তিক্রম লেখ। প্রতি অরবিটালে বিপরীত স্পিনের দুটি ইলেকট্রন প্রবেশ সম্ভব। বক্স পদ্ধতিতে হুন্ডের নীতি লেখ।

সমাধান : Z = 13 হলে ইলেকট্রন বিন্যাস হবে : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^1$

যোজ্যতাস্তরে বক্স পদ্ধতিতে স্পিনসহ ইলেকট্রন প্রবেশ :

Z = 13 এর বেলায় : [Ne] [⇅] [↑][ ][ ]
3s 3p

MCQ-2.17 : Fe এর ইলেকট্রন বিন্যাসে n = 3, $l = 2$ হলে কয়টি অরবিটাল সম্ভব?

(ক) 2 (খ) 3 (গ) 5 (ঘ) 7

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২০ : বোরন পরমাণু [$B(5) = 1s^2\ 2s^2\ 2p^1$] এর সর্বশেষ ইলেকট্রনটি p_x, p_y, p_z এ তিনটির মধ্যে কোন্‌ অরবিটালে থাকবে? যুক্তি দেখাও।

সমাধান : উপশক্তিস্তর p এর তিনটি অরবিটাল যেমন p_x, p_y, p_z হলো সমশক্তিসম্পন্ন। তাই বোরন B(5) এর সর্বশেষ ইলেকট্রনটি $2p_x$, $2p_y$ বা $2p_z$ এর যেকোনো একটিতে অবস্থান নিতে পারে। উল্লেখ্য x, y, z অক্ষের সাথে সংশ্লিষ্ট তিনটি p অরবিটালের সাথে চৌম্বক কোয়ান্টাম সংখ্যা (m = –1, 0, +1) এর সুনির্দিষ্ট কোনো সম্পর্ক প্রতিষ্ঠিত নেই।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২১ : যদি কোনো নতুন আবিষ্কৃত মৌলের পরমাণুর ক্ষেত্রে 5 g উপশক্তিস্তর সম্ভব হয়, তবে এতে সর্বোচ্চ কয়টি ইলেকট্রন থাকা সম্ভব?

দক্ষতা : সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা $l = 4$ হলে g উপশক্তিস্তর সম্ভব। উপশক্তিস্তরে অরবিটাল সংখ্যা $= (2l + 1)$

সমাধান : 'g' উপশক্তিস্তরে মোট অরবিটাল সংখ্যা হবে $= (2 \times 4 + 1) = 9$ টি। প্রতিটি অরবিটালে বিপরীত স্পিনের ২টি করে ইলেকট্রন থাকবে। সুতরাং 5 g উপশক্তিস্তরে মোট ইলেকট্রন থাকবে $= 9 \times 2 = 18$ টি।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২২ : Cu পরমাণুর যোজ্যতা-স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস $3d^9\ 4s^2$ না হয়ে $3d^{10}\ 4s^1$ হওয়ার কারণ ব্যাখ্যা করো।

অথবা, **$A = [Ar]d^{10}4s^1$, এক্ষেত্রে A মৌলটি আউফবাউ নীতি মেনে চলে কি? ব্যাখ্যা করো।** [ব. বো. ২০২১]

দক্ষতা : d^9 ইলেকট্রন বিন্যাস অপেক্ষা d^{10} ইলেকট্রন বিন্যাস অধিকতর স্থায়ী হয়।

সমাধান : সমশক্তিসম্পন্ন তিনটি d অরবিটাল অথবা 5টি f অরবিটাল ইলেকট্রন দ্বারা পূর্ণ অথবা অর্ধপূর্ণ অবস্থায় অধিকতর স্থায়িত্ব লাভ করে। তাই Cu এর যোজ্যতাস্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস আউফবাউ নীতির ব্যতিক্রম ঘটিয়ে $3d^9\ 4s^2$ এর পরিবর্তে $3d^{10}\ 4s^1$ ইলেকট্রন বিন্যাস লাভ করে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২৩ : ক্যালসিয়াম (Ca) পরমাণুর যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস বক্স পদ্ধতিতে দেখাও। যোজ্যতা ইলেকট্রনের জন্য প্রযোজ্য চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার সেট গণনা করো।

দক্ষতা : আউফবাউ নীতি অনুসৃত হবে এক্ষেত্রে।

সমাধান : Ca এর পারমাণবিক সংখ্যা, Z = 20

$\therefore {}_{20}Ca = 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2$

যোজ্যতাস্তর বা সর্ববহিস্থ শক্তিস্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস বক্স পদ্ধতিতে, $4s^2$ [⇅]

MCQ-2.18 : কোন্ নীতির ভিত্তিতে মূলত অরবিটালে ইলেকট্রন বিন্যস্ত হয়? [ঢা. বো. ২০১৬]
(ক) হুন্ডের (খ) আউফবাউ
(গ) পাউলির বর্জন (ঘ) VSEPR

যোজ্যতাস্তরের ইলেকট্রন $4s^2$ এর ৪টি কোয়ান্টাম সংখ্যার সেট হলো নিম্নরূপ :

কোয়ান্টাম সংখ্যা →	n	l	m	s বা m_s
১ম ইলেকট্রনের জন্য	4	0	0	$+\frac{1}{2}$ (↑)
২য় ইলেকট্রনের জন্য	4	0	0	$-\frac{1}{2}$ (↓)

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২৪ : সিলিকন পরমাণু (${}_{14}Si$) এর প্রতিটি ইলেকট্রনকে বর্ণনা করার জন্য গ্রহণযোগ্য কোয়ান্টাম সংখ্যার সেট লিপিবদ্ধ করো।

দক্ষতা : আউফবাউ নীতি ও 8 টি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান গণনা করতে হবে।

সমাধান : Si পরমাণু ইলেকট্রন বিন্যাস হলো : $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^2$। এই বিন্যাসকে নিম্নোক্তভাবে প্রকাশ করা যায়।

ইলেকট্রন→	1,2	3,4	5–10	11,12	13,14
বক্স→	[⇅]	[⇅]	[⇅][⇅][⇅]	[⇅]	[↑][↑][ ]
অরবিটাল→	$1s^2$	$2s^2$	$2p_x^2\ 2p_y^2\ 2p_z^2$	$3s^2$	$3p_x^1\ 3p_y^1\ 3p_z^0$

উল্লিখিত বিন্যাসের গ্রহণযোগ্য কোয়ান্টাম সংখ্যার সেট হলো নিম্নরূপ :

অরবিটালে ইলেকট্রন	ইলেকট্রন ক্রম	n	l	m	s বা, m_s
$1s^2$	1,2	1	0	0	$\pm\frac{1}{2}$
$2s^2$	3, 4	2	0	0	$\pm\frac{1}{2}$
$2p^6$	5 – 10	2	1	–1	$\pm\frac{1}{2}$
		2	1	0	$\pm\frac{1}{2}$
		2	1	+1	$\pm\frac{1}{2}$
$3s^2$	11, 12	3	0	0	$\pm\frac{1}{2}$
$3p_x$	13	3	1	0*	$+\frac{1}{2}$
$3p_y$	14	3	1	+1**	$+\frac{1}{2}$

* n এর মান (–1, 0, +1) যেকোনোটি হতে পারে।

** ত্রয়োদশ ইলেকট্রনের ক্ষেত্রে m = 0 ব্যবহার করা হলে চতুর্দশ ইলেকট্রনকে ভিন্নতর মান দিতে হবে (+1 বা –1)

ত্রয়োদশ ইলেকট্রনের জন্য $s=+\frac{1}{2}$ দেয়া হলে হুন্ডের নীতি অনুসারে চতুর্দশ ইলেকট্রনকে অবশ্যই এর অনুরূপ মান দিতে হবে। এক্ষেত্রে $s=+\frac{1}{2}$ অথবা $-\frac{1}{2}$ ব্যবহার করা যায়।

[দ্রষ্টব্য : x, y, z অক্ষ সংশ্লিষ্ট ত্রিমাত্রিকভাবে বিন্যস্ত বিভিন্ন অরবিটালের জন্য 'm' এর বিভিন্ন মানের সুনির্দিষ্টকরণ অনিশ্চিত ও জটিল।]

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২৫ : কোনো একটি মৌলের যোজ্যতাস্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস হলো, $ns^2\ np^4$; এখানে n = 2। মৌলটির ক্ষেত্রে হুন্ডের নীতির প্রয়োগ হয়েছে কীনা ব্যাখ্যা করো। [রা. বো. ২০১৭]

দক্ষতা : হুন্ডের নীতি অনুসারে একই শক্তিসম্পন্ন বিভিন্ন অরবিটালে সর্বাধিক সংখ্যায় বিজোড় ইলেকট্রন থাকে।

সমাধান : উদ্দীপক মতে, মৌলটির যোজ্যতাস্তর বা সর্বশেষ শক্তিস্তরে $ns^2\ np^4$ ইলেকট্রন বিন্যাস আছে। n = 2 হলে মৌলটির যোজ্যতাস্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস হয় $2s^2\ 2p^4$ এবং মৌলটি হবে :

অক্সিজেন, $O(8) \rightarrow 1s^2\ 2s^2\ 2p^4$

অরবিটাল পদ্ধতিতে ইলেকট্রন বিন্যাস হলো, $1s^2$ $2s^2$ $2p_x^2\ 2p_y^1\ 2p_z^1$

এবং বক্স পদ্ধতিতে ইলেকট্রন বিন্যাস হলো, [⇅] [⇅] [⇅ | ↑ | ↑]

হুন্ডের নীতি অনুসারে ৩টি সমশক্তির p অরবিটালে সর্বশেষ চারটি ইলেকট্রন $2p^4$ সর্বাধিক বিজোড় অবস্থায় আছে। তাই অক্সিজেন মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাস হুন্ডের নীতি অনুসরণ করে বা মেনে চলে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২৬ : কোনো একটি মৌলের সর্বশেষ দুটি শক্তিস্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস হলো, $(n-1)s^2\ (n-1)p^6\ (n-1)\ d^0\ ns^1$; এক্ষেত্রে n = 4 হলে মৌলটিতে d-অরবিটালগুলো খালি থাকার কারণ ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০১৭]

অথবা, K(19) এর সর্বশেষ ইলেকট্রনটি 3d অরবিটাল খালি রেখে 4s অরবিটালে যায় কেন ব্যাখ্যা করো।

দক্ষতা : আউফবাউ নীতি অনুসারে, পরমাণুতে ইলেকট্রনসমূহ তাদের নিম্নশক্তির অধিক স্থিতিশীল অরবিটাল পূর্ণ করে ক্রমান্বয়ে উচ্চশক্তির অরবিটালে স্থান গ্রহণ করে।

সমাধান : উদ্দীপকের সংশ্লিষ্ট মৌলের পরমাণুর সর্বশেষ দুটি শক্তিস্তরের ইলেকট্রন বিন্যাসে n = 4 হলে ইলেকট্রন বিন্যাসটি হয় :

$(4-1)s^2\ (4-1)p^6\ (4-1)d^0\ 4s^1 \rightarrow 3s^2\ 3p^6\ 3d^0\ 4s^1$

সুতরাং মৌলটি হলো K(19) এবং এটির ইলেকট্রন বিন্যাসটি হলো :

$K(19) \rightarrow 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ \boxed{3s^2\ 3p^6\ 3d^0\ 4s^1}$

> **MCQ-2.19 : Cr পরমাণুতে কয়টি অযুগ্ম ইলেকট্রন আছে?** [য. বো. ২০১৫]
> (ক) 3 (খ) 4
> (গ) 5 (ঘ) 6

এক্ষেত্রে শক্তিক্রম অনুসারে 4s অরবিটালের শক্তি 3d অরবিটালসমূহের শক্তির চেয়ে কম; তা $(n + l)$ নিয়ম অনুসারে গণনা করা হলো :

3d অরবিটালের জন্য : $n = 3$ এবং $l = 2$; $\therefore (n + l) = (3 + 2) = 5$

4s অরবিটালের জন্য : $n = 4$ এবং $l = 0$; $\therefore (n + l) = (4 + 0) = 4$

$\therefore$ 3d > 4s হওয়ায়, আউফবাউ নীতি অনুসারে 3d অরবিটালসমূহ ফাঁকা রেখে K(19) এর সর্বশেষ ইলেকট্রনটি নিম্নশক্তির অধিকতর স্থায়ী 4s অরবিটালে স্থান গ্রহণ করে। বক্স পদ্ধতিতে K(19) এর সর্বশেষ দুটি শক্তিস্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস হলো :

K(19) → [Ne]	$3s^2$	$3p^6$	$3d^0$	$4s^1$
	[↑↓]	[↑↓][↑↓][↑↓]	[ ][ ][ ][ ][ ]	[↑]

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২৭ : উদ্দীপক : $Ar\ (n-1)\ d^5$ [চ. বো. ২০১৫]

(ক) উদ্দীপকের d-উপশক্তিস্তরে থাকা সব ইলেকট্রনের স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যার মান একই; ব্যাখ্যা করো।

(খ) প্রদত্ত ইলেকট্রন বিন্যাসটি একটি ক্যাটায়নের ইলেকট্রন বিন্যাস; এর সত্যতা নিরূপণ করো।

সমাধান : (ক) কোনো পরমাণুর d উপশক্তিস্তরে $(l = 2)$ চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা (m) এর পাঁচটি মান (– 2 – 1, 0, + 1, + 2) সম্ভব। তাই d অরবিটাল সংখ্যাও 5টি। এ 5টি d অরবিটাল হলো d_{xy}, d_{yz}, d_{zx}, $d_{x^2-y^2}$ ও d_{z^2}।

উদ্দীপক মতে d উপশক্তিস্তরে 5টি ইলেকট্রন (d^5) রয়েছে।

হুন্ডের নিয়ম মতে, সমশক্তিসম্পন্ন এ 5টি ইলেকট্রন থাকা সম্ভব।

d^5 এর স্পিনের মান ও দিক (s)

l	m	s এর মান ও দিক	
2	– 2	$+\frac{1}{2}$	↑
	– 1	$+\frac{1}{2}$	↑
	0	$+\frac{1}{2}$	↑
	+ 1	$+\frac{1}{2}$	↑
	+ 2	$+\frac{1}{2}$	↑

প্রতি ক্ষেত্রে এসব ইলেকট্রনের স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যার মান $+\frac{1}{2}$ হবে।

সুতরাং উদ্দীপক মতে d^5 ইলেকট্রনসমূহের স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যার মান একই; তা ব্যাখ্যা করা হলো।

সমাধান : (খ) প্রদত্ত ইলেকট্রন বিন্যাস হলো একটি ক্যাটায়নের; এর সত্যতা নিরূপণ :

উদ্দীপক মতে, ইলেকট্রন বিন্যাসটি হলো $Ar\ (n-1)d^5$। এক্ষেত্রে Ar হলো আর্গন; এর পারমাণবিক সংখ্যা 18। Ar এর ইলেকট্রন বিন্যাস হলো :

$Ar\ (18) \longrightarrow 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$; $\therefore$ এক্ষেত্রে $n = 4, (n - 1) = 3$ হবে।

∴ $Ar\ (n-1)\ d^5 \longrightarrow 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5$

আ টফবাউ নীতি অনুসারে ইলেকট্রন 3d অরবিটালে প্রবেশ না করে 4s অরবিটালে প্রবেশ করে থাকে এবং 4s পূর্ণ হওয়ার পর অবশিষ্ট ইলেকট্রন 3d তে প্রবেশ করে। এর কারণ, শক্তিক্রম অনুসারে 3d > 4s।

কি উদ্দীপক মতে, 4s এ কোনো ইলেকট্রন নেই; 4s খালি রয়েছে। অর্থাৎ 4s থেকে ইলেকট্রন স্থানান্তরিত করা হয়েছে তাই এটি 3d-অবস্থান্তর মৌলের একটি ক্যাটায়নের ইলেকট্রন বিন্যাস হবে।

সু রাং ক্যাটায়নটির সঠিক ইলেকট্রন বিন্যাস হলো :

$$1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^5\ 4s^0$$

ক্যা টায়নের চার্জ সংখ্যা দেখানো হয়নি। তবে অবস্থান্তর মৌলের $4s^2$ ইলেকট্রন অপসারণের পর 3d থেকে এক বা একাধিব ইলেকট্রন অপসারিত করে ক্যাটায়ন উৎপন্ন হয়। তাই সম্ভাব্য ক্যাটায়নটি হলো Mn^{2+} আয়ন বা, Fe^{3+} আয়ন বা, Co^{+} আয়ন।

শি ার্থীর কাজ-২.৭ : ইলেকট্রন বিন্যাসভিত্তিক :

প্র -২.৯ : (ক) ইলেকট্রন বিন্যাসের পাউলির বর্জন নীতি উদাহরণসহ লেখ। [রা. বো. ২০১৫; চ. বো. ২০১৫]

(খ ইলেকট্রন বিন্যাসের হুন্ডের নীতি উদাহরণসহ ব্যাখ্যা করো।

(গ ইলেকট্রন বিন্যাসের আউফবাউ নীতি উদাহরণসহ লেখ।

সম্ ্যা–২.১১ : নিম্নোক্ত পারমাণবিক সংখ্যাবিশিষ্ট পরমাণুর গ্রাউন্ড স্টেট'- ইলেকট্রন বিন্যাস লেখ এবং যোজ্যতাস্তরে অর বিটালসমূহে ইলেকট্রন প্রবেশ স্পিনসহ দেখাও।

(ক) P (15), (খ) Cl (17), (গ) K (19), (ঘ) Cr (24), (ঙ) Cu (29)

(চ Fe^{2+} ও Fe^{3+} আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস লেখ। উভয় আয়নের মধ্যে কোন্ আয়নের স্থায়িত্ব বেশি এবং কেন, তা ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০২১]

(ছ K এর 19তম ইলেকট্রনটি 3d অরবিটালে না গিয়ে 4s অরবিটালে যায় কেন? [ঢা. বো. ২০১৭; রা. বো. ২০১৫] [সমাধানকৃত সমস্যা-২.২৬ দেখো।]

(জ Rb(37) এর 37-তম ইলেকট্রনটি 4d অরবিটালের পরিবর্তে 5s অরবিটালে গমন করে; এর কারণ সংশ্লিষ্ট নীতিসহ ব্যাখ্যা করো।

(ঝ কোনো মৌলের যোজ্যতাস্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস হলো : $ns^2\ np^4$; এক্ষেত্রে n = 2 ধরে মৌলটির ক্ষেত্রে হুন্ডের নীতির প্রয়োগ দেখাও। [রা. বো. ২০১৭]

(ঞ) কোনো মৌলের সর্বশেষ দুটি শক্তিস্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস হলো : $3s^2\ 3p^6\ 3d^{\circ}\ 4s^1$; এক্ষেত্রে 3d অরবিটালসমূহ ফাঁকা থাকার কারণ ব্যাখ্যা করো। [সমাধানকৃত সমস্যা-২.২৬ দেখো।] [ঢা. বো. ২০১৭]

(ট) $Mg(12) \longrightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$; উল্লেখিত ইলেকট্রন বিন্যাসের সর্বশেষ ইলেকট্রন দুটির ক্ষেত্রে পাউলির বর্জন নীতির প্রয়োগ দেখাও। [চ. বো. ২০২১]

সম ্যা–২.১২ : (1) $K(19) - e^- \longrightarrow K^+$; (2) $Cr(24) - 3e^- \longrightarrow Cr^{3+}$;
(3) $Cu(29) - 2e^- \longrightarrow Cu^{2+}$; (4) $Br(35) + e^- \longrightarrow Br^-$

(ক ইলেকট্রন বিন্যাসের নীতি অনুসারে 1, 2, 3, 4 নং পরমাণু ও সংশ্লিষ্ট আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস লেখ।

সম ্যা-২.১৩ : Br (35) মৌলের সর্ববহিস্থ শক্তিস্তরের ইলেকট্রনের চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান বক্স পদ্ধতিতে দেখ ও।

২.৪.১ প্রথম ত্রিশটি মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাস

আউফবাউ নীতি, হুন্ডের নিয়ম ও পাউলির বর্জন নীতি প্রয়োগ করে H (1) থেকে Zn (30) পর্যন্ত মৌলের পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস দেখানো হলো :

মৌল	ইলেকট্রন বিন্যাস অরবিটাল পদ্ধতিতে	বক্স পদ্ধতিতে ইলেকট্রন বিন্যাস 1s	2s	2p	3s	3p
H (1)	$\rightarrow 1s^1$	[↑]				
He (2)	$\rightarrow 1s^2$	[↑↓]				
Li (3)	$\rightarrow 1s^2 2s^1$	[↑↓]	[↑]			
Be (4)	$\rightarrow 1s^2 2s^2$	[↑↓]	[↑↓]			
B (5)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^1$	[↑↓]	[↑↓]	[↑][ ][ ]		
C (6)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^2$ MAT-(13-14)	[↑↓]	[↑↓]	[↑][↑][ ]		
N (7)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^3$	[↑↓]	[↑↓]	[↑][↑][↑]		
O (8)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^4$	[↑↓]	[↑↓]	[↑↓][↑][↑]		
F (9)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^5$	[↑↓]	[↑↓]	[↑↓][↑↓][↑]		
Ne (10)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6$	[↑↓]	[↑↓]	[↑↓][↑↓][↑↓]		
Na (11)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ MAT-(16-17)	[↑↓]	[↑↓]	[↑↓][↑↓][↑↓]	[↑]	[ ][ ][ ]
Mg (12)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$	[↑↓]	[↑↓]	[↑↓][↑↓][↑↓]	[↑↓]	[ ][ ][ ]
Al (13)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$	[↑↓]	[↑↓]	[↑↓][↑↓][↑↓]	[↑↓]	[↑][ ][ ]
Si (14)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$	[↑↓]	[↑↓]	[↑↓][↑↓][↑↓]	[↑↓]	[↑][↑][ ]
P (15)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$	[↑↓]	[↑↓]	[↑↓][↑↓][↑↓]	[↑↓]	[↑][↑][↑]
S (16)	$\rightarrow 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ DAT-(16-17)	[↑↓]	[↑↓]	[↑↓][↑↓][↑↓]	[↑↓]	[↑↓][↑][↑]
Cl (17)	$\rightarrow [Ne] 3s^2 3p^5$					
Ar (18)	$\rightarrow [Ne] 3s^2 3p^6$					
K (19)	$\rightarrow [Ne] 3s^2 3p^6 3d^0 4s^1$					
Ca (20)	$\rightarrow [Ne] 3s^2 3p^6 3d^0 4s^2$					
Sc (21)	$\rightarrow [Ne] 3s^2 3p^6 3d^1 4s^2$					
Ti (22)	$\rightarrow [Ne] 3s^2 3p^6 3d^2 4s^2$					
V (23)	$\rightarrow [Ne] 3s^2 3p^6 3d^3 4s^2$					
Cr* (24)	$\rightarrow [Ne] 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$					
Mn (25)	$\rightarrow [Ne] 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$					
Fe (26)	$\rightarrow [Ne] 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$					
Co (27)	$\rightarrow [Ne] 3s^2 3p^6 3d^7 4s^2$					
Ni (28)	$\rightarrow [Ne] 3s^2 3p^6 3d^8 4s^2$					
Cu* (29)	$\rightarrow [Ne] 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$					
Zn (30)	$\rightarrow [Ne] 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2$					

সমস্যা-২.২৮ : কোনো পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা, Z = 8 হলে হুন্ডের নিয়ম মতে এর যোজ্যতাস্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস এবং এদের চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান দেখাও।

সমাধান : $Z(8) \rightarrow 1s^2 2s^2 2p_x^2 2p_y^1 2p_z^1$

যোজ্যতাস্তর : $\rightarrow 2s^2 2p_x^2 2p_y^1 2p_z^1$

[↑↓] [↑↓][↑][↑]

পরমাণুটির যোজ্যতাস্তরে ছয়টি ইলেকট্রনের কোয়ান্টাম সংখ্যার সেট হলো :

ইলেকট্রন	n	l	m	s	অরবিটাল
e_1	2	0	0	$+\frac{1}{2}$	$2s^2$
e_2	2	0	0	$-\frac{1}{2}$	
e_3	2	1	0	$+\frac{1}{2}$	$2p_x^1$
e_4	2	1	+1	$+\frac{1}{2}$	$2p_y^1$
e_5	2	1	−1	$+\frac{1}{2}$	$2p_z^1$
e_6	2	1	0	$-\frac{1}{2}$	$2p_x^1$

RMDAC

২.৫ তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালি
Electro-Magnetic Spectrum

বিজ্ঞানী ম্যাক্সওয়েল (Maxwell) প্রমাণ করেন যে, সব ধরনের দৃশ্য ও অদৃশ্য আলোর উৎপত্তি বিদ্যুৎ ও চুম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে হয়। এজন্য সব ধরনের আলোককে একত্রে তড়িৎ বা বিদ্যুৎ চুম্বকীয় বিকিরণ রশ্মি বলা হয়। এ বিকীর্ণ শক্তি তরঙ্গ সৃষ্টি করে স্পন্দনসহকারে উৎস থেকে সর্বদিকে ছড়িয়ে পড়ে। আলোর গতিবেগ মাধ্যমের ওপর নির্ভরশীল। শূন্যে আলোর বেগ সেকেন্ডে প্রায় 2.9979×10^8 m (সংক্ষেপে 3×10^8 m বা, 3×10^{10} cm)। আলোক শক্তি তরঙ্গ হওয়ায় আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও স্পন্দন সংখ্যা বা কম্পাঙ্ক বা ফ্রিক্যুয়েন্সি (frequency) রয়েছে, যা নিম্নরূপে পরস্পরের সাথে ব্যস্তানুপাতিক হয়ে থাকে। তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে λ (ল্যামডা, Lambda) দ্বারা বোঝানো হয়। তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একক হলো মিটার।

MAT-(16-17)

λ (m) $\times$ ν (s^{-1}) = c (ms^{-1}) (আলোর বেগ) এখানে λ = তরঙ্গদৈর্ঘ্য। ফ্রিক্যুয়েন্সি ν-('নিউ' 'nu' উচ্চারণ) এর একক হলো হার্টজ (Hertz, Hz); $1Hz = 1s^{-1}$.

$$\therefore \nu = \frac{c}{\lambda}$$

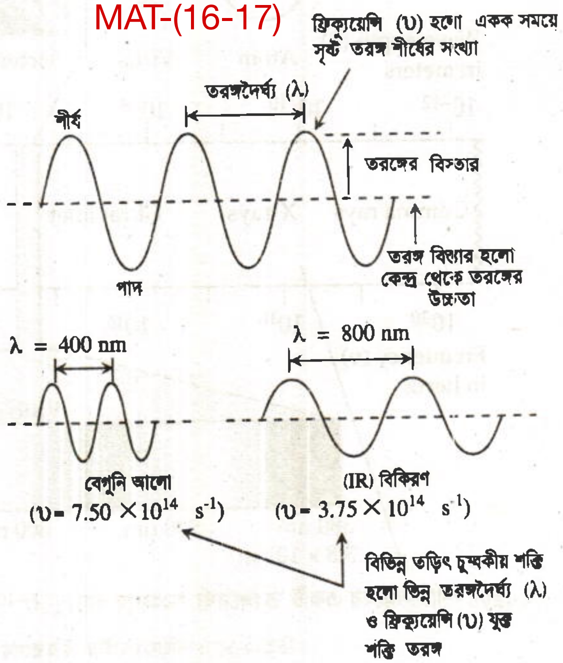
তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) : তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গে দুটি তরঙ্গ শীর্ষের দূরত্বকে তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলে।

ফ্রিক্যুয়েন্সি (ν) : প্রতি একক সময়ে বা প্রতি সেকেন্ডের মধ্যে তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গে চলমান কোনো বিন্দুর মোট শীর্ষ সংখ্যাকে ফ্রিক্যুয়েন্সি বা, কম্পাঙ্ক বলে।

আবার ν এর মান খুব বেশি হওয়ায় তাকে আলোর বেগ, c দ্বারা ভাগ করে $\bar{\nu}$ ('নিউ-বার') দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$\bar{\nu} = \frac{\nu}{c} = \frac{\nu}{\nu\lambda} = \frac{1}{\lambda}$; $\bar{\nu}$ হলো প্রতি মিটারে তরঙ্গ-সংখ্যা (wave number)।

নির্দিষ্ট শক্তির প্রত্যেক তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের তিনটি বৈশিষ্ট্য থাকে। যেমন তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ), ফ্রিক্যুয়েন্সি বা স্পন্দন সংখ্যা (ν) ও তরঙ্গ বিস্তার (amplitude)। তরঙ্গ বিস্তার হলো তরঙ্গের শীর্ষ ও পাদবিন্দুর মধ্যবর্তী রেখা থেকে এর উচ্চতা।



চিত্র-২.১৪ : তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গসমূহের ভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ স্পন্দন সংখ্যা (ν) ও তরঙ্গ বিস্তার (amplitude) থাকে।

আলোক শক্তি-তরঙ্গ নিজে অদৃশ্য, কিন্তু যে আলোক অন্য বস্তুকে দৃশ্যমান করে, তাকে দৃশ্যমান আলো বলে। এ দৃশ্যমান আলো ছাড়াও আরো অনেক অদৃশ্য আলো আছে। যেমন, গামা রশ্মি, রঞ্জন রশ্মি (X-ray), অতিবেগুনি রশ্মি (UV ray), অবলোহিত রশ্মি (IR ray), রেডিও ও টেলিভিশনের তরঙ্গ প্রভৃতি। এদের মধ্যে মূল পার্থক্য হচ্ছে এদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও ফ্রিক্যুয়েন্সি বা স্পন্দন সংখ্যায়।

দৃশ্যমান আলো হলো তড়িৎ বা বিদ্যুৎ চুম্বকীয় বিকিরণ রশ্মির সামান্য অংশমাত্র। সমগ্র বিকিরণ শক্তির অধিকাংশই অদৃশ্য। বিভিন্ন ধরনের তড়িৎ বা বিদ্যুৎ চুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (একক ন্যানোমিটারে nm = 10^{-9} m) নিচে দেয়া হলো

মহাজাগতিক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য	:	< 0.0005 nm
গামা রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য	:	0.0005–0.01 nm
রঞ্জন রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য	:	0.01–10 nm

দৃশ্যমান আলোর মধ্যে বিভিন্ন ধরনের আলোক তরঙ্গদৈর্ঘ্য (মোটামুটি) নিম্নরূপ :

বেগুনি	:	380 – 424 nm	V
নীল	:	424 – 450 nm	I

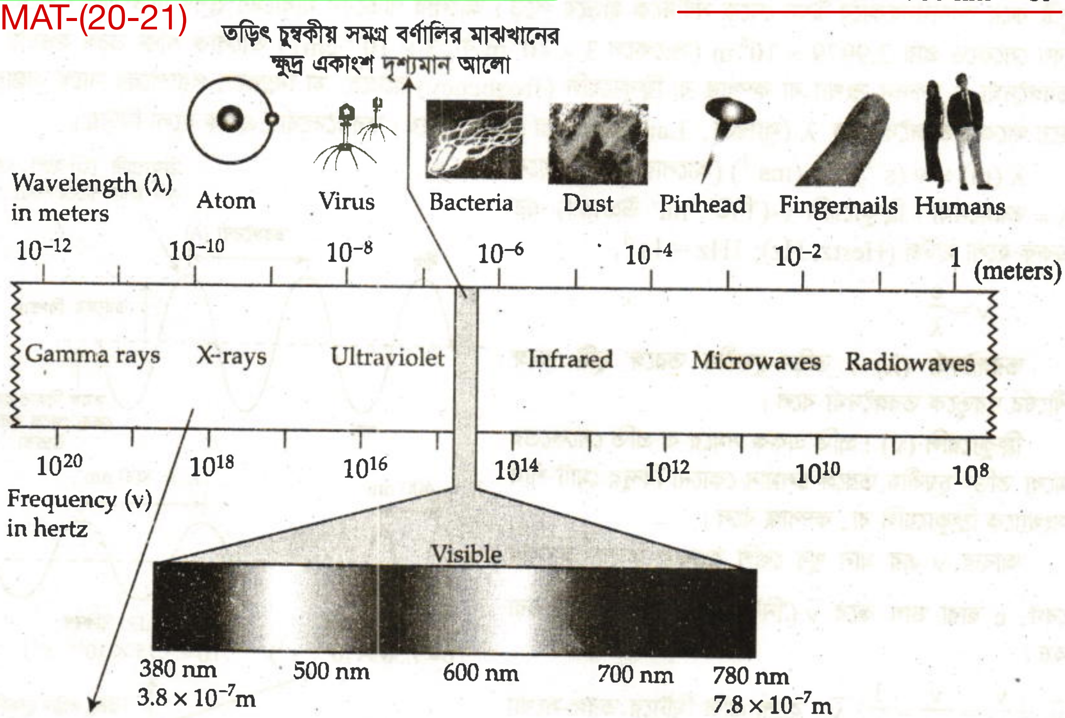
MAT-(14-15) MAT-(20-21)

অতিবেগুনি রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য (UV-ray)	:	10 nm – 380 nm
দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য	:	**380 nm – 780 nm**
অবলোহিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য (IR-ray)	:	780 nm – 1 mm
মাইক্রোওয়েভ অঞ্চল	:	1 mm – 1 m
রেডিও ও টেলিভিশন তরঙ্গদৈর্ঘ্য	:	1 mm – 10 km

MAT-(22-23)

MAT-(20-21)

আসমানী	:	450 – 500 nm	B
সবুজ	:	500 – 575 nm	G
হলুদ	:	575 – 590 nm	Y
কমলা	:	590 – 647 nm	O
লাল	:	647 – 780 nm	R



X-rays বর্ণালিসমূহের একটি তরঙ্গদৈর্ঘ্য পরমাণুর ব্যাস $(10^{-10}g)$ -এর সমান।

চিত্র-২.১৫ : তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও কম্পাঙ্ক বা স্পন্দন-সংখ্যা।

* [চিত্রটির ওপরদিকে দেখানো ৭টি ছোটো চিত্র যেমন দুটি মানুষ (Humans), আঙুলের নখ (Fingernails), Pinhead; Dust, Bacteria; Virus, Atom এর দৈর্ঘ্যের সাথে যথাক্রমে Radiowaves, Microwaves; Infrared, Visible rays ; Ultraviolet, X-rays ইত্যাদির তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ)-কে **'মিটার এককে'** দশ (10) এর ঋণাত্মক সূচক 10^{-2} m, 10^{-4} m, 10^{-6} m, 10^{-8} m, 10^{-10} m সহকারে তুলনা করে বোঝানো হয়েছে।]

Ref : General Chemistry; Atoms First : By J.E. Mc. Mury and Robert C. Fay; University of California Riverside, America.

বিভিন্ন ধরনের তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও স্পন্দন সংখ্যা ২.১৫ নং চিত্রে স্কেল আকারে দেয়া হলো।

জেনে নাও : তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ক্ষুদ্র হওয়ায় দৈর্ঘ্যের ক্ষুদ্র এককরূপে mm, μm, nm, pm বা Å একক ব্যবহৃত হয়। এসব এককের সাথে মিটার (m) এককের সম্পর্ক জানা দরকার। যেমন,

1 mm = 10^{-3} m, 1μm (মাইক্রোমিটার) $=10^{-6}$ m, 1 nm (ন্যানোমিটার) = 10^{-9} m, 1 pm (পিকোমিটার) $=10^{-12}$ m, 1Å (অ্যাংস্ট্রম) = 10^{-10} m.

আবার বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) ক্ষুদ্র হওয়ায়, এর ফ্রিক্যুয়েন্সি (ν) এর মান অতি বৃহৎ হয়। তাই বৃহৎ সংখ্যামান প্রকাশে k (কিলো), M (মেগা), G (জিগা), T (টেরা) একক ব্যবহৃত হয়। দশের এককের সাথে এসব প্রতীকের এককের সম্পর্ক জানা দরকার। যেমন, $1k = 10^3$, $1M = 10^6$, $1G = 10^9$, $1T = 10^{12}$

২.৫.১ তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালির অঞ্চলসমূহ

Different Regions of Electromagnetic Spectrum

তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ রশ্মিসমূহকে এদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) তথা ফ্রিক্যুয়েন্সি (ν) বা কম্পাঙ্ক সংখ্যার ভিত্তিতে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ক্রমবৃদ্ধি অনুসারে নিম্নোক্ত প্রধান সাতটি অঞ্চলে বিভক্ত করা হয় (চিত্র-২.১৫)।

(১) গামা (γ) রশ্মি অঞ্চল, (২) রঞ্জন রশ্মি (X-ray) অঞ্চল, (৩) অতিবেগুনি রশ্মি (UV) অঞ্চল, (৪) দৃশ্যমান (Visible) অঞ্চল, (৫) অবলোহিত (IR) অঞ্চল, (৬) মাইক্রোওয়েভস্ (Microwaves) অঞ্চল, (৭) রেডিও ওয়েভস্ (Radio waves) অঞ্চল।

(১) গামা (γ) রশ্মি অঞ্চল : গামা রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0.0005–0.01nm পর্যন্ত বিস্তৃত। এ অঞ্চলের তরঙ্গদৈর্ঘ্য খুবই ক্ষুদ্র হওয়ায় এ তরঙ্গ অধিক শক্তিসম্পন্ন থাকে। তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ থেকে গামা রশ্মি বের হয়। এ রশ্মি মস্‌বাওয়ার বর্ণালিমিতিক (Mossbaer Spectroscopy) যন্ত্র এবং নিউট্রন সক্রিয়ণ বিশ্লেষণ (Neutron Activation Analysis) প্রক্রিয়ায় ব্যবহৃত হয়।

(২) রঞ্জন রশ্মি (X-ray) অঞ্চল : রঞ্জন রশ্মি বা এক্স-রে তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0.01 nm–10 nm পরিসরে থাকে। এক্স-রে ফ্লোরেসেন্স (X-ray Fluorescence) বা প্রতিপ্রভা বিশ্লেষণী, এক্সরে নিঃসরণ (X-ray Emission) বিশ্লেষণী ও এক্স-রে ক্রিস্টেলোগ্রাফি (X-ray Crystallography) পদ্ধতিতে রঞ্জন রশ্মি ব্যবহৃত হয়।

(৩) অতিবেগুনি রশ্মি (UV) অঞ্চল : এ অঞ্চলটি 10 nm – 380 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য পর্যন্ত বিস্তৃত। এর বিভিন্ন তরঙ্গ পরিসর নিম্নোক্ত কাজে ব্যবহৃত হয়।

(i) 30 nm – 200 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য	:	UV-ফটোইলেকট্রন স্পেকট্রোস্কোপি,
(ii) 230 nm – 365 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য	:	UV-ID, লেবেল ট্র্যাকিংরূপে,
(iii) 230 nm – 380 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য	:	অপটিকেল সেন্সররূপে,
(iv) 240 nm – 280 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য	:	জীবাণুনাশন কাজে,
(v) 200 nm – 400 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য	:	ড্রাগ (drug) শনাক্তকরণ,
(vi) 270 nm – 360 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য	:	প্রোটিন অ্যানালাইসিস কাজে,
(vii) 280 nm – 400 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য	:	কোষ বা cell এর মেডিকেল ইমেজিং,
(viii) 300 nm – 320 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য	:	চিকিৎসাক্ষেত্রে লাইট থেরাপি।

MCQ-2.20 : নিচের কোন অঞ্চলের রশ্মির শক্তি সবচেয়ে বেশি?
(ক) UV (খ) Vis-ray
(গ) IR (ঘ) Radiowave

(৪) দৃশ্যমান (Visible) অঞ্চল : এ অঞ্চলটি 380 nm – 780 nm পর্যন্ত বিস্তৃত। এ অঞ্চল VIBGYOR অঞ্চলরূপে চিহ্নিত। পরমাণু অথবা অণুর ক্ষেত্রে যোজ্যতাস্তরের ইলেকট্রন এ অঞ্চল থেকে প্রয়োজনমতো রশ্মি শোষণ ও বিকিরণ করে বর্ণালি সৃষ্টি করে থাকে।

(৫) অবলোহিত (Infra-red) অঞ্চল : অবলোহিত রশ্মি অঞ্চল দৃশ্যমান অঞ্চল অর্থাৎ visible বা 'infra' এরপর থেকেই শুরু। এর পরিসর 780 nm থেকে 1000 μm বা, 1.0 mm। অর্থাৎ এটি near IR, middle-IR ও Far-IR এরূপ তিনটি অংশে বিভক্ত। এদেরকে মাইক্রোমিটার (μm) এককে প্রকাশ করা হয়। (1 μm = 1×10^{-6} m)। জৈবযৌগের গঠন নির্ণয়ে এ রশ্মি ব্যবহৃত হয়।

Near–IR অঞ্চল	:	λ = 0.78 μm – 2.5 μm	[চিকিৎসাক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয়]
middle–IR অঞ্চল	:	λ = 2.5 μm – 25 μm	[জৈবযৌগের কার্যকরীমূলক শনাক্তকরণে IR Spectroscopy তে ব্যবহৃত হয়]
Far -IR অঞ্চল	:	λ = 25 μm – 1000 μm বা 1.0 mm	[চিকিৎসাক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয়]

(৬) মাইক্রোওয়েভস্ (Microwaves) অঞ্চল : তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য মাইক্রোমিটার (10^{-6}m) পরিসরে থাকে বলে এ অঞ্চলকে মাইক্রোওয়েভস অঞ্চল বলে। এ অঞ্চলের রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 1000 μm থেকে 100 cm (বা, 1 mm – 1 m) পরিসরে থাকে। এসব তরঙ্গের ফ্রিক্যুয়েন্সি 3×10^{11} Hz – 3×10^{8} Hz পর্যন্ত হয়ে থাকে। দৃশ্যমান আলোর চেয়ে তরঙ্গের ফ্রিক্যুয়েন্সি কম এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি হওয়ায় এ মাইক্রোওয়েভ IR রশ্মির চেয়ে কম তাপ সৃষ্টি করে। তাই মাইক্রোওভেন (Micro-Oven) তৈরিতে মাইক্রোওয়েভস্ ব্যবহৃত হয়। মাইক্রোওভেনে খাদ্যবস্তু কীভাবে উত্তপ্ত হয়? মাইক্রোওভেনে বৈদ্যুতিক উত্তাপে মাইক্রোওয়েভস তৈরি হয়। ওভেনের মধ্যস্থ উত্তপ্ত ধাতব পদার্থ থেকে তাপশক্তি ওভেনের ভেতর বিকিরিত হলে খাদ্যবস্তু ঐ তাপ শোষণ করে। খাদ্যবস্তুর পানি অণু মাইক্রোওয়েভস দ্বারা vibrate বা দ্রুত কম্পনজনিত তাপ সৃষ্টি করে খাদ্যবস্তুকে সিদ্ধ করে। সুতরাং এ ওভেনে বিদ্যুৎশক্তি মাইক্রোওয়েভসে পরিণত হয়। পরে মাইক্রোওয়েভস তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

(৭) রেডিওওয়েভস্ (Radiowaves) অঞ্চল : এ অঞ্চলের রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 1 mm থেকে 10 km পর্যন্ত হয়। এ সব তরঙ্গের ফ্রিক্যুয়েন্সি 300 GHz থেকে 3 kHz পর্যন্ত হয়ে থাকে। রেডিও এন্টেনাতে উচ্চকম্পাঙ্কের পর্যায়ক্রমিক বিদ্যুৎ (AC) প্রবাহ দ্বারা এসব তরঙ্গের সৃষ্টি করা হয়। NMR পরমাণু অর্থাৎ বিজোড় সংখ্যক প্রোটন অথবা নিউট্রনযুক্ত পরমাণুর নিউক্লিয়াসে (যেমন ^{1}H, ^{13}C, ^{19}F, ^{31}P ইত্যাদির) ম্যাগনেটিক মোমেন্ট থাকে। এসব NMR পরমাণুযুক্ত যৌগকে শক্তিশালী চুম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে রেখে রেডিওওয়েভস প্রয়োগ করে MRI বা ম্যাগনেটিক অনুরণন ইমেজ পরীক্ষা পদ্ধতি আবিষ্কৃত হয়েছে।

তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালির গুরুত্বপূর্ণ বিভিন্ন অঞ্চলের তরঙ্গদৈর্ঘ্য, ফ্রিক্যুয়েন্সি ও বিভিন্ন ব্যবহার উল্লেখ করা হলো :

তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ অঞ্চল	তরঙ্গদৈর্ঘ্য পরিসর	ফ্রিক্যুয়েন্সি পরিসর	গুরুত্বপূর্ণ ব্যবহার
১। রেডিওওয়েভ অঞ্চল:	10 km – 1 mm	3 kHz – 3×10^{11} Hz	১। রেডিও-টিভির সিগনাল ও MRI যন্ত্রে ব্যবহৃত হয়।
২। মাইক্রোওয়েভ অঞ্চল :	1 mm – 1 m	3×10^{8} Hz – 3×10^{11} Hz	২। Wi-Fi, মোবাইল ফোন সিগনাল ও মাইক্রো ওভেনে ব্যবহৃত হয়।
৩। অবলোহিত (IR) অঞ্চল :	1 mm – 780 nm	3×10^{11}Hz – 385×10^{12} Hz	৩। রিমোট কন্ট্রোল, অপটিকেল ফাইবার মাধ্যমে যোগাযোগ ও ফিজিও-থেরাপিতে ব্যবহৃত হয়। MAT-(16-17)
৪। দৃশ্যমান অঞ্চল :	**780 nm – 380 nm**	385×10^{12} Hz – 790×10^{12} Hz	৪। সালোকসংশ্লেষণ ও বিশ্লেষণী রসায়নে পদার্থের পরিমাণ নির্ণয়ে ব্যবহৃত।
৫। অতিবেগুনি (UV) :	380 nm – 10 nm	790×10^{12} Hz – 3×10^{16} Hz	৫। জাল টাকা ও জাল পাসপোর্ট শনাক্তকরণে ব্যবহৃত হয়। DAT-(19-20)
৬। X-ray অঞ্চল :	10 nm – 0.01 nm	3×10^{16} Hz – 3×10^{19} Hz	৬। চিকিৎসাবিজ্ঞানে দেহের অভ্যন্তরের প্রতিচ্ছবি তোলার কাজে ব্যবহৃত হয়।
৭। গামা (γ) Ray অঞ্চল :	Less than 0.01 nm	> 3×10^{19} Hz	৭। ক্যান্সার রোগের চিকিৎসা ও খাদ্যশস্যে অণুবীজ ধ্বংস করতে ব্যবহৃত হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২৯ : বেগুনি-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 4100 Å বা, 410 nm হলে এর ফ্রিক্যুয়েন্সি ও তরঙ্গ-সংখ্যা নির্ণয় করো। (আলোর গতি = 3.0×10^{8} ms^{-1})।

দক্ষতা : প্রথমে আলোর গতির সমীকরণটি জানতে হবে।

সমাধান : আমরা জানি, আলোর গতি, $c = \nu \times \lambda$

এখানে, ফ্রিক্যুয়েন্সি, $\nu = ?$
তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 410$ nm $= 410 \times 10^{-9}$ m
তরঙ্গ সংখ্যা, $\bar{\nu} = ?$

$$\therefore \nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^8 \, ms^{-1}}{410 \times 10^{-9} \, m} = 7.317 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

তরঙ্গ সংখ্যা, $\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{410 \times 10^{-9} \, m} = 243.9 \times 10^4 \, m^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩০ : যে বিকিরণের তরঙ্গ সংখ্যা $165 \times 10^4 \, m^{-1}$ তার ফ্রিক্যুয়েন্সি বা স্পন্দন সংখ্যা নির্ণয় করো। (আলোর গতি $= 3.0 \times 10^8 \, ms^{-1}$)।

দক্ষতা : প্রথমে আলোর গতির সমীকরণটি জানতে হবে।

সমাধান : আমরা জানি, তরঙ্গ সংখ্যা, $\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda}$

এখানে, $c = 3.0 \times 10^8 \, ms^{-1}$
তরঙ্গ সংখ্যা, $\bar{\nu} = 165 \times 10^4 \, m^{-1}$
তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = ?$
ফ্রিক্যুয়েন্সি, $\nu = ?$

$$\therefore \lambda = \frac{1}{\bar{\nu}} = \frac{1}{165 \times 10^4 \, m^{-1}} = 606 \text{ nm}$$

ফ্রিক্যুয়েন্সি, $\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^8 \, ms^{-1}}{606 \times 10^{-9} \, m} = 495 \times 10^{12}$ Hz

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩১ : একটি বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 530 nm। এ বিকিরিত রশ্মির কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গ সংখ্যা গণনা করো। বিকিরিত রশ্মির বর্ণ কীরূপ হবে? [$c = 3.0 \times 10^{10} \, cms^{-1}$]

দক্ষতা : আলোর গতি, $c = \nu \times \lambda$; এখানে λ ও c এর একক একই হবে

সমাধান : $c = \nu \times \lambda$

এক্ষেত্রে রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 530$ nm
$\therefore \lambda = 530 \times 10^{-7}$cm [$\because$ 1nm $= 10^{-7}$ cm]
$c = 3.0 \times 10^{10} \, cms^{-1}$
কম্পাঙ্ক, $\nu = ?$
তরঙ্গ-সংখ্যা, $\bar{\nu} = ?$

কম্পাঙ্ক, $\nu = \frac{c}{\lambda}$;

$$= \frac{3.0 \times 10^{10} \, cms^{-1}}{530 \times 10^{-7} \, cm}$$

$$= 5.66 \times 10^{14} \, s^{-1} \text{ (বা, Hz)}$$

তরঙ্গ-সংখ্যা, $\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{530 \times 10^{-7} cm}$

বা, $\bar{\nu} = \frac{1 \times 10^7}{530} \, cm^{-1} = 1.8868 \times 10^4 \, cm^{-1}$

MCQ-2.21 : কোন্ রশ্মির তরঙ্গ-সংখ্যা বেশি হয়? [ব. বো. ২০১৬]
(ক) UV (খ) IR (গ) red-ray (ঘ) X-ray

রশ্মির শনাক্তকরণ : রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = 530$ nm; এটি দৃশ্যমান বর্ণালির সবুজ বর্ণের পরিসর 500 – 575 nm এর মধ্যে পড়ে। তাই বর্ণালির রং সবুজ বর্ণের হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩২ : লিথিয়াম পরমাণুর লাল বর্ণের রেখা বর্ণালির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 671 nm হয়। এ আলোক রশ্মির একটি ফোটনের শক্তি গণনা করো। [$h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s এবং $c = 3.0 \times 10^8 \, ms^{-1}$]

দক্ষতা : ফোটনের শক্তি, $E = h\nu$ এবং $\nu = \frac{c}{\lambda}$

সমাধান : ফ্রিক্যুয়েন্সি, $\nu = \frac{c}{\lambda}$

দেয়া আছে, $\lambda = 671$ nm $= 6.71 \times 10^{-7}$m
আলোর বেগ, $c = 3.0 \times 10^8 \, ms^{-1}$
ধ্রুবক, $h = 6.626 \times 10^{-34}$ J. s

$$\therefore \nu = \frac{3.0 \times 10^8 \, ms^{-1}}{6.71 \times 10^{-7} \, m}$$

$$= 4.47 \times 10^{14} \, s^{-1} \text{ (বা, Hz)}$$

একটি ফোটনের শক্তি, $E = h\nu$;
$= 6.626 \times 10^{-34}$ J. s $\times 4.47 \times 10^{14} \, s^{-1}$
$= 2.9618 \times 10^{-19}$ J

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩৩ : H-পরমাণুর ইলেকট্রনটি ৩য় বোর কক্ষপথ থেকে ১ম কক্ষপথে লাফিয়ে পড়লে বিকীর্ণ ফোটন শক্তির তরঙ্গদৈর্ঘ্য সেন্টিমিটার ও অ্যাংস্ট্রম এককে গণনা করো। [রা. বো. ২০১৭]

দক্ষতা : $E_n = -2.18 \times 10^{-18}\,J \times \frac{Z^2}{n^2}$ এবং $\Delta E = h\nu$ ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : H পরমাণুর ১ম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি, $E_1 = -2.18 \times 10^{-18}\,J \times \frac{(1)^2}{(1)^2}$

$= -2.18 \times 10^{-18}\,J = -2.18 \times 10^{-11}\,erg$ $[\because 1\,erg = 10^{-7}\,J]$

H পরমাণুর ৩য় কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি, $E_3 = -2.18 \times 10^{-18}\,J \times \frac{(1)^2}{(3)^2}$

$= \frac{-2.18 \times 10^{-18}}{9}\,J = -0.2422 \times 10^{-18}\,J = -0.2422 \times 10^{-11}\,erg$

$\therefore \Delta E = (E_3 - E_1) = [(-0.2422 \times 10^{-11}) - (-2.18 \times 10^{-11})]\,erg$
$= 1.9378 \times 10^{-11}\,erg$

আবার, $\Delta E = h\nu = \frac{h \times c}{\lambda}$ $\therefore \lambda = \frac{h \times c}{\Delta E}$

এক্ষেত্রে, $h = 6.626 \times 10^{-27}\,erg.\,s$
$c = 3.0 \times 10^{10}\,cms^{-1}$
$\lambda = ?$

বা, $\lambda = \frac{6.626 \times 10^{-27}\,erg.s \times 3.0 \times 10^{10}\,cm.s^{-1}}{1.9378 \times 10^{-11}\,erg}$

বা, $\lambda = \frac{6.626 \times 3.0 \times 10^{-6}\,cm}{1.9378} = 10.258 \times 10^{-6}\,cm$

বা, $\lambda = 1025.8 \times 10^{-8}\,cm = 1025.8$Å (অ্যাংস্ট্রম)

MCQ-2.22: কোনো রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 820 nm, ঐ রশ্মির শক্তি কত হবে? [ব. বো. ২০১৫]
(ক) 2.424×10^{-19} J
(খ) 2.424×10^{-18} J
(গ) 24.24×10^{-19} J
(ঘ) 24.24×10^{-18} J

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩৪ : H-পরমাণুর ক্ষেত্রে প্রযোজ্য পরমাণু মডেলের ১ম শক্তিস্তর থেকে ৩য় শক্তিস্তরে H-পরমাণুর ইলেকট্রনটি ধাপান্তরের বেলায় শোষিত শক্তি হিসাব করে এর কম্পাঙ্ক বা ফ্রিক্যুয়েন্সি নির্ণয় করো। [ব. বো. ২০১৭]

দক্ষতা : শোষিত শক্তি, $\Delta E = (E_3 - E_1)$; $E_n = -2.18 \times 10^{-18}\,J \times \frac{Z^2}{n^2}$ এবং $\Delta E = h\nu$ ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : H-পরমাণুর ১ম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি, $E_1 = -2.18 \times 10^{-18}\,J \times \frac{(1)^2}{(1)^2}$

$\therefore E_1 = -2.18 \times 10^{-18}\,J$

H-পরমাণুর ৩য় কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি, $E_3 = -2.18 \times 10^{-18}\,J \times \frac{(1)^2}{(3)^2}$

$\therefore E_3 = \frac{-2.18 \times 10^{-18}\,J}{9} = -0.2422 \times 10^{-18}\,J$

$\therefore \Delta E = (E_3 - E_1) = [(-0.2422 \times 10^{-18}) - (-2.18 \times 10^{-18})]\,J = 1.9378 \times 10^{-18}\,J$

আবার, $\Delta E = h\nu$ এক্ষেত্রে, $h = 6.626 \times 10^{-34}\,J.s$

$\therefore \nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{1.9378 \times 10^{-18}\,J}{6.626 \times 10^{-34}\,J.s} = \frac{19.378 \times 10^{15}\,s^{-1}}{6.626} = 2.92454 \times 10^{15}\,s^{-1}$ (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩৫ : উদ্দীপিত H পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তর থেকে ১ম শক্তিস্তরে ধাপান্তরের ফলে নির্গত আলোকরশ্মি দৃশ্যমান হবে কিনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। [মাদ্রাসা বো. ২০১৭]

দক্ষতা : নির্গত শক্তি, $\Delta E = (E_3 - E_1)$; $E_n = -2.18 \times 10^{-18}\,J \times \frac{Z^2}{n^2}$ এবং $\Delta E = h\nu = \frac{h \times c}{\lambda}$ ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : H-পরমাণুর ১ম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি, $E_1 = -2.18 \times 10^{-18}\,J \times \frac{(1)^2}{(1)^2}$

$\therefore E_1 = -2.18 \times 10^{-18}\,J$

H-পরমাণুর ৩য় কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি, $E_3 = -2.18 \times 10^{-18}\ J \times \frac{(1)^2}{(3)^2}$

$\therefore E_3 = \frac{-2.18 \times 10^{-18}\ J}{9} = -0.2422 \times 10^{-18}\ J$

$\therefore \Delta E = (E_3 - E_1) = [(-0.2422 \times 10^{-18}) - (-2.18 \times 10^{-18})]\ J = 1.9378 \times 10^{-18}\ J$

আবার, $\Delta E = h\nu = \frac{h \times c}{\lambda}$ এক্ষেত্রে, $h = 6.626 \times 10^{-34}\ J.s$
$c = 3.0 \times 10^{8}\ ms^{-1}$

$\therefore \lambda = \frac{h \times c}{\Delta E} = \frac{6.626 \times 10^{-34}\ J.s \times 3.0 \times 10^{8}\ ms^{-1}}{1.9378 \times 10^{-18}\ J} = \frac{6.626 \times 3.0 \times 10^{-8}\ m}{1.9378}$

$\therefore \lambda = 102.58 \times 10^{-9}\ m = 102.58\ nm$

বিশ্লেষণ : আলোক রশ্মিটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 102.58$ nm হওয়ায় রশ্মিটি দৃশ্যমান আলোর পরিসরে নেই; এটি অতিবেগুনি অঞ্চলের রশ্মি। তাই নির্গত আলোক রশ্মি দৃশ্যমান হবে না।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.৮ : তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গশক্তি ও বর্ণালি সম্পর্কীয় :

সমস্যা-২.১৪ : গামা রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 3.56 \times 10^{-11}$m হলে এর ফ্রিক্যুয়েন্সি কত হবে? কোনো সেনাবাহিনীর রাডার তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 10.3$ cm হলে এর ফ্রিক্যুয়েন্সি কত হবে?
[উঃ গামা রশ্মি, 8.43×10^{18}Hz, রাডার তরঙ্গ, 2.91×10^{9} Hz]

সমস্যা-২.১৫ : ঢাকার FM রেডিও তরঙ্গের ফ্রিক্যুয়েন্সি $\nu = 102.5$ MHz হলে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে? চট্টগ্রাম মেডিকেল হসপিটালের X-ray মেসিনের $\nu = 9.55 \times 10^{17}$ Hz হলে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে? [$1M = 10^6$]
[উঃ FM রেডিও 2.93 m : X-ray, $\lambda = 3.14 \times 10^{-10}$ m]

সমস্যা-২.১৬ : একটি তড়িৎ চুম্বকীয় রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 450 nm। এ রশ্মিটি তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালির কোন্ অঞ্চলের? এর ফ্রিক্যুয়েন্সি ও তরঙ্গ সংখ্যা গণনা করো। (আলোর গতি = $3.0 \times 10^8 ms^{-1}$)।
[উঃ দৃশ্যমান অঞ্চল, $\nu = 6.67 \times 10^{14}$ Hz; $\bar{\nu} = 2.22 \times 10^{6}\ m^{-1}$]

সমস্যা-২.১৭ : কোনো রেডিও স্টেশন থেকে 14.0 MHz (মেগা হার্টজ) ফ্রিক্যুয়েন্সিতে সংবাদ প্রচারিত হলে ঐ রেডিও তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে?
[উঃ $\lambda = 21.428$ m]

সমস্যা-২.১৮ : চট্টগ্রাম রেডিও তরঙ্গের ফ্রিক্যুয়েন্সি 1200 kHz হলে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও তরঙ্গ-সংখ্যা বের করো।
[উঃ $\lambda = 250$ m; $\bar{\nu} = 4.0 \times 10^{-3}\ m^{-1}$]

সমস্যা-২.১৮ (ক) : ঢাকার বিমান বন্দরের রানওয়ের দুটি সিগন্যাল আলোর ফ্রিক্যুয়েন্সি হলো 5.46×10^{14} Hz ও 4.417×10^{8} MHz। উভয় সিগন্যালের আলোর বর্ণ এবং এদের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য কত হবে?
[উঃ ১ম সিগন্যালের বর্ণ সবুজ, ২য় সিগন্যালের বর্ণ লাল। তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য = 130.55 nm]

সমস্যা-২.১৮ (খ) : ঢাকা মেডিকেল কলেজের MRI মেশিনের তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণের ফ্রিক্যুয়েন্সি 8.25×10^{11} MHz হলে এর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কত?
[উঃ 363.636×10^{-3} nm]

সমস্যা-২.১৯ : দৃশ্যমান আলোর কোনো বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 750 nm হলে এর ফ্রিক্যুয়েন্সি কত হবে?
[উঃ $\nu = 4 \times 10^{14}$ Hz]

সমস্যা-২.২০ : কমলা বর্ণের আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 600 nm হলে এর ফ্রিক্যুয়েন্সি কত হবে? [উঃ $\nu = 5 \times 10^{14}$ Hz]

সমস্যা-২.২১ : সিজিয়াম পরমাণুর একটি রেখা বর্ণালির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 456 nm হলে এর ফ্রিক্যুয়েন্সি কত হবে?
[উঃ $\nu = 6.58 \times 10^{14}$ Hz]

সমস্যা-২.২২ : সোডিয়াম পরমাণুর বর্ণালিতে D_1 লাইনের ফ্রিক্যুয়েন্সি $5.09 \times 10^{14}\ s^{-1}$ হলে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত?
[উঃ $\lambda = 589.39$ nm]

সমস্যা-২.২৩ : কোনো তরঙ্গের ফ্রিক্যুয়েন্সি $4 \times 10^{14}\ s^{-1}$ হলে এর তরঙ্গ-সংখ্যা কত হবে?
[উঃ $\bar{\nu} = 1.33 \times 10^{6}\ m^{-1}$]

সমস্যা-২.২৪ : ক্যালসিয়াম পরমাণুর রেখা বর্ণালির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 456 nm হলে এর ফ্রিক্যুয়েন্সি ও তরঙ্গ সংখ্যা কত?
[উঃ $\nu = 6.58 \times 10^{14}\ s^{-1}$; $\bar{\nu} = 2.19 \times 10^{6}\ m^{-1}$]

সমস্যা-২.২৫ : সর্বাধিক তীব্রতার সূর্যালোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6.0×10^{-7} m হলে ঐ সূর্যালোর তরঙ্গের ফ্রিক্যুয়েন্সি কত? [উ: $\nu = 5 \times 10^{14}\ s^{-1}$]

সমস্যা-২.২৫ (ক) : ভোর বেলায় সূর্য থেকে আসা UV রশ্মির ফ্রিক্যুয়েন্সি 857×10^{6} MHz হলে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও তরঙ্গ সংখ্যা কত? [উ: $\lambda = 350$ nm, তরঙ্গ সংখ্যা $= 285.71 \times 10^{4}\ m^{-1}$]

সমস্যা-২.২৫ (খ) : কোনো উৎস থেকে বিকিরিত বেগুনি রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 420 nm। এর ফ্রিক্যুয়েন্সি ও তরঙ্গ সংখ্যা কত হবে? [উ: $\nu = 7.14 \times 10^{14}\ s^{-1}$ বা, Hz, $\bar{\nu} = 2.38 \times 10^{6}\ m^{-1}$]

সমস্যা-২.২৬ : বেগুনি থেকে লাল বর্ণের দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিসর 380 nm থেকে 780 nm হলে ঐ আলোর পরিসরের ফ্রিক্যুয়েন্সি কত? [উ: $7.89 \times 10^{14} - 3.84 \times 10^{14}$ Hz]

সমস্যা-২.২৭ : রাস্তার ট্রাফিক সিগন্যালের লাল বাতির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 728 nm হলে এর ফ্রিক্যুয়েন্সি ও তরঙ্গ সংখ্যা কত? [উ: $\nu = 4.12 \times 10^{14}$ Hz; $\bar{\nu} = 137.36 \times 10^{4}\ m^{-1}$]

(ক) রাস্তার ট্রাফিক সিগন্যালের সবুজ বাতির আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 520 nm। ঐ আলোর কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গ-সংখ্যা কত? [উ: 5.769×10^{14} Hz; $1.923 \times 10^{4}\ cm^{-1}$]

(খ) বোর পরমাণু মডেলের ইলেকট্রনের স্থানান্তরের সময় ইলেকট্রনের শক্তি 2.32×10^{-18} J হলে বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত? [উ: 8.571×10^{-8} m] [রা. বো. ২০১৫]

(গ) H-পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি কত হবে? [সংকেত, $E_n = (-2.18 \times 10^{-18}\ J) \times Z^2/n^2$] [উ: -2.42×10^{-19} J]

(ঘ) H-পরমাণুর ইলেকট্রনটি ১ম শক্তিস্তর থেকে ২য় শক্তিস্তরে লাফিয়ে ধাপান্তর হওয়ার কালে শোষিত শক্তির পরিমাণ কত? [উ: $+1.635 \times 10^{-18}$ J] [দি. বো. ২০১৬]

(ঙ) H-পরমাণুর ইলেকট্রনটি ২য় শক্তিস্তর থেকে ৩য় শক্তিস্তরে স্থানান্তরিত বা ধাপান্তর হওয়ার কালে শোষিত শক্তির পরিমাণ কত? [উ: 3.03×10^{-19} J] [দি. বো. ২০১৭]

(চ) কোনো পরমাণুর বর্ণালিতে সৃষ্ট 675 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট বর্ণালি রেখার ফোটনের শক্তি কত? [ব. বো. ২০১৭]
[সংকেত, $E = h\nu = h \times \frac{c}{\lambda}$; $c = 3.0 \times 10^{8}\ ms^{-1}$. $h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s.] [উ: 2.9449×10^{-19} J]

(ছ) কোনো পরমাণুর বর্ণালিতে 590 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রেখা বর্ণালি সৃষ্টি হয়। এ আলোকরশ্মির একটি ফোটনের শক্তি কত হবে? [উ: 3.369×10^{-19} J]

২.৫.২ আলোক সম্পর্কিত প্লাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব

Plank's Quantum Theory of Light

* (১) প্লাঙ্কের মতে আলোক নিরবচ্ছিন্ন নয়; পদার্থ হতে এ বিকিরিত তরঙ্গ শক্তি বিচ্ছিন্নভাবে নির্দিষ্ট একক পরিমাণে বা ক্ষুদ্র শক্তির প্যাকেটরূপে বের হয়। এ শক্তির এককের নাম দেয়া হয় আলোর এক **কোয়ান্টাম শক্তি** (quantum)। পরে বিজ্ঞানী আইনস্টাইন তাঁর 'photoelectric effect' এর ব্যাখ্যায় আলোককে নির্দিষ্ট শক্তিযুক্ত **ক্ষুদ্রকণা বা ফোটন** (photon) এর প্রবাহরূপে উল্লেখ করেন।

* (২) **এসব ফোটনের শক্তির পরিমাণ (E) এদের বিকিরণের ফ্রিক্যুয়েন্সি বা স্পন্দন সংখ্যার (ν) সমানুপাতিক।**

$E_{photon} \propto \nu$ এখানে; E_{photon} = ফোটনের একক কোয়ান্টাম শক্তি।

$\therefore E_{photon} = h\nu$; ν ('নিউ') = বিকিরণের স্পন্দনসংখ্যা। এর একক (s^{-1}) or Hertz (Hz)

h = প্লাঙ্কের ধ্রুবক, এর মান 6.626×10^{-34} জুল সেকেন্ড (Js)

$$1J = 1N\,(\text{বল}) \times 1m = 1\ kgms^{-2} \times 1m = 1kg\ m^2s^{-2}$$

E = hν, এ সমীকরণকে **প্লাঙ্কের সমীকরণ** বলা হয়।

বোর পরমাণু মডেল অনুসারে পারমাণবিক বর্ণালি সৃষ্টির ব্যাখ্যা প্রদানে প্লাঙ্কের এ আলোকশক্তির সমীকরণ বেশ সহায়ক হয়ে ওঠে।

* (৩) প্লাঙ্কের মতে পরমাণু দ্বারা শক্তি শোষণ বা বিকিরণের পরিমাণ এক বা একাধিক পূর্ণ সংখ্যার প্যাকেট-শক্তি বা কোয়ান্টাম [কোয়ান্টা, quanta (plural)] হয়ে থাকে। অর্থাৎ

$$\Delta E_{atom} = \Delta n \times h\nu = E_{emit/absorb}$$

যেহেতু পরমাণু hν এর পূর্ণ সংখ্যার গুণিতক পরিমাণে শক্তির পরিবর্তন করে; তাই এর নিকটতম দুই শক্তিস্তরের পার্থক্যের বেলায় $\Delta n = 1$ হবে। তখন একটি ফোটনের শক্তি হবে :

$$E_{photon} = h\nu = \Delta E_{atom}$$

* (৪) তাই কোনো বস্তু কর্তৃক উৎস থেকে শোষিত শক্তি অথবা বিকিরিত শক্তির পরিমাণ হবে hν, 2hν, 3hν, 4hν ইত্যাদি কিন্তু কখনো এটি 0.5 hν বা, 1.5 hν অর্থাৎ ভগ্নাংশ হবে না।

* (৫) একটি ফোটনের শক্তিকে যেমন 1 কোয়ান্টাম বলে; তেমনি 1 mol ফোটনের শক্তিকে 1 আইনস্টাইন বলে। 1 আইনস্টাইন (Einstain) = 6.022×10^{23} কোয়ান্টা (quanta)।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩৬ : ফোটনের ফ্রিকুয়েন্সি থেকে এর শক্তি গণনা :

সেনাবাহিনীর রাডার তরঙ্গের ফ্রিকুয়েন্সি $\nu = 3.35 \times 10^8$ Hz হলে জুল এককে এর শক্তি কত? কিলোজুল/মোল এককে এ শক্তির পরিমাণ কত হবে?

দক্ষতা : একটি ফোটনের শক্তি, $E_{photon} = h\nu$ এবং প্রতি মোল ফোটনের শক্তি $N_A \times E_{photon}$

সমাধান : $E_{photon} = h\nu = (6.626 \times 10^{-34}\ J.s)(3.35 \times 10^8\ s^{-1}) = 2.22 \times 10^{-25}\ J$

আবার প্রতি মোল ফোটনের শক্তি $= N_A \times E_{photon}$

$$= (6.022 \times 10^{23}\ photon/mol)(2.22 \times 10^{-25}\ J/photon)$$

$$= 0.134\ J/mol = 1.34 \times 10^{-4}\ kJ/mol.$$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩৭ : তোমার রান্নাঘরে রান্নার কাজে ব্যবহৃত মাইক্রো ওভেনটি 1.20 cm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তাপশক্তি বিকিরণ করে। এ মাইক্রোওয়েভের বিকিরণের একটি ফোটনের শক্তি কত হবে?

দক্ষতা : একটি ফোটনের শক্তি, $E_{photon} = h\nu$ এবং $c = \nu \times \lambda$

সমাধান : $E_{photon} = h\nu = h \times \dfrac{c}{\lambda}$

$$\therefore E_{photon} = (6.626 \times 10^{-34}\ J.s) \times \frac{(3.0 \times 10^8\ ms^{-1})}{1.20 \times 10^{-2}\ m}$$

$$\therefore E_{photon} = 16.565 \times 10^{-24}\ J = 1.66 \times 10^{-23}\ J$$

দেয়া আছে :
$\lambda = 1.20$ cm
$= 1.20 \times 10^{-2}$ m
$h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s
$c = 3.0 \times 10^8\ ms^{-1}$

শিক্ষার্থীর কাজ-২.৯ : প্লাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্বভিত্তিক :

সমস্যা-২.২৮ : তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ শক্তির ক্রমবৃদ্ধি মানুষের দেহের ওপর অধিক ক্ষতিকর প্রভাব সৃষ্টি করে। IR রশ্মি আরামদায়ক উষ্ণতা দেয়; UV রশ্মি ত্বকে কালো দাগ ও দহন জ্বালা সৃষ্টি করে এবং X-ray টিস্যুর কিছুটা ক্ষতি করে। IR রশ্মির $\lambda = 1.55 \times 10^{-6}$ m; UV-রশ্মির $\lambda = 250$ nm এবং X-ray এর $\lambda = 5.49$ nm; হলে প্রতি ক্ষেত্রের তরঙ্গ শক্তি কিলোজুল/মোল কত হবে? [উঃ IR, 77.2 kJ/mol; UV, 478.8 kJ/mol; X-ray, 2.18×10^4 kJ/mol]

সমস্যা-২.২৯ : সোডিয়াম বর্ণালিতে হলুদ বর্ণের 590 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক রশ্মির একটি ফোটনের শক্তি জুল ও কিলোজুল/মোল-এ কত হবে? [উঃ 3.369×10^{-19} J; 2.0288×10^2 kJ/mol]

সমস্যা-২.৩০ : ক্যালসিয়ামের লাল বর্ণের রেখা বর্ণালির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 650 nm হলে এ আলোক রশ্মির (ক) একটি ফোটনের শক্তি ও (খ) এক মোল ফোটনের শক্তি গণনা করো। [উঃ (ক) 3.0581×10^{-19} J; (খ) 1.8416×10^5 J/mol]

সমস্যা-২.৩১ : কোনো রাডার তরঙ্গের ফ্রিকুয়েন্সি $5 \times 10^{14}\ s^{-1}$ হলে জুল এককে এর শক্তি কত হবে? [উঃ 3.313×10^{-19} J]

(ক) একটি আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 2.8×10^{-5} m হলে (i) সেন্টিমিটার এককে তরঙ্গদৈর্ঘ্য, (ii) ফ্রিকুয়েন্সি ও (iii) একটি ফোটনের শক্তি গণনা করো। [উঃ (i) 2.8×10^{-3} cm, (ii) $1.07 \times 10^{13}\ s^{-1}$, (iii) 7.089×10^{-21} J]

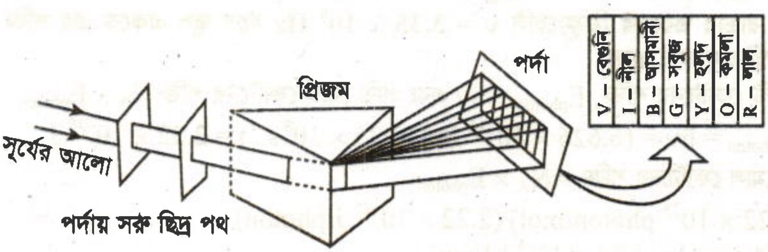
(খ) 400×10^{-10} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর একটি ফোটনের শক্তি কত হবে? [উঃ 4.9695×10^{-18} J]

(গ) 800 nm ও 400 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুটি বিকিরণ রশ্মির শক্তি গণনা করো এবং তুলনা করো। [উঃ $2E_1 = E_2$; $E_1 = 2.48475 \times 10^{-19}$ J]

২.৫.৩ দৃশ্যমান আলো ও বর্ণালি
Visible Light & Spectrum

আমরা জানি, সূর্যের দৃশ্যমান আলোর বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য 380 – 780 nm এর মধ্যে থাকে।

বর্ণালি : সূর্যের আলো সরু ছিদ্র পথে কাচের প্রিজমের মধ্যদিয়ে প্রতিসরিত হওয়ার কালে তা প্রিজম দ্বারা বিচ্ছুরিত (dispersion) হয়ে রঙধনুর মতো সাত বর্ণের (VIBGYOR— বেনীআসহকলা) প্রশস্ত ব্যান্ড সৃষ্টি করে। সূর্যের আলোর বিচ্ছুরণের ফলে সৃষ্ট বিভিন্ন বর্ণের এ সমাবেশকে বর্ণালি (spectrum) বলা হয়। এক্ষেত্রে সৃষ্ট বর্ণালি অবিচ্ছিন্ন ও এতে সব স্পন্দন সংখ্যার আলো থাকে।



চিত্র-২.১৬ : সূর্যের আলোর অবিচ্ছিন্ন বর্ণালি

বর্ণালি মাপার যন্ত্রটিকে স্পেকট্রোমিটার (spectrometer) বলা হয়। গঠনগতভাবে এটির আলো বিচ্ছুরণের জন্য একটি প্রিজম এবং বর্ণালি রেকর্ডের জন্য একটি ফটোগ্রাফিক প্লেট থাকে। বর্ণালির ফটোগ্রাফকে **স্পেকট্রোগ্রাফ** বলে।

পারমাণবিক বর্ণালি : পারমাণবিক বর্ণালি সূর্যালোকের বর্ণালির মতো অবিচ্ছিন্ন নয়। পারমাণবিক বর্ণালিতে কয়েকটি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো থাকে। এরূপ বর্ণালিতে প্রত্যেক রঙিন রেখা একটি বিশেষ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিকিরণের জন্য হয়। তাই এরূপ রেখার সারিকে পারমাণবিক **রেখা বর্ণালি** (Line spectrum) বলে।

পারমাণবিক বর্ণালি সৃষ্টি : কোনো গ্যাস বা বাষ্পকে উচ্চতাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে বা তার মধ্যদিয়ে বৈদ্যুতিক স্ফুলিঙ্গ চালনা করলে যে আলো বের হয়, তাতে সব স্পন্দন-সংখ্যার আলো থাকে না। প্রিজম বা অনুরূপ যন্ত্রের মধ্যদিয়ে চালনা করলে সৃষ্ট বর্ণালিতে বেশ কিছু একক বা যৌথ লাইন দেখা যায়, যাদের অবস্থান নির্দিষ্ট অর্থাৎ যাদের স্পন্দন-সংখ্যা নির্দিষ্ট। পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয়েছে যে, বর্ণালির একক লাইনগুলো (line spectrum) পরমাণু হতে উৎপন্ন। এজন্য এদেরকে **পারমাণবিক রেখা বর্ণালি বা পারমাণবিক বর্ণালি** (atomic spectrum) বলা হয়।

অপরদিকে **বর্ণালিতে** যে সমস্ত **যৌথ লাইন** (band spectra) দেখা যায়, তা প্রকৃতপক্ষে পরস্পরের অতি নিকটে অবস্থিত অনেক একক লাইনের সমষ্টি এবং তা অণু হতে সৃষ্ট এবং তাকে **আণবিক বর্ণালি** (molecular spectrum) বলা যেতে পারে। সাধারণত যৌগের বর্ণালি এভাবে নেয়া হয় না। বিদ্যুৎ চৌম্বকীয় বিকিরণের বিভিন্ন এলাকায় ভিন্ন ভিন্ন পদ্ধতি ব্যবহার করে যৌগের বিভিন্ন বর্ণালি গ্রহণ করা হয়।

বিজ্ঞানীরা প্রমাণ করেন যে, প্রত্যেক মৌলের নির্দিষ্ট বৈশিষ্ট্যপূর্ণ রেখা বর্ণালি আছে। বর্ণালির প্রতি রঙিন রেখা নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বা নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের আলো শক্তির সাথে সম্পর্কযুক্ত। তাই বিভিন্ন উদ্বায়ী ধাতব ক্লোরাইডকে বুনসেন বার্নারের শিখায় উত্তপ্ত করলে বিভিন্ন ধাতব আয়ন বিভিন্ন বর্ণযুক্ত শিখা সৃষ্টি করে। যেমন- সোডিয়াম আয়ন থেকে **সোনালী হলুদ**, পটাশিয়াম আয়ন থেকে **হালকা বেগুনি** এবং ক্যালসিয়াম আয়ন থেকে **ইটের মতো লাল** শিখা উৎপন্ন হয়।

পারমাণবিক বর্ণালি দু প্রকার। যেমন,

(ক) আলো বিচ্ছুরণ-বর্ণালি (emission spectra) : এটি **উজ্জ্বল বর্ণের** রেখার হয়।

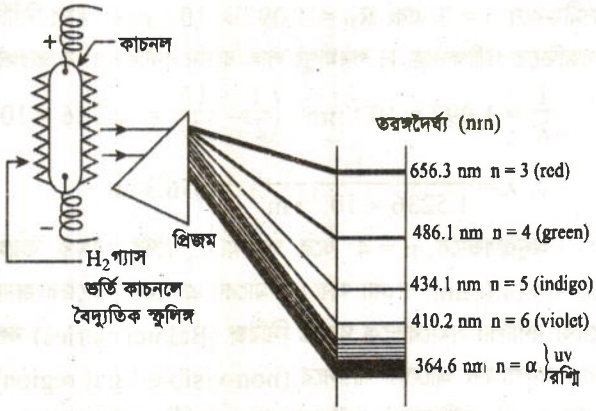
(খ) আলো শোষণ-বর্ণালি (absorption spectra) : এটি **কালো বর্ণের** রেখার হয়।

(ক) আলো বিচ্ছুরণ বর্ণালি : তড়িৎ-চুম্বকীয় শক্তিতে উদ্দীপিত পরমাণুর বিকিরিত আলো শক্তি দ্বারা বিচ্ছুরণ বর্ণালি সৃষ্টি হয়। বিভিন্ন পরমাণুকে নিম্নরূপে দু'ভাবে উদ্দীপিত করে স্পেকট্রোমিটারে রেখা বর্ণালি পাওয়া যায় :

১। নিম্ন চাপে কোনো গ্যাস বা বাষ্পকে বৈদ্যুতিক স্ফুলিঙ্গ দ্বারা উত্তপ্ত করে। যেমন H_2 এর বর্ণালি।

হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালি : একটি কাচনলে নিম্নচাপে রাখা হাইড্রোজেন গ্যাসের ভেতর উচ্চশক্তির বিদ্যুৎ চালনা করা হলে ঐ গ্যাসের ভেতর থেকে গোলাপী বর্ণের আলোর বিকিরণ ঘটে। এ বিকিরিত আলোকে স্পেকট্রোস্কোপের প্রিজমের মধ্যদিয়ে এর পর্দার ফটোগ্রাফিক প্লেটে ফেললে কতগুলো সুস্পষ্ট রঙিন আলো রেখা দেখা যায়। এসব রঙিন আলোর রেখাকে **হাইড্রোজেনের রেখা বর্ণালি** বলে। এদের মধ্যে ১টি লাল বর্ণের (λ = 656.3 nm), ১টি আসমানি বর্ণের (λ = 486.1 nm), ১টি নীল বর্ণের (λ = 434.1 nm) এবং ১টি বেগুনি বর্ণের (λ = 410.1 nm) রেখা সুস্পষ্ট দেখা যায়। এছাড়া 364.6 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সূক্ষ্ম রেখাও দেখা যায়। এ উজ্জ্বল আলোক রেখাগুলোর সমাহারকে **হাইড্রোজেনের রেখা বর্ণালি বা পারমাণবিক বর্ণালি** বলা হয়। [চিত্র ২.১৭]

২. কোনো পদার্থকে উচ্চতাপমাত্রায় উত্তপ্ত করে এর পরমাণুকে উদ্দীপিত করা হয়। যেমন সোডিয়াম ক্লোরাইড লবণকে শিখায় উত্তপ্ত করে প্রাপ্ত বর্ণালি। এক্ষেত্রে প্রথমে বাষ্পীভূত সোডিয়াম আয়ন নিকটস্থ ঋণাত্মক আয়ন থেকে ইলেকট্রন নিয়ে পরমাণুতে পরিণত হয়। এরপর বর্ণালি সৃষ্টি করে। [অনুচ্ছেদ-২.১১ দেখো]



চিত্র-২.১৭ : হাইড্রোজেনের পারমাণবিক রেখা বর্ণালি

(খ) **আলো-শোষণ বর্ণালি** : সব তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট দৃশ্যমান আলোকে কোনো মৌলের গ্যাসীয় বা বাষ্পীয় অবস্থায় অথবা পদার্থের দ্রবণের মধ্যদিয়ে প্রবাহিত করার পর ঐ নির্গত আলোকে স্পেকট্রোমিটারে বিশ্লেষণ করলে কতগুলো কালো বর্ণের সূক্ষ্ম রেখাযুক্ত বর্ণালি পাওয়া যায়। এক্ষেত্রে বস্তুর মধ্যদিয়ে প্রবাহিত দৃশ্যমান আলো থেকে সংশ্লিষ্ট বস্তু দ্বারা শোষিত তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গদৈর্ঘ্যসমূহের অভাবেই ঐ কালো বর্ণের রেখা সৃষ্টি হয়েছে। তাই এরূপ বর্ণালিকে **আলো শোষণ বর্ণালি** বলে। যেমন, NaCl এর দ্রবণ থেকে নির্গত সূর্যালোককে স্পেকট্রোমিটারে বিশ্লেষণ করলে যে কালো সূক্ষ্ম রেখাযুক্ত (D_1 ও D_2) দুটি হলুদ বর্ণালি পাওয়া যায়, এদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য হয় 589.6 nm ও 590.0 nm. [চিত্র-২.৫, চিত্র-২.১৭ এবং চিত্র-২.১৮ (B)] সূর্যালোকের হলুদ বর্ণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য শোষণের ফলে এটি সৃষ্টি হয়েছে।

H বর্ণালির ব্যাখ্যা : আলোক সম্পর্কীয় প্লাঙ্কের তত্ত্বের সাহায্যে বিজ্ঞানী বোর হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালির ব্যাখ্যায় বলেন যে, উচ্চ বিদ্যুৎশক্তির প্রভাবে হাইড্রোজেন অণু (H_2) প্রথমে পরমাণুতে (H) পরিণত হয়। পরে হাইড্রোজেনের অসংখ্য পরমাণুর ইলেকট্রন বিভিন্ন পরিমাণে শক্তি শোষণ করে উদ্দীপিত হয়ে তাদের বিভিন্ন উচ্চশক্তিস্তরে লাফিয়ে চলে। শক্তির উৎস সরিয়ে নিলে উদ্দীপিত ইলেকট্রনগুলো থেকে শক্তির বিকিরণ ঘটতে থাকে। ফলে ইলেকট্রনগুলো বিভিন্ন নিম্নশক্তিস্তরে ফিরে আসে। তখন অসংখ্য H-পরমাণুর বিভিন্ন উচ্চশক্তিস্তরের ইলেকট্রন একই নিম্নশক্তিস্তরে ফিরতে পারে। ফলে সৃষ্ট রেখা বর্ণালির পাশাপাশি রেখাগুলো বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের হয়। বিভিন্ন বিজ্ঞানী হাইড্রোজেনের রেখা বর্ণালির চিত্র আবিষ্কার করেন, তাঁদের নামানুসারে হাইড্রোজেনের রেখা বর্ণালির বিভিন্ন নাম আছে, যেমন (i) উদ্দীপিত ইলেকট্রন শক্তি হারিয়ে ১ম শক্তিস্তরে ফিরে আসলে তখন H-বর্ণালিতে যে রেখাসমূহ পাওয়া যায়, তাদের সমাহারকে লাইমেন সিরিজ বলে। তদ্রূপ উচ্চশক্তিস্তর থেকে ইলেকট্রনসমূহ ২য়, ৩য়, ৪র্থ ও ৫ম শক্তিস্তরে ফিরে আসার ফলে সৃষ্ট বর্ণালিকে যথাক্রমে (ii) বামার সিরিজ, (iii) প্যাশ্চেন সিরিজ, (iv) ব্র্যাকেট সিরিজ, (iv) ফুন্ড সিরিজ বলা হয় [চিত্র-২.১৯ দ্রষ্টব্য]।

(ঘ) **হাইড্রোজেন বর্ণালির ওপর বিভিন্ন বিজ্ঞানীর পরীক্ষা-নিরীক্ষা** : সূর্যের দৃশ্যমান আলোর (λ = 380 nm – 780 nm) পরিসরে সৃষ্ট হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালির মধ্যে ৪ ধরনের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিভিন্ন বর্ণের লাইন দেখা যায় এবং এদের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য সূক্ষ্মভাবে মাপা হয়।

যেমন এদের ১টি লাল বর্ণের (λ = 656.3 nm), ১টি আসমানি নীল (λ = 486.1 nm), ১টি নীল বর্ণের (λ = 434.1 nm) এবং ১টি বেগুনি বর্ণের (λ = 410.1 nm) রেখা সুস্পষ্ট দেখা যায়। ১৮৮৫ খ্রিষ্টাব্দে সুইজারল্যান্ডের স্কুল শিক্ষক জোহান বামার (Johann Balmer) H-পরমাণু থেকে সৃষ্ট ও জানা এ ৪টি বর্ণালি রেখার ব্যাখ্যা উপযোগী একটি সমীকরণ

উপস্থাপন করেন। এক্ষেত্রে তিনি বর্ণালির তথ্য বা ডাটা (data)-এর সাথে $\nu = \frac{c}{\lambda}$ সম্পর্ক কাজে লাগিয়ে 'trial and error' পদ্ধতিতে গণনা করে বর্ণালির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (λ) নির্ণয় করেন।

বামারের উপস্থাপিত সমীকরণটি হলো নিম্নরূপ :

$$\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \text{ ; or, } \nu = R_H.c\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \text{ ; [যেহেতু, } c = \nu \times \lambda; \ \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} \text{]}$$

এখানে $n = 3, 4, 5, 6$ পূর্ণসংখ্যা এবং R_H হলো একটি ধ্রুবক (বর্তমানে এটিকে রিডবার্গ ধ্রুবক বলা হয়)। বামার সমীকরণে $n = 3$ এবং $R_H = 1.097 \times 10^{-2}\ nm^{-1}$ ধরে নির্ণীত তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) = 656.3 nm হয়; যা spectroscopy পদ্ধতিতে পরীক্ষালব্ধ H পরমাণুর লাল বর্ণের বর্ণালি রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) = 656.3 nm এর সমান হয়।

$$\frac{1}{\lambda} = 1.097 \times 10^{-2}\ nm^{-1}\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) = 1.5236 \times 10^{-3}\ nm^{-1}$$

$$\therefore \lambda = \frac{1}{1.5236 \times 10^{-3}\ nm^{-1}} = 656.3\ nm$$

অনুরূপভাবে, $n = 4$ ধরে আসমানি বর্ণের রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 486.1$ nm এবং $n = 5$ ধরে নীল বর্ণের $\lambda = 434.0$ nm পাওয়া যায়। বামারের এ সফল কাজের জন্য সূর্যের দৃশ্যমান আলোর পরিসরে সৃষ্ট হাইড্রোজেনের ৪টি রেখা বর্ণালির সমাবেশকে **বামার সিরিজ** (Balmer Series) বলা হয়। দৃশ্যমান আলোর পরিসরে বামার সিরিজের ব্যাখ্যার পর অদৃশ্যমান আলোর পরিসরে (non-visible light region) যেমন **অতিবেগুনি রশ্মি** (UV-rays) ও **অবলোহিত রশ্মি** (IR-rays) পরিসরেও হাইড্রোজেনের বর্ণালি আবিষ্কৃত হয়। এরপর সুইডিশ পদার্থবিদ **জোহান রিডবার্গ** (Johann Rydberg) বামারের সমীকরণকে ভিত্তি করে আলোর দৃশ্যমান ও অদৃশ্যমান উভয় পরিসরে H পরমাণুর সমগ্র বর্ণালি সিরিজের ব্যাখ্যার উপযোগী নিম্নরূপ সমীকরণটি উপস্থাপন করেন; যা **বামার-রিডবার্গ সমীকরণ** নামে পরিচিত :

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

বা, $1.096776 \times 10^7\ m^{-1}$। এক্ষেত্রে λ = বর্ণালি রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\bar{\nu}$ = প্রতি মিটারে তরঙ্গ-সংখ্যা (wave number)।

* ১৯০৬ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী লাইমেন (T. Lymen) **অতিবেগুনি রশ্মি এলাকায়** H পরমাণুর ৫টি রেখা বর্ণালি আবিষ্কার করেন, যা **লাইমেন সিরিজ** নামে খ্যাত। এসব বর্ণালি রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) ও তরঙ্গ-সংখ্যা ($\bar{\nu}$) বামার-রিডবার্গ সমীকরণে $n_1 = 1$ এবং $n_2 = 2, 3, 4, 5, 6$ বসিয়ে পাওয়া যায় :

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = R_H\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) = R_H\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) = \frac{3}{4}\ R_H$$

যখন H পরমাণুর উদ্দীপিত ইলেকট্রনটি ২য়, ৩য়, ৪র্থ ইত্যাদি উচ্চতর শক্তিস্তর থেকে ১ম শক্তিস্তরে স্থানান্তরিত হয়; তখন অতিবেগুনি রশ্মি অঞ্চলে H পরমাণুর লাইমেন সিরিজ বর্ণালির উদ্ভব ঘটে।

* ১৯০৮ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী প্যাশ্চেন (F. Paschen) **অবলোহিত রশ্মি** এলাকায় H পরমাণুর কিছু রেখা বর্ণালি আবিষ্কার করেন, যা **প্যাশ্চেন সিরিজ** নামে খ্যাত। এ বর্ণালি সিরিজের বেলায় বামার-রিডবার্গ সমীকরণে $n_1 = 3$ এবং $n_2 = 4, 5, 6$ মান হয়।

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = R_H\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) = R_H\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2}\right) = R_H\left(\frac{1}{9} - \frac{1}{16}\right) = \frac{7R_H}{144}$$

যখন H পরমাণুর উদ্দীপিত ইলেকট্রনটি ৪র্থ, ৫ম বা ৬ষ্ঠ ইত্যাদি উচ্চতর শক্তিস্তর থেকে লাফিয়ে ৩য় শক্তিস্তরে স্থানান্তরিত হয়; তখন অবলোহিত রশ্মি এলাকায় H-পরমাণুর প্যাশ্চেন সিরিজ বর্ণালির উদ্ভব ঘটে।

* ১৯২২ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী **ব্রাকেট** (Brackett) এবং ১৯২৪ খ্রিষ্টাব্দে বিজ্ঞানী **এ. এইচ. ফুন্ড** (A. H. Pfund) ঐ একই অবলোহিত রশ্মি অঞ্চলে H পরমাণুর দুটি ভিন্ন রেখা বর্ণালি সিরিজ আবিষ্কার করেন। এর একটি হলো **ব্রাকেট সিরিজ** এবং অপরটি হলো **ফুন্ড সিরিজ**। ১৯৫৩ খ্রিষ্টাব্দে আমেরিকার বিজ্ঞানী হামফ্রিস দূর অবলোহিত অঞ্চলে H-পরমাণুর ৬ষ্ঠ বর্ণালি সিরিজ আবিষ্কার করেন।

ব্রাকেট সিরিজ, $n_1 = 4$ এবং $n_2 = 5, 6$ ইত্যাদি হয়।

ফুন্ড সিরিজ, $n_1 = 5$ এবং $n_2 = 6, 7$ ইত্যাদি হয়।

হামফ্রিস সিরিজ, $n = 6$ এবং $n_2 = 7, 8, 9$ ইত্যাদি হয়।

আলোর বিভিন্ন অঞ্চলে হাইড্রোজেনের পরমাণু দ্বারা সৃষ্ট বর্ণালির বিভিন্ন সিরিজের লাইনসমূহের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ও তরঙ্গ-সংখ্যা নিচের সাধারণ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় :

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = R_H \times \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$$; এখানে, n_1 ও n_2 বিভিন্ন পূর্ণসংখ্যা। এ সমীকরণটিকে হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালির বামার **রিডবার্গের সমীকরণ** বলে। বিভিন্ন সিরিজে n_1 ও n_2 শক্তিস্তরের মান নিম্নরূপ:

(১) লাইমেন সিরিজে (Lymen series এ) $n_1 = 1$; $n_2 = 2, 3, 4$ …… [অতিবেগুনি অঞ্চল]

(২) বামার সিরিজে (Balmer series এ) $n_1 = 2$; $n_2 = 3, 4, 5, 6$ …… [দৃশ্যমান অঞ্চল]

(৩) প্যাশেন সিরিজে (Paschen series এ) $n_1 = 3$; $n_2 = 4, 5, 6, 7$ …… [অবলোহিত অঞ্চল]

(৪) ব্রাকেট সিরিজে (Brackett series এ) $n_1 = 4$; $n_2 = 5, 6, 7$ …… [অবলোহিত অঞ্চল]

(৫) ফুন্ড সিরিজে (Pfund series এ) $n_1 = 5$; $n_2 = 6, 7$ …… [অবলোহিত অঞ্চল]

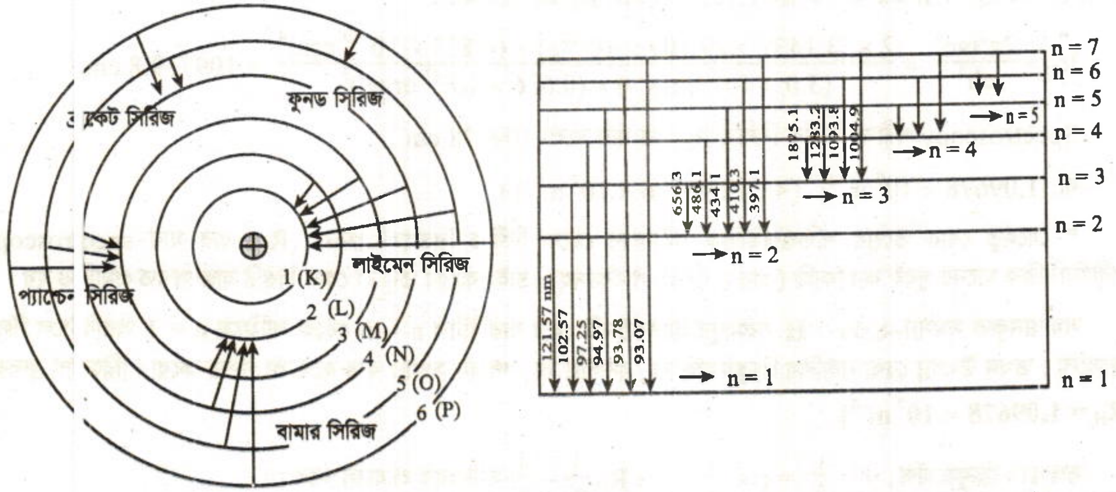
(৬) হামফ্রিস সিরিজ (Humphreys series এ) $n_1 = 6$; $n_2 = 7$ …… [অবলোহিত অঞ্চল]

উল্লেখ্য, যেকোনো মৌলের বা আয়নের বর্ণালির জন্য প্রযোজ্য বামার রিডবার্গের সমীকরণটি হলো :

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = R_H \times Z^2 \times \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$$; এখানে, Z = পারমাণবিক সংখ্যা।

$R_H = 1.09678 \times 10^7\ m^{-1} = 1.09678 \times 10^5\ cm^{-1} = 109678\ cm^{-1} = 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1}$

হাইড্রোজেন পরমাণুর জন্য $Z = 1$ হবে।



চিত্র-১.১৭(ক) : বোর পরমাণু মডেল অনুসারে H-পরমাণুর বিভিন্ন বর্ণালির উৎস এবং বামার-রিডবার্গের সমীকরণ মতে বিভিন্ন লাইন বা, রেখা বর্ণালির তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) nm এককে [লাইমেন সিরিজ, বামার সিরিজ ও প্যাশেন সিরিজ]

(৪) বোরের শক্তিস্তরভিত্তিক সমীকরণ থেকে রিডবার্গ সমীকরণ ও রিডবার্গ ধ্রুবকের মান নির্ণয়

[To derive Rydberg Equation & Value of R_H from Bohr's Orbit related Equation]

বোর প্রদত্ত হাইড্রোজেন পরমাণুর শক্তিস্তরভিত্তিক মোট শক্তির (E_n) সমীকরণ থেকে বোর নিজেই রিডবার্গ সমীকরণটি ও রিডবার্গ ধ্রুবকের মান নির্ণয় করেন; যা spectroscopy পরীক্ষাভিত্তিক নির্ণীত মান থেকে মাত্র 0.05% পার্থক্য দেখায়।

বোর প্রদত্ত যেকোনো পরমাণুর শক্তিস্তরভিত্তিক মোট শক্তির (E_n) সমীকরণটি হলো,

$$E_n = \left(\frac{-2\pi^2 me^4}{h^2}\right) \times \frac{Z^2}{n^2}\ ;\ \text{H এর বেলায় } Z = 1 \text{ এবং } E_n = \frac{-2\pi^2 me^4}{n^2h^2}$$

আবার যখন H পরমাণুর উদ্দীপিত ইলেকট্রনটি উচ্চতর n_2 কক্ষপথ থেকে নিম্নতর n_1 কক্ষপথে লাফিয়ে স্থানান্তরিত হয়, তখন বিকিরিত আলোক রশ্মির ফ্রিক্যুয়েন্সি বা কম্পাঙ্ক ν এর বেলায় বোরের বর্ণালি সৃষ্টির ধারণা ও উপরোক্ত সমীকরণ মতে,

$$h\nu = (E_{n_2} - E_{n_1}) = \left(\frac{-2\pi^2 me^4}{n_2^2h^2}\right) - \left(\frac{-2\pi^2 me^4}{n_1^2h^2}\right) = \frac{2\pi^2 me^4}{h^2}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

$$\text{বা, } \nu = \frac{2\pi^2 me^4}{h^3}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right);\ \text{বা, } \frac{c}{\lambda} = \frac{2\pi^2 me^4}{h^3}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)\quad [\text{যেহেতু } \nu = \frac{c}{\lambda}]$$

$$\text{বা, } \frac{1}{\lambda} = \frac{2\pi^2 me^4}{ch^3}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)\quad [\lambda = \text{বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য}, c = \text{আলোর বেগ}]$$

$$\text{বা, } \bar{\nu} = \frac{2\pi^2 me^4}{ch^3}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)\quad [\text{যেহেতু } \frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = \text{তরঙ্গ সংখ্যা}]$$

$$\text{বা, } \bar{\nu} = R_H\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \ldots\ldots(1)\ \text{এক্ষেত্রে } R_H = \frac{2\pi^2 me^4}{ch^3} = \text{রিডবার্গ ধ্রুবক} \ldots(2)$$

এক্ষেত্রে (1) নং সমীকরণটি হলো মূলত H পরমাণুর রেখা বর্ণালির তরঙ্গ-সংখ্যা সম্পর্কিত রিডবার্গের সমীকরণ।

এবং (2) নং সমীকরণটি রিডবার্গ ধ্রুবক সম্পর্কিত। এ সমীকরণে ধ্রুবক, π; ইলেকট্রনের ভর, m; চার্জ, e; আলোর বেগ, c; এবং ধ্রুবক h এর মান বসিয়ে CGS পদ্ধতিতে R_H এর মান হয় :

$$R_H = \frac{2\pi^2 me^4}{ch^3} = \frac{2 \times (3.143)^2 \times (9.109 \times 10^{-28}\text{g}) \times (4.803 \times 10^{-10}\text{ esu})^4}{(3.0 \times 10^{10}\text{ cm.s}^{-1}) \times (6.626 \times 10^{-27}\text{ erg.s})^3} = 109739.8\text{ cm}^{-1}$$

Spectroscopy পরীক্ষাভিত্তিক নির্ণীত R_H এর মান হলো 109678 cm^{-1}

বা, $1.09678 \times 10^7\ m^{-1}$; (বা, $1.096776 \times 10^7\ m^{-1}$)।

* যেহেতু বোর তত্ত্বের শক্তিস্তরভিত্তিক সমীকরণ থেকে নির্ণীত রিডবার্গ ধ্রুবক (R_H) এর মান spectroscopy পরীক্ষাভিত্তিক মানের খুবই কাছাকাছি (প্রায় 0.05% পার্থক্যসহ); তাই বোরের তত্ত্ব বা বোর থিওরি বাস্তবসম্মত প্রমাণিত হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩৮ : H পরমাণুর ইলেকট্রনটি বোর অরবিটাল n = 3 থেকে লাফিয়ে n = 1 অরবিটালে ফিরে আসলো। তখন উৎপন্ন রেখা বর্ণালির ফ্রিক্যুয়েন্সি বা, কম্পাঙ্ক বা, স্পন্দন সংখ্যা কত হবে তা গণনা করো। [রিডবার্গ ধ্রুবক, $R_H = 1.09678 \times 10^7\ m^{-1}$]

দক্ষতা : ফ্রিক্যুয়েন্সি, $\nu = \frac{c}{\lambda} = c \times \frac{1}{\lambda} = c \times R_H \frac{1}{n^2} - \frac{1}{n^2}$ সমীকরণ প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : আলোর গতিবেগ, $c = 3.0 \times 10^8\ m.s^{-1}$ এবং $R_H = 1.09678 \times 10^7\ m^{-1}$ ব্যবহৃত হবে।

ফ্রিকুয়েন্সি, $\nu = c \times R_H\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) = 3.0 \times 10^8 ms^{-1} \times 1.09678 \times 10^7 m^{-1} \times \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2}\right)$

$= 3.0 \times 1.09678 \times 10^{15} (1 - 0.111) s^{-1} = 3.0 \times 1.09678 \times 0.889 \times 10^{15} s^{-1}$

$= 2.9251 \times 10^{15} s^{-1}$ (বা, Hz)

উৎপন্ন রেখা বর্ণালির ফ্রিকুয়েন্সি $= 2.9251 \times 10^{15}$ Hz

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩৯ : হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন যখন ৪র্থ শক্তিস্তর (n = 4) থেকে দ্বিতীয় শক্তিস্তরে (n = 2) স্থানান্তরিত হয়, তখন সৃষ্ট বর্ণালি রেখার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কত হবে এবং বিকিরণের বর্ণ কিরূপ হবে?

সমাধান : বামার সিরিজ মতে পাই, [অভিন্ন বোর্ড ২০১৮]

প্রশ্নমতে, $n_1 = 2$ এবং $n_2 = 4$

আমরা জানি, রিডবার্গ ধ্রুবক, $R_H = 109678\ cm^{-1}$

$$\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right);$$

$$\therefore \frac{1}{\lambda} = 109678\ cm^{-1} \times \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}\right)$$

$$= 109678\ cm^{-1} \times (0.25 - 0.0625) = 109678\ cm^{-1} \times 0.1875$$

$$\therefore \lambda = \frac{1}{109678\ cm^{-1} \times 0.1875} = \frac{1}{20564.625}\ cm = 4.8627 \times 10^{-7}\ m = 486.27\ nm$$

বিকিরণ রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 450 ~ 500 nm এর মধ্যে হওয়ায় বিকিরণের বর্ণ আসমানী হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪০ : হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালির ব্রাকেট সিরিজের তৃতীয় লাইন (n_2 = 7) এর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য নির্ণয় করো। ($R_H = 10.97 \times 10^6\ m^{-1}$)

সমাধান : রিডবার্গের সমীকরণ মতে,

প্রশ্নমতে,

ব্রাকেট সিরিজের বেলায়, $n_1 = 4$; $n_2 = 7$

$$\frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6\ m^{-1}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

$$\therefore \frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6\ m^{-1}\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{7^2}\right);$$

$$\frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6\ m^{-1}\ (0.0625 - 0.0204081)$$

$$\therefore \frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6\ m^{-1} \times 0.0420919 = 461748.1\ m^{-1}$$

$$\therefore \lambda = 2.165683 \times 10^{-6}\ m = 2.165683 \times 10^3\ nm$$

> **MCQ-2.23 : কোনো রশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 7000Å হলে এর তরঙ্গ সংখ্যা কত?** [সি. বো. ২০১৭]
> (ক) $1.428 \times 10^{-3}\ nm^{-1}$
> (খ) $14.28 \times 10^3\ cm^{-1}$
> (গ) $1.428 \times 10^{-3}\ m^{-1}$
> (ঘ) 14.28×10^{-3} Å

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪১ : হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালির লাইমেন সিরিজে রেখা সৃষ্টিকারী চতুর্থ শক্তিস্তর থেকে আগত ইলেকট্রনের বিকিরিত শক্তির তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করো। ($R_H = 10.97 \times 10^6\ m^{-1}$)

সমাধান : রিডবার্গের সমীকরণ মতে,

প্রশ্নমতে,

লাইমেন সিরিজের বেলায় $n_1 = 1$

এক্ষেত্রে $n_2 = 4$

$$\frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6\ m^{-1}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

$$= 10.97 \times 10^6\ m^{-1}\left(\frac{1}{(1)^2} - \frac{1}{(4)^2}\right) = 10.97 \times 10^6\ m^{-1}\left(1 - \frac{1}{16}\right)$$

$$= 10.97 \times 10^6\ m^{-1} \times \frac{15}{16} = 10.284375 \times 10^6\ m^{-1}$$

$$\therefore \lambda = \frac{1}{10.284375 \times 10^6}\ m = 9.7235 \times 10^{-8}\ m = 97.235\ nm \therefore \lambda = 97.235\ nm$$

২.৬ রেখা বর্ণালির সাহায্যে মৌল শনাক্তকরণ : শিক্ষার্থীর কাজ

Element detection from Line-Spectrum : Students' Activity

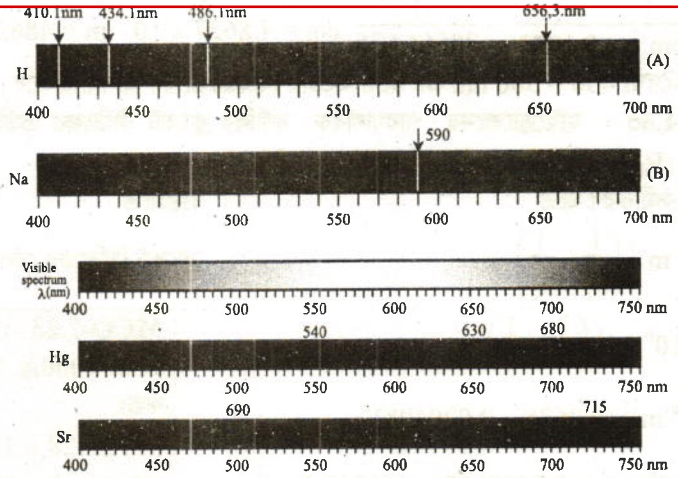
প্রত্যেক মানুষের 'আঙ্গুলের-ছাপ' এর মতোই পরমাণুর রেখা বর্ণালি পৃথক। (i) তাই প্রত্যেক মৌলের বৈশিষ্ট্যপূর্ণ বর্ণালি আছে। (ii) বর্ণালির প্রতিটি রেখার নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্য বা ফ্রিক্যুয়েন্সি থাকে। তাই রেখা বর্ণালিতে সৃষ্ট বর্ণ ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য দেখে মৌল শনাক্ত করা যায়। যেমন—

(১) সোডিয়াম পরমাণুর বর্ণালিতে কালো স্থান বা ব্যান্ড দ্বারা পৃথককৃত দুটি উজ্জ্বল হলুদ বর্ণের সূক্ষ্ম রেখা থাকে। দুটি রেখার মধ্যে প্রথম রেখার (D_1) তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 589.6$ nm এবং দ্বিতীয় রেখার (D_2) তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 590$ nm।

(২) হাইড্রোজেন পরমাণুর ৪টি রেখা বর্ণালি দৃশ্যমান আলোর পরিসরে দেখা যায়; (i) নীলবর্ণের $\lambda = 410.1$ nm ও 434.1 nm, (ii) 486.1 nm (আসমানি) এবং (iii) লালবর্ণের $\lambda = 656.3$ nm।

(৩) তদ্রূপ, মারকারির অনেকগুলো রেখা বর্ণালির মধ্যে সবুজ বর্ণের $\lambda = 540$ nm, কমলা বর্ণের $\lambda = 630$ nm এবং লাল বর্ণের $\lambda = 680$ nm দৈর্ঘ্যের রেখাগুলো সুস্পষ্ট হয়। MAT-(18-19) MAT-(19-20)

(৪) স্ট্রনসিয়াম (Sr) এর অনেকগুলো রেখা বর্ণালির মধ্যে আসমানি বর্ণের $\lambda = 468$ nm, 465 nm, 476 nm, 490 nm এর চারটি রেখা এবং লাল বর্ণের $\lambda = 669$ nm, 678 nm, 715 nm এর তিনটি রেখা দেখা যায়।



চিত্র-২.১৮ : Na, H, Hg ও Sr এর রেখা বর্ণালি।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.১০ : রেখা বর্ণালিভিত্তিক :

সমস্যা-২.৩২ : নিম্নোক্ত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রেখা বর্ণালি থেকে মৌলসমূহ শনাক্ত করে লেখ।

(ক) $\lambda = 590$ (nm) ...., (খ) $\lambda = 656.3$ nm ....

(গ) $\lambda = 410.1$ (nm) ...., (ঘ) $\lambda = 550.3$ nm ....

প্রশ্ন-২.১০(ক) : বোর তত্ত্বের সাহায্যে '$_1$Y' মৌলের বর্ণালি সৃষ্টির ব্যাখ্যা করা যাবে কি? তোমার মতামত দাও। [ঢা. বো. ২০১৯]

সংকেত : উদ্দীপক মতে, '$_1$Y' মৌলটি হলো পাঃ সংখ্যা '1' বিশিষ্ট হাইড্রোজেন মৌল ('$_1$H')। বোর মডেল থেকে H এর পারমাণবিক বর্ণালি সৃষ্টির ব্যাখ্যা দেওয়া যায়। [এরপর ২.৭ অনুচ্ছেদ যোগ করো]

প্রশ্ন-২.১০(খ) : হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালিতে বহুসংখ্যক রেখা সৃষ্টির কারণ বিশ্লেষণ করো। [য. বো. ২০১৯]

প্রশ্ন-২.১০(গ) : চিত্র-২.১৮ এ মৌলের রেখা বর্ণালি দেয়া আছে। Na পরমাণু ও H পরমাণুর রেখা বর্ণালির মধ্যে পার্থক্য সূচক বৈশিষ্ট্যগুলো লিখে তোমার শিক্ষককে দেখাও।

২.৭ বোর পরমাণু মডেল থেকে হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালির ব্যাখ্যা
Explanation of H-spectrum from Bohr's Atom Model

*** H-পরমাণুতে একটি মাত্র ইলেকট্রন থাকা সত্ত্বেও এর বর্ণালিতে অনেকগুলো রেখা সৃষ্টি হয় কেন?** [য. বো. ২০১৯]

বোর মডেল থেকে H-এর পারমাণবিক বর্ণালি সৃষ্টির ব্যাখ্যা করা যায়। H পরমাণুতে একটিমাত্র ইলেকট্রন থাকা সত্ত্বেও এর পারমাণবিক বর্ণালিতে অনেক রেখা সৃষ্টি হয়। এর কারণ হলো উচ্চ বিদ্যুৎ শক্তির প্রভাবে হাইড্রোজেন অণু (H_2) প্রথমে পরমাণুতে (H) পরিণত হয়। H-পরমাণুতে এর ইলেকট্রনটি সর্বনিম্ন শক্তিস্তরে (n = 1) অবস্থান করে কক্ষপথে আবর্তন করে। এ অবস্থাকে পরমাণুর ভূমিস্তর বা ground state অবস্থা বলে। পরে হাইড্রোজেনের অসংখ্য পরমাণুর ইলেকট্রনগুলো উৎস থেকে বিভিন্ন পরিমাণে শক্তি শোষণ করে বিভিন্ন উচ্চশক্তিস্তরে যেমন n = 2, 3, 4, 5, 6 ইত্যাদি যেকোনো শক্তিস্তরে উন্নীত হয়। নিউক্লিয়াস হতে অসীম দূরত্বে থাকা অধিক শক্তিসম্পন্ন এ স্তরগুলোকে উত্তেজিত স্তর (excited state) বলা হয়। উচ্চশক্তিস্তরে ইলেকট্রনগুলো স্থিতিশীল থাকে না। শক্তির উৎস সরিয়ে নিলে ঐ ইলেকট্রনগুলো বিভিন্ন উচ্চশক্তিস্তর থেকে আলো শক্তি বিকিরণ করে লাফিয়ে একই নিম্নশক্তিস্তরে ফিরে আসতে পারে। নিম্নশক্তিস্তর স্বল্পশক্তিসম্পন্ন ও স্থায়ী, একে সর্বনিম্ন শক্তি অবস্থা (ground state) বলে।

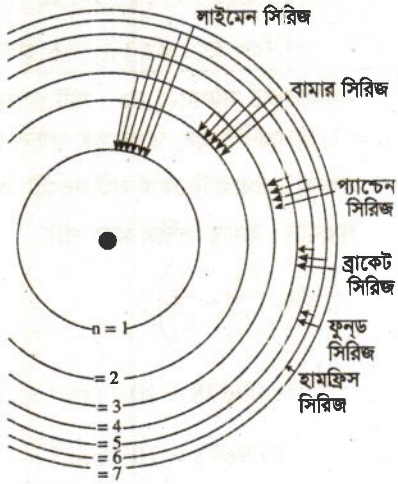
ফলে সৃষ্ট রেখা বর্ণালির পাশাপাশি রেখাগুলো বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের হয়। বিভিন্ন বিজ্ঞানী H-এর রেখা বর্ণালির চিত্র আবিষ্কার করেন, তাঁদের নামানুসারে H-এর রেখা বর্ণালির বিভিন্ন নাম আছে, যেমন (i) বিভিন্ন উচ্চশক্তিস্তরে থাকা উদ্দীপিত ইলেকট্রন শক্তি বিকিরণ করে ১ম শক্তিস্তরে ফিরে আসলে তখন H-বর্ণালিতে যে রেখাসমূহ পাওয়া যায়, তাদেরকে **লাইমেন সিরিজ** বলে। তদনুরূপ উচ্চশক্তিস্তর থেকে ইলেকট্রনসমূহ ২য়, ৩য়, ৪র্থ, ৫ম ও ৬ষ্ঠ শক্তিস্তরে ফিরে আসার ফলে সৃষ্ট বর্ণালিকে যথাক্রমে, (ii) **বামার সিরিজ**, (iii) **প্যাশ্চেন সিরিজ**, (iv) **ব্রাকেট সিরিজ**, (v) **ফুন্ড সিরিজ** ও (vi) **হামফ্রিস সিরিজ** বলা হয়। [চিত্র-২.১৯] এরূপে H-পরমাণুর সৃষ্ট বর্ণালিতে অনেকগুলো রেখা দেখা যায়।

হাইড্রোজেনের বর্ণালির বিভিন্ন রেখার তরঙ্গ সংখ্যা ($\bar{v}$) নিম্নোক্ত বামার রিডবার্গ সমীকরণ হতে পাওয়া যায়।

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{v} = R_H\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)\ m^{-1}$$ এখানে, $R_H = 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1}$ [R_H হলো রিডবার্গ ধ্রুবক]

চিত্র-২.১৯ এ বিভিন্ন স্তর হতে ইলেকট্রনের স্থানান্তরের ফলে উদ্ভূত রেখা বর্ণালিগুলো দেখানো হলো।

হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনগুলো বিভিন্ন উচ্চশক্তিস্তর ২য়, ৩য়, ৪র্থ, ৫ম, ৬ষ্ঠ, ৭ম স্তর অর্থাৎ n_2 = 2, 3, 4, 5, 6, 7 হতে নিম্ন শক্তিস্তর n_1 = 1 এ ফিরে আসলে অতি বেগুনি রশ্মি অঞ্চলে **লাইমেন সিরিজ** এবং ৩য়, ৪র্থ, ৫ম, ৬ষ্ঠ, ৭ম শক্তিস্তর অর্থাৎ n_2 = 3, 4, 5, 6, 7 ইত্যাদি হতে ২য় শক্তিস্তর n_1 = 2-এ ইলেকট্রনের স্থানান্তরের ফলে দৃশ্যমান **অঞ্চলে বামার সিরিজ** (Balmer series) উৎপন্ন হয়। একইভাবে ৫ম, ৬ষ্ঠ, ৭ম শক্তিস্তর, n_2 = 5, 6, 7 .... হতে ৩য় শক্তিস্তর n_1 = 3-এ স্থানান্তরের ফলে অবলোহিত (Infrared) **অঞ্চলে প্যাশ্চেন সিরিজ** (Paschen Series), ৬ষ্ঠ, ৭ম, ৮ম শক্তিস্তর, n_2 = 6, 7, 8, ... হতে ৪র্থ শক্তিস্তর n_1 = 4-এ স্থানান্তরের জন্য এবং ৭ম, ৮ম .... শক্তিস্তর n_2 = 7, 8 .... হতে ৫ম শক্তিস্তর n_1 = 5 এবং ৬ষ্ঠ শক্তিস্তর n_1 = 6 এ ইলেকট্রন ফিরে আসলে **দূর অবলোহিত অঞ্চলে** (Far Infrared) যথাক্রমে **ব্রাকেট সিরিজ** (Brackett Series), **ফুন্ড সিরিজ** (Pfund Series) **ও হামফ্রিস সিরিজ পরিদৃষ্ট** হয়। তবে দূর অবলোহিত অঞ্চলে সৃষ্ট হামফ্রিস বর্ণালি সিরিজ অন্য তিনটি অবলোহিত অঞ্চলের বর্ণালি সিরিজ থেকে ব্যতিক্রম বা সম্পূর্ণ ভিন্ন দেখায়। বিভিন্ন সিরিজে n_1 ও n_2 এর মান নিম্নরূপ :



চিত্র-২.১৯ : হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালি রেখাগুলোর বিভিন্ন শক্তিস্তর থেকে উৎপত্তি।

লাইমেন সিরিজে (Lymen series এ) $n_1 = 1$; $n_2 = 2, 3, 4, 5 \ldots \alpha$ [অতিবেগুনি অঞ্চল]
বামার সিরিজে (Balmer series এ) $n_1 = 2$; $n_2 = 3, 4, 5, 6 \ldots \alpha$ [দৃশ্যমান অঞ্চল]
প্যাশেন সিরিজে (Paschen series এ) $n_1 = 3$; $n_2 = 4, 5, 6, 7 \ldots \alpha$ [অবলোহিত অঞ্চল]
ব্রাকেট সিরিজে (Brackett series এ) $n_1 = 4$; $n_2 = 5, 6, 7, 8 \ldots \alpha$ [অবলোহিত অঞ্চল]
ফুন্ড সিরিজে (Pfund series এ) $n_1 = 5$; $n_2 = 6, 7, 8, 9 \ldots \alpha$ [অবলোহিত অঞ্চল]
হামফ্রিস সিরিজ (Humphreys series-এ) $n_1 = 6$; $n_2 = 7, 8, 9 \ldots \alpha$ [অবলোহিত অঞ্চল]

H-পরমাণুর বামার সিরিজে বিভিন্ন রেখা বর্ণালির তরঙ্গদৈর্ঘ্য, তরঙ্গসংখ্যা ও বর্ণ দেখানো হলো :

ইলেকট্রনের ধাপান্তর n_2 হতে n_1 অরবিটে	তরঙ্গ সংখ্যা $\bar{\nu}$ (cm^{-1})	তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ (nm)	সৃষ্ট রেখার বর্ণ	রেখা বর্ণালির নাম
(1) $(n_2 = 3) \to (n_1 = 2)$ or, M শেল → L শেলে	$\bar{\nu} = R_H\left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right] = \frac{5R_H}{36} = 0.139\ R_H$	656.3 nm	লাল (red)	H_α ১ম সারি
(2) $(n_2 = 4) \to (n_1 = 2)$ or, N শেল → L শেলে	$\bar{\nu} = R_H\left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}\right] = \frac{3R_H}{16} = 0.187\ R_H$	486.1 nm	নীলাভ সবুজ (bluish green)	H_β ২য় সারি
(3) $(n_2 = 5) \to (n_1 = 2)$ or, O শেল → L শেলে	$\bar{\nu} = R_H\left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2}\right] = \frac{21R_H}{100} = 0.210\ R_H$	434.1 nm	নীল (blue)	H_γ ৩য় সারি
(4) $(n_2 = 6) \to (n_1 = 2)$ or, P শেল → L শেলে	$\bar{\nu} = R_H\left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{6^2}\right] = \frac{8R_H}{36} = 0.222\ R_H$	410.1 nm	বেগুনি (violet)	H_δ ৪র্থ সারি

দ্রষ্টব্য : (১) তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) দীর্ঘতম হলে, n_2 এর মান ক্ষুদ্রতম হবে। তখন বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গ সংখ্যা সর্বনিম্ন হয়। তখন $n_2 = 3$ হয়।

(২) তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) ক্ষুদ্রতম হলে, n_2 এর মান সবচেয়ে বড়ো হবে। তখন $\frac{1}{n^2} = 0$ হবে। তখন তরঙ্গ সংখ্যা সর্বাধিক হয়। তখন $n_2 = 6$ হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪২ : হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন যখন ৪র্থ শক্তিস্তর (n = 4) থেকে দ্বিতীয় শক্তিস্তরে (n = 2) স্থানান্তরিত হয়, তখন সৃষ্ট বর্ণালি রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে এবং বিকিরণের বর্ণ কিরূপ হবে?

দক্ষতা : প্রথমে রিডবার্গ সমীকরণটি লিখতে হবে।

সমাধান : বামার সিরিজ মতে পাই,

$$\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right);$$

প্রশ্নমতে, $n_1 = 2$ এবং $n_2 = 4$

আমরা জানি, রিডবার্গ ধ্রুবক, $R_H = 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1}$

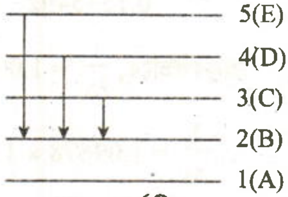
$$\therefore \frac{1}{\lambda} = 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1} \times \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}\right)$$

$$= 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1} \times (0.25 - 0.0625) = 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1} \times 0.1875$$

$$\therefore \lambda = \frac{1}{1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1} \times 0.1875} = \frac{1 \times 10^2\ nm}{0.20564625} = 486.27\ nm$$

বিকিরণ রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 450–500 nm এর মধ্যে হওয়ায় **বিকিরণের বর্ণ আসমানী বা, নীলাভ সবুজ হবে।**

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪৩। উদ্দীপকভিত্তিক সমস্যাটি সমাধান করো। [কু. বো. ২০১৯]



H এর বর্ণালি

উদ্দীপকের B শক্তিস্তরে সৃষ্ট ৩য় বর্ণালি রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বর্ণ দৃশ্যমান হবে কীনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

দক্ষতা : উদ্দীপক মতে, B শক্তিস্তর হলো H পরমাণুর ২য় শক্তিস্তর। বর্ণালি সিরিজটি হলো বামার সিরিজ। এক্ষেত্রে, $n_1 = 2$ এবং ৩য় বর্ণালি রেখার বেলায় $n = 5$ হবে।

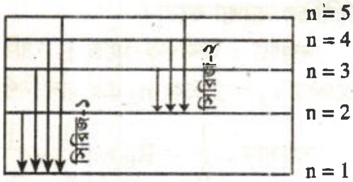
সমাধান : রিডবার্গ সমীকরণ মতে, $\frac{1}{\lambda} = 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1} \times \left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2}\right]$

$$\therefore \frac{1}{\lambda} = 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1} \times (0.25 - 0.04) = 2.303238 \times 10^{-3}\ nm^{-1}$$

$$\therefore \lambda = \frac{1}{2.303238 \times 10^{-3}\ nm^{-1}} = \frac{1 \times 10^{3}\ nm}{2.303238} = 434.17\ nm$$

বিশ্লেষণ : এক্ষেত্রে বর্ণালি সৃষ্টিকালে বিকিরিত শক্তির তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = 434.17$ nm হয়; এবং এটি দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিসর 380 nm – 780 nm এর মধ্যে রয়েছে। তাই বর্ণালিটি দৃশ্যমান হবে এবং বর্ণ হবে নীল।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪৩(ক) : উদ্দীপকের সিরিজ দুটির কোনটি দৃশ্যমান বর্ণালি প্রদর্শন করে; তা গাণিতিকভাবে মূল্যায়ন করো। [চ. বো. ২০২১]



H এর বিকিরণ বর্ণালি

দক্ষতা : উদ্দীপক মতে সিরিজ-১ হলো লাইমেন সিরিজ; কারণ এক্ষেত্রে $n_1 = 1$ এবং $n_1 = 2$ হওয়ায় সিরিজ-২ হলো বামার সিরিজ।

সমাধান : রিডবার্গ সমীকরণ মতে, বর্ণালি সিরিজ-১ এর বেলায়, $n_1 = 1$ এবং $n_2 = 2, 3, 4, 5$।

তাই এক্ষেত্রে ১ম সারির বেলায়, $\frac{1}{\lambda_1} = R_H \times \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) = 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1} \times \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right)$

$$= 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1} \times (1 - 0.25) = 8.22585 \times 10^{-3}\ nm^{-1}$$

$$\therefore \lambda = \frac{1}{8.22585 \times 10^{-3}\ nm^{-1}} = \boxed{121.568\ nm}$$

অনুরূপভাবে ৪র্থ সারির বেলায়, $\frac{1}{\lambda_4} = 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1}\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{5^2}\right) = 1.0529 \times 10^{-2}\ nm^{-1}$

$$\therefore \lambda = \frac{1}{1.0529 \times 10^{-2}\ nm^{-1}} = \frac{1 \times 10^{2}\ nm}{1.0529} = \boxed{94.976\ nm}$$

বিশ্লেষণ : সিরিজ-১ এর বর্ণালি রেখা চারটির বিকিরিত শক্তির তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ এর মান 94.976 nm – 121.568 nm এর মধ্যে হওয়ায় বর্ণালির সিরিজটি UV রশ্মির পরিসরে।

সিরিজ-২ এর বেলায়, রিডবার্গ সমীকরণ মতে, $n_1 = 2$ এবং $n_2 = 3, 4$ এবং 5।

এক্ষেত্রে, $\frac{1}{\lambda_1} = 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1} \times \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2}\right) = 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1}\ (0.25 - 0.11)$

$$\therefore \frac{1}{\lambda} = 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1} \times 0.14 = 0.1535492 \times 10^{-2}\ nm^{-1}$$

$$\therefore \lambda_1 = \frac{1 \times 10^2 \text{ nm}}{0.1535492} = \boxed{651.257 \text{ nm}}$$

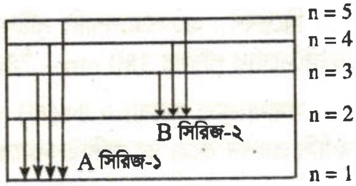
অনুরূপভাবে, $\frac{1}{\lambda_3} = 1.09678 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1} \times \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{5^2}\right) = 1.09678 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1} (0.25 - 0.04)$

$$\therefore \frac{1}{\lambda_3} = 1.09678 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1} \times 0.21 = 0.2303238 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1}$$

$$\therefore \lambda_3 = \frac{1 \times 10^2 \text{ nm}}{0.2303238} = \boxed{434.17 \text{ nm}}$$

বিশ্লেষণ : সিরিজ-২ এর বর্ণালি রেখা তিনটির বিকিরিত শক্তির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মান 651.257 nm – 434.17 nm এর মধ্যে আছে। তাই সিরিজ-২ এর বর্ণালি রেখাগুলো দৃশ্যমান পরিসর (380 – 780) nm এর মধ্যে আছে। সুতরাং সিরিজ-২ দৃশ্যমান বর্ণালি প্রদর্শন করে থাকে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪৩(খ)। উদ্দীপকের B সিরিজের একটি রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য 486 nm হলে ইলেকট্রনটি কোন শক্তিস্তর হতে স্থানান্তরিত হয়েছে, তা গাণিতিক ব্যাখ্যা করো। [কু. বো. ২০২১]



H এর বিকিরণ বর্ণালি

দক্ষতা : উদ্দীপক মতে B সিরিজ হলো বামার সিরিজ। রিডবার্গ সমীকরণে এক্ষেত্রে $n_1 = 2$ এবং n_2 এর মান নির্ণয় করতে হবে।

সমাধান : $\frac{1}{\lambda} = R_H \times \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) = 1.09678 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$

বা, $\frac{1}{486 \text{ nm}} = 1.09678 \times 10^{-2} \text{ nm}^{-1} \left(0.25 - \frac{1}{n_2^2}\right)$

বা, $\frac{1}{486 \times 1.09678 \times 10^{-2}} = 0.25 - \frac{1}{n_2^2}$ বা, $0.1876 = 0.25 - \frac{1}{n_2^2}$; বা, $\frac{1}{n_2^2} = (0.25 - 0.1876)$

বা, $\frac{1}{n_2^2} = 0.0624$; বা, $n_2^2 = \frac{1}{0.0624}$, বা, $n_2 = \sqrt{16.0} = 4.$

বিশ্লেষণ : বামার সিরিজের $n_2 = 4$ হওয়ায়, ইলেকট্রনটি চতুর্থ শক্তিস্তর থেকে দ্বিতীয় শক্তিস্তরে স্থানান্তরিত হয়েছে। এটি বামার সিরিজের ২য় বর্ণালি রেখা।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪৪। হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালির ব্রাকেট সিরিজের তৃতীয় লাইন ($n_2 = 7$) এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করো। ($R_H = 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1}$)

দক্ষতা : রিডবার্গ সমীকরণে ব্র্যাকেট সিরিজের সম্পর্ক জানতে হবে।

সমাধান : রিডবার্গের সমীকরণ মতে,

$$\frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

প্রশ্নমতে,

ব্রাকেট সিরিজের বেলায়,

$n_1 = 4; n_2 = 7$

MCQ-2.24 : H-পরমাণুর বর্ণালির কোন্ সিরিজটি দৃশ্যমান আলোর পরিসরে হয়? [দি. বো. ২০১৬]

(ক) পাশ্চেন (খ) লাইমেন

(গ) বামার (ঘ) ব্রাকেট

$$\therefore \frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1}\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{7^2}\right); \ \frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1} (0.0625 - 0.0204081)$$

$$\therefore \frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6 \text{ m}^{-1} \times 0.04420919 = 461748.1 \text{ m}^{-1}$$

$$\therefore \lambda = 2.165683 \times 10^{-6} \text{ m} = 2.165683 \times 10^3 \text{ nm}$$ **(উত্তর)**

অধিক জেনে নাও : দৃশ্যমান 'বর্ণহীন আলো' ও বর্ণযুক্ত বস্তু কী? বিজ্ঞানের ভাষায় তা জেনে রাখো :

অনুচ্ছেদ-২.৫ এর মধ্যে জেনেছো, দৃশ্যমান বর্ণহীন আলো হলো 'মহান সৃষ্টির অংশ' সৌর জগতের কেন্দ্রস্থ শক্তির উৎস সূর্য থেকে আগত 'তড়িৎ-চুম্বকীয় বিকিরণ রশ্মি' বা শক্তি-তরঙ্গের সামান্য অংশমাত্র। এসব শক্তি-তরঙ্গ রশ্মির প্রত্যেকের রয়েছে নির্দিষ্ট তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (λ) এবং প্রতি সেকেন্ডে সৃষ্ট মোট তরঙ্গ-সংখ্যা বা ফ্রিক্যুয়েন্সি (ν)। তাই প্রতি সেকেন্ডে এ আলো-তরঙ্গ শক্তির অতিক্রান্ত দূরত্ব বা গতিবেগ (শূন্য মাধ্যমে), $C = \lambda \times \nu = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$। শক্তির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বেশি হলে যেমন 'রেডিও-টিভি' এর বেলায় মিটার (m) এককে, আবার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কম হলে যেমন দৃশ্যমান আলো-এর তরঙ্গ- দৈর্ঘ্য ন্যানোমিটার (nm) এককে (380 nm – 780 nm) প্রকাশ করা হয়।

( ) **দৃশ্যমান বর্ণহীন আলো :** বিজ্ঞানে দৃশ্যমান বর্ণহীন আলো বলতে সৌরশক্তির এক বিশেষ তরঙ্গ পরিসরকে যেমন 380 nm থেকে 780 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের শক্তি তরঙ্গকে বোঝায়, যে শক্তিতরঙ্গ মানব চক্ষুতন্ত্রে প্রতিক্রিয়ায় পরিবর্তিত হয়ে কোনো বিশেষ বর্ণ অথবা প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে না; তাই ঐ বিশেষ আলো শক্তি মানব চক্ষুর অজানা, বর্ণহীন ও অদৃশ্য থাকে। কিন্তু—

( ) **বস্তু বর্ণযুক্ত ও দৃশ্যমান হওয়া :** আণবিক গঠনের কোন রাসায়নিক উপাদান বা মসৃণ অস্বচ্ছ কোনো আকারের বস্তুতে বর্ণহীন আলো রশ্মি আপতিত হলে তখন ঐ রাসায়নিক পদার্থ বা বস্তুটি দ্বারা ঐ আপতিত রশ্মি থেকে ঐ বস্তুর প্রয়োজনীয় কিছু শক্তি-তরঙ্গ শোষণ (absorption) করে এবং অবশিষ্ট রশ্মি মানবের চক্ষে প্রতিফলিত (reflected) হলে চক্ষুর লেন্সের পেছনে থাকা রেটিনার রড-সেলে থাকা রাসায়নিক পদার্থ রেটিন্যাল (retinal) অণুতে ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া সহযোগে দর্শন ইন্দ্রিয়ে প্রতিফলিত রশ্মির বর্ণ বা বস্তুর প্রতিচ্ছবি দেখতে পায়। উল্লেখ্য আলোর সাত বর্ণের শোষিত বর্ণ বাদে অবশিষ্ট বর্ণ দৃশ্যমান হয়। যেমন জবাফুল লাল দেখায়; এর অর্থ সপ্তবর্ণের লাল বাদে অন্যসব বর্ণের শক্তি তরঙ্গ ঐ জবাফুল শোষণ করেছে। তাই জবাকে মানব চক্ষে লাল দেখায়।

( ) **বর্ণহীন আলোর বিচ্ছুরণে বর্ণালি প্রকাশ :** দৃশ্যমান বর্ণহীন আলো শক্তি তরঙ্গ কোনো স্বচ্ছ মাধ্যম যেমন ত্রিকোণাকার প্রিজমে প্রতিসরিত (আপতন কোণ < 90°, refraction) হলে, তখন দৃশ্যমান আলোতে থাকা বিভিন্ন বর্ণের বিভিন্ন আলোক রশ্মির প্রতিসরিত কোণের মাত্রা ভিন্ন ভিন্ন হয়। ফলে বর্ণহীন আলোতে থাকা সমষ্টিগত সুবিন্যস্ত ভিন্ন-ভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বর্ণসমূহ পৃথক হয়ে বা বিচ্ছুরিত হয়ে (diffraction) সাত বর্ণের বিন্যস্ত **বর্ণালি** (spectrum) প্রকাশ করে। অর্থাৎ 'বর্ণহীন আলো শক্তি তরঙ্গ' হলো বিভিন্ন বর্ণের ক্ষুদ্রতর শক্তিতরঙ্গের সমাবেশ।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৮৫ : H পরমাণুর লাইমেন সিরিজে ষষ্ঠ শক্তিস্তর থেকে ১ম শক্তিস্তরে ইলেকট্রনের আগমনকালে বিকিরিত ফোটন শক্তি হলো 2.118×10^{-18} J। এ বিকিরিত শক্তির সাথে সংশ্লিষ্ট বর্ণালি রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য গণনা করো। [$h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s]

দক্ষতা : প্লাঙ্কের সমীকরণ, $E_{photon} = h\nu$ এবং $\nu = \frac{c}{\lambda}$ প্রয়োগ হবে।

সমাধান : $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$; $\therefore E = \frac{hc}{\lambda}$; $\therefore \lambda = \frac{hc}{E}$

প্রশ্নমতে,
$h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s
$c = 2.9979 \times 10^8\ ms^{-1}$
$E = 2.118 \times 10^{-18}$ J

$$\therefore \lambda = \frac{6.626 \times 10^{-34}\ J.s \times 2.9979 \times 10^8\ ms^{-1}}{2.118 \times 10^{-18}\ J}$$
$$= 9.379 \times 10^{-8}\ m = 93.79\ nm.$$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৮৬ : H-পরমাণুর উত্তেজিত ইলেকট্রনটি উচ্চশক্তিস্তর থেকে ১ম শক্তিস্তরে স্থানান্তরের সময় বিকিরিত রশ্মির ফোটনের শক্তি 2.12×10^{-18} J হলে বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত? এক্ষেত্রে সৃষ্ট বর্ণালি রেখাটি H-বর্ণালির কোন্ সারিতে হবে? [$h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s]

দক্ষতা : $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ সমীকরণ প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = \frac{hc}{E}$;

দেয়া আছে, $E = 2.12 \times 10^{-18}$ J
$h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s
$c = 3.0 \times 10^8\ m\ s^{-1}$

$$\therefore \lambda = \frac{6.626 \times 10^{-34}\ J.s \times 3.0 \times 10^8\ m.s^{-1}}{2.12 \times 10^{-18}\ J}$$

বা, $\lambda = \frac{6.626 \times 10^{-34} \times 3.0 \times 10^8\ m}{2.12 \times 10^{-18}}$ বা, $\lambda = 9.3764 \times 10^{-8}\ m = 93.764\ nm$

বর্ণালির সারি চিহ্নিতকরণ : যেহেতু উত্তেজিত ইলেকট্রনটি ১ম শক্তিস্তরে স্থানান্তরিত হয়েছে, তাই বর্ণালি রেখাটি লাইমেন বর্ণালি সারির অন্তর্ভুক্ত হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪৭ : হাইড্রোজেন পরমাণুর উত্তেজিত ইলেকট্রন ২য় কক্ষপথ থেকে ১ম কক্ষপথে স্থানান্তরিত হলো। এক্ষেত্রে বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গসংখ্যা, তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও কম্পাঙ্ক বা ফ্রিক্যুয়েন্সি গণনা করো।

[$R_H = 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1}$; $c = 3.0 \times 10^8\ ms^{-1}$]

দক্ষতা : রিডবার্গ সমীকরণ ব্যবহৃত হবে। এক্ষেত্রে আলোর বেগ (c) এর একক মিটার এককে হওয়ায় R_H এর একক ও মিটার এককে হবে।

সমাধান : তরঙ্গসংখ্যা, $\bar{\nu} = R_H\left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$;

বা, $\bar{\nu} = 1.09678 \times 10^7\ m^{-1}\left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right]$

বা, $\bar{\nu} = 1.09678 \times 10^7 \times (1 - 0.25)\ m^{-1}$

বা, $\bar{\nu} = 1.09678 \times 0.75 \times 10^7\ m^{-1}$

বা, $\bar{\nu} = 8.22585 \times 10^6\ m^{-1}$

দেয়া আছে, $n_1 = 1, n_2 = 2$

ধ্রুবক, $R_H = 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1}$

$= 1.09678 \times 10^7\ m^{-1}$

আলোর বেগ, $c = 3.0 \times 10^8\ ms^{-1}$

তরঙ্গ সংখ্যা, $\bar{\nu} = ?$

তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = ?$

কম্পাঙ্ক, $\nu = ?$

আবার, তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = \frac{1}{\bar{\nu}} = \frac{1}{8.22585 \times 10^6\ m^{-1}}$

$= 1.21568 \times 10^{-7}\ m$

কম্পাঙ্ক বা ফ্রিক্যুয়েন্সি, $\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^8\ ms^{-1}}{1.21568 \times 10^{-7}\ m}$

বা, $\nu = \frac{3.0 \times 10^{15}\ s^{-1}}{1.21568} = 2.4677 \times 10^{15}\ s^{-1}$

MCQ-2.25 : $\bar{\nu} = R_H\left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$

এ সমীকরণ মতে লাইমেন সিরিজের জন্য n = ? [চ. বো. ২০১৬]

(ক) 1 (খ) 2

(গ) 3 (ঘ) 4

শিক্ষার্থীর কাজ-২.১১ : তরঙ্গদৈর্ঘ্য, কম্পাঙ্ক, তরঙ্গ সংখ্যাভিত্তিক :

(i) $c = \nu \times \lambda$; (ii) $E = h \times \nu$; $E_n = (-2.18 \times 10^{-18}\ J) \times \frac{Z^2}{n^2}$

(iii) $\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda}$; (iv) $\bar{\nu} = R_H \times Z^2 \times \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$

সমস্যা-২.৩৩ : অবলোহিত অঞ্চলে সৃষ্ট H-পরমাণুর রেখা বর্ণালির দীর্ঘতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য ন্যানোমিটারে কত হবে, যখন $n_1 = 3$ হয়? [উঃ 1876 nm]

সমস্যা-২.৩৪ : অবলোহিত অঞ্চলে সৃষ্ট H-পরমাণুর রেখা বর্ণালির হ্রস্বতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য ন্যানোমিটারে কত হবে, যখন $n_1 = 3$ হয়? [উঃ 820.6 nm]

সমস্যা-২.৩৫ : H-পরমাণুর লাইমেন সিরিজে হ্রস্বতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য ন্যানোমিটারে কত হবে? কিলোজুল/মোলে ফোটনের শক্তি তখন কত হবে? [উঃ 91.175 nm; 1312.85 kJ/mol]

সমস্যা-২.৩৫ (ক) : H-পরমাণুর উত্তেজিত ইলেকট্রনটি ৩য় কক্ষপথ থেকে ১ম কক্ষপথে স্থানান্তরিত হলে যে রশ্মি বিকিরিত হয়, তার তরঙ্গদৈর্ঘ্য, কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গ সংখ্যা বের করো। [মাদ্রাসা বো. ২০১৭]

[উঃ $\lambda = 102.56$ nm; কম্পাঙ্ক $= 2.925 \times 10^{15}\ s^{-1}$; তরঙ্গ সংখ্যা $= 9.75037 \times 10^4\ cm^{-1}$]

সমস্যা-২.৩৫ (খ) : H-পরমাণুর উত্তেজিত ইলেকট্রনটি N-শেল থেকে L-শেলে স্থানান্তরিত হলে বিকিরিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য, সৃষ্ট রেখা বর্ণালির বর্ণ ও বর্ণালির সিরিজ নির্ণয় করো। [উঃ $\lambda = 486.272$ nm, আসমানি, বামার সিরিজ]

সমস্যা-২.৩৫ (গ) : Li^{2+} আয়নের উত্তেজিত ইলেকট্রনটি N শেল থেকে K শেলে স্থানান্তরিত হলে বিকিরিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে? বিকিরিত আলোর বর্ণ খালি চোখে দেখা যাবে কীনা ব্যাখ্যা করো।

[উঃ $\lambda = 10.806$ nm; বিকিরিত আলো রশ্মি অতিবেগুনি (UV) অঞ্চলের (K শেল = ১ম কক্ষপথ) হওয়ায় অদৃশ্য থাকবে।]

সমস্যা-২.৩৫ (ঘ) : He^+ আয়নের উত্তেজিত ইলেকট্রনটি ৪র্থ শক্তিস্তর থেকে স্থানান্তরিত হয়ে লাইমেন সিরিজে রেখা বর্ণালি সৃষ্টি করলে বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গ সংখ্যা ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য বের করো। [$R_H = 104678\ cm^{-1}$]

[উঃ তরঙ্গ সংখ্যা = $4.112925 \times 10^5\ cm^{-1}$; $\lambda = 24.3136$ nm]

সমস্যা-২.৩৫ (ঙ) : H-পরমাণুর ইলেকট্রনটি K শেল থেকে L শেলে স্থানান্তরকালে শোষিত শক্তি হিসাব করে তার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করো। [উঃ $\Delta E = (E_2 - E_1) = 1.635 \times 10^{-18}$ J; $\nu = 2.46755 \times 10^{15}\ s^{-1}$] [ব. বো. ২০১৭]

২.৮ জাল টাকা/পাসপোর্ট শনাক্তকরণে UV-রশ্মির ব্যবহার

DAT-(19-20)

Uses of UV rays to detect Fake Currency Notes/Passport

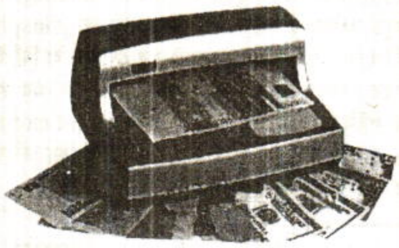
Ultra –Violet বা UV-রশ্মি হলো দৃশ্যমান আলো ও রঞ্জন রশ্মির-এ দুয়ের মাঝখানের তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট তড়িৎ-চুম্বকীয় রশ্মি। তোমরা সংবাদপত্র ও টেলিভিশনের বিভিন্ন সময়ের সংবাদে জেনেছো, ঢাকা ও বিভিন্ন শহরে জাল টাকা ও জাল বা নকল পাসপোর্ট তৈরির দুষ্ট চক্র গোপন সূত্রে পুলিশের হাতে ধরা পড়ে আদালতে সোপর্দ হয়েছে। সাধারণ চোখের দৃষ্টিতে এসব জাল টাকা সহজে শনাক্ত করা সম্ভব হয় না। নিচের ২.২০(ক) নং চিত্রে আসল ১০০০ টাকার নোট ও একটি নকল বা জাল ১০০০ টাকার কারেন্সি নোট দেখানো আছে। এ দুটি কারেন্সি নোট দেখে তোমরা আসল টাকার নোট ও জাল টাকার নোট পার্থক্য করতে পারবে না। কীভাবে পারবে? বাহ্যিকভাবে দুটো নোটই দেখতে একই রকম। তবে আসল কারেন্সি নোটের অভ্যন্তরে গঠনগত একটি পার্থক্য অবশ্যই আছে; যাকে বলা হয় কারেন্সি নোটের নিরাপত্তা ব্যবস্থা বা Security device. জাল পাসপোর্ট ও নকল টাকা শনাক্তকরণে বর্তমানে UV রশ্মি বিশেষভাবে ব্যবহৃত হয়।

UV রশ্মি দ্বারা জালনোট শনাক্তকরণের মূলনীতি : UV রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ = 10 nm থেকে 380 nm হয়। তবে 230 nm – 375 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের UV রশ্মি অপটিকেল সেন্সররূপে আসল-নকল কারেন্সি নোট ডিটেক্টর মেসিনে ব্যবহৃত হয়। **কারেন্সি নোটে Security device রূপে অপটিকেল সেন্সর ফসফোর (phosphor) নামক বিশেষ রাসায়নিক পদার্থ ব্যবহৃত হয়। UV রশ্মির ক্ষুদ্র তরঙ্গ বা বৃহৎ ফ্রিকুয়েন্সির ফোটন দ্বারা ফসফোর অণুর ইলেকট্রন উত্তেজিত হয়ে উচ্চতর শক্তিস্তরে উত্থিত হয়। পরক্ষণে ফসফোর অণুর উত্তেজিত ইলেকট্রন অস্থিতিশীল উত্তেজিত অবস্থা থেকে সুস্থিত অবস্থায় ফেরার পথে পূর্বের শোষিত শক্তি দৃশ্যমান আলোর নির্দিষ্ট বর্ণের ফ্রিক্যুয়েন্সিতে বিকিরিত হয়। এ বিকিরণ বর্ণযুক্ত আলো হওয়ায় একে প্রতিপ্রভা (fluorescence) বলে।** এ নীতির ওপর ভিত্তি করেই জাল টাকা/পাসপোর্ট শনাক্তকরণে UV রশ্মি ব্যবহৃত হয়।

ফসফোর : ফসফোর হলো ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের যেমন 230 nm – 375 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের UV রশ্মি শোষণকারী; কিন্তু দৃশ্যমান আলোর পরিসরে বৃহৎ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অর্থাৎ 380 nm – 780 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মধ্যে ঐ শোষিত শক্তি বিকিরণকারী রাসায়নিক পদার্থ।

রাসায়নিকভাবে ফসফোর তৈরিতে বিভিন্ন জটিল ধাতব অক্সাইড ও ল্যান্থানাইড আয়ন এর মিশ্রণ ব্যবহৃত হয়; যেমন ইটরিয়াম অক্সাইড ও ইউরোপিয়াম আয়ন $Y_2O_3 : Eu^{3+}$ (লাল বর্ণ বিকিরণ); সেরিয়াম-ম্যাগনেসিয়াম-অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইড ও টারবিয়াম আয়ন, $CeMgAl_{11}O_{19} : Tb^{3+}$ (সবুজ বর্ণ বিকিরণ); $BaMgAl_{10}O_{17} : Eu^{2+}$ (নীল বর্ণ বিকিরণ)।

চিত্র-২.২০(ক) : আসল ও নকল কারেন্সি নোট।



চিত্র-২.২০(খ) : আসল কারেন্সি নোট শনাক্তকারী মেসিন।

UV রশ্মি শোষিত ফসফোর থেকে হলুদ বর্ণের প্রতিপ্রভা বিকিরণ

তাই বিভিন্ন দেশের জাতীয় ব্যাংক কারেন্সি নোট বা কাগজের টাকার ও পাসপোর্টের জাল করা থেকে রক্ষাকবচরূপে ঐ সব ব্যাংক কারেন্সি নোট ও পাসপোর্টের বিশেষ কাগজে **'নিরাপত্তা সুতা'** (security thread) ও UV-রশ্মি শনাক্তযোগ্য

অদৃশ্য বিশেষ ফসফোর কালি বা UV fluorescent ink ব্যবহৃত হয়। তখন আসল ব্যাংক নোট ও পাসপোর্টের ঐ অদৃশ্য বিশেষ কালিটি UV-রশ্মির সংস্পর্শে নির্দিষ্ট বর্ণের দৃশ্যমান আলো ফুটিয়ে তোলে। জাল পাসপোর্ট ও নকল টাকায় ঐ বিশেষ কালি না থাকায় UV রশ্মির প্রভাবে ঐ নির্দিষ্ট বর্ণের দৃশ্যমান আলো বিকিরণ করবে না। এরূপে আসল ও নকল টাকা, পাসপোর্ট শনাক্তকরণ সম্ভব হয়।

ব্যাংকসমূহে ব্যবহৃত আসল কারেন্সি নোট শনাক্তকারী **ফ্লোরোসেন্স স্পেকট্রোমিটার মেসিনটি** চিত্র-২.২০(খ) তে দেখানো হয়েছে। বর্তমানে পেন্সিল ব্যাটারিযুক্ত ছোটো আকারের পকেট সাইজের **UV-ray** কলম পাওয়া যায়। তোমরা এ UV-ray কলম সংগ্রহ করে জাল টাকা, জাল পাসপোর্ট ও জাল ক্রেডিট কার্ড ইত্যাদি সহজেই শনাক্ত করতে পারবে।

বাংলাদেশের বিভিন্ন মানের কারেন্সি নোটে ব্যবহৃত ফসফোর সুতায় UV রশ্মি দ্বারা সৃষ্ট প্রতিপ্রভার বর্ণ পরিবর্তন এবং আমেরিকার US-ডলার নোটের নিরাপত্তা ফসফোর সুতায় সৃষ্ট প্রতিপ্রভার বর্ণ পরিবর্তন নিচে দেয়া হলো।

বাংলাদেশের কারেন্সি নোট	UV রশ্মি দ্বারা সৃষ্ট প্রতিপ্রভার বর্ণ
১০০০ টাকার নোট	১। হাল্‌কা বেগুনি ও হাল্‌কা হলুদ বর্ণের ছড়ানো ছোটো আকারের বিভিন্ন রেখা।
৫০০ টাকা ও ১০০ টাকার নোট	২। হালকা লাল্‌চে, হাল্‌কা বেগুনি ও হাল্‌কা হলুদ বর্ণের ছড়ানো ছোটো আকারের বিভিন্ন রেখা।

আমেরিকার কারেন্সি নোট	UV রশ্মি দ্বারা সৃষ্ট প্রতিপ্রভার বর্ণ
100 ডলার ($)	১। কমলা বর্ণ
50 ডলার ($)	২। হলুদ বর্ণ
20 ডলার ($)	৩। সবুজ বর্ণ
10 ডলার ($)	৪। লাল বর্ণ
5 ডলার ($)	৫। নীল বর্ণ

শিক্ষার্থীর কাজ-২.১২ : UV-রশ্মি ও জালনোট শনাক্তকরণভিত্তিক :
প্রশ্ন-২.১১(ক) : ফসফোর বলতে কী বুঝ? জাল কারেন্সি নোট শনাক্তকরণে UV-রশ্মি ও ফসফোর-এর ভূমিকা ব্যাখ্যা করো।
প্রশ্ন-২.১১(খ) : প্রতিপ্রভা বলতে কী বুঝ?

অধিক জেনে নাও : **প্রতিপ্রভা ও অণুপ্রভা** [fluorescence & phosphorescence] এর মধ্যে সাদৃশ্য ও বৈসাদৃশ্য কী?

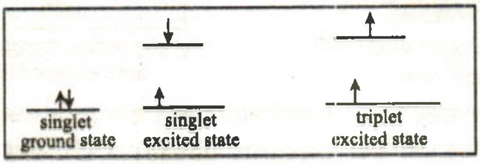
সাদৃশ্য : (১) প্রতিপ্রভা ও অণুপ্রভা-এ উভয় প্রকার আলোক বিকিরণ হলো molecular photo luminescence অর্থাৎ আণবিক আলোক-স্বতঃপ্রভা বিকিরণ প্রক্রিয়ার অন্তর্ভুক্ত।

(২) প্রতিপ্রভা ও অণুপ্রভা বিকিরণ ঘটার পূর্বে ক্ষুদ্র তরঙ্গবিশিষ্ট উচ্চশক্তির UV রশ্মি থেকে সংশ্লিষ্ট পদার্থের অণুস্থিত পরমাণুর ইলেকট্রনসমূহ শক্তি শোষণ করে উচ্চশক্তিস্তরে স্থানান্তরিত হলে ঐ অণুকে **excited বা উদ্দীপিত অণু** বলে। একই সাথে শোষিত শক্তি দ্বারা আণবিক কম্পন বা molecular vibrational excitation ঘটলে ঐ অণুকে **hot বা উত্তপ্ত অণু** বলে। তাই শোষিত UV শক্তি দ্বারা পদার্থের molecule একই সাথে hot ও excited হয়ে থাকে। পরে উচ্চশক্তিস্তর থেকে ইলেকট্রন অধিক স্থায়ী নিম্নশক্তিস্তরে ফেরার সময় বিমুক্ত ফোটন শক্তি দৃশ্যমান পরিসরে কম শক্তিযুক্ত অপেক্ষাকৃত বৃহৎ তরঙ্গের রশ্মি আলোক-স্বতঃপ্রভারূপে বিকিরিত হয়।

বৈসাদৃশ্য : বিকিরণের সময়-কালভেদে এ 'আলোক-স্বতঃপ্রভা' বিকিরণ প্রক্রিয়াটি **প্রতিপ্রভা** (fluorescenee) ও **অণুপ্রভা** (phosphorescence) এ দু নামে বিভক্ত।

(১) **প্রতিপ্রভা বিকিরণ** প্রক্রিয়াটি অত্যন্ত **স্বল্প সময়ে** যেমন UV রশ্মি শোষণকালের 10^{-15} সেকেন্ডের মধ্যে ঘটে। তখন উদ্দীপিত স্বল্পকালীন অবস্থায় ($< 10^{-5}$ sec.) **ইলেকট্রনের spin** অপরিবর্তিত থাকে। এ অবস্থাকে ইলেকট্রনের singlet excited state বলে। UV রশ্মি বন্ধের সাথে 10^{-9} sec. এর মধ্যে ঐ UV fluorescent পদার্থ থেকে আলোক-বিচ্ছুরণ (glowing) বন্ধ হয়ে যায়। এর উদাহরণ হলো আসল কারেন্সি নোট শনাক্তকারী Eu^{3+}, Eu^{2+} ও Tb^{3+} আয়নযুক্ত 'ফসফোর' কালি; TV স্ক্রিনে ব্যবহৃত phosphor ইত্যাদি।

(২) অপরদিকে, **অণুপ্রভা বিকিরণ** প্রক্রিয়াটি UV রশ্মি শোষণকালের **কয়েক সেকেন্ড বা মিনিট কাল পরে ঘটে** এবং এর স্থায়িত্বকাল UV রশ্মি বন্ধের পর মিনিট-ঘণ্টারও অধিক সময় হতে পারে। অধিক সময় পরে অণুপ্রভা ঘটা এবং এর স্থায়িত্বকাল দীর্ঘ হওয়ার কারণ হলো দুটি; যেমন এক্ষেত্রে প্রথমত উদ্দীপিত **ইলেকট্রনের spin এর পরিবর্তন** ঘটে; একে ইলেকট্রনের triplet excited state বলে; এ পরিবর্তনে কিছু সময় লাগে। দ্বিতীয়ত ঐ ইলেকট্রন এর মূল excited state ও ground state ছাড়াও মধ্যবর্তী বিভিন্ন শক্তিস্তরে ফিরে-ফিরে শক্তি (E) ও সময় ব্যয় করে। একে **inter system crossing** বলে। [এতে 10^{-4} sec to 10 sec লাগে]



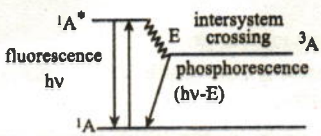


Fig : Jablonski diagram of an energy scheme used to explain fluorescence & phosphorescence

(৩) Triplet state-এ ইলেকট্রনের স্থায়িত্বকাল (life-time) বেশি হয় এবং ইলেকট্রনের original spin ফিরে না পাওয়া পর্যন্ত নিম্ন শক্তিস্তরে ফিরে আসে না। এছাড়া intersystem crossing কালে শক্তি (E) হারিয়ে দীর্ঘ সময় পর অণুপ্রভা বিকিরণ (hυ – E) অন্ধকারে উজ্জ্বল আলোরূপে (glow in the dark) দেখা দেয়। এ সময়ে ^1A অণুটি excited অবস্থায় ($^1A^*$) triplet state (^3A) এ relaxation time শেষে original spin সহকারে ground state-এ ফিরে আসে। প্রকৃতিতে এর উদাহরণ হলো জোনাকী (fire-flies); strontium aluminate emits green colour (UV excited).

* উৎস : Internet তথ্যভাণ্ডার থেকে এসব তথ্য সংগৃহীত হয়েছে।

অধিক জেনে নাও : **Energy saving Fluorescent light bulb তৈরিতে কীরূপে পারমাণবিক বর্ণালি, UV রশ্মি ও ফসফোর ব্যবহৃত হয়ে থাকে।**

ফ্লোরেসেন্ট লাইট বাল্বে দুটি মূল অংশ থাকে। যেমন– (১) অল্প মারকারি (Hg) বাষ্পসহ আর্গন (Ar) গ্যাসভর্তি একটি গ্লাসটিউব ও (২) একটি ইলেকট্রনিক ballast–এটি high voltage current সাপ্লাই করে। গ্লাসটিউবের ভেতরের গায়ে ফসফোর পদার্থের আবরণ এবং দু প্রান্তে দুটি ইলেকট্রোড যুক্ত থাকে। ক্যাথোড প্রান্তে যুক্ত ধাতব ফিলামেন্টে current প্রবাহের ফলে ইলেকট্রন প্রবাহ ঐ গ্যাস মিশ্রণে চলতে থাকে (Cathode Ray-Tube এর মতো)। উচ্চগতিশীল ইলেকট্রন মারকারি (Hg) পরমাণুকে আঘাত করলে Hg পরমাণুর ইলেকট্রন উদ্দীপিত হয়ে উচ্চ অরবিটালে স্থানান্তরিত হয়। পরক্ষণে ফোটনশক্তি বিকিরণ করে ঐ ইলেকট্রন Hg পরমাণুর ground state এ ফিরে আসে। তখন বিকিরিত ফোটন শক্তি পারমাণবিক রেখা বর্ণালি সৃষ্টি করে। ঐ বিকিরিত ফোটন শক্তির কিছু পরিমাণ আলোর দৃশ্যমান পরিসরে এবং অধিকাংশ ফোটন UV রশ্মির 254 nm ও 185 nm পরিসরে বিকিরিত হয়। ঐ UV রশ্মি গ্লাসটিউবে থাকা ফসফোর দ্বারা শোষিত এবং পরে দৃশ্যমান পরিসরে বিকিরিত হয়ে বাল্বে আলো সৃষ্টি করে। সাধারণ টাংস্টেন (W) ফিলামেন্ট incandescent বাল্বে মাত্র 5% বিদ্যুৎ শক্তি আলোতে পরিণত হয়। কিন্তু Flourescent light বাল্বে 20% বিদ্যুৎ শক্তি আলো সৃষ্টি করে। Energy bulb-এ triphosphor মিশ্রণ বিভিন্ন অনুপাতে ব্যবহৃত হয়। Triphosphor মিশ্রণে বিভিন্ন জটিল ধাতব অক্সাইড ও ল্যান্থানাইড আয়ন থাকে। যেমন, $Y_2O_3 : Eu^{3+}$ (red emitting), $CeMgAl_{11}O_{19} : Tb^{3+}$ (green) ও $BaMgAl_{10}O_{17} : Eu^{2+}$ (blue)।

২.৯ চিকিৎসাক্ষেত্রে IR-রশ্মির ব্যবহার

Uses of IR-rays in Medical Treatment

IR রশ্মি [$\lambda = 780$ nm–1.0×10^6 nm] : IR-রশ্মিকে মোটামুটিভাবে তিনটি শ্রেণিতে ভাগ করা হয়।

(১) near-IR : near-IR রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 780 nm – 2500 nm বা, 0.78 μm – 2.5 μm ধরা হয়। এটি দৃশ্যমান আলোর সীমা থেকে শুরু। অদৃশ্য আলোর এ অঞ্চলকে নিকটবর্তী অবলোহিত রশ্মি অঞ্চল বলে। সমগ্র IR-রশ্মির অঞ্চলের মধ্যে এ অঞ্চলের তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষাকৃত ছোটো হওয়ায় তাপশক্তি তুলনামূলকভাবে বেশি হয়। চিকিৎসাক্ষেত্রে near-IR ব্যবহৃত হয়।

(২) middle-IR : middle-IR রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 2500 nm – 25000 nm বা, 2.5 μm–25 μm ধরা হয়। অদৃশ্য আলোর এ অঞ্চলকে মধ্যবর্তী অবলোহিত রশ্মি অঞ্চল বলে। এ অঞ্চলের তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষাকৃত বড়ো হওয়ায় তাপশক্তি near–IR থেকে কম হয়। middle-IR অঞ্চল জৈবযৌগের কার্যকরীমূলক শনাক্তকরণে ব্যবহৃত হয়।

(৩) far-IR : far-IR রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 25000 nm – 1.0×10^6 nm বা, 25 μm–1.0 mm ধরা হয়। এ অঞ্চলকে দূরবর্তী অবলোহিত রশ্মি অঞ্চল বলে। এ অঞ্চলের রশ্মির তাপশক্তি middle-IR থেকে কম হয়।

Far-IR রশ্মি বা FIR এর রয়েছে স্নায়বিক রোগ-আরোগ্য করার অধিক ক্ষমতা। Far-IR ও near-IR এর মধ্যে পার্থক্য হলো Far-IR ত্বকে তাপীয় অনুভূতি জাগায়, near-IR ত্বকে তাপীয় অনুভূতি জাগাতে পারে না বরঞ্চ ত্বককে বেশি উত্তপ্ত করে। এটিও চিকিৎসাক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয়।

মানবদেহ ও IR-রশ্মির সম্পর্ক : মানবদেহে স্বাভাবিক বিপাক ক্রিয়া দ্বারা উৎপন্ন তাপের নির্দিষ্ট অংশ দেহ ত্বকের পৃষ্ঠদেশ থেকে IR-রশ্মিরূপে পরিবেশে বিকিরিত হয়। এ IR-রশ্মির বিকিরণ মাত্রা দেহে উৎপন্ন তাপশক্তির সমানুপাতিক। এক্ষেত্রে মানবদেহের বিকিরিত IR-রশ্মির পরিসর হলো 8 μm–12 μm বা, 8000 nm–12000 nm; যা **middle-IR এর মধ্যে।** দেহ অবলোহিত রশ্মি বা Body-IR রশ্মি নামে পরিচিত।

DAT-(18-19)

মেডিকেল IR-imaging বা IR-প্রতিচ্ছবিকে এ দেহ-IR এর পরিসরের Thermal-IR বলে। এটি মানবদেহের বিকিরিত IR-রশ্মি পরিমাপে ব্যবহৃত হয় এবং একে **মেডিকেল IR-থার্মোগ্রাফ** বলে। IR-থার্মোগ্রাফিক ক্যামেরায় ব্যবহৃত IR-ডিটেক্টর সেন্সর (sensor) দেহের বিকিরিত IR-রশ্মির পরিমাপক অতি সূক্ষ্ম শারীরবৃত্তীয় তাপীয় পরিবর্তনসহ দেহের প্রতিচ্ছবি বা ইমেজ (image) সৃষ্টি করে; একে **IR-থার্মোগ্রাফির উৎস** বলে।

IR-থার্মোগ্রাফের ব্যবহার : বিভিন্ন রোগে আক্রান্ত বিভিন্ন টিস্যু থেকে বিকিরিত IR-রশ্মির মাত্রা ভিন্ন হওয়ায় রোগীর IR-থার্মোগ্রাফটিও সুস্থদেহের টিস্যুর IR-থার্মোগ্রাফ থেকে ভিন্ন হয়, ফলে মেডিকেল IR-থার্মোগ্রাফ দ্বারা বিভিন্ন রোগ নির্ণয় সম্ভব হয়।

চিকিৎসাক্ষেত্রে near-IR ও far-IR : চিকিৎসাক্ষেত্রে অধিকতর তাপশক্তির ছোটো তরঙ্গদৈর্ঘ্যের near-IR রশ্মি এবং কম তাপশক্তির বড়ো তরঙ্গদৈর্ঘ্যের far-IR রশ্মির প্রয়োগে নিম্নোক্ত রোগ নির্ণয় ও রোগের চিকিৎসা করা হয়।

চিকিৎসাক্ষেত্রে near-IR রশ্মি :

(১) near-IR রশ্মি প্রয়োগ করে মস্তিষ্কের রক্তের হিমোগ্লোবিনে শোষিত অক্সিজেন কতটুকু আছে তা পরিমাপের মাধ্যমে মস্তিষ্কের রোগ নির্ণয় করা হয়। পরে DOT (diffuse optical tomography) পদ্ধতি ব্যবহার করে মাথার খুলির (cortex) কার্যপদ্ধতি নির্ণয় করা যায়। সদ্য প্রসূত শিশুর মস্তিষ্কের ক্ষত নির্ণয়ে সিটি স্ক্যানিং কাজে এটি একটি কার্যকর পদ্ধতি।

চিকিৎসাক্ষেত্রে Far–IR রশ্মি : Far– IR-রশ্মি দেহের ত্বক ভেদ করে 4 cm গভীরে যেতে পারে। দেহে আরামদায়ক উষ্ণতা দেয়। রক্তের শ্বেত-কণিকা ও রোগ প্রতিরোধক শক্তি বৃদ্ধিতে far-IR রশ্মি সহায়তা করে। বিপাক ক্রিয়ার বৃদ্ধির মাধ্যমে দেহকোষ ও টিস্যুর বৃদ্ধি ঘটে। মূলত ব্যথা-বেদনা উপশম ও স্নায়ু গঠন প্রক্রিয়ায় উদ্দীপক হিসেবে Far–IR-রশ্মি ব্যবহৃত হয়।

IR-রশ্মি দ্বারা চিকিৎসা পদ্ধতি নিম্নোক্ত দু কৌশলে করা হয়। যেমন Low emission পদ্ধতি ও High emission পদ্ধতি।

(১) Low emission পদ্ধতিতে far-IR রশ্মি ত্বকের নিচের টিস্যুকে মৃদু উত্তপ্ত করে। তখন ঐ স্থানে ধমনী ও শিরা প্রশস্ত হয়ে রক্ত সঞ্চালন বৃদ্ধি পায়; দেহকোষ ও মাংসপেশি স্বাভাবিক হয়, জয়েন্টের সচলতা বাড়ে; স্নায়ু-বিন্যাস স্বাভাবিক হয়ে ব্যথা-বেদনার উপশম ঘটে। ঘাড়ের মাংসপেশি শক্ত হওয়া বা frozen shoulder এর জনপ্রিয় চিকিৎসা পদ্ধতি হলো 'ফিজিওথেরাপি', এতে far-IR রশ্মি প্রয়োগ করে ম্যাসেজ করা হয়।

(২) LASER পদ্ধতি : লেসার পদ্ধতিতে অতি সূক্ষ্ম ও তীব্র IR রশ্মি দেয়া হয়; যা ত্বকের 4 cm গভীরে যেতে পারে। তখন IR-রশ্মি ত্বকের তাপমাত্রা বৃদ্ধির পরিবর্তে আক্রান্ত ও ক্ষতিগ্রস্ত স্থানে নতুন কোষ ও টিস্যুর বৃদ্ধিতে উদ্দীপনা জাগায়। আঘাত প্রাপ্ত ও ক্ষতিগ্রস্ত টিস্যুতে স্নায়ু-জালিকা পুনঃস্থাপনের উদ্দীপকরূপে কাজ করে।

* বেদনানাশক ওষুধ সংবেদজ স্নায়ু বা Sensory nerve এর প্রান্তকে অসাড় করে ফেলে; তাই বেদনা প্রশমনে IR-রশ্মি চিকিৎসা অধিকতর নিরাপদ গণ্য করা হয়। ['LASER' এর পূর্ণ নাম হলো Light Amplication by Stimulated Emission of Radiation.]

শিক্ষার্থীর কাজ-২.১৩ : IR-রশ্মি, UV-রশ্মি ও X-ray ভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.১২ : তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ শক্তির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ক্রম হ্রাসের সাথে মানুষের দেহের ওপর কীরূপ প্রভাব সৃষ্টি করে, তা IR-রশ্মি, UV-রশ্মি ও X-ray এর সাহায্যে ব্যাখ্যা করো।

প্রশ্ন-২.১৩ : চিকিৎসাক্ষেত্রে near IR-রশ্মি ও far IR-রশ্মির ভূমিকা আলোচনা করো।

প্রশ্ন-২.১৪ : দেহ IR-রশ্মি বলতে কী বুঝ? এর উৎস ব্যাখ্যা করো।

২.১৫ রোগ নির্ণয়ে MRI পরীক্ষার মূলনীতি

RMDAC

MAT-(15-16)

Principle of MRI-Test in Diagnosis of Diseases

MRI পরীক্ষার কার্যকারিতা : MRI বা ম্যাগনেটিক রেজোন্যান্স ইমেজিং (magnetic resonance imaging) হলো চিকিৎসাক্ষেত্রে রোগ নির্ণয়ের একটি অত্যাধুনিক বিশেষ কার্যকর পরীক্ষা পদ্ধতি। এ পদ্ধতিতে MRI মেসিনে শক্তিশালী চৌম্বক ক্ষেত্র (magnetic field) ও রেডিও-তরঙ্গদৈর্ঘ্যের শক্তির প্রভাবে ঐ মেসিনে থাকা মানবদেহের অসুস্থ কোষে NMR পরমাণু বা, Nuclear Magnetic Resonance সৃষ্টিকারী পরমাণুযুক্ত পানির ঘনমাত্রার ভিন্নতার ওপর নির্ভর করে পরীক্ষাধীন দেহাংশের অভ্যন্তরের বিভিন্ন তন্ত্র বা অর্গান (organ)-এর ত্রিমাত্রিক (3D) ডিজিটাল ছবি বের হয়ে আসে। এ ত্রিমাত্রিক ছবিকে **MRI বলে।** MRI মেসিনে ব্যবহৃত রেডিও তরঙ্গসমূহ (ফ্রিক্যুয়েন্সি, $\nu \approx 1 \times 10^4$ Hz) উচ্চ ফ্রিক্যুয়েন্সির A. C. current থেকে সৃষ্টি করা হয়। এসব MRI ডিজিটাল ছবি কম্পিউটারে সংরক্ষণ করা যায়। এক্ষেত্রে রোগাক্রান্ত তন্ত্রের ছবি সুস্থতন্ত্রের ছবি থেকে ভিন্ন হয়। নিচে সুস্থ মস্তিষ্ক ও টিউমার আক্রান্ত মস্তিষ্কের MRI image দেখানো হলো

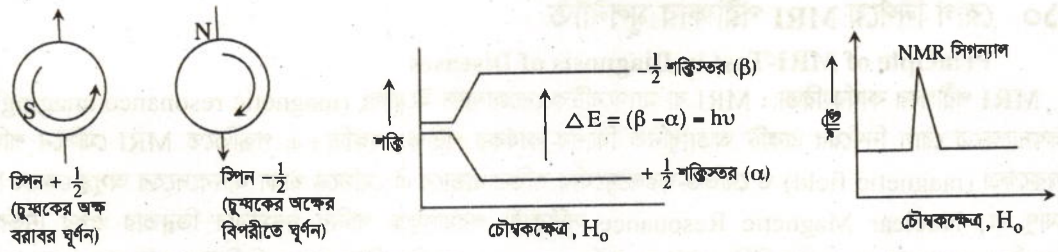
MRI এর ব্যবহার : মানবদেহের বিভিন্ন তন্ত্রের টিস্যুর অস্বাভাবিক বৃদ্ধিজনিত টিউমার, আঘাতজনিত অভ্যন্তরীণ রক্তক্ষরণ, রক্ত নালিকা সংক্রান্ত রোগ ও জীবাণু সংক্রমণজনিত সমস্যার ক্ষেত্রে MRI ব্যবহৃত হয়। **মস্তিষ্কের টিউমার ও কোমল টিস্যু যেমন হাঁটুর জয়েন্টে থাকা চারটি লিগামেন্টের কোনটি ছিঁড়ে গেলে তা (torn ligament) শনাক্তকরণে ও মেরুমজ্জায় টিউমার শনাক্তকরণে MRI অত্যন্ত কার্যকর।**

DAT-(19-20)

চিত্র-২.২১ : MRI মেসিন ও মস্তিষ্কের MRI ইমেজ।

MCQ-2.26 : মানব শরীর থেকে কোন্ রশ্মি বিকিরিত হয়?
(ক) near IR
(খ) middle IR
(গ) far IR
(ঘ) radiowave

MRI এর মূলনীতি : NMR পরমাণুর নিউক্লিয়াসের বিজোড় সংখ্যক প্রোটনের বা নিউট্রনের চুম্বকীয় অনুরণন বা ম্যাগনেটিক রেজোন্যান্সের ওপর ভিত্তি করে MRI পদ্ধতি প্রতিষ্ঠিত। বিজোড় সংখ্যক নিউট্রন বা প্রোটনযুক্ত NMR পরমাণুর যেমন ^{1}H, ^{13}C, ^{19}F এর নিউক্লিয়াসসমূহের দুর্বল ম্যাগনেটিক মোমেন্ট থাকে। আমাদের দেহের প্রায় 70% হলো পানি (H_2O)। পানি অণুর H পরমাণু (^{1}H) হলো বিজোড় প্রোটনযুক্ত MRI সৃষ্টিকারী NMR পরমাণু। প্রতিটি H পরমাণুর প্রোটনের স্পিনের $+\frac{1}{2}$ অথবা $-\frac{1}{2}$ মান থাকে। তাই বহিস্থ চুম্বকক্ষেত্রের (H_0) প্রভাবে H-পরমাণুর নিউক্লিয়াসগুলো দুটি শক্তিস্তর বিন্যস্ত হয়। এদের একটি স্তর বহিস্থ চৌম্বকক্ষেত্র বরাবর বিন্যস্ত থাকে। সেটি হলো কম শক্তিস্তর যুক্ত parallel-spin এর নিউক্লিয়াস (α স্তর)। অপরটি বহিস্থ চৌম্বকক্ষেত্রের বিপরীতে উচ্চশক্তিস্তর যুক্ত anti parallel spin-এর নিউক্লিয়াস (β–স্তর) রূপে থাকে। ধরা যাক, উভয় শক্তিস্তরের পার্থক্য $\Delta E = (\beta - \alpha) = h\nu$। এখন MRI পরীক্ষার নমুনা মানুষটির মস্তিষ্কের মধ্যদিয়ে ঐ উপযুক্ত শক্তির ($\Delta E = h\nu$) তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ (যা রেডিও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিকিরণ r_f এর মধ্যে থাকে তা) প্রবাহিত করলে, তখন নিম্নশক্তিস্তরে থাকা H পরমাণুর নিউক্লিয়াসসমূহ শক্তি শোষণ করে উচ্চশক্তিস্তরে (β–স্তরে) অ্যান্টিপ্যারালাল স্পিনযুক্ত অবস্থা লাভ করে। ঐ রেডিও তরঙ্গ প্রবাহ বন্ধ করার সাথে ঐ শোষিত শক্তি বিকিরণ করে ঐ প্রোটনসমূহ পুনরায় নিম্নশক্তির প্যারালাল স্পিনযুক্ত হয়। এরূপে প্রোটনসমূহ r_f থেকে শক্তি শোষণ এবং পরক্ষণে r_f বন্ধ হলে শক্তি বিকিরণ করে থাকে। তখন প্রোটনসমূহ দোদুল্যমান (oscillate) থাকা অবস্থায় অনুরণন বা রেজোন্যান্স (resonance) এর একটি সিগন্যাল সৃষ্টি করে। অসুস্থ কোষ থেকে একাধিক ভিন্ন সিগন্যাল কম্পিউটারে পাওয়া যায়। [ব্যবহৃত চৌম্বকক্ষেত্র, Ho = 0.5 থেকে 3.0 টেসলা (Tesla, $NA^{-1}m^{-1}$, নিউটন প্রতি অ্যাম্পিয়ার প্রতি মিটার) হয়ে থাকে।]



চিত্র-২.২২ : নিউক্লিয়ার ম্যাগনেটিক রেজোন্যান্স NMR সিগন্যাল থেকে MRI সৃষ্টি।

MRI ছবির মানের নির্ভরতা : MRI-পরমাণু দ্বারা r_f ($\nu = 1 \times 10^4$ Hz) শক্তি শোষণ এবং r_f বন্ধের পর ঐ শক্তি বিকিরণের এ মধ্যবর্তী সময়কে অনুরণন সৃষ্টিকারী প্রোটনের স্বস্তিকাল, T_r (relaxation time) বলা হয়। MR-Image এর মান নির্ভর করে- (i) রেজোন্যান্স সৃষ্টিকারী নিউক্লিয়াসের স্বস্তিকাল (T_r) এবং (ii) রেজোন্যান্স সৃষ্টিকারী নিউক্লিয়াসের ঘনমাত্রার ওপর। যেহেতু ক্ষতিগ্রস্ত বা রোগাক্রান্ত টিস্যুতে পানির পরিমাণ বেড়ে যায়; তখন পার্শ্ববর্তী সুস্থ টিস্যুর চেয়ে ঐ অসুস্থ অংশে রেডিও ফ্রিক্যুয়েন্সি শোষণ তীব্রতাও বেশি ঘটে। এরূপ মস্তিষ্ক কোষের অসংখ্য H_2O অণুর নিউক্লিয়াস থেকে যে NMR সিগন্যাল পাওয়া যায়; এদেরকে কম্পিউটারে প্রসেস করলে মানুষের মস্তিষ্কের MRI বা ম্যাগনেটিক রেজোন্যান্স ইমেজ পাওয়া যায়। প্রাপ্ত ইমেজকে স্বাভাবিক ইমেজের সাথে তুলনা করে কোষের ধ্বংস বা পরিবর্তন থেকে রোগ শনাক্ত করা হয়। এ MRI পদ্ধতি উদ্ভাবনের জন্য 2003 সালে Paul C. Lauterbur ও Peter Mansfield চিকিৎসাবিজ্ঞানে নোবেল পুরস্কার পান।

MAT-(09-10)

সতর্কতা : MRI মেশিনে শক্তিশালী চুম্বক থাকে; তাই Heart pacemaker বা কৃত্রিম হৃদস্পন্দন যন্ত্র ব্যবহারকারী রোগীর ক্ষেত্রে MRI করা যাবে না। এছাড়া শ্রবণ সাহায্যকারী ধাতব যন্ত্র ও যেকোনো ধাতব পদার্থ খুলে MRI করতে হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.১৪ : MRI ভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.১৫ : MRI বলতে কী বোঝায়? MRI কীরূপে তৈরি হয়?

প্রশ্ন-২.১৬ : MRI ছবির ব্যবহার আলোচনা করো।

প্রশ্ন-২.১৭ : MRI এর মূলনীতি সংক্ষেপে লেখ।

(ক) MRI এর বেলায় r_f এর ফ্রিক্যুয়েন্সির মান কত?

(খ) MRI এর বেলায় স্বস্তিকাল (Tr) বলতে কী বোঝায়?

অধিক জেনে নাও : মানবদেহের অভ্যন্তরে থাকা বিভিন্ন তন্ত্রের বিশেষত কোমল টিস্যুর ত্রিমাত্রিক ডিজিটাল ছবি তোলার জন্য MRI এর মতো CT (computed tomography) scanning পদ্ধতি চিকিৎসাক্ষেত্রে রোগ নির্ণয়ে ব্যবহৃত হয়। **MRI ও CT scan এর মধ্যে পদ্ধতিগত পার্থক্য হলো :** (১) MRI এর বেলায় মেশিনে শক্তিশালী চৌম্বকক্ষেত্র ও রেডিও তরঙ্গ শক্তি ব্যবহৃত হয়। অপরদিকে, CT scan মেসিনে X-ray শক্তি ব্যবহৃত হয়। এক্ষেত্রে দেহের চারদিক থেকে different angle করে দেহ অভ্যন্তরের স্তরভিত্তিক series of X-ray images কম্পিউটারে রেকর্ড হয়। (২) রোগীর ক্ষতিগ্রস্ত টিস্যুর সঠিক শনাক্তকরণে ক্ষেত্রবিশেষ MRI ও CT scan এর মধ্যে কোনটি অধিক কার্যকর হবে তা চিকিৎসকই ঠিক করেন। (৩) হাঁটুর torn ligament শনাক্তকরণে MRI পদ্ধতিই উত্তম; কারণ এক্ষেত্রে bone ও ligament এর ছবি সুস্পষ্ট দেখায়। (৪) উল্লেখ্য MRI এর চেয়ে CT scan এর আর্থিক খরচ কম।

২.১১ শিখা পরীক্ষা দ্বারা ধাতব আয়ন শনাক্তকরণ

Metal Ion Detection by Flame Test

অনুচ্ছেদ-২.৬ এ তোমরা রেখা বর্ণালি দেখে মৌল শনাক্তকরণ সম্বন্ধে জেনেছো। এখন আমরা দেখবো, কিছু কিছু ধাতব যৌগ বুনসেন বার্নারের অনুজ্জ্বল শিখায় বৈশিষ্ট্যপূর্ণ বর্ণ সৃষ্টি করে; যা দেখে ঐ ধাতব আয়ন শনাক্ত করা যায়। বিশেষত ধাতব লবণসমূহের মধ্যে ধাতব ক্লোরাইড অধিক উদ্বায়ী।

NMR পরমাণুর বৈশিষ্ট্য হলো :

(i) বিজোড় সংখ্যক প্রোটন বা নিউট্রনযুক্ত নিউক্লিয়াস থাকে।

(ii) NMR পরমাণুর নিউক্লিয়াসে দুর্বল ম্যাগনেটিক মোমেন্ট থাকে।

(iii) প্রবল চৌম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে থাকা NMR পরমাণু যুক্ত যৌগ থেকে রেডিও ফ্রিক্যুয়েন্সির প্রভাবে অনুরণন সিগন্যাল কম্পিউটারে সৃষ্টি হয়।

ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণিশিক্ষকের সহায়তায় ৪ জনের গ্রুপ করো। ল্যাবরেটরিতে উপরোক্ত পরীক্ষার পদ্ধতির বর্ণনা মতে Na_2SO_4, KCl, $CuCO_3$, $CaCl_2$ ইত্যাদি লবণসহকারে শিখা পরীক্ষা করো। প্রাপ্ত ফলাফল তোমার 'কর্মপত্র' বা প্রেকটিক্যাল খাতায়, সারণি ২.৫ এর ছক মতে তারিখসহ রেকর্ড করে শিক্ষকের দস্তখত নাও। তোমাদের ৪ জনের এই গ্রুপ পরবর্তী সব পরীক্ষা সম্মিলিতভাবে করবে।

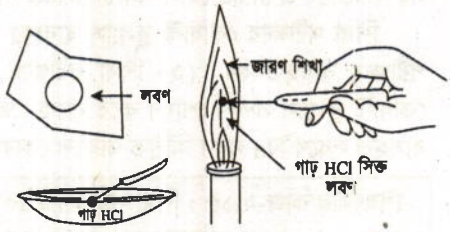
পরীক্ষা নং-১

তারিখ : ....

পরীক্ষার সময় : ১ পিরিয়ড

পরীক্ষার নাম : শিখা পরীক্ষা দ্বারা ধাতব আয়ন শনাক্তকরণ

মূলনীতি : ধাতব লবণসমূহের মধ্যে ধাতব ক্লোরাইড অধিক উদ্বায়ী। তাই ধাতব লবণকে গাঢ় HCl এসিডে সিক্ত করে বুনসেন বার্নারের অনুজ্জ্বল শিখায় উত্তপ্ত করলে প্রথমে উদ্বায়ী ধাতব ক্লোরাইডে পরিণত হয়। পরে বাষ্পীভূত অবস্থায় ধাতব ক্যাটায়ন নিকটস্থ অ্যানায়ন থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিচ্ছিন্ন ধাতব পরমাণুতে পরিণত হয়। পরে ধাতব পরমাণু শিখা থেকে প্রয়োজনীয় তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো শোষণ করে উদ্দীপিত হয়। পরমাণুর উদ্দীপিত অবস্থা অস্থায়ী হওয়ায় পর মুহূর্তে ঐ শোষিত শক্তি বিকিরিত হয়ে শিখায় বিশেষ বর্ণের আলো সৃষ্টি করে পূর্বাবস্থায় পরমাণুটি ফিরে আসে। এভাবে $CaCO_3$ লবণ শিখা পরীক্ষায় নিম্নরূপ পরিবর্তনসহ শিখায় ইটের মতো লাল বর্ণালি সৃষ্টি করে।



চিত্র-২.২৩ : শিখা পরীক্ষায় ধাতব আয়ন শনাক্তকরণ

$$CaCO_3(s) + 2HCl(l) \longrightarrow CaCl_2(s) + CO_2(g) + H_2O(g)$$

$$CaCl_2(s) \xrightarrow{\Delta\ (\text{তাপ})} Ca^{2+}(g) + 2Cl^-(g)$$

$$Ca^{2+}(g) + 2\bar{e} \longrightarrow Ca(g)$$

$$Ca(g) + nh\nu \xrightarrow{\text{শক্তি শোষণ}} Ca^*(g)\ (\text{অস্থায়ী উদ্দীপিত অবস্থা})$$

$$Ca^*(g) \xrightarrow{(\text{শক্তি বিকিরণ})} Ca(g) + nh\nu\ (\text{শিখায় ইটের মতো লাল বর্ণ সৃষ্টি})$$

MCQ-2.27 : জাল টাকা শনাক্তকরণে কোন্ তড়িৎ চুম্বকীয় রশ্মি ব্যবহৃত হয়?
(ক) IR (খ) Radiowave
(গ) UV (ঘ) Vis-ray

প্রয়োজনীয় রাসায়নিক বস্তু : (১) পরীক্ষণীয় লবণ যেমন NaCl, KCl, $CaCO_3$, $CuCO_3$ ইত্যাদি।
(২) গাঢ় HCl।

প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) কাচের ওয়াচ গ্লাস (Watch glass),
(২) প্লাটিনাম তার অথবা দেয়াশলাই কাঠি,
(৩) বুনসেন বার্নার অথবা স্পিরিট ল্যাম্প।

MCQ-2.28 : শিখা পরীক্ষায় কোন্ ধাতব মৌল সোনালী হলুদ শিখা দেয়?
(ক) কপার (খ) ক্যালসিয়াম
(গ) সোডিয়াম (ঘ) পটাসিয়াম

পরীক্ষা পদ্ধতি : নিচের সারণি মতে ধাতব আয়ন বা ক্যাটায়নের জন্য শিখা পরীক্ষা করা হয় :

শিখা পরীক্ষা (Flame Test) : সারণি-২.৫ : ধাতব আয়নের সৃষ্ট বৈশিষ্ট্যপূর্ণ বর্ণের শিখা

পরীক্ষা	খালি চোখে নিরীক্ষা	কোবাল্ট ব্লু-গ্লাস দিয়ে নিরীক্ষা	সিদ্ধান্ত
একটি ওয়াচ গ্লাসে গাঢ় HCl এসিড নিয়ে ঐ এসিডে একটি বিশুদ্ধ প্লাটিনাম তারের অগ্রভাগ অথবা দেয়াশলাই কাঠির কাঠের অংশ ডুবিয়ে এবং পরে এর মাথায় করে গাঢ় HCl সিক্ত একটু লবণকে অনুজ্জ্বল শিখার কিনারায় ধরা হয়। এবার শিখার বর্ণ দেখা হয়।	১। হাল্কা বেগুনি শিখা দেখা যায়। (pale violet) ২। নীলাভ সবুজ শিখা দেখা যায়। (bluish green) ৩। সোনালী হলুদ শিখা দেখা যায়। (golden yellow) ৪। ইটের মতো লাল শিখা দেখা যায়। (brick red)	১। গোলাপি লাল শিখা (Pink colour) ২। বিশেষ কোনো বর্ণ নেই। (No special colour) ৩। বিশেষ কোনো বর্ণ নেই। (No special colour) ৪। হালকা সবুজ শিখা (light green)	১। K^+ আয়ন M/AT-(23-24) ২। Cu^{2+} আয়ন DAT-(19-20) ৩। Na^+ আয়ন MAT-(19-20) ৪। Ca^{2+} আয়ন DAT-(18-19)

বিশেষ দ্রষ্টব্য : K, Cu, Na, Ca দ্বারা শিখায় সৃষ্ট বিভিন্ন বর্ণ এ বইয়ের মলাটের পেছনের পৃষ্ঠায় দেখো এবং শিখায় ঐ সব বর্ণ দেখে এ চারটি মৌল শনাক্ত করতে পারবে।

শিখা পরীক্ষায় কোবাল্ট ব্লু-গ্লাস ব্যবহার সুবিধা : (১) কোবাল্ট ব্লু-গ্লাস 'আলো-ছাকনি' বা Optical filter রূপে শিখা পরীক্ষায় ব্যবহৃত হয়। (২) শিখা পরীক্ষায় সোডিয়াম লবণ (NaCl) দ্বারা সৃষ্ট সোনালী হলুদ বর্ণ (yellow colour) কোবাল্ট ব্লু-গ্লাস সম্পূর্ণ শোষণ করে থাকে। তখন বেগুনি ও নীল (violet ও blue) বর্ণ দেখতে সুবিধা হয়। (৩) বিশেষত ব্যবহৃত লবণে Na লবণ মিশ্রিত থাকলে কোবাল্ট ব্লু-গ্লাসের ব্যবহার খুব সুবিধাজনক হয়। MAT-(24-25)

শিক্ষার্থীর কাজ-২.১৫ : শিখা পরীক্ষাভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.১৮: শিখা পরীক্ষায় Na_2CO_3 লবণটি বুনসেন শিখায় কীরূপ বর্ণ সৃষ্টি করে তা বিক্রিয়াসহ বর্ণালি সৃষ্টি ব্যাখ্যা করো।

প্রশ্ন-২.১৯(ক) : শিখা পরীক্ষায় $CaCl_2$ লবণ বুনসেন শিখায় কীরূপ বর্ণ সৃষ্টি করে তা বিক্রিয়াসহ লেখ।

(খ) শিখা পরীক্ষায় গাঢ় HCl ব্যবহার করা হয় কেন ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০১৭, ২০১৯; চ. বো. ২০১৬; সি. বো. ২০১৭; ব. বো. ২০১৯]

২.১২ আয়নিক যৌগের দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতা গুণফল

Solubility & Solubility Product of Ionic compounds

আয়নিক যৌগ পানিতে দ্রবীভূত হয়। তবে পানিতে বিভিন্ন আয়নিক যৌগের দ্রবণীয়তা বিভিন্ন পরিমাণে হয়। তাই নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় পানিতে বিভিন্ন আয়নিক যৌগের দ্রবণীয়তা তুলনা করার জন্য 'দ্রাব্যতা' বা Solubility 'পদ' ব্যবহৃত হয়।

নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় **'নির্দিষ্ট পরিমাণ কোনো তরলে'** যে পরিমাণ কঠিন দ্রব দ্রবীভূত হয়ে সম্পৃক্ত দ্রবণ তৈরি করে, দ্রবের সে পরিমাণকে ঐ দ্রবের দ্রাব্যতা বলে। বিভিন্ন পদ্ধতিতে দ্রাব্যতা প্রকাশ করা হয়। যেমন, গ্রাম/লিটার দ্রবণ, মোল/লিটার দ্রবণ, গ্রাম/কি. গ্রাম দ্রাবক ইত্যাদি। [Ref : A-Level Chemistry–E.N. Ramsdon; page-197]

দ্রাব্যতার আধুনিক সংজ্ঞা : আয়নিক যৌগের দ্রাব্যতা বলতে 25°C-এ ঐ যৌগের পানিতে প্রতি লিটার সম্পৃক্ত দ্রবণে গ্রাম পরিমাণ অথবা মোল পরিমাণকে বোঝানো হয়। যেমন 25°C-এ সিলভার ক্লোরাইডের দ্রাব্যতা প্রতি লিটার জলীয় দ্রবণে 0.0015 গ্রাম। আবার AgCl এর গ্রাম আণবিক ভর (108 + 35.5) = 143.5 গ্রাম। সুতরাং মোল এককে AgCl এর দ্রাব্যতা, S = (0.0015 ÷ 143.5) মোল/লিটার বা 1.05×10^{-5} $molL^{-1}$ ধরা হয়।

$$\text{যৌগের দ্রাব্যতা (g/L), } S = \frac{\text{দ্রবের ভর গ্রাম এককে}}{\text{লিটারে সম্পৃক্ত দ্রবণের আয়তন}};$$

$$\text{যৌগের দ্রাব্যতা (mol/L), } S = \frac{\text{দ্রবের ভর মোল এককে}}{\text{লিটারে সম্পৃক্ত দ্রবণের আয়তন}};$$

দ্রষ্টব্য : '100 g দ্রাবকে দ্রবের সম্পৃক্ত দ্রবণ তৈরিতে ব্যবহৃত দ্রবের গ্রাম পরিমাণই দ্রবের দ্রাব্যতা'—এরূপ এককের পরিবর্তে ব র্তমানে mol/L দ্রবণ অধিক ব্যবহৃত হয়। দ্রাব্যতার গুণফল থেকে তা সুস্পষ্ট হবে।

আবার আয়নিক যৌগ যেমন অজৈব লবণের ক্ষারকীয় মূলক বা ক্যাটায়নের বিশ্লেষণের বেলায় লবণের আয়নদ্বয়ের দ্রাব্যতা গুণ ফল নামক পদ ব্যবহৃত হয়।

দ্রাব্যত র নির্ভরশীলতা : আয়নিক যৌগ (কঠিন পদার্থ)-এর দ্রাব্যতা নিম্নোক্ত তিনটি বিষয়ের ওপর নির্ভর করে।

(ক) দ্র বের প্রকৃতি, (খ) দ্রাবকের প্রকৃতি ও (গ) তাপমাত্রা।

(ক) দ্র বের প্রকৃতি : একই দ্রাবকে একই তাপমাত্রায় ভিন্ন ভিন্ন কঠিন দ্রবের দ্রাব্যতা ভিন্ন ভিন্ন হয়। এটি দ্রবের কেলাস গঠনের ওপ র নির্ভর করে যেমন– 1000 mL বা 1L পানিতে 30°C তাপমাত্রায় KI, $Pb(NO_3)_2$, Na_2SO_4, KNO_3, NaCl এর দ্রাব্যতা হলো যথাক্রমে 1500 g, 620 g, 500 g, 450 g, 363 g।

(খ) দ্র াবকের প্রকৃতি : 'Like dissolves like'–এ নিয়ম মতে পোলার দ্রাবক (আংশিক ধনাত্মক ও ঋণাত্মক চার্জযুক্ত) প নিতে আয়নিক যৌগ দ্রবীভূত হয়। সমযোজী কঠিন যৌগসমূহ জৈব দ্রাবক তরল হাইড্রোকার্বন, অ্যালকোহল, অ্যাসিটোন ইত্যাদিতে অধিক দ্রবণীয়। উল্লেখ্য সমযোজী যৌগ অণু পানি অণুর সাথে H-বন্ধন করার মাধ্যমে দ্রবীভূত হয়। যেমন, গ্লুকো জ ($C_6H_{12}O_6$), চিনি ($C_{12}H_{22}O_{11}$) ইত্যাদি। কিন্তু আংশিক পোলার অ্যালকোহলে বা অপোলার দ্রাবকে আয়নিক যৌ গের দ্রাব্যতা উল্লেখযোগ্য পরিমাণে হ্রাস পায়। যেমন ইথানলে NaOH পিলেটের দ্রাব্যতার চেয়ে পানিতে NaOH এর দ্রাব্যতা অনেক বেশি হয়।

(গ) আ য়নিক যৌগের দ্রাব্যতার ওপর তাপমাত্রার প্রভাব : কঠিন দ্রবের দ্রাব্যতার ওপর তাপমাত্রার বিশেষ প্রভাব রয়েছে। সা ধারণভাবে দ্রাবকের তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে দ্রবের দ্রাব্যতা বৃদ্ধি পায়। এর কারণ অধিক তাপমাত্রায় দ্রাবক অণুর গতি বৃদ্ধি প ায়; ফলে অধিক দ্রব পানিতে দ্রবীভূত হতে পারে। উল্লেখ্য দ্রব পানিতে দ্রবীভূত হওয়ার সময় এর কঠিন কেলাস কণা থেকে ধ নাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নগুলো পানিতে পৃথক হয়ে পড়ে এবং সম্পৃক্ত দ্রবণে দ্রবের দ্রাব্যতা সীমায় নিম্নরূপে সাম্যাবস্থায় থ াকে। ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়ন পৃথকভাবে পানি অণু [H_2O, (aq), aqua] দ্বারা আবদ্ধ থাকে তা নিম্নরূপে বোঝানো হয় । যেমন,

$$\text{দ্রব} + \text{দ্রাবক (পানি)} \rightleftharpoons \text{দ্রবণ}, \Delta H_{\text{দ্রবণ}} = \pm x \text{ kJ mol}^{-1}$$

$$KCl(s) + aq \rightleftharpoons KCl(aq) \rightleftharpoons K^+(aq) + Cl^-(aq), \ \Delta H_{\text{দ্রবণ}} = \pm x \text{ kJ mol}^{-1}$$

উল্লেখ্য দ্রবের কেলাস কণার ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নগুলো যে তাপশক্তি **শোষণ করে** কেলাস ল্যাটিস (জালিকা) থেকে **মুক্ত হ য়**; তাকে ল্যাটিস-ভাঙ্গার শক্তি বা, **ল্যাটিস এনথালপি** বলে। আবার এক মোল কেলাস থেকে পৃথক হওয়া উভয় প্রকার আয়ন গুলো মোল অনুপাতে পানি-যোজিত হওয়ার কালে যে তাপশক্তি নির্গত হয়, তাকে **আয়নের হাইড্রেশন-শক্তি** বলে। হাইড্রে শন-শক্তির মান কেলাসের ল্যাটিস-ভাঙার শক্তির চেয়ে বেশি হলে তবে ঐ আয়নিক যৌগ কক্ষতাপমাত্রায় পানিতে দ্রবী ভূত হয়। সুতরাং কক্ষতাপমাত্রায় পানিতে আয়নিক যৌগের দ্রবণ প্রক্রিয়া যৌগের কেলাসের ওপর নির্ভর করে তাপশোষী (ΔH = + ve) অথবা তাপোৎপাদী (ΔH = – ve) এ দু'প্রক্রিয়ায় ঘটে। [অনুচ্ছেদ-২.১২.২ দেখো]

* **১ম প্র ক্রিয়া বা তাপশোষী প্রক্রিয়ায়**, দ্রবণ তাপ, $\Delta H_{\text{দ্রবণ}} = + x \text{ kJ mol}^{-1}$ হয়, অর্থাৎ $\Delta H_{\text{দ্রবণ}} > 0$ (ধনাত্মক) হয়। সুতরাং তাপশোষী প্রক্রিয়ায় তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে আয়নিক যৌগের দ্রাব্যতা বৃদ্ধি পায়; এটি লা-শাতেলিয়ারের নীতি অনুসরণ করে; অর্থাৎ তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে দ্রবণ প্রক্রিয়ার সাম্যাবস্থা সম্মুখ দিকে অগ্রসর হয় অর্থাৎ দ্রাব্যতা বৃদ্ধি পায়। যেমন--

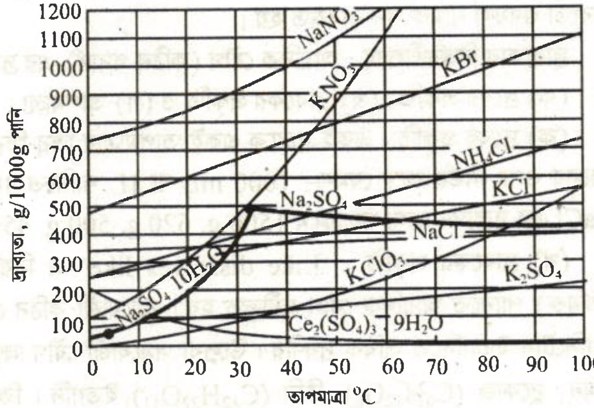
(i) $NaNO_3$, KNO_3, KCl, KI, $AgNO_3$, $Pb(NO_3)_2$, NH_4Cl ইত্যাদি।

তাপশো ষী প্রক্রিয়ার বিভিন্ন অজৈব লবণের ক্ষেত্রে তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে লবণের দ্রাব্যতা বৃদ্ধি পায়; তবে কিছু ব্যতিক্রম কোনো কো না লবণের কেলাস গঠনের ভিন্নতায় দেখা যায়। লবণের দ্রাব্যতার ক্ষেত্রে **কেলাসের ল্যাটিস এনথালপি ও আয়নদ্বয়ের হ াইড্রেশন এনথালপি-এ দুয়ের তাপীয় মান বিশেষ ভূমিকা রাখে।**

(i) ক্ষার ধাতুর নাইট্রেট লবণ যেমন KNO_3 ও $NaNO_3$ এর দ্রাব্যতা তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে ক্রমান্বয়ে বৃদ্ধি পায়; তবে KNO_3 এর দ্রাব্যতা $NaNO_3$ থেকে বেশি।

(ii) ক্ষার ধাতুর ক্লোরাইড লবণসমূহের দ্রাব্যতার ওপর তাপমাত্রার প্রভাব তুলনামূলকভাবে কম; যেমন NaCl এর দ্রাব্যতা তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে স্বল্প পরিমাণে হ্রাস পায়। তবে KCl এর দ্রাব্যতা তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে স্বল্প পরিমাণে বৃদ্ধি পায়।

(iii) ক্ষার ধাতুর সোদক কেলাসাকার সালফেট লবণের দ্রাব্যতার ওপর তাপমাত্রার প্রভাব বিশেষ ভূমিকা রাখে। এক্ষেত্রে প্রথমে তাপশোষী প্রক্রিয়া এবং পরে তাপোৎপাদী প্রক্রিয়া কার্যকর হয়। যেমন, সোদক সোডিয়াম সালফেট লবণের কেলাস বা, সোডিয়াম সালফেট ডেকাহাইড্রেট কেলাস বা, গ্লোবার লবণ-এর দ্রাব্যতার ওপর তাপমাত্রার ব্যতিক্রমধর্মী প্রভাব রয়েছে।



চিত্র ২.২৪ : দ্রাব্যতা লেখচিত্র (বিভিন্ন লবণের)

গ্লোবার লবণ (Glauber's salt) $Na_2SO_4.10H_2O$ এর সোদক কেলাসের ক্ষেত্রে তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে তাপশোষী প্রক্রিয়ায় প্রথমে এর দ্রাব্যতার বৃদ্ধি ঘটে; কিন্তু 32.4°C তাপমাত্রার পর তা নিরুদিত Na_2SO_4 এ পরিণত হয়। তখন নিরুদিত অবস্থায় তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে তাপোৎপাদী প্রক্রিয়ার মতো Na_2SO_4 এর দ্রাব্যতা ধীরে ধীরে হ্রাস পায়। সোদক কেলাস থেকে নিরুদিত কেলাসে রূপান্তরের কারণে দ্রাব্যতার এরূপ ব্যতিক্রমধর্মী পরিবর্তন ঘটে থাকে। যে তাপমাত্রায় কোনো সোদক কেলাস থেকে নিরুদিত কেলাসে রূপান্তরের কারণে দ্রাব্যতার এরূপ হঠাৎ হ্রাসসহ ব্যতিক্রমী প্রভাব পড়ে, তাকে নিরুদিত কেলাসের পরিবৃত্ত তাপমাত্রা বলে। Na_2SO_4 এর পরিবৃত্ত তাপমাত্রা হলো 32.4°। উল্লেখ্য 32.4°C-এ গ্লোবার লবণ ($Na_2SO_4.10H_2O$) এর সর্বোচ্চ দ্রাব্যতা 497g/L পানি হয় বা 49.7 g/100 g পানি হয়। এরপর নিরুদিত লবণ Na_2SO_4 এর দ্রাব্যতা হ্রাস পায়। গ্লোবার লবণের দশ অণু কেলাস পানি ($10\ H_2O$) এর বন্ধনমুক্ত হওয়ায় অনার্দ্র কেলাসের আচরণ ভিন্ন হয়েছে।

*** ২য় প্রক্রিয়া বা তাপোৎপাদী প্রক্রিয়ায়**, দ্রবণ তাপ, $\Delta H_{দ্রবণ} = -x\ kJ\ mol^{-1}$ হয়, অর্থাৎ $\Delta H_{দ্রবণ} < 0$ (ঋণাত্মক) হয়। সুতরাং তাপোৎপাদী প্রক্রিয়ায় তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে আয়নিক যৌগের দ্রাব্যতা হ্রাস পায়; এটি লা-শাতেলিয়ারের নীতিকে অনুসরণ করে। এরূপ যৌগ হলো Li_2SO_4, Na_2SO_4, $Ca(NO_3)_2$, $Ca(OH)_2$, NaOH ইত্যাদি। [**দ্রষ্টব্য :** ২.১২.২ অনুচ্ছেদ : আয়নিক যৌগের পানিতে দ্রবণীয়তা]

**** জেনে নাও :** 25°C তাপমাত্রায় NaCl এর দ্রাব্যতা $4.558\ molL^{-1}$ বলতে কী বোঝায়, তা ব্যাখ্যা করো।

সমাধান : 25°C তাপমাত্রায় NaCl এর দ্রাব্যতা $4.558\ molL^{-1}$ বলতে বোঝা যায় যে, 25°C তাপমাত্রায় প্রতি লিটার দ্রবণে 4.558 mol NaCl বা, $4.558 \times 58.5\ g = 266.643\ g$ NaCl দ্রবীভূত হয়ে সম্পৃক্ত দ্রবণ তৈরি করে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৮৬ : 30°C তাপমাত্রায় প্রস্তুত NaCl এর 200 mL সম্পৃক্ত দ্রবণকে সূর্যের তাপে বাষ্পীভূত করে 52.95 g NaCl পাওয়া গেল। ঐ তাপমাত্রায় প্রতি লিটার সম্পৃক্ত দ্রবণে NaCl এর দ্রাব্যতা কত?

দক্ষতা : দ্রাব্যতার আধুনিক সংজ্ঞা মোল এককে ব্যবহৃত হবে।

দ্রবের দ্রাব্যতা $(molL^{-1})$, $S = \dfrac{\text{দ্রবের মোল এককে ভর}}{\text{লিটারে সম্পৃক্ত দ্রবণের আয়তন}}$

$\therefore$ NaCl এর দ্রাব্যতা, $S = \dfrac{0.905 \text{ mol}}{0.200 \text{ L}}$

বা, $S = 4.525 \text{ molL}^{-1}$

$\therefore$ 30°C তাপমাত্রায় NaCl এর দ্রাব্যতা হলো 4.525 mol L^{-1}

দেয়া আছে,

সম্পৃক্ত দ্রবণ = 200 mL

NaCl এর ভর = 52.95 g

NaCl এর মোল সংখ্যা $= \dfrac{52.95 \text{ g}}{(23+35.5) \text{ g}}$

$= \dfrac{52.95 \text{ g}}{58.5 \text{ g}} = 0.905$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪৯ : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় 750 mL সম্পৃক্ত দ্রবণে 200 g NaCl দ্রবীভূত আছে। গ্রাম এককে ও মোল এককে প্রতি লিটার সম্পৃক্ত দ্রবণে NaCl এর দ্রাব্যতা গণনা করো।

দক্ষতা : দ্রাব্যতার আধুনিক সংজ্ঞা গ্রাম এককে ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : দ্রবের দ্রাব্যতা (g/L), $S = \dfrac{\text{দ্রবের ভর গ্রাম এককে}}{\text{লিটারে সম্পৃক্ত দ্রবণের আয়তন}}$

প্রশ্নমতে সম্পৃক্ত দ্রবণের আয়তন = 750 mL = 0.750 L; দ্রবের ভর = 200 g

$\therefore$ দ্রাব্যতা, $S = \dfrac{200 \text{ g}}{0.75 \text{ L}} = 266.67 \text{ g L}^{-1}$

আবার NaCl এর গ্রাম আণবিক ভর বা ১ মোল $= (23 + 35.5) \text{ g mol}^{-1} = 58.5 \text{ g mol}^{-1}$।

সুতরাং NaCl এর মোল এককে দ্রাব্যতা $= \dfrac{266.67 \text{ g L}^{-1}}{58.5 \text{ g mol}^{-1}} = 4.558 \text{ mol L}^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫০ : পানিতে একটি লবণের দ্রাব্যতা 25°C ও 45°C তাপমাত্রায় যথাক্রমে 280 gL^{-1} এবং 370 gL^{-1} হলে 250 g সম্পৃক্ত দ্রবণকে উচ্চতাপমাত্রা হতে নিম্নতাপমাত্রায় শীতল করলে কত গ্রাম লবণ কেলাসিত হবে?

[য. বো. ২০১৭]

দক্ষতা : দ্রাব্যতার আধুনিক সংজ্ঞা মতে, প্রতি লিটার সম্পৃক্ত দ্রবণে দ্রবের গ্রাম পরিমাণ ভর গণনা করা হবে।

সমাধান : দ্রাব্যতার সংজ্ঞা মতে, লবণের দ্রাব্যতা (g/L), $S = \dfrac{\text{দ্রবের ভর (g)}}{\text{লিটারে সম্পৃক্ত দ্রবণের আয়তন (L)}}$

প্রাপ্ত দ্রবণের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1.0 ধরে 250 g দ্রবণের আয়তন 250 mL বা, 0.25 L হয়।

$\therefore$ 45°C-এ লবণটির দ্রাব্যতা, $S_2 = \dfrac{\text{লবণের ভর (g)}, W_2}{\text{লিটারে দ্রবণের আয়তন (L)}}$

বা, $370 \text{ gL}^{-1} = \dfrac{W_2}{0.25\text{L}}$; বা, $W_2 = 370 \times 0.25 \text{ g} = \boxed{92.5 \text{ g}}$

এবং 25°C এ লবণটির দ্রাব্যতা, $S_1 = \dfrac{\text{লবণের ভর (g)}, W_1}{\text{লিটারে দ্রবণের আয়তন (L)}}$

বা, $280 \text{ gL}^{-1} = \dfrac{W_1}{0.25\text{L}}$; বা, $W_1 = 280 \times 0.25 \text{ g} = \boxed{70.0 \text{ g}}$

সুতরাং 45°C থেকে 25°C-এ দ্রবণকে শীতল করলে 250 g সম্পৃক্ত দ্রবণ হতে কেলাসিত লবণ $= (W_2 - W_1) = (92.5 - 70.0) \text{ g} = 22.5 \text{ g}$ লবণ। **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫১ : 75°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত কোনো লবণের 300 mL দ্রবণকে 25°C এ শীতল করা হলো। এতে কত গ্রাম লবণ কেলাসিত হবে? 75°C ও 25°C এ লবণটির দ্রাব্যতা যথাক্রমে 650 gL^{-1} এবং 150 gL^{-1} হয়।

দক্ষতা : দ্রাব্যতার আধুনিক সংজ্ঞা মতে, লবণের দ্রাব্যতা g/L এককে হবে।

সমাধান : দ্রাব্যতার সংজ্ঞা মতে, লবণের দ্রাব্যতা (g/L), $S = \frac{\text{দ্রবের ভর (g)}}{\text{লিটারে দ্রবণের আয়তন (L)}}$

প্রশ্নমতে, সম্পৃক্ত দ্রবণের আয়তন = 300 mL = 0.300 L

$\therefore$ 75°C এ লবণটির দ্রাব্যতা, $S_2 = \frac{\text{লবণের ভর (g), } W_2}{\text{লিটারে দ্রবণের আয়তন (L)}}$

বা, $650\ gL^{-1} = \frac{W_2}{0.300\ L}$; বা, $W_2 = 650 \times 0.3\ g = \boxed{195\ g}$

এবং 25°C এ লবণটির দ্রাব্যতা, $S_1 = \frac{\text{লবণের ভর (g), } W_1}{\text{লিটারে দ্রবণের আয়তন (L)}}$

বা, $150\ gL^{-1} = \frac{W_1}{0.300\ L}$; বা, $W_1 = 150 \times 0.3\ g = \boxed{45\ g}$

সুতরাং 75°C থেকে 25°C-এ দ্রবণকে শীতল করলে 300 mL সম্পৃক্ত দ্রবণ হতে কেলাসিত লবণ = $(W_2 - W_1)$ = (195 – 45) g = 150 g লবণ। **(উত্তর)**

> **MCQ-2.29 : MRI কী?** [ব. বো. ২০১৭]
> (ক) চৌম্বকীয় অবলোহিত রশ্মি
> (খ) চৌম্বকীয় অনুরণন প্রতিচ্ছবিকরণ
> (গ) নিউক্লিয়ার চৌম্বকীয় অনুরণন
> (ঘ) চৌম্বকীয় রেডিও প্রতিচ্ছবিকরণ

দ্রাব্যতা গুণফল : মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ ব্যতীত অন্য পদার্থের তড়িৎ-বিয়োজনের ক্ষেত্রে ভর-ক্রিয়া সূত্রটি প্রযোজ্য হয় না। মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য স্বল্প দ্রবণীয় লবণের সম্পৃক্ত দ্রবণের ক্ষেত্রে (অসীম লঘু দ্রবণরূপে) তা যথেষ্ট সঠিকভাবে প্রযোজ্য হয়। যেমন, AgCl-এর সম্পৃক্ত দ্রবণের ক্ষেত্রে এর বিয়োজনকে নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয় :

$$\underset{\text{(কঠিন)}}{AgCl(s)} \rightleftharpoons \underset{\text{(দ্রবণে)}}{AgCl(aq)} \rightleftharpoons \underset{\text{(দ্রবণে আয়নিত)}}{Ag^+(aq) + Cl^-(aq)}$$

ভর ক্রিয়ার সূত্র মতে, $K = \frac{[Ag^+] \times [Cl^-]}{[AgCl]}$; অর্থাৎ $[Ag^+] \times [Cl^-] = K \times [AgCl]$

সম্পৃক্ত দ্রবণে, AgCl-এর ঘনমাত্রা অপরিবর্তিত থাকে; অর্থাৎ [AgCl] = 1 ধরা হয়।

$\therefore [Ag^+] \times [Cl^-] = K_{sp}$ (ধ্রুবক)। এখানে K_{sp} ধ্রুবকটিকে AgCl-এর দ্রাব্যতা গুণফল বলে।

দ্রাব্যতা গুণফলের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব : যেহেতু তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে অধিকাংশ লবণ তাপশোষী প্রক্রিয়ায় পানিতে অধিক দ্রবীভূত হয় এবং আয়নিত হয় অর্থাৎ এদের আয়নদ্বয়ের মোলার ঘনমাত্রা বৃদ্ধি পায়। তাই তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে K_{sp} এর মান ও লবণের দ্রাব্যতা বৃদ্ধির সাথে বৃদ্ধি পায়।

আয়নিক গুণফল : সম্পৃক্ত ও অসম্পৃক্ত যেকোনো দ্রবণের ক্ষেত্রে উভয় আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফলকে **আয়নিক গুণফল** (IP) বা K_{ip} বলে। AgCl এর যেকোনো দ্রবণের ক্ষেত্রে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় উভয় আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল যেমন $[Ag^+] \times [Cl^-]$ কে AgCl-এর আয়নিক গুণফল বলে।

25°C-এ AgCl এর $K_{sp} = 1.8 \times 10^{-10}$ বলতে উপরোক্ত সমীকরণের তাৎপর্য হলো এই যে, 25°C স্থির তাপমাত্রায় AgCl-এর সম্পৃক্ত দ্রবণে Ag^+ আয়ন ও Cl^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল (IP) সর্বদা ধ্রুবক মান, $K_{sp} = 1.8 \times 10^{-10}$ হবে। K_{sp} এর ধ্রুব মান দ্বারা দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্যের সাম্যাবস্থায় বিয়োজনের ডানদিকে অবস্থানের মাত্রাকে বোঝায়। K_{sp} ও K_{ip} এর কোনো একক নেই।

আয়নিক গুণফল (K_{ip}) ও দ্রাব্যতা গুণফল (K_{sp}) এর মধ্যে সম্পর্ক :

(১) লবণের আয়নিক গুণফল (K_{ip}) বলতে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো স্বল্প দ্রবণীয় আয়নিক যৌগ বা লবণের যেকোনো ঘনমাত্রায় দ্রবণে উপস্থিত আয়নদ্বয়ের মোলার ঘনমাত্রার যথোপযুক্ত ঘাতসহ গুণফলকে বোঝায়। অপরদিকে দ্রাব্যতা গুণফল (K_{sp}) বলতে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় (যেমন 25°C-এ) কোনো স্বল্প দ্রবণীয় আয়নিক যৌগ বা লবণের সম্পৃক্ত দ্রবণে উপস্থিত আয়নদ্বয়ের সর্বাধিক মোলার ঘনমাত্রার যথোপযুক্ত ঘাতসহ গুণফলকে বোঝায়।

(২) আয়নিক গুণফল (K_{ip}) এর বেলায় দ্রবণটি অসম্পৃক্ত দ্রবণ বা লঘু দ্রবণ, সম্পৃক্ত দ্রবণ অথবা অতিপৃক্ত দ্রবণ হতে পারে। অপরদিকে, দ্রাব্যতা গুণফল (K_{sp}) এর বেলায় দ্রবণটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় সংশ্লিষ্ট দ্রবের সম্পৃক্ত দ্রবণ হয়।

(৩) নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো দ্রবের আয়নিক গুণফল (K_{ip}) এর মান দ্রবণের মোলার ঘনমাত্রা বা গাঢ়তার ওপর নির্ভর করে ভিন্ন ভিন্ন হতে পারে। অপরদিকে ঐ নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় ঐ দ্রবের দ্রাব্যতা গুণফল (K_{sp}) এর মান একটি স্থির সংখ্যা হয়।

(৪) দ্রবের আয়নিক গুণফলের (K_{ip}) মান দ্রাব্যতা গুণফলের (K_{sp}) মানের চেয়ে বেশি হলে দ্রবণটি অতিপৃক্ত হয় এবং তখন দ্রবটির অধঃক্ষেপণ ঘটে। সুতরাং অধঃক্ষেপণের শর্ত হলো : $K_{ip} > K_{sp}$.

(৫) সম্পৃক্ত দ্রবণে আয়নিক গুণফল = দ্রাব্যতা গুণফল হয়। বা, সম্পৃক্ত দ্রবণে $K_{ip} = K_{sp}$

$\therefore$ 25°C তাপমাত্রায় $Al(OH)_3$ এর সম্পৃক্ত দ্রবণে, $K_{ip} = K_{sp} = [Al^{3+}] \times [OH^-]^3$

(৬) নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো লবণের K_{sp} ধ্রুব থাকে; কিন্তু ঐ লবণের মোলার ঘনমাত্রা বিভিন্ন দ্রবণের জন্য ভিন্ন ভিন্ন হয় বলে K_{ip} ও ভিন্ন ভিন্ন হতে পারে।

(৭) K_{ip} ও K_{sp} এর সংখ্যা মান দেয়া থাকলে $mol\ L^{-1}$ ধরে গণনা করতে হবে।

দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতা গুণফলের সম্পর্ক :

(১) মনে করি, কোনো স্বল্প দ্রবণীয় লবণ BA-এর দ্রাব্যতা হলো S মোল/লিটার এবং তা প্রায় সম্পূর্ণ মাত্রায় বিয়োজিত হলে B^+ ও A^- আয়ন উভয়েরই ঘনমাত্রা প্রতি লিটারে হবে S মোল আয়ন। তখন দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [B^+] \times [A^-] = S^2$ হয়।

(২) আমরা জানি যে, **দ্রবের আয়নদ্বয়ের মোলার ঘনমাত্রার গুণফলের মান (K_{ip}) এর দ্রাব্যতা-গুণফলের (K_{sp}) মানের চেয়ে বেশি হলেই তবে ঐ দ্রব অধঃক্ষেপ সৃষ্টি করে।**

মনে করি, 25°C এ $Al(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা হলো $S\ mol\ L^{-1}$; তখন $Al(OH)_3$ এর সম্পৃক্ত দ্রবণে এর বিয়োজনকে নিম্নরূপে দেখানো যায় :

$$\underset{}{Al(OH)_3(s)} \rightleftharpoons \underset{S\ mol}{Al(OH)_3(aq)} \rightleftharpoons \underset{S\ mol}{Al^{3+}(aq)} + \underset{3S\ mol}{3OH^-(aq)}$$

$\therefore$ $Al(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [Al^{3+}] \times [OH^-]^3$

$\therefore$ দ্রাব্যতা (S) পদ সহযোগে $Al(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল হবে, $K_{sp} = S \times (3S)^3 = 27S^4$

সুতরাং লবণের দ্রাব্যতা গুণফল-এর সংজ্ঞা নিম্নরূপ :

'কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় (যেমন 25°C) কোনো স্বল্প দ্রবণীয় তড়িৎ-বিশ্লেষ্য লবণের সম্পৃক্ত দ্রবণে এর উপাদান আয়নসমূহের মোল প্রতিলিটার এককে ঘনমাত্রার গুণফলকে লবণটির দ্রাব্যতা গুণফল বলা হয়। তবে লবণটির প্রতি অণু বিয়োজনে যে আয়নটি যত সংখ্যায় উৎপন্ন হয়, ঐ আয়নের ঘনমাত্রাকে সে সংখ্যক ঘাতে উন্নীত করা হয়।

নিচের তালিকায় বিভিন্ন সংকেতযুক্ত লবণের দ্রাব্যতা (S) ও দ্রাব্যতা গুণফলের সম্পর্ক দেখানো হলো :

AB বা AgCl এর ক্ষেত্রে $AB \rightleftharpoons A^+ + B^-$	AB_2 বা $CaCl_2$ এর ক্ষেত্রে $AB_2 \rightleftharpoons A^{2+} + 2B^-$	AB_3 বা $AlCl_3$ এর ক্ষেত্রে $AB_3 \rightleftharpoons A^{3+} + 3B^-$	A_2B_3 বা $Al_2(SO_4)_3$ এর ক্ষেত্রে $A_2B_3 \rightleftharpoons 2A^{3+} + 3B^{2-}$
দ্রাব্যতা = S $K_{sp} = S \times S = S^2$	দ্রাব্যতা = S $K_{sp} = S \times (2S)^2 = 4S^3$	দ্রাব্যতা = S $K_{sp} = S \times (3S)^3 = 27S^4$	দ্রাব্যতা = S MAT-(14-15) $K_{sp} = (2S)^2 \times (3S)^3 = 108\ S^5$

* তাপমাত্রার প্রভাব দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতা গুণফল উভয়ের ওপর একই প্রকার হয়।
* দ্রাব্যতা সব প্রকার যৌগ যেমন আয়নিক, সমযোজী প্রভৃতি প্রতি ক্ষেত্রে সমভাবে প্রযোজ্য। কিন্তু দ্রাব্যতা গুণফল কেবল দুর্বল তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের বা স্বল্প দ্রবণীয় আয়নিক যৌগের বেলায় প্রযোজ্য।
* সমআয়নের প্রভাবে লবণের দ্রাব্যতা হ্রাস পায়; কিন্তু দ্রাব্যতা গুণফল ধ্রুব থাকে।

জেনে নাও:

(ক) 25°C-এ $BaSO_4$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 1.1×10^{-10} বলতে কী বোঝায়; তা ব্যাখ্যা করো। [রা. বো. ২০১৭]

(খ) 25°C তাপমাত্রায় $CaCO_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 8.7×10^{-9} বলতে কী বোঝায়; তা ব্যাখ্যা করো। [দি. বো. ২০১৬]

(গ) 25°C তাপমাত্রায় $M(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 2.5×10^{-39} বলতে কী বোঝায়; তা ব্যাখ্যা করো। [সি. বো. ২০১৬]

*** সমাধান : (ক)** 25°C-এ $BaSO_4$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 1.1×10^{-10} বলতে বোঝা যায় যে, 25°C তাপমাত্রায় $BaSO_4$ এর প্রতি লিটার সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণে সৃষ্ট এর আয়নদ্বয় যেমন Ba^{2+} আয়ন ও SO_4^{2-} আয়নের মোল এককে ঘনমাত্রার গুণফলের মান 1.1×10^{-10} হয়। তখন সম্পৃক্ত দ্রবণে এটির আয়নদ্বয় নিম্নরূপ সাম্যাবস্থায় থাকে :

$$BaSO_4(s) \rightleftharpoons BaSO_4(aq) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$$

ধরা যাক, 25°C-এ $BaSO_4$ এর দ্রাব্যতা s $molL^{-1}$; তখন উপরোক্ত সমীকরণ মতে s মোল $BaSO_4$ থেকে s মোল Ba^{2+} আয়ন ও s মোল SO_4^{2-} আয়ন তৈরি হয়। তাই-

$BaSO_4$ এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [Ba^{2+}] \times [SO_4^{2-}] = s \times s = 1.1 \times 10^{-10}$

*** সমাধান : (খ)** 25°C তাপমাত্রায় $CaCO_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 8.7×10^{-9} বলতে বোঝা যায় যে, 25°C তাপমাত্রায় $CaCO_3$ এর সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণে সৃষ্ট এর উপাদান আয়ন যেমন Ca^{2+} আয়ন ও CO_3^{2-} আয়নসমূহের মোল প্রতি লিটার এককে ঘনমাত্রার গুণফলের মান 8.7×10^{-9} হয়। তখন সম্পৃক্ত দ্রবণে নিম্নরূপ সাম্যাবস্থা থাকে :

$$CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaCO_3(aq) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq)$$

ধরা যাক, 25°C-এ $CaCO_3$ এর দ্রাব্যতা s $molL^{-1}$; তখন উপরোক্ত সমীকরণ মতে s মোল $CaCO_3$ থেকে s মোল Ca^{2+} আয়ন ও s মোল CO_3^{2-} আয়ন তৈরি হয়। তাই-

$CaCO_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল $K_{sp} = [Ca^{2+}] \times [CO_3^{2-}] = s \times s = 8.7 \times 10^{-9}$।

*** সমাধান : (গ)** 25°C তাপমাত্রায় $M(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 2.5×10^{-39} বলতে বোঝা যায় যে, 25°C তাপমাত্রায় $M(OH)_3$ এর জলীয় সম্পৃক্ত দ্রবণে সৃষ্ট এর উপাদান আয়ন যেমন M^{3+} আয়ন ও OH^- আয়নসমূহের মোল প্রতি লিটার এককে ঘনমাত্রার যথোপযুক্ত ঘাতসহ গুণফল একটি স্থির মান 2.5×10^{-39} হয়। তখন সম্পৃক্ত দ্রবণে নিম্নরূপ সাম্যাবস্থা থাকে :

$$M(OH)_3(s) \rightleftharpoons \underset{s\ mol}{M(OH)_3(aq)} \rightleftharpoons \underset{s\ mol}{M^{3+}(aq)} + \underset{3s\ mol}{3OH^-(aq)}$$

ধরা যাক, 25°C-তাপমাত্রায় $M(OH)_3$-এর দ্রাব্যতা s $molL^{-1}$ হয়; তখন উপরোক্ত সমীকরণ মতে s মোল $M(OH)_3$ হতে s মোল M^{3+} আয়ন ও 3s মোল OH^- আয়ন তৈরি হয়। তাই–

$M(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [M^{3+}] \times [OH^-]^3 = s \times (3s)^3 = 27s^4 = 2.5 \times 10^{-39}$।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫২ : 25°C তাপমাত্রায় $Al(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা-গুণফল 3.7×10^{-15} হলে, $Al(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গ্রাম/লিটার এককে কত হবে?

দক্ষতা : আয়নিক সমীকরণ থেকে দ্রাব্যতা গুণফলের সমীকরণ লিখতে হবে।

সমাধান : $Al(OH)_3$ সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণে নিম্নরূপ আয়নিত হয়ে থাকে :

$$Al(OH)_3(s) + aq \rightleftharpoons Al(OH)_3(aq) \rightleftharpoons Al^{3+}(aq) + 3OH^-(aq) \ldots (1)$$

$$\text{x mol} \qquad \text{x mol} \qquad \text{3x mol}$$

ধরা যাক, $Al(OH)_3$ এ দ্রাব্যতা $x \text{ mol L}^{-1}$; তখন উপরোক্ত সমীকরণ মতে প্রতি x mol $Al(OH)_3$ হতে x মোল Al^{3+} আয়ন ও 3x মোল OH^- আয়ন তৈরি হয়; তাই $[Al^{3+}] = x$ এবং $[OH^-] = 3x$ হবে।

∴ $Al(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [Al^{3+}] \times [OH^-]^3$
$= x \times (3x)^3 = 27x^4$

> * 'দ্রাব্যতা' পদটি সবল ও দুর্বল যেকোনো তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের জন্য প্রযোজ্য।
> * দ্রাব্যতা-গুণফল কেবল মৃদু বা দুর্বল তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের জন্য প্রযোজ্য।
> * স্থির তাপমাত্রায় K_{sp} এর মান নির্দিষ্ট; কিন্তু সাধারণ আয়নের প্রভাবে দ্রবের দ্রাব্যতা হ্রাস পায়।

∴ প্রশ্নমতে, $27x^4 = 3.7 \times 10^{-15}$

অর্থাৎ $x^4 = (3.7 \times 10^{-15} \div 27) = 1.37 \times 10^{-16}$

∴ $x = \sqrt[4]{1.37 \times 10^{-16}} = 1.08 \times 10^{-4}$

> **MCQ-2.30: 30°C-এ কোনো লবণের দ্রাব্যতা 5.0 g/L হলে 400 mL সম্পৃক্ত দ্রবণে কত গ্রাম লবণ আছে?**
> (ক) 4 g (খ) 3 g (গ) 2 g (ঘ) 5 g

∴ $Al(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা, $x = 1.08 \times 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$

আবার $Al(OH)_3$ এর গ্রাম আণবিক ভর $= (27 + 3 \times 17) = 78$ g

∴ প্রশ্নে উল্লেখিত গ্রাম এককে $Al(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা, x $= 1.08 \times 10^{-4} \times 78 \text{ gL}^{-1}$
$= 8.424 \times 10^{-3} \text{ gL}^{-1}$ **(উত্তর)**

অধিক জেনে নাও : উপরোক্ত ক্ষারকটির দ্রাব্যতা গুণফলের মান থেকে বোঝা যায়, পানিতে $Al(OH)_3$ এর উভয় আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল $1.08 \times 10^{-4} \text{ molL}^{-1}$ বা, $8.424 \times 10^{-3} \text{ gL}^{-1}$ পর্যন্ত দ্রবীভূত অবস্থায় থাকবে; কিন্তু উভয় আয়ন যেমন Al^{3+} আয়ন ও OH^- আয়নের ঘনমাত্রার গুণফল এ মানের অধিক হলে তা অদ্রবণীয় কঠিন $Al(OH)_3$ রূপে দ্রবণে সাম্যাবস্থায় থাকবে। অর্থাৎ উপরোক্ত (1) নং সমীকরণ মতে **দ্রাব্যতা গুণফল একটি সাম্যাবস্থা নির্দেশ করে।**

তাই কোনো লবণের অধঃক্ষেপণ প্রক্রিয়ায় এর **দ্রাব্যতা গুণফলের বিশেষ গুরুত্ব আছে।** এ তত্ত্বের ওপর ভিত্তি করে **কোনো লবণের দ্রবণ থেকে ক্ষারকীয় মূলকের শনাক্তকরণ অধঃক্ষেপণ প্রক্রিয়ায় করা সম্ভব হয়।** যেমন,

* (১) যদি লবণের দ্রবণে উভয় আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল K_{ip} > দ্রাব্যতা গুণফল K_{sp}, তবেই অধঃক্ষেপণ ঘটবে। তখন দ্রবণটি **অতিপৃক্ত** (super saturated) রয়েছে। তখন দ্রবটি অধঃক্ষিপ্ত হবে।
* (২) যদি লবণের দ্রবণে উভয় আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল K_{ip} < দ্রাব্যতা গুণফল K_{sp}, তখন অধঃক্ষেপণ ঘটবে না। তখন দ্রবণটি **অসম্পৃক্ত** (unsaturated) রয়েছে।

উল্লেখ্য পরীক্ষাগারে লবণের দ্রবণসহকারে ক্যাটায়নের শনাক্তকরণের সিক্ত পরীক্ষায় 'দ্রাব্যতা গুণফলের' সাথে 'সম-আয়ন প্রভাব' প্রয়োগ করা হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৩ : 25°C-এ পানিতে সিলভার ক্রোমেট (Ag_2CrO_4) এর সম্পৃক্ত দ্রবণে $[CrO_4^{2-}] = 6.5 \times 10^{-5}$ M হলে ঐ লবণের K_{sp} কত হবে?

দক্ষতা : সাম্যাবস্থার সমীকরণ থেকে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নের ঘনমাত্রার সম্পর্ক ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : $Ag_2CrO_4(s) \rightleftharpoons 2Ag^+(aq) + CrO_4^{2-}(aq)$

এক্ষেত্রে $[Ag^+] = 2 \times [CrO_4^{2-}] = 2 \times 6.5 \times 10^{-5}$ M $= 1.3 \times 10^{-4}$ M

$\therefore K_{sp} = [Ag^+]^2 \times [CrO_4^{2-}] = (1.3 \times 10^{-4})^2 \times 6.5 \times 10^{-5} = 1.1 \times 10^{-12}$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৪। 100 mL 2.5×10^{-5} M $FeCl_2$ এর জলীয় দ্রবণে 150 mL 6.7×10^{-5}M NaOH দ্রবণ যোগ করলে সবুজ বর্ণের $Fe(OH)_2$ অধঃক্ষিপ্ত হয়। $Fe(OH)_2$ এর আয়নিক গুণফল (K_{ip}) কত?

দক্ষতা : মিশ্র দ্রবণে Fe^{2+} আয়ন ও OH^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রা বের করতে হবে।

সমাধান : দ্রবণ দুটি যোগ করলে মিশ্রণের আয়তন (100 + 150) = 250 mL হয় এবং উৎপন্ন $Fe(OH)_2$ নিম্নরূপে আয়নিত থাকে।

সাম্যাবস্থায় : $Fe(OH)_2\,(aq) \rightleftharpoons Fe^{2+}\,(aq) + 2OH^-\,(aq)$

100 mL 2.5×10^{-5} M $FeCl_2$ দ্রবণ ≡ 100 mL 2.5×10^{-5} M Fe^{2+} আয়ন

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মিশ্রণের মোট আয়তন (100 + 150) = 250 mL হওয়ায় Fe^{2+} এর ঘনমাত্রা হবে M_2

$\therefore V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$ সম্পর্ক মতে পাই—

বা, $100 \times 2.5 \times 10^{-5} = 250 \times M_2$; $\therefore M_2 = \dfrac{100 \times 2.5 \times 10^{-5}}{250} = 1.0 \times 10^{-5}$M

$\therefore$ মিশ্রণে $[Fe^{2+}] = 1.0 \times 10^{-5}$

অনুরূপভাবে, 150 mL 6.7×10^{-5}M NaOH দ্রবণ ≡ 150 mL 6.7×10^{-5} OH^- আয়ন

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মিশ্রণের আয়তন 250 mL. হওয়ায় OH^- এর ঘনমাত্রা হবে M_4

$\therefore V_3 \times M_3 = V_4 \times M_4$

বা, $150 \times 6.7 \times 10^{-5} = 250 \times M_4$; $\therefore M_4 = \dfrac{150 \times 6.7 \times 10^{-5}}{250} = 4.02 \times 10^{-5}$M

$\therefore$ মিশ্রণে $[OH^-] = 4.02 \times 10^{-5}$

সুতরাং $Fe(OH)_2$ এর $K_{ip} = [Fe^{2+}] \times [OH^-]^2 = 1.0 \times 10^{-5} \times (4.02 \times 10^{-5})^2$

$= 1.616 \times 10^{-14}$ (উঃ)

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৫ : 10 mL 0.25 M $FeCl_3$ দ্রবণে 1.0 mL 0.5 M NH_4OH দ্রবণ যোগ করা হলো। 25°C তাপমাত্রায় $Fe(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 3.74×10^{-38} হলে ঐ মিশ্রণে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা ব্যাখ্যা করো। [ব. বো. ২০২১]

দক্ষতা : মিশ্রণে আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল (K_{ip}) এর মান দ্রাব্যতা গুণফলের মান K_{sp} থেকে বেশি হলে অধঃক্ষেপ পড়বে।

সমাধান : অধঃক্ষেপণের সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ :

$$FeCl_3\,(aq) + 3NH_4OH\,(aq) \rightleftharpoons Fe(OH)_3\,(s) + 3NH_4Cl\,(aq)$$

দেয়া আছে, $Fe(OH)_3$ এর $K_{sp} = 3.74 \times 10^{-38}$

10 mL 0.25 M $FeCl_3$ দ্রবণ ≡ 10 mL 0.25 M Fe^{3+} আয়ন

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন = (10 + 1) = 11 mL হওয়ায় Fe^{3+} এর ঘনমাত্রা হবে M_2

$\therefore V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$ সম্পর্ক মতে পাই—

$10 \times 0.25 = 11 \times M_2$; $\therefore M_2 = \dfrac{10 \times 0.25}{11} = \boxed{0.227\text{ M}}$

$\therefore$ মিশ্রণে $[Fe^{3+}] = 0.227$

অনুরূপভাবে, 1.0 mL 0.5 M NH_4OH দ্রবণ ≡ 1.0 mL 0.5M OH^- আয়ন

মিশ্রণের পর মোট আয়তন 11 mL হওয়ায় OH^- আয়নের ঘনমাত্রা হবে M_4

∴ $V_3 \times M_3 = V_4 \times M_4$ সম্পর্ক মতে পাই—

$1.0 \times 0.5 = 11 \times M_4$; $\therefore M_4 = \frac{1.0 \times 0.5}{11} = \boxed{0.0454\ M}$

∴ মিশ্রণে $[OH^-] = 0.0454$

MCQ-2.31 : নিচের কোনটি NMR সক্রিয়? [কু. বো. ২০১৭]
(ক) $^{16}_{8}O$ (খ) $^{12}_{6}C$
(গ) $^{32}_{16}S$ (ঘ) $^{1}_{1}H$

$Fe(OH)_3$ এর দ্রবণে সাম্যাবস্থায় : $Fe(OH)_3\ (aq) \rightleftharpoons Fe^{3+}\ (aq) + 3\ OH^-\ (aq)$

∴ $Fe(OH)_3$ এর আয়নিক গুণফল, $K_{ip} = [Fe^{3+}] \times [OH^-]^3$

$= 0.227 \times (0.0454)^3 = \boxed{2.124 \times 10^{-5}}$

প্রশ্নমতে, $Fe(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 3.74×10^{-38} থেকে এর আয়নিক গুণফল (2.124×10^{-5}) এর মান বেশি হওয়ায় মিশ্রণে $Fe(OH)_3$ এর অধঃক্ষেপ পড়বে।

সদৃশ সমস্যা-১ : ১ম পাত্রে 150 mL 10^{-5} mol L^{-1} $AlCl_3$ এর সম্পৃক্ত দ্রবণ আছে। ২য় পাত্রে 100 mL 10^{-2} mol L^{-1} NaOH দ্রবণ আছে। 25°C-এ $Al(OH)_3$ এর $K_{sp} = 1.9 \times 10^{-33}$। [ম. বো. ২০২২]

(ক) ১ম পাত্রের লবণের দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় করো। [উঃ 27×10^{-20}]

(খ) ১ম ও ২য় পাত্রের মিশ্র দ্রবণে $Al(OH)_3$ এর অধঃক্ষেপ পড়বে কী-না গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। [উঃ $K_{ip} > K_{sp}$; অধঃক্ষেপ পড়বে।]

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৬ : 25°C তাপমাত্রায় ১ম পাত্রে 20 mL 0.02 M $AgNO_3$ দ্রবণ এবং ২য় পাত্রে 40 mL 0.04 M NaCl দ্রবণ আছে। (ক) ১ম পাত্রের দ্রবণে $AgNO_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় করো।

(খ) ১ম পাত্রের দ্রবণের মধ্যে ২য় পাত্রের দ্রবণ সম্পূর্ণরূপে মিশালে AgCl এর অধঃক্ষেপ পড়বে কী না বিশ্লেষণ করো।

25°C- এ $AgNO_3$ এর দ্রাব্যতা $= 2.2 \times 10^{-3}$ gL^{-1} এবং AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল 1.8×10^{-10}; Ag এর পাঃ ভর = 107.87 [ব. বো ২০১৬]

দক্ষতা : $AgNO_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয়ে সম্পৃক্ত দ্রবণে Ag^+ আয়ন ও NO_3^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রা বের করতে হবে।

MCQ-2.32 : 25°C-এ $Mg(OH)_2$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 4×10^{-3}। তখন OH^- আয়নের mol L^{-1} ঘনমাত্রা কত? [ঢা. বো. ২০১৭]
(ক) 10^{-1} (খ) 10^{-2} (গ) 10^{-3} (ঘ) 10^{-4}

সমাধান : (ক) $AgNO_3$ দ্রবণের দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় :

$AgNO_3$ এর সম্পৃক্ত দ্রবণে নিম্নরূপ বিয়োজন ঘটে :

$AgNO_3\ (aq) \rightleftharpoons Ag^+\ (aq) + NO_3^-\ (aq)$

∴ $AgNO_3$ দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [Ag^+] \times [NO_3^-]$

প্রশ্নমতে, $AgNO_3$ এর দ্রাব্যতা $= 2.2 \times 10^{-3}\ gL^{-1}$

$AgNO_3$ গ্রাম আণবিক ভর $= (107.87 + 14 + 16 \times 3) = 169.87\ g\ mol^{-1}$

∴ মোল এককে $AgNO_3$ এর দ্রাব্যতা $= \frac{2.2 \times 10^{-3}\ g\ L^{-1}}{169.87\ g\ mol^{-1}} = 1.29 \times 10^{-5}$ M

∴ $AgNO_3$ এর সম্পৃক্ত দ্রবণে $[Ag^+] = [NO_3^-] = 1.29 \times 10^{-5}M$

∴ 25°C এ $AgNO_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [Ag^+] \times [NO_3^-]$

∴ $K_{sp} = (1.29 \times 10^{-5} \times 1.29 \times 10^{-5}) = 1.664 \times 10^{-10}$ (উঃ)

সমাধান : (খ) মিশ্রিত দ্রবণে অধঃক্ষেপ পড়বে কী না—

দক্ষতা : প্রথমে $[Ag^+]$ ও $[Cl^-]$ বের করতে হবে। এরপর K_{ip} ও K_{sp} বের করতে হবে।

অধঃক্ষেপণের সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ হবে :

$NaCl\,(aq) + AgNO_3\,(aq) \rightleftharpoons AgCl\,(s) + NaNO_3\,(aq)$

AgCl এর বিয়োজন হলো; $AgCl\,(aq) \rightleftharpoons Ag^+\,(aq) + Cl^-\,(aq)$

20 mL 0.02M $AgNO_3$ দ্রবণ ≡ 20 mL 0.02 M Ag^+ আয়ন

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন = (20 + 40) = 60 mL হওয়ায় Ag^+ আয়নের ঘনমাত্রা হবে M_2

$\therefore\ V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$ সম্পর্ক মতে পাই—

$20 \times 0.02 = 60 \times M_2; \quad \therefore M_2 = \dfrac{20 \times 0.02}{60} = \boxed{6.67 \times 10^{-3} M}$

$\therefore$ মিশ্রণে $[Ag^+] = 6.67 \times 10^{-3}$

অনুরূপভাবে, 40 mL 0.04 M NaCl ≡ 40 mL 0.04 M Cl^- আয়ন

মিশ্রণের পর মোট আয়তন 60 mL হওয়ায় Cl^- আয়নের ঘনমাত্রা হবে M_4

$\therefore\ V_3 \times M_3 = V_4 \times M_4$ সম্পর্ক মতে পাই—

$40 \times 0.04 = 60 \times M_4; \quad \therefore M_4 = \dfrac{40 \times 0.04}{60} = \boxed{0.027\ M}$

$\therefore$ মিশ্রণে $[Cl^-] = 0.027$

সুতরাং মিশ্রণে AgCl এর উভয় আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল

$K_{ip} = [Ag^+] \times [Cl^-] = 6.67 \times 10^{-3} \times 0.027 = 0.18 \times 10^{-3} = 1.8 \times 10^{-4}$

প্রশ্নমতে, AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{Sp} = 1.8 \times 10^{-10}$ ।

সুতরাং AgCl এর আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল (K_{ip}) এর মান দ্রাব্যতা গুণফল (K_{Sp}) এর মান থেকে বেশি হওয়ায় মিশ্রণে AgCl এর অধঃক্ষেপণ ঘটবে। (উঃ)

সদৃশ সমস্যা-১ : ১ম পাত্রে 100 mL 0.01 M $AgNO_3$ দ্রবণ এবং ২য় পাত্রে 150 mL 0.01 M NaCl দ্রবণ আছে। 25°C-এ AgCl এর $K_{sp} = 1.5 \times 10^{-10}$ । [মা. বো. ২০২৩]

(ক) উদ্দীপক মতে, AgCl এর দ্রাব্যতা নির্ণয় করো।

(খ) ১ম পাত্র ও ২য় পাত্রের উভয় দ্রবণকে একত্রে মিশ্রিত করলে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

[উঃ (ক) $1.225 \times 10^{-5}\ molL^{-1}$; (খ) $K_{ip}\ (=2.4 \times 10^{-5}) > K_{sp}\ (1.5 \times 10^{-10})$; AgCl এর অধঃক্ষেপ পড়বে।]

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৭ : ১ম পাত্রে AgCl এর সম্পৃক্ত দ্রবণ আছে। 25°C-এ ঐ সম্পৃক্ত দ্রবণে AgCl এর $K_{sp} = 1.5 \times 10^{-10}$ হয়। ২য় পাত্রে 10 mL 0.02 M KCl দ্রবণ ও ৩য় পাত্রে 100 mL 0.01M $AgNO_3$ এর দ্রবণ আছে। [রা. বো. ২০১৬]

(ক) ১ম পাত্রের দ্রবণে ক্লোরাইড আয়ন (Cl^-) এর মোলার ঘনমাত্রা নির্ণয় করো।

(খ) ২য় পাত্র ও ৩য় পাত্রের দ্রবণকে মিশ্রিত করলে অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

দক্ষ গ : (ক) AgCl এর সম্পৃক্ত দ্রবণে Ag^+ ও Cl^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রা সমান; প্রশ্নে AgCl এর $K_{sp} = 1.. \times 10^{-10}$ দেয়া আছে।

(খ) ২য় ও ৩য় পাত্রের মিশ্র দ্রবণে Ag^+ আয়ন ও Cl^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল K_{ip} এর মান K_{sp} এর মান থেকে বে া হলে তবে অধঃক্ষেপ পড়বে।

সমা ান : (ক) AgCl এর সম্পৃক্ত দ্রবণে নিম্নরূপ বিয়োজন ঘটে :

$$\underset{x\ mol}{AgCl\ (aq)} \rightleftharpoons \underset{x\ mol}{Ag^+ (aq)} + \underset{x\ mol}{Cl^- (aq)}$$

ধরা যাক, 25°C এ AgCl এর দ্রাব্যতা x mol L^{-1}; তখন উপরোক্ত সমীকরণ মতে, x mol AgCl থেকে x mol Ag^+ আয় ন ও x mol Cl^- আয়ন তৈরি হয়। তাই

AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [Ag^+] \times [Cl^-] = 1.5 \times 10^{-10}$

বা, $x \times x = 1.5 \times 10^{-10}$; বা, $x^2 = 1.5 \times 10^{-10}$

$\therefore x = \sqrt{1.5 \times 10^{-10}} = 1.2247 \times 10^{-5}$ M

$\therefore$ ১ম পাত্রে ক্লোরাইড আয়ন (Cl^-) এর ঘনমাত্রা = 1.2247×10^{-5} M **(উত্তর)**

MCQ-2.33: 25°C-এ $Al_2(SO_4)_3$ এর দ্রাব্যতা s হলে এর আয়নিক গুণফল কোনটি হবে? [ঢা. বো. ২০১৭]
(ক) s^5 (খ) $6s^5$
(গ) $27s^5$ (ঘ) $108s^5$

সমা ান : (খ) মিশ্রিত দ্রবণে অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা—

২য় ও ৩য় পাত্রের দ্রবণকে মিশ্রিত করলে নিম্নরূপ বিক্রিয়া ঘটে :

$$KCl\ (aq) + AgNO_3\ (aq) \longrightarrow AgCl\ (s) + KNO_3\ (aq)$$

প্রশ্নমতে, ২য় পাত্রে KCl এর ঘনমাত্রা, $M_1 = 0.02$ M, আয়তন $V_1 = 10$ mL

10 mL 0.02 M KCl দ্রবণ ≡ 10 mL 0.02 M Cl^- আয়ন

দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন = (10 + 100) = 110 mL হওয়ায় Cl^- আয়নের ঘনমাত্রা হবে M_2

$\therefore V_1M_1 = V_2M_2$ সম্পর্ক মতে পাই—

$$10 \times 0.02 = 110 \times M_2; \therefore M_2 = \frac{10 \times 0.02}{110} = \boxed{0.00182\ M}$$

$\therefore$ মিশ্রিত দ্রবণে $[Cl^-] = 0.00182$

অনুরূপভাবে, ৩য় পাত্রে 100 mL 0.01 M $AgNO_3$ দ্রবণ ≡ 100 mL 0.01 M Ag^+ আয়ন

মিশ্রণের পর মোট আয়তন = (10 + 100) = 110 mL হওয়ায় Ag^+ আয়নের ঘনমাত্রা হবে M_4

$\therefore V_3 \times M_3 = V_4 \times M_4$ সম্পর্ক মতে পাই—

$$100 \times 0.01 = 110 \times M_4; \therefore M_4 = \frac{100 \times 0.01}{110} = \boxed{0.00909\ M}$$

MCQ-2.34 : $Ag_2C_2O_4$ এর দ্রাব্যতা s হলে এর দ্রাব্যতা গুণফল কত হবে?
(ক) $2s^2$ (খ) $4s^3$
(গ) s^3 (ঘ) $27s^4$

$\therefore$ মিশ্রিত দ্রবণে, $[Ag^+] = 0.00909$

$\therefore$ মিশ্রিত দ্রবণে উৎপন্ন AgCl এর উভয় আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল,

$K_{ip} = [Ag^+] \times [Cl^-] = (0.00909 \times 0.00182) = 1.6543 \times 10^{-5}$

প্রশ্নমতে, AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = 1.5 \times 10^{-10}$

সুতরাং মিশ্রণে সৃষ্ট AgCl এর উভয় আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল (K_{ip}) এর মান এর দ্রাব্যতা গুণফল (K_{sp}) এর মান থেকে বেশি হওয়ায় মিশ্রণে AgCl এর অধঃক্ষেপণ ঘটবে। **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৮ : ১ম পাত্রে 50 mL 6×10^{-4} M $ZnSO_4$ দ্রবণ ও ২য় পাত্রে 40 mL 0.05 M NaOH দ্রবণ আছে। 25°C-এ $Zn(OH)_2$ এর $K_{sp} = 1 \times 10^{-17}$. [অভিন্ন প্রশ্ন (ক-সেট) ২০১৮; কু. বো. ২০১৬]

(ক) ১ম পাত্রের যৌগের দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় করো।

(খ) ১ম পাত্র ও ২য় পাত্রের দ্রবণ দুটিকে একত্রে মিশ্রিত করলে কোনো অধঃক্ষেপ সৃষ্টি হবে কীনা বিশ্লেষণ করো।

সমাধান : (ক) $ZnSO_4$ এর দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় :

প্রদত্ত $ZnSO_4$ দ্রবণটিকে $ZnSO_4$ এর সম্পৃক্ত দ্রবণ ধরে (কক্ষতাপমাত্রায়) $ZnSO_4$ এর সম্পৃক্ত দ্রবণে $ZnSO_4$ নিম্নরূপে আয়নিত হয় :

$$ZnSO_4(aq) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$$

x mol x mol x mol

$\therefore 6 \times 10^{-4}$ M $ZnSO_4$ দ্রবণে $[Zn^{2+}] = 6 \times 10^{-4}$ এবং $[SO_4^{2-}] = 6 \times 10^{-4}$ হয়

$\therefore$ $ZnSO_4$ এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [Zn^{2+}] \times [SO_4^{2-}] = (6 \times 10^{-4} \times 6 \times 10^{-4}) = 36 \times 10^{-8}$ (উঃ)

সমাধান : (খ) মিশ্রিত দ্রবণে অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা—

প্রশ্নমতে, উভয় দ্রবণ মিশ্রিত করলে সম্ভাব্য অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ হবে :

$$ZnSO_4(aq) + 2NaOH(aq) \longrightarrow Zn(OH)_2(s) + Na_2SO_4(aq)$$

মিশ্রিত দ্রবণে $Zn(OH)_2$ এর বিয়োজন হলো, $Zn(OH)_2(aq) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$

প্রশ্নমতে, $[Zn^{2+}]$ ও $[OH^-]$ হিসেব করে $Zn(OH)_2$ এর K_{ip} নির্ণয় করতে হবে।

50 mL 6×10^{-4} M $ZnSO_4$ দ্রবণ $\equiv$ 50 mL 6×10^{-4} M Zn^{2+} আয়ন

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন = (50 + 40) = 90 mL হওয়ায় Zn^{2+} আয়নের ঘনমাত্রা হবে M_2

$\therefore V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$ সম্পর্ক মতে পাই—

$$50 \times 6 \times 10^{-4} = 90 \times M_2; \ \therefore M_2 = \frac{50 \times 6 \times 10^{-4}}{90} = \boxed{3.33 \times 10^{-4}\ M}$$

$\therefore$ মিশ্রণে $[Zn^{2+}] = 3.33 \times 10^{-4}$

অনুরূপভাবে, 40 mL 0.05 M NaOH দ্রবণ $\equiv$ 40 mL 0.05 M OH^- আয়ন

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন 90 mL হওয়ায় OH^- আয়নের ঘনমাত্রা হবে M_4

$\therefore V_3M_3 = V_4M_4$ সম্পর্ক মতে পাই—

$$40 \times 0.05 = 90 \times M_4; \ \therefore M_4 = \frac{40 \times 0.05}{90} = \boxed{0.0222\ M}$$

$\therefore$ মিশ্রণে $[OH^-] = 0.0222$

সুতরাং মিশ্রণে $Zn(OH)_2$ এর উভয় আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল,

$K_{ip} = [Zn^{2+}] \times [OH^-]^2 = 3.33 \times 10^{-4} \times (0.0222)^2 = 1.64 \times 10^{-7}$

প্রশ্নমতে, $Zn(OH)_2$ এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = 1 \times 10^{-17}$

সুতরাং $Zn(OH)_2$ এর K_{ip} এর মান এর K_{sp} এর মান থেকে বেশি হওয়ায় মিশ্রণে $Zn(OH)_2$ এর অধঃক্ষেপ পড়বে। (উঃ)

সদৃশ সমস্যা-১ : ১ম পাত্রে 100 mL 6×10^{-4} M $CuSO_4$ দ্রবণ এবং ২য় পাত্রে 80 mL সেন্টিমোলার NaOH দ্রবণ আছে। $Cu(OH)_2$ এর $K_{sp} = 1.0 \times 10^{-16}$ দেয়া আছে। [কু. বো. ২০২২]

(ক) উদ্দীপকের আলোকে $Cu(OH)_2$ এর দ্রাব্যতা কত? [উ: 2.924×10^{-4} mol L^{-1}]

(খ) ১ম ও ২য় দ্রবণ মিশ্রিত করলে অধঃক্ষেপ সৃষ্টির সম্ভাব্যতা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। [উ: $K_{ip} > K_{sp}$; অধঃক্ষেপ পড়বে।]

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৯ : 20°C এ ১ম পাত্রে 0.3 M ঘনমাত্রার AB এর দ্রবণ এবং ২য় পাত্রে 0.1 M ঘনমাত্রার PQ এর দ্রবণ সম-আয়তনে আছে। 20°C-এ AQ এর $K_{sp} = 3.5 \times 10^{-4}$ এবং PB এর $K_{sp} = 2.5 \times 10^{-2}$. [ঢা. বো. ২০১৬]

(ক) উদ্দীপকের AB দ্রবণটি 20°C এ সম্পৃক্ত হলে এর দ্রাব্যতা গুণফল কত হবে?

(খ) উদ্দীপকের উভয় দ্রবণকে মিশ্রিত করলে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা তা কারণসহ বিশ্লেষণ করো।

সমাধান (ক) : AB এর দ্রাব্যতা গুণফল, K_{sp} নির্ণয় :

সম্পৃক্ত দ্রবণে AB এর সাম্যাবস্থা হলো নিম্নরূপ :

$$AB\ (aq) \rightleftharpoons A^+\ (aq) + B^-\ (aq)$$
$$x\ mol \qquad x\ mol \qquad x\ mol$$

$\therefore$ 0.3 M AB এর সম্পৃক্ত দ্রবণে $[A^+] = 0.3$ এবং $[B^-] = 0.3$

$\therefore$ AB এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [A^+] \times [B^-] = 0.3 \times 0.3 = 0.09$ **(উত্তর)**

সমাধান (খ) : মিশ্রিত দ্রবণে অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা—

সমআয়তনের উভয় দ্রবণ মিশ্রিত করলে নিম্নরূপ বিক্রিয়া ঘটে :

$$AB\ (aq) + PQ\ (aq) \longrightarrow AQ\ (aq) + PB\ (aq)$$

এক্ষেত্রে AQ ও PB উভয়ের K_{ip} বের করে উভয়ের K_{sp} এর মানের সাথে তুলনা করে কোনটির অধঃক্ষেপ আদৌ ঘটবে কীনা দেখতে হবে।

প্রথম অংশ, (i) AQ দ্রবণে নিম্নরূপে বিয়োজিত হয়ে থাকে :

$$AQ\ (aq) \rightleftharpoons A^+\ (aq) + Q^-\ (aq)$$

প্রশ্নমতে, 0.3 M ঘনমাত্রার x mL AB দ্রবণ ≡ 0.3M x mL A^+ আয়ন

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন = (x + x) = 2x mL হওয়ায় A^+ আয়নের ঘনমাত্রা হবে M_2

$\therefore V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$ সম্পর্ক মতে পাই—

$x \times 0.3 = 2x \times M_2$; $\therefore M_2 = \dfrac{x \times 0.3}{2x} = \boxed{0.15\ M}$

MCQ-2.35: নিচের কোনটি অধঃক্ষেপণের শর্ত?

(ক) $K_{ip} > K_{sp}$ (খ) $K_{ip} < K_{sp}$
(গ) $K_{ip} = K_{sp}$ (ঘ) কোনোটিই নয়

$\therefore$ মিশ্রণে $[A^+] = 0.15$

অনুরূপভাবে, 0.1M ঘনমাত্রার x mL PQ দ্রবণ ≡ 0.1 M x mL Q^- আয়ন

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন 2x mL হওয়ায় Q^- আয়নের ঘনমাত্রা হবে M_4

$\therefore V_3 \times M_3 = V_4 \times M_4$ সম্পর্ক মতে পাই—

$\therefore x \times 0.1 = 2x \times M_4; \ \therefore M_4 = \frac{x \times 0.1}{2x} = \boxed{0.05 \text{ M}}$

$\therefore$ মিশ্রণে $[Q^-] = 0.05$

সুতরাং মিশ্রণে AQ এর $K_{ip} = [A^+] \times [Q^-] = 0.15 \times 0.05 = \boxed{7.5 \times 10^{-3}}$

দ্বিতীয় অংশ (ii) PB দ্রবণে নিম্নরূপে বিয়োজিত হয় :

$$PB\ (aq) \rightleftharpoons P^+\ (aq) + B^-\ (aq)$$

প্রশ্নমতে, 0.3M x mL AB দ্রবণ ≡ 0.3M x mL B^- আয়ন,

মিশ্রণের মোট আয়তন 2x mL হওয়ায় B^- আয়নের ঘনমাত্রা হবে M_6

$\therefore V_5 \times M_5 = V_6 \times M_6$ সম্পর্ক মতে পাই—

$\therefore x \times 0.3 = 2x \times M_6; \ \therefore M_6 = \frac{x \times 0.3}{2x} = \boxed{0.15 \text{ M}}$

অনুরূপভাবে, 0.1M x mL PQ দ্রবণ ≡ 0.1 M x mL P^+ আয়ন,

মিশ্রণের মোট আয়তন 2x mL হওয়ায় P^+ আয়নের ঘনমাত্রা হবে M_8

$\therefore V_7 \times M_7 = V_8 \times M_8$ সম্পর্ক মতে পাই—

$\therefore x \times 0.1 = 2x \times M_8; \ \therefore M_8 = \frac{x \times 0.1}{2x} = \boxed{0.05 \text{ M}}$

$\therefore$ মিশ্রণে PB এর $K_{ip} = [P^+] \times [B^-] = 0.05 \times 0.15 = \boxed{7.5 \times 10^{-3}}$

MCQ-2.36 : নিচের সমীকরণ মতে AB এর K_{ip} কোনটি হবে? [ব. বো. ২০১৫]

$AB \rightleftharpoons A^+ + B^-$

(ক) $[A^+]\,[B^-]$ (খ) A^+B^-

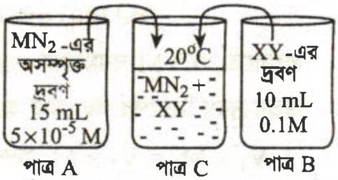
(গ) $K_{sp} = s^5$ (ঘ) $K_{sp} = \sqrt{s}$

বিশ্লেষণ : AQ এর K_{ip} এর মান 7.5×10^{-3} এবং K_{sp} এর মান 3.5×10^{-4} মান থেকে বেশি হওয়ায় AQ এর অধঃক্ষেপ পড়বে। অপরদিকে PB এর K_{ip} এর মান 7.5×10^{-3} এবং K_{sp} এর মান 2.5×10^{-2} থেকে কম হওয়ায় PB অধঃক্ষিপ্ত হবে না। **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬০ : নিম্নোক্ত উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [অভিন্ন প্রশ্ন (ক সেট) ২০১৮]

(i) MN_2 এর দ্রাব্যতা 0.0002 mol L^{-1}

(ii) MY_2 এর $K_{sp} = 1.85 \times 10^{-8}$



(ক) উদ্দীপকের A পাত্রের লবণটির দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় করো।

(খ) উদ্দীপকের C পাত্রে MY_2 এর অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

সমাধান (ক) : MN_2 লবণের দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় :

সম্পৃক্ত দ্রবণে MN_2 এর সাম্যাবস্থায় নিম্নরূপ আয়নিত থাকে। প্রশ্নমতে দ্রাব্যতা = 0.0002 molL^{-1}

$$\underset{0.0002\ molL^{-1}}{MN_2\ (aq)} \rightleftharpoons \underset{0.0002\ molL^{-1}}{M^{2+}\ (aq)} + \underset{2\ \times\ 0.0002\ molL^{-1}}{2N^-\ (aq)}$$

$\therefore MN_2$ এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [M^{2+}] \times [N^-]^2 = (0.0002) \times (2 \times 0.0002)^2$

$\therefore$ MN_2 এর $K_{sp} = 0.0002 \times (0.0004)^2 = 3.2 \times 10^{-11}$ **(উত্তর)**

সমাধান (খ) : মিশ্র দ্রবণে MY_2 এর অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা—

MN_2 ও XY এর উভয় দ্রবণ মিশ্রিত করলে সম্ভাব্য অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ :

$MN_2(aq) + 2XY(aq) \longrightarrow MY_2(s) + 2XN(aq)$

এখন মিশ্র দ্রবণে MY_2 এর K_{ip} নির্ণয় করতে হবে।

মিশ্র দ্রবণে MY_2 এর বিয়োজন হলো, $MY_2(aq) \rightleftharpoons M^{2+}(aq) + 2Y^-(aq)$

প্রশ্নমতে এখন দ্রবণে M^{2+} আয়ন ও Y^- আয়ন উভয়ের মোলার ঘনমাত্রা নির্ণয় করে MY_2 এর K_{ip} নির্ণয় করি। এক্ষেত্রে A পাত্রের MN_2 এর দ্রবণের বেলায়, 15 mL 5×10^{-5}(M) MN_2 দ্রবণ $\equiv$ 15 mL 5×10^{-5}(M) M^{2+} আয়ন আছে।

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন = (15 + 10) = 25 mL হওয়ায় M^{2+} আয়নের ঘনমাত্রা হবে M_2

$\therefore$ $V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$ সম্পর্ক মতে পাই—

$15 \times 5 \times 10^{-5} = 25 \times M_2;\ \therefore M_2 = \dfrac{15 \times 5 \times 10^{-5}}{25} = \boxed{3 \times 10^{-5}\,(M)}$

$\therefore$ মিশ্র দ্রবণে $[M^{2+}] = 3 \times 10^{-5}$

অনুরূপভাবে, B পাত্রের XY এর দ্রবণের বেলায়—

10 mL 0.1(M) XY দ্রবণ $\equiv$ 10 mL 0.1(M) Y^- আয়ন আছে।

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন = (15 + 10) = 25 mL হওয়ায় Y^- আয়নের ঘনমাত্রা হবে M_4

$\therefore$ $V_3 \times M_3 = V_4 \times M_4$ সম্পর্ক মতে পাই—

$10 \times 0.1 = 25 \times M_4;\ \therefore M_4 = \dfrac{10 \times 0.1}{25} = \boxed{0.04\,(M)}$

$\therefore$ মিশ্র দ্রবণে $[Y^-] = 0.04$

সুতরাং মিশ্র দ্রবণে MY_2 এর উভয় আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল,

$K_{ip} = [M^{2+}] \times [Y^-]^2 = 3 \times 10^{-5} \times (0.04)^2 = 4.8 \times 10^{-8}$

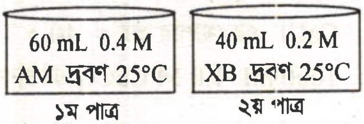
প্রশ্নমতে, MY_2 এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = 1.85 \times 10^{-8}$

সুতরাং প্রশ্নের তথ্য মতে, MY_2 এর K_{ip} এর মান (4.8×10^{-8}) এর K_{sp} এর মান (1.85×10^{-8}) থেকে বেশি হওয়ায় এ মিশ্রণে MY_2 এর অধঃক্ষেপ পড়বে। এটি গাণিতিকভাবে প্রমাণিত হলো। **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬০(ক)। নিম্নোক্ত উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ঢা. বো. ২০২৩]

(ক) উদ্দীপকের AB_2 যৌগের দ্রাব্যতা নির্ণয় করো।

(খ) ১ম ও ২য় পাত্রের মিশ্রিত দ্রবণে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।



25°C-এ AB_2 এর $K_{sp} = 1.84 \times 10^{-8}$

সমাধান : (ক) AB_2 যৌগের দ্রাব্যতা নির্ণয় :

সম্পৃক্ত দ্রবণে AB_2 এর সাম্যাবস্থায় নিম্নরূপ আয়নিত হয়ে থাকে।

প্রশ্নমতে, এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = 1.84 \times 10^{-8}$; ধরি দ্রাব্যতা = S $molL^{-1}$

$AB_2(aq) \rightleftharpoons A^{2+}(aq) + 2B^-(aq)$

S $molL^{-1}$ S $molL^{-1}$ 2S $molL^{-1}$

$\therefore$ AB_2 এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [A^{2+}] \times [B^-]^2;\ K_{sp} = S \times (2S)^2 = 4S^3.$

বা, $4S^3 = 1.84 \times 10^{-8}$; বা, $S^3 = 0.46 \times 10^{-8}$; বা, $S = \sqrt[3]{0.46 \times 10^{-8}} = 1.66 \times 10^{-3}\ molL^{-1}$

(খ) মিশ্রিত দ্রবণে অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা–

প্রশ্নমতে, অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়াটির সংশ্লিষ্ট সমীকরণ নিম্নরূপ :

$AM\ (aq) + 2XB\ (aq) \rightleftharpoons AB_2\ (s) + X_2M\ (aq)$

এক্ষেত্রে মিশ্র দ্রবণে $[A^{2+}]$ ও $[B^-]$ এর মোলার ঘনমাত্রা বের করতে হবে।

প্রশ্নমতে, 60 mL 0.4 M AM এর দ্রবণ ≡ 60 mL 0.4 M A^{2+} আয়ন। উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন $V_2 = (60 + 40) = 100$ mL হওয়ায় A^{2+} আয়নের ঘনমাত্রা হবে M_2।

$\therefore V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$ সম্পর্ক মতে পাই–

$60 \times 0.4 = 100 \times M_2;\ \therefore M_2 = \dfrac{60 \times 0.4}{100} = \boxed{0.24\ M}$

$\therefore$ মিশ্র দ্রবণে $[A^{2+}] = 0.24$

অনুরূপভাবে, 40 mL 0.2 M × B দ্রবণ ≡ 40 mL 0.2 M B^- আয়ন। মিশ্রণের পর মোট আয়তন 100 mL হওয়ায় B^- আয়নের ঘনমাত্রা হবে M_4

$\therefore V_3 \times M_3 = V_4 \times M_4$ সম্পর্ক মতে পাই–

$40 \times 0.2 = 100 \times M_4;$ বা, $M_4 = \dfrac{40 \times 0.2}{100} = \boxed{0.08\ M}$

$\therefore$ মিশ্র দ্রবণে $[B^-] = 0.08$

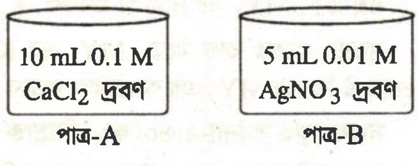
সুতরাং মিশ্র দ্রবণে AB_2 এর আয়নীকরণ এবং এর আয়নিক গুণফল হবে–

$AB_2\ (aq) \rightleftharpoons A^{2+}\ (aq) + 2B^-\ (aq)$

$\therefore K_{ip} = [A^{2+}] \times [B^-]^2 = 0.24 \times (0.8)^2 = 1.536 \times 10^{-1}$

প্রশ্নমতে, AB_2 এর দ্রাব্যতা গুণফল (1.84×10^{-8}) থেকে এর আয়নিক গুণফল (1.536×10^{-1}) এর মান বেশি হওয়ায় মিশ্র দ্রবণে AB_2 এর অধঃক্ষেপ পড়বে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬১ : নিম্নোক্ত উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [কু. বো. ২০১৯]



(ক) A পাত্রে Ca^{2+} আয়নের পরিমাণ নির্ণয় করো।

(খ) A ও B পাত্রের মিশ্রিত দ্রবণের প্রকৃতি দ্রাব্যতার ভিত্তিতে গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

সমাধান : (ক) A পাত্রে Ca^{2+} আয়নের পরিমাণ নির্ণয় :

$CaCl_2$ এর মোলার ভর $= (40 + 35.45 \times 2)\ g = 110.9\ g$

1000 mL 1.0 M $CaCl_2$ এর দ্রবণে Ca^{2+} আয়ন থাকে = 40 g Ca^{2+} আয়ন

$\therefore$ 10 mL 0.1 M $CaCl_2$ এর দ্রবণে Ca^{2+} আয়ন থাকে $= \dfrac{40 \times 10 \times 0.1\ g}{1000 \times 1} = 0.04\ g\ Ca^{2+}$ আয়ন

সমাধান : (খ) পাত্র A ও পাত্র B এর উভয় দ্রবণকে মিশ্রিত করলে নিম্নরূপ দ্বিবিয়োজন বিক্রিয়া ঘটবে :

$$CaCl_2\ (aq) + 2\ AgNO_3\ (aq) \longrightarrow 2\ AgCl\ (aq) + Ca(NO_3)_2\ (aq)$$

এ দ্বিবিয়োজন বিক্রিয়া শেষে মিশ্র দ্রবণের প্রকৃতি সমসত্ত্ব মিশ্রণ বা প্রকৃত দ্রবণ হতে পারে অথবা উৎপন্ন AgCl এর দ্রাব্যতা মানের ওপর নির্ভর করে বিক্রিয়াটিতে AgCl এর অধঃক্ষেপ ঘটলে তখন মিশ্রণটি অসমসত্ত্ব মিশ্রণ হবে। তবে প্রশ্নে

AgCl এর দ্রাব্যতার মান অথবা দ্রাব্যতা গুণফল এ দুয়ের কোনোটিরও মান দেওয়া নেই। তবে এক্ষেত্রে গাণিতিকভাবে AgCl এর আয়নিক গুণফল (K_{ip}) নির্ণয় করা সম্ভব।

প্রশ্নমতে, ১ম পাত্রে $CaCl_2$ এর ঘনমাত্রা, $M_1 = 0.1$ M; দ্রবণের আয়তন, $V_1 = 10$ mL.

$\therefore$ 10 mL 0.1 M $CaCl_2$ দ্রবণ ≡ 10 mL 0.1 × 2 M Cl^- আয়ন।

উভয় দ্রবণ মিশ্রণের পর মোট আয়তন = (10 + 5) = 15 mL হওয়ায় Cl^- আয়নের ঘনমাত্রা হবে M_2। লঘুকরণের সূত্র মতে,

$\therefore V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$ সম্পর্ক হয়। $\therefore 10 \times 0.1 \times 2 = 15 \times M_2$; $\therefore M_2 = \frac{10 \times 0.1 \times 2}{15} = \boxed{0.133\ M}$

$\therefore$ মিশ্র দ্রবণে $[Cl^-] = 0.133$

অনুরূপভাবে, ২য় পাত্রে 5 mL 0.01 M $AgNO_3$ দ্রবণ ≡ 5 mL 0.01 M Ag^+ আয়ন।

মিশ্র দ্রবণের মোট আয়তন = (10 + 5) = 15 mL হওয়ায় Ag^+ আয়নের ঘনমাত্রা হবে M_4.

$\therefore V_3 \times M_3 = V_4 \times M_4$ সম্পর্ক মতে পাই, $5 \times 0.01 = 15 \times M_4$

$\therefore M_4 = \frac{5 \times 0.01}{15} = \boxed{0.0033\ M}$

$\therefore$ মিশ্রিত দ্রবণে, $[Ag^+] = 0.0033$

$\therefore$ মিশ্রিত দ্রবণে AgCl এর আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল,

$K_{ip} = [Ag^+] \times [Cl^-] = (0.0033 \times 0.133) = 4.389 \times 10^{-4}$

এক্ষেত্রে গাণিতিক হিসাব মতে প্রাপ্ত AgCl এর K_{ip} এর মান 4.389×10^{-4} যদি AgCl এর প্রকৃত K_{sp} এর মান থেকে বড়ো হয়; তবে সংশ্লিষ্ট মিশ্র দ্রবণে AgCl এর অধঃক্ষেপ পড়বে। ফলে মিশ্র দ্রবণটি একটি অসমসত্ত্ব মিশ্রণে পরিণত হবে। নতুবা মিশ্রণটি প্রকৃত দ্রবণ হবে।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.১৬ : দ্রবের দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতা গুণফল সম্পর্কীয় :

প্রশ্ন-২.২০(ক) : লবণের দ্রাব্যতা কী? [সি. বো. ২০১৭; রা. বো. ২০১৫]

(খ) 'কেলাস পানিযুক্ত লবণের দ্রাব্যতা তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে এক পর্যায়ে বৃদ্ধি না পেয়ে হ্রাস পায়।' তা উদাহরণসহ ব্যাখ্যা করো। [রা. বো. ২০১৯]

প্রশ্ন-২.২১(ক) : দ্রাব্যতা গুণফল কী? [দি. বো. ২০১৭; ঢা. বো. ২০১৬; কু. বো. ২০১৬]

(খ) 25°C-এ $M(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 2.5×10^{-39} বলতে কী বোঝায়? [সি. বো. ২০১৫]

(গ) 25°C-এ $BaSO_4$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 1.1×10^{-10} বলতে কী বুঝ? [রা. বো. ২০১৭]

(ঘ) কক্ষতাপমাত্রায় $CaCO_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 8.7×10^{-9} বলতে কী বুঝ? [দি. বো. ২০১৬]

(ঙ) লবণের আয়নিক গুণফল ও দ্রাব্যতা গুণফলের মধ্যে সম্পর্ক বা পার্থক্য কী?

সমস্যা-২.৩৬(ক) : 25°C এ 300 g পানিতে 75 g $CuSO_4$ লবণ দ্রবীভূত করা যায়। ঐ তাপমাত্রায় $CuSO_4$ এর দ্রাব্যতা gL^{-1} এবং mol L^{-1} এ নির্ণয় করো। [উঃ 250 g L^{-1}; 1.56 mol L^{-1}]

সমস্যা-২.৩৬(খ) : 60°C এবং 30°C এ পানিতে কোনো লবণের দ্রাব্যতা যথাক্রমে 50 gL^{-1} এবং 42 gL^{-1} হয়। উচ্চতর তাপমাত্রায় প্রস্তুত ঐ লবণের 450 g সম্পৃক্ত দ্রবণকে 30°C-এ শীতল করলে কত গ্রাম লবণ কেলাসিত হবে? 60°C এ প্রস্তুত দ্রবণের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1.13 g cm^{-3}. [উঃ 3.18 g]

[দ্রাব্য : দ্রবণের আয়তন = (450 g ÷ 1.13 g cm^{-3}) = 398.23 c.c]

সমস্যা-২.৩৬(গ) : 95% বিশুদ্ধ খাদ্য লবণ দিয়ে 80°C তাপমাত্রায় পানিতে 600 mL সম্পৃক্ত দ্রবণ প্রস্তুত করতে 195 g খাদ্য লবণ প্রয়োজন হয়। 80°C-এ NaCl এর দ্রাব্যতা কত? ঐ দ্রবণকে 25°C এ শীতল করলে কত গ্রাম বিশুদ্ধ NaCl কেলাসিত হবে। 25°C এ NaCl এর দ্রাব্যতা 240 gL^{-1} ।

[উঃ 41.25 g কেলাসিত; 80°C এ দ্রাব্যতা = 308.75 gL^{-1}]

সমস্যা-২.৩৬(ঘ) : 25°C-এ MgF_2 এর $K_{sp} = 7.4 \times 10^{-11}$ হয়। mol/L ও g/L এককে 25°C-এ MgF_2 এর দ্রাব্যতা গণনা করো। [উঃ 2.64×10^{-4} mol/L ও 1.64×10^{-2} g/L]

সমস্যা-২.৩৬(ঙ) 35°C এ AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল 2.458×10^{-10} হলে AgCl এর দ্রাব্যতা কত?

[য. বো. ২০১৫] [উঃ 1.5678×10^{-5}]

সমস্যা-২.৩৭ : মর্টার, প্লাস্টার ও সিমেন্টে থাকা কলিচুন, $Ca(OH)_2$ সুলভ ক্ষারকরূপে শিল্পে ব্যবহৃত হয়। এটির $K_{sp} = 6.5 \times 10^{-6}$ হলে $Ca(OH)_2$ এর দ্রাব্যতা mo/L কত? [উঃ 1.175×10^{-2} M]

সমস্যা-২.৩৮ : লেড-এসিড কার ব্যাটারির অন্যতম প্রধান উপাদান হলো $PbSO_4$। 25°C-এ $PbSO_4$ এর দ্রাব্যতা হলো 0.0425 g/L। $PbSO_4$ এর K_{sp} কত হবে? (Pb = 207) [উঃ 1.96×10^{-8}]

সমস্যা-২.৩৯ : দাঁতের ক্ষয়রোধে স্বল্প পরিমাণে CaF_2 টুথপেস্টে মিশানো থাকে। 25°C-এ CaF_2 এর দ্রাব্যতা 2.0×10^{-4} mol/L হলে এটির দ্রাব্যতা-গুণফল কত? [উঃ 3.2×10^{-11}]

সমস্যা-২.৪০ : গভীর নলকূপের পানিতে থাকা অধিক আয়রন লবণকে $Fe(OH)_3$ রূপে অধঃক্ষিপ্ত করা হয়। 25°C এ $Fe(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 4.5×10^{-22} হলে এটির দ্রাব্যতা gL^{-1} এককে কত হবে? [উঃ 2.159×10^{-4} gL^{-1}]

সমস্যা-২.৪১ : 25°C-এ $Mg(OH)_2$ এর দ্রাব্যতা 1.6×10^{-4} $molL^{-1}$ হলে এর দ্রাব্যতা গুণফল কত?

[উঃ 1.638×10^{-11}]

সমস্যা-২.৪২ : 25°C-এ 500 mL পানিতে 0.00094 g AgCl দ্রবীভূত করে সম্পৃক্ত দ্রবণ তৈরি করা হলো। AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল কত হবে? (Ag = 108, Cl = 35.5)। [উঃ 1.716×10^{-10}]

সমস্যা-২.৪৩ : 25°C তাপমাত্রায় $CaSO_4$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 2.4×10^{-5} হলে ঐ তাপমাত্রায় দ্রবটির দ্রাব্যতা কত?

[উঃ 4.9×10^{-3} $molL^{-1}$ = 0.67 gL^{-1}]

সমস্যা-২.৪৪ : 25°C তাপমাত্রায় AgCl এর দ্রাব্যতা 2.25×10^{-3}g L^{-1} এর দ্রাব্যতা গুণফল কত?

[উঃ 2.465×10^{-10}]।

সমস্যা-২.৪৫ : 30°C এ $CaCO_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 8.85×10^{-8} হলে তখন $CaCO_3$ এর gL^{-1} ও $molL^{-1}$ এ দ্রাব্যতা কত হবে? [উঃ 2.9665×10^{-4} $molL^{-1}$; 2.9665×10^{-2} gL^{-1}]

সমস্যা-২.৪৬ : 25°C-এ Ag_2CO_3 এর সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণে $[Ag^+] = 2.56 \times 10^{-4}$ M হলে তখন দ্রবের K_{sp} কত? [উঃ 8.388×10^{-12}]

সমস্যা-২.৪৭ : 25°C-এ CaF_2 এর সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণে F^- আয়নের ঘনমাত্রা 6.55×10^{-3} gL^{-1} হলে CaF_2 এর K_{sp} কত? [ঢা. বো. ২০২১] [উঃ 2.048×10^{-11}]

সমস্যা-২.৪৮ : 25°C-এ $Fe(OH)_3$ এর সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণে OH^- আয়নের ঘনমাত্রা 9.84×10^{-9} gL^{-1} হলে $Fe(OH)_3$ এর K_{sp} কত? [উঃ 3.741×10^{-38}]

সমস্যা-২.৪৯ : 25°C-এ $Al(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 3.7×10^{-15} $molL^{-1}$ হলে ঐ দ্রবণে Al^{3+} ও OH^- এর ঘনমাত্রা ও $Al(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা কত হবে?

[উঃ $[Al^{3+}] = 1.08 \times 10^{-4}$ mol L^{-1}; $[OH^-] = 3.24 \times 10^{-4}$ $molL^{-1}$; s = 1.08×10^{-4} $molL^{-1}$]

সমস্যা-২.৫০ : 25°C-এ M_2X_3 লবণের দ্রাব্যতা 1.1×10^{-2} mol L^{-1} হলে এর K_{sp} কত? [উঃ 1.74×10^{-8}]

সমস্যা-২.৫১ : 18°C তাপমাত্রায় লেড (II) সালফেট ($PbSO_4$) এর দ্রাব্যতা গুণফল (K_{sp}) হলো 1.8×10^{-8}। 40 mL .5 × 10^{-4}M Na_2SO_4 এর দ্রবণে 10 mL 1.0×10^{-3}M লেড অ্যাসিটেট $Pb(CH_3COO)_2$ দ্রবণ মিশ্রিত করলে $PbSO_4$ এর অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। [উঃ $K_{ip} = 2.4 \times 10^{-8}$; তাই অধঃক্ষেপ পড়বে।]

সমস্যা-২.৫২(ক) : 0.02 M $CaCl_2$ এর দ্রবণে 0.0003 M Na_2SO_4 দ্রবণ সম-আয়তনে মিশ্রিত করা হলো। এর ফলে মিশ্রণে $CaSO_4$ এর অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা গাণিতিক ব্যাখ্যা করো। $CaSO_4$ এর $K_{sp} = 2.4 \times 10^{-5}$ ।

[উঃ $K_{ip} = 1.5 \times 10^{-6}$ যা K_{sp} থেকে কম; তাই অধঃক্ষেপ পড়বে না।]

সমস্যা-২.৫২(খ) : 20°C এ ১ম পাত্রে 0.30 M ঘনমাত্রার AB লবণের দ্রবণ এবং ২য় পাত্রে 0.1 M ঘনমাত্রার PQ লবণের দ্রবণ সমআয়তনে আছে। 20°C এ AQ এর $K_{sp} = 3.5 \times 10^{-4}$ এবং PB এর $K_{sp} = 2.5 \times 10^{-2}$ ।

[ঢা. বো. ২০১৬]

(ক) উদ্দীপকের AB দ্রবণটি 20°C এ সম্পৃক্ত হলে, তখন AB এর দ্রাব্যতা গুণফল কত?

(খ) উদ্দীপকের উভয় দ্রবণকে মিশ্রিত করলে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা, তা কারণসহ বিশ্লেষণ করো।

[সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৯ দেখো।]

[উঃ $K_{sp} = 0.09$; AQ এর $K_{ip} = 7.5 \times 10^{-3}$ যা এর K_{sp} এর মান 3.5×10^{-4} থেকে বেশি; তাই AQ এর অধঃক্ষেপ পড়বে। PB এর K_{ip} এর মান 7.5×10^{-3} যা এর K_{sp} এর মান 2.5×10^{-2} থেকে কম; তাই PB এর অধঃক্ষেপ পড়বে না।]

সমস্যা-২.৫৩(ক) : 25°C এ 25 mL 0.02M $AgNO_3$ দ্রবণে 50 mL 0.04M HCl দ্রবণ যোগ করা হলো। AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল 1.8×10^{-10} হলে ঐ মিশ্রণে AgCl এর অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা তা গাণিতিক হারে মূল্যায়ন করো। [উঃ $K_{ip} = 1.78 \times 10^{-4}$। তাই অধঃক্ষেপ পড়বে।]

সমস্যা-২.৫৩(খ) : 25°C তাপমাত্রায় 1.0 L 1.2×10^{-6} M Na_2CO_3 এর দ্রবণে 200 mL 1.0×10^{-6} M $BaCl_2$ দ্রবণ মিশানো হলো। এতে $BaCO_3$ এর অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা গাণিতিকভাবে তা বিশ্লেষণ করো। এক্ষেত্রে $BaCO_3$ এর $K_{sp} = 8.1 \times 10^{-9}$। [উঃ $K_{ip} = 1.67 \times 10^{-13}$ যা K_{sp} এর মান থেকে কম। তাই $BaCO_3$ অধঃক্ষিপ্ত হবে না।]

সমস্যা-২.৫৪(ক) : 5 mL 0.5M AB লবণের দ্রবণে 0.5 mL 0.1M XY লবণের দ্রবণ যোগ করা হলো। AY_2 উৎপাদ যৌগের $K_{sp} = 1.85 \times 10^{-8}$ হলে মিশ্রণে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা গাণিতিকভাবে তা ব্যাখ্যা করো।

[উঃ $K_{ip} = 3.677 \times 10^{-5}$ যা K_{sp} এর মান থেকে বেশি। তাই AY_2 অধঃক্ষিপ্ত হবে]

সমস্যা-২.৫৪(খ) : 15 mL 5×10^{-5} M ঘনমাত্রার MN_2 লবণের দ্রবণে 10 mL 0.1M XY লবণের দ্রবণ যোগ করা হলো। MY_2 এর $K_{sp} = 1.85 \times 10^{-8}$ হলে মিশ্রণে MY_2 এর অধঃক্ষেপ পড়বে কী? গাণিতিকভাবে তা বিশ্লেষণ করো। 20°C এ MN_2 এর দ্রাব্যতা 0.0002 $molL^{-1}$ হলে MN_2 লবণটির দ্রাব্যতা গুণফল কত?

[সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬০ দেখো।] [অভিন্ন প্রশ্ন (ক-সেট) ২০১৮]

[উঃ MY_2 এর $K_{ip} = 4.8 \times 10^{-2}$ যা K_{sp} থেকে বেশি; তাই অধঃক্ষেপ পড়বে। MN_2 এর $K_{sp} = 3.2 \times 10^{-11}$]

সমস্যা-২.৫৪(গ) : 50 mL 6×10^{-4} M $ZnSO_4$ দ্রবণে 40 mL 0.05 M NaOH দ্রবণ যোগ করা হলো। $Zn(OH)_2$ এর দ্রাব্যতা গুণফল $K_{sp} = 1 \times 10^{-17}$ হলে মিশ্রণে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে কি? এক্ষেত্রে $Zn(OH)_2$ এর দ্রাব্যতা কত হবে? [সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৮ দেখো।] [কু. বো. ২০১৬; অভিন্ন প্রশ্ন (খ-সেট) ২০১৮]

[উঃ $Zn(OH)_2$ এর $K_{ip} = 1.643 \times 10^{-7}$ যা এর K_{sp} থেকে বেশি; তাই অধঃক্ষেপ পড়বে। এক্ষেত্রে $Zn(OH)_2$ এর দ্রাব্যতা 1.357 × 10^{-6} $molL^{-1}$]

সমস্যা-২.৫৪(ঘ) : উদ্দীপকের ১ম পাত্রে 50 mL 0.5 M PQ দ্রবণ আছে। ২য় পাত্রে 50 mL 0.1 M XY দ্রবণ আছে। এক্ষেত্রে PY_2 এর $K_{sp} = 1.85 \times 10^{-8}$ । [সি. বো. ২০১৭]

(১) উদ্দীপকের ১ম ও ২য় পাত্রের মিশ্রিত দ্রবণে P^{2+} আয়নের মোলার ঘনমাত্রা নির্ণয় করো। (উঃ $[P^{2+}] = 0.25$ M)

(২) উদ্দীপকের ১ম ও ২য় পাত্রের মিশ্রিত দ্রবণে PY_2 অধঃক্ষিপ্ত হবে কীনা, তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

[উঃ $K_{ip} = 6.25 \times 10^{-4}$, $K_{ip} > K_{sp}$; তাই PY_2 অধঃক্ষিপ্ত হবে।]

সমস্যা-২.৫৪(ঙ) : 27°C-এ A পাত্রে 20 mL 0.07 M RNO_3 দ্রবণ এবং 'B' পাত্রে 16 mL 0.1 M QCl দ্রবণ আছে। দেয়া আছে, 27°C-এ RNO_3 এর দ্রাব্যতা $= 2.2 \times 10^{-3}$ mol L^{-1} এবং RCl এর দ্রাব্যতা গুণফল $K_{sp} = 4.8 \times 10^{-6}$ হয়। [ঢা. বো. ২০১৯]

(১) 'A' পাত্রে থাকা RNO_3 এর দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় করো। [উঃ $K_{sp} = 4.84 \times 10^{-6}$]

(২) 'A' পাত্রের দ্রবণে 'B' পাত্রের দ্রবণ যোগ করলে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা; তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। [উঃ RCl এর $K_{ip} = 1.7227 \times 10^{-3}$; তাই অধঃক্ষেপ পড়বে।]

সমস্যা-২.৫৪(চ) : 25°C-এ ১ম পাত্রে 75 mL 3.5×10^{-2} M A_3B_2 দ্রবণ এবং ২য় পাত্রে 125 mL 3×10^{-3} M XY_2 এর দ্রবণ আছে; 25°C-এ AY_2 এর $K_{sp} = 9.148 \times 10^{-7}$। [দি. বো. ২০১৯]

(১) উদ্দীপকের ১ম পাত্র ও ২য় পাত্রের মিশ্রিত দ্রবণে B^{3-} আয়নের ঘনমাত্রা গণনা করো। [উঃ 2.625×10^{-2} M]

(২) উদ্দীপকের ১ম পাত্র ও ২য় পাত্রের মিশ্রিত দ্রবণে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা; তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

[দ্রষ্টব্য : সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬১] [উঃ K_{ip} $(5.537 \times 10^{-7}) < K_{sp}$; তাই অধঃক্ষেপ পড়বে না]

সমস্যা-২.৫৪(ছ) : ১ম পাত্রে AgCl এর সম্পৃক্ত দ্রবণ আছে। এক্ষেত্রে AgCl এর $K_{sp} = 1.8 \times 10^{-10}$। ২য় পাত্রে KCl এর 100 mL 0.02 M দ্রবণ এবং ৩য় পাত্রে $AgNO_3$ এর 100 mL 0.01 M দ্রবণ আছে।

[রা. বো. ২০২১; য. বো. ২০২১]

(১) ১ম পাত্রের দ্রবণে ক্লোরাইড (Cl^-) আয়নের ঘনমাত্রা নির্ণয় করো। [উঃ 1.3416×10^{-5} M]

(২) ২য় পাত্র ও ৩য় পাত্রের দ্রবণকে একত্রে মিশ্রিত করলে অধঃক্ষেপ পড়বে কি-না গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

[উঃ $K_{ip} = (5 \times 10^{-5}) > K_{sp}$; তাই অধঃক্ষেপ পড়বে।]

[দ্রষ্টব্য : সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫৭ দেখো।]

সমস্যা-২.৫৪(জ) : 25°C-এ 'M' পাত্রে 60 mL 2×10^{-4} M AX_2 দ্রবণ (সম্পৃক্ত) এবং 'N' পাত্রে 40 mL 2×10^{-5} M B_2SO_4 দ্রবণ আছে। 25°C-এ ASO_4 এর $K_{sp} = 2 \times 10^{-10}$। [মাদ্রাসা বো. ২০১৯]

(১) উদ্দীপকের 'M' পাত্রের দ্রবণে দ্রবের দ্রাব্যতা-গুণফল নির্ণয় করো। [উঃ 3.2×10^{-11}]

(২) উদ্দীপকের উভয় দ্রবণ মিশ্রিত করলে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা; তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

[উঃ K_{ip} $(9.6 \times 10^{-10}) > K_{sp}$; তাই অধঃক্ষেপ পড়বে]

২.১২.১ দ্রাব্যতার ওপর সম-আয়ন প্রভাব (Common Ion Effect on Solubility)

RMDAC

কোনো দ্রবণে দুটি তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের বিয়োজনের ফলে কোনো একটি নির্দিষ্ট আয়ন যদি উভয় পদার্থ হতে উৎপন্ন হয়ে থাকে, তবে ঐ আয়নটিকে ঐ দ্রবণে **'সম-আয়ন'** (common ion) বলা হয়। সম-আয়নবিশিষ্ট দুটি তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ যখন একই দ্রবণে দ্রবীভূত থাকে, তখন উভয়ের বিয়োজনমাত্রা তথা দ্রাব্যতা সাধারণত হ্রাস পায়। তবে বিশেষত উভয়ের মধ্যে মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থটির বিয়োজন-মাত্রা অর্থাৎ দ্রাব্যতা যথেষ্ট কমে যায়, তাকে দ্রাব্যতার ওপর **'সম-আয়ন প্রভাব'** বলে। মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য যৌগটির দ্রাব্যতা-গুণফল (K_{sp}) এর স্থির সংখ্যামানটি অপরিবর্তিত রাখার জন্য এরূপ ঘটে। যেমন NH_4OH-এর দ্রবণে তা নিম্নরূপে বিয়োজিত হয় :

$$NH_4OH \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-; \quad \therefore K = \frac{[NH_4^+] \times [OH^-]}{[NH_4OH]}$$

এখন ঐ দ্রবণে অপর তড়িৎ-বিশ্লেষ্য NH_4Cl যোগ করার ফলে তা বিয়োজিত হয়ে [$NH_4Cl \longrightarrow NH_4^+ + Cl^-$] ঐ দ্রবণে NH_4^+ আয়নের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি করে। যদি ঐ বৃদ্ধির পরিমাণ হয় x তখন, $\frac{\{[NH_4^+] + x\} \times [OH^-]}{[NH_4OH]} > K$

ফলে পূর্বের সাম্যাবস্থা নষ্ট হয়। পূর্বের সাম্যাবস্থা বজায় রাখতে হলে $\{[NH_4^+] + x\}$ এবং $[OH^-]$-এর গুণফলের পরিমাণ কমাতে হবে অথবা $[NH_4OH]$-এর পরিমাণ বাড়াতে হবে। তা সম্ভব করতে হলে, কিছু NH_4^+ আয়নের সাথে OH^- আয়ন যুক্ত হয়ে NH_4OH অণু গঠন করতে হয়। ফলে NH_4OH-এর আগের বিয়োজন পরিমাণ কমে যায় এবং দ্রবণে OH^- আয়নের ঘনমাত্রাও কমে যায়। অর্থাৎ **NH_4OH এর দ্রাব্যতা হ্রাস পায়।**

বাফার দ্রবণে সম-আয়ন প্রভাব সুস্পষ্টভাবে বোঝা যাবে।

ক্যাটায়ন বিশ্লেষণে 'সম-আয়ন প্রভাব' প্রয়োগ :

* দুটি তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মিশ্র দ্রবণে 'সম-আয়ন প্রভাব' এর ফলে মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের দ্রাব্যতা হ্রাস পায়—

(i) NH_4Cl এর দ্রবণে NH_4OH এর বিয়োজন-মাত্রা ও দ্রাব্যতার পরিমাণ, বিশুদ্ধ পানিতে NH_4OH এর বিয়োজন ও দ্রাব্যতার পরিমাণের চেয়ে কম হয়।

(ii) AgCl এর সম্পৃক্ত দ্রবণে তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্য NaCl এর দ্রবণ যোগ করলে AgCl এর দ্রাব্যতা হ্রাস পেয়ে AgCl এর অধঃক্ষেপ পড়ে।

(iii) NaCl এর সম্পৃক্ত দ্রবণে তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্য HCl এসিড দ্রবণ যোগ করলে NaCl এর দ্রাব্যতা হ্রাস পেয়ে NaCl কেলাসিত হয়।

** দুটি ক্যাটায়নের মিশ্র দ্রবণে নির্দিষ্ট একটি ক্যাটায়নকে অধঃক্ষেপণ দ্বারা পৃথক করতে 'সম-আয়ন প্রভাব' প্রয়োগ করে উভয় ক্যাটায়নের প্রয়োজনীয় বিকারকের মোলার ঘনমাত্রা নিয়ন্ত্রণ করা হয়। যেমন—

(i) Cu^{2+} ও Zn^{2+} আয়নের যৌগ CuS ও ZnS হলো স্বল্প দ্রবণীয়; 25°C-এ CuS ও ZnS এর K_{sp} হলো যথাক্রমে 4.0×10^{-38} ও 1.2×10^{-23}। তাই ম্যাক্রো বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে Cu^{2+} ও Zn^{2+} আয়নের মিশ্র দ্রবণে লঘু HCl যোগ করে শেষে মূল বিকারক H_2S গ্যাস চালনা করা হয়। HCl এসিড ও H_2S এসিড উভয়ের সম-আয়ন যেমন H^+ আয়নের প্রভাবে H_2S এর বিয়োজন হ্রাস পেয়ে খুব কম সালফাইড (S^{2-}) আয়ন উৎপন্ন হয়। DAT-(20-21)

$$HCl\,(aq) \longrightarrow H^+(aq) + Cl^-(aq)$$

$$H_2S\,(aq) \rightleftharpoons 2H^+(aq) + \boxed{S^{2-}(aq)}$$ [বিয়োজন পশ্চাৎমুখী হয়]

তখন ঐ কম ঘনমাত্রার S^{2-} আয়ন ও Cu^{2+} আয়নের 'আয়নিক-গুণফল' K_{ip} এর মান CuS এর K_{sp} (4.0×10^{-38}) এর মানকে অতিক্রম করে; তাই কালো CuS অধঃক্ষিপ্ত হয়। কিন্তু ঐ অবস্থায় ZnS এর $K_{ip} < K_{sp}$ থাকায়, ZnS দ্রবণে থাকে; অধঃক্ষিপ্ত হয় না।

(ii) অনুরূপভাবে, $Al(OH)_3$ ও $Zn(OH)_2$ এর 25°C এ K_{sp} হলো যথাক্রমে 3.7×10^{-15} ও 1.8×10^{-11} অর্থাৎ $Al(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল কম। তাই Al^{3+} আয়ন ও Zn^{2+} আয়নের মিশ্র দ্রবণে NH_4Cl দ্রবণ যোগ করে শেষে মূল বিকারক NH_4OH দ্রবণ যোগ করা হয়। এক্ষেত্রে 'সম-আয়ন' NH_4^+ আয়নের প্রভাবে NH_4OH এর বিয়োজন হ্রাস পায়।

$$NH_4Cl\,(aq) \longrightarrow NH_4^+(aq) + Cl^-(aq)$$

$$NH_4OH\,(aq) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + \boxed{OH^-(aq)}$$ [বিয়োজন পশ্চাৎমুখী হয়]

তখন ঐ কম ঘনমাত্রার OH^- আয়ন ও Al^{3+} আয়নের 'আয়নিক-গুণফল' K_{ip} এর মান $Al(OH)_3$ এর K_{sp}(3.7×10^{-15}) এর মানকে অতিক্রম করে; তাই $Al(OH)_3$ এর সাদা জেলির মতো অধঃক্ষেপ পড়ে। কিন্তু ঐ কম ঘনমাত্রার OH^- আয়ন ও Zn^{2+} আয়নের $K_{ip} < K_{sp}$ থাকে; তাই $Zn(OH)_2$ দ্রবণে থাকে; অধঃক্ষিপ্ত হয় না।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬২ : 25°C-এ 0.1M NH_4OH এর বিয়োজন ধ্রুবক $K_b = 1.8 \times 10^{-5}$। (i) 0.1M NH_4OH দ্রবণে OH^- আয়নের ঘনমাত্রা কত? (ii) 0.1M NH_4OH দ্রবণে 0.5M NH_4Cl দ্রবণ যোগ করলে তখন OH^- আয়নের ঘনমাত্রা কত হবে? (iii) সাধারণ আয়নের প্রভাবে OH^- আয়নের ঘনমাত্রা হ্রাসের পরিমাণ কত হবে?

দক্ষতা : প্রথমে জলীয় দ্রবণে দুর্বল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য NH_4OH এর বিয়োজন পরিমাণ α থেকে $[OH^-]$ বা $[NH_4^+]$ এর αC গণনা করা হবে। পরে NH_4Cl এর $[NH_4^+]$ এর মান যোগ করে NH_4OH এর হ্রাসপ্রাপ্ত বিয়োজন পরিমাণ α' গণনা করা হবে।

সমাধান : (i) NH_4OH এর প্রাথমিক মোলার ঘনমাত্রা C ধরে এর α অংশ জলীয় দ্রবণে নিম্নরূপে বিয়োজিত হয় :

$$NH_4OH\,(aq) \rightleftharpoons NH_4^+\,(aq) + OH^-\,(aq) \quad \ldots \quad (1)$$
$$(1-\alpha)C \qquad\qquad \alpha C \qquad\qquad \alpha C$$

$\therefore K_b = \dfrac{[NH_4^+] \times [OH^-]}{[NH_4OH]}$; এক্ষেত্রে $K_b = 1.8 \times 10^{-5}$; $C = 0.1$; $[NH_4^+] = [OH^-] = \alpha C$;

আবার $[NH_4OH] = (1-\alpha)C = C$; যেহেতু α এর মান 1 এর তুলনায় খুব ছোটো; তাই নগণ্য।

$\therefore 1.8 \times 10^{-5} = \dfrac{\alpha C \times \alpha C}{(1-\alpha)C} = \dfrac{\alpha^2 C^2}{C} = \alpha^2 C$; বা, $\alpha^2 = \dfrac{1.8 \times 10^{-5}}{C} = \dfrac{1.8 \times 10^{-5}}{0.1}$

বা, $\alpha^2 = 1.8 \times 10^{-4}$; বা, $\alpha = \sqrt{1.8 \times 10^{-4}} = 1.34 \times 10^{-2}$

$\therefore [OH^-] = [NH_4^+] = \alpha C = 1.34 \times 10^{-2} \times 0.1 = \boxed{1.34 \times 10^{-3}}$

$\therefore$ 0.1M NH_4OH দ্রবণে OH^- আয়নের ঘনমাত্রা $= 1.34 \times 10^{-3}$ M

(ii) তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্য 0.5M NH_4Cl দ্রবণে সম্পূর্ণ বিয়োজিত হয়ে ঐ মিশ্র দ্রবণে 0.5 mol NH_4^+ আয়ন যোগান দেবে। তখন NH_4OH এর K_b এর মান স্থির রাখতে পূর্বের সাম্যাবস্থা (1 নং সমীকরণে) পশ্চাৎমুখী হবে। তখন NH_4OH এর বিয়োজন পরিমাণ হ্রাস পেয়ে α' হবে। যেমন—

$$NH_4OH\,(aq) \rightleftharpoons NH_4^+\,(aq) + OH^-\,(aq)$$
$$(1-\alpha')C \qquad\qquad \alpha'C \qquad\qquad \alpha'C$$

সুতরাং মিশ্র দ্রবণে বৃদ্ধিপ্রাপ্ত $[NH_4^+]$ = (NH_4Cl প্রদত্ত NH_4^+ এর ঘনমাত্রা + NH_4OH প্রদত্ত NH_4^+ এর ঘনমাত্রা)

$= (0.5 + \alpha'C) = 0.5$; যেহেতু $\alpha'C$ খুবই ছোটো; অর্থাৎ নগণ্য

$\therefore K_b = \dfrac{[NH_4^+] \times [OH^-]}{[NH_4OH]}$; $= \dfrac{(0.5 + \alpha'C) \times [OH^-]}{(1-\alpha')C} = \dfrac{0.5 \times [OH^-]}{C}$

বা, $1.8 \times 10^{-5} = \dfrac{0.5 \times [OH^-]}{0.1}$; বা, $[OH^-] = \dfrac{1.8 \times 10^{-5} \times 0.1}{0.5} = \boxed{3.6 \times 10^{-6}}$

$\therefore$ মিশ্র দ্রবণে OH^- আয়নের ঘনমাত্রা হলো $= 3.6 \times 10^{-6}$ M

(iii) সুতরাং OH^- আয়নের ঘনমাত্রা হ্রাস $= (1.34 \times 10^{-3} - 3.6 \times 10^{-6})$

$= (1.34 \times 10^{-3} - 0.0036 \times 10^{-3}) = (1.34 - 0.0036) \times 10^{-3} = 1.3364 \times 10^{-3}$ mol

শতকরা হিসাবে : 0.1 mol NH_4OH জলীয় দ্রবণে বিয়োজিত হয় $= 1.34 \times 10^{-3}$ অংশ

$\therefore$ 100 mol NH_4OH জলীয় দ্রবণে বিয়োজিত হয় $= \dfrac{1.34 \times 10^{-3} \times 100}{0.1} = 1.34$ বা, 1.34%

আবার NH_4Cl মিশ্রিত অবস্থায় 0.1 mol NH_4OH বিয়োজিত হয় = 3.6×10^{-6} অংশ

∴ NH_4Cl মিশ্রিত অবস্থায় 100 mol NH_4OH বিয়োজিত হয় = $\frac{3.6 \times 10^{-6} \times 100}{0.1} = 3.6 \times 10^{-3}$

বা, 0.0036%

উত্তর : (i) OH^- আয়নের প্রাথমিক ঘনমাত্রা = 1.34×10^{-3} M

OH^- আয়নের শেষ ঘনমাত্রা = 3.6×10^{-6} mol L^{-1}

(i) OH^- আয়ন হ্রাসের মোট পরিমাণ = 1.3364×10^{-3} mol L^{-1}

(ii) জলীয় দ্রবণে NH_4OH বিয়োজন পরিমাণ = 1.34% এবং NH_4Cl মিশ্রিত অবস্থায় বিয়োজন পরিমাণ 0.0036%

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬৩ : 25°C তাপমাত্রায় স্বল্প দ্রবণীয় AB লবণের পানিতে দ্রাব্যতা হলো S mol L^{-1}। x mol L^{-1} ঘনমাত্রার তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্য AQ লবণের দ্রবণে ঐ AB লবণের S mol গুঁড়া যোগ করা হলো। ফলে AB এর দ্রাব্যতার কীরূপ পরিবর্তন ঘটবে তার সাধারণ সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করো।

দক্ষতা : স্বল্প দ্রবণীয় AB লবণের গুঁড়া সবল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য AQ লবণের দ্রবণে যোগ করায় উভয় লবণ থেকে দ্রবণে 'সম-আয়ন' A^+ যোগ হওয়ায় AB এর দ্রাব্যতা হ্রাস পাবে।

সমাধান : 25°C এ স্বল্প দ্রবণীয় AB লবণটি এর সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণে নিম্নরূপ সাম্যাবস্থায় থাকে :

$$AB(aq) \rightleftharpoons A^+(aq) + B^-(aq)$$

AB লবণের দ্রাব্যতা S mol L^{-1} হওয়ায় 25°C তাপমাত্রায় AB লবণের দ্রাব্যতা গুণফল হবে,

$$K_{sp} = [A^+] \times [B^-] = S \times S = S^2 \quad \ldots \quad (1)$$

ধরা যাক, x mol L^{-1} ঘনমাত্রার তীব্র তড়িৎ-বিশ্লেষ্য AQ লবণের দ্রবণে AB এর S mol গুঁড়া সবটা যোগ করা হলো। ফলে AQ ও AB এর মধ্যে A^+ আয়নটি সম-আয়ন হওয়ায়, 'সম-আয়নের প্রভাবে' স্বল্প দ্রবণীয় বা, দুর্বল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য AB লবণের দ্রাব্যতা হ্রাস পায়। ধরা যাক, তখন AB এর হ্রাসপ্রাপ্ত দ্রাব্যতা হলো S_1 mol L^{-1} হয়। AQ তীব্র তড়িৎ বিশ্লেষ্য হওয়ায় এটি শতভাগ আয়নিত বা বিয়োজিত হয়ে মিশ্র দ্রবণ x mol A^+ আয়ন যোগান দেবে। তখন মিশ্র দ্রবণে A^+ আয়নের মোট ঘনমাত্রা হবে = $(S_1 + x)$ mol L^{-1} এবং B^- আয়নের ঘনমাত্রা হবে S_1 mol L^{-1}। যেহেতু নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় স্বল্প দ্রবণীয় AB লবণের দ্রাব্যতা গুণফল, (K_{sp}) এর মান ধ্রুব থাকে; তাই এ মিশ্র দ্রবণেও AB লবণের দ্রাব্যতা গুণফল হবে :

$$K_{sp} = [A^+] \times [B^-] = (S_1 + x) \times S_1 \ldots \quad (2)$$

এখন সমীকরণ (1) ও (2) নং হতে পাই, $K_{sp} = S^2 = (S_1 + x) \times S_1$

এটিই হলো 'সম-আয়ন প্রভাব'যুক্ত স্বল্প দ্রবণীয় AB লবণের বেলায় অধিক দ্রবণীয় AQ এর দ্রবণে AB এর দ্রাব্যতা হ্রাস সম্পর্কীয় সমীকরণ।

এক্ষেত্রে, S = স্বল্প দ্রবণীয় AB লবণের পানিতে দ্রাব্যতা (নির্দিষ্ট তাপমাত্রায়),

S_1 = x mol L^{-1} অধিক দ্রবণীয় AQ লবণের দ্রবণে ঐ স্বল্প দ্রবণীয় AB লবণের হ্রাসপ্রাপ্ত দ্রাব্যতা,

x = অধিক দ্রবণীয় AQ লবণের সম-আয়নটির মোলার ঘনমাত্রা।

* উল্লেখ্য এক্ষেত্রে AB লবণ ও AQ লবণ উভয়ের মধ্যে যেকোনো একটির সম্পৃক্ত mol L^{-1} দ্রবণে অপরটির mol L^{-1} গুঁড়া হিসেবে মিশ্রিত করা হয়। এর ফলে মিশ্রিত দ্রবণের আয়তন এক লিটার থাকে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬৪ : 25°C তাপমাত্রায় AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = 1.7 \times 10^{-10}$। ঐ AgCl এর সম্পৃক্ত এক লিটার দ্রবণে 0.1 mol NaCl যোগ করা হলো। (ক) 25°C তাপমাত্রায় পানিতে AgCl এর দ্রাব্যতা ও (খ) মিশ্র দ্রবণে AgCl এর হ্রাসপ্রাপ্ত দ্রাব্যতা নির্ণয় করো।

দক্ষতা : প্রথমে দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতা-গুণফল-এর সম্পর্ক এবং শেষে সম-আয়ন প্রভাবযুক্ত সমীকরণ ব্যবহৃত হবে।

MCQ-2.37 : A_2B_3 এর দ্রাব্যতা S হলে এর K_{sp} কোনটি? [মা. বো. ২০১৮]
(ক) $8s^3$ (খ) $16s^4$ (গ) $108s^5$ (ঘ) $216s^6$

সমাধান : (ক) 25°C এ AgCl এর দ্রাব্যতা নির্ণয় :

ধরা যাক, 25°C এ পানিতে AgCl এর দ্রাব্যতা হলো S mol L^{-1}

AgCl এর সম্পৃক্ত দ্রবণে AgCl নিম্নরূপ সাম্যাবস্থায় থাকে :

$$\underset{S\ mol}{AgCl\ (aq)} \rightleftharpoons \underset{S\ mol}{Ag^+(aq)} + \underset{S\ mol}{Cl^-(aq)}$$ [দুর্বল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য]

উপরোক্ত সমীকরণ মতে, S mol AgCl হতে S mol Ag^+ আয়ন ও S mol Cl^- আয়ন তৈরি হয়। তাই, $[Ag^+] = S$ এবং $[Cl^-] = S$ হয়।

$\therefore$ AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [Ag^+] \times [Cl^-] = S \times S = S^2$

$\therefore$ প্রশ্নমতে, $S^2 = 1.7 \times 10^{-10}$; or, $S = \sqrt{1.7 \times 10^{-10}} = 1.3 \times 10^{-5}$

$\therefore$ 25°C তাপমাত্রায় পানিতে AgCl এর দ্রাব্যতা, $\boxed{S = 1.3 \times 10^{-5}\ mol\ L^{-1}}$ **(উত্তর)**

সমাধান : (খ) মিশ্র দ্রবণে AgCl এর হ্রাসপ্রাপ্ত দ্রাব্যতা নির্ণয় :

ধরা যাক, 0.1 mol NaCl এর গুঁড়া মিশ্রিত এক লিটার সম্পৃক্ত AgCl এর দ্রবণে হ্রাসপ্রাপ্ত দ্রাব্যতা হলো S_1 mol L^{-1}.

উভয় লবণের বিয়োজন নিম্নরূপ :

$$AgCl\ (aq) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + \boxed{Cl^-(aq)}$$ [দুর্বল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য]

$$NaCl\ (aq) \longrightarrow Na^+(aq) + \boxed{Cl^-(aq)}$$ [সবল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য]

সম-আয়ন

উপরোক্ত উভয় সমীকরণ মতে, Cl^- আয়ন হলো 'সম-আয়ন'; তাই Ag^+ আয়নের ঘনমাত্রা = S_1 mol L^{-1} এবং Cl^- আয়নের ঘনমাত্রা = $(S_1 + 0.1)$ mol L^{-1} হয়।

$\therefore$ মিশ্র দ্রবণে AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [Ag^+] \times [Cl^-]$

এ সমীকরণে, $K_{sp} = 1.7 \times 10^{-10}$ এবং $[Ag^+] = S_1$ mol L^{-1} ও $[Cl^{-1}] = (S_1 + 0.1)$ mol L^{-1} মান বসিয়ে পাই,

$1.7 \times 10^{-10} = S_1 \times (S_1 + 0.1)$; বা, $S_1^2 + 0.1S_1 = 1.7 \times 10^{-10}$

S_1 এর মান খুব ছোটো হওয়ায় S_1^2 এর মান আরো নগণ্য হয়ে পড়ে। তাই S_1^2 বাদ দিয়ে সহজ গণনার জন্য পাই,

$0.1S_1 = 1.7 \times 10^{-10}$; বা, $S_1 = \frac{1.7 \times 10^{-10}}{0.1} = 1.7 \times 10^{-9}$

$\therefore$ 25°C তাপমাত্রায়, AgCl এর হ্রাস প্রাপ্ত দ্রাব্যতা, $\boxed{S_1 = 1.7 \times 10^{-9}\ mol\ L^{-1}}$ **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬৫ : 25°C তাপমাত্রায় একটি বিকারে AI_2 লবণের সম্পৃক্ত দ্রবণ আছে। ঐ দ্রবণে 0.1 mol সবল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য ACl_2 লবণের গুঁড়া যোগ করা হলো। AI_2 এর $K_{sp} = 6.3 \times 10^{-6}$।

(i) 25°C-এ পানিতে AI_2 এর দ্রাব্যতা গণনা করো।

(ii) মিশ্র দ্রবণে AI_2 এর দ্রাব্যতার কোনো পরিবর্তন হবে কীনা, তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

দক্ষতা : প্রথমে দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতার গুণফলের সম্পর্ক সমীকরণ এবং শেষে সম-আয়ন প্রভাবযুক্ত সমীকরণ ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : (i) 25°C-এ AI_2 লবণের পানিতে দ্রাব্যতা গণনা :

ধরা যাক, 25°C-এ পানিতে AI_2 লবণের দ্রাব্যতা হলো S $mol\ L^{-1}$

AI_2 লবণের সম্পৃক্ত দ্রবণে নিম্নরূপ সাম্যাবস্থা থাকে :

$$\underset{S\ mol}{AI_2(aq)} \rightleftharpoons \underset{S\ mol}{A^{2+}(aq)} + \underset{2S\ mol}{2I^-(aq)}$$ [দুর্বল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য]

উপরোক্ত সমীকরণ মতে, S mol AI_2 দ্রবণে বিয়োজিত হয়ে S mol A^{2+} আয়ন এবং 2 S mol I^- আয়ন তৈরি করে। তাই $[A^{2+}] = S$ এবং $[I^-] = 2S$ হয়।

$\therefore AI_2$ এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [A^{2+}] \times [I^-]^2 = S \times (2S)^2 = 4S^3$

প্রশ্নমতে, $4S^3 = 6.3 \times 10^{-6}$; বা, $S^3 = \dfrac{6.3 \times 10^{-6}}{4} = 1.575 \times 10^{-6}$

$\therefore S = \sqrt[3]{1.575 \times 10^{-6}} = 1.1635 \times 10^{-2}\ mol\ L^{-1}$. **(উত্তর)**

সমাধান : (ii) মিশ্র সম্পৃক্ত দ্রবণে AI_2 এর দ্রাব্যতা-গুণফল গণনা :

ধরা যাক, 0.1 mol ACI_2 মিশ্রিত দ্রবণে AI_2 এর পরিবর্তিত দ্রাব্যতা হলো $S_1\ mol\ L^{-1}$।

পানিতে উভয় লবণের বিয়োজন নিম্নরূপ :

$$AI_2(aq) \rightleftharpoons \boxed{A^{2+}(aq)} + 2I^-(aq)$$ [দুর্বল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য]

$$ACl_2(aq) \longrightarrow \boxed{A^{2+}(aq)} + 2Cl^-(aq)$$ [সবল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য]

সম-আয়ন

উপরোক্ত উভয় সমীকরণ মতে, A^{2+} হলো 'সম-আয়ন'; তাই A^{2+} আয়নের ঘনমাত্রা হয় $(S_1 + 0.1)\ mol\ L^{-1}$ এবং I^- আয়নের ঘনমাত্রা হয় $2S_1\ mol\ L^{-1}$.

$\therefore$ মিশ্র দ্রবণে, AI_2 এর $K_{sp} = [A^{2+}] \times [I^-]^2 = (S_1 + 0.1) \times (2S_1)^2$

এ সমীকরণে $K_{sp} = 6.3 \times 10^{-6}$ এবং $[A^{2+}]$ ও $[I^-]$ এর মান বসিয়ে পাই,

$6.3 \times 10^{-6} = 4S_1^2(S_1 + 0.1)$; বা, $6.3 \times 10^{-6} = 4S_1^3 + 0.4\ S_1^2$

বা, $0.4\ S_1^2 = 6.3 \times 10^{-6}$; [$S_1$ এর মান ছোটো হওয়ায় S_1^2 এর তুলনায় S_1^3 এর মান নগণ্য হয়।]

বা, $S_1^2 = \dfrac{6.3 \times 10^{-6}}{0.4} = 15.75 \times 10^{-6}$; বা, $S_1 = \sqrt{15.75 \times 10^{-6}}$

বা, $S_1 = 3.968 \times 10^{-3}\ mol\ L^{-1}$

$\therefore$ 25°C তাপমাত্রায় মিশ্র দ্রবণে AI_2 এর দ্রাব্যতা হয় $3.968 \times 10^{-3}\ mol\ L^{-1}$; যা, পূর্বের পানিতে AI_2 এর দ্রাব্যতার মান হতে কম। সুতরাং মিশ্র দ্রবণে সম-আয়নের প্রভাবে AI_2 এর দ্রাব্যতা হ্রাস পেয়েছে। **(উত্তর)**

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬৬ : 25°C তাপমাত্রায় একটি বিকারে SrF_2-এর পানিতে সম্পৃক্ত এক লিটার দ্রবণ আছে। SrF_2 এর দ্রাব্যতা গুণফল হলো 8.0×10^{-10}. ঐ বিকারের দ্রবণে 0.1 mol NaF গুঁড়া যোগ করা হলো। [দি. বো. ২০১৭]

(ক) 25°C তাপমাত্রায় পানিতে SrF_2 এর দ্রাব্যতা গণনা করো।

(খ) পানিতে SrF_2 এর দ্রাব্যতা ও 0.1 mol NaF মিশ্রিত মিশ্র দ্রবণে SrF_2 এর দ্রাব্যতা মানের পার্থক্য গণনা করো এবং উভয় অবস্থায় দ্রাব্যতা মানের পার্থক্যের কারণ বিশ্লেষণ করো।

MCQ-2.38 : CaF_2 এর দ্রাব্যতা 0.0002 $molL^{-1}$ হলে এর K_{sp} কত হবে?
[অভিন্ন বোর্ড ২০১৮]

(ক) 2.3×10^{-11} (খ) 3.2×10^{-11}
(গ) 2.3×10^{10} (ঘ) 3.2×10^{-10}

সমাধান : (ক) পানিতে SrF_2 এর দ্রাব্যতা নির্ণয় :

ধরা যাক, 25°C এ SrF_2 এর দ্রাব্যতা হলো S mol L^{-1}।

SrF_2 লবণের সম্পৃক্ত দ্রবণে এটি নিম্নরূপ সাম্যাবস্থা থাকে :

$$\underset{\text{S mol}}{SrF_2(aq)} \rightleftharpoons \underset{\text{S mol}}{Sr^{2+}(aq)} + \underset{\text{2S mol}}{2F^-(aq)}$$

উপরোক্ত সমীকরণ মতে, S mol SrF_2 দ্রবণে বিয়োজিত হয়ে S mol Sr^{2+} আয়ন এবং 2S mol F^- আয়ন তৈরি করে।

∴ পানিতে SrF_2 এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [Sr^{2+}] \times [F^-]^2 = S \times (2S)^2 = 4S^3$

প্রশ্নমতে, $4S^3 = 8.0 \times 10^{-10}$; বা, $S^3 = \frac{8.0 \times 10^{-10}}{4} = 2.0 \times 10^{-10}$

∴ $S = \sqrt[3]{2.0 \times 10^{-10}} = 5.848 \times 10^{-4}$ mol L^{-1} **(উত্তর)**

সমাধান : (খ) 0.1 mol NaF মিশ্রিত এক লিটার সম্পৃক্ত দ্রবণে SrF_2 এর দ্রাব্যতা গণনা :

ধরা যাক, 0.1 mol NaF মিশ্রিত SrF_2 এর সম্পৃক্ত দ্রবণে পরিবর্তিত দ্রাব্যতা হলো S_1 mol L^{-1}।

জলীয় দ্রবণে উভয় লবণের বিয়োজন নিম্নরূপ :

$$SrF_2(aq) \rightleftharpoons Sr^{2+}(aq) + \boxed{2F^-(aq)} \quad \text{[দুর্বল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য]}$$

$$NaF(aq) \longrightarrow Na^+(aq) + \boxed{F^-(aq)} \quad \text{[সবল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য]}$$

সম-আয়ন

উপরোক্ত উভয় সমীকরণ মতে, এখানে F^- আয়ন হলো 'সম-আয়ন';

তাই Sr^{2+} আয়নের ঘনমাত্রা হয় S_1 mol L^{-1} এবং F^- আয়নের ঘনমাত্রা হয় $(2S_1 + 0.1)$ mol L^{-1}।

∴ মিশ্র দ্রবণে, SrF_2 এর $K_{sp} = [Sr^{2+}] \times [F^-]^2 = S_1 \times (2S_1 + 0.1)^2$

∴ $8.0 \times 10^{-10} = S_1(2S_1 + 0.1)^2 = S_1[4S_1^2 + 2 \times 2S_1 \times 0.1 + (0.1)^2]$

বা, $8.0 \times 10^{-10} = 4S_1^3 + 0.4 S_1^2 + 0.01S_1$; এ ক্ষেত্রে S_1 এর মান খুব ছোটো হওয়ায় উচ্চ ঘাতযুক্ত $0.4 S_1^2$ ও $4 S_1^3$ পদ দুটির মান আরো ছোটো ও নগণ্য হয়। তাই $4S_1^3$ ও $0.4S_1^2$ পদ দুটি বাদ দিয়ে সহজভাবে গণনা করা যায়।

বা, $0.01S_1 = 8.0 \times 10^{-10}$ হয়; বা, $S_1 = \frac{8.0 \times 10^{-10}}{0.01} = 8.0 \times 10^{-8}$ mol L^{-1}

ফলাফল বিশ্লেষণ : (i) পানিতে SrF_2 এর দ্রাব্যতা (25°C-এ) = 5.848×10^{-4} mol L^{-1} এবং

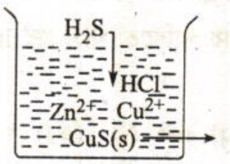
(ii) 0.1 mol NaF মিশ্রিত অবস্থায় SrF_2 এর দ্রাব্যতা = 8.0×10^{-8} mol L^{-1} হয়।

এক্ষেত্রে 0.1 mol NaF মিশ্রিত অবস্থায় সম্পৃক্ত দ্রবণে SrF_2 এর দ্রাব্যতা উল্লেখযোগ্য পরিমাণে হ্রাস পেয়েছে। এর কারণ সবল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য NaF থেকে অধিক F^- আয়ন যোগ হওয়ায় K_{sp} এর মান ধ্রুব রাখার জন্য মিশ্র দ্রবণে সম-আয়ন F^- আয়নের প্রভাবে দুর্বল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য SrF_2 এর বিয়োজন এর সাম্যাবস্থা পশ্চাৎমুখী হয় অর্থাৎ বিয়োজন হ্রাস পায়। এটিকে সম-আয়ন প্রভাব বলে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬৭ : নিম্নোক্ত উদ্দীপক মতে সমস্যা সমাধান করো। [ব. বো. ২০১৭]

(ক) উদ্দীপকের অধঃক্ষিপ্ত যৌগটির দ্রাব্যতা নির্ণয় করো।

(খ) উদ্দীপক দ্রবণে বিদ্যমান ক্যাটায়ন দুটি প্রদত্ত বিকারক সহবিক্রিয়ায় একই সাথে অধঃক্ষেপ সৃষ্টি করে না; — এর যুক্তিসহ বিশ্লেষণ করো।



ZnS এর $K_{sp} = 3 \times 10^{-23}$

CuS এর $K_{sp} = 5 \times 10^{-38}$

অধঃক্ষিপ্ত $t^{\circ}C = 25^{\circ}C$

দ্রষ্টব্য : প্রশ্নের (ক) অংশটি অর্থাৎ CuS এর দ্রাব্যতা নির্ণয় করা যায়; কারণ CuS এর K_{sp} প্রশ্নে দেয়া আছে।

কিন্তু (খ) অংশটি সমাধানের জন্য প্রশ্নটি অসম্পূর্ণ। কারণ প্রশ্নে সালফাইড (S^{2-}) আয়নের ঘনমাত্রা নির্ণয়ের জন্য H_2S এর আয়নীকরণ ধ্রুবক, $K_a = 1.1 \times 10^{-22}$ এবং H_2S এর সম্পৃক্ত দ্রবণের ঘনমাত্রা 0.1M দেয়া নেই এবং HCl এর ঘনমাত্রা 0.3M দেয়া নেই। Zn^{2+} আয়ন ও Cu^{2+} আয়নের ঘনমাত্রা 0.1M দেয়া নেই। ফলে ZnS এর K_{ip} এবং CuS এর K_{ip} গণনা করার সুযোগ নেই।

উপরোক্ত তথ্য যোগ করে প্রশ্নের (খ) অংশটি সমাধান করা হলো।

MCQ-2.39 : সম-আয়ন প্রভাব বিদ্যমান কোনটিতে? [অভিন্ন বোর্ড. ২০১৮]
(ক) H_2S, HCl
(খ) NaCl, CH_3Cl
(গ) CH_4, HCl
(ঘ) $CaCl_2$, C_6H_5Cl

সমাধান (খ) : H_2S এর বিয়োজন নিম্নরূপ (S^{2-} আয়নের ঘনমাত্রা নির্ণয়) :

$H_2S\,(aq) = 2H^+\,(aq) + S^{2-}\,(aq)$; $K_a = 1.1 \times 10^{-22}$; $[H_2S] = 0.1$;

আবার 0.3M HCl দ্রবণে $[H^+] = 0.3$; এসব মান নিচের সমীকরণে বসিয়ে পাই;

$$K_a = \frac{[H^+]^2 \times [S^{2-}]}{[H_2S]} \;;\; \text{বা, } 1.1 \times 10^{-22} = \frac{(0.3)^2 \times [S^{2-}]}{0.1}$$

$$\text{বা, } [S^{2-}] = \frac{1.1 \times 10^{-22} \times 0.1}{(0.3)^2} = \frac{1.1 \times 10^{-23}}{9 \times 10^{-2}} = \boxed{1.222 \times 10^{-22}}$$

(i) প্রশ্নমতে, 0.1M Cu^{2+} আয়নের জন্য, $[Cu^{2+}] = \boxed{0.1}$

∴ CuS এর আয়নিক গুণফল, $K_{ip} = [Cu^{2+}] \times [S^{2-}] = 0.1 \times 1.222 \times 10^{-22} = 1.222 \times 10^{-23}$

প্রশ্নমতে, CuS এর $K_{sp} = 5 \times 10^{-38}$; ∴ CuS এর $K_{ip} > K_{sp}$ হওয়ায় ঐ দ্রবণে CuS অধঃক্ষিপ্ত হয়েছে।

(ii) আবার প্রশ্নমতে, 0.1M Zn^{2+} আয়নের জন্য $[Zn^{2+}] = \boxed{0.1}$

∴ ZnS এর আয়নিক গুণফল, $K_{ip} = [Zn^{2+}] \times [S^{2-}] = 0.1 \times 1.222 \times 10^{-22} = 1.222 \times 10^{-23}$

প্রশ্নমতে, ZnS এর $K_{sp} = 3 \times 10^{-23}$; ∴ ZnS এর $K_{ip} < K_{sp}$ হওয়ায় ঐ মিশ্র দ্রবণে CuS অধঃক্ষিপ্ত হলেও ZnS একই সাথে অধঃক্ষিপ্ত হবে না।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬৮ : CuS ও NiS এর দ্রাব্যতা গুণফল হলো যথাক্রমে 4×10^{-38} এবং 1.5×10^{-24}। একজন ছাত্র Cu^{2+} আয়ন ও Ni^{2+} আয়নের মিশ্র দ্রবণ থেকে একটি আয়নকে অধঃক্ষেপণ প্রক্রিয়া দ্বারা পৃথক করতে ঐ মিশ্র দ্রবণে লঘু HCl যোগ করার পর H_2S গ্যাস চালনা করলো। [য. বো. ২০১৯]

(ক) উদ্দীপক অনুসারে NiS এর দ্রাব্যতা নির্ণয় করো।

(খ) ক্যাটায়ন পৃথকীকরণে উদ্দীপকের ছাত্রটি দ্বারা অনুসৃত নীতিটি পর্যালোচনা করো।

[**প্রশ্ন সম্বন্ধে মতামত :** বায়ুদূষক H_2S গ্যাসকে বিকারকরূপে ব্যবহার করে একাধিক ক্যাটায়নের মিশ্র দ্রবণ থেকে ক্যাটায়ন পৃথকীকরণ বর্তমান সিলেবাস বহির্ভূত এবং উদ্দীপকের ছাত্রটির অধীত সেমিমাইক্রো বিশ্লেষণ পদ্ধতির বিপরীত একটি পুরাতন ধারণা; যা শিক্ষার্থীকে বিভ্রান্ত করে। এরূপ H_2S ব্যবহার করে একটি প্রশ্ন ব. বো. ২০১৭ সালে দেয়া হয়েছিল। সম্মানিত প্রশ্ন প্রণয়নকারী অধ্যাপক মহোদয় ভবিষ্যতে তা বিবেচনায় রাখলে পরীক্ষার্থীরা বিভ্রান্ত হবে না। এজন্য সমস্যাটির সমাধান করা হলো।]

সমাধান : (ক) NiS এর দ্রাব্যতা নির্ণয় :

ধরা যাক, কক্ষতাপমাত্রায় পানিতে NiS এর দ্রাব্যতা হলো S mol L^{-1}। NiS লবণটি এর সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণে নিম্নরূপ সাম্যাবস্থায় থাকে :

$$\underset{\text{S mol}}{NiS\,(aq)} \rightleftharpoons \underset{\text{S mol}}{Ni^{2+}\,(aq)} + \underset{\text{S mol}}{S^{2-}\,(aq)}$$

সমীকরণ মতে, S mol NiS দ্রবণে আয়নিত হয়ে S mol Ni^{2+} আয়ন ও S mol S^{2-} আয়ন তৈরি করে।

$\therefore$ পানিতে NiS এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [Ni^{2+}] \times [S^{2-}] = S \times S = S^2$

প্রশ্নমতে, $S^2 = 1.5 \times 10^{-24}$; বা, $S = \sqrt{1.5 \times 10^{-24}} = 1.225 \times 10^{-12}$ mol L^{-1}

$\therefore$ NiS এর দ্রাব্যতা (কক্ষতাপমাত্রায়) $= 1.225 \times 10^{-12}$ mol L^{-1} (উঃ)

সমাধান : (খ) উদ্দীপক মতে, ক্যাটায়ন পৃথকীকরণে অনুসৃত নীতি :

এক্ষেত্রে HCl মিশ্রিত অম্লীয় মাধ্যমে H_2S মূল বিকারক যোগ করা হয়েছে।

HCl হলো সবল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য ও H_2S হলো দুর্বল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য এসিড। তাই HCl এসিডের উপস্থিতিতে H_2S এর জলীয় দ্রবণে আয়নীকরণ হ্রাস পায়।

$$HCl\,(aq) \longrightarrow \boxed{H^+} + Cl^- \text{ [সবল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য]}$$

$$H_2S\,(aq) \rightleftharpoons \underset{\text{সমআয়ন}}{\boxed{2H^+}} + S^{2-} \text{ [দুর্বল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য]}$$

সমআয়নের প্রভাবে দ্রবণে সালফাইড আয়ন (S^{2-}) এর ঘনমাত্রা কমে যায়। তখন মিশ্র দ্রবণে থাকা Cu^{2+} ও Ni^{2+} ঐ কম পরিমাণ সালফাইড আয়ন (S^{2-}) এর সাথে বিক্রিয়া করে CuS ও NiS গঠন করে।

এক্ষেত্রে S^{2-} আয়নের মোলার ঘনমাত্রা কত হয়েছে তা প্রশ্নমতে গণনা করার সুযোগ নেই। তাই উভয় ক্ষেত্রে K_{ip} নির্ণয় করা হয়নি।

উদ্দীপকে প্রদত্ত উভয় সালফাইডের দ্রাব্যতা গুণফলের মান থেকে বোঝা যায় NiS এর দ্রাব্যতা বেশি; যেহেতু NiS এর $K_{sp} = 1.5 \times 10^{-24}$। কিন্তু CuS এর দ্রাব্যতা কম; যেহেতু CuS এর $K_{sp} = 4 \times 10^{-38}$। তাই মিশ্র দ্রবণে উৎপন্ন CuS এর দ্রাব্যতা কম হওয়ায় কালো অধঃক্ষেপরূপে CuS পৃথক হয়ে পড়ে। কিন্তু NiS এর দ্রাব্যতা বেশি হওয়ায় তখন কম ঘনমাত্রার সালফাইড আয়ন সহযোগে উৎপন্ন NiS দ্রবীভূত অবস্থায় দ্রবণে থেকে যায়।

$$Cu^{2+}\,(aq) + S^{2-}\,(aq) \longrightarrow CuS\,(s)$$

$$Ni^{2+}\,(aq) + S^{2-}\,(aq) \longrightarrow NiS\,(aq)$$

অনুসৃত নীতি : একাধিক ক্যাটায়নের মিশ্র দ্রবণ থেকে নির্দিষ্ট ক্যাটায়ন পৃথকীকরণে অনুসৃত নীতির সফলতার মূলে রয়েছে নিম্নোক্ত দুটি বিষয়। যেমন,

(i) সমআয়ন প্রভাব প্রয়োগে (যেমন অম্লীয় মাধ্যমে) মূল বিকারক সালফাইড আয়ন (S^{2-}) এর মোলার ঘনমাত্রা হ্রাসকরণ ও

(ii) হ্রাসকৃত ঘনমাত্রার সালফাইড আয়ন বিকারক দ্বারা সৃষ্ট ধাতব সালফাইড যেমন CuS, NiS এর দ্রাব্যতা তথা দ্রাব্যতা গুণফলের মানের পার্থক্য প্রয়োগ করে কম দ্রাব্যতার সালফাইডের অধঃক্ষেপরূপে পৃথকীকরণ।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬৯ : নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [সি. বো. ২০১৯]

প্রতীকী মৌল	যোজ্যতা ইলেকট্রন
X ⟶	$3d^{10}4s^1$
Y ⟶	$3s^2 3p^5$
Z ⟶	$3s^1$

এক্ষেত্রে X ও Y দ্বারা গঠিত বর্ণহীন যৌগ B এর $K_{sp} = 1.75 \times 10^{-5}$ (25°C)

(ক) উদ্দীপক মতে, 25°C এ 'B' এর সম্পৃক্ত দ্রবণে Y^- আয়নের ঘনমাত্রা কত হবে, তা গণনা করো।

(খ) উদ্দীপকের 'B' এর 0.003 M দ্রবণে সমআয়তন 0.004 M ZY যৌগের দ্রবণ যোগ করলে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

সমাধান : (ক) Y^- আয়নের ঘনমাত্রা নির্ণয় :

উদ্দীপক মতে, 'X' মৌল হলো $3d^{10}4s^1$ যোজ্যতা ইলেকট্রনবিশিষ্ট Cu মৌল। 'Y' হলো $3s^2\ 3p^5$ যোজ্যতা ইলেকট্রন বিশিষ্ট Cl মৌল। আবার উদ্দীপক মতে, XY যৌগ বর্ণহীন; তাই এটি $3d^9$ বিশিষ্ট অবস্থান্তর আয়ন Cu^{2+} এর যৌগ হবে না; এটি হবে $3d^{10}$ ইলেকট্রনবিশিষ্ট Cu^+ আয়নের যৌগ CuCl (কিউপ্রাস ক্লোরাইড)। সুতরাং XY যৌগ বা B হলো CuCl; তাই Y^- আয়নটি হলো Cl^- আয়ন।

B যৌগ বা CuCl এর সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণে নিম্নরূপে সাম্যাবস্থায় থাকে :

$$\underset{\text{s mol}}{CuCl\,(aq)} \rightleftharpoons \underset{\text{s mol}}{Cu^+\,(aq)} + \underset{\text{s mol}}{Cl^-\,(aq)}$$

∴ CuCl এর $K_{sp} = [Cu^+] \times [Cl^-] = s \times s = 1.75 \times 10^{-5}$

বা, $s^2 = 1.75 \times 10^{-5}$; $s = \sqrt{1.75 \times 10^{-5}} = 4.183 \times 10^{-3}$

∴ 25°C তাপমাত্রায় 'B' যৌগ বা, CuCl এর সম্পৃক্ত দ্রবণে Cl^- আয়নের ঘনমাত্রা $= 4.183 \times 10^{-3}$ $molL^{-1}$ **(উঃ)**।

সমীকরণ মতে, CuCl এর দ্রাব্যতাও হলো 4.183×10^{-3} $mol\ L^{-1}$

সমাধান : (খ) 'B' ও 'ZY' এর মিশ্র দ্রবণে অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা তা নির্ধারণ :

উদ্দীপক মতে, 'B' হলো CuCl এবং 'ZY' হলো NaCl। উভয় যৌগে ক্লোরাইড আয়ন (Cl^-) সাধারণ আয়ন হওয়ায় উভয় যৌগের জলীয় দ্রবণের মধ্যে দ্বিবিয়োজন বিক্রিয়া বা অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়া ঘটবে না। তবে 25°C এ 'B' যৌগ বা CuCl এর সম্পৃক্ত দ্রবণে Cl^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রা 4.183×10^{-3} হওয়ায়, সমীকরণ মতে 25°C-এ CuCl এর দ্রাব্যতাও হবে 4.183×10^{-3} $molL^{-1}$ = 0.004183 M। কিন্তু উদ্দীপক মতে 0.003 M CuCl এর দ্রবণে 0.004 M ঘনমাত্রার ZY যৌগ বা NaCl এর সম-আয়তন দ্রবণ যোগ করা হয়েছে। সুতরাং প্রদত্ত 0.003 M CuCl এর দ্রবণটি অসম্পৃক্ত দ্রবণ। সাধারণ-আয়ন সহযোগে CuCl এর K_{ip} নির্ণয় করে এর K_{sp} এর মানের সাথে তুলনা করে অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা নিশ্চিত হওয়া যাবে।

মনে করি, 500 mL 0.003 M CuCl এর দ্রবণে 500 mL 0.004 M NaCl দ্রবণ যোগ করা হলো। তাই মিশ্র দ্রবণের আয়তন (500 + 500) mL = 1000 mL হয়েছে। ফলে CuCl দ্রবণের ঘনমাত্রা হ্রাস পেয়ে অর্ধেক বা (0.003 ÷ 2) = 0.0015 M এবং NaCl এর ঘনমাত্রা হ্রাস পেয়ে অর্ধেক বা (0.004 ÷ 2) = 0.002 M হয়েছে।

∴ 1000 mL 0.0015 M CuCl দ্রবণে, $[Cu^+] = [Cl^-] = 0.0015$ M

আবার 1000 mL 0.002 M NaCl দ্রবণে, $[Cl^-] = 0.002$ M

মিশ্র দ্রবণে, $[Cl^-] = (0.0015 + 0.002)$ M = 0.0035 M

∴ মিশ্র দ্রবণে, CuCl এর $K_{ip} = [Cu^+] \times [Cl^-] = (0.0015 \times 0.0035) = 5.25 \times 10^{-6}$

বিশ্লেষণ : প্রদত্ত শর্ত মতে, CuCl এর $K_{sp} = 1.75 \times 10^{-5}$ (25°C), যা নির্ণীত K_{ip} এর মান 5.25×10^{-6} থেকে বড়ো। তাই মিশ্র দ্রবণে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে না।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.১৭ : সম-আয়ন প্রভাবভিত্তিক সমস্যা :

প্রশ্ন-২.২২ (ক) : সম-আয়ন প্রভাব কী? [ঢা. বো. ২০১৬]

(খ) সম-আয়ন প্রভাবের ফলে মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের দ্রাব্যতা হ্রাস পায় কেন? [সি. বো. ২০১৭]

(গ) সম-আয়ন প্রভাবযুক্ত স্বল্প দ্রবণীয় AB লবণের সম্পৃক্ত দ্রবণে অধিক দ্রবণীয় AQ এর x mol গুঁড়া মিশালে AB এর দ্রাব্যতা হ্রাসের সমীকরণ $K_{sp} = S_2 = (S_1 + x)S_1$ প্রতিষ্ঠা করো।

সমস্যা-২.৫৫ (ক) : 25°C তাপমাত্রায়, AgCl এর সম্পৃক্ত দ্রবণে KCl এর দ্রবণ যোগ করা হলো যেন মিশ্রণে ক্লোরাইড আয়নের ঘনমাত্রা 0.05 M হয়। এতে Ag^+ আয়নের ঘনমাত্রা কীরূপ পরিবর্তিত হবে? 25°C-এ AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল $= 1.5 \times 10^{-10}$।

[উঃ জলীয় দ্রবণে, $Ag^+ = 1.2247 \times 10^{-5}$ mol L^{-1}; মিশ্র দ্রবণে, $Ag^+ = 3.0 \times 10^{-9}$ mol L^{-1}।]

সমস্যা-২.৫৫ (খ) : 35°C তাপমাত্রায়, AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল 2.458×10^{-10}। এর সম্পৃক্ত দ্রবণে 0.1 mol NaCl যোগ করলে AgCl এর দ্রাব্যতার কোনো পরিবর্তন হবে কি? কারণসহ তা বিশ্লেষণ করো। [য. বো. ২০১৫]

[উঃ প্রাথমিক দ্রাব্যতা, 1.5678×10^{-5} mol L^{-1},
২য় দ্রাব্যতা $= 2.458 \times 10^{-9}$ mol L^{-1}; দ্রাব্যতা হ্রাস পেয়েছে।]

সমস্যা-২.৫৫ (গ) : 25°C তাপমাত্রায়, $BaSO_4$ এর দ্রাব্যতার গুণফল হলো 1.1×10^{-10}। এর সম্পৃক্ত দ্রবণে 0.1 mol $BaCl_2$ যোগ করা হলো। এতে $BaSO_4$ এর দ্রাব্যতা কত হবে? [উঃ 1.1×10^{-9} mol L^{-1}]

সমস্যা-২.৫৫ (ঘ) : 25°C তাপমাত্রায়, MSO_4 এর দ্রাব্যতা গুণফল হলো 1.8×10^{-12}। এর সম্পৃক্ত দ্রবণে 0.01 mol MCl_2 মিশ্রিত করা হলো। এতে MSO_4 এর দ্রাব্যতার কীরূপ পরিবর্তন ঘটবে তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। [উঃ পানিতে দ্রাব্যতা $= 1.34 \times 10^{-6}$ mol L^{-1}; হ্রাসপ্রাপ্ত দ্রাব্যতা $= 1.8 \times 10^{-10}$ mol L^{-1}]

সমস্যা-২.৫৫ (ঙ) : 25°C তাপমাত্রায়, MI লবণের দ্রাব্যতা গুণফল হলো 2.8×10^{-10}। এর সম্পৃক্ত দ্রবণে 0.05 mol KI যোগ করা হলো। (i) জলীয় দ্রবণে ও (ii) KI দ্রবণ মিশ্রিত অবস্থায় MI লবণের দ্রাব্যতা গণনা করো।

[উঃ (i) 1.673×10^{-5} mol L^{-1}; (ii) 5.6×10^{-9} M]

সমস্যা-২.৫৫ (চ) : 25°C তাপমাত্রায়, $Fe(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল হলো 3.98×10^{-38}। এ সম্পৃক্ত দ্রবণে 0.1 mol NaOH যোগ করা হলে Fe^{3+} আয়নের ঘনমাত্রার কীরূপ পরিবর্তন হবে?

[উঃ (i) প্রাথমিক দ্রাব্যতা $= 1.9594 \times 10^{-10}$M; (ii) মিশ্র দ্রবণে দ্রাব্যতা $= 3.98 \times 10^{-35}$M]

সমস্যা-২.৫৫ (ছ) : 25°C তাপমাত্রায়, এক লিটার দ্রবণে সর্বোচ্চ 1.0×10^{-3} মোল PbI_2 দ্রবীভূত আছে।

(i) এক্ষেত্রে PbI_2 এর দ্রাব্যতা গুণফল কত? (ii) I^- (aq) আয়নের ঘনমাত্রা দ্বিগুণ করলে PbI_2(s) এর সাথে সাম্যাবস্থায় থাকা Pb^{2+}(aq) এর ঘনমাত্রায় কীরূপ প্রভাব পড়বে?

[উঃ (i) $K_{sp} = 4.0 \times 10^{-9}$; (ii) দ্রাব্যতা, $S_1 = \frac{1}{4} \times 10^{-3}$ mol L^{-1};
সুতরাং Pb^{2+} আয়নের মোলারিটি পূর্বের এক-চতুর্থাংশ হবে।]

সমস্যা-২.৫৫ (জ) : 25°C তাপমাত্রায়, $Ca(OH)_2$ এর $K_{sp} = 4.42 \times 10^{-5}$। এ $Ca(OH)_2$ এর 500 mL সম্পৃক্ত দ্রবণে সম-আয়তনের 0.4 M NaOH যোগ করা হলো। এতে $Ca(OH)_2$ এর হ্রাসকৃত দ্রাব্যতা কত এবং কত মিলি গ্রাম $Ca(OH)_2$ অধঃক্ষিপ্ত হবে?

[**দ্রষ্টব্য :** এক্ষেত্রে $Ca(OH)_2$ এর দ্রাব্যতা নির্ণয়ের বেলায় মিশ্রণের আয়তন বৃদ্ধি নগণ্য ধরে এবং NaOH এর ঘনমাত্রা বা mol 0.2 ধরতে হবে।] [উঃ $S_1 = 110.5 \times 10^{-5}$ mol L^{-1}; অধঃক্ষেপ = 783.23 mg]

২.১২.২ আয়নিক যৌগের পানিতে দ্রবণীয়তা
Dissolution of Ionic Compounds in Water

RMDAC

'Like dissolves like'–এ নীতিতে বিভিন্ন যৌগ বিভিন্ন দ্রাবকে দ্রবীভূত হয়। এ নীতির অর্থ হলো আয়নিক যৌগ পোলার দ্রাবকে এবং সমযোজী যৌগ অপোলার দ্রাবকে দ্রবীভূত হয়। আয়নিক যৌগ অপোলার (non-polar) দ্রাবকে অদ্রবণীয় হয়। পোলার যৌগ বলতে এমন যৌগকে বোঝায় যার এক প্রান্তে আংশিক ধনাত্মক এবং অন্য প্রান্তে আংশিক ঋণাত্মক আধানের সৃষ্টি হয়, পানি এরূপ একটি পোলার দ্রাবক। তরল NH_3, নাইট্রিক এসিড, তরল SO_2, তরল HX এসিডসমূহ পোলার দ্রাবক। অপোলার দ্রাবকসমূহের মধ্যে কার্বন টেট্রাক্লোরাইড (CCl_4), বেনজিন (C_6H_6), হেপ্টেন (C_7H_{16}), কেরোসিন, ডিজেল প্রভৃতি উল্লেখযোগ্য।

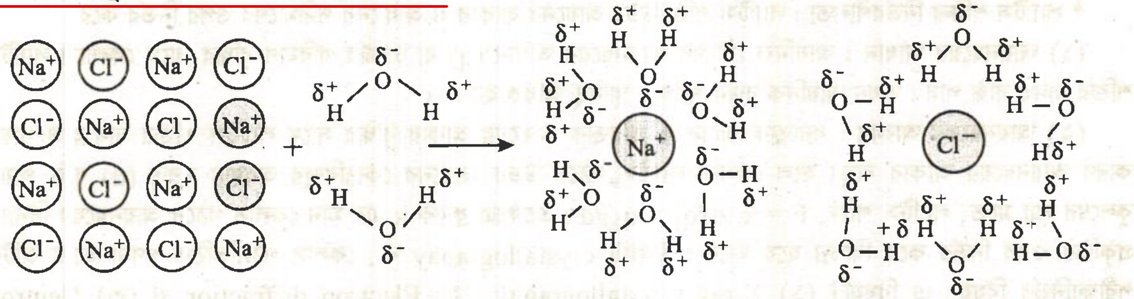
MAT-(19-20)

পোলার দ্রাবক পানিতে আয়নিক যৌগ যেমন NaCl বা গ্রুপ-1 এর ধাতুর হ্যালাইডসমূহ কীভাবে দ্রবীভূত হয় তা ২.২৪ নং চিত্রে দেখানো হয়েছে। পোলার দ্রাবকের যেমন পানি অণুর দু প্রান্তে দুটি মেরু থাকে। আয়নিক যৌগের যেমন, NaCl এর ঘনকাকৃতির কেলাসকে দ্রবীভূত করার সময় পানির ঋণাত্মক মেরু $\overset{+}{Na}\overset{-}{Cl}$ এর ধনাত্মক আয়নের দিকে এবং পানির ধনাত্মক মেরু $\overset{+}{Na}\overset{-}{Cl}$ এর ঋণাত্মক আয়নের দিকে আবর্তিত হয়। ফলে NaCl এর Na^+ আয়ন ও Cl^- আয়নসমূহ পানি অণু দ্বারা আকর্ষিত হয় এবং কেলাস ল্যাটিস থেকে ক্রমশ দ্রবণে চলে আসে। Na^+ ও Cl^- আয়নসমূহ দ্রবণে পুরোপুরি মুক্ত থাকে না। তারা দ্রাবক পানি অণুর সাথে সংযোজিত থাকে (solvated)। NaCl এর ক্ষেত্রে প্রতিটি Na^+ আয়ন ও Cl^- আয়ন ছয়টি করে H_2O এর সাথে সংযোজিত থাকে। সংযোজিত H_2O এর সংখ্যা আয়নের আকারের ওপর নির্ভর করে। যেমন, $Na^+(H_2O)_6.Cl^-(H_2O)_6$, $F^-(H_2O)_4$ ইত্যাদি। জলীয় দ্রবণে আয়নিক যৌগের আয়নসমূহের এরূপে পানি অণু সংযোজিত হওয়ার প্রক্রিয়াকে পানি যোজন বা হাইড্রেশন (Hydration) বলা হয়। পানি-যোজন হলো একটি তাপোৎপাদী প্রক্রিয়া।

হাইড্রেশন শক্তি (Hydration Energy) : প্রতি মোল পরিমাণ ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নের সাথে পানি অণুর সংযোগের সময় নির্গত শক্তিকে **হাইড্রেশন শক্তি** বলে। এ নির্গত তাপ শক্তির প্রভাবে NaCl এর কেলাস-ল্যাটিস থেকে আয়নগুলো পৃথক হয়ে পানিতে দ্রবীভূত থাকে। হাইড্রেশন শক্তি সবসময় ঋণাত্মক হয়। Na^+ আয়ন ও Cl^- আয়নের হাইড্রেশন শক্তি যথাক্রমে $-406\ kJ\ mol^{-1}$ এবং $-363\ kJ\ mol^{-1}$।

$$Na^+ + 6\,H_2O \longrightarrow Na^+.6\,H_2O \quad \Delta H = -406\ kJ\ mol^{-1}$$
$$Cl^- + 6\,H_2O \longrightarrow Cl^-.6\,H_2O \quad \Delta H = -363\ kJ\ mol^{-1}$$

সবচেয়ে ছোটো ধনাত্মক আয়ন $\overset{+}{Li}$ এর হাইড্রেশন শক্তি হয় $-520\ kJ\ mol^{-1}$ এবং সবচেয়ে ছোটো ঋণাত্মক আয়ন F^- এর হাইড্রেশন শক্তি হয় $-524\ kJ\ mol^{-1}$।



NaCl এর কেলাস | পানি অণু | পানি অণু সংযোজিত Na^+ আয়ন | পানি অণু সংযোজিত Cl^- আয়ন

চিত্র ২.২৫ : পোলার দ্রাবক পানিতে ঘনকাকৃতির NaCl কেলাসের দ্রবণ তৈরির প্রক্রিয়া

DAT-(17-18)

দ্রবণীয়তার শর্ত : সাধারণত আয়নিক যৌগের হাইড্রেশন শক্তি যখন এর ল্যাটিস-শক্তি বা কেলাস ল্যাটিস ভাঙার শক্তির চেয়ে বেশি হয়; তখন সহজে ঐ যৌগ পানিতে দ্রবীভূত হয়। যেমন— AgCl, AgBr, AgI, $BaSO_4$, $PbSO_4$ ইত্যাদির হাইড্রেশন শক্তি তাদের ল্যাটিস শক্তির চেয়ে অনেক কম। তাই এসব যৌগ কক্ষতাপমাত্রায় পানিতে অদ্রবণীয়। MAT-(16-17)

AgCl পানিতে অদ্রবণীয় কিন্তু AgF পানিতে দ্রবণীয়; এর কারণ ফ্লোরাইড আয়ন (F^-) এর আকার খুব ছোটো হওয়ায় F^- আয়নের পানি যোজন খুব ঘনিষ্ঠভাবে ঘটে। তাই F^- আয়নের হাইড্রেশন শক্তি Cl^- আয়নের চেয়ে বেশি হয়। ফলে Ag^+ ও F^- আয়নদ্বয়ের মোট হাইড্রেশন শক্তি তাদের কেলাস ল্যাটিস শক্তির চেয়ে বেশি হয় এবং AgF পানিতে দ্রবীভূত হয়। অপরদিকে AgCl-এর হাইড্রেশন শক্তি এর ল্যাটিস শক্তির চেয়ে কম হওয়ায় AgCl পানিতে অদ্রবণীয় থাকে।

আবার $PbCl_2$ ঠাণ্ডা পানিতে অদ্রবণীয়, কিন্তু গরম পানিতে দ্রবণীয়। এর কারণ $PbCl_2$ এর হাইড্রেশন শক্তির চেয়ে ল্যাটিস্ শক্তি সামান্য বেশি। তাপ প্রয়োগ করলে ঐ তাপশক্তি হাইড্রেশন শক্তির সহযোগীরূপে ল্যাটিস্ শক্তিকে অতিক্রম করে এবং উত্তপ্ত অবস্থায় $PbCl_2$ গরম পানিতে দ্রবীভূত থাকে। তাই $PbCl_2$ এর পানিতে দ্রবণীয়তা প্রক্রিয়া হলো প্রকৃত তাপশোষী। অনুরূপভাবে NaCl এর দ্রবণীয়তা মৃদু তাপশোষী হয়।

কেলাস ল্যাটিস (Crystal Latice) : সব আয়নিক যৌগ কেলাসাকার কঠিন পদার্থ হয়। কক্ষতাপমাত্রায় কোনো আয়নিক যৌগ তরল বা গ্যাসীয় অবস্থায় থাকে না। কেলাস গঠনকালে সমধর্মী আয়নগুলো পরস্পরকে বিকর্ষণ এবং বিপরীতধর্মী আয়নগুলো পরস্পরকে আকর্ষণ করে স্থির বৈদ্যুতিক আকর্ষণ বল দ্বারা নির্দিষ্ট স্থানে ত্রিমাত্রিকভাবে আবদ্ধ হয়ে পড়ে। উভয় প্রকার আয়নগুলোর কেন্দ্রবিন্দুগুলোকে কাল্পনিক রেখা দ্বারা যুক্ত করলে মৌমাছির মৌচাকের মতো যে জালিকা সৃষ্টি হয়, তাকে **কেলাসের জালিকা বা কেলাস ল্যাটিস** বলে। কেলাস জালিকা বিভিন্ন জ্যামিতিক আকৃতির হতে পারে।

ল্যাটিস শক্তি (Latice Energy) : আয়নিক যৌগের কেলাস গঠনকালে বিপরীত আধানযুক্ত ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নগুলো স্থির বৈদ্যুতিক আকর্ষণ বলের দ্বারা আকৃষ্ট হয়ে সম্ভাব্য নিকটে আসে। ফলে এদের মধ্যেকার স্থিতিশক্তির মান অপেক্ষাকৃতভাবে হ্রাস পায়। যে পরিমাণ স্থিতিশক্তি হ্রাস পায়, ঠিক সমপরিমাণ শক্তি ঐ যৌগের **কেলাস থেকে নির্গত হয়;** তাকে ঐ আয়নিক যৌগের কেলাস ল্যাটিস শক্তি বলে। **যেমন—**

$$Na^+(g) + Cl^-(g) \longrightarrow NaCl(s); \Delta H = -788\ kJ\ mol^{-1}.$$

$\therefore$ NaCl এর ল্যাটিস শক্তি = $-788\ kJ\ mol^{-1}$ এবং NaCl এর ল্যাটিস ভাঙার শক্তি হবে = $+788\ kJ\ mol^{-1}$.

উল্লেখ্য কেলাসে ল্যাটিস গঠন প্রক্রিয়া হলো তাপোৎপাদী; তাই ল্যাটিস গঠন শক্তির মান ঋণাত্মক হয়। বিপরীতভাবে কেলাস ল্যাটিস ভাঙ্গার শক্তি হলো তাপশোষী প্রক্রিয়া; তাই এটির মান ধনাত্মক হয়। ল্যাটিস ভাঙ্গা প্রক্রিয়ায় শোষিত তাপ শক্তিকে **ল্যাটিস এনথালপি** বলে।

সংজ্ঞা : গ্যাসীয় অবস্থায় ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন থেকে এক মোল (mole) পরিমাণ আয়নিক যৌগের কেলাস গঠনকালে যে পরিমাণ শক্তি নির্গত বা মুক্ত হয়, তাকে ঐ আয়নিক যৌগের **কেলাস ল্যাটিস শক্তি** বলে। ল্যাটিস শক্তি হলো কেলাসের potential energy। তাই কেলাস গঠনের সময় নির্গত শক্তির পরিমাণ যত বেশি হয়, ঐ আয়নিক কেলাস তত বেশি সুদৃঢ় হয়।

*** ল্যাটিস শক্তির নির্ভরশীলতা :** ল্যাটিস শক্তি উভয় আয়নের আকার ও আধানের পরিমাণের ওপর নির্ভর করে।

(১) আয়নদ্বয়ের আধান : আয়নিক যৌগের আয়নদ্বয়ের আধান (q) বা চার্জের পরিমাণ বৃদ্ধির সাথে কেলাসে ল্যাটিস শক্তির মানও বৃদ্ধি পায়। তখন আয়নিক বন্ধন শক্তি ও স্থায়িত্ব অধিক হয়।

(২) আয়নদ্বয়ের আকার : ধনাত্মক আয়ন ও ঋণাত্মক আয়নের আকার বৃদ্ধির সাথে ল্যাটিস শক্তির মান হ্রাস পায়। কারণ আয়নদ্বয়ের আকার বড়ো হলে কেলাস ল্যাটিস গঠনে উভয় আয়নের কেন্দ্রবিন্দুর অবস্থান দূরত্ব (d) বৃদ্ধি পায়। কুলম্বের সূত্র মতে, ল্যাটিস শক্তি, $F = k \times (q_1 \times q_2)/d^2$; এক্ষেত্রে ধ্রুবক k এর মান কেলাস গঠনে আয়নদ্বয়ের বিন্যাস প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে বিভিন্ন হয়ে থাকে। উল্লেখ্য crystallography বা, কেলাস গঠনভিত্তিক গণনা হলো জটিল পরীক্ষানির্ভর বিষয়। এ বিষয়টি (১) X-ray Crystallography, (২) Electron diffraction ও (৩) Neutron diffraction (scattering) পদ্ধতিতে আলোচিত।

তবে ফাজানের নিয়ম মতে ধনাত্মক আয়নের আকর্ষণ দ্বারা ঋণাত্মক আয়নের ইলেকট্রন মেঘের অবস্থানের বিকৃতি বা পোলারায়ন ঘটলে তখন ল্যাটিস শক্তির মান ও স্থায়িত্ব হ্রাস পায়। ফলে যৌগে আয়নিক বৈশিষ্ট্য (যেমন উচ্চ গলনাঙ্ক) হ্রাস পায় এবং বিপরীতভাবে সমযোজী ধর্ম অধিক প্রকাশ পায় [অনুচ্ছেদ-৩.১৫.২ দেখো]। তখন ল্যাটিস শক্তির প্রভাব ও পোলারায়নের প্রভাব, এ দুয়ের মধ্যে কোনো একটির প্রভাব ঐ যৌগে প্রাধান্য পায়। গ্রুপ-1 এর ধাতুর ক্লোরাইডসমূহে LiCl এর বেলায় পোলারায়ন প্রভাব বেশি পড়ে এবং অপর চারটি ধাতুর ক্লোরাইডে ল্যাটিস শক্তির প্রভাব বেশি থাকে। এদের গলনাঙ্ক থেকে তা বোঝা যায়। যেমন,

গ্রুপ-1 এর ধাতুর ক্লোরাইড	LiCl	NaCl	KCl	RbCl	CsCl	প্রাধান্য ঘটেছে LiCl এর বেলায় ফাজানের সূত্র; অপর-গুলোতে ল্যাটিস শক্তির ক্রম।
ল্যাটিস শক্তি $kJ\ mol^{-1}$	853 kJ	788 kJ	715 kJ	682 kJ	630 kJ	
ধাতব ক্লোরাইডের গলনাঙ্ক (°C)	605°C	801°C	776°C	715°C	625°C	

ফাজানের পোলারায়ন সূত্র মতে সমযোজী বৈশিষ্ট্য ক্রম : $LiCl > NaCl > KCl > RbCl > CsCl$

গ্রুপ 1 ধাতব ক্লোরাইড লবণগুলোর প্রকৃত গলনাঙ্ক ক্রম : $NaCl > KCl > RbCl > CsCl > LiCl$

* ফাজানের সূত্র মতে, LiCl এর গলনাঙ্ক হ্রাসের ব্যাখ্যা মিলে; কিন্তু অপর ক্লোরাইড লবণগুলোর বেলায় ফাজানের পোলারায়ন সূত্র মতে ক্রমটি অকার্যকর; কিন্তু ল্যাটিস শক্তি-ক্রম কার্যকর হয়েছে প্রমাণিত হয়।

**** ল্যাটিস শক্তির ব্যবহার :**

(১) কোনো কেলাসের ল্যাটিস শক্তির মান জানা থাকলে তা থেকে কেলাসটি পোলার দ্রাবকে কীরূপ দ্রবীভূত হবে তা জানা যায়।

(i) ল্যাটিস শক্তির তুলনায় হাইড্রেশন শক্তি যত বেশি হবে, আয়নিক যৌগের পানিতে দ্রবণীয়তা তত বেশি হবে।

(ii) ল্যাটিস শক্তি ও হাইড্রেশন শক্তি উভয়েই ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের চার্জ বা আধানের বৃদ্ধির সাথে বাড়ে এবং তাদের আকার বৃদ্ধির সাথে কমে।

(২) ধাতব হাইড্রক্সাইডসমূহের পানিতে দ্রবণীয়তা ল্যাটিস শক্তি ও হাইড্রেশন শক্তি থেকে ব্যাখ্যা করা যায়। যেমন—

গ্রুপ-2 এর ১ম ধাতু Be এর ছোটো আকারের Be^{2+} আয়ন দ্বারা OH^- আয়নের পোলারায়ন বেশি ঘটে; তাই $Be(OH)_2$ পানিতে অদ্রবণীয়; কিন্তু পরবর্তী ধাতুসমূহের হাইড্রক্সাইড যেমন $Mg(OH)_2$, $Ca(OH)_2$ ইত্যাদি পানিতে দ্রবণীয়। কারণ এদের মধ্যে বড়ো আকারের Mg^{2+} ও Ca^{2+} আয়ন দ্বারা পোলারায়ন কম ঘটে।

এক্ষেত্রে অ্যানায়নের চার্জ ও আকার প্রতি ক্ষেত্রে সমান; কিন্তু ধনাত্মক আয়নের আকার ক্রমান্বয়ে বৃদ্ধি পায়। ফলে এদের ল্যাটিস শক্তি ও হাইড্রেশন শক্তি ক্রমাগত হ্রাস পায়। তবে হাইড্রেশন শক্তি অপেক্ষা ল্যাটিস শক্তি কিছুটা দ্রুততর হ্রাস পায়। তখন $Be(OH)_2$ এর ক্ষেত্রে ল্যাটিস শক্তির পরিমাণ এর হাইড্রেশন শক্তির চেয়ে বেশি থাকে। এ কারণে $Be(OH)_2$ পানিতে অদ্রবণীয়।

কিন্তু Mg^{2+} আয়ন থেকে পরবর্তী Ca^{2+}, Sr^{2+}, Ba^{2+} আয়নের আকার বৃদ্ধির সাথে এদের হাইড্রেশন শক্তি ল্যাটিস শক্তির চেয়ে বেশি হয়। ফলে এসব মৌলের হাইড্রক্সাইডের পানিতে দ্রাব্যতা ক্রমাগত বাড়ে। তাই $Mg(OH)_2$, $Ca(OH)_2$ পানিতে দ্রবণীয়। গ্রুপ-2 এর ধাতুর হাইড্রক্সাইডের পানিতে দ্রাব্যতা বৃদ্ধির ক্রম হলো :

$Mg(OH)_2 < Ca(OH)_2 < Sr(OH)_2 < Ba(OH)_2$।

ব্যবহারিক (Practical)

২.১৩ দ্রবণে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণ

Detection of Cations and Anions in Solution

আমরা পূর্বের অনুচ্ছেদ-২.১২-এ আয়নিক যৌগের দ্রাব্যতার গুণফল ও মোলার ঘনমাত্রার সম্পর্ক থেকে অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়ার কারণ জেনেছি। দ্রবণে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের শনাক্তকরণ অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়ার ওপর নির্ভরশীল। এক্ষেত্রে আয়নিক যৌগটির দ্রাব্যতা অনুসারে পানি অথবা লঘু HCl এসিডে দ্রবণ তৈরি করা হয়।

RMDAC

(১) লবণ ও লবণের আয়ন : লবণের সংজ্ঞা : অজৈব এসিড যেমন HCl, HNO_3, H_2SO_4, H_2CO_3 ইত্যাদির প্রতিস্থাপনীয় H-পরমাণুকে সক্রিয় ধাতু বা ধাতুর মতো সক্রিয় যৌগমূলক যেমন NH_4^+ আয়ন দ্বারা আংশিক বা পূর্ণভাবে প্রতিস্থাপিত করে প্রাপ্ত যৌগসমূহকে **লবণ** বলে। এসিডের প্রতিস্থাপনীয় H-পরমাণুকে পূর্ণভাবে ধাতুর পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপনে প্রাপ্ত লবণকে **পূর্ণ লবণ** বা Normal Salt বলে। যেমন NaCl, KNO_3, $ZnSO_4$, Na_2CO_3 ইত্যাদি হলো বিভিন্ন এসিডের পূর্ণ লবণ। অপরদিকে এসিডের অণুস্থিত দু বা ততোধিক H-পরমাণুকে আংশিকভাবে ধাতুর পরমাণু দ্বারা প্রতিস্থাপনে উৎপন্ন যৌগকে অম্লীয় লবণ বা Acidic Salt বলে। যেমন $NaHSO_4$ হলো সংশ্লিষ্ট এসিডের অম্লীয় লবণ।

প্রতিটি পূর্ণ লবণ আয়নিক যৌগ হওয়ায় জলীয় দ্রবণে লবণটি আয়নিত হয়ে ধনাত্মক আয়ন বা **ক্যাটায়ন** এবং ঋণাত্মক আয়ন বা **অ্যানায়নে** পরিণত হয়। যেমন,

$$NaCl\,(aq) \rightarrow Na^+\,(aq) + Cl^-\,(aq)$$

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

পূর্ণ লবণের জলীয় দ্রবণে বিদ্যুৎ চালনা করলে ধনাত্মক আয়ন যেমন Na^+ ও Zn^{2+} বিদ্যুৎ প্রবাহকালে ক্যাথোডে আকৃষ্ট হয়, তাই ধনাত্মক আয়নকে **ক্যাটায়ন** বলে। অপরদিকে ঋণাত্মক আয়ন যেমন Cl^-, SO_4^{2-} অ্যানোডের দিকে আকৃষ্ট হয়; তাই ঋণাত্মক আয়নকে **অ্যানায়ন** বলে। ল্যাবরেটরিতে ব্যবহারিক রসায়নে লবণের দ্রবণের ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নদ্বয়কে রাসায়নিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে বর্ণযুক্ত অথবা অধঃক্ষিপ্ত যৌগ সৃষ্টির দ্বারা শনাক্ত করা হয়।

(২) পানিতে লবণের দ্রাব্যতা পরীক্ষা : একটি টেস্টটিউবে খুব অল্প নমুনা লবণ (0.01 – 0.02g) নিয়ে এতে 4–5 mL-পানি যোগ করে ভালোভাবে ঝাঁকাও। যদি লবণটি ঠাণ্ডা পানিতে দ্রবীভূত না হয়; তবে বুনসেন বার্নারে গরম করে দেখো, ওটি দ্রবীভূত হয় কীনা। গরম পানিতে লবণটি দ্রবীভূত না হলে, বুঝতে হবে লবণটি পানিতে অদ্রবণীয়। একাদশ-দ্বাদশ শ্রেণির সিলেবাস মতে পানিতে দ্রবণীয় ও অদ্রবণীয় এবং লঘু HCl এসিডে দ্রবণীয় লবণসমূহ সারণি–২.৬ থেকে জেনে নাও।

সারণি–২.৬ : আয়নিক লবণের দ্রাব্যতা (পানিতে ও লঘু HCl এসিডে)

1 = পানিতে দ্রবণীয় ; 2 = লঘু HCl এসিডে দ্রবণীয়।

ক্যাটায়ন → অ্যানায়ন ↓	Cu^{2+} আয়ন	Al^{3+} আয়ন	Fe^{2+} আয়ন	Fe^{3+} আয়ন	Zn^{2+} আয়ন	Ca^{2+} আয়ন	Na^+ আয়ন	NH_4^+ আয়ন
Cl^- আয়ন	1	1	1	1	1	1	1	1
SO_4^{2-} আয়ন	1	1	1	1	1	2	1	1
CO_3^{2-} আয়ন	2	2	2	2	2	2	1	1

* সারণি–২.৬ থেকে জেনে নাও; Na^+, NH_4^+ আয়নের সব লবণ পানিতে দ্রবণীয়।
* উপরোক্ত ছয়টি ক্যাটায়নের কার্বনেট লবণ পানিতে অদ্রবণীয়; কিন্তু লঘু HCl এসিডে দ্রবণীয়।
* উপরোক্ত আটটি আয়নের মধ্যে Ca^{2+} আয়নের সালফেট, $CaSO_4$ পানিতে অদ্রবণীয়; কিন্তু লঘু HCl এসিডে দ্রবণীয়।

(৩) লঘু HCl এসিডে লবণের দ্রাব্যতা পরীক্ষা : একাদশ-দ্বাদশ শ্রেণির সিলেবাস মতে সারণি–২.৬ থেকে জানা যায় ছয়টি কার্বনেট লবণ [$CuCO_3$, $Al_2(CO_3)_3$, $FeCO_3$, $Fe_2(CO_3)_3$, $ZnCO_3$, $CaCO_3$] পানিতে অদ্রবণীয়; কিন্তু লঘু HCl এসিডে দ্রবণীয়। এসব লবণ লঘু HCl এসিডে দ্রবীভূত হয়ে বুদবুদ আকারে CO_2 গ্যাস তৈরি করে এবং লবণটিতে কার্বনেট মূলক (CO_3^{2-}) এর **উপস্থিতি নিশ্চিত করে**। তখন দ্রবণে লবণটি ক্লোরাইড লবণরূপে থাকবে। তাই পানিতে অদ্রবণীয়; কিন্তু লঘু HCl এসিডে দ্রবণীয় লবণের দ্রবণ দিয়ে Cl^- আয়ন, CO_3^{2-} আয়নের সিক্ত **পরীক্ষা করা যাবে না**।

দ্রবণ প্রস্তুতি : প্রদত্ত লবণটির অল্প পরিমাণ টেস্টটিউবে নিয়ে এর উপযুক্ত 'দ্রাবকে' দ্রবীভূত করে ক্ষারকীয় মূলকের বা ক্যাটায়নের সিক্ত পরীক্ষার জন্যে পরিষ্কার দ্রবণ প্রস্তুত করা হয়। এ প্রস্তুত দ্রবণ দিয়ে নিচের আটটি পরীক্ষা করতে হবে। তাই প্রতি পরীক্ষায় 2–1 mL দ্রবণ ব্যবহার করতে হবে।

এখন **প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে ক্যাটায়ন বা ক্ষারকীয় মূলকের সিক্ত পরীক্ষা প্রয়োজনীয় বিকারকসহ করা হবে।** এ ক্ষেত্রে বিক্রিয়াসমূহে বিভিন্ন বর্ণের অধঃক্ষেপ বা বর্ণযুক্ত দ্রবণ তৈরি হবে। তা দেখে ক্যাটায়ন শনাক্ত করা সম্ভব হবে।

ক্ষারকীয় মূলক বা ক্যাটায়ন-এর সিক্ত পরীক্ষা :

[Cu^{2+} আয়ন, Fe^{2+} আয়ন, Fe^{3+} আয়ন, Al^{3+} আয়ন, Zn^{2+} আয়ন, Ca^{2+} আয়ন, Na^{+} আয়ন ও NH_4^{+} আয়ন-এর পরীক্ষা।]

দ্রবণে Cu^{2+} আয়ন শনাক্তকরণ :

১। NH_4OH দ্রবণসহ পরীক্ষা : একটি টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত **রঙিন দ্রবণ** নিয়ে এতে অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইড (NH_4OH) দ্রবণ ধীরে ধীরে যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : প্রথমে ক্ষারকীয় কপার লবণের হাল্কা নীল বর্ণের অধঃক্ষেপ পড়ে। এতে অধিক NH_4OH দ্রবণ যোগ করলে ঐ অধঃক্ষেপ দ্রবীভূত হয়ে গাঢ় নীল বর্ণের টেট্রাঅ্যাম্মিন কপার (II) আয়নের দ্রবণ উৎপন্ন হয়।

DAT-(19-20)

সিদ্ধান্ত : প্রদত্ত নমুনায় Cu^{2+} আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া : মনে করি লবণটি $CuSO_4$। তখন নিম্নরূপ বিক্রিয়া ঘটে।

$$2CuSO_4\,(aq) + 2NH_4OH\,(aq) \longrightarrow \underset{\text{ক্ষারকীয় কপার সালফেট}}{CuSO_4.Cu(OH)_2\,(s)} + (NH_4)_2SO_4\,(aq)$$

$$CuSO_4.Cu(OH)_2 + (NH_4)_2SO_4\,(aq) + 6NH_4OH\,(aq) \longrightarrow \underset{\text{টেট্রাঅ্যাম্মিন কপার (II) সালফেট}}{2\,[Cu(NH_3)_4]SO_4\,(aq)} + 8H_2O\,(l)$$

২। **পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণসহ পরীক্ষা :** একটি টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণ যোগ করা হয়। [এটি Cu^{2+} **আয়নের নিশ্চিতকরণ পরীক্ষা**।]

পর্যবেক্ষণ : এতে লাল্চে বাদামি বর্ণের কপার ফেরোসায়ানাইডের অধঃক্ষেপ পড়ে।

সিদ্ধান্ত : প্রদত্ত নমুনা লবণে Cu^{2+} আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

বিক্রিয়া : $2CuSO_4\,(aq) + K_4[Fe(CN)_6]\,(aq) \longrightarrow Cu_2[Fe(CN)_6]\,(s) + 2K_2SO_4\,(aq)$

কপার ফেরোসায়ানাইড
[লালচে বাদামি]

* **জেনে নাও** কপার ফেরোসায়ানাইড নামটি এ যৌগের পুরাতন নাম। যৌগটি জটিল যৌগ শ্রেণিভুক্ত। তাই জেনেভা পদ্ধতিতে এর নাম হলো কপার হেক্সাসায়ানোফেরেট (II)।

দ্রবণে Fe^{2+} আয়নও Fe^{3+} আয়ন শনাক্তকরণ

১ **NH_4OH দ্রবণসহ পরীক্ষা :** টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত **রঙিন দ্রবণ** নিয়ে এতে NH_4OH দ্রবণ যোগ করা হলো।

পর্যবেক্ষণ : (ক) সবুজ বর্ণের ফেরাস হাইড্রক্সাইডের অধঃক্ষেপ পড়ে।

সিদ্ধান্ত : প্রদত্ত নমুনা লবণে Fe^{2+} আয়ন উপস্থিতি।

পর্যবেক্ষণ : (খ) বাদামি বর্ণের ফেরিক হাইড্রক্সাইডের অধঃক্ষেপ পড়ে।

সিদ্ধান্ত : প্রদত্ত নমুনা লবণে Fe^{3+} আয়ন উপস্থিত।

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া : $FeSO_4 (aq) + 2NH_4OH (aq) \longrightarrow Fe(OH)_2 (s) + (NH_4)_2SO_4 (aq)$
সবুজ অধঃক্ষেপ

$FeCl_3 (aq) + 3NH_4OH (aq) \longrightarrow Fe(OH)_3 (s) + 3 NH_4Cl (aq)$
বাদামি অধঃক্ষেপ

২। **পটাসিয়াম ফেরিসায়ানাইড দ্রবণসহ পরীক্ষা :** টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা পটাসিয়াম ফেরিসায়ানাইড দ্রবণ যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : (ক) **গাঢ় নীল বর্ণের অধঃক্ষেপ পড়ে।** এটি পটাসিয়াম ফেরাস ফেরিসায়ানাইডের অধঃক্ষেপ।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে Fe^{2+} আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

পর্যবেক্ষণ : (খ) **বাদামি দ্রবণ উৎপন্ন হয়।** এটি ফেরিক ফেরিসায়ানাইডের দ্রবণ।

সিদ্ধান্ত : **নমুনা লবণে Fe^{3+} আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।**

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া : $Fe^{2+} (aq) + K_3[Fe(CN)_6] (aq) \longrightarrow KFe[Fe(CN)_6] (s) + 2K^+ (aq)$
গাঢ় নীল অধঃক্ষেপ

$Fe^{3+} (aq) + K_3[Fe(CN)_6] (aq) \longrightarrow Fe[Fe(CN)_6] (aq) + 3K^+ (aq)$
বাদামি দ্রবণ

৩। **পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণসহ পরীক্ষা :** টেস্টটিউবে 2 – 1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণ যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : (ক) হালকা নীল অধঃক্ষেপ পড়ে। এটি ফেরাস ফেরোসায়ানাইডের অধঃক্ষেপ।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে Fe^{2+} আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

পর্যবেক্ষণ : (খ) গাঢ় নীল অধঃক্ষেপ পড়ে। এটি ফেরি ফেরোসায়ানাইডের বা ফেরি হেক্সাসায়ানো ফেরেট (II) এর অধঃক্ষেপ।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে Fe^{3+} আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া : $2Fe^{2+} (aq) + K_4[Fe(CN)_6] (aq) \longrightarrow Fe_2[Fe(CN)_6] (s) + 4K^+ (aq)$

$4Fe^{3+} (aq) + 3K_4[Fe(CN)_6] (aq) \longrightarrow Fe_4[Fe(CN)_6]_3 (s) + 12K^+ (aq)$

৪। **অ্যামোনিয়াম থায়োসায়ানেট দ্রবণসহ পরীক্ষা :** টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা অ্যামোনিয়াম থায়োসায়ানেট দ্রবণ যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : (ক) স্বচ্ছ দ্রবণ, কোনো অধঃক্ষেপ পড়ে না।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে Fe^{2+} আয়ন অনুপস্থিত।

পর্যবেক্ষণ : (খ) রক্ত লাল বর্ণের দ্রবণ উৎপন্ন হয়।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে Fe^{3+} আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

> **MCQ-2.40 : X ধাতুটি শিখা পরীক্ষায় সোনালি হলুদ বর্ণ দেখায়, এটির আয়নের শনাক্তকারী বিকারক কোনটি?** [অভিন্ন বোর্ড. ২০১৮]
> (ক) $K_2H_2Sb_2O_7$ (খ) $(NH_4)_2C_2O_4$
> (গ) $K_4[Fe(CN)_6]$ (ঘ) NH_4CNS

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া : $Fe^{2+} (aq) + 2NH_4CNS (aq) \longrightarrow Fe(CNS)_2 (aq) + 2NH_4^+ (aq)$
বর্ণহীন

$Fe^{3+} (aq) + 3NH_4CNS (aq) \longrightarrow Fe(CNS)_3 (aq) + 3NH_4^+ (aq)$
রক্ত লাল বর্ণ

জেনে নাও ওপরের তিনটি পরীক্ষা দ্বারা Fe^{2+} আয়ন ও Fe^{3+} আয়নের পার্থক্য নিরূপণ করা হয়।

দ্রবণে Al^{3+} আয়ন শনাক্তকরণ

১। NH_4OH দ্রবণসহ পরীক্ষা : টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা NH_4OH দ্রবণ যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : সাদা বর্ণের জেলির মতো ভাসমান অধঃক্ষেপ পড়ে। এটি $Al(OH)_3$ এর অধঃক্ষেপ। ঐ অধঃক্ষেপ অল্প পরিমাণে আরেকটি টেস্টটিউবে নিয়ে এতে গাঢ় NaOH দ্রবণ যোগ করে ভালোভাবে ঝাঁকানো হয়। উভধর্মী $Al(OH)_3$ এর এ অধঃক্ষেপ গাঢ় NaOH দ্রবণে সোডিয়াম অ্যালুমিনেট গঠন করে দ্রবীভূত হয়। এ দ্রবণে গাঢ় NH_4Cl দ্রবণ যোগ করে উত্তপ্ত করলে পুনরায় সাদা অধঃক্ষেপ দেখা দেয়।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে Al^{3+} আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

বিক্রিয়া : $Al^{3+}(aq) + 3NH_4OH(aq) \longrightarrow Al(OH)_3(s) + 3NH_4^+(aq)$

$Al(OH)_3(s) + NaOH(aq) \longrightarrow NaAl(OH)_4(aq) \longrightarrow NaAlO_2(aq) + 2H_2O(l)$
(হাইড্রেটেট Na-অ্যালুমিনেট) (Na–অ্যালুমিনেট)

$NaAl(OH)_4(aq) + NH_4Cl(aq) \rightarrow Al(OH)_3(s) + NaCl(aq) + NH_3(g) + H_2O(l)$
(সাদা অধঃক্ষেপ)

> * ধাতুর অক্সাইড ও ধাতুর হাইড্রক্সাইড হলো ক্ষারক।
> * পানিতে দ্রবণীয় ধাতুর হাইড্রক্সাইড হলো ক্ষার যেমন NaOH, KOH.
> * Al_2O_3 ক্ষারক হওয়া সত্ত্বেও NaOH ক্ষার দ্রবণে বিক্রিয়াসহ দ্রবীভূত হয় কেন?

দ্রবণে Zn^{2+} আয়ন শনাক্তকরণ

১। NH_4OH দ্রবণসহ পরীক্ষা : টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত বর্ণহীন দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা NH_4OH দ্রবণ যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : সাদা বর্ণের অধঃক্ষেপ পড়ে; এটি ধীরে ধীরে নিচে জমতে থাকে। ভারী সাদা বর্ণের এ অধঃক্ষেপ হলো $Zn(OH)_2$ এর। ঐ অধঃক্ষেপ অল্প পরিমাণে আরেকটি টেস্টটিউবে নিয়ে এতে গাঢ় NaOH দ্রবণ যোগ করে ভালোভাবে ঝাঁকানো হয়। উভধর্মী $Zn(OH)_2$ এর এ অধঃক্ষেপ গাঢ় NaOH দ্রবণে সোডিয়াম জিংকেট গঠন করে দ্রবীভূত হয়। এ দ্রবণে গাঢ় NH_4Cl দ্রবণ যোগ করে উত্তপ্ত করলে পুনরায় সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে না।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে Zn^{2+} আয়ন উপস্থিত।

বিক্রিয়া : $Zn^{2+}(aq) + 2NH_4OH(aq) \longrightarrow Zn(OH)_2(s) + 2NH_4^+(aq)$

$Zn(OH)_2(s) + 2NaOH(aq) \longrightarrow Na_2Zn(OH)_4(aq) \longrightarrow Na_2ZnO_2(aq) + 2H_2O(l)$
(সোডিয়াম জিংকেট (হাইড্রেটেট))

DAT-(16-17)

২। পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণসহ পরীক্ষা : টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত বর্ণহীন দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণ যোগ করা হয়। [এটি Zn^{2+} আয়নের নিশ্চিতকরণ পরীক্ষা।]

পর্যবেক্ষণ : সাদা বর্ণের অধঃক্ষেপ পড়ে। অধঃক্ষেপটি হলো জিঙ্ক ফেরোসায়ানাইড।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে Zn^{2+} আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

বিক্রিয়া : $2Zn^{2+}(aq) + K_4[Fe(CN)_6](aq) \longrightarrow Zn_2[Fe(CN)_6](s) + 4K^+(aq)$
(সাদা অধঃক্ষেপ)

দ্রবণে Ca^{2+} আয়ন শনাক্তকরণ :

১। NH_4OH দ্রবণসহ পরীক্ষা : টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত বর্ণহীন দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা NH_4OH দ্রবণ যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : সাদা বর্ণের সূক্ষ্ম গুঁড়ার অধঃক্ষেপ পড়ে। এ অধঃক্ষেপ ভাসমান থাকে। এটি $Ca(OH)_2$ এর অধঃক্ষেপ হতে পারে। ঐ অধঃক্ষেপ অল্প পরিমাণে আরেকটি টেস্টটিউবে নিয়ে গাঢ় NaOH দ্রবণ যোগ করে ঝাঁকানো হয়। অধঃক্ষেপ একই থাকে; দ্রবীভূত হয় না।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে Ca^{2+} আয়ন উপস্থিত। RMDAC

বিক্রিয়া : $Ca^{2+}(aq) + 2NH_4OH(aq) \longrightarrow Ca(OH)_2(s) + 2NH_4^+(aq)$

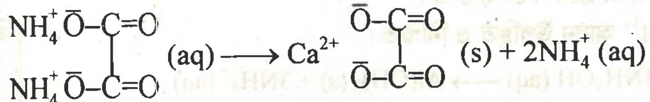
$Ca(OH)_2(s) + NaOH(aq) \longrightarrow$ কোনো বিক্রিয়া ঘটে না।

২। **অ্যামোনিয়াম অক্সালেট দ্রবণসহ পরীক্ষা :** টেস্টটিউবে 2 –1 mL বর্ণহীন প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা অ্যামোনিয়াম অক্সালেট দ্রবণ যোগ করা হয়। [এটি Ca^{2+} আয়নের নিশ্চিতকরণ পরীক্ষা।]

পর্যবেক্ষণ : সাদা বর্ণের অধঃক্ষেপ পড়ে। ঐ অধঃক্ষেপে অ্যাসিটিক এসিড যোগ করলে অদ্রবণীয় থাকে; কিন্তু লঘু HCl এসিড যোগ করলে দ্রবীভূত হয়। MAT-(15-16)

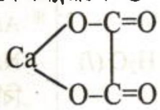
সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে Ca^{2+} আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত। MAT-(16-17)

বিক্রিয়া : $Ca^{2+}(aq) +$

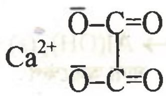


অ্যামোনিয়াম অক্সালেট ক্যালসিয়াম এক্সালেট

দ্রষ্টব্য : ক্যালসিয়াম অক্সালেট হলো আয়নিক যৌগ। গাঠনিক সংকেতে আয়নরূপে দেখাতে হয়। নতুবা CaC_2O_4 রূপে লেখা যাবে। Ca^{2+} আয়নকে নিম্নরূপে O পরমাণুর সাথে সমযোজী বন্ধন দ্বারা দেখানো ঠিক হবে না।



ভুল গাঠনিক সংকেত



শুদ্ধ গাঠনিক সংকেত

দ্রবণে Na^+ আয়নের শনাক্তকরণ

MAT-(16-17)

১। **পটাসিয়াম পাইরোঅ্যান্টিমোনেট দ্রবণসহ পরীক্ষা :** টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত জলীয় দ্রবণ নিয়ে সমপরিমাণ পটাসিয়াম পাইরোঅ্যান্টিমোনেট দ্রবণ যোগ করা হয় এবং টেস্টটিউবের ভেতরের গায়ে গ্লাস রড দিয়ে ঘর্ষণ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : সাদা বর্ণের সূক্ষ্ম অধঃক্ষেপ দেখা দেয়। এটি সোডিয়াম পাইরোঅ্যান্টিমোনেটের অধঃক্ষেপ।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে Na^+ আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত। MAT-(23-24)

বিক্রিয়া : $2NaCl(aq) + K_2H_2Sb_2O_7(aq) \rightarrow Na_2H_2Sb_2O_7(s) + 2KCl(aq)$

পটাসিয়াম পাইরো অ্যান্টিমোনেট — সাদা অধঃক্ষেপ

> * সাধারণত Na^+, K^+ ও NH_4^+ এর সব লবণ পানিতে দ্রবণীয়।
> * $Na_2H_2Sb_2O_7$ পানিতে অদ্রবণীয়; এটি একটি ব্যতিক্রম।

দ্রষ্টব্য : লবণটি পানিতে অদ্রবণীয় হলে এটি সোডিয়াম লবণ নয়।

দ্রবণে NH_4^+ আয়ন শনাক্তকরণ

১। **নেসলার দ্রবণসহ পরীক্ষা :** টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত বর্ণহীন জলীয় দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা নেসলার দ্রবণ যোগ করা হয়। [এটি NH_4^+ আয়নের নিশ্চিতকরণ পরীক্ষা।] DAT-(20-21)

পর্যবেক্ষণ : বাদামি বর্ণের অধঃক্ষেপ পড়ে। এটি অ্যামিনো মারকিউরিক আয়োডাইডের অধঃক্ষেপ।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে NH_4^+ আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত। MAT-(13-14)

বিক্রিয়া : নেসলার দ্রবণ হলো NaOH দ্রবণ মিশ্রিত ক্ষারীয় পটাসিয়াম টেট্রাআয়োডো মারকিউরেট (II) এর দ্রবণ।

$$2NH_4^+(aq) + 2NaOH(aq) \longrightarrow 2Na^+(aq) + 2NH_3(g) + 2H_2O(l)$$

$$2K_2[HgI_4](aq) + 2NH_3(g) \longrightarrow NH_2Hg_2I_3(s) + NH_4I(aq) + 4KI(aq)$$

পটাসিয়াম টেট্রাআয়োডো মারকিউরেট (II) — বাদামি অধঃক্ষেপ, অ্যামিনো মারকিউরিক আয়োডাইড

[বিশেষ দ্রষ্টব্য : নেসলার দ্রবণ বা নেসলার বিকারক হলো NaOH বা KOH দ্রবণ মিশ্রিত ক্ষারীয় পটাসিয়াম টেট্রা আয়োডো মারকিউরেট (II) এর দ্রবণ ($NaOH/KOH + K_2[HgI_4]$ মিশ্রণ)। নেসলার দ্রবণ প্রস্তুতি পরের অনুচ্ছেদ-২.১৩.১ এ দেয়া হয়েছে।]

MAT-(13-14)

অম্লীয় মূলক বা অ্যানায়ন-এর সিক্ত পরীক্ষা

[Cl^- আয়ন, SO_4^{2-} আয়ন, CO_3^{2-} আয়ন-এর পরীক্ষা]

পূর্বের প্রস্তুত দ্রবণ দিয়ে অম্লীয় মূলক যেমন, Cl^-, SO_4^{2-}, CO_3^{2-} আয়নের জন্য নিচের পরীক্ষাসমূহ করা হয়।

১। **সিলভার নাইট্রেট দ্রবণসহ পরীক্ষা :** টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা সিলভার নাইট্রেট ($AgNO_3$) দ্রবণ যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : AgCl এর সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে। ঐ অধঃক্ষেপ লঘু HNO_3 এসিডে অদ্রবণীয়; কিন্তু NH_4OH দ্রবণে সহজেই দ্রবণীয় হয়।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে Cl^- আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

বিক্রিয়া :

$$Cl^-(aq) + AgNO_3(aq) \longrightarrow \underset{\text{সাদা অধঃক্ষেপ}}{AgCl(s)} + NO_3^-(aq)$$

$$AgCl(s) + 2NH_4OH(aq) \longrightarrow \underset{\text{ডাইঅ্যাম্মিন Ag(I) ক্লোরাইড}}{[Ag(NH_3)_2]Cl(aq)} + 2H_2O(l)$$

২। **বেরিয়াম নাইট্রেট দ্রবণসহ পরীক্ষা :** টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা বেরিয়াম নাইট্রেট, $Ba(NO_3)_2$ দ্রবণ যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : সাদা অধঃক্ষেপ পড়লো। এ অধঃক্ষেপ বেরিয়াম কার্বনেট অথবা বেরিয়াম সালফেট-এর জন্য হতে পারে। এতে কয়েক ফোঁটা লঘু HCl যোগ করা হলো।

(ক) অধঃক্ষেপ বুদবুদসহ দ্রবীভূত হয়। **সিদ্ধান্ত :** CO_3^{2-} মূলক উপস্থিত ও নিশ্চিত।

(খ) সাদা অধঃক্ষেপ লঘু HCl–এ অদ্রবণীয়। **সিদ্ধান্ত :** SO_4^{2-} মূলক উপস্থিত ও নিশ্চিত।

বিক্রিয়া :

(ক) $$CO_3^{2-}(aq) + Ba(NO_3)_2(aq) \longrightarrow \underset{\text{সাদা অধঃক্ষেপ}}{BaCO_3(s)} + 2NO_3^-(aq)$$

$$BaCO_3(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow BaCl_2(aq) + \boxed{CO_2(g)} + H_2O(l)$$

(খ) $$SO_4^{2-}(aq) + Ba(NO_3)_2(aq) \longrightarrow BaSO_4(s) + 2NO_3^-(aq)$$

সাদা অধঃক্ষেপ

$$BaSO_4(s) + HCl(aq) \longrightarrow \text{অদ্রবণীয়।}$$

পরীক্ষার ফলাফল : প্রদত্ত নমুনায় নিম্নোক্ত দুটি আয়ন আছে :

(১) ক্যাটায়ন :

(২) অ্যানায়ন :

বিশেষ দ্রষ্টব্য : একমাত্র $Ba(NO_3)_2$ বিকারক দ্রবণ দ্বারা দ্রবণে সালফেট আয়ন (SO_4^{2-}) ও কার্বনেট আয়ন (CO_3^{2-}) এর উপস্থিতি নিশ্চিত করা যায়। যেমন লবণের জলীয় দ্রবণে $Ba(NO_3)_2$ দ্রবণ যোগ করলে যদি সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে তবে ঐ সাদা অধঃক্ষেপ $BaSO_4(s)$ অথবা $BaCO_3(s)$ এর জন্য হতে পারে। যদি ঐ সাদা অধঃক্ষেপে লঘু HCl যোগ করলে বুদবুদ আকারে CO_2 গ্যাস বের হয়, তবে ঐ অধঃক্ষেপ হলো $BaCO_3$ এবং মূল দ্রবণে CO_3^{2-} আয়নের উপস্থিতি নিশ্চিত। কিন্তু অধঃক্ষেপ অদ্রবণীয় থাকলে SO_4^{2-} আয়নের উপস্থিতি নিশ্চিত করে।

শিক্ষার্থীর কাজ-২.১৮ : ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণ ও বিক্রিয়াভিত্তিক গণনা :

প্রশ্ন-২.২৩ : একমাত্র বিকারক NH_4OH দ্রবণ দ্বারা ছয়টি ক্যাটায়ন শনাক্তকরণ সম্ভব। এর পক্ষে সৃষ্ট উৎপাদ যৌগের বর্ণ ও বিক্রিয়া মাধ্যমে ভৌত অবস্থাসহকারে ব্যাখ্যা করো। এর সাথে উৎপাদ যৌগের বৈশিষ্ট্য অনুসারে NaOH দ্রবণসহ বিক্রিয়া লেখ।

দ্রষ্টব্য : ব্যবহারিক রসায়ন : অধ্যাপক হারাধন নাগ।

প্রশ্ন-২.২৪ : $A^{2+}(3d^6)$, $A^{3+}(3d^5)$ আয়ন দুটির দ্রবণে পার্থক্যকরণের দুটি পরীক্ষা সমীকরণসহ লেখ।

প্রশ্ন-২.২৫ : একমাত্র $Ba(NO_3)_2$ বিকারক দ্বারা দ্রবণে SO_4^{2-} আয়ন অথবা CO_3^{2-} আয়নের উপস্থিতি নিশ্চিত করা যায়; রাসায়নিক বিক্রিয়াসহকারে এর যথার্থ ব্যাখ্যা করো।

প্রশ্ন-২.২৬ (ক) : $[Ar]ns^0\ (n-1)d^5$; এ উদ্দীপকের d-উপস্তরের সব ইলেকট্রনের স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যার মান একই—ব্যাখ্যা করো। [চ. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-২.২৬ (খ) : প্রদত্ত ইলেকট্রন বিন্যাসটি একটি ক্যাটায়নের ইলেকট্রন বিন্যাস; এর সত্যতা নিরূপণ করো। [চ. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-২.২৬ (গ) : উদ্দীপক : A মৌলটির যোজ্যতাস্তরের ইলেকট্রনের কোয়ান্টাম সংখ্যাগুলোর মান $n = 4, l = 0, m = 0, s = \pm\frac{1}{2}$ হলে A^{2+} আয়নের বর্ণযুক্ত হওয়ার সম্ভাব্যতা যাচাই করো। [ঢা. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-২.২৬ (ঘ) : উদ্দীপক : 25°C এ ১নং পাত্রে 30 mL 5×10^{-3} M YCl_2 দ্রবণ এবং ২নং পাত্রে 20 mL 3×10^{-3} M NaF দ্রবণ আছে। [Y এর পাঃ ভর = 40] [রা. বো. ২০১৯]

(i) ১ নং দ্রবণের ক্যাটায়নের শনাক্তকরণ পরীক্ষা সমীকরণসহ লেখ।

(ii) উভয় দ্রবণকে একত্রে মিশ্রিত করলে YF_2 এর অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

[YF_2 এর $K_{sp} = 4 \times 10^{-17}$] [উঃ $K_{ip}\ (4.32 \times 10^{-9}) > K_{sp}$; অধঃক্ষেপ পড়বে।]

প্রশ্ন-২.২৬ (ঙ) : উদ্দীপক : ১ নং দ্রবণে $3d^6$ আয়ন ও ২ নং দ্রবণে $3d^5$ আয়ন আছে; এবং NH_4OH বিকারক দ্রবণ দেয়া আছে। [রা. বো. ২০১৯]

(i) ১ নং পাত্রের দ্রবণের ক্যাটায়ন শনাক্তকরণ সমীকরণসহ লেখ।

(ii) ২ নং দ্রবণে বিকারক যোগ করে প্রাপ্ত অধঃক্ষেপটির দ্রাব্যতা নির্ণয়ের পদ্ধতি তাত্ত্বিকভাবে বিশ্লেষণ করো। অধঃক্ষেপটির $K_{sp} = 4.5 \times 10^{-21}$ (25°C)। [উঃ দ্রাব্যতা $S = 3.593 \times 10^{-6}$ mol L^{-1}]

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৭০ : নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [য. বো. ২০১৭]

উদ্দীপক : K_2HgI_4 দ্রবণ (A-দ্রবণ) + KOH দ্রবণ (B-দ্রবণ) ; $X_2SO_4(aq) + (A + B) \rightarrow$ বাদামি অধঃক্ষেপ

(ক) উদ্দীপকের X^+ আয়নের শনাক্তকরণ বিক্রিয়াসহ লেখ।

(খ) উদ্দীপকের বিকারক মিশ্রণে B দ্রবণের পরিবর্তে $Ba(OH)_2$ দ্রবণ ব্যবহার করলে X^+ আয়নটি শনাক্তকরণে জটিলতা ঘটবে কীনা, তা সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াসহ বিশ্লেষণ করো।

সমাধান : (ক) X^+ আয়ন শনাক্তকরণ :

উদ্দীপকের বিকারক মিশ্রণটি হলো KOH ক্ষার দ্রবণ মিশ্রিত পটাসিয়াম মারকিউরিক আয়োডাইড (K_2HgI_4)। এ মিশ্রণটিকে নেস্‌লার বিকারক বলে। নেস্‌লার বিকারক দ্বারা অ্যামোনিয়াম (NH_4^+) আয়ন ও অ্যামোনিয়া গ্যাস (NH_3) শনাক্ত করা হয়।

উদ্দীপকের X^+ আয়নটি হলো NH_4^+ আয়ন। X_2SO_4 লবণটি হলো অ্যামোনিয়াম সালফেট $(NH_4)_2SO_4$। অ্যামোনিয়াম লবণের দ্রবণে ২–৩ ফোঁটা নেসলার বিকারক যোগ করলে বাদামি বর্ণের অ্যামিনো মারকিউরিক আয়োডাইড-এর অধঃক্ষেপ পড়ে। যেমন—

$$(NH_4)_2SO_4(aq) \longrightarrow 2NH_4^+(aq) + SO_4^{2-}(aq)$$
$$2NH_4^+(aq) + 2KOH(aq) \longrightarrow 2K^+(aq) + 2NH_3(g) + 2H_2O(l)$$
$$2K_2HgI_4(aq) + 2NH_3(g) \longrightarrow NH_2Hg_2I_3(s) + NH_4I(aq) + 4KI(aq)$$

অ্যামিনো মারকিউরিক
আয়োডাইড (বাদামি অধঃক্ষেপ)

সমাধান : (খ) নেস্‌লার বিকারকে শক্তিশালী ক্ষার KOH দ্রবণ যোগ করার কারণ হলো, KOH ক্ষার দ্রবণের সাথে অ্যামোনিয়াম লবণ বা NH_4^+ আয়ন বিক্রিয়া করে NH_3 গ্যাস উৎপন্ন করে। শেষে NH_3 গ্যাস মূল বিকারক K_2HgI_4 এর সাথে বিক্রিয়া করে অ্যামিনো মারকিউরিক আয়োডাইডের বাদামি অধঃক্ষেপ উৎপন্ন করে।

উদ্দীপক মতে, KOH দ্রবণের পরিবর্তে $Ba(OH)_2$ দ্রবণ ব্যবহার করা হলে তখন ২টি অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়া ঘটবে। এর ফলে বাদামি বর্ণের অ্যামিনো মারকিউরিক আয়োডাইডের অধঃক্ষেপের সাথে দ্বিতীয় অধঃক্ষেপটি হলো সাদা বর্ণের $BaSO_4$ এর অধঃক্ষেপ। সাদা বর্ণের $BaSO_4$ অধঃক্ষেপ গুঁড়া মিশ্রিত হওয়ার কারণে অ্যামোনিয়াম (NH_4^+) আয়ন দ্বারা সৃষ্ট বাদামি বর্ণের অধঃক্ষেপ কিছুটা হাল্‌কা হবে মাত্র। অন্য কোনো অসুবিধা সৃষ্টি করবে না। যেমন—

(i) উদ্দীপক মতে, KOH দ্রবণের পরিবর্তে $Ba(OH)_2$ দ্রবণ ব্যবহার করা হলেও KOH ক্ষার দ্রবণের মতো $Ba(OH)_2$ ক্ষার দ্রবণটি NH_4^+ আয়নের সাথে বিক্রিয়া করে NH_3 গ্যাস উৎপন্ন করে থাকে। উৎপন্ন NH_3 গ্যাস K_2HgI_4 এর সাথে বিক্রিয়া করে বাদামি অধঃক্ষেপ সৃষ্টি করে।

$$2NH_4^+(aq) + Ba(OH)_2(aq) \longrightarrow Ba^{2+}(aq) + 2NH_3(g) + 2H_2O(l)$$
$$2K_2HgI_4(aq) + 2NH_3(g) \longrightarrow NH_2Hg_2I_3(s) + NH_4I(aq) + 4KI(aq)$$

বাদামি

(ii) কিন্তু এ মিশ্রণে Ba^{2+} আয়ন এবং SO_4^{2-} আয়ন থাকায় উভয় আয়নের মধ্যে বিক্রিয়ায় অদ্রবণীয় $BaSO_4$ (বেরিয়াম সালফেট) এর সাদা অধঃক্ষেপ সৃষ্টি করে; যা $NH_2Hg_2I_3$ এর বাদামি অধঃক্ষেপের সাথে মিশে গিয়ে বাদামি বর্ণকে হাল্‌কা করে মাত্র।

$$Ba^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) \longrightarrow BaSO_4(s)$$

সাদা

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণিশিক্ষকের সহায়তায় পূর্বের ৪ জনের গ্রুপ নিয়ে ল্যাবরেটরিতে ক্যাটায়নের সিক্ত পরীক্ষা এবং অ্যানায়নের সিক্ত পরীক্ষা পদ্ধতি অনুসরণ করে ক্লাস রুটিন মতে নিম্নোক্ত লবণের যেকোনো একটিকে অজানা লবণরূপে নিয়ে পর পর ৭টি পরীক্ষা করো। প্রতিটি পরীক্ষা শেষ করে তোমার **'প্রেক্টিক্যাল নোট বুক বা রেকর্ড খাতায়'** তা রেকর্ড করে পরের ক্লাসে রেকর্ড খাতায় শিক্ষকের দস্তখত নাও।

পরীক্ষা নং (২ – ৮)

পরীক্ষার নাম : অজানা লবণের দ্রবণে আয়ন শনাক্তকরণ **প্রতিটি পরীক্ষার সময় : ১ পিরিয়ড**

তারিখ :..............

তারিখ	**পরীক্ষা নং-২**	**ব্যবহৃত নমুনা লবণ : কপার লবণ**
তারিখ	**পরীক্ষা নং-৩**	**ব্যবহৃত নমুনা লবণ : ফেরিক লবণ** **ব্যবহৃত নমুনা লবণ : ফেরাস লবণ**
তারিখ	**পরীক্ষা নং-৪**	**ব্যবহৃত নমুনা লবণ : অ্যালুমিনিয়াম লবণ**
তারিখ	**পরীক্ষা নং-৫**	**ব্যবহৃত নমুনা লবণ : জিঙ্ক লবণ**
তারিখ	**পরীক্ষা নং-৬**	**ব্যবহৃত নমুনা লবণ : ক্যালসিয়াম লবণ**
তারিখ	**পরীক্ষা নং-৭**	**ব্যবহৃত নমুনা লবণ : অ্যামোনিয়াম লবণ**
তারিখ	**পরীক্ষা নং-৮**	**ব্যবহৃত নমুনা লবণ : সোডিয়াম লবণ**

প্রেকটিক্যাল নোট বুক বা রেকর্ড খাতা লেখার নমুনা

পরীক্ষার নাম : নমুনা লবণে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণ

পরীক্ষা নং-২

তারিখ : . . . . . .

লবণের ভৌত ধর্ম :

(১) গঠন : দানাদার

(২) বর্ণ : নীল

(৩) দ্রাব্যতা : পানিতে দ্রবণীয়

(ক) লবণের দ্রবণে ক্যাটায়ন শনাক্তকরণ :

দ্রবণ প্রস্তুতি : প্রদত্ত নমুনা লবণটির অল্প পরিমাণ টেস্টটিউবে নিয়ে এতে পানি যোগ করে এবং নেড়ে দেখা গেল তা শীতল পানিতে দ্রবণীয়। তাই শীতল পানিতে প্রদত্ত লবণের দ্রবণ তৈরি করে সিক্ত পরীক্ষা করা হয়।

পরীক্ষা	পর্যবেক্ষণ	সিদ্ধান্ত
(১) NH_4OH দ্রবণসহ পরীক্ষা : একটি টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এর মধ্যে অ্যামোনিয়াম হাইড্রক্সাইড (NH_4OH) দ্রবণ ধীরে ধীরে যোগ করে পরিবর্তন পর্যবেক্ষণ করা হয়।	প্রথমে হালকা নীল বর্ণের অধঃক্ষেপ ও পরে অধিক NH_4OH দ্রবণসহ গাঢ় নীল বর্ণের দ্রবণ উৎপন্ন হয়।	Cu^{2+} আয়ন উপস্থিত।

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া :

$$Cu^{2+}(aq) + 2NH_4OH(aq) \longrightarrow Cu(OH)_2(s) + 2NH_4^+(aq)$$

$$Cu(OH)_2(s) + 4NH_4^+(aq) + 2OH^-(aq) \longrightarrow \underset{\text{গাঢ় নীল বর্ণ}}{[Cu(NH_3)_4]^{2+}(aq)} + 4H_2O(l)$$

Cu^{2+} আয়নের নিশ্চিতকরণ পরীক্ষা :

(১) পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণসহ পরীক্ষা : একটি টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে ২/৩ ফোঁটা পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণ যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : লালচে বাদামি বর্ণের কপার ফেরোসায়ানাইডের অধঃক্ষেপ পড়ে।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে Cu^{2+} আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া :

$$2Cu^{2+}(aq) + K_4[Fe(CN)_6](aq) \longrightarrow \underset{\text{লালচে বাদামি অধঃক্ষেপ}}{Cu_2[Fe(CN)_6](s)} + 4K^+(aq)$$

(খ) লবণের দ্রবণে অ্যানায়ন শনাক্তকরণ :

(১) সিলভার নাইট্রেট ($AgNO_3$) দ্রবণসহ পরীক্ষা : একটি টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ যোগ করা হয়।

অধঃক্ষেপের মধ্যে কয়েক ফোঁটা লঘু HCl এসিড যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : কোনো অধঃক্ষেপ পড়েনি।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণের দ্রবণে ক্লোরাইড (Cl^-) আয়ন অনুপস্থিত।

(২) বেরিয়াম নাইট্রেট [$Ba(NO_3)_2$] দ্রবণসহ পরীক্ষা : একটি টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা বেরিয়াম নাইট্রেট দ্রবণ যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : সাদা বর্ণের অধঃক্ষেপ পড়ে। এ অধঃক্ষেপটি বেরিয়াম কার্বনেট অথবা বেরিয়াম সালফেট হতে পারে। এ সাদা অধঃক্ষেপটি লঘু HCl এসিডে অদ্রবণীয়। সুতরাং সাদা অধঃক্ষেপটি হলো বেরিয়াম সালফেটের ($BaSO_4$)।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে সালফেট (SO_4^{2-}) অ্যানায়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া :

$$SO_4^{2-}(aq) + Ba(NO_3)_2(aq) \longrightarrow \underset{\text{সাদা অধঃক্ষেপ}}{BaSO_4(s)} + 2NO_3^-(aq)$$

পরীক্ষার ফলাফল : উপরোক্ত নিশ্চিতকরণ পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণিত হলো যে, প্রদত্ত নমুনা লবণে নিম্নোক্ত দুটি আয়ন আছে।

(১) ক্যাটায়ন : কপার (II) আয়ন, Cu^{2+} আয়ন।
(২) অ্যানায়ন : সালফেট আয়ন, SO_4^{2-} আয়ন।

লবণের নাম ও সংকেত : প্রদত্ত নমুনা লবণের বর্ণ নীল হওয়ায়, নমুনা লবণটি হলো পেন্টাহাইড্রেট কপার (II) সালফেট $CuSO_4.5H_2O$

বি. দ্র. : অনুরূপভাবে পরীক্ষা নং ৩ থেকে পরীক্ষা নং ৮ পর্যন্ত ব্যবহৃত লবণের দ্রবণে ক্যাটায়ন এবং অ্যানায়নের শনাক্তকরণ প্রেকটিক্যাল নোট বুকে লিখতে হবে।

২.১৩.১ লবণের ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণে ব্যবহৃত বিকারকসমূহের প্রস্তুতি

Preparation of Reagents used in Ions' Detection

পাঠ্য সূচিতে অন্তর্ভুক্ত ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণে নিম্নোক্ত বিকারকসমূহ প্রয়োজন। যেমন, (১) লঘু HCl, (২) লঘু NH_4OH, (৩) গাঢ় NaOH, (৪) গাঢ় NH_4Cl দ্রবণ।

বিশেষ বিকারক দ্রবণ :

(১) পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণ, $K_4[Fe(CN))_6]$
(২) পটাসিয়াম ফেরিসায়ানাইড দ্রবণ, $K_3[Fe(CN))_6]$
(৩) অ্যামোনিয়াম থায়োসায়ানেট দ্রবণ, NH_4CNS
(৪) অ্যামোনিয়াম অক্সালেট দ্রবণ, $(NH_4)_2C_2O_4.H_2O$
(৫) পটাসিয়াম পাইরো অ্যান্টিমোনেট দ্রবণ, $K_2H_2Sb_2O_7$
(৬) নেসলার বিকারক বা নেসলার দ্রবণ, (KOH/NaOH + $K_2[HgI_4]$ দ্রবণ)
(৭) সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ, $AgNO_3$
(৮) বেরিয়াম নাইট্রেট দ্রবণ, $Ba(NO_3)_2$

MCQ-2.41 : নিচের A^{n+} আয়ন হবে কোনটি? [অভিন্ন বোর্ড. ২০১৮]
$A^{n+} + K_4[Fe(CN)_6] \longrightarrow$ সাদা অধঃক্ষেপ
(ক) Ca^{2+} (খ) Zn^{2+} (গ) Cu^{2+} (ঘ) Fe^{2+}

সাধারণ বিকারকসমূহের দ্রবণ প্রস্তুতি

১. লঘু HCl দ্রবণ : 5 mL গাঢ় HCl (10 M, আ. গু. 1.16) এর সাথে 495 mL পানি = 500 mL. 0.1 M HCl।

২. লঘু NH_4OH দ্রবণ : 34 mL গাঢ় NH_4OH (লিকার অ্যামোনিয়া, 15 M, আ. গু. 0.88) এর সাথে 66 mL পানি = 100 mL 5 M NH_4OH দ্রবণ। (0.4% আয়নিত হয়)

৩. গাঢ় NaOH দ্রবণ : 4 g NaOH এর সাথে 100 mL পানি মিশিয়ে = 100 mL 1M NaOH দ্রবণ।

৪. গাঢ় NH_4Cl দ্রবণ : 5.4 g NH_4Cl এর সাথে 100 mL পানি মিশিয়ে = 100 mL 1M NH_4Cl দ্রবণ।

বিশেষ বিকারকসমূহের দ্রবণ প্রস্তুতি

১. পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণ : 6.4 g $K_4[Fe(CN)_6]$ লবণ (আ. ভর 422) এর সাথে 100 mL পানি = 100 mL 0.15 M দ্রবণ।

২. পটাসিয়াম ফেরিসায়ানাইড দ্রবণ : 4.9 g $K_3[Fe(CN)_6]$ লবণ (আ. ভর 329) এর সাথে 100 mL পানি = 100 mL 0.15 M দ্রবণ।

৩. অ্যামোনিয়াম থায়োসায়ানেট দ্রবণ : 1.2 g NH_4CNS লবণ (আ. ভর 76) এর সাথে 100 mL পানি = 100 mL 0.15 M দ্রবণ।

৪. অ্যামোনিয়াম অক্সালেট দ্রবণ : 2.2 g $(NH_4)_2C_2O_4.H_2O$ লবণ (আ. ভর 142) এর সাথে 100 mL পানি = 100 mL 0.15 M দ্রবণ।

৫. পটাসিয়াম পাইরো অ্যান্টিমোনেট দ্রবণ : 8.7 g $K_2H_2Sb_2O_7$ লবণ (আ. ভর 435.7) এর সাথে 100 mL পানি = 100 mL 0.2 M দ্রবণ।

৬. নেসলার দ্রবণ (Nessler's Solution): 2.7 g $HgCl_2$ (আ. ভর 271) একটি বিকারে নিয়ে এতে 50 mL পানি মিশাও। দ্বিতীয় বিকারে 6.7 g KI নিয়ে এতে 50 mL পানি মিশাও। এখন KI এর সমস্ত দ্রবণকে ফোঁটায় ফোঁটায় 50 mL $HgCl_2$ এর দ্রবণে যোগ করো। প্রথমে লাল বর্ণের HgI_2 এর অধঃক্ষেপ পড়ে। শেষে অধিক KI দ্রবণ যোগ করার সাথে ঐ অধঃক্ষেপ দ্রবীভূত হয়ে পটাসিয়াম টেট্রাআয়োডো মারকিউরেট (II) যৌগের $K_2[HgI_4]$ এর স্বচ্ছ দ্রবণ উৎপন্ন হয়। এ দ্রবণে 10 mL 1M NaOH (পূর্বে প্রস্তুত করা আছে) দ্রবণ যোগ করে অধিক ক্ষারীয় দ্রবণ তৈরি করো।

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া :

$$HgCl_2(aq) + 2\,KI(aq) \longrightarrow HgI_2(s) + 2\,KCl(aq)$$

$$HgI_2(s) + 2\,KI(aq) \longrightarrow K_2[HgI_4](aq)$$

দ্রষ্টব্য : নেসলার দ্রবণে থাকা অধিক NaOH দ্রবণ নমুনা লবণ যেমন NH_4Cl এর সাথে বিক্রিয়া করে NH_3 গ্যাস উৎপন্ন করে যা পরে $K_2[HgI_4]$ এর সাথে বিক্রিয়া করে বাদামি বর্ণের অ্যামিনো মারকিউরিক আয়োডাইডের অধঃক্ষেপ সৃষ্টি করে।

$$2\,NH_4Cl(aq) + 2\,NaOH(aq) \longrightarrow 2\,NaCl(aq) + 2\,NH_3(g) + 2\,H_2O(l)$$

$$2\,K_2[HgI_4](aq) + 2\,NH_3(g) \longrightarrow NH_2Hg_2I_3(s) + NH_4I(aq) + 4\,KI(aq)$$

পটাসিয়াম টেট্রাআয়োডো মারকিউরেট (II) → অ্যামিনো মারকিউরিক আয়োডাইড (বাদামি অধঃক্ষেপ)

৭. সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ : 1.7 g $AgNO_3$ লবণ (আ. ভর 170) এর সাথে 100 mL পানি মিশিয়ে = 100 mL 0.1M $AgNO_3$ দ্রবণ। $AgNO_3$ দ্রবণকে বাদামি বোতলে রাখতে হয়। আলোর প্রভাবে $AgNO_3$ খুব ধীরে বিয়োজিত হয়।

৮. বেরিয়াম নাইট্রেট দ্রবণ : 6.5 g $Ba(NO_3)_2$ লবণ (আ. ভর 261.4) এর সাথে 100 mL পানি মিশিয়ে = 100 mL 0.25M $Ba(NO_3)_2$ দ্রবণ।

২.১৪ গুণগত বিশ্লেষণে সাধারণ ল্যাবরেটরি পদ্ধতিসমূহ

RMDAC

Common Laboratory Methods in Qualitative Analysis

সাধারণ ল্যাবরেটরি পদ্ধতি : যেকোনো জৈব ও অজৈব যৌগের পূর্ণাঙ্গ বৈশিষ্ট্য জানার জন্য পরীক্ষাধীন যৌগটি সম্পূর্ণ বিশুদ্ধ হওয়া দরকার। তাই প্রাকৃতিক উৎস অথবা পরীক্ষাগারে প্রস্তুত যৌগকে যেসব ভৌত পদ্ধতিতে বিশুদ্ধ অবস্থায় পৃথক করা হয়, সেসব পদ্ধতিকে **সাধারণ ল্যাবরেটরি পদ্ধতি** বলা হয়।

যৌগের বিশুদ্ধকরণ : কোনো যৌগকে সম্পূর্ণ অপরিবর্তিত রেখে অন্য কোনো মিশ্রিত পদার্থ থেকে যে ভৌত প্রক্রিয়ায় পৃথক করা হয়, তাকে ঐ যৌগের **বিশুদ্ধিকরণ বা বিশোধন** বলা হয়। বিশুদ্ধ যৌগের সুনির্দিষ্ট ভৌত ধর্ম দ্বারা যৌগটি বিশুদ্ধ হয়েছে কীনা তা পরীক্ষা করে জানা যায়।

যেসব বৈশিষ্ট্যপূর্ণ ভৌত ধর্মের পরীক্ষা দ্বারা কোনো অজৈব ও জৈবযৌগের বিশুদ্ধতা সম্বন্ধে সুনিশ্চিত হওয়া যায়, তাদেরকে ঐ যৌগের বিশুদ্ধতার মানদণ্ড (Criteria of purity) বলে। **যৌগের বিশুদ্ধতার সাধারণ মানদণ্ডসমূহ হলো নিম্নোক্ত ভৌত ধর্ম :**

(১) স্থির গলনাঙ্ক (melting point, m.p.); (২) স্থির স্ফুটনাঙ্ক (boiling point, b.p.);

(৩) কঠিন পদার্থের কেলাস গঠন (crystallinity); (৪) আপেক্ষিক গুরুত্ব বা ঘনত্ব (sp. density);

(৫) নির্দিষ্ট প্রতিসরাঙ্ক (refractive index)।

তবে কঠিন জৈব ও অজৈব যৌগের **সুনির্দিষ্ট গলনাঙ্ক** (m. p.) এবং তরল জৈব ও অজৈব যৌগের **সুনির্দিষ্ট স্ফুটনাঙ্ক** (b .p.) এদের **বিশুদ্ধতার প্রধান মানদণ্ডরূপে গণ্য করা হয়**। ভেজালযুক্ত কঠিন যৌগের গলনাঙ্ক সাধারণত 2°–1°C হ্রাস পায় এবং অবিশুদ্ধ তরলের স্ফুটনাঙ্ক 2°–1°C বৃদ্ধি পায়।

নির্দিষ্ট যৌগের বিশুদ্ধিকরণের সাধারণ ল্যাবরেটরি পদ্ধতিসমূহ : বিভিন্ন জৈব ও অজৈব যৌগ কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় অবস্থায় থাকে। তাই কোনো যৌগের বিশোধন বা বিশুদ্ধিকরণের জন্য কোন্ ভৌত পদ্ধতি উপযোগী হবে তা ঐ যৌগের ভৌত অবস্থার ওপর নির্ভর করে নিম্নোক্ত উপযুক্ত পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়। যেমন,

[ক] কঠিন যৌগের বিশুদ্ধিকরণের জন্য : ১. কেলাসন; ২. আংশিক কেলাসন; ৩. ঊর্ধ্বপাতন; ৪. স্টিম পাতন বা বাষ্প পাতন (কঠিন জৈবযৌগ); ৫. দ্রাবক নিষ্কাশন ও ৬. ক্রোমাটোগ্রাফি পদ্ধতি ইত্যাদি।

[খ] তরল যৌগের বিশুদ্ধিকরণের জন্য : ১. পাতন; ২. আংশিক পাতন; ৩. স্টিম বা বাষ্প পাতন; ৪. নিম্নচাপ পাতন; ৫. সমস্ফুটন পাতন; ৬. দ্রাবক নিষ্কাশন।

[গ] গ্যাসীয় যৌগের বিশুদ্ধিকরণের জন্য : ১. শোষণ পদ্ধতি; ২. তরলীকরণ ও আংশিক পাতন।

উপরোক্ত বিশুদ্ধিকরণ পদ্ধতিসমূহ যৌগের নিম্নোক্ত ভৌত ধর্মের ওপর নির্ভর করে :

(১) যৌগের উদ্বায়িতার পার্থক্য	:	ঊর্ধ্বপাতন (কঠিন পদার্থের)
(২) যৌগের স্ফুটনাঙ্কের পার্থক্য	:	বিভিন্ন পাতন (সাধারণ পাতন, আংশিক পাতন)
(৩) পানিতে অদ্রবণীয় ও স্টিমে উদ্বায়িতা	:	স্টিম পাতন
(৪) যৌগের দ্রাব্যতার পার্থক্য	:	কেলাসন ও দ্রাবক নিষ্কাশন
(৫) স্থির মাধ্যমে অধিশোষণ পার্থক্য	:	ক্রোমাটোগ্রাফি পদ্ধতি

২.১৪.১ কেলাসন পদ্ধতি (Crystallization)

সংজ্ঞা : কোনো কঠিন পদার্থের উত্তপ্ত সম্পৃক্ত দ্রবণকে ধীরে ধীরে শীতল করলে নিম্নতাপমাত্রায় দ্রবণটি অতিপৃক্ত (supersaturated) হওয়ার কারণে দ্রবণ থেকে অতিরিক্ত পদার্থ দানাদার কঠিন পদার্থরূপে পৃথক হয়ে পড়ে। এরূপে পৃথক হওয়া কঠিন পদার্থের নির্দিষ্ট জ্যামিতিক গঠন থাকে, তাকে **কেলাস** বলে এবং প্রক্রিয়াটিকে **কেলাসন বলে**। কেলাস পৃথক হওয়ার পর প্রাপ্ত দ্রবণটিকে **মাতৃদ্রবণ** বলে। মাতৃদ্রবণ হলো সংশ্লিষ্ট পদার্থের একটি **সম্পৃক্ত দ্রবণ** (saturated solution)। **কেলাসিত কঠিন পদার্থ বিশুদ্ধ অবস্থায় ও ভেজাল মুক্ত থাকে।**

কোনো কেলাসাকার কঠিন পদার্থের পর পর দু'বার কেলাসন করে প্রাপ্ত শুষ্ক কেলাসের গলনাঙ্ক স্থির বা একই হলে তবে ঐ **কেলাসাকার পদার্থকে বিশুদ্ধতম** ধরা হয়। দুই বা ততোধিক বার কেলাসন করাকে পদার্থের **পুনঃকেলাসন** (Recrystallization) বলা হয়। বিশুদ্ধ NaCl সাদা ও ঘনক (Cubic) আকৃতির হয়।

প্রয়োগ : শিল্পক্ষেত্রে চিনি উৎপাদনে কেলাসন পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়। এছাড়া জৈবযৌগের বিশোধনে কেলাসন প্রক্রিয়া ব্যবহৃত হয়। ভেজালমিশ্রিত অবিশুদ্ধ যৌগকে কেলাসন পদ্ধতিতে বিশুদ্ধ কেলাসরূপে মিশ্রণ থেকে পৃথক করা যায়।

কেলাসনের মূলনীতি : কঠিন দ্রবের দ্রাব্যতার পরিমাণ তাপমাত্রার সাথে সরাসরি সম্পর্কিত। তাপ তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে যৌগের দ্রাব্যতা বৃদ্ধি পায়। শীতল করলে ঐ দ্রবণ থেকে অতিরিক্ত দ্রব কেলাস আ শীতলকরণ ধীরগতিতে করলে কেলাসের আকার বড়ো এবং দ্রুত শীতলকরণে কেলাসের আকার অপেক্ষাকৃত

আবার ভেজাল মিশ্রিত কঠিন দ্রবের সম্পৃক্ত দ্রবণকে দ্রুত শীতল করলে সৃষ্ট কেলাসে ভেজাল বা অপদ্রব্যের কণা আটকে পড়ে। ফলে সৃষ্ট কেলাস সম্পূর্ণ বিশুদ্ধ হয় না। ধীরে শীতল করলে সৃষ্ট কেলাসের গঠনে অপদ্রব্য কণা থাকে না। তখন ঐ কেলাস স্বচ্ছ বিশুদ্ধ ও নির্দিষ্ট গলনাঙ্কবিশিষ্ট হয়। ভেজালযুক্ত কেলাস অস্বচ্ছ দেখায়।

দ্রাবক নির্বাচন : কেলাসন প্রক্রিয়ায় সঠিক দ্রাবক নির্বাচন খুবই গুরুত্বপূর্ণ। সঠিক দ্রাবক নির্বাচনের ওপর সংশ্লিষ্ট দ্রবটির কেলাসনের সফলতা নির্ভর করে। 'Like dissolves Like' নীতি অনুসারে, একই প্রকৃতির দ্রাবকে একই প্রকৃতির দ্রব অধিক দ্রবীভূত হয়। অর্থাৎ **পোলার দ্রাবক** (যেমন পানি, মিথানল, ইথানল, প্রোপানোন, ইথাইল অ্যাসিটেট, ডাইইথার ইথার) পোলার দ্রব অথবা আয়নিক যৌগের জন্য পোলারিটির মাত্রাভেদে উপযোগী, অপরদিকে **অপোলার দ্রাবক** (যেমন তরল হাইড্রোকার্বন, বেনজিন, টলুইন, $CHCl_3$, CCl_4 ইত্যাদি) অপোলার দ্রবকে দ্রবীভূত করার জন্য ব্যবহৃত হয়।

সাধারণত ভেজালযুক্ত জৈবযৌগের কেলাস বিবর্ণ হয়। এক্ষেত্রে প্রথমেই সংশ্লিষ্ট যৌগের সম্পৃক্ত দ্রবণকে অল্প পরিমাণ 'সক্রিয় কার্বন' গুঁড়া বা activated charcoal সহ উত্তপ্ত করলে রঙিন ভেজাল বস্তু শোষিত হয়; ফলে সম্পৃক্ত দ্রবণটি বর্ণহীন হয়।

কেলাস পৃথকীকরণ : কেলাসন প্রক্রিয়ার শেষ পর্যায়ে কেলাসিত পদার্থকে পরিস্রাবণ পদ্ধতিতে পৃথক করা হয়। ল্যাবরেটরিতে স্বল্প পরিমাণ কেলাসকে দ্রুত পৃথকীকরণের জন্য হ্রাসকৃত চাপে **বুখনার ফানেল** (Buchner funnel) ব্যবহৃত হয়। পৃথককৃত কেলাসকে অল্প পরিমাণ দ্রাবক দিয়ে ২/৩ বার ধৌত করা হয়। শেষে ডেসিকেটরে রেখে কেলাসকে শুষ্ক করা হয়।

কেলাসের বিশুদ্ধতার পরীক্ষা : বিশুদ্ধ কেলাস স্বচ্ছ হয়। শুষ্ক কেলাসের নির্দিষ্ট গলনাঙ্ক থাকে। তাই গলনাঙ্ক নির্ণয় করে কেলাসিত যৌগটির বিশুদ্ধতা জানা যায়। পরপর দুবার কেলাসনের পর প্রাপ্ত উভয় কেলাসের গলনাঙ্ক একই হলে তখন কেলাসিত যৌগের বিশুদ্ধতা নিশ্চিত হয়।

কেলাসন পদ্ধতি নিম্নোক্ত ধাপে সম্পন্ন করা হয় :

(১) উপযুক্ত দ্রাবকে প্রদত্ত নমুনার দ্রবণ প্রস্তুতি, (২) দ্রবণের পরিস্রাবণ বা ফিল্টারকরণ, (৩) সম্পৃক্ত দ্রবণ প্রস্তুতি, (৪) উত্তপ্ত সম্পৃক্ত দ্রবণকে শীতলকরণে কেলাসন, (৫) কেলাস পৃথকীকরণ ও শুষ্ককরণ।

ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণিশিক্ষকের সহায়তায় চারজনের গ্রুপ করে নিম্নোক্ত মূলনীতিসহকারে উপরোক্ত ধাপ অনুসরণ করে নিচের চিত্রমতে অবিশুদ্ধ খাদ্যলবণ থেকে বিশুদ্ধ লবণের কেলাস তৈরি করো।

পরীক্ষা নং-৯ **পরীক্ষার সময় : ১ পিরিয়ড**

তারিখ : ....

২.১৫ পরীক্ষার নাম : খাদ্য লবণ বা অবিশুদ্ধ সোডিয়াম ক্লোরাইড থেকে বিশুদ্ধ সোডিয়াম ক্লোরাইড কেলাস প্রস্তুতি।

(ক) মূলনীতি : প্রদত্ত অবিশুদ্ধ সোডিয়াম ক্লোরাইড বা খাদ্য লবণ-এর গাঢ় জলীয় দ্রবণে বিশুদ্ধ HCl এসিড যোগ করলে উভয়ের 'সাধারণ আয়ন' যেমন ক্লোরাইড আয়ন (Cl^-) এর প্রভাবে শুধুমাত্র NaCl কেলাসিত হয়; কিন্তু খাদ্য লবণের অন্যান্য ভেজাল যেমন $MgCl_2$, $CaCl_2$, Na_2SO_4, $MgSO_4$ ইত্যাদি দ্রবণে থেকে যায়। প্রাপ্ত কেলাসকে পৃথক করে শুষ্ক করে নিলে মোটামুটি বিশুদ্ধ NaCl এর কেলাস পাওয়া যায়।

[যদিও তাত্ত্বিকভাবে ঐ NaCl এর কেলাসকে গাঢ় HCl দিয়ে ধুয়ে ফেলা উচিত এবং তাপ প্রয়োগে গাঢ় HCl দূর করতে হয়। কিন্তু পরীক্ষাগারে শিক্ষার্থীদের জন্য তা বিপজ্জনক ও ক্ষতিকর হবে।]

(খ) প্রয়োজনীয় রাসায়নিক দ্রব্য : প্রদত্ত খাদ্য লবণ, গাঢ় HCl এসিড।

(গ) প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) বিকার ২টি, টেস্টটিউব ১টি, ফানেল, ফিল্টার পেপার, গ্লাস রড অথবা টেফলন রড; (২) পোর্সেলিন বেসিন, ত্রিপদী স্ট্যান্ড, বার্নার বা স্পিরিট ল্যাম্প ইত্যাদি।

(ঘ) কাজের ধারা : (১) দ্রবণ প্রস্তুতি : প্রথমে খাদ্য লবণকে রাফ-ব্যালান্সে মেপে এর ভর W_1 রেকর্ড করা হয়; (মনে করি $W_1 = 30$ g)। এরপর একটি বিকারে 100 mL পানি নিয়ে এর মধ্যে প্রদত্ত খাদ্য লবণের গুঁড়া অল্প অল্প করে যোগ করে গ্লাস রড দিয়ে নেড়ে দ্রবণ প্রস্তুত করা হয়।

(২) পরিস্রাবণ : এখন দ্রবণটিকে পরিস্রাবণ করে পরিষ্কার পরিস্রুত দ্রবণকে বিকারে নেয়া হয়।

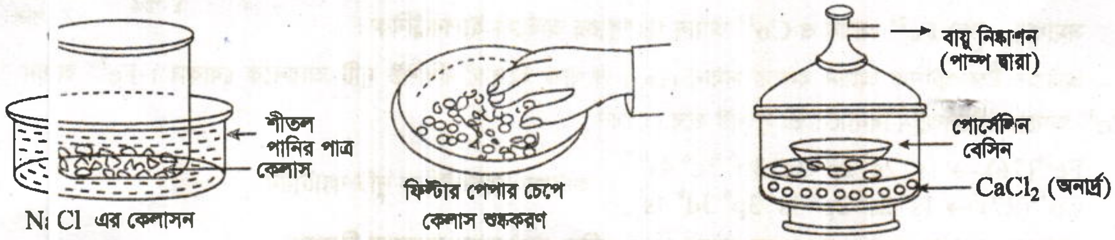
(৩) সম্পৃক্ত দ্রবণ প্রস্তুতি : পরিস্রুত দ্রবণটিকে তাপ দিয়ে সম্পৃক্ত করা হয়। অল্প তপ্ত দ্রবণ টেস্টটিউবে নিয়ে ট্যাপের পানিতে শীতল করলে যদি কেলাস দেখা যায়, তবে দ্রবণটি সম্পৃক্ত হয়েছে ধরা হয়।

(৪) সাধারণ আয়নরূপে গাঢ় HCl যোগ : এখন একটি শীতল পানির পাত্রে দ্রবণসহ বিকারটিকে রেখে কিছুটা শীতল করা হয়। পরে দ্রবণে ৫–৬ ফোঁটা গাঢ় HCl এসিড যোগ করা হয়। এতে কেলাসন সহজে ঘটে।

(৫) কেলাস পৃথকীকরণ : পরিস্রাবণ করে মাতৃদ্রবণ থেকে কেলাস পৃথক করা হয়। ফিল্টার পেপারের ওপর কেলাসগুলো জমা করা হয়।

চিত্র-২.২৬ : দ্রবণ প্রস্তুতি   চিত্র-২.২৭ : পরিস্রাবণ   চিত্র-২.২৮ : সম্পৃক্তকরণ

(৬) কেলাসের শুষ্ককরণ : ফিল্টার পেপারের ওপর জমা করা কেলাসগুলোকে অপর একটি ফিল্টার পেপার দিয়ে ধীরে ধীরে চেপে কেলাসগুলোর পানি শোষণ করা হয়। এরপর নিরুদক গলিত $CaCl_2$ সহ **ডেসিকেটর** অথবা **ভেক্যুয়াম ডেসিকেটরে** কেলাসগুলোকে পোর্সেলিন বেসিনসহ রেখে শুষ্ক করা হয়। [চিত্র-২.৩০–২.৩১]।



চিত্র-২.২৯ : NaCl-এর কেলাসন, চিত্র-২.৩০ : ফিল্টার পেপার চেপে কেলাস শুষ্ককরণ, চিত্র-২.৩১ : ভেক্যুয়াম ডেসিকেটরে কেলাস শুষ্ককরণ

(৭) কেলাস সংরক্ষণ : টেস্টটিউবের গায়ে রোল নং .... লেখা কাগজ এঁটে দিয়ে এর ভেতর শুষ্ক ঘনক (cubic) আকৃতির NaCl এর কেলাসগুলো রেখে কর্ক যুক্ত করা হয়।

(৮) সতর্কতা : (১) সম্পৃক্ত দ্রবণ প্রস্তুত করতে যথাসম্ভব কম পানি ব্যবহার করা উচিত।
(২) বিকারে দ্রবণকে উত্তপ্ত করার সময় ধীরে ধীরে ও সমভাবে তাপ দেয়া উচিত।

জেনে নাও : বিশুদ্ধ NaCl এর কেলাসন প্রক্রিয়ায় HCl এসিড ব্যবহার করা হয় কেন?

ভেজালযুক্ত খাদ্য লবণের উত্তপ্ত সম্পৃক্ত দ্রবণে NaCl সম্পূর্ণ আয়নিত অবস্থায় থাকে। যখন শীতল করা হয় তখন NaCl এর দ্রাব্যতা কমতে থাকে। এ অবস্থায় সবল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য HCl এসিড ঐ দ্রবণে যোগ করলে HCl আয়নিত হয়ে দ্রবণে সাধারণ আয়নরূপে Cl^- আয়নের ঘনমাত্রা বেড়ে যায়।

$$NaCl(aq) \longrightarrow Na^+(aq) + Cl^-(aq) \quad \ldots \quad (1)$$
$$HCl(aq) \longrightarrow H^+(aq) + \underset{\text{সাধারণ আয়ন}}{Cl^-(aq)}$$

প্রথমত, নিম্নতাপমাত্রায় NaCl এর দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতা গুণফল (K_{sp}) কমতে থাকে। দ্বিতীয়ত, HCl থেকে যুক্ত সাধারণ আয়ন যেমন ক্লোরাইড আয়ন (Cl^-) এর প্রভাবে NaCl এর আয়নিক গুণফল (K_{ip}) এটির দ্রাব্যতা গুণফল (K_{sp}) থেকে আরো বেড়ে যায়। ফলে উপরোক্ত (1) নং সমীকরণে বিপরীতভাবে Na^+ আয়ন ও Cl^- আয়ন যুক্ত হয়ে NaCl এর কেলাস দ্রুত সৃষ্টি হয়।

$$Na^+(aq) + Cl^-(aq) \longrightarrow NaCl(s)\ [\text{কেলাস}]$$

সুতরাং NaCl এর কেলাসন প্রক্রিয়া দ্রুত ও পরিমাণে বৃদ্ধি পাওয়ার জন্য HCl ব্যবহৃত হয়। HCl ছাড়া অতিপৃক্ত দ্রবণে NaCl এর কেলাসন ধীর গতিতে সম্ভব।

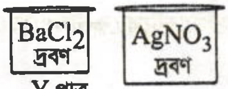
শিক্ষার্থীর কাজ-২.১৯ : কেলাসনভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.২৭(ক) : কেলাসন বলতে কী বুঝ?

প্রশ্ন-২.২৭(খ) : পুনঃকেলাসন বলতে কী বুঝ?

প্রশ্ন-২.২৮ : NaCl এর সম্পৃক্ত দ্রবণে গাঢ় HCl এর কয়েক ফোঁটা যোগ করলে NaCl এর কেলাসন সহজে ঘটে; লবণের দ্রাব্যতার গুণফলের ওপর সমআয়নের প্রভাবের সাহায্যে এর ব্যাখ্যা করো।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৭১ : উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [দি. বো. ২০১৯]



Y-পাত্র Z- পাত্র

(ক) Fe^{2+} ও Co^{3+} হলো পরস্পরের আইসো-ইলেকট্রনিক; ব্যাখ্যা করো।

(খ) Y-পাত্র ও Z-পাত্রের দ্রবণে HCl যোগ করার ফলাফল বিশ্লেষণ করো।

সমাধান : (ক) Fe^{2+} আয়ন ও Co^{3+} আয়ন পরস্পরের আইসো-ইলেকট্রনিক :

আইসো-ইলেকট্রনিক আয়ন বলতে সমান (iso) সংখ্যক ইলেকট্রনবিশিষ্ট দুটি আয়নকে বোঝায়। Fe^{2+} আয়ন ও Co^{3+} আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাসে তা সুস্পষ্ট হবে। যেমন,

$$\left.\begin{array}{l} Fe^{2+}(26) \rightarrow 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^6\ 4s^0 \\ Co^{3+}(27) \rightarrow 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 3d^6\ 4s^0 \end{array}\right] \text{আইসো-ইলেকট্রনিক দুটি ক্যাটায়ন}$$

সমাধান : (খ) Y-পাত্র ও Z-পাত্রের দ্রবণে HCl এসিড যোগ করার ফলাফল বিশ্লেষণ :

উদ্দীপকের Y-পাত্রে আছে $BaCl_2$ দ্রবণ; এবং

উদ্দীপকের Z-পাত্রে আছে $AgNO_3$ দ্রবণ।

(১) Y-পাত্রের $BaCl_2$ এর দ্রবণে HCl দ্রবণ যোগ করলে উভয় যৌগের দ্রবণে সাধারণ আয়নরূপে ক্লোরাইড আয়ন (Cl^-) থাকায় কোনো অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়া ঘটার সুযোগ নেই। তবে সাধারণ-আয়নের প্রভাবে $BaCl_2$ এর দ্রাব্যতা হ্রাসের ফলে $BaCl_2$ এর কেলাসন ঘটবে।

$$BaCl_2(aq) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + \boxed{2Cl^-(aq)}$$

$$HCl(aq) \longrightarrow H^+(aq) + \boxed{Cl^-(aq)}$$

সাধারণ আয়ন

(২) Z-পাত্রের $AgNO_3$ এর দ্রবণে HCl দ্রবণ যোগ করলে উভয় যৌগের ভিন্ন ধনাত্মক আয়ন ও ঋণাত্মক আয়নের মধ্যে দ্বিবিয়োজন বিক্রিয়া বা অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়া ঘটবে।

$$AgNO_3(aq) + HCl(aq) \longrightarrow AgCl(s) + HNO_3(aq)$$

উৎপন্ন AgCl এর দ্রাব্যতা কম হওয়ায় AgCl এর সাদা অধঃক্ষেপ উৎপন্ন হবে। এ অধঃক্ষেপটি বিক্রিয়ায় উৎপন্ন HNO_3 এসিডে অদ্রবণীয় হবে।

বিশ্লেষণ: (১) Y-পাত্রের $BaCl_2$ এর দ্রবণটি সম্পৃক্ত দ্রবণ হলে অথবা সাধারণ আয়ন যোগ করার ফলে $BaCl_2$ এর আয়নিক গুণফল (K_{ip}) এর মান এর দ্রাব্যতা গুণফল (K_{sp}) এর মানের চেয়ে বেশি হলে তখন অধঃক্ষেপরূপে কেলাস সৃষ্টি হবে।

(২) Z-পাত্রের $AgNO_3$ দ্রবণ ও HCl এর দ্বিবিয়োজন বিক্রিয়া বা অধঃক্ষেপণ বিক্রিয়া ভিন্ন ক্যাটায়ান ও অ্যানায়নের মধ্যে ঘটবে।

(৩) উভয় প্রক্রিয়ায় শেষ ফল হলো Y-পাত্রে কেলাস হিসেবে $BaCl_2$ এবং Z-পাত্রে নতুন উৎপাদ AgCl এর অধঃক্ষেপ বা কেলাস উৎপন্ন হয়।

২.১৫ । আংশিক কেলাসন (Fractional Crystallization)

সংজ্ঞা : উপযুক্ত কোনো একটি দ্রাবকে বিভিন্ন দ্রাব্যতা বিশিষ্ট দুই বা ততোধিক কঠিন পদার্থের মিশ্রণের সম্পৃক্ত দ্রবণ থেকে ঐ মিশ্রণের উপাদানগুলোর দ্রাব্যতার পার্থক্যের ওপর ভিত্তি করে প্রত্যেকটি পদার্থকে পর্যায়ক্রমে পৃথকভাবে কেলাস রূপে পৃথক করার পদ্ধতিকে আংশিক কেলাসন বলে। MAT-(21-22)

ব্যবহৃত দ্রাবকে পদার্থগুলোর দ্রাব্যতার পার্থক্য যত বেশি হয়, আংশিক কেলাসনে তাদের পৃথকীকরণ ততই সুষ্ঠু হয়।

বর্ণনা : মনে করি, A ও B দুটি জৈবযৌগ ইথাইল অ্যালকোহলে দ্রবণীয়। কক্ষতাপমাত্রায় (25°C-এ) A এর দ্রাব্যতা হলো 25 gL^{-1} এবং B এর দ্রাব্যতা হলো 45 gL^{-1}। এখন A ও B যৌগের মিশ্রণটিকে ঐ দ্রাবকে 50°C-এ উত্তপ্ত করে A এর সাপেক্ষে সম্পৃক্ত দ্রবণ তৈরি করা হলো। এরপর ঐ মিশ্র দ্রবণটিকে 25°C-এ শীতল করলে কম দ্রাব্যতাবিশিষ্ট A যৌগটি কেলাসরূপে পৃথক হয়ে পড়ে। এরপর পরিস্রাবণ করে কেলাসিত A যৌগটিকে পৃথক করা হয়। শেষে প্রাপ্ত পরিস্রুত দ্রবণটিকে উত্তপ্ত করে গাঢ় করার পর কক্ষতাপমাত্রার উর্ধ্বে 30°C-এ শীতল করলে B যৌগটি কেলাসিত হয়। এরপর পরিস্রাবণ করে B যৌগের কেলাসকে পৃথক করা হয়। শেষে A ও B যৌগের কেলাসকে উপযুক্ত পৃথক দ্রাবকে যেমন বেনজিন ও ইথারে দ্রবীভূত করে পুনঃ পুনঃ কেলাসন করলে বিশুদ্ধ A ও B এর কেলাস পাওয়া যায়। সাধারণত আংশিক কেলাসনে ব্যবহৃত দ্রাবক হলো পানি, অ্যালকোহল, ইথার, অ্যাসিটোন ও বেনজিন ইত্যাদি।

প্রয়োগ : চিনি বা সুগার শিল্পে প্রাথমিকভাবে কেলাসিত চিনিকে এর জলীয় দ্রবণ থেকে আংশিক কেলাসন প্রক্রিয়ায় অপদ্রব্য থেকে পৃথক করা হয়। এতে চিনির কেলাসের আকার বৃদ্ধির সাথে চিনির মিষ্ঠতাও বৃদ্ধি পায়।

২.১৬ পাতন (Distillation)

সংজ্ঞা : যে তরল পদার্থ এর স্ফুটনাঙ্কের মধ্যে বিয়োজিত না হয়ে বাষ্পীভূত হয় এবং সে বাষ্পকে শীতল করার পর একই তরল পদার্থ পাওয়া যায়, তাকে **উদ্বায়ী তরল** বলে। তাপ প্রয়োগে কোনো তরলকে বাষ্পে রূপান্তর ও শীতলকরণে ঘনীভূত হয়ে একই তরল পদার্থে পরিণত হওয়ার প্রক্রিয়াকে **পাতন** বলে। পাতন = (তরলের বাষ্পীভবন + ঘনীভবন)

অবস্থাভেদে তরল পদার্থের পাতন পদ্ধতি ৫ শ্রেণিতে বিভক্ত। যেমন—

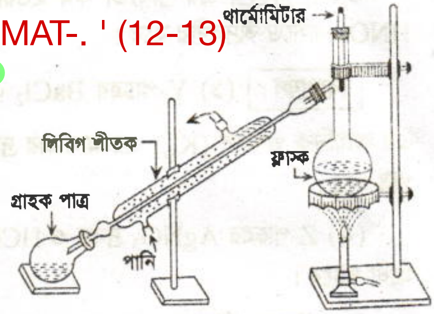
পাতন

১. সাধারণ পাতন
২. আংশিক পাতন
৩. সমস্ফুটন পাতন
৪. বাষ্প পাতন
৫. নিম্নচাপ পাতন

২.১৬.১ সাধারণ পাতন (Simple distillation)

MAT-. ' (12-13)

সংজ্ঞা : যে সাধারণ পাতন প্রক্রিয়ার সাহায্যে অনুদ্বায়ী কঠিন ও তরল পদার্থ থেকে উদ্বায়ী তরলকে এবং 40°C তাপমাত্রার অধিক ব্যবধানের স্ফুটনাঙ্কবিশিষ্ট দুই তরল পদার্থের মিশ্রণ থেকে পরস্পরকে বিশুদ্ধ অবস্থায় পৃথক করা যায়; তাকে সাধারণ পাতন বলে। সাধারণ পাতন প্রক্রিয়ায় মূলত তিনটি যন্ত্র যেমন— (১) পাতন ফ্লাস্ক, (২) লিবিগ শীতক ও (৩) গ্রাহক পাত্র ব্যবহৃত হয়। এছাড়া থার্মোমিটার ব্যবহৃত হতে পারে।



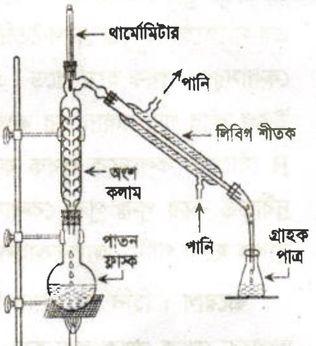
চিত্র-২.৩২ : সাধারণ পাতন পদ্ধতি।

সাধারণ পাতনের বর্ণনা : বিশোধনের জন্য অবিশুদ্ধ তরলকে পাতন ফ্লাস্কে নিয়ে এর মুখে কর্কের মাধ্যমে একটি থার্মোমিটার এর বালবকে ফ্লাস্কের পার্শ্বনলের মুখ বরাবর রেখে যুক্ত করা হয়। [চিত্র-২.৩২] পাতন ফ্লাস্কটিকে তারজালির ওপর রেখে উত্তপ্ত করা হয় এবং একই সময়ে লিবিগ শীতকের ভেতরে ঠাণ্ডা পানির প্রবাহ চালনা করা হয়। ফ্লাস্কে তাপ প্রয়োগ করলে থার্মোমিটারে প্রথমে তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেয়ে পরে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় স্থির থাকে। তখন সে তাপমাত্রায় তরলটি বাষ্পীভূত হতে থাকে এবং শীতকে ঘনীভূত হয়ে বিশুদ্ধ তরলরূপে গ্রাহক পাত্রে জমা হয়। তরল পদার্থের স্ফুটনাঙ্ক 100–120°C এর ঊর্ধ্বে হলে পানি শীতক বা লিবিগ শীতকের পরিবর্তে 1 cm^3 ব্যাসের 80 cm^3 দীর্ঘ কাচ নির্মিত বায়ু-শীতক ব্যবহৃত হয়।

২.১৬.২ আংশিক পাতন (Fractional distillation)

MAT-(10-11)

সংজ্ঞা : কোনো মিশ্র তরল পদার্থের উপাদানসমূহের স্ফুটনাঙ্কের ব্যবধান 40°C এর বেশি হলে সাধারণ পাতন পদ্ধতিতে এদের পৃথক করা সম্ভব। কিন্তু **তরল মিশ্রণের উপাদানসমূহের স্ফুটনাঙ্কের ব্যবধান 40°C এর কম হলে তখন পাতন ফ্লাস্ক ও শীতকের মাঝখানে 'অংশ কলাম' (fractionating column) নামক 'সাহায্যকারী শীতক' ব্যবহার করে পাতন প্রক্রিয়ায় তরল উপাদানসমূহের পৃথকীকরণ সম্ভব হয়। 'অংশ কলাম' ব্যবহার করে পাতন প্রক্রিয়ায় মিশ্রণের তরল উপাদানকে পৃথক করার পদ্ধতিকে আংশিক পাতন বলে।**



চিত্র-২.৩৩ : আংশিক পাতন পদ্ধতি।

বর্ণনা : একটি তরল মিশ্রণে A ও B দুটি জৈবযৌগ আছে। A এর স্ফুটনাঙ্ক হলো 85°C এবং B এর স্ফুটনাঙ্ক হলো 100°C। মিশ্রণটিকে পাতন ফ্লাস্কে নিয়ে ছোটো ছোটো বাল্‌ববিশিষ্ট একটি অংশ কলামে যথারীতি যুক্ত করে উত্তপ্ত করা হয়। মিশ্রণটি ফুটতে থাকে ও উৎপন্ন বাষ্প অংশ কলামের ভেতর দিয়ে ওপরে ওঠলে উক্ত বাষ্পের অপেক্ষাকৃত কম উদ্বায়ী B এর বাষ্প বায়ুর শৈত্যে অংশ কলামের বালবে ঘনীভূত হয়ে নিচে নেমে আসে এবং অধিক উদ্বায়ী যৌগ A এর বাষ্প ক্রমশ ওপরের দিকে ওঠতে থাকে। এতে কম উদ্বায়ী ঘনীভূত তরলের একটি নিম্নমুখী প্রবাহ ও অধিক উদ্বায়ী তরলটির বাষ্পের ঊর্ধ্বমুখী প্রবাহ চলতে থাকে। ফলে কম উদ্বায়ী তরলের

বাষ্প ঘনীভূত হয়ে পুনরায় ফ্লাস্কে আসে এবং অধিক উদ্বায়ী তরলের বাষ্প অংশ কলাম পার হয়ে লিবিগ শীতকে প্রবেশ করে ও ঘনীভূত হয়ে পাতিত তরলরূপে গ্রাহক পাত্রে জমা হয়। পরে দুই তরলকে পৃথকভাবে পুনঃপাতন করে বিশুদ্ধ করা হয়।

প্রয়োগ : আধুনিক রাসায়নিক শিল্পে 'অংশ কলাম' ব্যবহার করে পেট্রোলিয়াম থেকে ডিজেল, পেট্রোল, কেরোসিন পৃথকীকরণ, রেকটিফাইড স্পিরিট উৎপাদন, আলকাতরার অংশ পাতন, লঘু তৈল থেকে বেনজিন, টলুইন প্রভৃতি পৃথকীকরণ উল্লেখযোগ্য।

জেনে নাও : দু বা ততোধিক তরল পদার্থের মিশ্রণকে উত্তপ্ত করলে এদের উৎপন্ন মিশ্র বাষ্পে অধিকতর উদ্বায়ী অর্থাৎ কম স্ফুটনাঙ্কবিশিষ্ট তরলটির বাষ্পের পরিমাণ বেশি থাকে এবং কম উদ্বায়ী তরলের বাষ্প কম থাকে। তাই ঐ মিশ্র বাষ্পকে শীতল করলে প্রাপ্ত তরল মিশ্রণে অধিক উদ্বায়ী তরলের শতকরা পরিমাণ বেশি হয়। এরূপে পুনঃপুনঃ পাতন করেও মিশ্রণের উপাদান পৃথক করা যায়। তবে ক্ষেত্রবিশেষে নির্দিষ্ট সংযুক্তিবিশিষ্ট তরল-তরল মিশ্রণের বাষ্পে উপাদান তরলের সংযুক্তি ও তরল মিশ্রণে উপাদানগুলোর সংযুক্তি একই থাকে। এরূপ সংযুক্তির তরল-তরল মিশ্রণটি প্রত্যেক উপাদান তরলের স্ফুটনাঙ্কের চেয়ে কম বা বেশি তাপমাত্রায় ফুটে; এরূপ মিশ্রণকে **সমস্ফুটন মিশ্রণ** বলা হয়।

২.১৬.৩ সমস্ফুটন পাতন (Azeotropic Distillation)

সংজ্ঞা : যখন দু বা ততোধিক তরল পদার্থের নির্দিষ্ট শতকরা সংযুক্তির কোনো মিশ্রণ এর প্রত্যেক উপাদানের স্ফুটনাঙ্ক হতে ভিন্ন এবং সর্বনিম্ন অথবা সর্বোচ্চ কোনো তাপমাত্রায় একক বিশুদ্ধ তরলরূপে ফুটে, তখন ঐ নির্দিষ্ট সংযুক্তির তরল মিশ্রণটিকে সমস্ফুটন মিশ্রণ বা স্থির স্ফুটনাঙ্কের মিশ্রণ বলে। এরূপ মিশ্রণের পাতনকে সমস্ফুটন পাতন বলা হয়। যেমন,

(i) **সর্বনিম্ন স্ফুটনাঙ্কের সমস্ফুটন মিশ্রণের উদাহরণ হলো** 95.6% ইথানল ও 4.4% পানির মিশ্রণ; এ মিশ্রণের স্ফুটনাঙ্ক হলো 78.15°C। কিন্তু বিশুদ্ধ ইথানল ও পানির স্ফুটনাঙ্ক হলো যথাক্রমে 78.3°C এবং 100°C।

(ii) **সর্বোচ্চ স্ফুটনাঙ্কের সমস্ফুটন মিশ্রণের উদাহরণ হলো** 68.4% HNO_3 ও 31.6% পানির মিশ্রণ; এ মিশ্রণের স্ফুটনাঙ্ক হলো 120.5°C। কিন্তু বিশুদ্ধ HNO_3 ও পানির স্ফুটনাঙ্ক হলো যথাক্রমে 86°C এবং 100°C।

উল্লেখ্য আংশিক পাতন দ্বারা সমস্ফুটন মিশ্রণের উপাদানগুলোকে পৃথক করা যায় না। কারণ সমস্ফুটন মিশ্রণের বাষ্পে উপাদানগুলোর সংযুক্তি এবং এর তরল মিশ্রণের উপাদানগুলোর সংযুক্তি একই থাকে।

উদাহরণ ও বর্ণনা : (i) স্টার্চ হতে ফারমেন্টেশন পদ্ধতিতে প্রস্তুত করা ইথানলের দ্রবণে প্রায় 12 – 15% ইথানলসহ স্বল্প পরিমাণে গ্লিসারিন, অ্যাসিট্যালডিহাইড, অ্যাসিটোন ও অধিকাংশ পানি মিশ্রিত থাকে। 'অংশ-কলাম' (fractionating column) ব্যবহার করে এ মিশ্রণকে পাতিত করলে 78.1°C তাপমাত্রায় 95.6% ইথানল ও 4.4% পানির সমস্ফুটন মিশ্রণ পাতিত তরলরূপে পাওয়া যায়। এ মিশ্রণকে **রেকটিফাইড-স্পিরিট** বলে।

(ii) রেকটিফাইড স্পিরিট বা 95.6% ইথানল থেকে 100% ইথানল প্রস্তুতি :

(ক) পাথুরে চুন (CaO) সহ পাতন : রেকটিফাইড স্পিরিটকে পাথুরে চুন বা কুইক লাইম (CaO) সহ পাতন করলে CaO দ্বারা 4.4% পানি শোষিত হয় এবং 78.3°C এ বিশুদ্ধ ইথানল পাতিত তরলরূপে পাওয়া যায়।

$$[C_2H_5OH\ (95.6\%) + H_2O\ (4.4\%) + CaO] \longrightarrow [Ca(OH)_2 + C_2H_5OH] \xrightarrow[78.3^\circ C]{\text{পাতন}} 100\%\ C_2H_5OH$$

[পাতিত তরল]

(খ) বেনজিনসহ পাতন : বেনজিনসহ সমস্ফুটন পাতন দ্বারা বিশুদ্ধ ইথানল প্রস্তুত করা যায়। যেমন, রেকটিফাইড স্পিরিটে প্রয়োজনমতো বেনজিন মিশিয়ে পাতন করলে 64.8°C ও 68.2°C তাপমাত্রায় নিম্নোক্ত দুটি সমস্ফুটন মিশ্রণের পাতন শেষে অবশেষরূপে বিশুদ্ধ ইথানল পাওয়া যায়।

১ম সমস্ফুটন মিশ্রণটির সংযুক্তি হলো 7.4% পানি + 18.5% ইথানল ও 74.1% বেনজিন; এটির পাতন তাপমাত্রা হলো 64.8°C। এ পাতন প্রক্রিয়ায় সমস্ত পানি দূর হয়। যদি মিশ্রণে বেনজিন অবশিষ্ট থাকে তখন তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেয়ে 68.2°C হলে ইথানল ও অবশিষ্ট বেনজিনের ২য় সমস্ফুটন মিশ্রণরূপে সমস্ত বেনজিন দূর হয়।

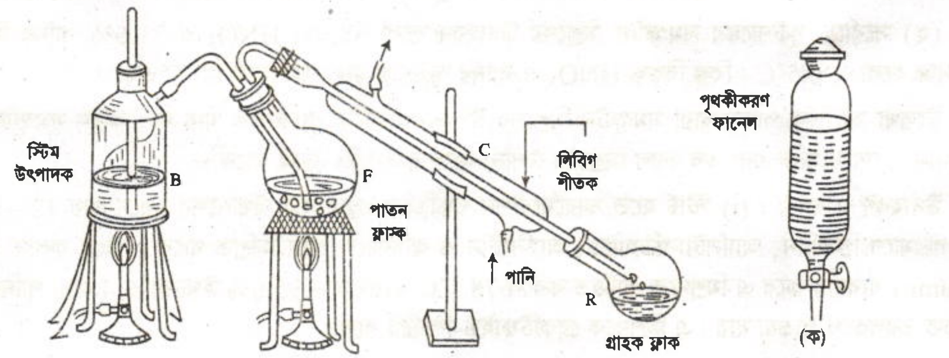
২য় সমস্ফুটন মিশ্রণের সংযুক্তি হলো 32.4% ইথানল ও 67.4% বেনজিন; এটির পাতন তাপমাত্রা হলো 68.2°C। এরপর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেয়ে 78.3° তাপমাত্রায় 100% বিশুদ্ধ ইথানল পাতিত তরলরূপে সংগ্রহ করা হয়।

২.১৬.৪ বাষ্প পাতন বা স্টিম পাতন (Steam Distillation)

RMDAC

সংজ্ঞা : যেসব কঠিন ও তরল জৈবযৌগ পানিতে অদ্রবণীয় এবং ফুটন্ত পানিতে বিযোজিত হয় না, কিন্তু উত্তপ্ত জলীয় বাষ্প বা স্টিমে সহজেই উদ্বায়ী হয় সে অনুদ্বায়ী ভেজাল পদার্থের মিশ্রণ থেকে স্টিম প্রবাহের দ্বারা পৃথক করার পদ্ধতিকে বাষ্প পাতন ও স্টিম পাতন বলে। এক্ষেত্রে উদ্বায়ী পদার্থের বাষ্পচাপ ও জলীয়বাষ্পের চাপের যোগফল বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়। তাই উদ্বায়ী পদার্থটি এর স্ফুটনাঙ্কের নিম্নতাপমাত্রায় পাতিত হয়ে থাকে।

বর্ণনা : গোলতলি ফ্লাস্কে (F) অল্প পানিসহ অনুদ্বায়ী ভেজাল মিশ্রিত জৈবযৌগের মিশ্রণ নিয়ে এর সঙ্গে এক পার্শ্বে স্টিমের আগম-নল ও অপর পার্শ্বে উদ্বায়ী বাষ্পের নির্গম-নল এর সঙ্গে লিবিগ শীতক যুক্ত করা হয় (চিত্র-২.৩৪)। শীতকের (C) শেষ প্রান্তে গ্রাহক পাত্র থাকে। গোলতলি ফ্লাস্কটিকে স্টিম উৎপাদক পাত্রের দিকে একটু হেলান অবস্থায় রেখে স্টিম চালনা করা হয়, যেন স্ফুটনকালে লাফ দিয়ে নির্গম-নল পর্যন্ত তরলটি পৌঁছতে না পারে। স্টিম উৎপাদক (B) ও পাতন ফ্লাস্কে (F) এমনভাবে তাপ দেয়া হয় যেন পাতন ফ্লাস্কে প্রবিষ্ট ও তা থেকে নির্গত বাষ্পের পরিমাণ প্রায় সমান থাকে। গ্রাহক ফ্লাস্কে (R) সঞ্চিত জৈবযৌগের সঙ্গে পানিও জমতে থাকে। তাই কঠিন অদ্রবণীয় জৈবযৌগকে **পৃথকীকরণ ফানেলের** সাহায্যে পৃথক করা হয়। [চিত্র-২.৩৪ (ক)]



চিত্র-২.৩৪ : বাষ্প পাতন পদ্ধতি। (ক) পৃথকীকরণ ফানেল।

প্রয়োগ : স্টিম পাতন পদ্ধতিতে সুগন্ধ পুষ্প থেকে ফুলের নির্যাস যেমন গোলাপ জল প্রস্তুতি এবং ইউকেলিপটাস পাতা থেকে এর তৈল প্রভৃতি নানা প্রকার সুগন্ধি তৈল নিষ্কাশন করা হয়। অ্যানিলিনের বিশোধন বাষ্প পাতনের সাহায্যে করা হয়।

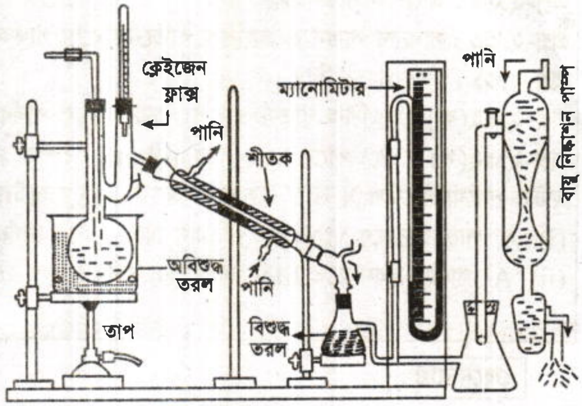
২.১৬.৫ নিম্নচাপ পাতন বা অনুপ্রেষ পাতন (Vacuum Distillation)

সংজ্ঞা : তরল পদার্থের উপরিস্থিত বায়ুচাপ হ্রাসের মাধ্যমে তরলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্কের চেয়ে নিম্নতাপমাত্রায় কোনো তরল পদার্থকে পাতন করে কোনো মিশ্রণ হতে পৃথক করার প্রক্রিয়াকে নিম্নচাপ পাতন বা অনুপ্রেষ পাতন বলে।

প্রয়োগ : উল্লেখ্য তরল পদার্থের উপরিস্থিত বায়ুচাপ বৃদ্ধি করলে তরলের স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি পায় এবং বায়ুচাপ হ্রাস করলে স্ফুটনাঙ্কও হ্রাস পায়। যে সকল জৈব তরল এদের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্কের তাপমাত্রায় বিযোজিত হয়ে যায়, সেসব তরল পদার্থকে অপেক্ষাকৃত নিম্নচাপে তথা নিম্নতাপমাত্রায় পাতন করা হয়। যেমন,

স্বাভাবিক বায়ুচাপে [760 mm(Hg)-এ] গ্লিসারিন 290°C তাপমাত্রায় আংশিক বিয়োজনসহ ফুটে ও পাতিত হয়। কিন্তু 12 mm (Hg) নিম্নচাপে ও 180°C তাপমাত্রায় গ্লিসারিন বিয়োজন ছাড়াই ফুটে ও পাতিত হয়। তাই সাবান শিল্পে বর্জ্য-লাই (spent-lye) হতে গ্লিসারিনকে ঐ নিম্নচাপ ও নিম্নতাপমাত্রায় পাতিত করে পৃথক করা হয়। এছাড়া ফিনাইল হাইড্রাজিন, ইথাইল ম্যালোনেট, ইথাইল অ্যাসিটো অ্যাসিটেট ইত্যাদিকে নিম্নচাপ পাতন করা হয়।

বর্ণনা : নিম্নচাপে পাতনের ক্ষেত্রে সাধারণ পাতন ফ্লাস্কের পরিবর্তে দু মুখওয়ালা ক্লেইজেন ফ্লাস্ক ব্যবহৃত হয়। ক্লেইজেন ফ্লাস্কের সাথে লিবিগ শীতকসহ গ্রাহক ফ্লাস্ক (বিশুদ্ধ তরলের জন্য) যুক্ত করা থাকে। চিত্র মতে (চিত্র-২.৩৫), গ্রাহক ফ্লাস্কটির সাথে বায়ু-নিষ্কাশন পাম্প (vacuum pump) ও ম্যানোমিটার যুক্ত থাকে। ম্যানোমিটার থেকে বায়ুর নিম্নচাপের পরিমাণ জানা যায়। এক্ষেত্রে সব সংযোগ সম্পূর্ণ বায়ুরোধী (airtight) অবস্থায় রাখা হয়।



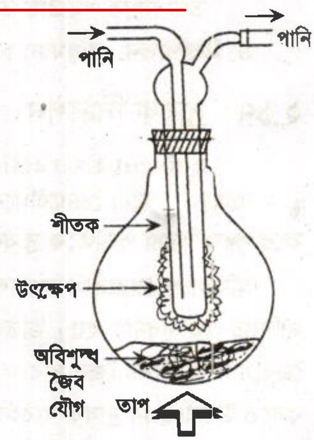
চিত্র-২.৩৫ : নিম্নচাপ পাতন।

২.১৬.৩ ঊর্ধ্বপাতন (Sublimation)

সংজ্ঞা : যেসব কঠিন পদার্থের গলনাঙ্কের নিম্নতাপমাত্রায় এদের বাষ্পচাপ বায়ুচাপ অপেক্ষা বেশি হয়, সেসব কঠিন পদার্থ তাপের প্রভাবে কঠিন অবস্থা থেকে সরাসরি বাষ্পে পরিণত হয়। বিপরীতক্রমে ঐ বাষ্পকে শীতল করলে পূর্বের কঠিন পদার্থে পরিণত হয়। এ পদ্ধতিকে **ঊর্ধ্বপাতন** বলে। এ কঠিন পদার্থকে ঊর্ধ্বপাতনযোগ্য পদার্থ বলে। যেমন— কর্পূর, ন্যাফথালিন, বেনজয়িক এসিড এবং ঊর্ধ্বপাতনে পৃথকীকৃত বস্তুকে উৎক্ষেপ (sublimate) বলে।

কঠিন পদার্থ —তাপ→ বাষ্পীভূত পদার্থ —শীতলকরণ→ একই কঠিন পদার্থ

বর্ণনা : কোনো অনুদ্বায়ী কঠিন পদার্থ ও ঊর্ধ্বপাতনযোগ্য জৈব পদার্থের মিশ্রণকে গোলতলি ফ্লাস্কে নেয়া হয়। এরপর চিত্রমতে একটি পানিশীতক ফ্লাস্কের মুখে যুক্ত করা হয়। শীতকে পানি চালনা করে তাকে শীতল রাখা হয়। এখন ফ্লাস্কটিকে উত্তপ্ত করলে ঊর্ধ্বপাতনযোগ্য পদার্থটি বাষ্পীভূত হয়ে শীতকের সংস্পর্শে কঠিন উৎক্ষেপরূপে শীতকের গায়ে জমা হয়। পরিশেষে শীতকের গা থেকে উৎক্ষেপ পৃথক করে বিশুদ্ধ যৌগটি সংগ্রহ করা হয়। ঊর্ধ্বপাতন প্রক্রিয়া নিম্নচাপেও করা যায়। এক্ষেত্রে মিশ্রণটিকে পার্শ্বনলযুক্ত একটা মোটা কাচনল ফ্লাস্কে নেয়া হয়। এর মুখে চিত্রের মতো একটি পানি শীতক কর্ক দ্বারা যুক্ত করা হয়। শীতকে ঠাণ্ডা পানি চালনা করা হয় এবং ফ্লাস্কের পার্শ্বনলটি রবার নলের সাহায্যে শোষণ-পাম্পের সঙ্গে যুক্ত করা হয়। ফলে ফ্লাস্কের ভেতর বায়ুচাপ কমে যায় এবং ঊর্ধ্বপাতনযোগ্য জৈবযৌগ বাষ্পীভূত হয়ে ওপরের শীতকের গায়ে উৎক্ষেপরূপে জমা হয়।



চিত্র-২.৩৬ : ঊর্ধ্বপাতন

প্রয়োগ : কর্পূর, ন্যাফথালিন, আয়োডিন, বেনজয়িক এসিড প্রভৃতি কঠিন বস্তুকে অনুদ্বায়ী ভেজাল মিশ্রণ থেকে ঊর্ধ্বপাতন প্রক্রিয়ায় বিশোধন করা হয়। নিষ্কাদন, কঠিন CO_2

DAT-(20-21)
DAT-(18-19)

শিক্ষার্থীর কাজ-২.২০ : পাতন প্রক্রিয়াভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.২৯ : আংশিক পাতন কী?

প্রশ্ন-২.৩০ : সাধারণ পাতন ও আংশিক পাতনের মধ্যে পার্থক্যগুলো ছক আকারে লেখ।

প্রশ্ন-২.৩১ : বাষ্প পাতন কী?

প্রশ্ন-২.৩২(ক) : আংশিক পাতন ও বাষ্প পাতনের মূল পার্থক্য ও দুটি করে প্রয়োগ বা ব্যবহারিক উদাহরণ দাও।

প্রশ্ন-২.৩২(খ) : 'A' পাত্রে MN_2 এর 100 mL সম্পৃক্ত দ্রবণ আছে। এর $K_{sp} = 1.7 \times 10^{-5}$। 'B' পাত্রে C ও H ঘটিত সমযোজী যৌগ X ও Y এর দ্রবণ আছে। এদের স্ফুটনাঙ্ক (b.p) হলো 80°C ও 125°C।

(i) 'A' পাত্রের দ্রবণে MN_2 এর পরিমাণ মোল এককে নির্ণয় করো। [উঃ 1.6198×10^{-3} mol]

(ii) 'A' পাত্রের দ্রবণ হতে MN_2 এবং 'B' পাত্রের দ্রবণ হতে 'X' পৃথকীকরণ পদ্ধতিদ্বয়ের তুলনা করো।

[চ. বো. ২০১৯]

জেনে নাও :

১. **সাধারণ পাতন :** অনুদ্বায়ী কঠিন পদার্থ ও উদ্বায়ী তরলের মিশ্রণ থেকে ঐ তরলকে অথবা দুটি তরলের মিশ্রণে উভয় তরলের স্ফুটনাঙ্কের ব্যবধান 40°C এর বেশি হলে সংশ্লিষ্ট তরলকে **সাধারণ পাতন পদ্ধতিতে** পৃথক করা সম্ভব।

২. **আংশিক পাতন :** তরল মিশ্রণের উপাদানসমূহের স্ফুটনাঙ্কের ব্যবধান 40°C এর কম বা কাছাকাছি হলে তখন **আংশিক পাতন পদ্ধতিতে** তরল উপাদানসমূহ পৃথক করা সম্ভব। যেমন পেট্রোলিয়ামের আংশিক পাতন।

৩. **সমস্ফুটন পাতন :** যখন নির্দিষ্ট সংযুক্তির দুই বা ততোধিক তরল-তরল মিশ্রণের বাষ্পে ও তরল মিশ্রণে একই সংযুক্তি থাকে এবং প্রত্যেক তরল উপাদানের স্ফুটনাঙ্কের কম তাপমাত্রায় অথবা সবচেয়ে বেশি তাপমাত্রায় ফুটে থাকে; তখন **সমস্ফুটন পাতন পদ্ধতি** ব্যবহৃত হয়।

৪. **বাষ্প বা স্টিম পাতন :** পানিতে অদ্রবণীয় ও স্টিমে বা উত্তপ্ত পানি বাষ্পে উদ্বায়ী কঠিন ও তরল জৈবযৌগকে স্টিম পাতন দ্বারা বিশোধন করা হয়।

৫. **নিম্নচাপ পাতন :** বায়ুমণ্ডল চাপে ও স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্কে বিয়োজনযোগ্য তরল জৈবযৌগকে অপেক্ষাকৃত নিম্নচাপে তথা নিম্নতাপমাত্রায় পাতন করা হয়।

৬. **ঊর্ধ্বপাতন :** বায়ুমণ্ডল চাপে ও স্বাভাবিক গলনাঙ্কে সরাসরি বাষ্পে পরিবর্তনযোগ্য কঠিন পদার্থকে পৃথক করা যায়।

২.১৭ দ্রাবক নিষ্কাশন

RMDAC

Solvent Extraction

সংজ্ঞা : কোনো জৈবযৌগকে এর জলীয় দ্রবণ অথবা অন্য কোনো মিশ্রিত অবস্থা থেকে একটি উপযুক্ত দ্রাবকে দ্রবীভূত করে পৃথক করার পদ্ধতিকে দ্রাবক নিষ্কাশন বলে।

DAT-(23-24)

অধিকাংশ জৈবযৌগ অপোলার হওয়ায় পোলার দ্রাবক পানিতে অদ্রবণীয়। তবে কম সংখ্যক আংশিক পোলার জৈবযৌগ পানিতে স্বল্প দ্রবণীয় হয়। উদ্ভিজ্জ বীজ, ফুল, পাতা, মূল ও বাকল ইত্যাদিতে বিভিন্ন জৈবযৌগ মিশ্রিত থাকে। ঐ সব জৈবযৌগকে নির্দিষ্ট জৈব দ্রাবকে দ্রবীভূত করে নিষ্কাশন করা হয়। পরীক্ষাগারে প্রস্তুত করা জৈবযৌগকে বিশুদ্ধ অবস্থায় পৃথক করতে উদ্বায়ী জৈব দ্রাবক ব্যবহৃত হয়।

দ্রাবক নিষ্কাশনের মূলনীতি হলো নার্নস্টের বণ্টননীতি। এ নীতি অনুসারে, স্থির তাপমাত্রায় দুটি পরস্পর অমিশ্রণীয় A ও B দ্রাবকের মধ্যে পৃথক দ্রাব্যতাবিশিষ্ট কোনো দ্রব যোগ করে ঝাঁকালে ঐ দ্রবটি উভয় দ্রাবকে এমনভাবে বণ্টিত বা দ্রবীভূত হয় যেন উভয় দ্রাবকে দ্রবের ঘনমাত্রার অনুপাত স্থির থাকে। তখন উভয় দ্রাবকে দ্রবটির বিয়োজন বা সংযোজন ঘটবে না। অর্থাৎ

$$\frac{\text{প্রাথমিক A দ্রাবকে দ্রবের ঘনমাত্রা } (C_1)}{\text{দ্বিতীয় B দ্রাবকে দ্রবটির ঘনমাত্রা } (C_2)} = K_D \text{ (ধ্রুবক)}$$

এক্ষেত্রে ধ্রুবক K_D কে দ্রবটির উভয় দ্রাবকে বণ্টন সহগ বা **বণ্টন ধ্রুবক** (distribution co-efficient) বলে।

দ্রাবক নিষ্কাশনের কার্যকারিতা প্রধানত নিম্নোক্ত দুটি ফ্যাক্টর বা বিষয়ের ওপর নির্ভর করে। যেমন,

(১) যে দ্রাবকে দ্রবটি বা বস্তুটি দ্রবীভূত থাকে, তা অপেক্ষা নিষ্কাশনে ব্যবহৃত দ্বিতীয় দ্রাবকে দ্রবটির দ্রাব্যতা কত বেশি।

(২) ব্যবহৃত নির্দিষ্ট পরিমাণ দ্রাবক দ্বারা দ্রবটিকে একবার মাত্র নিষ্কাশন করার পরিবর্তে ঐ পরিমাণ দ্রাবকটিকে কয়েকটি সমভাগে ভাগ করে দুয়ের অধিক ধাপে নিষ্কাশন প্রক্রিয়ায় অধিক দ্রব নিষ্কাশন সম্ভব হয়। এক্ষেত্রে সংশ্লিষ্ট সমীকরণটি হলো নিম্নরূপ :

$x_n = x_0\left[\frac{K_D V_1}{K_D V_1 + v_2}\right]^n$; এক্ষেত্রে, x_n = n বার নিষ্কাশনের পর অবশিষ্ট দ্রব; x_0 = দ্রবের প্রাথমিক ভর;

V_1 = প্রাথমিক দ্রবণের আয়তন; v_2 = প্রতিবার ব্যবহৃত দ্রাবকের পরিমাণ, K_D = বণ্টন ধ্রুবক।

অধিক ধাপে দ্রাবক নিষ্কাশনে দ্রব বা বস্তুটির পরিমাণ নির্ণয়ের সমীকরণ প্রতিপাদন : যদি প্রথম দ্রাবকের V_1 mL দ্রবণে x_0 g বস্তু দ্রবীভূত থাকে এবং এতে v_2 mL ২য় দ্রাবক যোগ করার ফলে পূর্বের দ্রবণে x_1 g বস্তু অবশিষ্ট থাকে; তখন ১ম দ্রাবকে রয়ে যাওয়া বস্তুর ঘনমাত্রা হয় = (x_1/V_1) g mL^{-1} এবং ২য় দ্রাবকে নিষ্কাশিত বস্তুর ঘনমাত্রা হয় = $[(x_0 - x_1)/v_2]$ g mL^{-1}।

বণ্টন সূত্র মতে, $\frac{\text{১ম দ্রাবকে দ্রবের ঘনমাত্রা } (C_1)}{\text{২য় দ্রাবকে দ্রবের ঘনমাত্রা } (C_2)} = K_D$; অর্থাৎ $\frac{x_1/V_1}{(x_0 - x_1)/v_2} = K_D$;

বা, $\frac{x_1}{V_1} = K_D.\frac{(x_0 - x_1)}{v_2} = \left[\frac{K_D.x_0}{v_2} - \frac{K_D.x_1}{v_2}\right]$;

বা, $\frac{x_1}{V_1} + \frac{K_D.x_1}{v_2} = \frac{K_D.x_0}{v_2}$

বা, $x_1\left[\frac{K_D}{v_2} + \frac{1}{V_1}\right] = K_D.\frac{x_0}{v_2}$;

বা, $x_1.\left[\frac{K_D V_1 + v_2}{V_1 v_2}\right] = K_D.\frac{x_0}{v_2}$;

বা, $x_1 = \frac{x_0.K_D V_1}{(K_D V_1 + v_2)}$; [উভয় দিকের v_2 বাদ দিয়ে বজ্র গুণন করে পাই]

আবার ২য় বার নিষ্কাশনের বেলায় v_2 mL ২য় দ্রাবক ব্যবহৃত হয়; তখন অনিষ্কাশিত বা ১ম দ্রবণে রয়ে যাওয়া বস্তু x_2 g এর পরিমাণ হবে :

$$x_2 = \frac{x_1.K_D V_1}{(K_D V_1 + v_2)} = \frac{x_0.K_D V_1}{(K_D V_1 + v_2)} \cdot \frac{K_D V_1}{(K_D V_1 + v_2)} = x_0.\left[\frac{K_D V_1}{K_D V_1 + v_2}\right]^2$$

অনুরূপভাবে v_2 mL ২য় দ্রাবক ব্যবহার করে n বার নিষ্কাশন করলে তখন অনিষ্কাশিত বস্তুর পরিমাণ x_n g হবে :

$x_n = x_0.\left[\frac{K_D V_1}{K_D V_1 + v_2}\right]^n$; এক্ষেত্রে ২য় দ্রাবকটি সর্বমোট ব্যবহৃত হয়েছে $n \times v_2 = nv_2$ mL। যদি এ nv_2 mL দ্রাবকটি একবারেই ব্যবহার করে নিষ্কাশন প্রক্রিয়া একবার করা হয়। তখন অনিষ্কাশিত বস্তুর পরিমাণ (x_m) হবে,

$x_m = x_0\left[\frac{K_D V_1}{K_D V_1 + nv_2}\right]$; এক্ষেত্রে গণিতের সূত্র মতে, $\frac{K_D V_1}{(K_D V_1 + nv_2)} > \left(\frac{K_D V_1}{K_D V_1 + v_2}\right)^n$

MCQ-2.42 : $K_4[Fe(CN)_6]$ বিকারক দ্বারা শনাক্ত করা যায়— [কু. বো. ২০১৫]

(i) Cu^{2+} (ii) Zn^{2+} (iii) Fe^{2+}

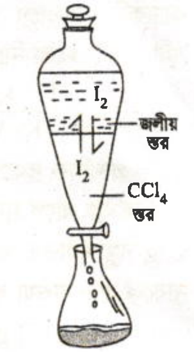
নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii
(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

এক্ষেত্রে n এর মান যত বড়ো হবে, ওপরের রাশি দুটোর মধ্যে পার্থক্য তত বেশি হবে। সুতরাং $x_m > x_n$। অপর কথায়, দুয়ের অধিক দ্রাবক নিষ্কাশনে কম দ্রাবক বার বার ব্যবহার করলে নিষ্কাশিত বস্তুর পরিমাণ বেড়ে যায়; অনিষ্কাশিত বস্তুর পরিমাণ কম হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৭২ : এক লিটার জলীয় দ্রবণে 1 g আয়োডিন দ্রবীভূত আছে। (ক) ঐ দ্রবণকে 50 mL CCl_4 সহ ঝাঁকালে জলীয় দ্রবণে আর কত আয়োডিন অবশিষ্ট থাকবে? (খ) 50 mL CCl_4 কে 10 mL করে পাঁচবার ব্যবহার করলে জলীয় দ্রবণে আর কত আয়োডিন থাকবে? CCl_4 ও পানির মধ্যে I_2 এর বণ্টন গুণাঙ্ক হলো 80।

দক্ষতা : বণ্টন সূত্র ব্যবহৃত হবে।



চিত্র-২.৩৭ : জলীয় স্তর থেকে I_2 কে CCl_4 দ্বারা পৃথক করা।

সমাধান : (ক) 50 mL CCl_4 ব্যবহার করে একবার নিষ্কাশনের বেলায়, $nv_2 = 50$ mL, $n = 5$, $v_2 = 10$ mL, ১ম দ্রাবক পানির আয়তন $V_1 = 1000$ mL। আয়োডিনের প্রাথমিক ভর, $x_0 = 1$ g, অনিষ্কাশিত I_2 এর ভর $x_m = ?$ CCl_4 ও পানির বণ্টন গুণাঙ্ক = 80; সুতরাং পানি ও CCl_4 এর বণ্টন গুণাঙ্ক $K_D = 1/80 = 0.0125$.

একবার মাত্র নিষ্কাশনের বেলায়, $x_m = x_0 . \left[\frac{K_D.V_1}{K_D.V_1 + nv_2}\right]$

বা, $x_m = 1g. \frac{0.0125 \times 1000}{(0.0125 \times 1000 + 5 \times 10)}$; বা, $x_m = \frac{12.5}{62.5} = 0.2$ g (অবশিষ্ট থাকে)।

$\therefore$ নিষ্কাশিত % পরিমাণ $= \frac{(1.0 - 0.2) \times 100}{1.0} = 80\%$

(খ) 10 mL CCl_4 প্রতিবারে ব্যবহার করে 5 বার দ্রাবক নিষ্কাশনের বেলায়, দ্রবণে অবশিষ্ট আয়োডিন থাকে $x_5 = ?$ এক্ষেত্রে সমীকরণটি হলো :

$$x_5 = x_0 . \left[\frac{K_D.V_1}{K_D V_1 + v_2}\right]^5 = 1\text{ g}. \left[\frac{0.0125 \times 1000}{(0.0125 \times 1000 + 10)}\right]^5$$

$$= \left(\frac{12.5}{22.5}\right)^5 = (0.555)^5 = 0.053 \text{ g}$$ অবশিষ্ট থাকে।

$\therefore$ নিষ্কাশিত % পরিমাণ $= \frac{(1.0 - 0.053) \times 100}{1.0} = 94.7\%$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৭৩ : কার্বন টেট্রাক্লোরাইড ও পানিতে I_2 এর বণ্টন গুণাঙ্ক হলো 80। কোনো তাপমাত্রায় প্রতি লিটার পানিতে 0.35 g আয়োডিন সম্পৃক্ত দ্রবণ তৈরি করে। ঐ তাপমাত্রায় কার্বন টেট্রাক্লোরাইডে আয়োডিনের দ্রাব্যতা গণনা করো।

দেয়া আছে,

$\frac{CCl_4\text{-এ } I_2 \text{ এর দ্রাব্যতা } (C_1)}{H_2O\text{-এ } I_2 \text{ এর দ্রাব্যতা } (C_2)} = K_D = 8$

পানিতে I_2 এর দ্রাব্যতা $(C_2) = 0.35 \text{ g L}^{-1}$

সমাধান : $\frac{CCl_4\text{-এ } I_2 \text{ এর দ্রাব্যতা } (C_1)}{H_2O\text{-এ } I_2 \text{ এর দ্রাব্যতা } (C_2)} = K_D$

বা, $\frac{C_1}{0.35 \text{ g L}^{-1}} = 80$

বা, $C_1 = 80 \times 0.35 \text{ g L}^{-1} = 28 \text{ g L}^{-1}$

$\therefore$ কার্বন টেট্রাক্লোরাইডে আয়োডিনের দ্রাব্যতা $= 28 \text{ g L}^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৭৪ : 27°C তাপমাত্রায় 100 mL জলীয় দ্রবণে 0.012 g I_2 দ্রবীভূত আছে। এ জলীয় দ্রবণ থেকে CCl_4 দ্রাবক দ্বারা I_2 নিষ্কাশন করতে গিয়ে করিম ছাত্রটি 100 mL CCl_4 একবার ব্যবহার করে I_2 নিষ্কাশন করে। কিন্তু জুয়েল ছাত্রটি 50 mL করে CCl_4 দ্রাবক দু'বার ব্যবহার করে I_2 নিষ্কাশন করে। কোন পদ্ধতিতে I_2 নিষ্কাশন উত্তর ফল দেবে? CCl_4 ও পানির মধ্যে I_2 এর বণ্টন গুণাঙ্ক, $K_D = 80$।

দক্ষতা : বণ্টন গুণাঙ্ক সূত্র ব্যবহার করা হবে।

সমাধান : ১ম দ্রাবক পানির আয়তন, $V_1 = 100$ mL; আয়োডিনের প্রাথমিক ভর, $X_0 = 0.012$ g I_2,

100 mL CCl_4 একবার ব্যবহার করে একবার নিষ্কাশন করলে $nv_2 = 100$ mL; n = 2 হলে $v_2 = 50$ mL

অনিষ্কাশিত I_2 এর ভর, $X_m = ?$

CCl_4 ও পানির মধ্যে I_2 এর বণ্টন গুণাঙ্ক = 80; সুতরাং পানি ও CCl_4 এর মধ্যে I_2 এর বণ্টন গুণাঙ্ক, $K_D = \frac{1}{80} = 0.0125$.

(১) একবার মাত্র নিষ্কাশনের বেলায়, $X_m = X_o\left[\frac{K_D.V_1}{K_D.V_1 + nv_2}\right]$

বা, $X_m = 0.012\text{ g}\left[\frac{0.0125 \times 100}{(0.0125 \times 100 + 2 \times 50)}\right]$

বা, $X_m = \frac{0.015\text{ g}}{101.25} = 0.00014815$ g (অনিষ্কাশিত I_2 থাকে)।

$\therefore$ একবারে নিষ্কাশিত I_2 এর % পরিমাণ $= \frac{(0.012 - 0.00014815)\text{ g} \times 100}{0.012\text{ g}} = 98.76\%$

(২) দু'বার 50 mL CCl_4 প্রতিবার ব্যবহার করে 2 বার নিষ্কাশনের বেলায় অবশিষ্ট I_2 থাকে $X_2 = ?$

এক্ষেত্রে সমীকরণটি হলো : $X_2 = X_o\left[\frac{K_D.V_1}{K_D.V_1 + v_2}\right]^2 = 0.012\text{ g}\left[\frac{0.0125 \times 100}{(0.0125 \times 100 + 50)}\right]^2$

বা, $X_2 = 0.012\text{ g} \times \left(\frac{1.25}{51.25}\right)^2 = 0.012\text{ g} \times (0.02439)^2$

বা, $X_2 = 0.012 \times 0.000059487\text{ g} = 0.000000714$ g (অনিষ্কাশিত I_2 থাকে)

$\therefore$ দু'বার নিষ্কাশনের ফলে I_2 এর % পরিমাণ $= \frac{(0.012 - 0.000000714)\text{ g} \times 100}{0.012\text{ g}} = 99.99\%$

সুতরাং একবারে 100 mL CCl_4 সহযোগে নিষ্কাশনের I_2 এর % পরিমাণ হলো 98.76%; কিন্তু 50 mL করে দু'বার 100 mL CCl_4 ব্যবহার করে নিষ্কাশিত I_2 এর % পরিমাণ হয় 99.99%, যা পূর্বের চেয়ে বেশি। তাই দু'বার 50 mL করে CCl_4 ব্যবহার করাই উত্তম। অধিক ধাপে সমপরিমাণ দ্রাবক দ্বারা I_2 নিষ্কাশন উত্তম ফল দেবে।

> **MCQ-2.43 : [Ar] $3d^6 4s^2$ ইলেকট্রন বিন্যাসের মৌলটির—** [মা. বো. ২০১৮]
>
> (i) জারণ অবস্থা + 2, + 3 সম্ভব
>
> (ii) $K_4[Fe(CN)_6]$ দ্বারা এদের পার্থক্য করা যায়
>
> (iii) জারণ অবস্থা +3 অধিক স্থায়ী
>
> কোনটি সঠিক?
>
> (ক) i ও ii (খ) ii ও iii
>
> (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

দ্রাবক নিষ্কাশনের দ্রাবক : দ্রাবক নিষ্কাশনের জন্য ব্যবহৃত দ্রাবক হলো অধিক উদ্বায়ী ডাইইথাইল ইথার (b.p = 35°C), এছাড়া, বেনজিন, টলুইন, n-হেক্সেন, ক্লোরোফরম ও ডাইক্লোরো মিথেন ব্যবহৃত হয়। দ্রাবক নিষ্কাশন প্রক্রিয়া দ্রবের ভৌত অবস্থার ওপর ভিত্তি করে দুটি পদ্ধতিতে করা হয়।

(১) জলীয় দ্রবণ থেকে নিষ্কাশন ও (২) কঠিন পদার্থ থেকে জৈবযৌগ নিষ্কাশন বা সক্সলেট নিষ্কাশন।

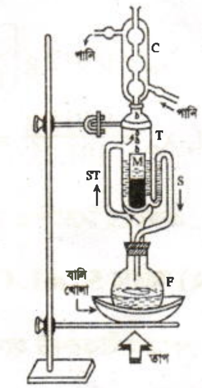
(১) জলীয় দ্রবণ থেকে নিষ্কাশন : জৈবযৌগের জলীয় দ্রবণকে একটি পৃথকীকরণ ফানেলে (চিত্র-২.৩৮) নিয়ে ও ইথার যোগ করে ঝাঁকানোর পর স্থিরভাবে রাখা হয়। তখন তরলটি ইথারীয় ও জলীয় ও দু স্তরে বিভক্ত হয়। নিচের ভারী স্তরটিকে স্টপ কক ঘুরায়ে বের করে নেয়ার পর হালকা স্তরকে ভিন্ন পাত্রে রাখা হয়। পুনরায় জলীয় স্তরকে ফানেলে নিয়ে আরো

কিছু ইথার মিশিয়ে পূর্বের মতো ঝাঁকিয়ে স্থির রাখা হয় এবং অবশিষ্ট পানি স্তরকে পৃথক করা হয়। শেষে উভয় ইথার স্তরকে নিরুদক ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড দ্বারা শুষ্ক করে আংশিক পাতন দ্বারা দ্রাবক ইথার ও জৈবযৌগটি বিশুদ্ধ অবস্থায় পৃথক করা হয়। ক্লোরোফরম ও অ্যালকোহল মিশ্রণে পানি যোগ করে ঝাঁকিয়ে স্থির রাখলে ওপরের পানি স্তরে অ্যালকোহল দ্রবীভূত থাকে। নিচের ভারী ক্লোরোফরম স্তরকে পৃথক করা হয়। পরে ইথার দ্বারা অ্যালকোহল পৃথক করা যায়।

চিত্র-২.৩৮ : পৃথকীকরণ ফানেল।

(২) **কঠিন পদার্থ থেকে জৈবযৌগ নিষ্কাশন : সক্সলেট নিষ্কাশন : মূলনীতি :** কঠিন পদার্থ থেকে জৈবযৌগ নিষ্কাশনের জন্য মিহিচূর্ণ কঠিন বস্তুকে এমন একটি দ্রাবকে সিক্ত ও উত্তপ্ত করা হয় সে দ্রাবকে কেবল উক্ত ঈপ্সিত জৈবযৌগটি দ্রবীভূত হলেও অন্যান্য ভেজাল পদার্থ অদ্রবীভূত থাকে। গাছের পাতা, বাকল ও শস্য বীজ থেকে জৈবযৌগ নিষ্কাশন এ পদ্ধতিতে করা হয়।

এজন্য সক্সলেট নিষ্কাশন যন্ত্র (Soxhlet extractor) ব্যবহৃত হয়। সক্সলেট যন্ত্রে তিনটি অংশ থাকে। যেমন, (১) নিচের পাতন ফ্লাস্ক (F), (২) মাঝখানের পার্শ্বনল ও সাইফুনযুক্ত বড়ো গ্লাস টিউব (T) এবং (৩) ওপরের শীতক অংশ-কলাম (C) (চিত্র-২.৩৯)।



চিত্র-২.৩৯ : সক্সলেট নিষ্কাশন যন্ত্র।

জৈবযৌগের উৎস যেমন, গাছের পাতা, বাঁকল বা শস্যবীজ গুঁড়া করে পুরু ফিল্টার কাগজের (M) টোপরকে (thimble) ভর্তি করে মাঝখানের বড়ো গ্লাসটিউবে (T) এমনভাবে রাখা হয় যেন এর উচ্চতা সাইফুন নলের (S) কিছু উঁচুতে থাকে। এরপর গ্লাসটিউবের আয়তনের দেড় গুণ পরিমাণ দ্রাবক ফ্লাস্কে নিয়ে একে পানিগাহে বা বালিখোলায় উত্তপ্ত করা হয়। দ্রাবকের বাষ্প পার্শ্বনলের (S.T) মাধ্যমে ওপরের শীতকে পৌঁছে এবং তরলীভূত হয়ে ফোঁটায় ফোঁটায় ফিল্টার কাগজের টোপরের ওপর পড়ে এবং জৈবযৌগকে দ্রবীভূত করে পরিস্রাবণের পর 'টোপর' ও গ্লাসটিউবের মাঝখানের ফাঁকে দ্রবণরূপে জমা হয়। এরূপে দ্রবণের উচ্চতা সাইফুন নলের উর্ধ্বে পৌঁছলে, ঐ দ্রবণটি সাইফুন টানে নিচের ফ্লাস্কে স্থানান্তরিত হয়। দ্রাবকের এ আবর্তন প্রয়োজনমতো অনেক বার করা হয়। এরপর আংশিক পাতনে দ্রাবক থেকে ঈপ্সিত জৈবযৌগটিকে পৃথক করা হয়।

প্রয়োগ : এ পদ্ধতিতে পেট্রোলকে দ্রাবকরূপে ব্যবহার করে (১) নারিকেলের শাঁসের গুঁড়া থেকে নারিকেল তৈল; (২) শস্যবীজ থেকে সুগন্ধি তৈল; (৩) মরিচের গুঁড়া থেকে ঝাঁঝালো লাল রং; (৪) ধানের তুষ ও চাউলের কুঁড়া থেকে ভোজ্য তেল নিষ্কাশন করা হয়।

DAT-(21-22)

২.১৮ ক্রোমাটোগ্রাফি

Chromatography

RMDAC

বিভিন্ন যৌগের মিশ্রণের দুটি দশা বা সাম্যাবস্থার (phases) মধ্যে বণ্টনের (distribution) পার্থক্যের ওপর নির্ভর করে 1903 খ্রিষ্টাব্দে রুশ বিজ্ঞানী মিখাইল সোয়েট (Mikhail Tswett) উদ্ভিদ থেকে রঙিন পদার্থ যেমন, ক্লোরোফিল, জান্থোফিল নামক উপাদান পৃথক করার কাজে ক্রোমাটোগ্রাফি [chroma অর্থ রং এবং গ্রাফ (graph) অর্থ চিত্রণ] পদ্ধতি উদ্ভাবন করেন।

ক্রোমাটোগ্রাফির সংজ্ঞা : যে বিশ্লেষণমূলক পদ্ধতিতে বিশেষ জৈবযৌগের দু বা ততোধিক উপাদানের কোনো মিশ্রণকে একটি স্থির মাধ্যমে রেখে এবং অপর একটি সচল মাধ্যমকে উক্ত স্থির মাধ্যমের সংস্পর্শে প্রবাহিত করে মিশ্রণের উপাদানগুলোর অধিশোষণ মাত্রা কিংবা বণ্টন সহগের ওপর ভিত্তি করে এদেরকে বিভিন্ন স্তরে পৃথক করা সম্ভব হয়, তাকে ক্রোমাটোগ্রাফি বলা হয়।

DAT-(20-21) DAT-(19-20)

ক্রোমাটোগ্রাফির বৈশিষ্ট্য : ক্রোমাটোগ্রাফিতে প্রয়োজনীয় দুটি সাম্যাবস্থার মধ্যে একটি **'স্থির সাম্যাবস্থা'** (stationary phase) এবং অপরটি **'চলনশীল সাম্যাবস্থা'** (mobile phase) থাকে। এখানে তরল বা বাষ্পীয় পদার্থ 'চলনশীল সাম্যাবস্থা' রূপে এবং কঠিন বস্তু অথবা কঠিন বস্তুর উপরিস্থিত তরল বস্তু 'স্থির-সাম্যাবস্থা' রূপে ব্যবহৃত হয়।

(১) **স্থির মাধ্যমটি** যখন কঠিন পদার্থ হয় যেমন অধিশোষকরূপে অ্যালুমিনা (Al_2O_3), ম্যাগনেসিয়া (MgO), $MgCO_3$, $CaCO_3$ বা সিলিকা জেল (SiO_2), স্টার্চ গুঁড়া হয়; তখন এর দ্বারা অধিশোষণের মাত্রার (extent of absorption) ওপর ভিত্তি করে মিশ্রণের উপাদানগুলো স্থির মাধ্যমের মধ্যে বিভিন্ন স্তরে বিভক্ত হয়। কোনো উপাদান স্থির মাধ্যমের অধিশোষক দ্বারা কতটা অধিশোষিত হবে তা নির্ভর করে সে উপাদানের গঠন প্রকৃতির ওপর। যেমন,

রঙিন মিশ্রণের যে উপাদান যত বেশি পোলার হবে (অর্থাৎ $-CHO < -NH_2 < -OH < -COOH$ মূলক যুক্ত হবে) সেটি অধিশোষক দ্বারা ততই অধিশোষিত হবে।

(২) **সচল মাধ্যমে** মিশ্রণের উপাদানগুলোর দ্রবণীয়তা বা বণ্টন সহগ (Partition coefficient) এর ওপর ভিত্তি করে উপাদানগুলো বিভিন্ন স্তরে বিভক্ত হয়ে যায়।

ক্রোমাটোগ্রাফির শ্রেণিবিভাগ : বিশ্লেষণযোগ্য উপাদানের দুটি ভৌত ধর্ম যেমন, অধিশোষণ ও দ্রাব্যতার ওপর ভিত্তি করে ক্রোমাটোগ্রাফিকে প্রধানত নিম্নোক্ত শ্রেণিতে বিভক্ত করা যায় :

			স্থির মাধ্যম	চলনশীল মাধ্যম
(ক) **অধিশোষণ ক্রোমাটোগ্রাফি**	(adsorption chromatography)	:		
১. কলাম ক্রোমাটোগ্রাফি (CC)	(column chromatography)	:	কঠিন	তরল
২. পাতলা স্তর ক্রোমাটোগ্রাফি (TLC)	(thin layer chromatography)	:	কঠিন	তরল
(খ) **বণ্টন বা বিভাজন ক্রোমাটোগ্রাফি**	(partition chromatography)	:		
১. পেপার ক্রোমাটোগ্রাফি (PC)	(paper chromatography)	:	তরল	তরল
২. গ্যাস ক্রোমাটোগ্রাফি (GC)	(gas chromatography)	:	তরল	গ্যাস

এখানে কলাম ক্রোমাটোগ্রাফি ও পেপার ক্রোমাটোগ্রাফি বর্ণনা করা হলো।

২.১৯.১ কলাম ক্রোমাটোগ্রাফি দ্বারা উদ্ভিদের নির্যাস থেকে রঙিন উপাদান পৃথকীকরণ
Separation of Plant Extract by Column Chromatography

(ক) মূলনীতি : কলাম ক্রোমাটোগ্রাফি পদ্ধতিতে **'স্থির-সাম্যাবস্থা'**-এর কলামরূপে সূক্ষ্ম কণার চকের গুঁড়া বা অ্যালুমিনা (Al_2O_3) গুঁড়াকে লম্বা মোটা কাচনলে ভর্তি করা হয়। বিশ্লেষণযোগ্য রঙিন জৈবযৌগের মিশ্রণটিকে ঐ কলামে যোগ করা হয়। শেষে **'চলনশীল সাম্যাবস্থা'** রূপে উপযুক্ত দ্রাবকে (যেমন, অ্যালকোহল, পেন্টেন, ইথার ইত্যাদিতে) দ্রবীভূত করে মিশ্রণের উপাদানকে পৃথক করা হয়।

* কলাম তৈরিতে ব্যবহৃত একই দ্রাবকে প্রস্তুত উদ্ভিদের নির্যাস-দ্রবের মিশ্রণকে ওপর থেকে স্থির সাম্যাবস্থা কলামে ঢেলে দেয়া হয়। কলাম বেয়ে বর্ণযুক্ত যৌগের মিশ্রণটি নেমে আসার সময় অধিক শোষিত দ্রব কলামের উপরিভাগে ও অপেক্ষাকৃত কম শোষিত দ্রবসমূহ ক্রমশ কলামের নিচের দিকে বিভিন্ন রঙের ব্যান্ড (band) তৈরি করে শোষিত হয়।

* এরপর উপযুক্ত দ্রাবকটিকে কলামের মধ্যদিয়ে চালনা করলে বিভিন্ন 'ব্যান্ড' ঐ দ্রাবকে দ্রবীভূত হয়ে বিভিন্ন 'ধৌত'রূপে বের হয়ে আসে এবং পৃথক পৃথকভাবে সংগ্রহ করা হয়।

* এক্ষেত্রে সবচেয়ে কম শোষিত অপোলার দ্রবটি প্রথমে ও অধিক শোষিত পোলার দ্রব সবশেষে 'ধৌত'রূপে আসে। ধৌতরূপে আসা দ্রবণকে পাতন করে এর দ্রবসমূহকে পৃথক করা হয়।

* **নির্দিষ্ট দ্রাবক ব্যবহার করে ক্রোমাটোগ্রাফি প্রক্রিয়ায় "ব্যান্ডযুক্ত দ্রব" গুলোকে ধুয়ে পৃথক করাকে ইলিউশন** (elution) বলে এবং ইলিউশন কাজে ব্যবহৃত **দ্রাবকটিকে ইলিউয়েন্ট** (eluent) বলে।

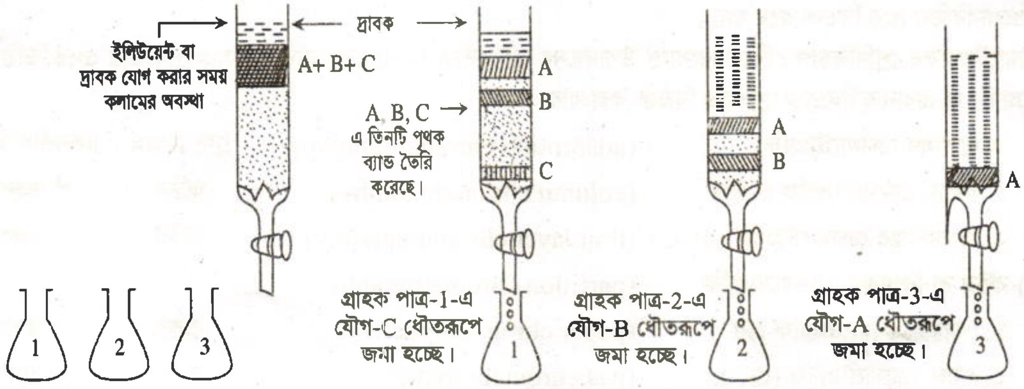
(খ) প্রয়োজনীয় রাসায়নিক পদার্থ ও উপাদান : (১) উদ্ভিদ যেমন পাতাবাহার পাতা বা এর নির্যাস, (২) ইথানল বা মিথানল, (৩) চক পাউডার, (৪) পানি।

(গ) প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি :

(১) কাচের ব্যুরেট, (২) কনিকেল ফ্লাস্ক–৩টি, (৩) বিকার–২টি, (৪) ফানেল, (৫) লম্বা গ্লাস রড, (৬) মর্টার ও পেস্টল, (৭) স্ট্যান্ড-ক্ল্যাম্প, (৮) একটুকরা কাপড়, (৯) গ্লাস উল বা ফিল্টার পেপার।

(ঘ) কাজের ধারা : (১) নির্যাস তৈরি : নমুনা উদ্ভিদের ৫/৬টি পাতার কুচি বা গুঁড়াকে মর্টারে রেখে পেস্টল দিয়ে পিষে পেস্ট তৈরি করো। এর মধ্যে অল্প অ্যালকোহল যোগ করে আবারও পিষে নাও। এবার ঐ পাতার পেস্টকে পাতলা কাপড় টুকরায় চেপে নির্যাসকে বিকারে সংগ্রহ করো। এর মধ্যে অল্প চকের গুঁড়া শোষকরূপে যোগ করো।

(২) কলাম তৈরি : একটি ব্যুরেটে গ্লাস উল বা ফিল্টার কাগজ টুকরাকে গ্লাস রড দিয়ে ঠেলে ছিদ্রের মুখ বন্ধ করো। এবার বিকারে চকের গুঁড়া নিয়ে ফানেলের মুখে ব্যুরেটে যোগ করে 3 – 4 cm নিচের অংশে পূর্ণ করো। শেষে চকের গুঁড়ায় অ্যালকোহল মিশিয়ে তৈরি কাই বা স্লারি (Slurry) ঢেলে ঐ কলামের উচ্চতা 5 – 6 cm করো। স্ট্যান্ডের সাথে ব্যুরেট কলামটিকে আটকিয়ে নাও।



চিত্র-২.৪০ : কলাম ক্রোমাটোগ্রাফি দ্বারা উদ্ভিদের নির্যাসে থাকা রঙিন উপাদান পৃথকীকরণ।

(৩) এবার নমুনা নির্যাস ও চকের গুঁড়ার মিশ্রণকে ফানেলের মুখ দিয়ে ধীরে ধীরে ব্যুরেট-কলামে ঢেলে দাও; যেন কলাম ঠিক থাকে। এবার সচল মাধ্যম বা দ্রাবক বা ইলিউয়েন্ট (eluent) রূপে ইথানলকে ফানেল দিয়ে ব্যুরেটে যোগ করো।

(৪) মনে করো মিশ্রণটিতে A, B, C তিনটি উপাদান আছে। এদের মধ্যে A হলো অধিক পোলার, B হলো মাঝারি পোলার, C হলো সবচেয়ে কম পোলার। অধিক পোলার A যৌগটি চক পাউডারের কলামে বেশি শোষিত হবে এবং C যৌগ কম শোষিত হবে। তাই হালকাভাবে শোষিত C যৌগ দ্রাবক ইথানলে সহজে দ্রবীভূত হয়ে গ্রাহক পাত্র-1 এ ধৌত (washing) রূপে জমা হবে। এরপর আসবে যৌগ B ও সর্বশেষে A-যৌগ ধৌতরূপে গ্রাহক পাত্র-2 ও গ্রাহক পাত্র–3-এ সংগ্রহ করা হবে। কলাম থেকে দ্রাবক বা ইলিউয়েন্ট দ্বারা পৃথক হওয়া ব্যান্ডগুলোকে ধৌতরূপে সংগ্রহ করার পদ্ধতিকে **ইলিউশন** (elusion) বলা হয়।

কলাম ক্রোমাটোগ্রাফির প্রয়োগ বা ব্যবহার : উদ্ভিদের নির্যাস থেকে উপাদানগুলো, ভিটামিন, অ্যামাইনো এসিড, এস্টার ইত্যাদির পৃথকীকরণ ও বিশোধন এ পদ্ধতিতে করা হয়। MAT-(21-22)

২.১৯.২ পেপার ক্রোমাটোগ্রাফি

RMDAC

Paper Chromotography

(ক) মূলনীতি : পেপার ক্রোমাটোগ্রাফি হলো বণ্টন বা বিভাজন শ্রেণির ক্রোমাটোগ্রাফি; এক্ষেত্রে নিষ্ক্রিয় মাধ্যম হোয়াটম্যান (Whatman) **ফিল্টার কাগজে শোষিত পানি 'স্থির মাধ্যম'** রূপে এবং **'চলনশীল মাধ্যম'** বা **'সচল মাধ্যম'** রূপে **জৈব দ্রাবক** ব্যবহৃত হয়। হোয়াটম্যান ফিল্টার কাগজের সেলুলোজ সব সময় অল্প পরিমাণ পানি শোষণ করে রাখে। ফলে

হোয়াটম্যান কাগজে স্থাপিত নমুনা মিশ্রণের যৌগসমূহ (জৈব বা অজৈব যৌগ) এক্ষেত্রে দুটি অমিশ্রণীয় দ্রাবক যেমন স্থির মাধ্যমরূপী পানি ও সচল মাধ্যমরূপী জৈব দ্রাবকে এদের দ্রাব্যতার পার্থক্যের ভিত্তিতে পৃথক পৃথকভাবে বিভাজিত হয়ে পড়ে। তখন পানিতে বেশি দ্রবণীয় দ্রব যৌগটি কম বেগে এবং জৈব দ্রাবকে বেশি দ্রবণীয় দ্রব যৌগটি বেশি বেগে গতিশীল দ্রাবকের সাথে প্রবাহিত হয়। দ্রব ও দ্রাবকের গতিবেগের আনুপাতিক হার R_f (retention factor বা, relation to front) এর মান থেকে উপাদান যৌগকে শনাক্ত করা হয়। **বিভাজন ক্রোমাটোগ্রাফিতে উপাদান যৌগের সর্বাধিক গাঢ়ত্বের ফ্রন্টের দূরত্ব ও সচল মাধ্যম দ্রাবকের ফ্রন্টের দূরত্বের অনুপাতকে যৌগটির R_f মান বলে।**

সংক্ষেপে, $$R_f = \frac{\text{উপাদান যৌগ কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব}}{\text{গতিশীল দ্রাবক কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব}}$$

> **MCQ-2.44 : ক্রোমাটোগ্রাফির মাধ্যম বা দশা কয়টি?** [চ. বো. ২০১৭]
> (ক) 1 (খ) 2 (গ) 3 (ঘ) 4

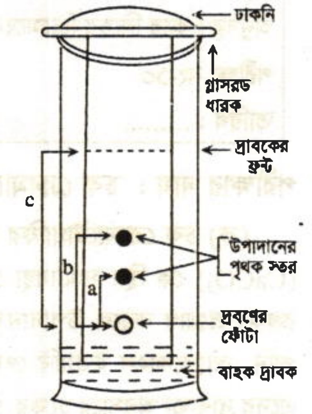
(খ) **প্রয়োজনীয় উপাদান :** (১) নমুনা মিশ্রণ, (২) জৈব দ্রাবক প্রোপানল বা অ্যাসিটোন বা ফিউরান, পানি।

(গ) **প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি :** (১) হোয়াটম্যান ফিল্টার কাগজ, (২) ঢাকনাযুক্ত ক্রোমাটোগ্রাফি জার, (৩) ক্যাপিলারি টিউব বা ড্রপার, (৪) স্কেল ও পেন্সিল, (৫) হেয়ার ড্রাইয়ার, (৬) গ্লাস রড ধারক ও ক্লিপ।

(ঘ) **কাজের ধারা :** (১) ক্রোমাটোগ্রাফি জারের উচ্চতা অনুসারে 15–20 cm দৈর্ঘ্যের ও 2–3 cm প্রস্থের হোয়াটম্যান ফিল্টার কাগজ নাও। এ ফিল্টার কাগজের দু প্রান্তে 2 cm দূরত্বে পেন্সিল দিয়ে দুটি বেইস লাইন ও ফ্রন্ট লাইন সমান্তরাল করে টানো।

(২) নমুনা মিশ্রণে প্রয়োজনে 2–4 ফোঁটা দ্রাবক যোগ করে দ্রবণ তৈরি করো। চিত্র-২.৪১ মতে ফিল্টার কাগজটিকে গ্লাস রড ধারকে ক্লিপযুক্ত করো। এখন ক্যাপিলারি টিউব বা ড্রপারের সাহায্যে নমুনা পদার্থ নিয়ে ফিল্টার কাগজে বেইজ লাইন বরাবর নমুনা পদার্থের দ্রবণের ফোঁটা দাও। এখন হেয়ার ড্রাইয়ার-এর গরম বাতাসে নমুনার ফোঁটা শুকিয়ে নাও।

(৩) এখন ক্রোমাটোগ্রাফি জারে $1\frac{1}{2}$ cm উচ্চতা পর্যন্ত প্রয়োজনীয় দ্রাবকটি নাও। এর মধ্যে নমুনা পদার্থের ফোঁটাযুক্ত ফিল্টার কাগজটি জারের মধ্যে এরূপে স্থাপন করো যেন কাগজটির নিচের অংশ দ্রাবকে নিমজ্জিত থাকে এবং নমুনাযুক্ত ফোঁটাটি দ্রাবকের সামান্য ওপরে থাকে। এখন জারটির ওপর ঢাকনা দাও এবং জারের তলদেশ থেকে দ্রাবকটি ওপরে দেয়া ফ্রন্ট লাইনে না পৌঁছানো পর্যন্ত সিস্টেমটিকে স্থির অবস্থায় রেখে পর্যবেক্ষণ করো।



চিত্র-২.৪১ : পেপার ক্রোমাটোগ্রাফি।

(৪) দ্রাবকটি ওপরের ফ্রন্ট লাইনে পৌঁছলে ফিল্টার কাগজটি বের করে নাও। এখন উপাদান যৌগের ফ্রন্টগুলো পেন্সিল দিয়ে দাগ দাও। এখন দ্রাবকটি শুকিয়ে নাও। উল্লেখ্য বর্ণযুক্ত উপাদান হলে, এদের অবস্থান সুস্পষ্ট হয়। কিন্তু বর্ণহীন উপাদান হলে এদের ক্রোমাটোগ্রাফকে উপযুক্ত বিকারক দ্রবণ স্প্রে করে এদেরকে বর্ণযুক্ত যৌগে পরিণত করা হয়। এখন প্রত্যেক যৌগের R_f মান গণনা করো।

$$R = \frac{\text{উপাদান কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব}}{\text{দ্রাবক কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব}}$$

> **MCQ-2.45 : পেপার ক্রোমাটোগ্রাফিতে R_f এর কোন্ মানটি যুক্তিযুক্ত?** [ঢা. বো. ২০১৫]
> (ক) 0.15 (খ) 1.0
> (গ) 1.5 (ঘ) 2.0

১ম উপাদান (X) এর $R_f = \frac{a}{c}$; ২য় উপাদান (Y) এর $R_f = \frac{b}{c}$

R_f এর বৈশিষ্ট্য : (ক) R_f হলো দুটি দূরত্বের অনুপাত; তাই এর কোনো একক নেই।

(খ) দ্রাবকের চেয়ে উপাদানের স্পটগুলো ধীরে চলে ফলে R_f এর মান 1 থেকে কম হবে।

(গ) R_f এর মান থেকে উপাদান শনাক্ত করা যায়।

(ঘ) দ্রাবকের প্রকৃতির ওপর R_f এর মান নির্ভরশীল। দ্রাবক পরিবর্তন করলে R_f এর মানের পরিবর্তন ঘটে।

এ পদ্ধতিতে অ্যামাইনো এসিড, লিপিডসমূহ, স্টেরোয়েডসমূহ, হরমোনসমূহ, নিউক্লিয়োসাইড, নিউক্লিয়োটাইডসমূহ পৃথকীকরণ ও শনাক্তকরণ করা হয়। MAT-(11-12)

শিক্ষার্থীর কাজ-২.২১ : দ্রাবক নিষ্কাশন ও ক্রোমাটোগ্রাফিভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.৩৩(ক) : দ্রাবক নিষ্কাশন কী? [সি. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-২.৩৩(খ) : 35°C তাপমাত্রায় 200 mL জলীয় দ্রবণে 2.0 g I_2 দ্রবীভূত আছে। এ দ্রবণ থেকে I_2 নিষ্কাশন করতে মি. 'X' একবারে 200 mL CCl_4 দ্রাবক ব্যবহার করেন। কিন্তু মি. 'Y' ঐ 200 mL CCl_4 দ্রাবক সমান চার ভাগ করে পরপর চারবারে ঐ দ্রবণ থেকে I_2 নিষ্কাশন করেন। কোন পদ্ধতিতে I_2 নিষ্কাশন অধিক ফলপ্রসূ বা লাভবান হবে; তা গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা করো। [সমাধানকৃত সমস্যা-২.৭৪ দেখো] [ব. বো. ২০১৯]

প্রশ্ন-২.৩৪ : ক্রোমাটোগ্রাফি কী? [রা. বো. ২০১৫; ব. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-২.৩৫ : R_f বলতে কী বুঝ? [দি. বো. ২০১৫]

ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণিশিক্ষকের সহায়তায় চারজনের গ্রুপ করে নিম্নোক্ত মূলনীতিসহকারে উপরোক্ত ধাপ অনুসরণ করে নিচের চিত্রমতে চক ক্রোমাটোগ্রাফির সাহায্যে মিশ্রণ থেকে যৌগ পৃথক করো।

পরীক্ষা নং-১০ **পরীক্ষার সময় : ১ পিরিয়ড**

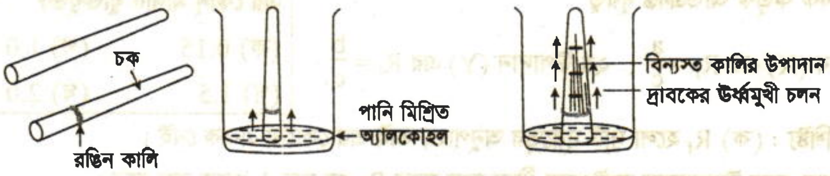
তারিখ : ....

পরীক্ষার নাম : চক ক্রোমাটোগ্রাফির সাহায্যে মিশ্রণ থেকে যৌগ পৃথক করা

(ক) চক ক্রোমাটোগ্রাফির মূলনীতি : চক ক্রোমাটোগ্রাফি হলো একটি কলাম ক্রোমাটোগ্রাফি। কঠিন বস্তু চকের স্টিক ($CaCO_3$) কে স্থির সাম্যাবস্থা শোষকরূপে ব্যবহার করা যায়। চক স্টিকের ওপর যৌগের মিশ্রণকে (যেমন কালি, খাদ্য-রঞ্জক) প্রয়োগ করলে উপাদানসমূহ প্রকৃতি অনুসারে চক দ্বারা বিভিন্ন মাত্রায় শোষিত হয়। পরে চলনশীল সাম্যাবস্থারূপে পানি, অ্যালকোহল ইত্যাদি পোলার দ্রাবক যখন চকের ওপর দিয়ে প্রবাহিত হয়, তখন মিশ্রণের উপাদানসমূহ ঐ দ্রাবকে এদের দ্রাব্যতা অনুসারে চকের ওপর বিভিন্ন অংশে পৃথক হয়ে পড়ে। এ প্রক্রিয়ার নিট ফলাফল হচ্ছে চক স্টিকটি বর্ণিল হয়ে পড়ে।

(খ) প্রয়োজনীয় উপাদানসমূহ : (১) সাদা চক স্টিক-২টি, (২) কলমের কালি অথবা মার্কার, (৩) পানি, 25% ইথানল বা মিথানল (পানিতে)।

(গ) প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) দুটি বিকার : 100 mL এবং 250 mL, (২) পরিমাপক সিলিন্ডার : 10 mL, (৩) সরু চিকন কাঠি বা টুথপিক (কালি বা রঞ্জক প্রয়োগ মাধ্যম), (৪) স্কেল, পেন্সিল।



চিত্র-২.৪২ : চক ক্রোমাটোগ্রাফির সাহায্যে কালির উপাদান পৃথকীকরণ।

(ঘ) াজের ধারা :

(১) িত্র মতে, চক স্টিকের মোটা অংশের তলদেশ একটু ঘষে সমান করে নাও যেন ছোটো বিকারে রাখার সময় কাত হয়ে না পড়।

(২) ক-স্টিকের মোটা অংশের প্রান্ত থেকে 1.5 cm ওপরে পেন্সিল দিয়ে চারদিক ঘুরিয়ে 'গোল-ভিত্তি রেখা' টান।

(৩) এবার টুথপিক বা সরু চিকন কাঠি দিয়ে চকের গোল ভিত্তি রেখা বরাবর কলমের কালির ফোঁটা গোল আকারে দাও। [অথ বা মার্কার কলমের সরু মুখে গোল করে কালি রেখা টান] এবং শুকিয়ে নাও। [মার্কার কালি পানিতে অদ্রবণীয়, অ্যালকোহ ল দ্রবণীয়।]

(৪) াবার ছোটো বিকারে 25% ইথানল বা মিথানল 1 cm উচ্চতা পর্যন্ত ঢাল। এখন নমুনা কালি যুক্ত চক-স্টিকটি বিকারটিতে খাড়া করে রাখো। দেখে নাও কালির স্পট দ্রাবক বা ইলিউয়েন্ট (eluent) এর ওপরে থাকছে কীনা, তা না হলে দ্রাবকের প রিমাণ কমিয়ে নাও।

(৫) ক-স্টিক না নড়ে মতো, বিকারটির ওপর একটি কাগজের টুকরা দিয়ে ঢেকে দাও। এতে দ্রাবকের বাষ্পীভবন রোধ হবে

(৬) াক্ষ্য করো, কালির উপাদান চক্-স্টিকের ওপর দিকে ধীরে ধীরে ছড়িয়ে পড়ছে।

(৭) াবার চক স্টিকের শেষ মাথায় দ্রাবক ফ্রন্ট (solvent front) পৌছার সাথে সাথে চক-স্টিকটি উঠিয়ে নাও।

(৮) এখন পেন্সিলের দাগের গোল ভিত্তি রেখা থেকে চকের ওপরের শেষ প্রান্তের দূরত্ব (c) মেপে নাও। এরপর কালির উপাদানসমূহের অতিক্রান্ত দূরত্ব (a, b) মেপে নাও। চকটিকে শুকিয়ে নাও।

(৯) পৃথক হওয়া উপাদানসমূহের R_f মান (Relation to front) এর মান বের করো।

$$R_f \text{ মান} = \frac{\text{প্রত্যেক উপাদান কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব}}{\text{দ্রাবক কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব}} = \frac{a\ (cm)}{c\ (cm)}$$

(১০ প্রত্যেক উপাদানের R_f মান নির্দিষ্ট; তাই R_f মান থেকে উপাদান শনাক্ত করা হয়।

ফলাফল : চক ক্রোমাটোগ্রাফির ফলাফলরূপে কালির রেখা বা স্পটগুলো থেকে উপাদান আলাদা হয়ে চকটিকে বর্ণিল করেছে। এ বর্ণিল চক বোর্ডে লেখার কাজে ব্যবহার করা যাবে।

> **জেনে রাখো :** (i) R_f হলো দুটি দূরত্বের অনুপাত; তাই R_f এর কোনো একক নেই।
> (ii) R_f মান স্থির সাম্যাবস্থা ও চলনশীল সাম্যাবস্থা (eluent) এর ওপর নির্ভরশীল।
> (iii) R_f এর মান 0 (শূন্য) ও 1 এর মধ্যে থাকে, $R_f \leq 1$ হয়।
> (iv) R_f কে retention factor-ও বলা হয়।

২.২০ পদার্থের গুণগত বিশ্লেষণের গুরুত্ব

Qualitative Analysis of a Substance & Its Importance

RMDAC

'গুণগত রসায়ন' অধ্যায়ের আলোচনা থেকে আমরা জেনেছি—

(১) পরমাণুর গঠন উপাদান প্রোটন, নিউট্রন ও ইলেকট্রন এর পরীক্ষার মাধ্যমে শনাক্তকরণ এবং বিন্যাস প্রকরণ।

(২) তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালির গঠন প্রকরণ, মৌলের পরমাণুর বৈশিষ্ট্যপূর্ণ বর্ণালি সৃষ্টি এবং মৌল শনাক্তকরণে বর্ণালির ভূমিকা।

(৩) UV রশ্মি দ্বারা জাল টাকা ও পাসপোর্ট শনাক্তকরণ, চিকিৎসাক্ষেত্রে IR রশ্মির ব্যবহারের সুফল এবং রোগ নির্ণয়ে MRI পরীক্ষার ভূমিকা।

(৪) রসায়ন পরীক্ষাগারে দ্রবণে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণে আয়নিক যৌগের দ্রাব্যতার গুণফল, আয়নিক গুণফল ও দ্রবণে pH এর ভূমিকা।

(৫) যৌগের পৃথকীকরণে ও বিশুদ্ধকরণে কেলাসন, ঊর্ধ্বপাতন, পাতন, আংশিক পাতন, স্টিম পাতন ও দ্রাবক নিষ্কাশন প্রভৃতি ভৌত পদ্ধতির ভূমিকা। এছাড়া ক্রোমাটোগ্রাফি দ্বারা যৌগের পৃথকীকরণ, বিশোধন ও মাত্রিক পরিমাণ নির্ধারণ সম্ভব। এ সবই হলো **গুণগত রসায়নের** আওতাভুক্ত। আবার বিশুদ্ধ যৌগটি যেমন অজৈব যৌগ অথবা জৈবযৌগ কী কী উপাদান মৌল বা যৌগমূলক দ্বারা গঠিত এদের উপস্থিতি এবং পরিমাণ নির্ণয়ে যে পদ্ধতিগত রাসায়নিক প্রক্রিয়া অনুসরণ করা হয়, তাকে **রাসায়নিক বিশ্লেষণ** (Chemical analysis) বলা হয়। রাসায়নিক বিশ্লেষণ হলো **ব্যবহারিক রসায়ন** (Practical Chemistry)-এর অন্তর্ভুক্ত। রাসায়নিক বিশ্লেষণ প্রক্রিয়া দু'শ্রেণিভুক্ত। যেমন—

(১) **গুণগত বিশ্লেষণ** (Qualitative analysis) ও

(২) **মাত্রিক বিশ্লেষণ** (Quantitative analysis).

'যে বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় কোনো রাসায়নিক পদার্থের উপাদান মৌল, মূলক এবং মিশ্র পদার্থের উপাদান যৌগের উপস্থিতি প্রয়োজনীয় বিক্রিয়ক বা বিকারক (reagent) এর সাথে বিক্রিয়ায় বিশেষ বর্ণযুক্ত যৌগের দ্রবণ বা অধঃক্ষেপ সৃষ্টির মাধ্যমে শনাক্ত করা হয়, তাকে **গুণগত বিশ্লেষণ বা আঙ্গিক বিশ্লেষণ** বলা হয়। যেমন শিখা পরীক্ষা হলো একটি আঙ্গিক বা গুণগত বিশ্লেষণ। দ্রবণে ধনাত্মক আয়ন বা ক্যাটায়ন এবং ঋণাত্মক আয়ন বা অ্যানায়ন শনাক্তকরণ হলো গুণগত বিশ্লেষণ। গুণগত বিশ্লেষণের পরে ঐ নমুনায় ঐ সব মৌল, মূলক বা যৌগ কী পরিমাণে আছে, তা নির্ণয়ের পদ্ধতিকে **মাত্রিক বিশ্লেষণ** বলা হয়। ক্রোমাটোগ্রাফি হলো গুণগত বিশ্লেষণ ও মাত্রিক বিশ্লেষণ উভয় শ্রেণিভুক্ত। বাস্তবক্ষেত্রে গুণগত বিশ্লেষণ ও মাত্রিক বিশ্লেষণ উভয়ের গুরুত্ব অপরিসীম। নিম্নোক্ত ক্ষেত্রে তা আলোচনা করা হলো :

(১) **কৃষিক্ষেত্রে :** বাংলাদেশ হলো একটি কৃষিপ্রধান দেশ। বিভিন্ন অঞ্চলের কৃষিজমির মাটির নমুনার গুণগত বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় লবণ শনাক্তকরণ এবং শেষে মাত্রিক বিশ্লেষণ দ্বারা উপস্থিত লবণের পরিমাণ বের করা হয়। এরপর কৃষিবিদগণ ঐ জমির উপযোগী ফসল চাষের ও সার ব্যবহারের জন্য উপদেশ দেন।

(২) **খাদ্যদ্রব্য সংরক্ষণ ক্ষেত্রে :** পচনশীল খাদ্যবস্তু সংরক্ষণে অনুমোদিত প্রিজারভেটিভস্ ছাড়াও অবিবেচক অসাধু বিক্রেতারা খাদ্যবস্তুর পচনরোধক ফরমালিন ব্যবহার করে। এছাড়া কাঁচাফল পাকা করতে কার্বাইড ব্যবহার করে। এসব রাসায়নিক পদার্থ দেহের জন্য ক্ষতিকর। তাই এসব ক্ষতিকর রাসায়নিক পদার্থ শনাক্তকরণে সহজ যান্ত্রিক পদ্ধতি কিট (Kit) ব্যবহৃত হয়। অনুরূপভাবে নলকূপের পানিতে আর্সেনিক শনাক্তকরণে আর্সেনিক কিট (Kit) ব্যবহৃত হয়। খাদ্যবস্তুতে বিষাক্ত ধাতু যেমন Pb, Cr, Cd, As ইত্যাদির উপস্থিতি শনাক্তকরণ গুণগত বিশ্লেষণের অন্তর্ভুক্ত।

নলকূপের পানিতে অধিক পরিমাণ Fe^{2+} আয়ন থাকলে তখন ঐ পানি বাসাবাড়ি ও কারখানায় সমস্যা সৃষ্টি করে। তাই আয়রন রিমুভ্যাল প্ল্যান্ট ব্যবহৃত হয়। এক্ষেত্রেও গুণগত বিশ্লেষণ প্রযোজ্য।

(৩) **চিকিৎসাক্ষেত্রে :** আধুনিক চিকিৎসায় দেহে রোগ নির্ণয় ও এর চিকিৎসা দেহের বিভিন্ন তরল উপাদানের পরীক্ষানির্ভর প্যাথলজি রিপোর্টের ওপর বিশেষত নির্ভরশীল। যেমন মলমূত্র ও রক্তে জীবাণুর উপস্থিতি শনাক্তকরণ, উপাদান কোষের পরিবর্তন ও এদের প্রতিচ্ছবি গ্রহণ ইত্যাদি গুণগত বিশ্লেষণ দ্বারা করা হয়। এছাড়া ব্যবহৃত ওষুধ বা ড্রাগের বিশুদ্ধতা পরীক্ষায়ও গুণগত বিশ্লেষণ প্রযোজ্য।

(৪) **শিল্পক্ষেত্রে :** শিল্পে উৎপাদিত পণ্যের গুণাগুণ ও মান জানার জন্য ঐ পণ্যের গুণগত বিশ্লেষণ দ্বারা সঠিক মান নির্ধারণ করে বাজারজাত করা হয়। এছাড়া শিল্পবর্জ্য দ্বারা পরিবেশ দূষণ রোধ করতে শিল্পবর্জ্যে বিষাক্ত পদার্থের শনাক্তকরণ এবং এর প্রতিকার করতে শিল্পক্ষেত্রে কম্বাইন্ড ইফ্লুয়েন্ট ট্রিট্‌ম্যান্ট প্ল্যান্ট (CETP) প্রতিষ্ঠায় গুণগত বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ার গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রয়েছে।

অধ্যায়ের সার-সংক্ষেপ (Recapitulation) RMDAC

❈ **ড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ :** সব ধরনের দৃশ্য ও অদৃশ্য আলোর উৎপত্তি বিদ্যুৎ ও চুম্বক শক্তির বিকিরণে ঘটে। শ্যমান আলো হলো বিদ্যুৎ চুম্বকীয় বিকিরণ রশ্মির সামান্য অংশমাত্র। এসব তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণকে একত্রে ড়িৎ চুম্বকীয় স্পেকট্রাম (spectrum) বা বর্ণালি বলা হয়।

❈ **ফ্রিক্যুয়েন্সি ও হার্টজ (Hz) :** প্রতি একক সময়ে যেমন এক সেকেন্ডে কোনো তরঙ্গ রশ্মি দ্বারা অতিক্রান্ত দূরত্বের ধ্যে যতটি পূর্ণ তরঙ্গ সৃষ্টি করে, ঐ তরঙ্গ সংখ্যাকে ফ্রিক্যুয়েন্সি (ν) বলে। এর একক হলো সেকেন্ড ইনভারস্ (s^{-1}); একে হার্টজ (Hertz) বলে।

❈ **ফোটন (Photon) :** পদার্থ হতে বিকিরিত শক্তি বিচ্ছিন্নভাবে ক্ষুদ্র শক্তির প্যাকেট হিসেবে বের হয়। বিকিরিত ক্তির এ একক পরিমাণকে ফোটন বা আলোর এক কোয়ান্টাম শক্তি বলে।

❈ **রেখা বর্ণালি (Line Spectrum) :** উদ্দীপিত পরমাণু থেকে নির্গত রশ্মি দ্বারা সৃষ্ট বর্ণালিতে সূর্যালোকের বর্ণালির তো সব বর্ণের আলো থাকে না; কয়েকটি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর সূক্ষ্ম রেখা দেখা যায়। তাই এরূপ রেখার ারিকে পারমাণবিক রেখা বর্ণালি বলে।

❈ **কোয়ান্টাম সংখ্যা :** ইলেকট্রনের শক্তিস্তরের আকার, আকৃতি ও কক্ষ পথের ত্রিমাত্রিক দিক বিন্যাস নির্দেশক এবং লেকট্রনের অক্ষ বরাবর ঘূর্ণন প্রকাশক রাশিকে একত্রে কোয়ান্টাম সংখ্যা বলা হয়।

❈ **অরবিট (Orbit) :** পরমাণুর নিউক্লিয়াসের চারদিকে দ্বিমাত্রিক বৃত্তাকার পথে ইলেকট্রনের আবর্তন করার লাকাকে অরবিট বলে।

❈ **অরবিটাল ও নোড (node) :** যে এলাকায় আবর্তনশীল ও নির্দিষ্ট শক্তিযুক্ত ইলেকট্রন মেঘের অবস্থানের সম্ভাবনা 90 – 95% থাকে, সে এলাকাকে অরবিটাল বলা হয়। দুটি অরবিটালের মধ্যবর্তী যে এলাকায় ইলেকট্রন মেঘের বস্থানের সম্ভাবনা প্রায় শূন্য, সে এলাকাকে নোড (node) এলাকা বলা হয়।

❈ **আইসোটোপ (Isotopes) :** যেসব পরমাণুর নিউক্লিয়াসে প্রোটন সংখ্যা (p) সমান; কিন্তু নিউট্রন সংখ্যা (n) সমান হওয়ায় ভর সংখ্যা (n + p) অসমান হয়, এদেরকে আইসোটোপ বলে। যেমন, $^{1}_{1}H$, $^{2}_{1}H$, $^{3}_{1}H$।

❈ **আইসোবার (Isobar) :** যেসব পরমাণুর প্রোটন সংখ্যা অসমান; কিন্তু ভর সংখ্যা সমান এদেরকে আইসোবার লে। যেমন, $^{14}_{6}C$, $^{14}_{7}N$

❈ **পাউলির বর্জন নীতি :** একটি পরমাণুতে দুটি ইলেকট্রনের চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান কখনো একই রূপ হতে ারে না। অন্ততপক্ষে একটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান ভিন্ন হতে হবে।

❈ **আউফবাউ নীতি (Aufbau Principle) :** পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাসের সময় ইলেকট্রনসমূহ বিভিন্ন অরবিটালে াদের শক্তির নিম্নস্তর থেকে উচ্চক্রম অনুসারে প্রবেশ করে।

❈ **হুন্ডের নিয়ম (Hund's rule) :** একই শক্তিসম্পন্ন বিভিন্ন অরবিটালে ইলেকট্রনগুলো সর্বাধিক সংখ্যায় বিজোড় বস্থায় থাকতে পারে। এসব অযুগ্ম ইলেকট্রনের স্পিন একইমুখী হবে।

❈ **IR রশ্মি :** IR রশ্মি তিন শ্রেণিতে বিভক্ত; যেমন (i) near–IR, (ii) middle–IR ও (iii) Far–IR রশ্মি। Far–IR রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 25µm – 1.0 mm হওয়ায় এটি ত্বকে তাপীয় অনুভূতি জাগায়। এটি রক্তের শ্বেতকণিকা বৃদ্ধি ও রোগ প্রতিরোধক শক্তি বৃদ্ধিতে সহায়তা করে।

❈ **UV রশ্মি :** UV রশ্মি বিভিন্ন শনাক্তকরণ কাজে, জীবাণুনাশকরূপে, মেডিক্যাল ইমেজিং এবং অপটিকেল ন্সররূপে 230 – 375 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের UV রশ্মি নকল টাকা, পাসপোর্ট শনাক্তকরণ মেসিনে ব্যবহৃত হয়।

❋ **UV-fluorescent ink :** UV-রশ্মি শনাক্তযোগ্য যে অদৃশ্য বিশেষ কালি ব্যবহৃত হয়, তাকে UV-ফ্লোরেসেন্ট কালি বলা হয়। ঐ অদৃশ্য কালিটি UV-রশ্মির সংস্পর্শে নির্দিষ্ট বর্ণের দৃশ্যমান আলো ফুটিয়ে তোলে।

❋ **MRI পরীক্ষা :** MRI মেসিনে চৌম্বকক্ষেত্র ও রেডিও তরঙ্গ শক্তির প্রভাবে মানবদেহের H_2O অণুর MRI পরমাণু (^1H) এর প্রোটনসমূহ দ্বারা সৃষ্ট অনুরণনজনিত বিভিন্ন অর্গানের ডিজিটাল ছবি কম্পিউটারের পর্দায় ফুটিয়ে তোলে।

❋ **শিখা পরীক্ষা :** বার্নারের অনুজ্জ্বল শিখায় উত্তপ্ত ধাতব পরমাণু শিখা থেকে প্রয়োজনীয় তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো শোষণ করে এবং ঐ শোষিত শক্তি বিকিরিত হয়ে শিখায় বিশেষ বর্ণের আলো সৃষ্টি করে।

❋ **দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতার গুণফল :** পানিতে আয়নিক যৌগের প্রতি লিটার দ্রবণে উপস্থিত মোল পরিমাণ বা গ্রাম পরিমাণকে ঐ যৌগের দ্রাব্যতা বলে। দ্রবণে উপস্থিত ক্যাটায়ন ও অ্যানায়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফলকে ঐ যৌগের দ্রাব্যতার গুণফল K_{sp} বলে। কোনো দ্রবণে দ্রবের আয়নদ্বয়ের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল তার দ্রাব্যতা-গুণফলের মান থেকে বেশি হলেই ঐ দ্রব অধঃক্ষেপ সৃষ্টি করে।

❋ **সম-আয়ন প্রভাব :** কোনো দুটি তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মিশ্র দ্রবণে যে আয়নটি উভয় পদার্থ থেকে উৎপন্ন হয়, তাকে সম-আয়ন বলে। সম-আয়নটি দুর্বল তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থটির বিয়োজন-মাত্রা হ্রাস করে।

যেমন, NH_4OH ও NH_4Cl এর মিশ্র দ্রবণে সমআয়ন হলো NH_4^+ আয়ন।

❋ **কেলাসন :** উচ্চতাপমাত্রায় কোনো দ্রবের সম্পৃক্ত দ্রবণকে শীতল করলে ঐ দ্রবটির দ্রাব্যতা হ্রাস পায়। তখন আয়নিক যৌগের আয়নিক গুণফল বেশি থাকায় দ্রবটি কেলাস-আকারে দ্রবণ থেকে আলাদা হয়। এ প্রক্রিয়াকে কেলাসন বলে।

❋ **ঊর্ধ্বপাতন :** যেসব কঠিন পদার্থের গলনাঙ্কের চেয়ে কম তাপমাত্রায় এদের বাষ্পচাপ বায়ুমণ্ডল চাপের চেয়ে বেশি হয় এবং ঐ বাষ্পকে শীতল করলে কঠিন পদার্থ পাওয়া যায়। এ প্রক্রিয়াকে ঊর্ধ্বপাতন বলে।

❋ **পাতন :** তাপ প্রয়োগে তরল পদার্থকে বাষ্পে রূপান্তর এবং শেষে ঐ বাষ্পকে শীতল করে পুনরায় একই তরলে রূপান্তর করাকে পাতন বলে। এক্ষেত্রে প্রথমে বাষ্পীভবন ও পরে ঘনীভবন প্রক্রিয়া ঘটে।

❋ **স্টিম পাতন :** যেসব কঠিন ও তরল জৈবযৌগ পানিতে অদ্রবণীয়; কিন্তু স্টিমে উদ্বায়ী হয়; যেসব যৌগকে স্টিম প্রবাহের মাধ্যমে পাতিত করার প্রক্রিয়াকে স্টিম পাতন বলে।

❋ **দ্রাবক নিষ্কাশন :** উদ্ভিদের ফুলের পাপড়ি, পাতা, মূল ও বীজের মধ্যে থাকা জৈবযৌগকে জৈব দ্রাবকে শোষণ করে পৃথক করাকে দ্রাবক নিষ্কাশন বলে।

❋ **ক্রোমাটোগ্রাফি :** উদ্ভিদের রঙিন বস্তুকে বা বিভিন্ন জৈবযৌগকে একটি স্থির মাধ্যমে শোষণ করে অপর সচল মাধ্যমে দ্রবীভূত হওয়ার প্রবণতা বা বন্টন সহগভিত্তিক পৃথক করার প্রক্রিয়াকে ক্রোমাটোগ্রাফি বলা হয়।

MCQ এর উত্তরমালা :

2.1 (খ), 2.2 (ঘ), 2.3 (খ), 2.4 (ক), 2.5 (গ), 2.6 (খ), 2.7 (গ), 2.8 (ক), 2.9 (ঘ), 2.10 (খ), 2.11 (খ), 2.12 (গ), 2.13 (গ), 2.14 (খ), 2.15 (ঘ), 2.16 (গ), 2.17 (গ), 2.18 (খ), 2.19 (ঘ), 2.20 (ক), 2.21 (ঘ), 2.22 (ক), 2.23 (খ), 2.24 (গ), 2.25 (ক), 2.26 (খ), 2.27 (গ), 2.28 (গ), 2.29 (খ), 2.30 (গ), 2.31 (ঘ), 2.32 (ক), 2.33 (ঘ), 2.34 (খ), 2.35 (ক), 2.36 (ক), 2.37 (গ), 2.38 (ক), 2.39 (ক), 2.40 (ক), 2.41 (খ), 2.42 (ঘ), 2.43 (ঘ), 2.44 (খ), 2.45 (ক)।

অনুশীলনী-২

ক-বিভাগ : জ্ঞানান্তরভিত্তিক প্রশ্নাবলি (একনজরে)

*** (১) রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলভিত্তিক :**

১। আল্ফা কণা কী? [কু. বো. ২০২১ ,২০২৩; ; সি. বো. ২০১৬, ২০১৭; রা. বো. ২০১৬, ২০১৯, ২০২২]

২। α– কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষায় কোন্ ধাতুর পাত ব্যবহৃত হয়েছিল?

৩ পরমাণুর নিউক্লিয়াস কী?

৪। রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলের ভিত্তি কী?

৫ ম্যাক্সওয়েলের তত্ত্ব কী?

*** (২) বোর পরমাণু মডেলভিত্তিক :**

১। বোর পরমাণু মডেলের ভিত্তি কী?

২। পরমাণুর স্থির শক্তিস্তর বা অরবিট কী?

৩ পরমাণুতে ইলেকট্রনের শক্তিস্তর ও কৌণিক ভরবেগের সম্পর্ক কী?

৪। হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি কী?

৫ জিম্যান প্রভাব কী? [ম. বো. ২০২১]

৬ স্টার্ক প্রভাব কী?

৭। বোর ব্যাসার্ধ কী?

*** (৩) কোয়ান্টাম বলবিদ্যা পরমাণু মডেলভিত্তিক :**

১। কোয়ান্টাম সংখ্যা কী? [ঢা. বো. ২০২২, ২০২৩; চ. বো. ২০২১; দি. বো. ২০২১; ব. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৬; মা. বো. ২০২১, ২০২৩]

২। চৌম্বক কোয়ান্টাম সংখ্যা কী? [কু. বো. ২০২১]

৩ ইলেকট্রনের n-তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ প্রকাশক সমীকরণটি লেখ।

৪। n-তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তির মান প্রকাশক সমীকরণটি লেখ।

৫ n-তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের গতি বেগের সমীকরণটি লেখ।

৬ অরবিট কী? [দি. বো. ২০২১; য. বো. ২০১৫; চ. বো. ২০১৭]

৭। অরবিটাল কাকে বলে? [কু. বো. ২০২৩; সি. বো. ২০২৩; ঢা. বো. ২০২১; য. বো. ২০২৩; রা. বো. ২০১৭, ২০২১ ; চ. বো. ২০২৩; ব. বো. ২০১৯; ম. বো. ২০২৩; মা. বো. ২০২১]

৮ ইলেকট্রনের উপশক্তি স্তর কী? [য. বো. ২০১৭]

৯ তিনটি p-অরবিটাল অঙ্কন করে দেখাও।

১০। নোড কী? [সি. বো. ২০২১; দি. বো. ২০১৯]

১১। তিনটি p-অরবিটালের মধ্যে কৌণিক অবস্থান কত ডিগ্রি?

১২। d-অরবিটাল সংখ্যা কয়টি সম্ভব?

১৩। ৫টি d-অরবিটাল অঙ্কন করে দেখাও।

১৪। আইসোটোপ কী? [ঢা. বো. ২০২২; রা. বো. ২০১৫, ২০১৯; মা. বো. ২০২২]

*** (৪) পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাসভিত্তিক :**

১। পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস কী?

২ ইলেকট্রন বিন্যাসের নিয়মগুলো কী কী?

৩। আউফবাউ নীতি কী? [কু. বো. ২০২২; য. বো. ২০২১; রা. বো. ২০১৭; ব. বো. ২০১৯; মা. বো. ২০২২]

৪। পাউলির বর্জন নীতি কী? [চ. বো. ২০১৯; রা. বো. ২০১৭, ২০২১; য. বো. ২০১৭; ব. বো. ২০১৭; ম. বো. ২০২৩; অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮; সি. বো. ২০২২; মা. বো. ২০২১]

৫। হুন্ডের নিয়ম কী? [ঢা. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০২৩; ব. বো. ২০২৩; সি. বো. ২০২১; দি. বো. ২০২৩; রা. বো. ২০১৯; ম. বো. ২০২২; য. বো. ২০১৯, ২০২২]

৬। কোন্ অরবিটালের জন্য হুন্ডের নিয়ম প্রযোজ্য নয়?

৭। ডিজেনারেট অরবিটাল বলতে কোন্ অরবিটালকে বোঝায়?

৮। ডিজেনারেট অরবিটালসমূহে কখন ইলেকট্রন বিন্যাস সুস্থিত হয়?

৯। Fe^{3+} আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস লেখ। [সি. বো. ২০২১]

*** (৫) তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালিভিত্তিক :**

১। তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালি বা বিকিরণ রশ্মি কী? [সি. বো. ২০২২]

২। (ক) তরঙ্গদৈর্ঘ্য কী?

(খ) তরঙ্গের ফ্রিক্যুয়েন্সি কী? [য. বো. ২০২৩]

৩। হার্টজ কী?

৪। আলো-তরঙ্গের 'তরঙ্গ-সংখ্যা' কী?

৫। ফোটন কী?

৬। দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিসর কত?

৭। অবলোহিত বা IR–রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য ব্যাপ্তি কত? [সি. বো. ২০২৩]

৮। মাইক্রোওয়েভস অঞ্চলের পরিসর কত?

৯। অতিবেগুনি বা UV-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য ব্যাপ্তি কত?

১০। রঞ্জন রশ্মি বা X–ray এ পরিসর কত?

১১। (ক) পারমাণবিক রেখা বর্ণালি কী? [রা. বো. ২০২৩]

(খ) বর্ণালি কী? [য. বো. ২০২২; চ. বো. ২০২২]

১২। রেখা বর্ণালির তরঙ্গ-সংখ্যা প্রকাশক রিডবার্গ সমীকরণটি লেখ।

১৩। লাইমেন সিরিজ কী?

১৪। বামার সিরিজ কী?

১৫। প্যাশ্চেন সিরিজ কী?

১৬। জাল টাকা/ পাসপোর্ট কী দ্বারা শনাক্ত করা হয়?

১৭। ফসফোর কী?

১৮। প্রতিপ্রভা বা অণুপ্রভা কী? [য. বো. ২০১৭]

১৯। ব্যাংকসমূহে আসল কারেন্সি নোট শনাক্তকরণে ব্যবহৃত মেসিনের নাম কী?

২০। near–IR এর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিসর কত?

২১। far–IR এর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিসর কত?

২২। মানবদেহের বিকিরিত IR রশ্মির পরিসর কত?

২৩। IR-থার্মোগ্রাফ কী?

২৪। মানব শরীরের IR থার্মোগ্রাফের ভূমিকা কী?

২৫ DOT পদ্ধতি কী?
২৬ MRI এর পুরো নাম কী?
২৭ NMR-পরমাণু বা MRI পরমাণু কী?

*** (৬) ধাতব আয়ন বা ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণভিত্তিক :**

১। লবণ কাকে বলে? [কু. বো. ২০২৩]
২। শিখা পরীক্ষায় কপার আয়ন ও ক্যালসিয়াম আয়ন কী রূপ বর্ণ সৃষ্টি করে?
৩। (ক) যৌগের দ্রাব্যতা কী? [রা. বো. ২০১৫, ২০২১; ঢা. বো. ২০১৭; কু. বো. ২০১৭; সি. বো. ২০১৭, ২০২২]
(খ) লবণের সম্পৃক্ত দ্রবণ কাকে বলে? [রা. বো. ২০২৩]
৪। আয়নিক গুণফল কী? [য. বো. ২০১৭]
৫। দ্রাব্যতা গুণফল কী? [ঢা. বো. ২০২১; দি. বো. ২০১৭, ২০২২]
৬। সম-আয়ন প্রভাব কী? [ঢা. বো. ২০১৬; কু. বো. ২০২২; মা. বো. ২০২৩]
৭। পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইডের সংকেত লেখ।
৮। পটাসিয়াম ফেরিসায়ানাইডের সংকেত লেখ।
৯। অ্যামোনিয়াম অক্সালেট-এর সংকেত লেখ।
১০ পটাসিয়াম পাইরো অ্যান্টিমোনেট-এর সংকেত লেখ।
১১। নেস্‌লার দ্রবণ কী? [চ. বো. ২০২২; রা. বো. ২০১৭; দি. বো. ২০২২]
১২ বিকারক কী? [চ. বো. ২০২৩; কু. বো. ২০১৬]
১৩ ক্যাটায়ন কী? [মা. বো. ২০২২]
১৪। অ্যানায়ন কী?

*** (৭) পৃথকীকরণ পদ্ধতিসমূহভিত্তিক :**

১। সম্পৃক্ত দ্রবণ কী?
২। অতিপৃক্ত দ্রবণ কী?
৩। কেলাসন কী? [চ. বো. ২০২১; ম. বো. ২০২১; দি. বো. ২০২৩]
৪। মাতৃদ্রবণ কী?
৫। পাতন কী?
৬। আংশিক পাতন কী? [কু. বো. ২০১৭; য. বো. ২০১৯]
৭। ঊর্ধ্বপাতন কী?
৮। বাষ্পপাতন কী?
৯। নিম্নচাপ-পাতন কী? [দি. বো. ২০১৭; ঢা. বো. ২০১৯]
১০ দ্রাবক নিষ্কাশন কী? [সি. বো. ২০১৬; কু. বো. ২০১৯]
১১। নার্নস্টের বণ্টন নীতি কী?
১২ বণ্টন সহগ কী?
১৩ ক্রোমাটোগ্রাফি কী? [চ. বো. ২০১৯; রা. বো. ২০১৬; ব. বো. ২০১৬]
১৪ ইলিউশন কী?
১৫ ইলিউয়েন্ট কী?
১৬ R_f কী? [সি. বো. ২০১৭, ২০১৯]
১৭ গুণগত বিশ্লেষণ কী?

খ-বিভাগ : অনুধাবনস্তরভিত্তিক প্রশ্নাবলি (একনজরে)

*** (১) রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলভিত্তিক :**

১। α–কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষায় ZnS ব্যবহারের কারণ ব্যাখ্যা করো।

২। পরমাণুর আকার ও নিউক্লিয়াসের আকারের মধ্যে কীরূপ সম্পর্ক রয়েছে তা রাদারফোর্ডের সিদ্ধান্ত মতে ব্যাখ্যা করো।

*** (২) বোর পরমাণু মডেলভিত্তিক :**

১। হাইড্রোজেনের বর্ণালি কীরূপে সৃষ্টি হয়, তা ব্যাখ্যা করো। [ব. বো. ২০২৩]

২। ইলেকট্রনের শক্তিস্তর পরিবর্তন ও এর ফলাফল ব্যাখ্যা করো।

৩। বোর পরমাণু মডেলের সাফল্যসমূহ ব্যাখ্যা করো।

৪। রাদারফোর্ড পরমাণু মডেল ও বোর পরমাণু মডেলের মধ্যে মূল পার্থক্য কী?

৫। (ক) He^+ এর ক্ষেত্রে বোর তত্ত্ব প্রযোজ্য; ব্যাখ্যা করো। [চ. বো. ২০১৭]

(খ) Li^{2+} এর ক্ষেত্রে বোর তত্ত্ব প্রযোজ্য হয় কেন? ব্যাখ্যা করো। [রা. বো. ২০২৩]

*** (৩) কোয়ান্টাম বলবিদ্যা পরমাণু মডেল ও ইলেকট্রন বিন্যাসভিত্তিক :**

১। কোয়ান্টাম বলবিদ্যা পরমাণু মডেলের মূল ভিত্তি ব্যাখ্যা করো।

২। প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যার বৈশিষ্ট্য ও প্রয়োজনীয়তা ব্যাখ্যা করো।

৩। সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যার বৈশিষ্ট্য ও প্রয়োজনীয়তা ব্যাখ্যা করো।

৪। চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যার বৈশিষ্ট্য ও প্রয়োজনীয়তা ব্যাখ্যা করো।

৫। স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যার বৈশিষ্ট্য ও প্রয়োজনীয়তা ব্যাখ্যা করো।

৬। l ও m এর মান অনুসারে তৃতীয় ও চতুর্থ শক্তিস্তরে মোট অরবিটাল সংখ্যা গণনা করো।

৭। অরবিট ও অরবিটালের মধ্যে পার্থক্যসমূহ লেখ।

৮। কোনো অরবিটালের বেলায় $n = 3, l = 2, m = 1$ হলে অরবিটালটির শেল ও সাবশেল কী তা ব্যাখ্যা করো।

৯। দুটি অরবিটালের মধ্যে কোনটির শক্তি কম তা কীরূপে নির্ণয় করা যায়; উদাহরণসহ ব্যাখ্যা করো।

১০। (ক) K(19) এর সবশেষ ইলেকট্রনটি 3d অরবিটালে না গিয়ে 4s অরবিটালে প্রবেশ করে কেন ব্যাখ্যা করো। [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮; মা. বো. ২০২১]

(খ) Ca(20) এর ১৯তম ইলেকট্রনটি 3d অরবিটালে না গিয়ে 4s অরবিটালে গমন করে কেন? [চ. বো. ২০২১]

(গ) Rb এর 37-তম ইলেকট্রনটি 4d অরবিটালে না গিয়ে 5s-এ যায় কেন? [দি. বো. ২০২১]

১১। (ক) আউফবাউ নীতি কী? উদাহরণসহ তা ব্যাখ্যা করো। [কু. বো. ২০১৯]

(খ) $A = [Ar]\ d^{10}4s^1$; A মৌল আউফবাউ নীতি মেনে চলে কি? ব্যাখ্যা করো। [ব. বো. ২০২১]

১২। (ক) পাউলির বর্জন নীতি মূলত স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যার ওপর নির্ভরশীল; তা ব্যাখ্যা করো।

(খ) পাউলির বর্জন নীতি উদাহরণসহ ব্যাখ্যা করো। [দি. বো. ২০২২]

১৩। (ক) He এর ইলেকট্রন বিন্যাস পাউলির বর্জন নীতি মেনে চলে, ব্যাখ্যা করো। [য. বো. ২০২১]

(খ) H পরমাণুর জন্য পাউলির বর্জন নীতি প্রযোজ্য নয় কেন? [রা. বো. ২০২৩]

(গ) পাউলির বর্জন নীতি অনুসারে একই অরবিটালে দুটি ইলেকট্রনের স্পিন একইমুখী হতে পারে না কেন? [সি. বো. ২০২৩]

১৪। (ক) হুন্ডের নিয়ম কী? ফসফরাসের উদাহরণসহ তা ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০১৯]

(খ) $Z = (n + 1)\ s^2\ (n + 1)\ p^3$; এখানে $n = 2$; Z মৌলটি হুন্ডের নিয়ম মেনে চলে কি? [ঢা. বো. ২০২২]

(গ) বেরিলিয়াম-এর ক্ষেত্রে হুন্ডের নীতি প্রযোজ্য নয় কেন? [ঢা. বো. ২০২২]

১৫। Fe^{2+} ও Fe^{3+} আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাসের মধ্যে কোনটি অধিক স্থায়ী; তা ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০২১; চ. বো. ২০২৩; রা. বো. ২০২১; মা. বো. ২০২১, ২০২৩]

১৬। (ক) 2d অরবিটাল সম্ভব নয় কেন?—ব্যাখ্যা করো। [রা. বো. ২০২১; ব. বো. ২০১৬; কু. বো. ২০১৭, ২০২২; য. বো. ২০১৯; ম. বো. ২০২১, ২০২২; মা. বো. ২০২১, ২০২২]

(খ) 3f অরবিটাল সম্ভব নয় কেন? [কু. বো. ২০২৩; দি. বো. ২০২৩; ব. বো. ২০২২; ঢা. বো. ২০২১]

১৭। (ক) 3d ও 4p অরবিটালদ্বয়ের মধ্যে কোনটিতে ইলেকট্রন আগে প্রবেশ করে তা ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০১৬; মা. বো. ২০২২]

(খ) 4d ও 4f এর কোনটিতে ইলেকট্রন আগে প্রবেশ করে ও কেন? [কু. বো. ২০২১]

১৮। Cr(24) এর ইলেকট্রন বিন্যাস সাধারণ নিয়মের ব্যতিক্রম কেন ব্যাখ্যা করো। [য. বো. ২০২৩; কু. বো. ২০২১; ম. বো. ২০২১, ২০২২]

১৯। অর্ধপূর্ণ 'p' অরবিটাল অধিক স্থিতিশীল কেন? [চ. বো. ২০২১]

*** (৪) তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালিভিত্তিক :**

১। তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ রশ্মির বিভিন্ন অঞ্চলের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও ফ্রিকুয়েন্সির মধ্যে কীরূপ সম্পর্ক রয়েছে; তা ব্যাখ্যা করো।

২। মাইক্রোওয়েভ ওভেনে কীভাবে খাদ্যবস্তু গরম হয়; ব্যাখ্যা করো। [চ. বো. ২০২২]

৩। ফোটনের শক্তি প্রকাশক প্লাঙ্কের সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা করো।

৪। রেখা বর্ণালির সাহায্যে মৌল শনাক্তকরণ কীরূপে সম্ভব, তা ব্যাখ্যা করো। [চ. বো. ২০২৩]

৫। H-পরমাণুতে একটি মাত্র ইলেকট্রন থাকা সত্ত্বেও এর পারমাণবিক বর্ণালিতে অনেক রেখা সৃষ্টি হয় কেন, তা ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০২৩; রা. বো. ২০১৬]

৬। (ক) জাল নোট বা জাল পাসপোর্ট শনাক্তকরণে UV রশ্মির কার্যকারিতা ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০১৬] দি. বো. ২০২৩; সি. বো. ২০২৩; ব. বো. ২০১৭; কু. বো. ২০১৯; য. বো. ২০২২; মা. বো. ২০২২]

(খ) পাসপোর্টে কীভাবে অণুপ্রভাব সৃষ্টি হয়; ব্যাখ্যা করো। [রা. বো. ২০২৩]

৭। অণুপ্রভা বা প্রতিপ্রভা কীরূপে সৃষ্টি হয়; ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০১৫; য. বো. ২০১৭]

৮। চিকিৎসাক্ষেত্রে near–IR ও far–IR এর ব্যবহার লেখ। [দি. বো. ২০২৩; সি. বো. ২০১৯, ২০২২]

৯। MRI পরীক্ষার মূলনীতি ব্যাখ্যা করো।

*** (৫) ধাতব আয়ন বা ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণভিত্তিক :**

১। শিখা পরীক্ষায় গাঢ় HCl ব্যবহারের ভূমিকা ব্যাখ্যা করো। [চ. বো. ২০১৬; ঢা. বো. ২০১৭, ২০১৯; সি. বো. ২০১৭; ব. বো. ২০১৯]

২। (ক) 25°C-এ $CaCO_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 8.7×10^{-9} বলতে কী বুঝ? [রা. বো. ২০২১; দি. বো. ২০১৬]

(খ) 25°C-এ $M(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 2.5×10^{-39} বলতে কী বুঝ? [সি. বো. ২০১৬]

(গ) $Al(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 3.7×10^{-15}; ব্যাখ্যা করো। [য. বো. ২০২১]

(ঘ) কক্ষতাপমাত্রায় $BaSO_4$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 1.1×10^{-10} বলতে কী বোঝায়? [রা. বো. ২০১৭]

(ঙ) 25°C-এ $Zn(OH)_2$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 1.0×10^{-17} বলতে কী বুঝ? [সি. বো. ২০১৯]

৩। দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতা গুণফলের মধ্যে সম্পর্ক উদাহরণসহ ব্যাখ্যা করো।

৪। কোনো লবণের দ্রবণে লবণটির অধঃক্ষেপণ লবণটির দ্রাব্যতা গুণফলের ওপরে নির্ভর করে;- তা ব্যাখ্যা করো।

৫। (ক) কোনো লবণের দ্রাব্যতার ওপর তাপমাত্রার প্রভাব আছে; তা ব্যাখ্যা করো। [য. বো. ২০২২]

(খ) $Na_2SO_4.10\ H_2O$ এর তাপমাত্রা বাড়ালে দ্রাব্যতার কীরূপ পরিবর্তন হয়? [সি. বো. ২০২২]

(গ) গ্লোবার লবণের দ্রাব্যতার ওপর তাপমাত্রার প্রভাব ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০২৩]

৬। 'Like dissolves like'-এ নীতির আলোকে পানিতে NaCl-এর দ্রবণীয়তা ব্যাখ্যা করো। [সি. বো. ২০১৫; রা. বো. ২০১৬]

৭। পানি একটি উৎকৃষ্ট দ্রাবক কেন; ব্যাখ্যা করো। [ব. বো. ২০২১]

৮। সম-আয়নের প্রভাবের ফলে দ্রাব্যতা হ্রাস পায় কেন; ব্যাখ্যা করো। [কু. বো. ২০২৩; সি. বো. ২০১৭; রা. বো. ২০২২; মা. বো. ২০২৩]

৯। তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে দ্রাব্যতা গুণফল বৃদ্ধি পায় কেন? [ম. বো. ২০২১]

১০। গ্রুপ-1 এর ধাতুর হ্যালাইডসমূহ জলীয় দ্রবণে কীভাবে থাকে, তা ব্যাখ্যা করো। [সি. বো. ২০১৬]

১১। (ক) বিশুদ্ধ NaCl-এর কেলাসন প্রক্রিয়ায় গাঢ় HCl যোগ করা হয় কেন; ব্যাখ্যা করো। [ঢা. বো. ২০১৬; মা. বো. ২০২৩]

(খ) ধাতব ক্লোরাইডের দ্রাব্যতা HCl দ্রবণে হ্রাস পায় কেন? [ঢা. বো. ২০২২]

১২। Cu^{2+} আয়নের দ্রবণে NH_4OH দ্রবণ যোগ করলে কী পরিবর্তন লক্ষ্য করবে; তা সমীকরণসহ ব্যাখ্যা করো।

১৩। দ্রবণে Al^{+} আয়ন শনাক্তকরণ সমীকরণসহ লেখ। [কু. বো. ২০১৬; দি. বো. ২০১৭]

১৪। $K_4[Fe(CN)_6]$ দ্রবণ দ্বারা কোন্ কোন্ ক্যাটায়নের নিশ্চিতকরণ করা যায়; সমীকরণসহ তা ব্যাখ্যা করো।

১৫। দ্রবণে Na^+ আয়ন শনাক্তকরণ সমীকরণসহ লেখ। [রা. বো. ২০২১; সি. বো. ২০২১]

১৬। NH_4^+ আয়নের দ্রবণে নেসলার দ্রবণের বিক্রিয়া সমীকরণসহ লেখ।

১৭। দ্রবণে NH_4^+ আয়নকে কী রূপে শনাক্ত করা যায় তা সমীকরণসহ লেখ।

১৮। নেসলার বিকারক কী? [য. বো. ২০২১; মা. বো. ২০২১]

১৯। $Ba(NO_3)_2$ দ্রবণ ব্যবহার করে দুটি অ্যানায়ন শনাক্তকরণ সম্ভব; তা বিক্রিয়াসহ বোঝাও।

২০। SO_4^{2-} আয়ন কীভাবে শনাক্ত করা হয়? [ব. বো. ২০২১]

২১। Fe^{2+} আয়ন ও Fe^{3+} আয়ন এর পার্থক্য সূচক পরীক্ষা সমীকরণসহ লেখ। [য. বো. ২০১৬]

*** (৬) পৃথকীকরণ পদ্ধতিসমূহভিত্তিক :**

১। দ্রাবক নিষ্কাশনের মূলনীতি ব্যাখ্যা করো।

২। ক্রোমাটোগ্রাফির মূলনীতি ব্যাখ্যা করো। [দি. বো. ২০১৬]

৩। R_fএর মান 1 এর চেয়ে কম হয় কেন ব্যাখ্যা করো। [সি. বো. ২০১৫; রা. বো. ২০১৭; ব. বো. ২০১৯]

৪। গুণগত বিশ্লেষণ ও মাত্রিক বিশ্লেষণের মধ্যে পার্থক্য বোঝাও।

গ-বিভাগ : বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (MCQ)

☐ সাধারণ বহুনির্বাচনি প্রশ্ন :

১। রাদারফোর্ডের α–কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষায় কোন পদার্থের প্রলেপযুক্ত পর্দা ব্যবহৃত হয়? [ঢা. বো. ২০১৬]
(ক) Au (খ) ZnS (গ) PbS (ঘ) NiS

২। 3p অরবিটালের বেলায় n ও l-এর মান কোন্‌টি হবে?
(ক) $n = 3, l = 0$ (খ) $n = 3, l = 1$ (গ) $n = 2, l = 3$ (ঘ) $n = 3, l = 2$

৩। একটি মৌলের পরমাণুর বহিঃস্তরের দুটি অরবিটালের ইলেকট্রন বিন্যাস হলো ..... $3d^{10}\ 4s^1$ হলে পর্যায় সারণিতে মৌলটির অবস্থান কোন্‌টি হবে?
(ক) ৪র্থ পর্যায় Gr-IB(11) (খ) ৪র্থ পর্যায় Gr-IA(1)
(গ) ৪র্থ পর্যায় Gr-3B(3) (ঘ) ৩য় পর্যায় Gr-IB(11)

৪। বিদ্যুৎ চুম্বকীয় বিকিরণের সর্বাধিক তরঙ্গদৈর্ঘ্য পরিসর নিচের কোনটিতে?
(ক) UV-রশ্মি (খ) X-ray (গ) অবলোহিত রশ্মি (ঘ) টেলিভিশন তরঙ্গ

৫। নিচের ৪টি কোয়ান্টাম সংখ্যার মানের কোন্ সেটটি একটি d-ইলেকট্রনের জন্য সঠিক?
(ক) $4, 3, 2, +\frac{1}{2}$ (খ) $4, 2, 1, 0$ (গ) $4, 3, -2, +\frac{1}{2}$ (ঘ) $4, 2, 1, -\frac{1}{2}$

৬। নিচের ৪টি কোয়ান্টাম সংখ্যার মানের কোন্ সেটটি অবাস্তব?
(ক) $3, 2, -2, +\frac{1}{2}$ (খ) $4, 0, 0, +\frac{1}{2}$ (গ) $3, 2, -3, +\frac{1}{2}$ (ঘ) $5, 3, 0, -\frac{1}{2}$

৭। $^{15}_{7}N$ আইসোটোপে নিউট্রন সংখ্যা কত?
(ক) 7 (খ) 8 (গ) 15 (ঘ) 22

৮। মস্তিষ্কের টিউমার শনাক্তকরণে সর্বাধিক ব্যবহৃত হয় কোনটি?
(ক) IR (খ) UV (গ) MRI (ঘ) NIR

৯। জালনোট শনাক্তকরণে তুমি কোন্ পদ্ধতির সাহায্য নিবে? [কু. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৬]
(ক) UV রশ্মি (খ) MRI (গ) NMR (ঘ) DOT

১০। বোর পরমাণুতে একটি ইলেকট্রন ৪র্থ শক্তিস্তরে একটি পূর্ণ আবর্তন করতে কয়টি পূর্ণ তরঙ্গ সৃষ্টি করবে? [কু. বো. ২০১৬]
(ক) 2 (খ) 3 (গ) 4 (ঘ) 5

১১। Na এর শিখা পরীক্ষায় কত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বর্ণালি সৃষ্টি হয়?
(ক) 620 nm (খ) 590 nm (গ) 570 nm (ঘ) 690 nm

১২। রিডবার্গ ধ্রুবকের মান কত? [ব. বো. ২০১৫]
(ক) 6.626×10^{-34} kJ.s (খ) $1.0967 \times 10^{7} m^{-1}$ (গ) 3×10^{8}m (ঘ) 6.2×10^{23}

১৩। নিচের কোন্ সমীকরণটি সঠিক নয়?
(ক) $\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda}$ (খ) $\nu = \frac{c}{\lambda}$ (গ) $\Delta E = h \times \nu$ (ঘ) $\Delta E\ \alpha\ \lambda$

১৪। প্লাঙ্কের ধ্রুবকের মান কত?
(ক) 1.097×10^{2} nm (খ) 3.0×10^{8}m (গ) 6.626×10^{-34}Js (ঘ) 6.026×10^{24}

১৫। বোর ব্যাসার্ধের মান কত?
(ক) 5.292×10^{-11}m (খ) 2.18×10^{-18} (গ) 1312×10 kJ mol^{-1} (ঘ) 3.0×10^{8}m

১৬। নিচের কোনটি কম্পোজিট কণিকা? [কু. বো. ২০১৫]
(ক) ডিউটেরিয়াম (খ) ট্রিটিয়াম (গ) ডিউটেরন (ঘ) মেসন

১৭। নিচের কোন্ জোড়া আইসোবার?
(ক) ${}^{14}_{6}C, {}^{14}_{7}N$ (খ) ${}^{14}_{6}C, {}^{16}_{8}O$ (গ) ${}^{12}_{6}C, {}^{13}_{6}C$ (ঘ) ${}^{1}_{1}H, {}^{2}_{1}H$

১৮। নিচের কোন্ জোড়া আইসোটোন?
(ক) ${}^{14}_{6}C, {}^{14}_{7}N$ (খ) ${}^{14}_{6}C, {}^{13}_{6}C$ (গ) ${}^{14}_{6}C, {}^{16}_{8}O$ (ঘ) ${}^{64}_{29}Cu, {}^{64}_{30}Zn$

১৯। নিচের কোনটি ডি ব্রগলির সমীকরণ নামে পরিচিত?
(ক) $\Delta E = h\nu$ (খ) $\lambda = \frac{h}{mv}$ (গ) $c = \nu \times \lambda$ (ঘ) $\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda}$

২০। কৌণিক ভরবেগের সমীকরণ কোনটি?
(ক) $mvr = \frac{nh}{\pi}$ (খ) $mvr = \frac{nh}{2\pi}$ (গ) $2\pi r = \frac{nh}{mv}$ (ঘ) $vr = \frac{h}{\pi}$

২১। কোন নীতির ভিত্তিতে মূলত অরবিটালসমূহে ইলেকট্রন বিন্যস্ত হয়? [ঢা. বো. ২০১৬]
(ক) হুন্ডের (খ) আউফবাউ (গ) পাউলির বর্জন (ঘ) VSEPR

২২। মৌলের যেকোনো উপশক্তিস্তরে ইলেকট্রন ধারণক্ষমতা নির্ণয়ে সূত্র কোনটি? [কু. বো. ২০১৬]
(ক) $2n^2$ (খ) $(2l + 1)$ (গ) $2(2l + 1)$ (ঘ) $2(l + 1)$

২৩। কোন অঞ্চলে H- বর্ণালির ব্র্যাকেট সিরিজের উদ্ভব ঘটে?
(ক) দৃশ্যমান অঞ্চল (খ) UV অঞ্চল (গ) IR অঞ্চল (ঘ) X-ray অঞ্চল

২৪। d_{xy} অরবিটালে কয়টি লোব (lobe) থাকে?
(ক) 1 (খ) 2 (গ) 3 (ঘ) 4

২৫। $n = 2, l = 1, m = 1$ হলে ঐ অরবিটালের প্রতীক কোনটি হবে?
(ক) $2p_x$ (খ) $2p_y$ (গ) $2p_z$ (ঘ) 2s

২৬। নিচের কোন্ অরবিটালের শক্তি সর্বনিম্ন হবে?
(ক) 3d (খ) 4s (গ) 4p (ঘ) 3s

২৭। এক অ্যাংস্ট্রম (1Å) সমান কত সেন্টিমিটার (cm) ?
(ক) 10^{-10}cm (খ) 10^{-12}cm (গ) 10^{-8}cm (ঘ) 10^{-9}cm

২৮। বামার সিরিজে $n_2 = 3$ হলে তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হয়?
(ক) 4.57×10^{-5} cm (খ) 5.67×10^{-5}cm (গ) 6.57×10^{-5}cm (ঘ) 7.65×10^{-5}cm

২৯। ৩য় শক্তিস্তরের জন্য mvr এর মান নিচের কোনটি?
(ক) $\frac{nh}{2\pi}$ (খ) $\frac{nh}{6\pi}$ (গ) $\frac{3h}{2\pi}$ (ঘ) $\frac{4h}{2\pi}$

৩০। কোন্ মতবাদে পরমাণুকে সৌর জগতের সাথে তুলনা করা হয়েছে? [ঢা. বো. ২০১৫]
(ক) তরঙ্গ বলবিদ্যা পরমাণু মডেল (খ) বোর পরমাণু মডেল
(গ) বোর-সমারফিল্ড পরমাণু মডেল (ঘ) রাদারফোর্ড পরমাণু মডেল

৩১। বিকিরিত আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 486.7 nm হলে এর ফ্রিক্যুয়েন্সি কত হবে?
(ক) 6.163×10^{-14} Hz (খ) 5.163×10^{-14} Hz
(গ) 6.263×10^{-14} Hz (ঘ) 6.063×10^{-14} Hz

৩২। কোন আলোক রশ্মির ফ্রিক্যুয়েন্সি বেশি হবে?
(ক) X-ray (খ) UV ray (গ) IR (ঘ) Radiowaves

৩৩। অসীম দূরত্ব থেকে ইলেকট্রন ৩য় শেলে স্থানান্তরিত হলে নিচের কোন বর্ণালি সিরিজ উৎপন্ন হয়? [কু. বো. ২০১৬]
(ক) প্যাশ্চেন (খ) বামার (গ) ফুন্ড (ঘ) ব্রাকেট

৩৪। ইলেকট্রন বিন্যাসের সাধারণ নিয়মের ব্যতিক্রম দেখায় নিচের কোন মৌলটি? [চ. বো. ২০১৬]
(ক) Co (খ) Fe (গ) Cr (ঘ) Mn

৩৫। নিচের কোন অরবিটাল বক্স পদ্ধতিতে আউফবাউ নীতি মানা হয়নি?
(ক) 2s [↑↓] 2p [↑][↑][↑] (খ) 3s [↑↓] 3p [↑][↑][ ]
(গ) 5s [↑↓] 5p [↑][↑][↑] (ঘ) 4s [↑↓] 3d [↑][↑][↑][↑][↑]

৩৬। M^{3+} আয়নে 23টি ইলেকট্রন থাকলে 'M' এর পারমাণবিক সংখ্যা কত হবে? [য. বো. ২০১৫]
(ক) 20 (খ) 23 (গ) 24 (ঘ) 26

৩৭। Cr পরমাণুতে কয়টি বিজোড় বা, অযুগ্ম ইলেকট্রন আছে? [য. বো. ২০১৫; ঢা. বো. ২০১৯]
(ক) 3 (খ) 4 (গ) 5 (ঘ) 6

৩৮। নিচের কোন্ পরমাণুতে d-অরবিটালে ইলেকট্রন আছে?
(ক) K (খ) Ca (গ) Ar (ঘ) Sc

৩৯। কোনো বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 820 nm হলে ঐ রশ্মির শক্তি কত? [ব. বো. ২০১৫]
(ক) 2.424×10^{-19}J (খ) 2.424×10^{-18}J (গ) 24.24×10^{-19}J (ঘ) 24.24×10^{-18}J

৪০। কোন্ অরবিটালে ইলেকট্রনের ঘনত্ব সর্বাধিক? [সি. বো. ২০১৫]
(ক) 2p (খ) 1s (গ) 2s (ঘ) 3s

৪১। ট্রাফিক সিগন্যালের লাল আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 665 nm হলে সংশ্লিষ্ট ফোটনের শক্তি কত?
[$h = 6.62 \times 10^{-34}$ Js] [দি. বো. ২০১৬]
(ক) 3.115×10^{-18} J (খ) 2.986×10^{-19} J (গ) 2.856×10^{-19} J (ঘ) 3.245×10^{-21} J

৪২। 3d অরবিটালের জন্য m এর মান নিচের কোন সেট হবে? [ঢা. বো. ২০১৬]
(ক) 0 (খ) –1, 0, +1
(গ) –2, –1, 0, + 1, +2 (ঘ) –3, –2, –1, 0, + 1, +2, +3

৪৩। $\bar{v} = R_H \times \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$ সমীকরণটিতে লাইমেন সিরিজের ক্ষেত্রে n_1 = ? [চ. বো. ২০১৬]
(ক) 1 (খ) 2 (গ) 3 (ঘ) 4

৪৪। পরমাণুর কোন দুটি কণিকা সংখ্যা পরস্পর সমান? [চ. বো. ২০১৬]
(ক) প্রোটন ও নিউট্রন (খ) ইলেকট্রন ও পজিট্রন (গ) নিউট্রন ও ইলেকট্রন (ঘ) ইলেকট্রন ও প্রোটন

৪৫। উচ্চশক্তির অরবিটাল নিচের কোনটি?
(ক) 4f (খ) 5s (গ) 5p (ঘ) 6s

৪৬। p অরবিটালের আকৃতি নিচের কোন্‌টি? [চ. বো. ২০১৬]
(ক) বৃত্তাকার (খ) বর্তুলাকার (গ) ডাম্বেল আকার (ঘ) ডাবল ডাম্বেল

৪৭। নিচের পারমাণবিক সংখ্যাযুক্ত মৌলের কোনটি p ব্লকভুক্ত? [চ. বো. ২০১৬]
(ক) 3 (খ) 11 (গ) 33 (ঘ) 43

৪৮। নিচের কোন মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাসে হুন্ডের নিয়ম প্রযোজ্য নয়? [ব. বো. ২০১৬]
(ক) N (খ) P (গ) S (ঘ) Cr

৪৯। তরঙ্গ সংখ্যা ($\bar{v}$) কোন রশ্মির ক্ষেত্রে বেশি হয়? [ব. বো. ২০১৬]
(ক) UV (খ) IR (গ) red-ray (ঘ) X-ray

৫০। নিচের কোন মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাস সাধারণ নিয়মের ব্যতিক্রমে ঘটে? [ব. বো. ২০১৬]
(ক) Zn (খ) Ag (গ) Cs (ঘ) Al

৫১। আইসোটোনের উদাহরণ নিচের কোনটি হবে? [সি. বো. ২০১৬]
(ক) $^{13}_{7}N$, $^{13}_{6}C$ (খ) $^{40}_{18}Ar$, $^{40}_{20}Ca$ (গ) $^{40}_{20}Ca$, $^{40}_{19}K$ (ঘ) $^{31}_{15}P$, $^{32}_{16}S$

৫২। নিচের কোন আয়নটি অধিক স্থিতিশীল হবে? [কু. বো. ২০১৬]
(ক) Fe^{2+} (খ) Ni^{2+} (গ) Cu^{+} (ঘ) Cu^{2+}

৫৩। নিচের কোনটির ক্ষেত্রে বোর তত্ত্ব প্রযোজ্য নয়? [দি. বো. ২০১৬]
(ক) H (খ) H^{+} (গ) He^{+} (ঘ) Li^{2+}

৫৪। H-পরমাণুর প্রথম কক্ষপথের ইলেকট্রনের শক্তি E_1 হলে ৩য় কক্ষপথের ইলেকট্রনের শক্তি কত হবে? [দি. বো. ২০১৬]
(ক) $E_1 \times \frac{1}{9}$ (খ) $E_1 \times 9$ (গ) $E_1 \times \frac{1}{3}$ (ঘ) $E_1 \times 3$

৫৫। H-পারমাণবিক বর্ণালির কোন সিরিজটিতে দৃশ্যমান অঞ্চলের রশ্মি দেখা যায়? [দি. বো. ২০১৬]
(ক) পাশ্চেন (খ) লাইমেন (গ) বামার (ঘ) ব্রাকেট

৫৬। সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যার মান 2 হলে, তখন m এর মান কয়টি হয়? [চ. বো. ২০১৭]
(ক) 2 (খ) 3 (গ) 4 (ঘ) 5

৫৭। Fe^{2+} আয়নের d-অরবিটালে ইলেকট্রন সংখ্যা কয়টি? [চ. বো. ২০১৭]
(ক) 7 (খ) 6 (গ) 5 (ঘ) 4

৫৮। কোন অরবিটালটি সম্ভব? [ঢা. বো. ২০১৭]
(ক) 3f (খ) 3d (গ) 2d (ঘ) 1p

৫৯। পরমাণুর ২য় কক্ষপথের ১টি ইলেকট্রনের জন্য কৌণিক ভরবেগের মান নির্ণয়ের সমীকরণ কোনটি? [ব. বো. ২০১৭]
(ক) $mvr = \frac{2h}{\pi}$ (খ) $mvr = \frac{h}{2\pi}$ (গ) $mvr = \frac{h}{\pi}$ (ঘ) $mvr = \frac{4h}{\pi}$

৬০। নিচের কোনটির ক্ষেত্রে বোরের পরমাণু মডেল প্রযোজ্য? [দি. বো. ২০১৭]
(ক) H^{+} (খ) He^{+} (গ) Li^{+} (ঘ) Be^{2+}

৬১। পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরে মোট অরবিটাল সংখ্যা কত? [সি. বো. ২০১৭]

(ক) 3 (খ) 4 (গ) 8 (ঘ) 9

৬২। Ca পরমাণুর সর্ববহিস্থ স্তরের ২টি ইলেকট্রনের ৪টি কোয়ান্টাম সংখ্যার সেট কোনটি? [ঢা. বো. ২০১৭]

(ক) $n = 4, l = 0, m = 0, s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ (খ) $n = 3, l = 1, m = 0, s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$

(গ) $n = 4, l = 1, m = 0, s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ (ঘ) $n = 4, l = 2, m = 1, s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$

৬৩। Cu পরমাণুর সর্ববহিস্থ স্তরের ইলেকট্রনের ($4s^1$ এর) ৪টি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান কোনটি? [মা. বো. ২০১৭]

(ক) $n = 4, l = 1, m = 0, s = +\frac{1}{2}$ (খ) $n = 4, l = 0, m = 0, s = +\frac{1}{2}$

(গ) $n = 4, l = 0, m = 0, s = -\frac{1}{2}$ (ঘ) $n = 4, l = 1, m = 0, s = -\frac{1}{2}$

৬৪। কোনো পরমাণুর একটি ইলেকট্রনের জন্য নিচের কোন ৪টি কোয়ান্টাম সংখ্যার সেটটি সঠিক? [কু. বো. ২০১৭]

(ক) $n = 3, l = 1, m = -2, s = +\frac{1}{2}$ (খ) $n = 1, l = 1, m = 0, s = -\frac{1}{2}$

(গ) $n = 2, l = 1, m = 0, s = +\frac{1}{2}$ (ঘ) $n = 2, l = 1, m = +2, s = -\frac{1}{2}$

৬৫। উপশক্তিস্তরের ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা নির্ণয়ের ফর্মুলা কোনটি? [রা. বো. ২০১৭]

(ক) $2n^2$ (খ) $(2l + 1)$ (গ) $2(l + 1)$ (ঘ) $2(2l + 1)$

৬৬। নিচের কোন নিয়মের সাহায্যে একটি উপশক্তিস্তরে মোট ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা গণনা করা হয়? [কু. বো. ২০১৭]

(ক) $2(2l + 1)$ (খ) $(2l + 1)$ (গ) $(n + l)$ (ঘ) $2n^2$

৬৭। মৌলের পরমাণুর কোনটিতে সর্বোচ্চ ৬টি ইলেকট্রন থাকতে পারে? [য. বো. ২০১৭]

(ক) ১টি d-অরবিটালে (খ) p-উপশক্তিস্তরে (গ) ৩য় শক্তিস্তরে (ঘ) যোজ্যতা স্তরে

৬৮। নিচের কোনটির ইলেকট্রন বিন্যাস Al^{3+} আয়নের মতো? [য. বো. ২০১৭]

(ক) O^- (খ) F^- (গ) Cl^- (ঘ) Mg^+

৬৯। Cu এর ২৯তম ইলেকট্রনটি কোন অরবিটালে প্রবেশ করে? [ঢা. বো. ২০১৭]

(ক) 3s (খ) 4s (গ) 3d (ঘ) 4p

৭০। নিচের কোন সেটটি শক্তিক্রম অনুসারে আউফবাউ নীতি মেনে চলে? [চ. বো. ২০১৭]

(ক) 5s > 4p > 4f (খ) 3s > 3p > 3d (গ) 5s > 4d > 5p (ঘ) 3s > 3p > 5s

৭১। আউফবাউ নীতি অনুসারে নিচের কোন শক্তিক্রমটি সঠিক? [রা. বো. ২০১৭]

(ক) 4s < 3d < 4p (খ) 3d < 4s < 4p (গ) 4d < 5s < 5p (ঘ) 5s < 5p < 4d

৭২। লাল বর্ণের রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 7000Å (অ্যাংস্ট্রম) হলে এর তরঙ্গ সংখ্যা কত? [সি. বো. ২০১৭]

(ক) 1.428×10^{-3} nm (খ) $14.28 \times 10^3 \text{ cm}^{-1}$ (গ) $1.428 \times 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ (ঘ) 14.28×10^{-3}Å

৭৩। জাল পাসপোর্ট শনাক্তকরণে নিচের কোনটি ব্যবহার করা হয়? [ঢা. বো. ২০১৭]

(ক) γ-রশ্মি (খ) X-রশ্মি (গ) IR-রশ্মি (ঘ) UV-রশ্মি

৭৪। জাল টাকার নোট শনাক্তকরণে কোনটি ব্যবহৃত হয়? [রা. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০১৭]
(ক) এক্সরে (খ) আল্ফা রশ্মি (গ) অতিবেগুনি রশ্মি (ঘ) অবলোহিত রশ্মি

৭৫। নিচের কোন নিউক্লিয়াসটি NMR সক্রিয়? [কু. বো. ২০১৭]
(ক) $^{16}_{8}O$ (খ) $^{12}_{6}C$ (গ) $^{32}_{16}S$ (ঘ) $^{1}_{1}H$

৭৬। MRI কী? [ব. বো. ২০১৭]
(ক) চৌম্বকীয় অবলোহিত রশ্মি (খ) চৌম্বকীয় অনুরণন প্রতিচ্ছবিকরণ
(গ) নিউক্লিয়ার চৌম্বকীয় অনুরণন (ঘ) চৌম্বকীয় রেডিও প্রতিচ্ছবিকরণ

৭৭। 25°C-এ $Al_2(SO_4)_3$ এর দ্রাব্যতা S হলে, তখন এর আয়নিক গুণফল হবে কোনটি? [ঢা. বো. ২০১৭]
(ক) S^5 (খ) $6S^5$ (গ) $27S^5$ (ঘ) $108S^5$

৭৮। 25°C এ $Mg(OH)_2$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 4×10^{-3} হলে তখন OH^- আয়নের ঘনমাত্রা কত $mol\ L^{-1}$ হয়? [ঢা. বো. ২০১৭]
(ক) 10^{-1} (খ) 10^{-2} (গ) 10^{-3} (ঘ) 10^{-4}

৭৯। 30°C-এ $PbSO_4$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 1.7×10^{-5} হলে তখন এর সম্পৃক্ত দ্রবণে SO_4^{2-} আয়নের ঘনমাত্রা কত $mol\ L^{-1}$ হয়? [কু. বো. ২০১৭]
(ক) 1.64×10^{-2} (খ) 2.06×10^{-3} (গ) 3.24×10^{-3} (ঘ) 4.12×10^{-3}

৮০। 25°C-এ $Zn_3(PO_4)_2$ এর দ্রাব্যতা গুণফল প্রকাশক সম্পর্ক কোনটি? [য. বো. ২০১৭]
(ক) $K_{sp} = [Zn^{2+}] \times [PO_4^{3-}]$ (খ) $K_{sp} = 6[Zn^{2+}] \times [PO_4^{3-}]$
(গ) $K_{sp} = [Zn^{2+}]^3 \times [PO_4^{3-}]^2$ (ঘ) $K_{sp} = 108\ [Zn^{2+}]^3 \times [PO_4^{3-}]^2$

৮১। $Ag_2C_2O_4$ এর ক্ষেত্রে দ্রাব্যতা (s) ও দ্রাব্যতা গুণফল (K_{sp}) এর সম্পর্ক হলো কোন্টি?
(ক) $2s^2$ (খ) $4s^3$ (গ) s^3 (ঘ) $27s^4$

৮২। M_2X_3 লবণের দ্রাব্যতা $1.1 \times 10^{-2}\ molL^{-1}$ হলে এর K_{sp} হবে কোনটি?
(ক) 2.1×10^6 (খ) 6×10^{-7} (গ) 1×10^{-10} (ঘ) 1.74×10^{-8}

৮৩। Ag_2CrO_4 এর $K_{sp} = 4 \times 10^{-12}$ হলে এটির মোলার দ্রাব্যতা কত হবে?
(ক) $1.0 \times 10^{-4}\ molL^{-1}$ (খ) $2 \times 10^{-6}\ molL^{-1}$
(গ) $1.0 \times 10^{-5}\ molL^{-1}$ (ঘ) $2 \times 10^{-12}\ molL^{-1}$

৮৪। AB_3 এর দ্রাব্যতা গুণফল 1.7×10^{-12} হলে এটির দ্রাব্যতা কত? [ঢা. বো. ২০১৬]
(ক) $6.3 \times 10^{-14}\ molL^{-1}$ (খ) $2.5 \times 10^{-7}\ molL^{-1}$
(গ) $5.0 \times 10^{-4}\ molL^{-1}$ (ঘ) $5.0 \times 10^{-3}\ molL^{-1}$

৮৫। 50 mL সম্পৃক্ত দ্রবণে 5 g $CaCl_2$ আছে। লিটার প্রতি $CaCl_2$ এর দ্রাব্যতা কত?
(ক) $10.0\ g\ L^{-1}$ (খ) $100\ g\ L^{-1}$ (গ) $101\ g\ L^{-1}$ (ঘ) $1011\ gL^{-1}$

৮৬। CaF_2 এর সম্পৃক্ত জলীয় দ্রবণে ফ্লোরাইড আয়নের ঘনমাত্রা $0.00655\ g\ L^{-1}$ হলে CaF_2 এর দ্রাব্যতা গুণফল কত হবে?
(ক) 3.7×10^{-13} (খ) 2.048×10^{-10} (গ) 2.048×10^{-11} (ঘ) 3.7×10^{-12}

৮৭। অধঃক্ষেপণের জন্য শর্ত কোন্টি?
(ক) আয়নিক গুণফল (IP) > K_{sp} (খ) আয়নিক গুণফল < K_{sp}
(গ) আয়নিক গুণফল (IP) = K_{sp} (খ) কোনোটিই নয়

৮৮। AB $\rightleftharpoons$ $A^+ + B^-$; এর আয়নিক গুণফল নিচের কোন্‌টি? [ব. বো. ২০১৫]
(ক) $[A^+]$ $[B^-]$ (খ) A^+ B^- (গ) $K_{sp} = S^2$ (ঘ) $K_{sp} = \sqrt{S}$

৮৯। 25°C তাপমাত্রায় MX_2 এর $K_{sp} = 7.4 \times 10^{-11}$ হলে mol L^{-1} এককে দ্রাব্যতা কত? [ব. বো. ২০১৫]
(ক) 2.6×10^{-3} $molL^{-1}$ (খ) 2.6×10^{-2} $molL^{-1}$
(গ) 2.6×10^{-4} $molL^{-1}$ (ঘ) 2.6×10^{-5} $molL^{-1}$

৯০। CaC_2O_4 এর দ্রাব্যতা নিম্নোক্ত কোন দ্রবণে বেশি হবে? [ব. বো. ২০১৬]
(ক) 0.1M HCl (খ) 0.1M NaOH (গ) 0.1M H_2SO_4 (ঘ) 0.1M H_2CO_3

৯১। A_2B_3 এর দ্রাব্যতা S হলে এর দ্রাব্যতা গুণফল কত হবে? [ব. বো. ২০১৬]
(ক) 108 S^5 (খ) 27 S^3 (গ) 16 S^4 (ঘ) 8 S^3

৯২। 25°C এ $Fe(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা 2.1153×10^{-8} g L^{-1} ; ঐ তাপমাত্রায় এর দ্রাব্যতা গুণফল কত? [Fe = 55.85] [সি. বো. ২০১৬]
(ক) 4.147×10^{-38} (খ) 3.416×10^{-32} (গ) 3.08×10^{-28} (ঘ) 2.162×10^{-22}

৯৩। শিখা পরীক্ষায় কোন আয়নটি নীলাভ সবুজ বর্ণ দেখায়?
(ক) Cu (খ) Ca (গ) Ba (ঘ) K

৯৪। শিখা পরীক্ষায় ইটের মতো লাল শিখা সৃষ্টি করে কোনটি? [চ. বো. ২০১৫, ২০১৯]
(ক) K^+ (খ) Cu^{2+} (গ) Na^+ (ঘ) Ca^{2+}

৯৫। শিখা পরীক্ষায় সোনালী-হলুদ শিখা সৃষ্টি করে কোন মৌলটি? [চ. বো. ২০১৬]
(ক) Na (খ) K (গ) Ca (ঘ) Cu

৯৬। শিখা পরীক্ষায় নিচের কোন আয়নটি বেগুনি বর্ণ দেখায়? [ব. বো. ২০১৭; কু. বো. ২০১৭]
(ক) Na^+ (খ) K^+ (গ) Ca^{2+} (ঘ) Cu^{2+}

৯৭। শিখা পরীক্ষায় কোন আয়নটির বর্ণালি কোবাল্ট কাচের মধ্যদিয়ে হাল্‌কা সবুজ দেখায়? [সি. বো. ২০১৭]
(ক) Cu^{2+} (খ) Fe^{2+} (গ) Zn^{2+} (ঘ) Ca^{2+}

৯৮। ব্লু-গ্যাসের মধ্যদিয়ে গোলাপি লাল বর্ণের বর্ণালি দেখায় কোন ক্যাটায়ন? [ব. বো. ২০১৬]
(ক) Na^+ (খ) K^+ (গ) Ca^{2+} (ঘ) Cu^{2+}

৯৯। নেসলার দ্রবণ দ্বারা কোন্ ক্যাটায়ন শনাক্ত করা যায়? [য. বো. ২০১৫; রা. বো. ২০১৯]
(ক) Na^+ (খ) Al^{3+} (গ) Cu^{2+} (ঘ) NH_4^+

১০০। পটাসিয়াম পাইরো অ্যান্টিমোনেট দ্রবণ দ্বারা কোন ক্যাটায়ন শনাক্ত করা যায়?
(ক) NH_4^+ (খ) Na^+ (গ) Ca^{2+} (ঘ) Zn^{2+}

১০১। অ্যামোনিয়াম অক্সালেট দ্রবণ দ্বারা কোন্ ক্যাটায়নের নিশ্চিতকরণ করা যায়?
(ক) Ca^{2+} (খ) Zn^{2+} (গ) Fe^{2+} (ঘ) Na^+

১০২। Cu^{2+} আয়নের দ্রবণে অধিক NH_4OH দ্রবণ যোগ করলে কী বর্ণ সৃষ্টি হয়?
(ক) হালকা নীল (খ) গাঢ় নীল (গ) বাদামি (ঘ) সবুজ

১০৩। Zn^{2+} আয়ন নিশ্চিতকরণের বিকারকের নাম কী?
(ক) পটাসিয়াম ফেরিসায়ানাইড (খ) পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড
(গ) পটাসিয়াম ক্রোমেট (ঘ) পটাসিয়াম পাইরোঅ্যান্টিমোনেট

১০৪। Na^+ আয়ন শনাক্তকরণে কোনটি ব্যবহৃত হয়? [চ. বো. ২০১৭]

(ক) K_2CrO_4 (খ) $K_2H_2Sb_2O_7$ (গ) $K_2Sb_2O_7$ (ঘ) $PbCrO_4$

১০৫। NH_4^+ আয়ন শনাক্তকরণে ব্যবহৃত বিকারক কোনটি? [কু. বো. ২০১৫; দি. বো. ২০১৯]

(ক) $AgNO_3$ দ্রবণ (খ) $BaCl_2$ দ্রবণ (গ) নেসলার দ্রবণ (ঘ) NH_4OH দ্রবণ

১০৬। নেসলার দ্রবণ কী?

(ক) Hg_2I_4 (খ) K_2HgI_4 (গ) $K_2HgI_4 + KOH$ (ঘ) $KHgI_4 + NaOH$

১০৭। সোডিয়াম পাইরো অ্যান্টিমোনেটের সংকেত কোন্‌টি হবে?

(ক) $NaHSbO_2$ (খ) Na_2HSbO_7 (গ) $Na_2H_2Sb_2O_7$ (ঘ) $NaHSb_2O_7$

১০৮। নিচের কোন ক্যাটায়ন শনাক্তকরণে পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণ ব্যবহৃত হয়? [সি. বো. ২০১৬]

(ক) K^+ (খ) Na^+ (গ) Ca^{2+} (ঘ) Cu^{2+}

১০৯। একটি তরল জৈবযৌগ 78.3°C তাপমাত্রায় ফুটে। এর সাথে অল্প ইথানল যোগ করলে ও মিশ্র তরলটির স্ফুটনাঙ্ক 78.3°C হয়। মূল তরলটি কী ছিল?

(ক) মিথানল (খ) অবিশুদ্ধ ইথানল (গ) বিশুদ্ধ ইথানল (ঘ) ইথানলের সমগোত্রক

১১০। যেসব জৈবযৌগ পানিতে অদ্রবণীয় ও ফুটন্ত পানিতে বিযোজিত হয় না; কিন্তু স্টিমে উদ্বায়ী হয়, এদের ভেজাল থেকে কীরূপে পৃথক করবে?

(ক) স্টিম পাতন (খ) আংশিক পাতন (গ) পাতন (ঘ) নিম্নচাপ পাতন

১১১। দু'টি ভিন্ন তরলে কোনো দ্রবের দ্রাব্যতার মাত্রা কম বেশি হলে ঐ দ্রবকে কম দ্রাব্যতাবিশিষ্ট তরল থেকে কীরূপে পৃথক করা হয়?

(ক) আংশিক পাতন (খ) দ্রাবক নিষ্কাশন (গ) আংশিক কেলাসন (ঘ) পাতন

১১২। অধিশোষণের মাত্রা ও সচল দশার দ্রাব্যতা হারের ভিন্নতা থাকলে কোনো মিশ্রণের উপাদানগুলোকে কোন্ পদ্ধতিতে পরস্পর থেকে পৃথক করা সম্ভব?

(ক) দ্রাবক নিষ্কাশন (খ) আংশিক কেলাসন (গ) ক্রোমোটোগ্রাফি (ঘ) পাতন

১১৩। ক্রোমাটোগ্রাফির দশা কয়টি? [চ. বো. ২০১৭]

(ক) ১ (খ) ২ (গ) ৩ (ঘ) ৪

১১৪। পেপার ক্রোমাটোগ্রাফির R_f এর মান নিচের কোনটি? [চ. বো. ২০১৯; ঢা. বো. ২০১৫]

(ক) 2.0 (খ) 1.0 (গ) 1.5 (ঘ) 0.5

* বিভিন্ন বিশ্ববিদ্যালয়, বুয়েট ও মেডিকেলে ভর্তি পরীক্ষায় MCQ's :

১১৫। কোন্ প্রক্রিয়ায় $^{234}_{90}Th$ থেকে $^{234}_{91}Pa$ তৈরি হয়? [ঢা. বি. ২০১৭]

(ক) α (alpha) emission (খ) β (beta) emission

(গ) γ (gamma) emission (ঘ) neutron emission

১১৬। যেসব পরমাণুর ভর সংখ্যা একই কিন্তু পারমাণবিক সংখ্যা ভিন্ন এদেরকে কী বলা হয়? [মেডিকেল ২০১৭]

(ক) আইসোমার (খ) আইসোবার (গ) আইসোটোন (ঘ) আইসোটোপ

১১৭। নিচের কোন্ আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য সবচেয়ে দীর্ঘ? [ঢা. বি. ২০১৭]

(ক) gamma ray (খ) microwave (গ) visible ray (ঘ) X-ray

১১৮। Co এবং Co^{2+} এর জন্য নিচের কোন যোজ্যতা ইলেকট্রন বিন্যাসটি সঠিক হবে? [ঢা. বি. ২০১৭]

(ক) $4d^7 5s^2$ and $4d^7 5s^0$ (খ) $3d^5 4s^1$ and $3d^5 4s^0$

(গ) $3d^7 3s^2$ and $3d^7 3s^0$ (ঘ) $3d^7 4s^2$ and $3d^7 4s^0$

১১৯। নিচের কোনটি ইলেকট্রন বিন্যাসের সাধারণ নিয়মের ব্যতিক্রম দেখায়? [মেডিকেল ২০১৭]

(ক) Zn (খ) Cr (গ) Fe (ঘ) Ca

১২০। রিডবার্গ ধ্রুবক R_H দ্বারা প্রকাশিত, H পরমাণুর বর্ণালির বামার সিরিজে সর্বনিম্ন তরঙ্গ-সংখ্যার বিকিরিত রশ্মি কোনটি? [ঢা. বি. ২০১৬]

(ক) $\frac{3R_H}{4}$ (খ) $\frac{5R_H}{36}$ (গ) $\frac{8R_H}{9}$ (ঘ) $\frac{9R_H}{144}$

১২১। শিখা পরীক্ষায় ব্যবহৃত কোবাল্ট ব্লু-গ্যাস (বা নীল কাচ) কোন আলো সম্পূর্ণ শোষণ করে? [রা. বি. ২০১৬]

(ক) হালকা বেগুনি (খ) সোনালী হলুদ (গ) নীলাভ সবুজ (ঘ) গোলাপী লাল

১২২। লবণের দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয়ে কোন্ ধরনের দ্রবণ উপযোগী? [ঢা. বি. ২০১৬]

(ক) Super saturated (খ) Unsaturated (গ) Saturated (ঘ) All of them

১২৩। দ্রাব্যতা গুণফল নিচের কোন ক্ষেত্রে প্রযোজ্য? [রা. বি. ২০১৬]

(ক) অধিক দ্রবণীয় আয়নিক যৌগ (খ) অধিক দ্রবণীয় সমযোজী যৌগ

(গ) স্বল্প দ্রবণীয় আয়নিক যৌগ (ঘ) স্বল্প দ্রবণীয় সমযোজী যৌগ

১২৪। পরমাণুতে অরবিটালের ধারণা নিচের কোনটি থেকে পাওয়া যায়? [কু. বি. ২০১৬]

(ক) বোর পরমাণু মডেল (খ) রাদারফোর্ড পরমাণু মডেল

(গ) কোয়ান্টাম বলবিদ্যা (ঘ) আউফবাউ নীতি

১২৫। কোনো আলো রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 540 nm। এর বিকিরণের বর্ণ কোনটি? [বুয়েট ২০১৬; দি. বো. ২০১৯]

(ক) বেগুনি (খ) হলুদ (গ) সবুজ (ঘ) লাল

১২৬। একটি পরমাণুর ৫ম শক্তিস্তরে সর্বোচ্চ ইলেকট্রন সংখ্যা ধারণ ক্ষমতা কত? [বুয়েট ২০১৬]

(ক) 32 (খ) 50 (গ) 18 (ঘ) 82

১২৭। 2p অরবিটালের জন্য n, *l* এবং m এর মান নিচের কোন সেটটি হবে? [ঢা. বি. ২০১৬]

(ক) 2, 1, 2 (খ) 2, 1 (–1, 0. 1) (গ) 2, 2, (–2) (ঘ) 1, 1, 0

১২৮। 3d উপশক্তিস্তরে অনুমোদিত চৌম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যার মান কয়টি? [জা. বি. ২০১৬]

(ক) 3 (খ) 7 (গ) 5 (ঘ) 9

১২৯। নিচের কোন সেটটিতে সম-আয়ন প্রভাব বিদ্যমান? [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]

(ক) H_2S, HCl (খ) NaCl, CH_3Cl (গ) CH_4, HCl (ঘ) $CaCl_2$, C_6H_5Cl

১৩০। CaF_2 এর দ্রাব্যতা 0.0002 $molL^{-1}$ হলে এটির দ্রাব্যতা গুণফল কত? [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]

(ক) 2.3×10^{-11} (খ) 3.2×10^{-11} (গ) 2.3×10^{-10} (ঘ) 3.2×10^{-10}

১৩১। $Al_2(SO_4)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 1.5×10^{-5} হলে এর সম্পৃক্ত দ্রবণে SO_4^{2-} আয়নের মোলার ঘনমাত্রা কত? [চ. বো. ২০১৯]

(ক) 4.25×10^{-2} (খ) 8.5×10^{-2} (গ) 12.75×10^{-2} (ঘ) 1.7×10^{-2}

১৩২। 25°C-এ $Ca(OH)_2$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 4.42×10^{-5} হলে $Ca(OH)_2$ এর দ্রাব্যতা ($molL^{-1}$) কত? [ঢা. বো. ২০১৯]

(ক) 1.111×10^{-2} (খ) 2.223×10^{-2} (গ) 2.452×10^{-2} (ঘ) 2.806×10^{-2}

১৩৩। পঞ্চম শক্তিস্তরে মোট অরবিটাল সংখ্যা কয়টি? [চ. বো. ২০১৯]

(ক) ৫টি (খ) ৯টি (গ) ১৬টি (ঘ) ২৫টি

১৩৪। Mg মৌলের সর্ববহিস্থ স্তরের ইলেকট্রনের জন্য চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার সঠিক সেট কোনটি? [চ. বো. ২০১৯]

(ক) $n = 4, l = 0, m = 0, s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ (খ) $n = 3, l = 1, m = 1, s = +\frac{1}{2}, \frac{-1}{2}$

(গ) $n = 3, l = 0, m = 1, s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ (ঘ) $n = 3, l = 0, m = 0, s = +\frac{1}{2}, \frac{-1}{2}$

১৩৫। ইলেকট্রনের কোন্ অরবিটাল থেকে স্থানান্তর ঘটলে বামার সিরিজে ৩য় রেখা বর্ণালির উৎপত্তি হয়? [চ. বো. ২০১৯]

(ক) $n_4 \rightarrow n_1$ (খ) $n_4 \rightarrow n_2$ (গ) $n_5 \rightarrow n_2$ (ঘ) $n_6 \rightarrow n_3$

১৩৬। Cr পরমাণুতে বিদ্যমান বিজোড় ইলেকট্রন সংখ্যা কত? [ঢা. বো. ২০১৯]

(ক) 4 (খ) 5 (গ) 6 (ঘ) 7

১৩৭। নিচের কোন্ বর্ণের আলোক রশ্মির ফোটনের শক্তি সর্বাধিক? [ঢা. বো. ২০১৯]

(ক) সবুজ (খ) বেগুনি (গ) লাল (ঘ) নীল

১৩৮। ক্রোমাটোগ্রাফিতে নিচের মূলকগুলোর অধিশোষণের সঠিক ক্রম কোনটি? [ঢা. বো. ২০১৯]

(ক) –COOH > –OH > $-NH_2$ > –CHO (খ) –CHO > – COOH > –OH > $-NH_2$

(গ) $-NH_2$ > –COOH > –CHO > –OH (ঘ) –OH > $-NH_2$ > –COOH > –CHO

১৩৯। কোন্ পদ্ধতিতে ধানের তুষ থেকে ভোজ্য তেল নিষ্কাশন করা হয়? [য. বো. ২০১৯]

(ক) স্টিম পাতন (খ) দ্রাবক নিষ্কাশন (গ) আংশিক পাতন (ঘ) কলাম ক্রোমাটোগ্রাফি

১৪০। কোন্‌টি অতিরিক্ত NH_3 দ্রবণে দ্রবণীয়? [সি. বো. ২০১৯]

(ক) Cu^{2+} (খ) Fe^{3+} (গ) Zn^{2+} (ঘ) Ca^{2+}

১৪১। অবিশুদ্ধ বেনজয়িক এসিডকে বিশোধনের জন্য ব্যবহৃত পদ্ধতি কোনটি? [সি. বো. ২০১৯]

(ক) আংশিক পাতন (খ) বাষ্প পাতন (গ) ঊর্ধ্বপাতন (ঘ) নিম্নচাপ পাতন

❑ বহুপদি সমাপ্তিসূচক প্রশ্ন :

১৫১। নিচের পরমাণুগুলোর সর্ববহিস্থ শক্তিস্তরে একই সংখ্যক ইলেকট্রন বিদ্যমান— [য. বো. ২০১৫]

i. নাইট্রোজেন ii. সালফার iii. ফসফরাস

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৫২। ডিউটেরিয়াম পরমাণুতে নিম্নোক্ত কণিকা আছে—

i. 1টি প্রোটন ii. 1টি ইলেকট্রন iii. 1টি নিউট্রন

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৫৩। টি আইসোটোপের বৈশিষ্ট্য হলো—

i. পারমাণবিক সংখ্যা একই ii. পর্যায় সারণিতে একই অবস্থান iii. পারমাণবিক ভর সংখ্যা সমান হয়

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৫৪। কোন প্রস্তাবনার মাধ্যমে বোর রাদারফোর্ডের পারমাণবিক মডেলের উন্নয়ন সাধন করেন—

i. ইলেকট্রনের স্থির কক্ষপথের ধারণা ii. ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগের ধারণা

iii. সূক্ষ্ম বর্ণালি রেখা উৎপত্তির কারণ ব্যাখ্যা

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৫৫। বোর পরমাণু মডেল পারমাণবিক বর্ণালি ব্যাখ্যা করতে পারে— [চ. বো. ২০১৫]

i. একটি মাত্র প্রোটনবিশিষ্ট আয়নের ii. এক ইলেকট্রনবিশিষ্ট আয়নের iii. এক ইলেকট্রনবিশিষ্ট পরমাণুর

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৫৬। নিচের তিনটি ইলেকট্রনের জন্য সম্ভাব্য ৪টি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান দেখানো হলো : [সি. বো. ২০১৫]

i. $n = 3, \quad l = 0, \quad m = -1, \quad s = +\frac{1}{2}$ ii. $n = 3, \quad l = 1, \quad m = -1, \quad s = -\frac{1}{2}$

iii. $n = 3, \quad l = 0, \quad m = 0, \quad s = -\frac{1}{2}$

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৫৭। p উপশক্তিস্তর বা, অরবিটালের জন্য— [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮; কু. বো. ২০১৬]

i. $l = 1$ ii. $m = 1, 0, -1$ iii. অরবিটাল সংখ্যা-2

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৫৮। p-অরবিটালের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য তথ্য হলো নিম্নরূপ :

i. সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যার মান, $l = 1$ হয় ii. নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে সমভাবে বিস্তৃত থাকে

iii. রেখা বর্ণালিতে সূক্ষ্মরেখার উদ্ভব ঘটে

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৫৯। $[Ar]\ 3d^{10}4s^0$ ইলেকট্রন বিন্যাস হলো—

i. Cu^+ আয়ন ii. Zn^{2+} আয়ন iii. Fe^{2+} আয়ন

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৬০। রেখা বর্ণালি ব্যবহৃত হয়— [দি. বো. ২০১৬]

i. জাল টাকা ও জাল পাসপোর্ট শনাক্তকরণে ii. রাসায়নিক মৌল শনাক্তকরণে iii. রোগ নির্ণয় ও নিরাময়ে

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i (খ) ii (গ) iii (ঘ) i, ii ও iii

১৬১। জাল নোট শনাক্তকরণে UV রশ্মির ব্যবহারের যৌক্তিক কারণ হলো—

i. নিরাপত্তা সুতার ফসফোর অণুর ইলেকট্রন UV রশ্মিতে response করে

ii. শোষিত UV রশ্মির আলো দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যে বিকিরিত হয়

iii. অদৃশ্যমান কালির সাথে UV বিক্রিয়া করে

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৬২। MRI পরীক্ষা দ্বারা রোগ নির্ণয়ের প্রধান ভিত্তি হলো—

i. মানবদেহে NMR পরমাণুতে r_f এর প্রভাবে প্রোটনের অনুরণন

ii. NMR পরমাণুর নিউট্রন ও প্রোটনের মিথস্ক্রিয়া ঘটে

iii. অসুস্থ কোষে NMR পরমাণুযুক্ত যৌগের ঘনমাত্রা বৃদ্ধি

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৬৩। বুনসেন শিখায় Mg-ধাতু কোনো বর্ণালি সৃষ্টি করে না; এর কারণ হলো—

i. এর ব্যাসার্ধ কম হওয়ায় নিউক্লিয়াস দ্বারা যোজ্যতা ইলেকট্রন অধিক আকৃষ্ট হয়

ii. বুনসেন শিখার তাপমাত্রায় Mg-এর ইলেকট্রন উদ্দীপ্ত হয় না

iii. শিখার তাপে Mg পরমাণুর যোজ্যতা ইলেকট্রন অসীম দূরত্বে চলে যায়

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৬৪। শিখা পরীক্ষায় ব্যবহার করা হয়— [সি. বো. ২০১৭]

i. গাঢ় HCl ii. প্লাটিনাম তার iii. অনুজ্জ্বল শিখা

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৬৫। অবলোহিত রশ্মির অন্তর্গত সিরিজ হলো— [সি. বো. ২০১৭]

i. ব্রাকেট সিরিজ ii. পাশ্চেন সিরিজ iii. লাইমেন সিরিজ

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i (খ) ii (গ) i ও ii (ঘ) i, ii ও iii

১৬৬। নিচের দুটি যৌগের মিশ্র দ্রবণে সমআয়ন প্রভাব পড়বে—

i. HCl, HNO_3 ii. H_2S, HCl iii. NH_4Cl, $(NH_4)_2CO_3$

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৬৭। কোনো লবণের দ্রবণে আয়নগুলোর মোলার ঘনমাত্রার গুণফল—

i. যখন $K_{ip} = K_{sp}$ তখন দ্রবণটি সম্পৃক্ত ii. যখন $K_{ip} > K_{sp}$ তখন দ্রবণটি অতিপৃক্ত এবং দ্রবটি অধঃক্ষিপ্ত হয়

iii. যখন $K_{ip} < K_{sp}$ তখন দ্রবণটি অসম্পৃক্ত

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৬৮। $K_4[Fe(CN)_6]$ বিকারক দ্বারা নিচের আয়নগুলো নিশ্চিত বা শনাক্ত করা যায়— [কু. বো. ২০১৫]

i. Cu^{2+} আয়ন ii. Zn^{2+} আয়ন iii. Fe^{2+} আয়ন

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৬৯। ক্রোমাটোগ্রাফি দ্বারা নিম্নোক্ত কাজ করা হয়— [দি. বো. ২০১৫]

i. নমুনার উপাদান পৃথক করা যায় ii. নমুনার উপাদান শনাক্ত করা যায় iii. নমুনার বিশুদ্ধতা পরীক্ষা করা যায়

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৭০। বিভাজন ক্রোমাটোগ্রাফি হলো— [ঢা. বো. ২০১৬]

i. গ্যাস ক্রোমাটোগ্রাফি ii. পাতলা স্তর ক্রোমাটোগ্রাফি iii. পেপার ক্রোমাটোগ্রাফি

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৭১। ক্রোমাটোগ্রাফির ব্যবহার হলো নিম্নরূপ : [সি. বো. ২০১৫]

i. জৈব যৌগের পৃথকীকরণ ও বিশোধন ii. পরিবেশ দূষণ প্রক্রিয়ায় দূষণ বস্তু শনাক্তকরণ

iii. মরিচের গুঁড়া থেকে এর লাল রং নিষ্কাশন

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৭২। $A + K_2HgI_4 \rightarrow$ বাদামি অধঃক্ষেপ। 'A' যৌগটির— [য. বো. ২০১৯]

i. বন্ধন কোণ 107° ii. কেন্দ্রীয় পরমাণু sp^3 সংকরিত iii. টয়লেট ক্লিনারের মূল উপাদান

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

১৭৩। R_f এর মান— [য. বো. ২০১৯]

i. দুটি দূরত্বের অনুপাত ii. 0 (শূন্য) থেকে 1 (এক) এর মধ্যে হয় iii. দ্রাবকের প্রকৃতির ওপর নির্ভরশীল

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

❑ অভি তথ্যভিত্তিক প্রশ্ন :

** নিচের উদ্দীপকটি লক্ষ্য করো এবং পরবর্তী দুটি প্রশ্নের উত্তর দাও। [রা. বো. ২০১৭]

$Z^{2+} = [Ar]\ 3d^9\ 4s^\circ$

২০১। Z মৌলটি শিখা-পরীক্ষায় কোন বর্ণ সৃষ্টি করে?

(ক) সোনালী হলুদ (খ) ইটের ন্যায় লাল (গ) নীলাভ সবুজ (ঘ) হলুদাভ সবুজ

২০২। গুণগত বিশ্লেষণে 'Z' মৌলটির আয়ন শনাক্তকরণে বিকারক হিসাবে ব্যবহৃত হয়—

i. NH_4OH ii. $K_4[Fe(CN)_6]$ দ্রবণ iii. $K_3[Fe(CN)_6]$ দ্রবণ

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

** 25°C তাপমাত্রায় 1.0 লিটার দ্রবণে সর্বোচ্চ 1.0×10^{-3} mol PbI_2 দ্রবীভূত হয়। এ উদ্দীপকভিত্তিক পরবর্তী দুটি প্রশ্নের উত্তর দাও। [য. বো. ২০১৭]

২০৩। 25°C তাপমাত্রায় PbI_2 এর দ্রাব্যতা গুণফল কোনটি?

(ক) 1.0×10^{-6} (খ) 1.0×10^{-9} (গ) 2.0×10^{-9} (ঘ) 4×10^{-9}

২০৪। উদ্দীপকে আয়োডাইড (I^-) আয়নের ঘনমাত্রা দ্বিগুণ করা হলে $PbI_2(s)$ এর সাথে সাম্যাবস্থায় থাকা Pb^{2+} আয়নের ঘনমাত্রার ওপর হ্রাস-বৃদ্ধির কীরূপ প্রভাব পড়বে?

(ক) 4 গুণ হবে (খ) 16 গুণ হবে (গ) $\frac{1}{4}$ হবে (ঘ) $\frac{1}{16}$ হবে

** নিম্নোক্ত উদ্দীপকভিত্তিক পরবর্তী দুটি প্রশ্নের উত্তর দাও। [ঢা. বো. ২০১৬]

	গ্রুপ-1	গ্রুপ-2
৩য় পর্যায়	X	Y
৪র্থ পর্যায়	P	Q

২০৫। Q মৌলের পরমাণুর সর্বশেষ অরবিটালের চৌম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যার মান কত?

(ক) –1 (খ) 0 (গ) +1 (ঘ) +2

২০৬। উদ্দীপকের মৌলসমূহের মধ্যে—

i. সব মৌল শিখা পরীক্ষায় বর্ণ সৃষ্টি করে না

ii. Q মৌলের আয়ন শনাক্তকরণে অ্যামোনিয়াম অক্সালেট দ্রবণ ব্যবহৃত হয়

iii. 'X' এর হাইড্রক্সাইড, Y এর হাইড্রক্সাইড অপেক্ষা দুর্বল ক্ষার

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

** 25°C তাপমাত্রায় 45 g ধাতব ক্লোরাইড (A) কে 300 g দ্রাবকে দ্রবীভূত করা হলে বিকার পাত্রটিতে ঠাণ্ডা অনুভূত হয়। এ উদ্দীপকভিত্তিক পরবর্তী দুটি প্রশ্নের উত্তর দাও। [চ. বো. ২০১৬]

২০৭। 'A' এর দ্রাব্যতা কত হবে? (প্রতি 100 g দ্রাবকে)

(ক) 13 (খ) 15 (গ) 45 (ঘ) 47

২০৮। দ্রাবকের পরিমাণ অপরিবর্তিত রেখে দ্রবকে কেলাসিত করতে বা অধঃক্ষিপ্ত করতে হলে—

i. চাপ বাড়াতে হবে ii. HCl মিশাতে হবে iii. তাপমাত্রা কমাতে হবে

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i (খ) i ও ii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

** ৪র্থ পর্যায়ের A ও B মৌলের লবণের দ্রবণে পৃথকভাবে NaOH দ্রবণ যোগ করা হলো। A মৌলের লবণটি হালকা সবুজ অধঃক্ষেপ ও B মৌলের লবণটি সাদা অধঃক্ষেপ দিল। উভয় অধঃক্ষেপ উত্তপ্ত করায় সাদা অধঃক্ষেপ দ্রবীভূত হলো। এ তথ্যভিত্তিক পরবর্তী ২টি প্রশ্নের উত্তর দাও।

২০৯। A মৌলটির লবণের বেলায় প্রযোজ্য তথ্য হলো—

i. A মৌলটির লবণ রক্তশূন্যতায় ওষুধরূপে ব্যবহৃত হয় ii. A-এর ইলেকট্রন বিন্যাসে 3d আছে

iii. A লবণের আয়নটি NH_4CNS এর দ্রবণের সাথে রক্তলাল বর্ণ তৈরি করে

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

২১০। B মৌলটির লবণের বেলায় জানা তথ্যসমূহ হলো—
i. B মৌলটি হলো অবস্থান্তর মৌল ii. B মৌলের অক্সাইড উভধর্মী
iii. B মৌলের পরমাণুর ইলেকট্রনবিন্যাস আউফবাউ নীতি মেনে চলে
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

* নিচের উদ্দীপকের আলোকে পরবর্তী ৩টি প্রশ্নের উত্তর দাও।

ক্যাটায়ন	বিকারক	অধঃক্ষেপ
X^{2+}	$K_4[Fe(CN)_6]$ দ্রবণ	সাদা
Y^{2+}		লালচে বাদামি
Z^{3+}		গাঢ় নীল

২১১। Y মৌলটি হবে কোনটি?
(ক) Fe (খ) Zn (গ) Cu (ঘ) Ca

২১২। কোন দুটি মৌল পরিবর্তনশীল যোজনী প্রদর্শন করে?
(ক) Fe, Cu (খ) Zn, Fe (গ) Cu, Zn (ঘ) Ca, Na

২১৩। i. স্থায়িত্বের বেলায় $Z^{3+} > Z^{2+}$ ii. X ও Y এর যৌগগুলো রঙিন হয় iii. Y ও Z অবস্থান্তর ধাতু
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

** নিচের উদ্দীপকটি লক্ষ্য করে পরবর্তী ২টি প্রশ্নের উত্তর দাও। [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]
$A^{n+} + K_4[Fe(CN)_6] \rightarrow$ অধঃক্ষেপ

২১৪। অধঃক্ষেপটি লালচে বাদামি হলে—
i. A^{n+} আয়নের মৌলটি অবস্থান্তর মৌল ii. এটি 4 সন্নিবেশ সংখ্যার জটিল আয়ন বা যৌগ গঠন করে
iii. এটি ডায়াম্যাগনেটিক ধর্ম দেখায়
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

২১৫। অধঃক্ষেপটি সাদা বর্ণের হলে A^{n+} আয়নটি হবে নিচের কোনটি?
(ক) Ca^{2+} (খ) Zn^{2+} (গ) Cu^{2+} (ঘ) Fe^{2+}

** নিচের উদ্দীপক অনুসরণ করে পরবর্তী ২টি প্রশ্নের উত্তর দাও। [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮]
X' ধাতুটি শিখা পরীক্ষায় সোনালি হলুদ বর্ণ সৃষ্টি করে।

২১৬। ধাতুটি কোন প্রকৃতির হবে?
(ক) অপধাতু (খ) মুদ্রাধাতু (গ) মৃৎক্ষার ধাতু (ঘ) ক্ষার ধাতু

২১৭। X' ধাতুর আয়নের শনাক্তকারী বিকারক হলো কোনটি?
(ক) $K_2H_2Sb_2O_7$ (খ) $(NH_4)_2C_2O_4$ (গ) $K_4[Fe(CN)_6]$ (ঘ) NH_4CNS

** নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট পরবর্তী ২টি প্রশ্নের উত্তর দাও। [ঢা. বো. ২০১৯]
$A^{n+}(aq) + NH_4CNS(aq) \longrightarrow$ দ্রবণ

২১৮। দ্রবণটি লাল বর্ণের হলে A^{n+} আয়নটি হবে কোনটি?
(ক) Fe^{3+} (খ) Al^{3+} (গ) Cu^{2+} (ঘ) Ca^{2+}

২১৯। দ্রবণটির বর্ণের কোনো পরিবর্তন না হলে—
i. A^{n+} আয়নের মৌলটি অবস্থান্তর মৌল ii. মৌলটি ডায়াম্যাগনেটিক ধর্ম প্রদর্শন করে
iii. 6-সন্নিবেশ সংখ্যার জটিল যৌগ গঠন করে

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

** নিচের উদ্দীপক মতে পরবর্তী ২টি প্রশ্নের উত্তর দাও। [রা. বো. ২০১৯]

A^{n+} (aq) + NH_4OH (aq) ⟶ B (গাঢ় নীল দ্রবণ)

২২০। A^{n+} আয়ন নিচের কোনটি?

(ক) NH_4^+ (খ) Cu^{2+} (গ) Fe^{2+} (ঘ) Al^{3+}

২২১। B এর জটিল আয়নটি—

i. সমতলীয় বর্গাকার ii. চতুস্তলকীয় iii. প্যারাচুম্বকীয়

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

** নিচের উদ্দীপকভিত্তিক পরবর্তী ২টি প্রশ্নের উত্তর দাও। [দি. বো. ২০১৯]

মৌল	ইলেকট্রন বিন্যাস
L	ns^1 n = 3
M	ns^2
Q	nd^{10} $(n + 1) s^1$
R	$ns^2 np^5$

২২২। উদ্দীপকের কোন্ মৌলের আয়নকে $K_4[Fe(CN)_6]$ দ্রবণ দ্বারা শনাক্ত করা যায়?

(ক) L (খ) M

(গ) Q (ঘ) R

২২৩। উদ্দীপক মতে—

i. Q অবস্থান্তর মৌল ii. LR অপেক্ষা MR_2 পানিতে কম দ্রবণীয় iii. LR অপেক্ষা QR এর গলনাঙ্ক বেশি

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

বিভিন্ন শ্রেণির বহুনির্বাচনি প্রশ্নের (MCQ's) উত্তরমালা

❑ **সাধারণ বহুনির্বাচনি প্রশ্ন :** ১। (খ), ২। (খ), ৩। (ক), ৪। (ঘ), ৫। (ঘ), ৬। (গ), ৭। (খ), ৮। (গ), ৯। (ক), ১০। (গ), ১১। (খ), ১২। (খ), ১৩। (ঘ), ১৪। (গ), ১৫। (ক), ১৬। (গ), ১৭। (ক), ১৮। (গ), ১৯। (খ), ২০। (খ), ২১। (খ), ২২। (গ), ২৩। (গ), ২৪। (ঘ), ২৫। (খ), ২৬। (ঘ), ২৭। (গ), ২৮। (গ), ২৯। (গ), ৩০। (ঘ), ৩১। (ক), ৩২। (ক), ৩৩। (ক), ৩৪। (গ), ৩৫। (গ), ৩৬। (ঘ), ৩৭। (ঘ), ৩৮। (ঘ), ৩৯। (ক), ৪০। (খ), ৪১। (খ), ৪২। (গ), ৪৩। (ক), ৪৪। (ঘ), ৪৫। (ক), ৪৬। (গ), ৪৭। (গ), ৪৮। (ঘ), ৪৯। (ঘ), ৫০। (খ), ৫১। (ঘ), ৫২। (ঘ), ৫৩। (খ), ৫৪। (ক), ৫৫। (গ), ৫৬। (ঘ), ৫৭। (খ), ৫৮। (খ), ৫৯। (গ), ৬০। (খ), ৬১। (ঘ), ৬২। (ক), ৬৩। (খ), ৬৪। (গ), ৬৫। (ঘ), ৬৬। (ক), ৬৭। (খ), ৬৮। (খ), ৬৯। (গ), ৭০। (গ), ৭১। (ক), ৭২। (খ), ৭৩। (ঘ), ৭৪। (গ), ৭৫। (ঘ), ৭৬। (খ), ৭৭। (ঘ), ৭৮। (ক), ৭৯। (ঘ), ৮০। (ঘ), ৮১। (খ), ৮২। (ঘ), ৮৩। (ক), ৮৪। (গ), ৮৫। (খ), ৮৬। (গ), ৮৭। (ক), ৮৮। (ক), ৮৯। (গ), ৯০। (ক), ৯১। (ক), ৯২। (ক), ৯৩। (ক), ৯৪। (ঘ), ৯৫। (ক), ৯৬। (খ), ৯৭। (ঘ), ৯৮। (খ), ৯৯। (ঘ), ১০০। (খ), ১০১। (ক), ১০২। (খ), ১০৩। (খ), ১০৪। (খ), ১০৫। (গ), ১০৬। (গ), ১০৭। (গ), ১০৮। (ঘ), ১০৯। (গ), ১১০। (ক), ১১১। (খ), ১১২। (গ), ১১৩। (খ), ১১৪। (ঘ), ১১৫। (খ), ১১৬। (খ), ১১৭। (খ), ১১৮। (ঘ), ১১৯। (খ), ১২০। (খ), ১২১। (খ), ১২২। (গ), ১২৩। (গ), ১২৪। (গ), ১২৫। (গ), ১২৬। (খ), ১২৭। (খ), ১২৮। (গ), ১২৯। (ক), ১৩০। (খ), ১৩১। (গ), ১৩২। (খ), ১৩৩। (ঘ), ১৩৪। (ঘ), ১৩৫। (গ), ১৩৬। (গ), ১৩৭। (খ), ১৩৮। (ক), ১৩৯। (খ), ১৪০। (ক), ১৪১। (গ)।

❑ **বহুপদী সমাপ্তিসূচক প্রশ্ন :** ১৫১। (গ), ১৫২। (ঘ), ১৫৩। (ক), ১৫৪। (ঘ), ১৫৫। (খ), ১৫৬। (খ), ১৫৭। (ক), ১৫৮। (গ), ১৫৯। (ক), ১৬০। (খ), ১৬১। (ক), ১৬২। (গ), ১৬৩। (ক), ১৬৪। (ঘ), ১৬৫। (গ), ১৬৬। (ঘ), ১৬৭। (ঘ), ১৬৮। (ঘ), ১৬৯। (ক), ১৭০। (গ), ১৭১। (ঘ), ১৭২। (ক), ১৭৩। (ঘ)।

❑ **অভিন্ন তথ্যভিত্তিক প্রশ্ন :** ২০১। (গ), ২০২। (ক), ২০৩। (ঘ), ২০৪। (গ), ২০৫। (খ), ২০৬। (ক), ২০৭। (খ), ২০৮। (গ), ২০৯। (ঘ), ২১০। (খ), ২১১। (গ), ২১২। (ক), ২১৩। (গ), ২১৪। (ক), ২১৫। (খ), ২১৬। (ঘ), ২১৭। (ক), ২১৮। (ক), ২১৯। (গ), ২২০। (খ), ২২১। (গ), ২২২। (গ), ২২৩। (ক)।

ঘ-বিভাগ : সৃজনশীল প্রশ্ন (CQ)

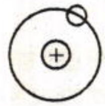
১। নিচের দুটি পরমাণু মডেল অনুধাবন করে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ব. বো. ২০২২]

(ক) আউফবাউ নীতি কী? ১

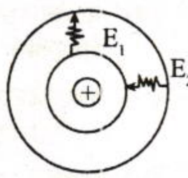
(খ) K এর 19 তম ইলেকট্রনটি 3d অরবিটালে না গিয়ে 4s অরবিটালে যায় কেন? ২

(গ) ২নং পরমাণু মডেলের ইলেকট্রনের কক্ষপথ স্থানান্তর কালে ইলেকট্রনের বিকিরিত শক্তি 2.32×10^{-18} J হলে ঐ বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য (বা, কম্পাঙ্ক) কত হবে? ৩

(ঘ) উদ্দীপকের পরমাণু মডেল-১ ও মডেল-২ এর মধ্যে কোন্‌টি তোমার মতে অধিক গ্রহণযোগ্য তা ব্যাখ্যা করো। ৪



মডেল-১



মডেল-২

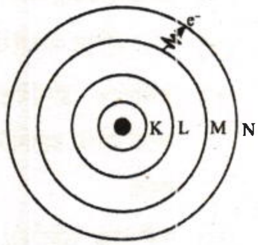
২। প্রদত্ত পরমাণু মডেলভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ম. বো. ২০২২; অভিন্ন প্রশ্ন (খ-সেট) ২০১৮]

(ক) অ্যান্টিঅক্সিডেন্ট কী? ১

(খ) UV-রশ্মির সাহায্যে তুমি কীরূপে জাল টাকার নোট শনাক্ত করবে? ২

(গ) উদ্দীপকে প্রদর্শিত সর্ববহিস্থ শক্তিস্তরের *l* ও m এর মান হিসাব করে মোট অরবিটাল সংখ্যা ও ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা বের করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকে প্রদর্শিত চিত্রে ইলেকট্রনটির অরবিটাল ধাপান্তরকালে বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য গণনা করো এবং তা কোন অঞ্চলের হবে; গাণিতিকভাবে মূল্যায়ন করো। ৪

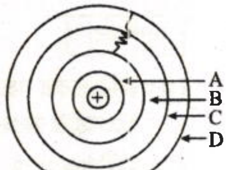


৩। পরমাণু মডেলভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। অনুরূপ, [য. বো. ২০২২]

(ক) আইসোটোপ কী? ১

(খ) অরবিট ও অরবিটালের মধ্যে পার্থক্যসমূহ লেখ। ২

(গ) উদ্দীপকের C কক্ষপথের H পরমাণুর (বা, He^{+} আয়নের) ইলেকট্রনটি B কক্ষপথে ধাপান্তরকালে বিকিরিত শক্তির পরিমাণ কত হবে তা ব্যাখ্যা করো। ৩



(ঘ) উদ্দীপক মতে, H পরমাণুর D কক্ষপথ থেকে B কক্ষপথে ইলেকট্রনের ফেরার কালে বিকিরিত শক্তি দৃশ্যমান হবে কীনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। ৪

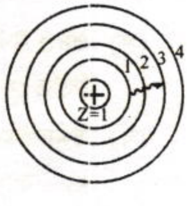
৪। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [য. বো. ২০২৩]

(ক) কম্পাঙ্ক কাকে বলে?

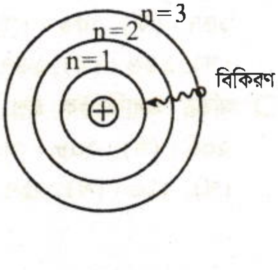
(খ) পাসপোর্টে কীভাবে অণুপ্রভা সৃষ্টি হয়; ব্যাখ্যা করো।

(গ) উদ্দীপক মতে ইলেকট্রনটি স্থানান্তরকালে শোষিত শক্তির পরিমাণ হিসাব করো।

(ঘ) উদ্দীপকের ইলেকট্রনটির জন্য ৩য় কক্ষপথে তরঙ্গদৈর্ঘ্য ৪র্থ কক্ষপথে তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা কম না বেশি তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।



৫। উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [সি. বো. ২০২৩]



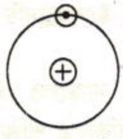
(ক) অরবিটাল কাকে বলে? ১

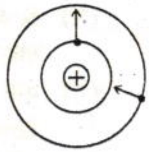
(খ) পাউলির বর্জননীতি অনুসারে একই অরবিটালের দুটি ইলেকট্রনের স্পিন একমুখী হতে পারে না কেন? ২

(গ) উদ্দীপক মতে, বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের মডেলটি পরমাণুর স্থায়িত্ব ব্যাখ্যায় রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলের চেয়ে অধিক ফলপ্রসূ—ব্যাখ্যা করো। ৪

৬। প্রদত্ত উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [রা. বো. ২০১৫]


মডেল-১


মডেল-২

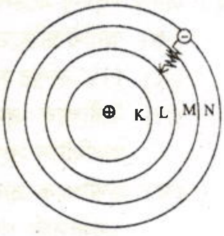
(ক) পলির বর্জননীতি কী? ১

(খ) K এর 19তম ইলেকট্রনটি 3d অরবিটালে না গিয়ে 4s অরবিটালে যায় কেন? ২

(গ) ২নং মডেলের ইলেকট্রন স্থানান্তরের সময় ইলেকট্রনের শক্তি 2.32×10^{-18} J হলে, বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত? ৩

(ঘ) মডেল-১ ও মডেল-২ এর মধ্যে কোনটি অধিক গ্রহণযোগ্য? যুক্তি দাও। ৪

৭। প্রদত্ত উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ঢা. বো. ২০২২; মা. বো. ২০২২; সব বোর্ড, ২০১৮; ব. বো. ২০১৫]



(ক) ক্রোমোটোগ্রাফি কী? ১

(খ) UV রশ্মির সাহায্যে তুমি কীভাবে জাল টাকা শনাক্তকরণ করবে?—ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকে উল্লিখিত চিত্রে সর্ববহিস্থ শক্তিস্তরের কোয়ান্টাম সংখ্যাসমূহের মান হিসাব করে মোট অরবিটাল সংখ্যা এবং ঐ শক্তিস্তরে মোট ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা বের করো। ৩

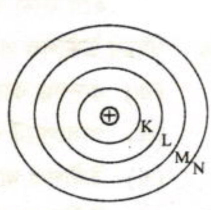
(ঘ) উদ্দীপকে উল্লিখিত চিত্রে প্রদর্শিত ইলেকট্রনের ধাপান্তরের সময় পরমাণু থেকে নির্গত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বের করো এবং সৃষ্ট রেখা বর্ণালিটি কোন বর্ণের হবে?—ব্যাখ্যা করো। ৪

সদৃশ প্রশ্ন : [ঢা. বো. ২০২৩]

(গ) উদ্দীপকের চিত্র মতে, ৪র্থ শক্তিস্তরের কোয়ান্টাম সংখ্যাসমূহের মান হিসাব করে ঐ শক্তিস্তরে সম্ভাব্য মোট ইলেকট্রন সংখ্যা হিসাব করো।

(ঘ) উদ্দীপক মতে, $n_2 = 5$ এবং $n_1 = 2$ হলে ইলেকট্রনটির ধাপান্তরে সৃষ্ট বর্ণালির বর্ণ কীরূপ হবে? ব্যাখ্যা করো।

৮। উক্ত উদ্দীপকের আলোকে নিম্নের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও। [দি. বো. ২০১৫]



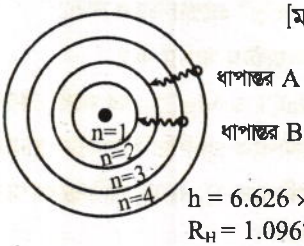
(ক) কোয়াগুলেশন কী? ১

(খ) Na^+ ও Ne এর মধ্যে কোনটির আয়নীকরণ শক্তি বেশি এবং কেন? ২

(গ) প্রদত্ত উদ্দীপকের N শেল থেকে L শেলে একটি ইলেকট্রন ধাপান্তরের সময় তা থেকে নির্গত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করো। [$R_H = 1.09678 \times 10^{-7}\ m^{-1}$] ৩

(ঘ) উদ্দীপকের পরমাণুতে একটি ইলেকট্রন থাকা সত্ত্বেও বর্ণালি রেখার সংখ্যা একাধিক হয়—ব্যাখ্যা করো। ৪

৯। নিচের উদ্দীপকের আলোকে প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও। [মা. বো. ২০২৩]



$h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js
$R_H = 1.09678 \times 10^{-2}$ nm

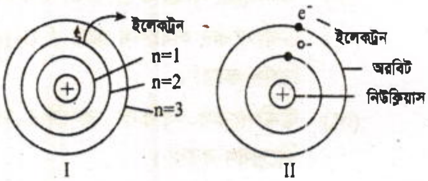
(ক) সম-আয়ন প্রভাব কাকে বলে?

(খ) 25°C-এ বিশুদ্ধ পানির pH 7 হয়; ব্যাখ্যা করো।

(গ) উদ্দীপকের সর্বশেষ কক্ষপথের ব্যাসার্ধ 8.5×10^{-8} cm হলে ইলেকট্রনের গতিবেগ নির্ণয় করো।

(ঘ) উদ্দীপকের ধাপান্তর-A ও ধাপান্তর-B এর মধ্যে কোনটিতে সৃষ্ট বর্ণালি দৃশ্যমান হবে? গাণিতিকভাবে তা বিশ্লেষণ করো।

১০। পার্শ্বের পরমাণুর মডেলভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ঢা. বো. ২০১৭]



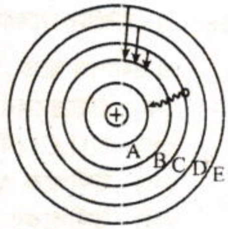
(ক) অরবিটাল কী? ১

(খ) কলয়েডের সুস্থিতির কারণ কী? ২

(গ) উদ্দীপক I এর বহিঃস্থ স্তরের l ও m এর মান হিসাব করে অরবিটাল সংখ্যা নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপক I ও II এর পরমাণু মডেলদ্বয়ের তুলনা করো। ৪

১১। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ব. বো. ২০২৩]



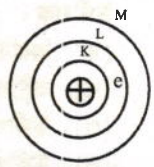
(ক) ভর ক্রিয়ার সূত্রটি বিবৃত করো।

(খ) Al_2O_3 এর অম্লত্ব 6 বলতে কী বুঝ?

(গ) উদ্দীপকের B শক্তিস্তরে ইলেকট্রন আপতনের ফলে সৃষ্ট রেখা বর্ণালির দীর্ঘতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করো।

(ঘ) উদ্দীপকের A ও C শক্তিস্তরের পার্থক্য 1.93×10^{-18} J হলে নির্গত আলোকরশ্মি দৃশ্যমান হবে কীনা; তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো।

১২। পার্শ্বের পরমাণু মডেলভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ব. বো. ২০১৭]



পরমাণু মডেল

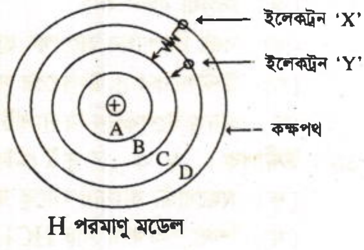
(ক) তড়িৎ ঋণাত্মকতা কী? ১

(খ) রক্তের বাফার ক্রিয়া ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের আলোকে পরমাণুর গঠন সম্পর্কিত মডেলটি আলোচনা করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপক মডেলটি যদি হাইড্রোজেন পরমাণুর হয় তাহলে ইলেকট্রনটির ধাপান্তরে শোষিত শক্তি হিসাব করে তার কম্পাঙ্ক নির্ণয় করো। ৪

১৩। উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [রা. বো. ২০২১]



H পরমাণু মডেল

(ক) pH স্কেল কী? ১

(খ) Be ও B এর মধ্যে কোনটির আয়নীকরণ শক্তি বেশি এবং কেন? ২

(গ) উদ্দীপক মডেলটির সর্ববহিঃস্থ কক্ষপথে সর্বোচ্চ কয়টি ইলেকট্রন থাকতে পারে তা কোয়ান্টাম সংখ্যার সাহায্যে নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপক মতে 'X' ও 'Y' এর ধাপান্তরের ফলে সৃষ্ট তরঙ্গ চুম্বকীয় বিকিরণের একই অঞ্চলে পাওয়া যাবে কীনা তা গাণিতিকভাবে মূল্যায়ন করো। ৪

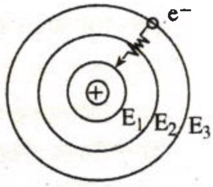
১৪। উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [চ. বো. ২০২১]

(ক) কোয়ান্টাম সংখ্যা কী? ১

(খ) NaCl ও $MgCl_2$ এর মধ্যে কোনটি বেশি আয়নিক ও কেন? ২

(গ) উদ্দীপকে প্রদর্শিত ইলেকট্রন স্থানান্তরে বিকিরিত শক্তির পরিমাণ নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকে E_1 ও E_2 শক্তিস্তরের মধ্যে কোনটির শক্তি বেশি; তা গাণিতিকভাবে মূল্যায়ন করো। ৪



H পরমাণু মডেল

১৫। উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও : [ম. বো. ২০২১]

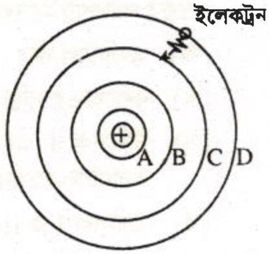
(ক) অরবিটাল কী? ১

(খ) তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে দ্রাব্যতা গুণফল বৃদ্ধি পায় কেন? ২

(গ) উদ্দীপকের সর্বশেষ স্তরে l ও m এর মান হিসেব করে মোট ইলেকট্রন সংখ্যা নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের বিকিরণ বর্ণালির তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করে উহার ব্যবহারিক ক্ষেত্র বিশ্লেষণ করো। ৪

[উত্তর সংকেত : $\lambda = 1875.12$ nm; IR রশ্মির চিকিৎসাক্ষেত্রে ব্যবহার]



H পরমাণু মডেল

১৬। A মৌলটির যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রনের কোয়ান্টাম সংখ্যাগুলো হচ্ছে; $n = 4, l = 0, m = 0, s = +\frac{1}{2}$

এ উদ্দীপক মতে, নিচের সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ঢা. বো. ২০১৫]

(ক) হাইড্রোজেন বন্ধনের সংজ্ঞা দাও। ১

(খ) NH_4Cl যৌগের বন্ধন প্রকৃতি ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকে A = H হলে ইলেকট্রনটির স্থানান্তরণের শোষণ বর্ণালির সর্বনিম্ন শক্তি নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের A^{2+} আয়নের বর্ণযুক্ত হওয়ার সম্ভাব্যতা যাচাই করো। ৪

১৭। নিম্নের ইলেকট্রন বিন্যাসটি লক্ষ্য করো। এ উদ্দীপক মতে, সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ঢা. বো. ২০২২]

উদ্দীপক : ... ... $(n-1)d^5 ns^1$ [n = 4]

(ক) অরবিটাল সংকরণ কী? ১

(খ) অম্লীয় বাফার দ্রবণ তৈরিতে দুর্বল অম্ল ব্যবহারের প্রয়োজনীয়তা ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের ইলেকট্রন বিন্যাসটি ব্যতিক্রমধর্মী; ব্যাখ্যা করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের d উপশক্তিস্তরে বিদ্যমান ইলেকট্রনগুলোর অন্যান্য কোয়ান্টাম সংখ্যাসমূহের মান অভিন্ন হলেও ম্যাগনেটিক কোয়ান্টাম সংখ্যা ভিন্ন। এ উক্তির বিশ্লেষণ করো। ৪

১৮। নিম্নের ইলেকট্রন বিন্যাসটি লক্ষ্য করো। এ উদ্দীপক মতে, সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [চ. বো. ২০১৫]

উদ্দীপক : [Ar] $(n-1)d^5$

(ক) সিগমা বন্ধন কী? ১

(খ) বর্জ্য বিশোধন অপেক্ষা হ্রাসকরণ উত্তম—ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের d-উপস্তরের সকল ইলেকট্রনের স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যার মান একই—ব্যাখ্যা করো। ৩

(ঘ) প্রদত্ত ইলেকট্রন বিন্যাসটি একটি ক্যাটায়নের ইলেকট্রন বিন্যাস—সত্যতা নিরূপণ করো। ৪

১৯। **উদ্দীপক :** $_1Y$ ও $_{24}Z$ দুটি মৌল। এক্ষেত্রে 'Y' ও 'Z' প্রচলিত অর্থ বোঝায় না। [ঢা. বো. ২০১৯]

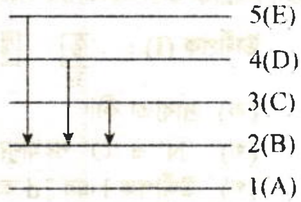
(ক) সমযোজী ব্যাসার্ধ কাকে বলে? ১

(খ) শিখা পরীক্ষায় গাঢ় HCl ব্যবহৃত হয় কেন? ২

(গ) উদ্দীপকের 'Z' মৌলটি জটিল যৌগ গঠন করে কেন? ব্যাখ্যা করো। ৩

(ঘ) বোর তত্ত্বের সাহায্যে 'Y' মৌলের বর্ণালি ব্যাখ্যা করা যাবে কি? তোমার মতামত দাও। ৪

২০। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [মা. বো. ২০২১; কু. বো. ২০১৯]



চিত্র : H এর বর্ণালি

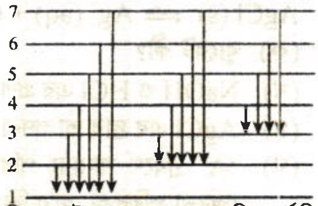
(ক) লিগ্যান্ড কাকে বলে? ১

(খ) কপারের ইলেকট্রনবিন্যাসে সাধারণ নিয়মের ব্যতিক্রম ঘটে কেন? ২

(গ) কোয়ান্টাম সংখ্যা ব্যবহার করে উদ্দীপকের D শক্তিস্তরে মোট অরবিটাল সংখ্যা ও মোট ইলেকট্রন ধারণ সংখ্যা গণনা করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের B শক্তিস্তরে সৃষ্ট ৩য় বর্ণালি রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বর্ণ দৃশ্যমান হবে কীনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। ৪

২১। উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [য. বো. ২০১৯]



চিত্র : হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালি

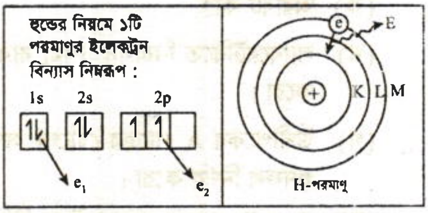
(ক) কলয়েড কাকে বলে? ১

(খ) H_2S অপেক্ষা H_2O এর স্ফুটনাঙ্ক বেশি কেন? ২

(গ) উদ্দীপকের ধারণা অনুসারে মৌল শনাক্ত করা যায়। এর ব্যাখ্যা করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের চিত্রে বহুসংখ্যক রেখা সৃষ্টির কারণ বিশ্লেষণ করো। ৪

২২। উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ব. বো. ২০১৯]



১ম অংশ ২য় অংশ

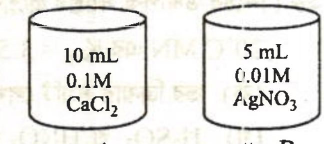
(ক) আউফবাউ নীতিটি বিবৃত করো। ১

(খ) HCl পোলার যৌগ কেন? ২

(গ) উদ্দীপকের e_1 ও e_2 এর ক্ষেত্রে পাউলির বর্জন নীতি প্রযোজ্য কীনা; তা ব্যাখ্যা করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের বিকিরণ (E) রশ্মিটি চিকিৎসাক্ষেত্রে নাকি জাল টাকা শনাক্তকরণে ব্যবহৃত হয় তা বিশ্লেষণ করো। ৪

২৩। উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [কু. বো. ২০১৯]



পাত্র-A পাত্র-B

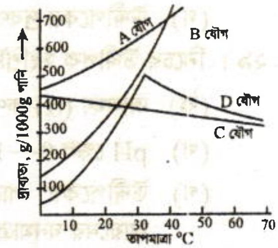
(ক) ফাস্ট এইড বক্স কী? ১

(খ) ল্যাবরেটরিতে হ্যান্ড-গ্লাভস ব্যবহারের প্রয়োজনীয়তা ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের 'A' পাত্রে Ca^{2+} আয়নের পরিমাণ নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) A ও B পাত্রের মিশ্রিত দ্রবণের প্রকৃতি দ্রাব্যতার ভিত্তিতে গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। [25°C-এ AgCl এর $K_{sp} = 1.5 \times 10^{-10}$] ৪

২৪। উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [য. বো. ২০২৩]



A, B লেখ দুটো যথাক্রমে ৩য় ও ৪র্থ পর্যায়ের ক্ষার ধাতুর নাইট্রেট

(ক) ইলেকট্রন আসক্তি কাকে বলে?

(খ) আয়োডিনের ভৌত অবস্থা কঠিন হয় কেন?

(গ) উদ্দীপকের A যৌগ অপেক্ষা B যৌগের গলনাঙ্ক বেশি হয়; এর কারণ ব্যাখ্যা করো।

(ঘ) উদ্দীপকের A, C ও D যৌগের দ্রাব্যতা রেখার বক্রতার বিভিন্ন প্রকৃতির কারণ বিশ্লেষণ করো।

২৫। নিম্নোক্ত উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ঢা. বো. ২০১৭]

উদ্দীপক (I) :

উদ্দীপক (II) : A(28)

(ক) দ্রাব্যতা কী? ১

(খ) 'N' ও 'O' পরমাণুর মধ্যে কোনটির আকার ছোটো—ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপক I এর 3d অরবিটাল ফাঁকা কেন? ব্যাখ্যা করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপক II এর 'A' মৌলটি প্রভাবন ধর্ম প্রদর্শন করে কি? বিশ্লেষণ করো। ৪

২৬। 35°C তাপমাত্রায় AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল 2.458×10^{-10}। লবণটি দ্রবণে সাম্যাবস্থায় নিম্নরূপে থাকে :

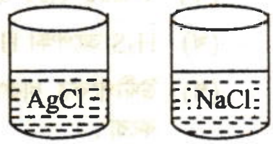
$AgCl\,(s) \rightleftharpoons Ag^+\,(aq) + Cl^-\,(aq)$ [য. বো. ২০১৫]

(ক) ব্যুরেট কী? ১

(খ) NaOH ও HCl এর প্রশমন তাপ-এর মান ধ্রুবক—ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) AgCl এর দ্রাব্যতা গণনা করো। ৩

(ঘ) 'A' দ্রবণে সামান্য পরিমাণ 'B' দ্রবণ যোগ করা হলে 'A' এর দ্রাব্যতার কোনো পরিবর্তন হবে কি? কারণ বিশ্লেষণ করো। ৪



A-দ্রবণ B-দ্রবণ

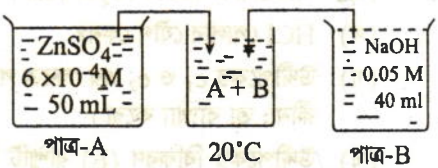
২৭। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [কু. বো. ২০১৬]

(ক) অরবিট কী? ১

(খ) ল্যাবরেটরিতে নিরাপদ চশমা ব্যবহারের প্রয়োজনীয়তা ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের A পাত্রের যৌগের সম্পৃক্ত দ্রবণে যৌগের দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) A ও B পাত্রের দ্রবণ দুটিকে মিশ্রিত করলে অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। ৪



$Zn(OH)_2$ এর $K_{sp} = 1.0 \times 10^{-17}$

২৮। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।

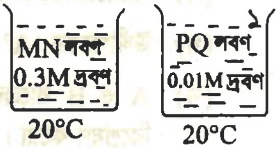
20°C MN এর $K_{sp} = 3.5 \times 10^{-4}$; PQ এর $K_{sp} = 2.5 \times 10^{-2}$ [ঢা. বো. ২০১৬]

(ক) ভর ক্রিয়ার সূত্রটি লেখ। ১

(খ) H_2SO_3 ও HNO_3 এর মধ্যে কোনটি অধিক সবল এসিড হবে তা ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের MN দ্রবণটি সম্পৃক্ত ধরে 20°C তাপমাত্রায় MN এর দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের দ্রবণ দুটিকে মিশ্রিত করলে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। ৪



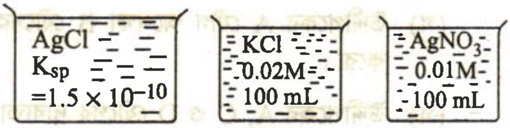
২৯। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [রা. বো. ২০১৬]

(ক) আলফা (α) কণা কী? ১

(খ) pH স্কেল 0—14 এর মধ্যে সীমাবদ্ধ কেন? ২

(গ) উদ্দীপকের পাত্র-১ এর দ্রবণে ক্লোরাইড (Cl^-) আয়নের ঘনমাত্রা নির্ণয় করো। ৩

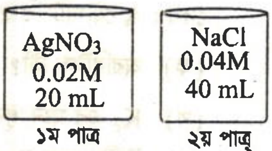
(ঘ) উদ্দীপকের পাত্র-২ ও পাত্র-৩ এর দ্রবণ দুটিকে একত্রে মিশ্রিত করলে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। ৪



পাত্র-১ পাত্র-২ পাত্র-৩

৩০। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ব. বো. ২০১৬]

25°C-এ $AgNO_3$ এর দ্রাব্যতা 2.2×10^{-3} gL^{-1} এবং AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল 1.[illegible] $\times 10^{-10}$, Ag এর পাঃ ভর = 107.87



(ক) সবুজ রসায়ন কী? ১

(খ) 2d অরবিটাল সম্ভব নয় কেন? ২

(গ) উদ্দীপকের ১নং পাত্রের $AgNO_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের উভয় দ্রবণকে মিশালে কোনো অধঃক্ষেপ পড়ে কীনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। ৪

৩১। নিচের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [কু. বো. ২০১৭]

A পাত্র	B পাত্র
40 mL; 6×10^{-3} M $CaCl_2$ দ্রবণ, 25°C	40 mL; 6×10^{-3} M NaF দ্রবণ, 25°C

25°C-এ CaF_2 এর $K_{sp} = 4.0 \times 10^{-11}$

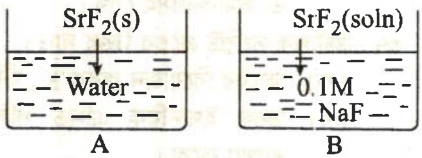
(ক) অরবিটাল কী? ১

(খ) 25°C তাপমাত্রায় KNO_3 এর দ্রাব্যতা 31.6 dL^{-1} বলতে কী বুঝ? ২

(গ) A পাত্রের ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণ পরীক্ষা সমীকরণসহ দেখাও। ৩

(ঘ) A ও B পাত্রের দ্রবণ মিশ্রিত করলে মিশ্রণে CaF_2 এর অধঃক্ষেপ পড়বে কিনা? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। ৪

৩২। পার্শ্বের উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [দি. বো. ২০১৭]



K_{sp} of $SrF_2 = 8 \times 10^{-10}$

(ক) খাদ্য নিরাপত্তা কী? ১

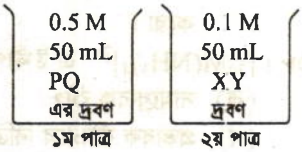
(খ) $HClO_4$ এবং $HBrO_4$ এর মধ্যে কোনটি অধিক অম্লীয়? ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) 'B' পাত্রে SrF_2 এর দ্রাব্যতা নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) A ও B পাত্রে SrF_2 এর দ্রাব্যতার মানের পার্থক্যের কারণ বিশ্লেষণ করো। ৪

৩৩। পার্শ্বে দেয়া উদ্দীপকভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [সি. বো. ২০১৭]

PY_2 এর $K_{sp} = 1.85 \times 10^{-8}$



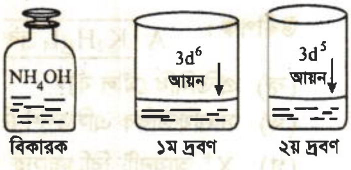
(ক) R_f কী? ১

(খ) সমআয়ন প্রভাবের ফলে দ্রাব্যতা হ্রাস পায় কেন? ২

(গ) ১ম ও ২য় পাত্রের মিশ্রিত দ্রবণে P^{2+} এর ঘনমাত্রা নির্ণয় করো। ৩

(ঘ) ১ম ও ২য় পাত্রের মিশ্রণে PY_2 অধঃক্ষিপ্ত হবে কিনা? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করো। ৪

৩৪। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।



(ক) আলফা কণা কী? ১

(খ) দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতা গুণফলের সম্পর্ক ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) উদ্দীপকের বিকারক ব্যবহার করে ১ম দ্রবণ ও ২য় দ্রবণে থাকা আয়নদ্বয় কীরূপে শনাক্ত করবে তা সংশ্লিষ্ট সমীকরণসহ লেখ। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের ২য় দ্রবণে বিকারক যোগ করলে যে অধঃক্ষেপ পড়ে ঐ অধঃক্ষেপটির 25°C তাপমাত্রায় দ্রাব্যতা গুণফল 4.5×10^{-22} হলে এটির দ্রাব্যতা gL^{-1} একক ও mol L^{-1} এককে বের করো। ৪

৩৫। দুটি যৌগ A ও B এর জলীয় দ্রবণ $K_4[Fe(CN)_6]$ দ্রবণের সাথে যথাক্রমে গাঢ় নীল ও বাদামি বর্ণের অধঃক্ষেপ দেয়। A যৌগটি শিখা পরীক্ষায় কোনো বর্ণ সৃষ্টি না করলেও B যৌগটি নীলাভ সবুজ বর্ণ সৃষ্টি করে। [চ. বো. ২০১৬]

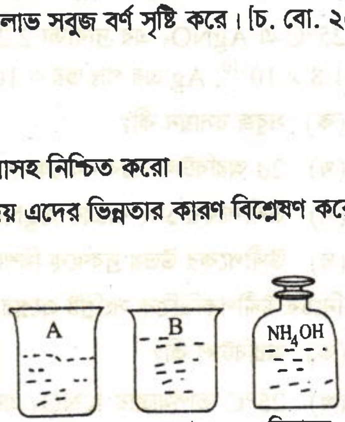
(ক) অরবিটাল কী? ১

(খ) K_c এর মান শূন্য বা অসীম হতে পারে না কেন? ২

(গ) উদ্দীপকের B যৌগটিতে কোন ক্যাটায়ন উপস্থিত আছে, তা বিক্রিয়াসহ নিশ্চিত করো। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের A ও B যৌগের ক্যাটায়ন নিশ্চিত করো। শিখা পরীক্ষায় এদের ভিন্নতার কারণ বিশ্লেষণ করো। ৪

৩৬। নিচের ব্যবহারিক রসায়নভিত্তিক উদ্দীপক মতে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।



দ্রবণ দ্রবণ বিকারক

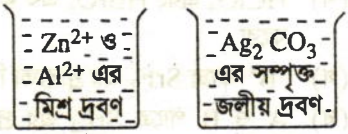
(ক) হুন্ডের নিয়ম কী? ১

(খ) তোমার রান্নাঘরে ব্যবহৃত মাইক্রোওভেনটি 1.20 cm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তাপশক্তি বিকিরণ করে। ঐ বিকিরণের একটি ফোটনের শক্তি কত হবে? ২

(গ) উদ্দীপকের A দ্রবণটির (A^{2+}) ক্যাটায়নে $3s^23p^63d^9$ ইলেকট্রন বিন্যাস আছে। এ দ্রবণটিতে উদ্দীপকের বিকারক যোগ করলে কী পরিবর্তন লক্ষ্য করবে তা সমীকরণসহ লেখ। এ ক্যাটায়নের একটি নিশ্চিতকরণ পরীক্ষা লেখ। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের B দ্রবণটিতে 26 পারমাণবিক সংখ্যাবিশিষ্ট ধাতুর ক্যাটায়ন আছে। ঐ ধাতুটির দু'প্রকার ক্যাটায়ন সম্ভব। তুমি উদ্দীপকের বিকারক ব্যবহার করে ঐ ধাতুর উভয় ক্যাটায়নের শনাক্তকরণ কীভাবে নিশ্চিত করবে তা সমীকরণসহ লেখ। ৪

৩৭। উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [ঢা. বো. ২০২১]



১ম পাত্র ২য় পাত্র

$Zn(OH)_2$, $Al(OH)_3$ এবং Ag_2CO_3 এর K_{sp} যথাক্রমে 3.0×10^{-17}, 3.0×10^{-34} এবং 8.5×10^{-12}

(ক) ক্ষারের বিয়োজন ধ্রুবক K_b কী? ১

(খ) তরল ইথানয়িক এসিড পলিমার গঠন করে; ব্যাখ্যা করো। ২

(গ) ২য় পাত্রে Ag^+ আয়নের ঘনমাত্রা হিসাব করো। ৩

(ঘ) ১ম পাত্রের দ্রবণে NH_4Cl এর উপস্থিতিতে NH_4OH যোগ কোন্ আয়নটি আগে অধঃক্ষিপ্ত হবে? বিশ্লেষণ করো। ৪

৩৮। $[_{30}M(NH_3)_4]^{2+}$ এ উদ্দীপক মতে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [সি. বো. ২০১৫]

(ক) সাম্যধ্রুবক কী? ১

(খ) প্রভাবক কীভাবে বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি করে? ২

(গ) M এর শনাক্তকরণ পরীক্ষাটি সমীকরণসহ লেখ। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের জটিল আয়নের দ্রবণের বর্ণের প্রকৃতি বিশ্লেষণ করো। ৪

৩৯। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও। [য. বো. ২০১৭]

উদ্দীপক : A [K_2HgI_4 দ্রবণ] + B [KOH দ্রবণ] $X_2SO_4(aq) + (A + B) \rightarrow$ বাদামি অধঃক্ষেপ

(ক) প্রতিনিধি মৌল কী? ১

(খ) সালফিউরিক এসিডপূর্ণ বিকারক বোতল কাঠের তৈরি শেলফে রাখা হয় না কেন? ২

(গ) X^+ আয়নটি বিক্রিয়াসহ শনাক্ত করো। ৩

(ঘ) B দ্রবণের পরিবর্তে $Ba(OH)_2$ ব্যবহার করলে X^+ আয়নটি শনাক্তকরণের জটিলতা যুক্তিসহ বিশ্লেষণ করো। ৪
[সংকেত : সমাধানকৃত সমস্যা-২.৭০ দেখো।]