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 খাদ্যলবণ থেকে বিশুদ্ধ লবণের কেলাস তৈরি করতে পারবে।
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 খ্রিস্টাব্দে 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 খ্রিস্টাব্দ পর্যন্ত বিভিন্ন বিজ্ঞানী পরমাণুর ওপর বিভিন্ন পরীক্ষা-নিরীক্ষার পর প্রাপ্ত তথ্য থেকে পরমাণুর গঠন সম্বন্ধে যে যুক্তিনির্ভর মতবাদ উপস্থাপন করেন, তা পরমাণু মডেল নামে পরিচিত। এখানে তিনটি প্রধান পরমাণু মডেল সম্বন্ধে আলোচনা করা হলো:

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

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

২.১.১ রাদারফোর্ডের আল্‌ফা (α) কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষা : নিউক্লিয়াস আবিষ্কার
Rutherford's α Particle Scattering Experiment : Nucleus discovery

ইলেকট্রন আবিষ্কারের পর পরমাণুর গঠন সম্পর্কে বিজ্ঞানী থমসন প্রস্তাবিত (1898 খ্রি:) plum-pudding পরমাণু মডেল সম্বন্ধে নিশ্চিত প্রমাণ লাভের উদ্দেশ্যে ১৯১১ খ্রিস্টাব্দে 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; সেটিই α-কণা। অবশ্য α-কণার প্রচণ্ড গতি থাকে। α-কণাতে দুটি প্রোটন ও দুটি নিউট্রন থাকে ($_2^4He^{2+}$)। তাই α-কণার ভর সংখ্যা হয় 4।

রাদারফোর্ডের পরীক্ষায় ব্যবহৃত উপকরণ :

(১) তেজস্ক্রিয় মৌল থেকে নির্গত α-কণা, (২) পাতলা সোনার পাত (0.0004 cm পুরু), (৩) জিংক সালফাইড (ZnS) আবরণযুক্ত পর্দা।

রাদারফোর্ডের পরীক্ষার বর্ণনা : বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড প্রচণ্ড শক্তিসম্পন্ন আলফা কণাসমূহকে একটি পাতলা সোনার পাতের (0.0004 cm) ওপর টার্গেট বা নিক্ষেপ করেন। সোনার পাতের পেছনে জিংক সালফাইড (ZnS) আবরণযুক্ত একটি গোলাকার পর্দা রাখেন। ZnS আবরণীর ওপর পতিত α-কণা আলোকচ্ছটা সৃষ্টি করে।

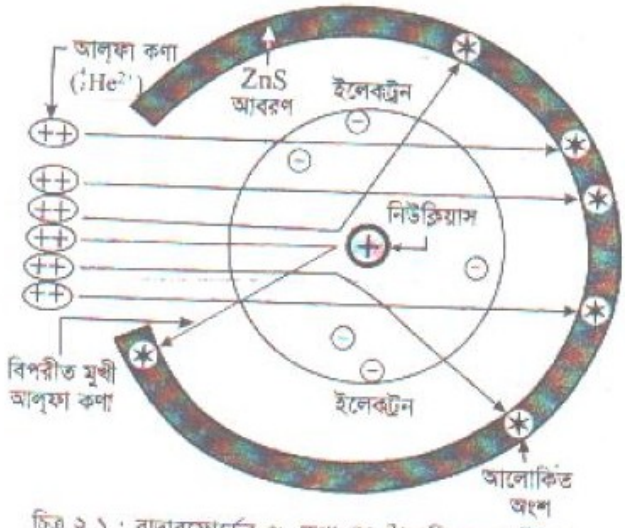
পর্যবেক্ষণ : তিনি লক্ষ করেন যে, (১) প্রায় 99% আলফা কণাই এ সোনার পাত ভেদ করে সোজাসুজি চলে যায় এবং ZnS পর্দাকে আলোকচ্ছটায় দীপ্তিমান বা আলোকিত করে।

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

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

সিদ্ধান্ত : এ পরীক্ষা থেকে রাদারফোর্ড নিম্নোক্ত সিদ্ধান্ত গ্রহণ করেন :

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



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

(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 চার্জ যুক্ত।]

(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 ছোট। এ আকারগত সম্পর্ক হলো পরমাণুটি এর নিউক্লিয়াস থেকে ১০ হাজার থেকে ১ লক্ষ গুণ বড়।

চিন্তা কর : ১। রাদারফোর্ড তাঁর পরীক্ষায় আলফা (α) কণাও ZnS ব্যবহার করলেন কেন?
২। আলফা (α) কণার বৈশিষ্ট্য কী? আলফা কণার উৎস কী?

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 খ্রিস্টাব্দে রাদারফোর্ড প্রদত্ত **পরমাণু মডেলটির প্রস্তাবনাসমূহ নিম্নরূপ :**

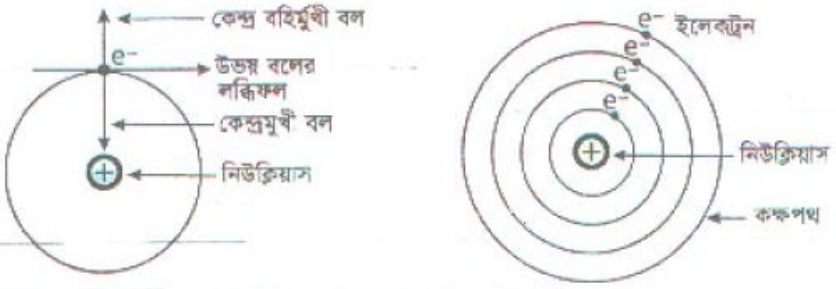
(১) গোলাকার পরমাণুর কেন্দ্রস্থলে একটি ধনাত্মক চার্জবিশিষ্ট ভারী বস্তু বিদ্যমান। এই ভারী বস্তুকে পরমাণুর কেন্দ্র বা নিউক্লিয়াস বলা হয়। পরমাণুর মোট আয়তনের তুলনায় নিউক্লিয়াসের আয়তন অতি নগণ্য। নিউক্লিয়াসে পরমাণুর সমস্ত ধনাত্মক চার্জ ও প্রায় সমস্ত ভর কেন্দ্রীভূত।

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

(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 সমভার করে (counter-balanced)।

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



চিত্র ২.২ : রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল।

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

রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলের প্রধান দিক যেমন পরমাণুর একটি নিউক্লিয়াস ও নিউক্লিয়াস বহির্ভূত ইলেক্ট্রন 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 বর্ণালী সম্বন্ধে কোনো সুষ্ঠু ব্যাখ্যা এ মডেল দিতে পারে না। যেমন শক্তি বিকিরণ অবিচ্ছিন্নভাবে ঘটে; তাই পরমাণুর বর্ণালীতে সৃষ্ট রেখাসমূহ অবিচ্ছিন্ন হওয়া স্বাভাবিক। কিন্তু বর্ণালীতে সৃষ্ট রেখাসমূহ বিচ্ছিন্ন ও বেশ উজ্জ্বল হয়।

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

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

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

শিক্ষার্থীর কাজ :

প্রশ্ন-২.১। প্রত্যেক পরমাণুর কেন্দ্র ধনাত্মক চার্জযুক্ত নিউক্লিয়াস দ্বারা গঠিত তা প্রমাণ কর। [ঢা. বো. ২০১৫]

২.১.৩ বোর পরমাণু মডেল

Bohr's Atom Model

পদার্থবিজ্ঞানী ম্যাক্স প্লাঙ্কের ও আইনস্টাইনের সমন্বিত আলো সম্পর্কীয় বিকিরণ কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুসরণ করে ডেনমার্কের পদার্থবিজ্ঞানী নীল্‌স বোর (Neils Bohr) 1913 খ্রিস্টাব্দে রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলের কিছু ত্রুটি দূর করেন। যেমন ম্যাক্সওয়েলের তত্ত্বভিত্তিক ত্রুটি, ইলেকট্রনের কক্ষপথের আকারভিত্তিক ত্রুটি এবং H পরমাণুর পারমাণবিক বর্ণালী সৃষ্টির যথার্থ ব্যাখ্যা সহকারে তাঁর বিখ্যাত পরমাণু মডেল প্রকাশ করেন। তখন নীল্‌স বোর রাদারফোর্ডের পরীক্ষাগারে কাজ করতেন।

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। এই কক্ষপথসমূহকে স্থির কক্ষপথ (stationary orbits) বা **শক্তিস্তর বা অরবিট** বলা হয়।

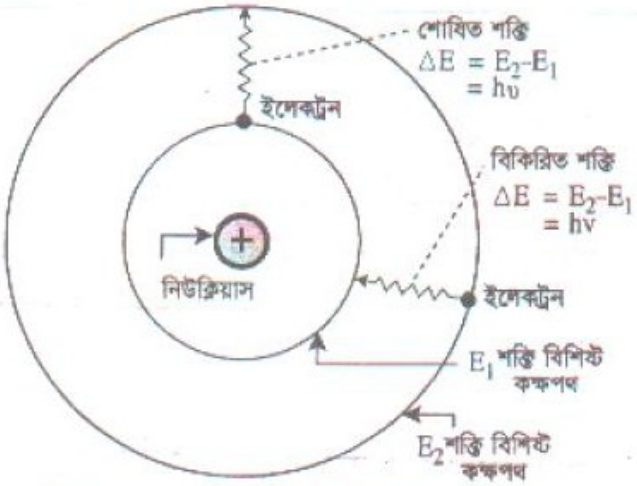
(২) ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগের ধারণা : প্রতিটি নির্দিষ্ট কক্ষপথ বা শক্তিস্তরে আবর্তনরত ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ নির্দিষ্ট এবং তা $\frac{h}{2\pi}$ এর অখণ্ড বা পূর্ণ সংখ্যার গুণিতক হবে।

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

এখানে m = ইলেকট্রনের ভর, v = ইলেকট্রনের সরলরৈখিক গতিবেগ, r = কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, vr = 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 বর্ণালী সৃষ্টির ধারণা : যখন কোনো ইলেকট্রন একটি কক্ষপথ বা শক্তিস্তর হতে অন্য শক্তিস্তর বা কক্ষপথে লাফিয়ে চলে, তখন ঐ ইলেকট্রন দ্বারা নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তি শোষিত বা বিকিরিত হয়। যখন নিম্ন শক্তিস্তর হতে উচ্চ শক্তিস্তরে লাফিয়ে চলে তখন শক্তির শোষণ এবং যখন উচ্চ শক্তিস্তর হতে নিম্ন শক্তিস্তরে লাফিয়ে চলে, তখন **শক্তির বিকিরণ** ঘটে। যদি প্রথম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি E_1 এবং দ্বিতীয় কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি E_2 হয়, তবে **বিকিরিত শক্তি হবে** $\Delta E = (E_2 - E_1)$। এ শক্তি বিদ্যুৎ চুম্বকীয় বিকিরণ হিসেবে নির্গত হবে। প্লাঙ্কের সূত্রানুসারে সে বিকিরণের পরিমাণ ও স্পন্দন-সংখ্যা υ (নিউ) নিম্নের সমীকরণ দ্বারা নির্ধারিত হবে :



চিত্র ২.৪ : বোরের পরমাণু মডেল ও রেখা বর্ণালীর উৎস।

$\Delta E = (E_2 - E_1) = h\upsilon$ ..... (২)

অর্থাৎ সৃষ্ট পারমাণবিক বর্ণালীতে υ ('নিউ') স্পন্দন সংখ্যাবিশিষ্ট একটি রেখা দেখা যাবে।

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

বোর পরমাণু মডেলের সীমাবদ্ধতাগুলো নিম্নরূপ :

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

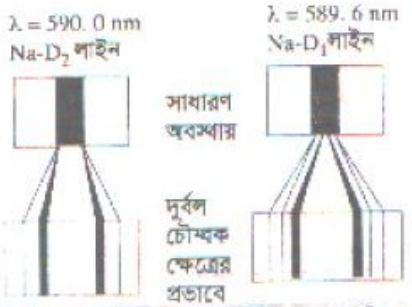
(২) এক শক্তিস্তর হতে অপর শক্তি স্তরে ইলেকট্রনের স্থানান্তর ঘটলে, বোর পরমাণু মডেল অনুসারে একটি রেখা বর্ণালী সৃষ্টি হওয়ার কথা। উচ্চ ক্ষমতার স্পেকট্রোস্কোপ দ্বারা পরীক্ষণ করলে দেখা যায়, প্রতিটি বর্ণালী রেখা কয়েকটি সূক্ষ্ম রেখা দিয়ে গঠিত। বোর মডেল এসব সূক্ষ্ম রেখার উৎপত্তির কারণ ব্যাখ্যা করতে পারে না।

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

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

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

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



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

বোর পরমাণু মডেলের সাফল্য (Achievements of Bohr's Atom Model)

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

(২) বর্ণালীর ব্যাখ্যা : বোর পরমাণু মডেল H পরমাণুর রেখা বর্ণালীর 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 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।

চিন্তা কর : ১। বোর মডেলে স্থির কক্ষপথ দ্বারা কী বোঝায়? এতে ইলেকট্রন স্থির অবস্থায় থাকে কী?
২। ইলেকট্রন শক্তি বিকিরণ করে নিম্ন শক্তিস্তরে আসতে পারলেও নিউক্লিয়াসে পতিত হয়

২.১.৪ রাদারফোর্ড পরমাণু মডেল ও বোর পরমাণু মডেলের মধ্যে তুলনা
Comparison between Rutherford's Atom Model and Bohr's Atom Model

(ক) উভয় পরমাণু মডেলের উপস্থাপনের মূল ধারণা :

১। রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলের ভিত্তি হলো রাদারফোর্ড কর্তৃক সম্পাদিত আলফা (α) কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষার পর্যবেক্ষণ নির্ভর সিদ্ধান্তসমূহ ও সৌরজগতের বিন্যাস প্রকরণ। অপরদিকে, বোর পরমাণু মডেলের ভিত্তি হলো রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলের পরমাণুর কেন্দ্রস্থ নিউক্লিয়াস ও নিউক্লিয়াস বহির্ভূত ইলেক্ট্রন অঞ্চলের সাথে ম্যাক্স প্লাঙ্ক ও আইনস্টাইনের আলোক সম্পর্কীয় বিকিরণের কোয়ান্টাম তত্ত্বের সমন্বয়।

২। রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলে ইলেকট্রনের কক্ষপথের আকার ও সংখ্যাকে সুস্পষ্ট করা হয়নি। এতে শুধু বলা হয়েছে নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে যে কোনো ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার কক্ষপথে ইলেকট্রনগুলো গ্রহের মতো আবর্তন করতে পারে। অপরদিকে, বোর পরমাণুতে প্রতিটি ইলেকট্রন কয়েকটি নির্দিষ্ট মানের ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার স্থায়ী কক্ষপথে নিউক্লিয়াসকে আবর্তন করে থাকে। এ সব নির্দিষ্ট ও স্থায়ী কক্ষপথগুলো নির্দিষ্ট বিভিন্ন মানের শক্তিযুক্ত এবং **এসব স্থায়ী কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনও সমশক্তি সম্পন্ন হয়ে থাকে।**

৩। 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। 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। এর পর 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 বর্ণালী সম্বন্ধে কোনো ধারণা দেয়া হয়নি। কিন্তু বোর পরমাণু মডেলে বর্ণালী সৃষ্টির সুস্পষ্ট ধারণা দেয়া হয়েছে। বোর পরমাণু মডেলের স্বীকার্য মতে, ইলেকট্রন তাপ শক্তি শোষণ করে উদ্দীপিত অবস্থায় নিম্নশক্তি স্তর (E_1) হতে উচ্চ শক্তিস্তরে (E_2) লাফিয়ে চলে এবং পরে ঐ শোষিত শক্তি বিকিরণ করে পূর্বের নিম্ন শক্তিস্তরে লাফিয়ে চলে আসে। এরূপে **শক্তির শোষণ ও বিকিরণের ফলে যথাক্রমে কালো বর্ণের শোষণ বর্ণালী ও উজ্জ্বল বর্ণের বিচ্ছুরণ বর্ণালী সৃষ্টি করে।** তখন বিকিরিত শক্তি হবে $\Delta E = (E_2 - E_1)$। প্লাঙ্কের সমীকরণ মতে, সে বিকিরণের স্পন্দন সংখ্যা υ হলে, তখন $\Delta E = (E_2 - E_1) = h\upsilon$ হয়। অর্থাৎ সৃষ্ট পারমাণবিক বর্ণালীতে υ (নিউ) স্পন্দন সংখ্যাবিশিষ্ট একটি রেখা দেখা যাবে [চিত্র ২.৬]।

চিত্র ২.৬ : হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালী

MCQ-2.1 : বোর পরমাণু মডেলের সাফল্য হলো—

(i) স্থির শক্তির অরবিটের ধারণা।
(ii) এক ইলেকট্রনবিশিষ্ট পরমাণু বা আয়নের বর্ণালী সৃষ্টির সুষ্ঠু ব্যাখ্যা।
(iii) H-পরমাণুর ব্যাসার্ধ নির্ণয়।
কোনটি সঠিক হবে?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii
(গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

৪। বোর পরমাণু মডেলে কেবল এক ইলেকট্রন বিশিষ্ট H-পরমাণুর রেখা বর্ণালীর সুষ্ঠু ব্যাখ্যা দেয়া সম্ভব হয়েছে। বহু ইলেকট্রন বিশিষ্ট পরমাণুর সৃষ্ট বর্ণালীর ব্যাখ্যা দিতে পারে না। কারণ এক্ষেত্রে অতিরিক্ত নিউক্লিয়াস-ইলেকট্রন মধ্যস্থ আকর্ষণ বল এবং ইলেকট্রন-ইলেকট্রন মধ্যস্থ বিকর্ষণ বল কার্যকর থাকে। **H-বর্ণালীর বিভিন্ন রেখার তরঙ্গ সংখ্যা (ῡ) নিম্নোক্ত রিডবার্গ সমীকরণ হতে পাওয়া যায়।**

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\upsilon} = R_H \times \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) m^{-1};\ \text{এখানে } R_H = 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1}$$

বিভিন্ন বিজ্ঞানী H-এর রেখা বর্ণালীর চিত্র বিভিন্ন শক্তিস্তর হতে আবিষ্কার করেন। উপরোক্ত H এর পারমাণবিক বর্ণালীতে [চিত্র ২.৬ এবং চিত্র ২.১৬] বিভিন্ন বিজ্ঞানীর নামানুসারে H-এর রেখা বর্ণালীর সিরিজ দেখানো হলো :

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

ইলেকট্রন উচ্চ শক্তিস্তর, $n_2 = 3, 4, 5, 6, 7$ থেকে $n_1 = 2$ নিম্ন শক্তিস্তরে আসলে বামার সিরিজ সৃষ্টি হয়।

ইলেকট্রন উচ্চ শক্তিস্তর, $n_2 = 4, 5, 6, 7$ থেকে $n_1 = 3$ নিম্ন শক্তিস্তরে আসলে প্যাশ্চেন সিরিজ সৃষ্টি হয়।

ইলেকট্রন উচ্চ শক্তিস্তর, $n_2 = 5, 6, 7$ থেকে $n_1 = 4$ নিম্ন শক্তিস্তরে আসলে ব্রাকেট সিরিজ সৃষ্টি হয়।

ইলেকট্রন উচ্চ শক্তিস্তর, $n_2 = 6, 7$ থেকে $n_1 = 5$ নিম্ন শক্তিস্তরে আসলে ফুন্ড সিরিজ সৃষ্টি হয়।

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

শিক্ষার্থীর কাজ :
প্রশ্ন-২.২ : রাদারফোর্ড পরমাণু মডেল ও বোর পরমাণু মডেলের সফলতার ও বিফলতার তুলনা কর।
প্রশ্ন-২.৩ : বোর পরমাণু মডেলের গ্রহণযোগ্যতার সপক্ষে যুক্তি দেখাও। [ঢা. বো. ২০১৫]

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

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

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

$\therefore$ কৌণিক ভরবেগ $mvr = \frac{nh}{2\pi}$

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

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

সমাধারণকৃত সমস্যা-২.২ : কোনো পরমাণুর M কক্ষপথে আবর্তনরত একটি ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ বের কর। ঐ কক্ষপথের ব্যাসার্ধ 3.6×10^{-8} cm হলে আবর্তনরত ইলেকট্রনটির গতিবেগ কত হবে?

[ইলেকট্রনের ভর $e_m = 9.11 \times 10^{-28}$g]

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

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

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

$= 3.162 \times 10^{-34}\ J.s$

ইলেকট্রনের গতিবেগ নির্ণয় :

$mvr = 3.162 \times 10^{-34}\ J.s$

$\therefore v = \frac{3.162 \times 10^{-34}\ J.s}{mr}$

$= \frac{3.162 \times 10^{-34}\ (kgm^2s^{-2}).s}{9.11 \times 10^{-31} kg \times 3.6 \times 10^{-10}\ m}$

$= 9.6414 \times 10^5 ms^{-1}$

এক্ষেত্রে শক্তিস্তর, $n = M = 3$

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

ধ্রুবক = $\pi = \frac{22}{7}$

ইলেকট্রনের ভর, $e_m = 9.11 \times 10^{-28}$ 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, $v = ?$

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

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

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

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

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

$= 3.99 = 4$ (পূর্ণ সংখ্যায়)

এক্ষেত্রে

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

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

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

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

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

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

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

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

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪ : হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনের ৩য় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ 8.45×10^{-10} m হলে ঐ কক্ষপথে ইলেকট্রনের বেগ গণনা কর। (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^2s^{-1}) [$\because$ 1J = kg m^2s^{-2}]

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

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

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৫ : হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনের দুটি ভিন্ন শক্তিস্তরের পার্থক্য 245.9 kJ mol^{-1} হলে তখন উচ্চতর শক্তিস্তর থেকে নিম্নতর শক্তিস্তরে ইলেকট্রন লাফিয়ে পড়লে বিকিরিত আলোক রশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ও ফ্রিক্যুয়েন্সি কত হবে?

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

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

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

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

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

শিক্ষার্থীর কাজ : (ক) বিভিন্ন সমস্যা : বোর পরমাণু মডেলভিত্তিক :

সমস্যা-২.১ : কোনো একটি ফোটনের শক্তি (E) = 1eV বা 1.602×10^{-19} J হলে ঐ ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে। [$E = h\upsilon = h \times c/\lambda$J; [উ: 1241 nm]

সমস্যা-২.২ : কোনো ইলেকট্রনের দুটি শক্তিস্তরের পার্থক্য 399.1 kJ mol^{-1}. ঐ ইলেকট্রনের বিকিরিত শক্তির তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও ফ্রিক্যুয়েন্সি কত হবে? ($h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s) [উ: $\lambda = 300$ nm; $\upsilon = 1.0 \times 10^{15}$ 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; 1 erg = 10^{-7} J)

[উ: $5.3788 \times 10^{14}\ s^{-1}$]

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

[উ: $\upsilon = 5.282 \times 10^{14} s^{-1}$ 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)। [উ: 4.96×10^{-25} $kgms^{-1}$; $\upsilon = 5.445 \times 10^{5}$ ms^{-1}]

সমস্যা ২.৪(ক) : কোনো পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরের ব্যাসার্ধ 3.6×10^{-8}cm হলে ঐ শক্তিস্তরে ঘূর্ণনরত একটি ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ ও গতিবেগ বের কর। [ইলেকট্রনের ভর, $e_m = 9.11 \times 10^{-24}$g]

[উ : কৌণিক ভরবেগ = 3.162×10^{-34} J.s $v = 9.6414 \times 10^{5}$ 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, $e_m = 9.11 \times 10^{-28}$g]

[উ : 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 কর।

[উ: তৃতীয় শক্তিস্তর, n = 3]

২.২ পরমাণুর গঠন সম্পর্কে তরঙ্গ বলবিদ্যা ও স্রডিঞ্জারের 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 তার পরমাণু মডেলে ইলেকট্রনকে কণা হিসেবে বর্ণনা করেছেন। কিন্তু 1924 খ্রিস্টাব্দে 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 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী ই, শ্রোডিঞ্জার (Erwir Schrodinger) আরও সংশোধিত ও পরিবর্তিত করেন। শ্রোডিঞ্জার গতিশীল ইলেকট্রনকে নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট তরঙ্গ হিসেবে গণ্য করে তার বিখ্যাত ত্রিমাত্রিক তরঙ্গ বলবিদ্যার সমীকরণটি উপস্থাপন করেন; যা কোয়ান্টম 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 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী লুই ডি ব্রগলি (Louis de Broglie) মত প্রকাশ করেন যে, ইলেকট্রনের কণা ও তরঙ্গ উভয় ধর্ম আছে। কোয়ান্টাম তত্ত্বের প্লাঙ্কের সমীকরণ অনুসারে একটি ফোটনের শক্তি, $E = h\nu$। অপরদিকে আইনস্টাইনের বস্তুকণার ভর ও শক্তির সমতুল্যতা অনুসারে,

$E = mc^2$, এখানে m হলো কণার ভর।

E = ফোটনের শক্তি; c = আলোর গতি।

উভয় সম্পর্ক থেকে আমরা পাই,

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

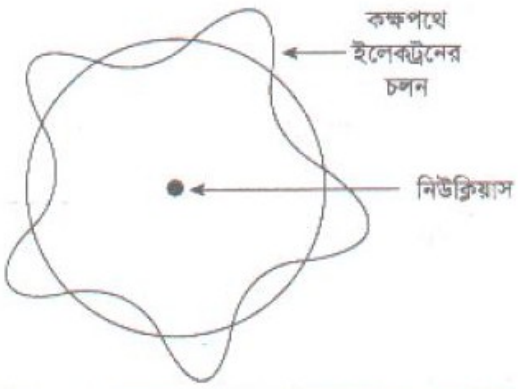
উভয় দিক থেকে c বাদ দিয়ে পাই, $mc = \frac{h}{\lambda}$

যেহেতু ফোটনের ভর = m এবং সরল গতিবেগ = c

সুতরাং mc = ফোটনের ভরবেগ।

$$\therefore \text{ফোটনের ভরবেগ } mc = \frac{h}{\lambda} \qquad \ldots \quad (1)$$

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



চিত্র ২.৭: বৃত্তাকার পথে ইলেকট্রনের তরঙ্গরূপে আবর্তন।

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

সুতরাং এক্ষেত্রে উপরোক্ত (1) নং সমীকরণটি দাঁড়ায় নিম্নরূপ :

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

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

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

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

$$2\pi r = n\lambda = \frac{n \times h}{mc}; \quad \because \lambda = \frac{h}{mc}; \quad \therefore \quad mcr = \frac{n \times h}{2\pi}$$

এখানে mcr = আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ, যা $\frac{h}{2\pi}$ এর পূর্ণ সংখ্যার গুণীতক। এটিই প্রকৃতপক্ষে বোর মতবাদের অন্যতম স্বতঃসিদ্ধ; যখন ইলেকট্রনকে তরঙ্গরূপে গণ্য করা হয়। ইতোপূর্বে এর কোন ব্যাখ্যা দেয়া সম্ভব হয়নি।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৬। বোর মডেল পরমাণুতে একটি বোর ইলেকট্রন তৃতীয় শক্তিস্তর বা স্থির কক্ষপথে একটি পূর্ণ আবর্তন করতে কয়টি পূর্ণ তরঙ্গ সৃষ্টি করবে তা বের কর।

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

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

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

(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,

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

$\therefore$ ৩য় কক্ষপথের পরিধি $= 3\lambda$

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 কোন গতিশীল কণার অবস্থান নির্ভুলভাবে নির্ণয় করা যায়, তখন এর ভরবেগ নির্ণয় অনিশ্চিত হয়ে পড়ে। আবার ঐ কণার ভরবেগ নির্ভুলভাবে নির্ণয় করা সম্ভব হলে, তখন এর অবস্থান নির্ণয় অনিশ্চিত হয়ে পড়ে।

একই সময়ে ইলেকট্রনের অবস্থা 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। ১৯২৬ খ্রিস্টাব্দে হাইজেনবার্গ উভয়ের অনিশ্চয়তার সীমার মধ্যে একটি সম্পর্ক উদ্ভাবন করেন, যা হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি নামে পরিচিত। এ অনিশ্চয়তা নীতি অনুসারে যদি Δx এবং Δp একই সময়ে নির্ণীত ইলেকট্রনের যথাক্রমে অবস্থান জ্ঞাপক ও ভরবেগের পরিমাণের ভুলের মাত্রা হয়, তবে উভয় ভুলের মাত্রার গুণফল প্লাঙ্কের ধ্রুবক $\frac{h}{4\pi}$ এর মানের প্রায় সমান হবে। অর্থাৎ

$$\Delta x \times \Delta p \geq \frac{h}{4\pi} \text{ (ধ্রুবক)}$$

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 কোন গুরুত্ব থাকে না।

(ঘ) স্রডিঞ্জারের তরঙ্গ সমীকরণ

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 বর্ণালীর ব্যাখ্যা নিখুঁতভাবে দিতে পারে না। এ তিনটি বিষয়কে গণ্য করে ১৯২৬ খ্রিষ্টাব্দে স্রডিঞ্জার পরমাণুর তরঙ্গ বলবিদ্যা মডেল প্রস্তাব করেন। এ মডেলে স্রডিঞ্জার- (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 স্রডিঞ্জার একটি ত্রিমাত্রিক (x, y, z) তরঙ্গ গতীয় সমীকরণ উপস্থাপন করেন, যা **স্রডিঞ্জারের তরঙ্গ সমীকরণ** নামে পরিচিত :

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

এ দ্বিতীয় অন্তরক সমীকরণে (i) m = ইলেকট্রনের ভর, (ii) E = ইলেকট্রনের মোট শক্তি, (iii) u = ইলেকট্রনের স্থিতিশক্তি ($=\frac{Ze^2}{r}$), (iv) h = প্লাঙ্কের ধ্রুবক, (v) ψ (psi) = x, y, z ত্রিমাত্রিক জ্যামিতির তিনটি পরস্পর সমকোণেস্থিত অক্ষ।

ψ (psi) ও ψ^2 এর বৈশিষ্ট্য : (১) স্রডিঞ্জারের দ্বিতীয় অন্তরক সমীকরণ (second order differential equation) সমাধান করে E এর যে সব অর্থবহ নির্দিষ্ট মান পাওয়া যায়, এদেরকে **আইজেন মান** (Eigen values) বলা হয়। এ সব মান দ্বারা পরমাণুতে কতকগুলো নির্দিষ্ট **শক্তিস্তর বা অরবিটকে** বুঝায়। (২) পরমাণুর বেলায় E এর প্রত্যেকটি মানের সাথে সংশ্লিষ্ট ψ এরও কতকগুলো বিশেষ মান আছে। 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 কোন 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। কোন 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 কোন 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।

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) নীলস 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, $\lambda = \frac{h}{\text{ইলেকট্রনের ভরবেগ}\ (m\times v)}$, কক্ষপথ, $2\pi r = n\times\lambda = \frac{nh}{mv}$, ∴ কৌণিক ভরবেগ, $mvr = \frac{n\times h}{2\pi}$

(৪) বিজ্ঞানী শ্রোডিঞ্জার প্রদত্ত (১৯২৬ খ্রি.) তরঙ্গ বলবিদ্যার সমীকরণ; $\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{d^2\psi}{dy^2} + \frac{d^2\psi}{dz^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2}(E-u)\psi = 0$;

এখানে ψ (psi) = ইলেকট্রনের তরঙ্গ ফাংশন, m = ইলেকট্রনের ভর, h = প্লাঙ্কের ধ্রুবক, E = ইলেকট্রন কণার মোট শক্তি, u = ইলেকট্রন কণার স্থিতিশক্তি = ze^2.

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

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

২.২.২ কোয়ান্টাম সংখ্যাসমূহ, বিভিন্ন উপশক্তির ও ইলেকট্রন ধারণক্ষমতা
Quantum Numbers, Different Suborbits and their Electron Capacities

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

(১) প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা, n (Principal quantum number)
(২) অ্যাজিমুথাল বা সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা, *l* (Azimuthal or subsidiary quantum number)
(৩) চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা, *m* (Magnetic quantum number) ও
(৪) ঘূর্ণন কোয়ান্টাম সংখ্যা, s (Spin quantum number)।

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

(i) কক্ষপথের ব্যাসার্ধ বা নিউক্লিয়াসের দূরত্ব, $r_n = \left(\frac{h^2}{4\pi^2 m e^2}\right) \times \frac{n^2}{Z}$; H পরমাণুর বেলায় Z = 1, ধরে h, π, m ও e^- এর মান বসিয়ে nতম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ হয় :

$r_n = 0.5292 \times n^2 \times 10^{-10}$ m (or, Å, or 10^2 pm)

(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 বসিয়ে nতম কক্ষপথের শক্তি হয় :

$E_n = (-2.18 \times 10^{-18}\ J) \times \frac{Z^2}{n^2}$ । H-পরমাণুর ১ম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি, $E_1 = -2.18 \times 10^{-18}$ J এবং এক মোল H পরমাণুর জন্য $E_1 = -2.18 \times 10^{-18}\ J \times 6.022 \times 10^{23} = E_1 = -1312\ kJ\ mol^{-1}$.

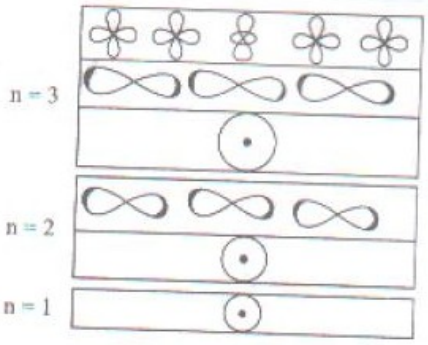
২য় কক্ষপথের বেলায়, $n = 2$, $E_2 = \left(\frac{-1312}{n^2}\right)\ kJ\ mol^{-1}$. বা, $E_2 = \left[\frac{-1312}{(2)^2}\right]\ kJ\ mol^{-1} = -328\ kJ\ mol^{-1}$

সুতরাং ২য় ও ১ম কক্ষপথের শক্তির পার্থক্য, $(E_2 - E_1) = (-328\ kJ\ mol^{-1}) - (-1312\ kJ\ mol^{-1}) = 984\ kJ\ mol^{-1}$.

২। অ্যাজিমুথাল বা সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা, l : পরমাণুতে ইলেকট্রন আবর্তনের জন্য প্রতিটি প্রধান শক্তিস্তর নির্দিষ্ট সংখ্যক উপশক্তিস্তরে বিভক্ত থাকে। একটি ইলেকট্রন প্রধান শক্তিস্তরের যে উপস্তর 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 সর্ব প্রথম 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।



Total orbitals in orbits

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

$l = 1$, p-subshell; m = –1, 0, 1 = 3

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

$l = 1$, p-subshell; m = –1, 0, 1 = 3

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

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

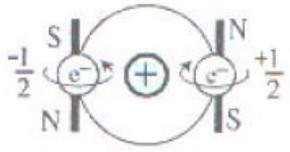
[**উপশক্তিস্তরের নামকরণের উৎস :** গ্রুপ-1 এর ক্ষার ধাতুসমূহের পারমাণবিক বর্ণালীতে 8 শ্রেণির রেখা বর্ণালী দেখা যায়। বিজ্ঞানীরা প্রাথমিক অবস্থায় তাদেরকে তীক্ষ্ণ বা sharp (s), প্রধান বা principal (p), পরিব্যাপ্ত বা diffused (d) ও মৌলিক বা fundamental (f) নামকরণ করে যথাক্রমে s, p, d, f প্রতীক দ্বারা এদের 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 চুম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয়। এ চুম্বক ক্ষেত্রের 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 যে কোনো মানের জন্য m এর $(2l+1)$ সংখ্যক মান আছে। m এর মোট মান দ্বারা উপশক্তিস্তরে মোট অরবিটাল সংখ্যা বোঝায়।

উপশক্তিস্তর, s এর জন্য $l = 0$; $m = 0$	∴ s উপশক্তিস্তরে ১টি অরবিটাল।
উপশক্তিস্তর, p এর জন্য $l = 1$; $m = 1, 0, -1$	∴ p উপশক্তিস্তরে ৩টি অরবিটাল।
উপশক্তিস্তর, d এর জন্য $l = 2$; $m = 2, 1\ 0, -1\ -2$	∴ d উপশক্তিস্তরে ৫টি অরবিটাল।
উপশক্তিস্তর, f এর জন্য $l = 3$; $m = 3, 2, 1, 0, -1, -2, -3$	∴ f উপশক্তিস্তরে ৭টি অরবিটাল।

যে কোনো উপশক্তিস্তরে মোট অরবিটাল সংখ্যা = $(2l + 1)$। যে কোনো উপশক্তিস্তরের সর্বোচ্চ ইলেকট্রন ধারণক্ষমতা = $2(2l + 1)$, এখানে $l = 0, 1, 2, 3$ ইত্যাদি। আবার 'n' এর যে কোনো মানের জন্য মোট অরবিটাল সংখ্যা হয় n^2, যেমন $n = 1$ হলে মোট অরবিটাল = $1^2 = 1$; $n = 2$ হলে মোট অরবিটাল = $2^2 = 4$টি।

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 চুম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। ইলেকট্রনের স্পিন বর্ণনার জন্য যে কোয়ান্টাম সংখ্যা ব্যবহৃত হয়, একে স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যা বলে। এর প্রতীক s বা m_s। ইলেক্ট্রনের ঘূর্ণনের দিক ঘড়ির কাঁটার আবর্তনের দিকে অথবা বিপরীত দিকে হতে পারে। তাই এ দু'রকম ঘূর্ণনের জন্য s এর দুটি মান যথাক্রমে $+\frac{1}{2}$ অথবা $-\frac{1}{2}$ হতে পারে। এ s এর মানের ওপরও ইলেকট্রনের শক্তি কিছু পরিমাণে নির্ভরশীল। সাধারণ নিয়ম হলো প্রতিটি অরবিটাল বিপরীত স্পিনের (↑↓) ভিন্নমান $\left(\pm\frac{1}{2}\right)$ মানযুক্ত দুটি ইলেকট্রন আবর্তন করতে পারে। [এর পক্ষে বিজ্ঞানের প্রমাণ হলো, অসম চুম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে H-পরমাণুর একটি সূক্ষ্ম ধারা দুটি সূক্ষ্ম ধারায় বিভক্ত হয়ে একটি চুম্বক ক্ষেত্রের N-মেরু দ্বারা আকৃষ্ট হয় এবং দ্বিতীয় ধারাটি বিকর্ষিত হয়। এতে প্রমাণিত হয় একক ইলেকট্রনবিশিষ্ট H–পরমাণুসমূহে দুটি পৃথক স্পিনযুক্ত ইলেকট্রন বিপরীত সূক্ষ্ম চুম্বক ক্ষেত্র 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 চুম্বক ক্ষেত্র 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 ইলেকট্রন সংখ্যা
১ম কক্ষপথ	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 2টি ইলেকট্রন $= 1s^2$
২য় কক্ষপথ	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 $= 2s^2$	∴ ২য় কক্ষপথে $(2 + 6) = 8$টি ইলেকট্রন $= 2s^2\ 2p^6$
		$l = 1$	2p অরবিটাল	$l = 1$ হলে m = 1, 0, −1 এ তিনটি মান হয়	∴ 2p অরবিটাল হয় 3টি	3টি 2p অরবিটালের প্রতিটিতে $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ স্পিনের দুটি করে $3 \times 2 = 6$টি ইলেকট্রন থাকে	6 $= 2p^6$	
৩য় কক্ষপথ	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 $= 3s^2$	∴ ৩য় কক্ষপথে $(2 + 6 + 10) = 18$টি ইলেকট্রন $= 3s^2\ 3p^6\ 3d^{10}$
		$l = 1$	3p অরবিটাল	$l = 1$ হলে m = 1, 0, −1 এ তিনটি মান হয়	∴ 3p অরবিটাল হয় 3টি	3টি 3p অরবিটালের প্রতিটিতে $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ স্পিনের দুটি করে $3 \times 2 = 6$ টি ইলেকট্রন থাকে	6 $= 3p^6$	
		$l = 2$	3d অরবিটাল	l = 2 হলে m = 2, 1, 0, −1, −2 এ পাঁচটি মান হয়	∴ 3d অরবিটাল হয় 5টি	5টি 3d অরবিটালের প্রতিটিতে $+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ স্পিনের দুটি করে $5 \times 2 = 10$ টি ইলেকট্রন থাকে	10 $= 3d^{10}$	

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 কক্ষপথের 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 = কক্ষপথ 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 বর্ণালীর প্রধান বর্ণালী 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 ইলেকট্রন বিশিষ্ট 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 বর্ণালীতে 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 :** চুম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে রেখা বর্ণালীর 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 উর্ধমুখী ও নিম্নমুখী তীর চিহ্ন (↑ ও ↓) ব্যবহৃত হয়। **বৈশিষ্ট্য :** স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যা ইলেকট্রনের নিজস্ব অক্ষ বরাবর ঘূর্ণন প্রকাশক রাশি।

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

সংক্ষেপে চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মানের সম্পর্ক ও তাৎপর্য

আবিষ্কারক	কোয়ান্টাম সংখ্যা	মান	তাৎপর্য
বোর	প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা (n)	n = 1, 2..... ইত্যাদি।	প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যার সাহায্যে প্রধান শক্তিস্তরের আকার সম্পর্কে অবগত হওয়া যায়।
সোমারফিল্ড	সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যা (n)	n এর যে কোনো মানের জন্য l এর মান 0 থেকে (n – l) পর্যন্ত হতে পারে।	ইলেকট্রন যে উপকক্ষে ঘুরছে তার আকৃতি সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যার (l) সাহায্যে জানা যায়।
জীম্যান	চৌম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা (m)	l এর যে কানো মানের জন্য m এ মান 0 সহ + l থেকে $-l$ পর্যন্ত হয়।	এই কোয়ান্টাম সংখ্যার সাহায্যে ইলেকট্রনটি যে উপকক্ষে রয়েছে সে উপকক্ষটি ত্রিমাত্রিকভাবে কিরূপে 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
Atom and Its Fundamental Particles

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

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

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

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

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

RU07

কম্পোজিট কণিকা : স্থায়ী ও অস্থায়ী মূলকণিকা ছাড়াও আরো এক শ্রেণির ভারী কণা বিভিন্ন পরমাণু থেকে নির্গত হয়, এদেরকে যৌগিক কণা বা **কম্পোজিট কণিকা** বলে। যেমন আলফা (α) কণা ($_2^4He^{2+}$) ও ডিউটেরন কণা। JU 11

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

(১) আইসোটোপ : যে সব পরমাণুর নিউক্লিয়াসেব 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 ($_1^2H$) ও ট্রিটিয়াম ($_1^3H$)। অনুরূপভাবে $_6^{12}C$, $_6^{13}C$, $_6^{14}C$ আছে।

উল্লেখযোগ্য যে, (১) ভরের পার্থক্যের জন্য একই মৌলের আইসোটোপসমূহের মধ্যে রাসায়নিক ধর্মের কোন পার্থক্য দেখা যায় না। ভৌত ধর্মেরও কোন বিশেষ পার্থক্য দেখা যায় না। তবে কোন কোন ক্ষেত্রে তার পরিমাণগত পার্থক্য থাকতে পারে। (২) তবে ভারী আইসোটোপের স্ফুটনাঙ্ক বা গলনাঙ্ক একটু বেশি হবে, যা অনেকক্ষেত্রে উপেক্ষা করা যায়। (৩) পর্যায় সারণিতেও মৌলের অবস্থান দ্বারাই সেই মৌলের সব আইসোটোপের অবস্থান নিশ্চিত হয়। দু-একটি মৌল (যেমন Na, Au) বাদে প্রকৃতিতে প্রায় সব মৌলের একাধিক আইসোটোপ আছে। তাছাড়া বর্তমানে কৃত্রিমভাবে সব মৌলের বহু আইসোটোপ সৃষ্টি করা হয়েছে। এ পর্যন্ত প্রকৃতিতে প্রাপ্ত ও কৃত্রিমভাবে সৃষ্ট মৌলের সংখ্যা ১১৪; সর্বমোট আইসোটোপের সংখ্যা প্রায় ১৩০০। JU-10

(২) আইসাবার : যে সব পরমাণুর প্রোটন সংখ্যা অসমান (ভিন্ন মৌল); কিন্তু ভর সংখ্যা বা (p + n) সমান হয়; এদেরকে পরস্পরের **আইসোবার** বলে। আইসোবারসমূহ অবশ্যই ভিন্ন ভিন্ন মৌলের পরমাণু। যেমন কপারের আইসোটোপ $_{29}^{64}Cu$ এবং জিংকের আইসোটোপ $_{30}^{64}Zn$ হলো পরস্পরের আইসোবার। উভয় পরমাণুর নিউক্লিয়াসে মোট প্রোটন ও নিউট্রনের সংখ্যা হলো 64; কিন্তু তাদের প্রোটন সংখ্যা ভিন্ন। আইসোবার পরমাণুর ভৌত ও রাসায়নিক উভয় প্রকার ধর্ম ভিন্ন হয়। তদ্রূপ $_6^{14}C$ ও $_7^{14}N$ হলো পরস্পরের আইসোবার। JU-13 Eu-02

(৩) **আইসোটোন :** যে সব পরমাণুর নিউট্রন সংখ্যা (n) সমান; কিন্তু প্রোটন সংখ্যা (p) অসমান, এদেরকে **আইসোটোন** বলে। যেমন $_6^{14}C$ ও $_8^{16}O$ হলো পরস্পরের আইসোটোন। ** DU-13

তিনটি স্থায়ী মূল কণিকার বর্ণনা

(১) ইলেকট্রন (Electron), $_{-1}^{0}e$: ১৮৯৭ খ্রিস্টাব্দে স্যার জে. জে. থমসন (Sir. J. J. Thomson) ক্যাথোড রশ্মির উপর পরীক্ষার সময় ইলেকট্রনের অস্তিত্ব আবিষ্কার করেন। সব প্রকার পরমাণুতে কম-বেশি ইলেকট্রন বিদ্যমান। পদার্থের মধ্যে ইলেকট্রন সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্রতম কণা। (i) একটি ইলেকট্রনের ভর হচ্ছে $9{\cdot}1085 \times 10^{-28}$ g যা একটি প্রোটনের ভরের প্রায় $\frac{1}{1837}$ এর সমান। (ii) ইলেকট্রন ঋণাত্মক চার্জযুক্ত এবং ঋণাত্মক চার্জের পরিমাণ $-1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C (কুলম্ব)। এর চেয়ে কম চার্জ দেখা যায় না। তাই এই পরিমাণ চার্জকে **বৈদ্যুতিক ঋণাত্মক চার্জের একক** ধরা হয়। অর্থাৎ প্রতিটি ইলেকট্রনে এক একক ঋণাত্মক বৈদ্যুতিক চার্জ আছে। (iii) ইলেকট্রনকে 'e' প্রতীক দ্বারা বোঝানো হয়। (iv) ইলেকট্রন পরমাণুর নিউক্লিয়াসের বাইরে অবস্থান করে। Ju 13

(২) প্রোটন (Proton), $_1^1p$: ১৯১৯ খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড 'ইলেকট্রনের মত 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 $1{\cdot}673 \times 10^{-24}$ 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 $+1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C যা ধনাত্মক চার্জের এক একক। (iii) প্রোটনের প্রতীক হচ্ছে p। (iv) প্রোটন নিউক্লিয়াসে থাকে।

(৩) নিউট্রন (Neutron), ${}^{1}_{0}n$ ঃ ইলেকট্রন ও প্রোটনের মত নিউট্রনও একটি মৌলিক কণিকা। ১৯৩২ খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী জেমস চ্যাডউইক সর্বপ্রথম নিউট্রন সম্বন্ধে ধারণা দেন এবং সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে, **'হাইড্রোজেন–1 ব্যতীত অন্য যে কোন পরমাণুর অভ্যন্তরে নিউট্রন বিদ্যমান।'** (i) নিউট্রনের ভর $1{\cdot}675 \times 10^{-24}$ g যা ইলেকট্রনের ভরের 1839 গুণ। পারমাণবিক ভর স্কেলে এর পরিমাণ 1·008665 amu। (ii) নিউট্রনের কোন 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	-1.6×10^{-19} C বা, -4.8×10^{-10} esu	কক্ষপথে (নিউক্লিয়াসের বাইরে)

(ক) ইলেকট্রনের ভর নির্ণয় ঃ ১৮৯৭ খ্রিস্টাব্দে 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 ঃ

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 খ্রিস্টাব্দে 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।

$$\underset{1\ mol}{\overset{+}{Ag}} + \underset{1\ mol}{\overset{-}{e}} \longrightarrow \underset{1\ mol}{Ag}$$

$$= 108g \qquad = 96{,}500C \qquad = 108g$$

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

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

$= 1.603 \times 10^{-20}$ emu

$= 4.800 \times 10^{-10}$ esu

২.২.৫। পারমাণবিক সংখ্যা ও পারমাণবিক ভর সংখ্যা
Atomic Number and Atomic Mass Number

(ক) পারমাণবিক সংখ্যা ঃ কোন 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 হল, $Z = 11$। তদ্রূপ, ক্লোরিনের পারমাণবিক সংখ্যা হল, $Z = 17$।

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

(খ) পারমাণবিক ভর সংখ্যা ঃ কোন পরমাণুর ভর মূলত এর নিউক্লিয়াসে পুঞ্জীভূত থাকে। নিউক্লিয়াসে প্রোটন ও নিউট্রন থাকে বলে এদেরকে একত্রে **নিউক্লিয়ন** (nucleon) বলে। **কোন মৌলের পরমাণুর প্রোটন ও নিউট্রনের মোট সংখ্যাকে নিউক্লিয়ন সংখ্যা বা পারমাণবিক ভর সংখ্যা বা মাস-সংখ্যা বলা হয়** RU07

নিউক্লিয়ন সংখ্যাকে A দ্বারা প্রকাশ করা হয়। কোন 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 ঃ

কোন মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা (Z)-কে প্রতীকের বাম পার্শ্বের নিচে, মৌলের ভর সংখ্যা (A)-কে প্রতীকের বাম পার্শ্বের উপর দিকে লেখা হয়। এছাড়া অণুস্থিত পরমাণুর সংখ্যা (n)-কে প্রতীকের ডান পার্শ্বের নিচে, আয়নের চার্জ সংখ্যা ($m\pm$) কে প্রতীকের ডান পার্শ্বের উপরদিকে লেখা হয়। কোন 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 ছোট 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 কোন 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 ঃ

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

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

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

সংজ্ঞা ঃ কার্বন-12 আইসোটোপ (^{12}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 **ডালটন** (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 $= \frac{\text{অক্সিজেনের ১টি পরমাণুর ভর} \times 12}{\text{কার্বন-12 এর ১টি পরমাণুর ভর}}$

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

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

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

ভরের প্রচলিত একক গ্রামের সাথে এর সম্পর্ক নিম্নরূপে স্থাপন করা যায় ঃ

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 $6{\cdot}022 \times 10^{23}$ সংখ্যক পরমাণু থাকে। এ সংখ্যা অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা (Avogadro number) হিসেবে পরিচিত। সুতরাং 12 g কার্বনে $6{\cdot}022 \times 10^{23}$ সংখ্যক কার্বন পরমাণু থাকবে। ফলে একটি কার্বন-12 পরমাণুর ভর $= \frac{12}{6{\cdot}022 \times 10^{23}}$ g

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

$$= \frac{12}{6{\cdot}022 \times 10^{23} \times 12} \text{ (g)}$$

$$= \frac{1}{6{\cdot}022 \times 10^{23}} \text{ (g)}$$

$$= 1{\cdot}6605 \times 10^{-24} \text{ g} = 1{\cdot}6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

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) = $16 \times 1{\cdot}6605 \times 10^{-24}$ g = $2{\cdot}6568 \times 10^{-23}$ g ব

$2{\cdot}6568 \times 10^{-26}$ kg। অনুরূপভাবে পানির আণবিক ভর 18। সুতরাং পানির একটি অণুর ভর = 18 amu = $18 \times 1{\cdot}6605 \times 10^{-24}$ g = $2{\cdot}9889 \times 10^{-23}$ g = $2{\cdot}9889 \times 10^{-26}$ kg।

২.২.৭ আইসোটোপের আপেক্ষিক পরিমাণ ও মৌলের পারমাণবিক ভর

Relative amount of Isotopes and Atomic Mass of Elements

প্রকৃতিতে যে সব মৌল পাওয়া যায়, তাদের আইসোটোপসমূহের আপেক্ষিক প্রাচুর্য সম্পূর্ণ ভিন্ন ধরনের। উদাহরণস্বরূপ, প্রাকৃতিক অক্সিজেনে তিনটি আইসোটোপ যেমন- অক্সিজেন-16, অক্সিজেন-17, অক্সিজেন-18 বিদ্যমান। এদের আপেক্ষিক প্রাচুর্য যথাক্রমে 99·76%, 0·037% ও 0·204%। প্রকৃতিতে কার্বনের দুটি স্থায়ী আইসোটোপ বিদ্যমান। এরা হচ্ছে কার্বন-12, কার্বন-13। এদের আপেক্ষিক প্রাচুর্য যথাক্রমে 98·89%, 1·11%। মৌলের বিভিন্ন আইসোটোপের পারমাণবিক 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 = $\left(\frac{aM_1 + bM_2 + cM_3}{100}\right)$ 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 কর।

সমাধান ঃ এখানে, প্রথমটির আপেক্ষিক পরিমাণ, a =75·53% দ্বিতীয়টির আপেক্ষিক পরিমাণ, b = 24·47%
প্রথমটির পাঃ ভর A = 35, দ্বিতীয়টির পাঃ ভর, B = ৩৭

$\therefore$ সূত্র মতে ক্লোরিনের পারমাণবিক ভর = $\frac{(35 \times 75{\cdot}53 + 37 \times 24{\cdot}47)}{100} = 35{\cdot}45$।

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 কর।

সমাধান :

প্রশ্নমতে, প্রকৃতিতে 100টি অক্সিজেন পরমাণুর মধ্যে গড়ে 99·76টি পরমাণুর ভর 16 a.m.u, 0·037টি অক্সিজেন পরমাণুর ভর 17 a.m.u. এবং 0·204টি পরমাণুর ভর 18 a.m.u । সুতরাং 100টি অক্সিজেন পরমাণুর সর্বমোট ভর = $(16 \times 99{\cdot}76 + 17 \times 0{\cdot}037 + 18 \times 0{\cdot}204) = 1599{\cdot}9$ a.m.u.

সুতরাং একটি অক্সিজেন পরমাণুর গড় ভর = $\frac{1599{\cdot}9}{100} = 15{\cdot}999$ 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 কোনরূপ 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, কোন 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 ২.২ থেকে তা পরিষ্কার হবে।

সারণি ২.২ 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 উপর নিউট্রনের কোন প্রভাব নেই**। প্রশ্ন উঠে, 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

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৭: অরবিটাল শনাক্তকরণ

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

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

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

সমাধান : Na পরমাণুর কক্ষপথ বা $3s^1$ ইলেকট্রনের কক্ষপথের বেলায়, $n = 3$, পারমাণবিক সংখ্যা, $Z = 11$

$\therefore$ Na এর ৩য় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, $r_3 = 5.292 \times 10^{-11}m \times \frac{(3)^2}{11}$

$\therefore r_3 = 5.292 \times 10^{-11} \times 10^9 \text{ nm} \times \frac{9}{11}$

বা, $r_3 = 4.3298 \times 10^{-2}$ nm

$\therefore$ Na পরমাণুর M কক্ষপথ বা ৩য় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ $= 4.3298 \times 10^{-2}$ nm.

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১০ : হাইড্রোজেন পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের গতিবেগ বের কর। প্রতি সেকেন্ডে ঐ ইলেকট্রনটি নিউক্লিয়াসের চারদিকে কতবার আবর্তন করে?

দক্ষতা : বোর 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, $Z = 1$

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

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

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

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

এক্ষেত্রে,
$m = 9.11 \times 10^3$ kg
$r = 47.628 \times 10^{-11}m$
$h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s
$\pi = 3.14$

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

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

আবর্তন সংখ্যা গণনা :

শক্তিস্তরের বৃত্তাকার পথের দৈর্ঘ্য $= 2\pi r$

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 $= \frac{1}{2\pi r}$

বা, সেকেন্ডে 7.295×105m পথ অতিক্রম করলে আবর্তন সংখ্যা $\frac{7.295 \times 105}{2 \times 3.14 \times 47.628 \times 10^{-11}}$

$= 24.3895 \times 10^{13}$ বার

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

শিক্ষার্থীর কাজ : কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, ইলেকট্রনের গতিবেগ ও শক্তি

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

সমস্যা–২.৭.২ : Li পরমাণুর ২য় কক্ষপথের বোর ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। [উ: 7.056×10^{-9} cm]

সমস্যা–২.৭.৩ : Na পরমাণুর ১১তম ইলেকট্রনের কক্ষপথের (ক) বোর ব্যাসার্ধ, (খ) ১১তম ইলেকট্রনের গতিবেগ ও (গ) ১১তম ইলেকট্রনের গতিশক্তি নির্ণয় কর।

[উ: ব্যাসার্ধ 4.3298×10^{-2} nm; গতিবেগ $= 801.687 \times 10^6 \text{ cms}^{-1}$; গতিশক্তি $= -29.3088 \times 10^{-18}$ J]

সমস্যা ২.৭.৪ : H-পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি কত হবে? [উ: 2.422×10^{-19} J]

সমস্যা ২.৭.৫ : একটি পরমাণুর প্রথম শক্তিস্তরের ব্যাসার্ধ 5.291×10^{-11}m হলে এ কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের গতিবেগ কত হবে? [উ: 2.1867×10^{-6}ms^{-1}]

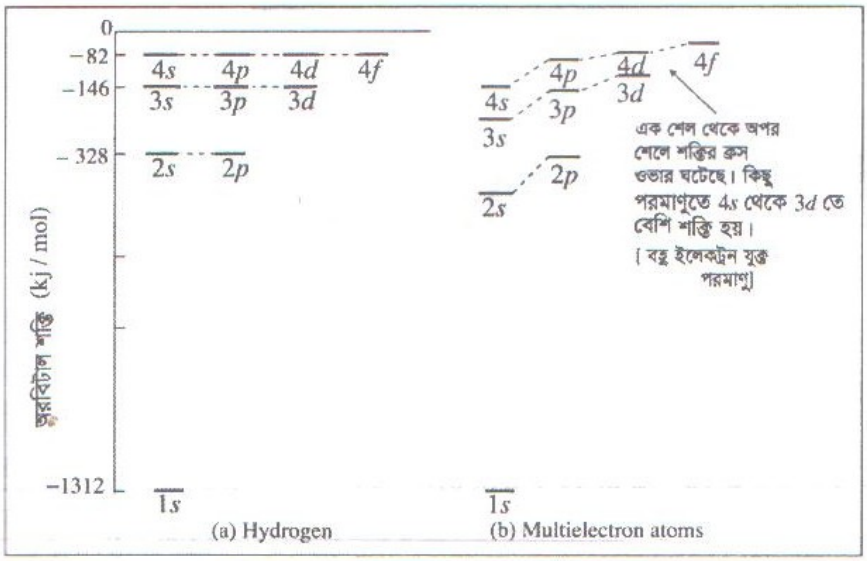
সমস্যা ২.৭.৬ : H-পরমাণুর চতুর্থ শক্তিস্তরের ব্যাসার্ধ এবং এ শক্তিস্তরে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের গতিবেগ কত?
[উ: ব্যাসার্ধ $= 8.47 \times 10^{-10}$m ; গতিবেগ $= 5.468 \times 10^{-5}$ms^{-1}]

সমস্যা ২.৭.৭ : K-পরমাণুর ১৯তম ইলেকট্রন যে কক্ষপথে আবর্তন করে সে কক্ষপথের ব্যাসার্ধ কত?
[উ: 4.4578×10^{-9} cm]

সমস্যা ২.৭.৮ : H-পরমাণুর নিউক্লিয়াস থেকে তৃতীয় কক্ষপথের দূরত্ব কত হবে? [উ: 4.763×10^{-8} cm]

২.৩ কোয়ান্টাম উপশক্তিস্তর বা অরবিটালের শক্তিক্রম ও আকৃতি
Orbital Energy Levels and Their Shapes

চিত্র-২.৮ এ বিভিন্ন অরবিটাল বা উপশক্তিস্তরের শক্তিক্রম (ইলেকট্রন দ্বারা বিকিরিত অবস্থায়) দেখানো হয়েছে। [চিত্রটিতে পার্থক্যের সুস্পষ্ট ধারণার জন্য বড় করে দেখানো হয়েছে]। বর্ণালী 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।



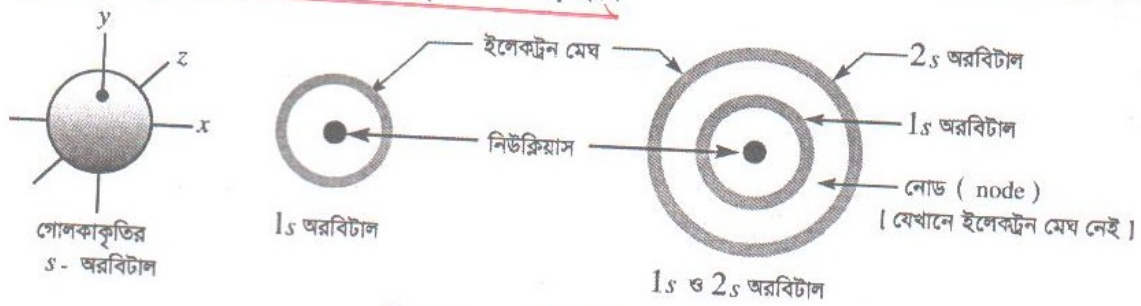
চিত্র ২.৯ : বিভিন্ন অরবিটালসমূহের শক্তিক্রম।

চিন্তা কর :
চিত্র-২.৮ মতে, 'পরমাণুর অরবিটালে ইলেকট্রনের শক্তির মান ঋণাত্মক ধরা হয় কেন'; তা ব্যাখ্যা কর।
সমাধান : পরবর্তী পৃষ্ঠাসমূহে এর ব্যাখ্যা দেখ।

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 যে কোনো মানের জন্য s-অরবিটাল ($l = 0$) এর ক্ষেত্রে $m = 0$ হয় বলে এর একটি মাত্র ত্রিমাত্রিক সমবিন্যাস সম্ভব। s অরবিটালের আকৃতি গোলকের ন্যায়; যার কেন্দ্রে নিউ

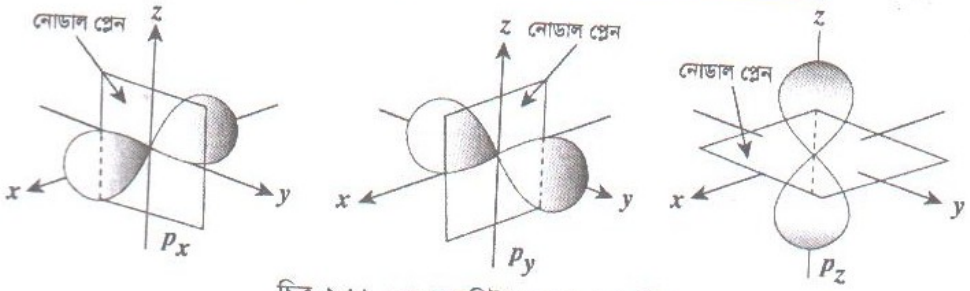
অবস্থিত। s-অরবিটাল ত্রিমাত্রিকভাবে x-অক্ষ, y অক্ষ ও z-অক্ষ বরাবর সমভাবে বিস্তৃত থাকে। প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা 'n' এর মান যত বড় হবে, s-অরবিটালের গোলকাকৃতিও তত বড় হয়।



চিত্র ২.১০ : s-অরবিটালের আকৃতি।

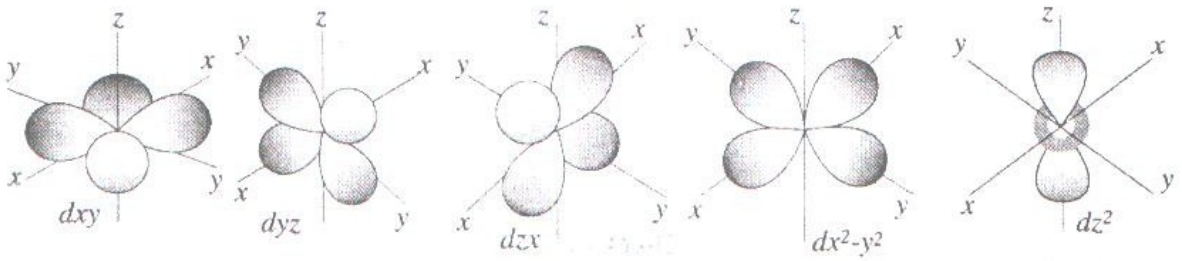
(২) p-অরবিটাল : দ্বিতীয় শক্তিস্তরের জন্য $n = 2$ হয়। তখন $l = 0, 1$ দুটি মান হয়। $l = 1$ হলে p অরবিটাল হয়। আবার $l = 1$ হলে চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা, $m = +1, 0, -1$ তিনটি মান সম্ভব। অতএব একই শক্তিসম্পন্ন তিনটি করে p অরবিটাল আছে; এদেরকে p_x, p_y ও p_z অরবিটাল বলা হয়। p অরবিটালসমূহের আকৃতি অনেকটা ডাম্বেলের (dumbel) ন্যায়। এদের আকৃতি একই প্রকারের হয়; কিন্তু এরা যথাক্রমে X, Y, Z অক্ষে পরস্পরের ওপর লম্বভাবে থাকে এবং নিজ নিজ অক্ষ বরাবর দিক নির্দেশকরূপে বিস্তৃত থাকে। প্রতিটি p-অরবিটালের ইলেকট্রন মেঘের দুটি লোবকে (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 ইলেক্ট্রন 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_{yx}, 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। চতুর্থ অরবিটাল $d_{x^2-y^2}$ এর চারটি লোব X ও Y অক্ষ বরাবর অবস্থান করে। পঞ্চম অরবিটাল d_{z^2} এর মেঘপুঞ্জ চিত্র মতে Z-অক্ষ বরাবর এবং কিছু মেঘ চক্রাকারে X ও Y অক্ষদ্বয়ের ছেদবিন্দুকে কেন্দ্র করে অবস্থান নেয়। যেমন,



চিত্র ২.১২ : পাঁচটি d-অরবিটালের আকৃতি।

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

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

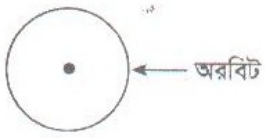
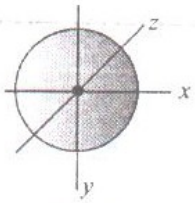
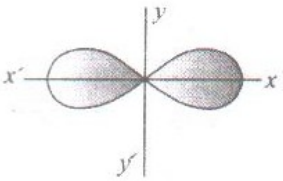
এর কারণ, নিউক্লিয়াস ও ইলেকট্রনের অবস্থান অসীম দূরত্বে হলে তখন উভয়ের মধ্যে স্থিরবৈদ্যুতিক প্রভাব শূন্য হওয়ায় পরমাণুর শক্তি শূন্য (Zero) ধরা হয় $E = 0$, যখন $n = \alpha$ হয়। অরবিট বা কক্ষপথে ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের নিকটে আসলে n এর মান কমতে থাকে, $E < 0$ হয়। তখন নিউক্লিয়াসের প্রভাবে আবর্তনশীল ইলেকট্রন দ্বারা 'কাজ' (work) সম্পাদনজনিত শক্তির ব্যয় ঘটে; তাই কক্ষপথে অবস্থানকালে ইলেকট্রনের শক্তির মান ঋণাত্মক ধরা হয়। ইলেকট্রন যতই নিউক্লিয়াসের নিকটে হবে শক্তির মান তত বেশি ঋণাত্মক হবে। পরমাণুর শক্তি স্তরের মান গণনার জন্য নিম্নরূপ বোর সমীকরণ রয়েছে : $E_n = -2.18 \times 10^{-18}\ J \times (Z^2/n^2)$; 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।

২.৩.১। অরবিট ও অরবিটাল
Orbit and Orbital

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

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 হাইড্রোজেন পরমাণুর গঠন সংক্রান্ত মতবাদ। এ মতবাদ অনুসারে নিউক্লিয়াসের চারদিকে সুনির্দিষ্ট বৃত্তাকার (circular) কক্ষপথে ইলেক্ট্রনসমূহ আবর্তন করে। এ বৃত্তাকার কক্ষপথসমূহকে **অরবিট** বলা হয়।	১। "অরবিটাল" শব্দটির উৎস হচ্ছে কোয়ান্টাম বলবিদ্যা। এ বলবিদ্যা অনুসারে ইলেক্ট্রনসমূহের কোন সুনির্দিষ্ট কক্ষপথ নেই। তবে নিউক্লিয়াসের চারদিকে কিছু স্থানে ইলেক্ট্রনসমূহের প্রাপ্তির সম্ভাবনা খুব বেশি। নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে নির্দিষ্ট শক্তিযুক্ত ইলেক্ট্রন মেঘের উচ্চ ঘনত্ব 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 করে 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 মত; d অরবিটাল ডাবল ডাম্বেলের মত; 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 এ সাথে চৌম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যা দ্বারা অরবিটালসমূহ সুনির্দিষ্টভাবে চিহ্নিত 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 এ সব প্রতীক চিহ্নের সাথে প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যা ও বিভিন্ন অক্ষের সাথে এ সব 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 $2n^2$; এখানে n যে কোন অরবিট সংখ্যা প্রকাশ করে।	৭। প্রতিটি অরবিটালে বিপরীত স্পিনযুক্ত সর্বাধিক দুটো করে ইলেকট্রন থাকতে পারে।

২.৪ পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস, আউফবাউ, হুন্ড ও পাউলির বর্জননীতি

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 ২.১১ দেখ)।

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

২। একটি অরবিটালে **দুটি বিপরীত স্পিনের ইলেকট্রন প্রবেশ করতে পারে**। এটি হলো **পাউলির বর্জন নিয়মের** মূল কথা (১৯২৫ খ্রি.)।

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

(১) পাউলির বর্জন নিয়ম ও এর ব্যাখ্যা

পাউলির বর্জন নিয়মটি হলো : **[একই পরমাণুতে দুটি ইলেকট্রনের চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান কখনো সমান থাকে না। যে কোনো একটির মান অসমান হয়]** Su-06

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 ইলেকট্রন সংখ্যা ঃ পাউলির বর্জন নীতি ব্যবহার করে বিভিন্ন উপশক্তিস্তরে সর্বাধিক কতগুলো ইলেকট্রন থাকা সম্ভব তা জানা যায়। যেমন,

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

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

RU 07 **[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]

RU 09 **[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 কোন 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 ($3s^2 3p^6 3d^{10}$)।

(২) হুন্ডের নিয়ম ও এর ব্যাখ্যা

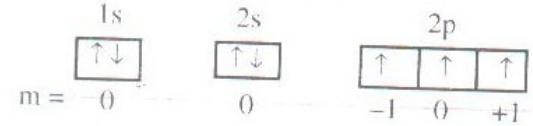
হুন্ডের নিয়মটি হলো : একই শক্তিসম্পন্ন বিভিন্ন অরবিটালে ইলেকট্রনগুলো এমনভাবে অবস্থান করবে যেন তারা সর্বাধিক সংখ্যায় অযুগ্ম বা বিজোড় অবস্থায় থাকতে পারে। এই সব অযুগ্ম ইলেকট্রনের স্পিন একইমুখী হবে। 'একই শক্তিসম্পন্ন বিভিন্ন অরবিটাল' বলতে তিনটি p অরবিটাল, পাঁচটি d অরবিটাল ও সাতটি f অরবিটালকে বোঝানো হয়। s অরবিটালের জন্য 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 :



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:

	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) =	↑↓	↑↓	↑↓	↑	↑

(৩) আউফবাউ নীতি ও এর ব্যাখ্যা

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

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

অরবিটালসমূহের $(n + l)$ এর মান ব্যবহার করে অরবিটালসমূহের শক্তি গণনা করা হয়েছে। অরবিটালসমূহের শক্তি ক্রম বৃদ্ধি নিম্নরূপ যা চিত্র ২.১২ তে দেখানো হয়েছে :

1s, 2s 2p, 3s, 3p, 4s, **3d,** 4p, 5s, **4d,** 5p, 6s, **4f, 5d,** 6p, 7s, **5f, 6d,** 7p ও 8s. DU 13

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

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

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

যেহেতু 4s অরবিটালের শক্তি 3d অরবিটালের শক্তির চেয়ে কম, তাই পটাসিয়ামের সর্বশেষ অর্থাৎ ১৯তম ইলেকট্রনটি 3d অরবিটালে না গিয়ে 4s অরবিটালে স্থান করে নিয়েছে। - Ru 12

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,

MCQ-2.2 : p-উপশক্তিস্তরে মোট অরবিটাল কয়টি?
(ক) 1 (খ) 3 (গ) 5 (ঘ) 7

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

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

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

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

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

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

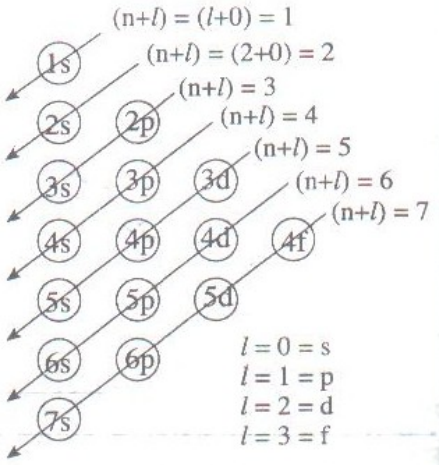
3d অরবিটালের জন্য : $n = 3$ এবং $l = 2$

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

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

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

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



চিত্র ২.১৩ : অরবিটালসমূহের শক্তির ক্রম মনে রাখার ছক।

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

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

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

MCQ-2.3 : d-উপশক্তি স্তরে মোট অরবিটাল কয়টি?
(ক) 1 (খ) 3 (গ) 5 (ঘ) 7

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

ইলেকট্রন বিন্যাসের সাধারণ নিয়মের কিছু ব্যতিক্রম :

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

Ju09 [$_{24}Cr = 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ \boxed{3d^5\ 4s^1}$]

Cu02 [$_{29}Cu = 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ \boxed{3d^{10}\ 4s^1}$]

MCQ-2.4 : f-উপশক্তি স্তরে মোট অরবিটাল কয়টি?
(ক) 3 (খ) 5 (গ) 7 (ঘ) 9

(n +1)d ও nf অরবিটালের শক্তির ন্যূনতম পার্থক্য : উচ্চ পারমাণবিক সংখ্যাবিশিষ্ট মৌলসমূহের ক্ষেত্রে nf ও (n + 1) d অরবিটালের শক্তির পার্থক্য খুব কম হয়। ফলে এদের ক্ষেত্রে '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-২.১১ : অরবিটালের শক্তিক্রম বিচার :

নিচের প্রতিটি অরবিটাল যুগলের মধ্যে নিম্নতর শক্তিসম্পন্ন অরবিটাল শনাক্ত কর :

** [(a) 4d, 5s (b) 3d, 4p (c) 3p, 4s] ** Ru08

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

MCQ-2.5 : কোন্ অরবিটালটি অবাস্তব হবে?
(ক) 3s (খ) 2d (গ) 3p (ঘ) 4f

MCQ-2.6 : কোন্ অরবিটালের শক্তি সবচেয়ে বেশি?
(ক) 4s (খ) 3p (গ) 3d (ঘ) 4f

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, $n = 3, l = 1;\ \therefore (n + l) = (3 + 1) = 4$

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

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

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১২: অনুমোদিত কোয়ান্টাম সংখ্যা মানের সেট :

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

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

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

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

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

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

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

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

সমাধানকৃত সমস্যা-২.১৩ : অনুমোদিত অরবিটালের প্রতীক চিহ্নিতকরণ :

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

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

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

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

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

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

শিক্ষার্থীর কাজ :

সমস্যা–২.৮ : নিচের প্রতিটি অরবিটাল যুগলের মধ্যে নিম্নতর শক্তির অরবিটাল শনাক্ত কর :

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

সমস্যা–২.৯ : নিম্নোক্ত কোয়ান্টাম সংখ্যার সেট পরমাণুর কোনো ইলেকট্রনের ক্ষেত্রে অনুমোদিত কীনা তা কারণসহ ব্যাখ্যা কর :

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

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

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

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

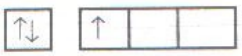
সমাধানকৃত সমস্যা-২.১৪ : ইলেকট্রন বিন্যাসভিত্তিক :

কোনো মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা, $Z = 13$; মৌলটির পরমাণুর সর্বনিম্নশক্তি যুক্ত (গ্রাউন্ড স্টেট) ইলেকট্রনবিন্যাস লেখ এবং যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রনসমূহের স্পিনসহ অরবিটাল পূর্ণকরণ দেখাও।

দক্ষতা : চিত্র-২.১২ 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] 

MCQ-2.7 : Fe এর ইলেকট্রন বিন্যাসে n = 3, l = 2 হলে কয়টি অরবিটাল সম্ভব?
(ক) 2 (খ) 3 (গ) 5 (ঘ) 7

সমাধানকৃত সমস্যা : ২.১৫ : যদি কোনো নতুন আবিষ্কৃত মৌলের পরমাণুর ক্ষেত্রে 5g উপশক্তিস্তর সম্ভব হয়, তবে এতে সর্বোচ্চ কয়টি ইলেকট্রন থাকা সম্ভব?

দক্ষতা : সহকারী কোঅন্টাম সংখ্যা $l = 5$ হলে g উপশক্তিস্তর সম্ভব। উপশক্তিস্তরে অরবিটাল সংখ্যা = $(2l + 1)$

সমাধান 'g' উপশক্তিস্তরে মোট অরবিটাল সংখ্যা হবে = $(2 \times 5 + 1) = 11$ টি। প্রতিটি অরবিটালে বিপরীত স্পিনের ২টি করে ইলেকট্রন থাকবে। সুতরাং 5g উপশক্তিস্তরে মোট ইলেকট্রন থাকবে $= 11 \times 2 = 22$ টি।

সমাধানকৃত সমস্যা ২.১৬ : Cu পরমাণুর যোজ্যতা-স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস $3d^9\ 4s^2$ না হয়ে $3d^{10}\ 4s^1$ হওয়ার কারণ ব্যাখ্যা কর।

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

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

সমাধানকৃত সমস্যা ২.১৭ : ক্যালসিয়াম (Ca) পরমাণুর যোজ্যতা স্তরের ইলেট্রন বিন্যাস বক্স পদ্ধতিতে দেখাও। যোজ্যতা ইলেকট্রনের জন্য প্রযোজ্য চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার সেট গণনা কর।

দক্ষতা : আউফবাউ নীতি অনুসৃত হবে এক্ষেত্রে।

সমাধান : Ca এর পারমাণবিক সংখ্যা, Z = 20

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

যোজ্যতাস্তর বা সর্ববহিঃস্থ শক্তিস্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস বক্স পদ্ধতিতে,

যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন $4s^2$ এর 8টি 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 ২.১৮ : সিলিকন পরমাণু ($_{14}Si$) এর প্রতিটি ইলেকট্রনকে বর্ণনা করার জন্য গ্রহণযোগ্য কোয়ান্টাম সংখ্যার সেট লিপিবদ্ধ কর।

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	2s	2p 2p 2p	3s	3p 3p 3p

উল্লেখিত 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 2 2	1 1 1.	+1 0 −1	$\pm\frac{1}{2}$ $\pm\frac{1}{2}$ $\pm\frac{1}{2}$
$3s^2$	11, 12	3	0	0	$\pm\frac{1}{2}$
$3p_x$	13	3	1	+1*	$+\frac{1}{2}$
$3p_y$	14	3	1	+1**	$+\frac{1}{2}$

* m এর মান (+ 1, 0, –1) যে কোনটি হতে পারে।

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

ত্রয়োদশ ইলেকট্রন জন্য $s = +\frac{1}{2}$ দেয়া হলে চতুর্দশ ইলেকট্রনকে অবশ্যই এর অনুরূপ মান দিতে হবে।

$s = +\frac{1}{2}$ অথবা $-\frac{1}{2}$ ব্যবহার করা যায়।

শিক্ষার্থীর কাজ : ইলেকট্রন বিন্যাসভিত্তিক :

প্রশ্ন ২.৫ : (ক) ইলেকট্রন বিন্যাসের পাউলির বর্জন নীতি উদাহরণসহ লেখ। [রা. বো. ২০১৫; চু. বো. ২০১৫]

(খ) ইলেকট্রন বিন্যাসের হুন্ডের নীতি উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।

(গ) ইলেকট্রন বিন্যাসের আউফবাউ নীতি উদাহরণসহ লেখ।

সমস্যা–২.১১ : নিম্নোক্ত পারমাণবিক সংখ্যাবিশিষ্ট পরমাণুর গ্রাউন্ড স্টেট'- ইলেকট্রন বিন্যাস লেখ এবং যোজ্যতা স্তরে অরবিটালসমূহে ইলেকট্রন প্রবেশ স্পিনসহ দেখাও।

(ক) P (15), (খ) C1 (17), (গ) K (19) (ঘ) Cr (24) (ঙ) Cu (29)

(চ) Fe^{2+} ও Fe^{3+} আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাস লেখ। উভয় আয়নের মধ্যে কোন্ আয়নের স্থায়িত্ব বেশি এবং কেন, তা ব্যাখ্যা কর।

(ছ) K এর 19 তম ইলেকট্রনটি 3d অরবিটালে না গিয়ে 4s অরবিটালে যায় কেন? রা. বো. ২০১৫]

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

সমস্যা–২.১২ : (1) $K(19) - e^- \rightarrow K^+$; (2) $Cr(24) - 3e^- \rightarrow Cr^{3+}$;

(3) $Cu(29) - 2e^- \rightarrow Cu^{2+}$; (4) $Br(35) + e^- \rightarrow Br^-$

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

সমস্যা ২.১৩ : Br (35) মৌলের সর্ববহিঃস্থ শক্তিস্তরের ইলেকট্রনের চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান বক্স পদ্ধতিতে দেখাও।

২.৪.১ প্রথম ত্রিশটি মৌলের ইলেকট্রন বিন্যাস

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

মৌল	ইলেকট্রন বিন্যাস	বক্স পদ্ধতিতে ইলেকট্রন বিন্যাস				
	অরবিটাল পদ্ধতিতে	1s	2s	2p	3s	3p
H (1)	$\rightarrow 1s^1$	↿				
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)	$\rightarrow 1s^2\ 2s^2\ 2p^2$	↿⇂	↿⇂	↿ ↿		
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)	$\rightarrow 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^1$	↿⇂	↿⇂	⇂ ⇂ ⇂		
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)	$\rightarrow 1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^4$	↿⇂	↿⇂	⇂ ⇂ ⇂	↿⇂	⇂ ↿ ↿
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-২.১৩ : কোনো পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা, Z = 8 হলে হুন্ডের নিয়ম মতে এর যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রন বিন্যাস এবং শেষ চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান দেখাও।

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

যোজ্যতা স্তর : $\rightarrow 2s^2\ 2p_x^2\ 2p_y^1\ 2p_z^1$

↿⇂ ↿ ↿

পরমাণুটির যোজ্যতা স্তরে ছয়টি ইলেকট্রন আছে। এদের 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	+1	$+\frac{1}{2}$	$2p_x^1$
e_4	2	1	0	$+\frac{1}{2}$	$2p_y^1$
e_5	2	1	−1	$+\frac{1}{2}$	$2p_z^1$
e_6	2	1	+1	$-\frac{1}{2}$	$2p_x^1$

২.৫ তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালী
Electro-Magnetic Spectrum

বিজ্ঞানী ম্যাক্সওয়েল (Maxwell) প্রমাণ করেন যে, সব ধরনের দৃশ্য ও অদৃশ্য আলোর উৎপত্তি বিদ্যুৎ ও চুম্বক ক্ষেত্রের 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 তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ও স্পন্দন সংখ্যা বা কম্পাঙ্ক বা ফ্রিক্যুয়েন্সি (frequency) রয়েছে, যা নিম্নরূপে পরস্পরের সাথে ব্যস্তানুপাতিক হয়ে থাকে।

$\lambda\,(m) \times \upsilon\,(s^{-1}) = c\,(ms^{-1})$ (আলোর বেগ)

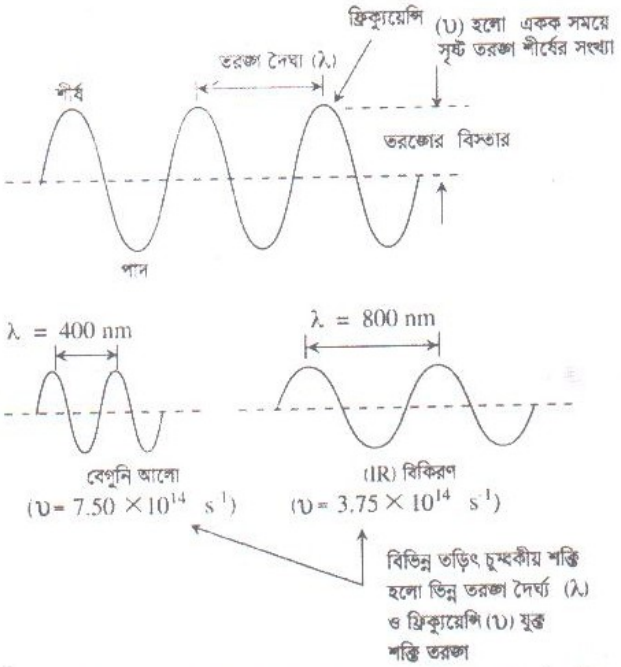
এখানে λ = তরঙ্গদৈর্ঘ্য। ফ্রিক্যুয়েন্সি (υ-'নিউ' উচ্চারণ) এর একক হলো হার্টজ (Hertz, Hz); $1Hz = 1s^{-1}$

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

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

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

আবার υ এর মান খুব বেশি হওয়ায় তাকে আলোর বেগ, c দ্বারা ভাগ করে $\bar{\upsilon}$ ('নিউ-বার') দ্বারা প্রকাশ করা হয়। $\bar{\upsilon} = \frac{\upsilon}{c} = \frac{\upsilon}{\upsilon\lambda} = \frac{1}{\lambda}$: $\bar{\upsilon}$ হলো প্রতি মিটারে তরঙ্গ-সংখ্যা (wave number)।



চিত্র ২.১৪ : তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গসমূহের ভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ), স্পন্দন সংখ্যা (υ) 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 তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ও ফ্রিক্যুয়েন্সি বা স্পন্দন সংখ্যায়।**

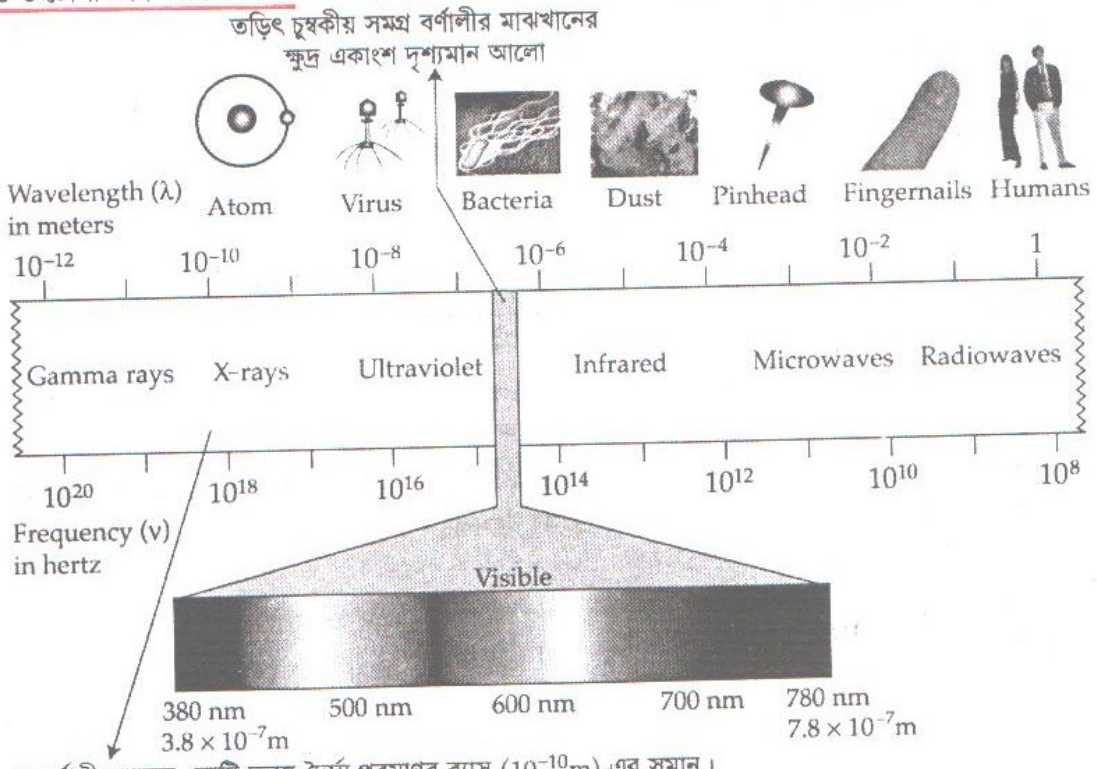
দৃশ্যমান আলো হলো তড়িৎ বা বিদ্যুৎ চুম্বকীয় বিকিরণ রশ্মির সামান্য অংশ মাত্র। সমগ্র বিকিরণ শক্তির অধিকাংশই অদৃশ্য। বিভিন্ন ধরনের তড়িৎ বা বিদ্যুৎ চুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (একক ন্যানোমিটারে nm = 10^{-9}m) নিচে দেয়া হলো :

মহাজাগতিক রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য : < 0.00005 nm
গামা রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য : 0.0005–0.10 nm
রঞ্জন রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য : 0.1–10 nm
অতিবেগুনি রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (UV-ray) : 10 nm–380 nm

দৃশ্যমান আলোর মধ্যে বিভিন্ন ধরনের আলোক তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (মোটামুটি) নিম্নরূপ :

বেগুনি	:	380 – 424 nm	V
নীল	:	424 – 450 nm	I
আস্‌মানী	:	450 – 500 nm	B

দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য	: **380 – 780 nm**	সবুজ	:	500 – 575 nm	G
অবলোহিত আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (IR-ray)	: 0.780 μm– 1000 μm	হলুদ	:	575 – 590 nm	Y
মাইক্রোওয়েভ অঞ্চল	: 1000 μm–100 cm	কমলা	:	590 – 647 nm	O
রেডিও ও টেলিভিশন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য	: 100 cm – 10 m	লাল	:	647 – 780 nm	R



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

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

বিভিন্ন ধরনের বিদ্যুৎ চুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য ও স্পন্দন সংখ্যা ২.১৫ নং চিত্রে স্কেল আকারে দেয়া হলো।

২.৫.১ তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালীর অঞ্চলসমূহ

Different Regions of Electromagnetic Spectrum

তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ রশ্মিসমূহকে এদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) তথা ফ্রিকুয়েন্সি (υ) বা কম্পাঙ্ক সংখ্যার ভিত্তিতে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ক্রম বৃদ্ধি অনুসারে নিম্নোক্ত প্রধান সাতটি অঞ্চলে বিভক্ত করা হয় (চিত্র-২.১৪)।

(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 (Micro waves) 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

বর্ণালীমিতিক (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 0.01nm–10nm 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 ট্র্যাকিং রূপে,
(iii) 230 nm – 380 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্য : অপটিকেল সেন্সর রূপে,
(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-2.8 : নিচের কোন অঞ্চলের রশ্মির শক্তি সবচেয়ে বেশি?
(ক) UV (খ) Vis-ray
(গ) IR (ঘ) Radio wave

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

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

Near–IR অঞ্চল : $\lambda = 0.78\ \mu m - 2.5\ \mu m$ [চিকিৎসা ক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয়]
middle–IR অঞ্চল : $\lambda = 2.5\ \mu m - 25\ \mu m$ [জৈব যৌগের কার্যকরীমূলক শনাক্তকরণে IR Spectroscopy তে ব্যবহৃত হয়]
Far–IR অঞ্চল : $\lambda = 25\ \mu m - 1000\ \mu m$ বা $1.0\ mm$ [চিকিৎসা ক্ষেত্রে ব্যবহৃত]

(৬) মাইক্রো ওয়েভস্ (Micro waves) অঞ্চল : এ অঞ্চলের রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 1000 μm থেকে 100 cm (বা 1 mm – 1 m) পরিসরে থাকে। এ সব তরঙ্গের ফ্রিক্যুয়েন্সি 300 GHz – 300 MHz পর্যন্ত হয়ে থাকে। [$G = 10^9$, $M = 10^6$]

(৭) রেডিও ওয়েভস্ (Radio waves) অঞ্চল : এ অঞ্চলের রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 1 m থেকে 100,000 km পর্যন্ত হয়। এ সব তরঙ্গের ফ্রিক্যুয়েন্সি 300 MHz থেকে 3Hz পর্যন্ত হয়ে থাকে। রেডিও এন্টেনাতে উচ্চ কম্পাঙ্কের পর্যায়ক্রমিক বিদ্যুৎ (AC) প্রবাহ দ্বারা এসব তরঙ্গের সৃষ্টি করা হয়। NMR পরমাণু অর্থাৎ বিজোড় সংখ্যক প্রোটন অথবা নিউট্রনযুক্ত পরমাণুর নিউক্লিয়াসে (যেমন ^1H, ^{13}C, ^{19}F, ^{31}P ইত্যাদির) ম্যাগনেটিক মোমেন্ট থাকে। এ সব NMR পরমাণুযুক্ত যৌগকে শক্তিশালী চুম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে রেখে রেডিও ওয়েভস প্রয়াগ করে MRI বা ম্যাগনেটিক অনুরণন ইমেজ পরীক্ষা পদ্ধতি আবিষ্কৃত হয়েছে।

সমাধানকৃত সমস্যা ২.১৯। বেগুনি-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 4100Å বা, 410 nm হলে এর ফ্রিকুয়েন্সি ও তরঙ্গ-সংখ্যা নির্ণয় কর। (আলোর গতি = 3.0×10^8 ms^{-1})।

দক্ষতা : প্রথমে আলোর গতির সমীকরণটি জানতে হবে।

সমাধান : আমরা জানি, আলোর গতি, $c = \upsilon \times \lambda$

$$\therefore \upsilon = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^8 ms^{-1}}{410 \times 10^{-9}\ m} = 7.317 \times 10^{14}\ Hz$$

এখানে, ফ্রিক্যুয়েন্সি, $\upsilon = ?$

তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য, $\lambda = 410nm$
$= 410 \times 10^{-9}m$

তরঙ্গ সংখ্যা, $\bar{\upsilon} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{410 \times 10^{-9}\ m} = 243.9 \times 10^4\ m^{-1}$

তরঙ্গ সংখ্যা, $\bar{\upsilon} = ?$

সমাধানকৃত সমস্যা ২.২০। যে বিকিরণের তরঙ্গ সংখ্যা 165×10^4 m^{-1} তার ফ্রিক্যুয়েন্সি বা স্পন্দন সংখ্যা নির্ণয় কর। (আলোর গতি = 3.0×10^8 ms^{-1})।

দক্ষতা : প্রথমে আলোর গতির সমীকরণটি জানতে হবে।

সমাধান : আমরা জানি, তরঙ্গ সংখ্যা, $\bar{\upsilon} = \frac{1}{\lambda}$

$$\therefore \lambda = \frac{1}{\bar{\upsilon}} = \frac{1}{165 \times 10^4\ m^{-1}} = 606\ nm$$

এখানে, $c = 3.0 \times 10^8\ ms^{-1}$

তরঙ্গ সংখ্যা, $\bar{\upsilon} = 165 \times 10^4\ m^{-1}$

তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য, $\lambda = ?$

ফ্রিক্যুয়েন্সি, $\upsilon = ?$

ফ্রিক্যুয়েন্সি, $\upsilon = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^8\ ms^{-1}}{606 \times 10^{-9}\ m} = 495 \times 10^{12}\ Hz$

সমাধানকৃত সমস্যা ২.২১ : একটি বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 530 nm। এ বিকিরিত রশ্মির কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গ সংখ্যা গণনা কর। বিকিরিত রশ্মির বর্ণ কীরূপ হবে? [$c = 3.0 \times 10^{10}$ cms^{-1}]

দক্ষতা : আলোর গতি, $c = \upsilon \times \lambda$; এখানে λ ও c এর একক একই হবে

সমাধান : $c = \upsilon \times \lambda$

কম্পাঙ্ক, $\upsilon = \frac{e}{\lambda}$;

$$= \frac{3.0 \times 10^{10} cms^{-1}}{530 \times 10^{-7} cm}$$

$$= 5.66 \times 10^{14} s^{-1}\ (বা,\ Hz)$$

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, $\upsilon = ?$

তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $\bar{\upsilon} = ?$

তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\bar{\upsilon} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{530 \times 10^{-7} cm}$

বা, $\bar{\upsilon} = \frac{1 \times 10^7}{530}\ cm^{-1} = 1.8868 \times 10^4\ cm^{-1}$

রশ্মির শনাক্তকরণ : রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = 530nm$; এটি দৃশ্যমান বর্ণালীর সবুজ বর্ণের পরিসর 500 – 57 nm এর মধ্যে পড়ে। তাই বর্ণালীর রং সবুজ বর্ণের হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা ২.২২ : লিথিয়াম পরমাণুর লাল বর্ণেল রেখা বর্ণালির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 671 nm হয়। এ আলোক রশ্মির একটি ফোটনের শক্তি গণনা কর। [$h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s এবং $c = 3.0 \times 10^8 ms^{-1}$

দক্ষতা : ফোটনের শক্তি, $E = h\upsilon$ এবং $\upsilon = \frac{c}{\lambda}$

সমাধান : ফ্রিক্যুয়েন্সি, $\upsilon = \frac{c}{\lambda}$

$$\therefore \upsilon = \frac{3.0 \times 10^8 m.s^{-1}}{6.71 \times 10^{-7}\ m}$$

$$= 4.47 \times 10^{14} s^{-1}\ (বা,\ Hz)$$

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

একটি ফোটনের শক্তি, $E = h\upsilon$;

$= 6.626 \times 10^{-34}$ J. s $\times 4.47 \times 10^{14}s^{-1}$

$= 2.9618 \times 10^{-19}$ J

সমাধানকৃত সমস্যা ২.২৩ : H-পরমাণুর ইলেকট্রনটি ৩য় বোর কক্ষপথ থেকে ১ম কক্ষপথে লাফিয়ে পড়লে বিকীর্ণ ফোটন শক্তির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য অ্যাংস্ট্রম এককে গণনা কর।

দক্ষতা : $E_n = -2.18 \times 10^{-18}J \times \frac{Z^2}{n^2}$ এবং $\Delta E = h\upsilon$ 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 $\quad [\because 1 \text{ erg} = 10^{-17} \text{ J}]$

H পরমাণুর ৩য় কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি, $E_3 = -2.18 \times 10^{-18}$ J $\times \frac{(1)^2}{(3)^2}$

$$= \frac{-2.18 \times 10^{-18}}{9} \text{J} = -0.2422 \times 10^{-18} \text{ J} = -0.2422 \times 10^{-11}\text{erg}$$

$\therefore \Delta E = (E_2 - E1) = [(-0.2422 \times 10^{-11}) - (-2.18 \times 10^{-11})]$ erg

$= 1.9378 \times 10^{-11}$ erg

আবার, $\Delta E = h\upsilon = \frac{h \times c}{\lambda}$; $\quad$ এক্ষেত্রে, $h = 6.626 \times 10^{-27}$ erg. s

$\therefore \lambda = \frac{h \times c}{\Delta E}$ $\quad$ $c = 30 \times 10^{10}$ cms^{-1}

বা, $\lambda = \frac{6.626 \times 10^{-27} \text{ erg.s} \times 3.0 \times 10^{10} \text{ cm.s}^{-1}}{1.9378 \times 10^{11} \text{ erg}}$ $\quad$ $\lambda = ?$

বা, $\lambda = \frac{6.626 \times 3.0 \times 10^{-6} \text{ c}}{1.9378} = 10.258 \times 10^{-6}$cm

বা, $\lambda = 1025.8.g \times 10^{-8}$ cm $= 1025.8$Å (অ্যাংস্ট্রম)

সমাধানকৃত সমস্যা-২.২৪ : H পরমাণুর ইলেকট্রনটি বোর অরবিটাল $n = 3$ থেকে লাফিয়ে $n = 1$ অরবিটালে ফিরে আসল। তখন উৎপন্ন রেখা বর্ণালীর তরঙ্গ সংখ্যা কত হবে তা গণনা কর। [রিডবার্গ ধ্রুবক, $R_H = 1.09678 \times 10^7m^{-1}$]

দক্ষতা : তরঙ্গসংখ্যা, $\bar{\upsilon} = \frac{c}{\lambda} = c \times \frac{1}{\lambda} = c \times R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$ সমীকরণ প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : $\bar{\upsilon}$ হলো প্রতি মিটারে তরঙ্গ সংখ্যা। তাই গতিবেগ, $c = 3.0 \times 10^8$ m.s^{-2} এবং $R_H = 1.09678 \times 10^7m^{-1}$ ব্যবহৃত হবে।

তরঙ্গ সংখ্যা, $\bar{\upsilon} = c \times R_H \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$

$$= 3.0 \times 10^8\text{ms}^{-1} \times 1.09678 \times 10^7\text{m}^{-1} \times \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2}\right)$$

$$= 3.0 \times 1.09678 \times 10^{15} (1 - 0.111) \text{ s}^{-1}$$

$$= 3.0 \times 1.09678 \times 0.889 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}$$

$$= 2.9251 \times 10^{15}\text{s}^{-1} \text{ (বা, Hz)}$$

উৎপন্ন রেখা বর্ণালীর তরঙ্গ সংখ্যা 2.9251×10^{15} Hz

শিক্ষার্থীর কাজ : (গ) তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গশক্তি ও বর্ণালী 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?

[উ: গামা রশ্মি, 8.43×10^{18}Hz, রাডার তরঙ্গ, 2.91×10^{9}Hz]

সমস্যা ২.১৫ : ঢাকার FM রেডিও তরঙ্গের ফ্রিকুয়েন্সি $\upsilon = 102.5$ MHz হলে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে? চট্টগ্রাম মেডিকেল হসপিটালের X-ray মেসিনের $\upsilon = 9.55 \times 10^{17}$Hz হলে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে? [$1M = 10^6$]

[উ: F. M রেডিও 2.93m : X-ray, $\lambda = 3.14 \times 10^{-10}$m]

সমস্যা ২.১৬ : একটি তড়িৎ-চুম্বকীয় রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 450 nm। এ রশ্মিটি তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালীর কোন্ অঞ্চলের? এর ফ্রিক্যুয়েন্সি ও তরঙ্গ সংখ্যা গণনা কর। (আলোর গতি = 3.0×10^8 ms^{-1})।

[উ: দৃশ্যমান অঞ্চল, $\upsilon = 6.67 \times 10^{14}$ Hz; $\bar{\upsilon} = 2.22 \times 10^6$ m^{-1}]

সমস্যা ২.১৭ : কোনো রেডিও স্টেশন থেকে 14.0 MHz (মেগা হার্টজ) ফ্রিক্যুয়েন্সিতে সংবাদ প্রচারিত হলে ঐ রেডিও তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে? [উ: $\lambda = 21.428$ m]

সমস্যা ২.১৮ : চট্টগ্রাম রেডিও তরঙ্গের ফ্রিক্যুয়েন্সি 1200 kHz হলে এর তরঙ্গে দৈর্ঘ্য ও তরঙ্গ-সংখ্যা বের কর।

[উ: $\lambda = 250$ m; $\bar{\upsilon} = 4.0 \times 10^{-3}$ m^{-1}]

(ক) ঢাকার বিমান বন্দরের রানওয়ের দুটি সিগন্যাল আলোর ফ্রিক্যুয়েন্সি হলো 5.46×10^{14} Hz ও 4.4117×10^8 MHz। উভয় সিগন্যালের আলোর বর্ণ এবং এদের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের পার্থক্য কত হবে?

[উ: ১ম সিগন্যালের বর্ণ সবুজ, ২য় সিগন্যালের বর্ণ লাল। তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য = 130.55 nm]

(খ) ঢাকা মেডিকেল কলেজের MRI মেশিনের তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণের ফ্রিক্যুয়েন্সি 8.25×10^{11} MHz হলে এর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কত? [উ: 363.636×10^{-3} nm]

সমস্যা ২.১৯ : দৃশ্যমান আলোর কোনো বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 750 nm হলে এর ফ্রিক্যুয়েন্সি কত হবে? [উ: $\upsilon = 4 \times 10^{14}$ Hz]

সমস্যা ২.২০ : কমলা বর্ণের আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 600 nm হলে এর ফ্রিক্যুয়েন্সি কত হবে?[উ: $\upsilon = 5 \times 10^{14}$ Hz]

সমস্যা ২.২১ : সিজিয়াম পরমাণুর একটি রেখা বর্ণালীর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 456 nm হলে এর ফ্রিক্যুয়েন্সি কত হবে?

[উ: $\upsilon = 6.58 \times 10^{14}$ Hz]

সমস্যা ২.২২ : সোডিয়াম পরমাণুর বর্ণালীতে D_1 লাইনের ফ্রিক্যুয়েন্সি 5.09×10^{14} s^{-1} হলে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত?

[উ: $\lambda = 589.39$ nm]

সমস্যা ২.২৩ : কোনো তরঙ্গের ফ্রিক্যুয়েন্সি 4×10^{14} s^{-1} হলে এর তরঙ্গ-সংখ্যা কত হবে?

[উ: $\bar{\upsilon} = 1.33 \times 10^6$ m^{-1}]

সমস্যা ২.২৪ : ক্যালসিয়াম পরমাণুর রেখা বর্ণালীর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 456 nm হলে এর ফ্রিক্যুয়েন্সি ও তরঙ্গ সংখ্যা কত?

[উ: $\upsilon = 6.58 \times 10^{14}$ s^{-1}; $\bar{\upsilon} = 2.19 \times 10^6$ m^{-1}]

সমস্যা ২.২৫ : সর্বাধিক তীব্রতার সূর্যালোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6.0×10^{-7} m হলে ঐ সূর্যালোর তরঙ্গের ফ্রিক্যুয়েন্সি কত?

[উ: $\upsilon = 5 \times 10^{14}$ s^{-1}]

(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 = 285.66×10^4 m^{-1}]

(খ) কোনো উৎস থেকে বিকিরিত বেগুনি রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 420 nm। এর ফ্রিক্যুয়েন্সি ও তরঙ্গ সংখ্যা কত হবে?
[উ: $7.14 \times 10^{14} s^{-1}$ বা Hz]

সমস্যা ২.২৬ : বেগুনি থেকে লাল বর্ণের দৃশ্যমান আলোর পরিসর 380 nm থেকে 780 nm হলে ঐ আলোর পরিসরের ফ্রিক্যুয়েন্সি কত?
[উ: 7.89×10^{14} — 3.84×10^{14} Hz]

সমস্যা ২.২৭ : রাস্তার ট্রাফিক সিগন্যালের লাল বাতির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 728 nm হলে এর ফ্রিক্যুয়েন্সি ও তরঙ্গ সংখ্যা কত?
[উ: $\upsilon = 4.12 \times 10^{14}$ Hz; $\bar{\upsilon} = 137.34 \times 10^{4}$ 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; 1.923×10^{4} cm^{-1}]

(খ) বোর পরমাণু মডেলের ইলেকট্রনের স্থানান্তরের সময় ইলেকট্রনের শক্তি 2.32×10^{-18} J হলে বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কত?
[উ: 8.568×10^{-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) কোনো পরমাণুর বর্ণালীতে 590 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রেখা বর্ণালী 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

প্লাঙ্কের মতে আলোক নিরবচ্ছিন্ন নয়; পদার্থ হতে এ বিকিরিত 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 ক্ষুদ্র কণা বা **ফোটন** (photon) এর প্রবাহরূপে উল্লেখ করেন। এসব ফোটনের শক্তির পরিমাণ (E) এদের বিকিরণের ফ্রিক্যুয়েন্সি বা স্পন্দন সংখ্যার (υ) সমানুপাতিক।

$E_{photon} \propto \upsilon$
$\therefore E_{photon} = h\upsilon$;

এখানে: E_{photon} = ফোটনের একক কোয়ান্টাম শক্তি।
υ ('নিউ') = বিকিরণের স্পন্দনসংখ্যা। এর একক (s^{-1}) or Hertz (Hz)
h = প্লাঙ্কের ধ্রুবক, এর মান 6.626×10^{-34} জুল সেকেন্ড (Js)
$1J = 1N$ (বল) $\times 1m = 1\ kgms^{-2} \times 1m = 1kg\ m^2s^{-2}$

$E = h\upsilon$, এই সমীকরণকে প্লাঙ্কের সমীকরণ বলা হয়।

বোর পরমাণু মডেল অনুসারে পারমাণবিক বর্ণালী সৃষ্টির ব্যাখ্যা প্রদানে প্লাঙ্কের এ আলোকশক্তির সমীকরণ বেশ সহায়ক হয়ে ওঠে।

প্লাঙ্কের মতে পরমাণু দ্বারা শক্তি শোষণ বা বিকিরণের পরিমাণ এক বা একাধিক পূর্ণ সংখ্যার প্যাকেট-শক্তি বা কোয়ান্টাম [কোয়ান্টা, quanta (plural)] হয়ে থাকে। অর্থাৎ

$$\Delta E_{atom} = \Delta n \times h\upsilon = E_{emit/absorb}$$

যেহেতু পরমাণু $h\upsilon$ এর পূর্ণ সংখ্যার গুণিতক পরিমাণে শক্তির পরিবর্তন করে; তাই এর নিকটতম দুই শক্তিস্তরের পার্থক্যের বেলায় $\Delta n = 1$ হবে। তখন একটি ফোটনের শক্তি হবে :

$$E_{photon} = h\upsilon = \Delta E_{atom}$$

সমাধানকৃত সমস্যা ২.২৫ : ফোটনের ফ্রিক্যুয়েন্সি থেকে এর শক্তি গণনা :

সেনাবাহিনীর রাডার তরঙ্গের ফ্রিক্যুয়েন্সি $\upsilon = 3.35 \times 10^8$ Hz হলে জুল এককে এর শক্তি কত? কিলোজুল/মোল এককে এ শক্তির পরিমাণ কত হবে?

দক্ষতা : একটি ফোটনের শক্তি, $E_{photon} = h\upsilon$ এবং প্রতি মোল ফোটনের শক্তি $N_A \times E_{photon}$

সমাধান : $E_{photon} = h\upsilon = (6.626 \times 10^{-34}\ J.s)\ (3.35 \times 10^8 s^{-1}) = 2.22 \times 10^{-25}\ J$

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 ২.২৬ : তোমার রান্নাঘরে রান্নার কাজে ব্যবহৃত মাইক্রো ওভেনটি 1.20 cm তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের তাপশক্তি বিকিরণ করে। এ মাইক্রো ওয়েভের বিকিরণের একটি ফোটনের শক্তি কত হবে?

দক্ষতা : একটি ফোটনের শক্তি, $E_{photon} = h\upsilon$ এবং $c = \upsilon \times \lambda$

সমাধান : $E_{photon} = h\upsilon = h \times \frac{c}{\lambda}$

$\therefore E_{photon} = (6.626 \times 10^{-34}\ J.s) \times \frac{(3.0 \times 10^8\ ms^{-1})}{1.20 \times 10^{-2} m}$

$= 16.565 \times 10^{-24}\ J = 1.66 \times 10^{-23}\ J$

দেওয়া 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 :

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? [উ: IR, 77.2 kJ/mol; UV, 478.8 kJ/mol; X-ray, 2.18×10^4 kJ/mol]

সমস্যা ২.২৯ : সোডিয়াম বর্ণালীতে হলুদ বর্ণের 590 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক রশ্মির একটি ফোটনের শক্তি জুল ও কিলোজুল/মোল-এ কত হবে? [উ: 3.369×10^{-19} J; 2.0288×10^2 kJ/mol]

সমস্যা ২.৩০ : ক্যালসিয়ামের লাল বর্ণের রেখা বর্ণালীর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 650 nm হলে এ আলোক রশ্মির (ক) একটি ফোটনের শক্তি ও (খ) এক মোল ফোটনের শক্তি গণনা কর।[উঃ (ক) 3.0581×10^{-19} J; (খ) 1.8416×10^5 J/mol]

সমস্যা ২.৩১ : কোনো রাডার তরঙ্গের ফ্রিক্যুয়েন্সি $5 \times 10^4 s^{-1}$ হলে জুল এককে এর শক্তি কত হবে? [উ: 3.313×10^{-19} J]

(ক) একটি আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 2.8×10^{-5} m হলে (i) সেন্টিমিটার এককে তরঙ্গদৈর্ঘ্য (ii) ফ্রিক্যুয়েন্সি ও (iii) একটি ফোটনের শক্তি গণনা কর। [উ: (i) 2.8×10^{-3} cm (ii) $1.07 \times 10^{13}\ s^{-1}$ (iii) 7.09×10^{-21} J]

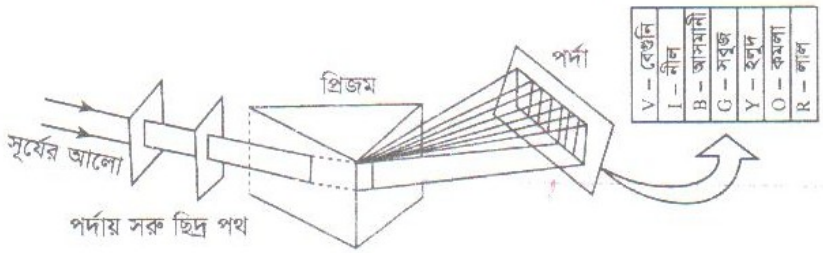
(খ) 400×10^{-10} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর একটি ফোটনের শক্তি কত হবে? [উ: 4.95×10^{-19} J]

(গ) 800 nm ও 400 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুটি বিকিরণ রশ্মির শক্তি গণনা কর এবং তুলনা কর। [উ: $2E_1 = E_2$; $E_1 = 2.4825 \times 10^{-31}$ J]

২.৫.৩ দৃশ্যমান আলো ও বর্ণালী
Visible Light & Spectrum

আমরা জানি সূর্যের দৃশ্যমান আলোর বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য 380 – 780 nm এর মধ্যে থাকে।

বর্ণালী : সূর্যের আলো সরু ছিদ্র পথে কাচের প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরিত হওয়ার কালে তা প্রিজম দ্বারা বিচ্ছুরিত (dispersion) হয়ে রঙধনুর মতো সাত বর্ণের (VIBGYOR— বেনীআসহকলা) প্রশস্ত ব্যান্ড সৃষ্টি করে। সূর্যের আলোর বিচ্ছুরণের ফলে সৃষ্ট বিভিন্ন বর্ণের এ সমাবেশকে বর্ণালী (specturm) বলা হয়। এক্ষেত্রে সৃষ্ট বর্ণালী অবিচ্ছিন্ন ও এতে সব স্পন্দন সংখ্যার আলো থাকে।



চিত্র ২.১৬ : সূর্যের আলোর অবিচ্ছিন্ন বর্ণালী

বর্ণালী মাপার যন্ত্রটিকে স্পেকট্রোমিটার (spectrometer) বলা হয়। গঠনগতভাবে এটির আলো বিচ্ছুরণের জন্য একটি প্রিজম এবং বর্ণালী রেকর্ডের জন্য একটি ফটোগ্রাফিক প্লেট থাকে। বর্ণালীর ফটোগ্রাফকে **স্পেকট্রোগ্রাফ** বলে।

পারমাণবিক বর্ণালী : পারমাণবিক বর্ণালী সূর্যালোকের বর্ণালীর মতো অবিচ্ছিন্ন নয়। পারমাণবিক বর্ণালীতে কয়েকটি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো থাকে। এরূপ বর্ণালীতে প্রত্যেক রঙিন রেখা একটি বিশেষ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিকিরণের জন্য হয়। তাই এরূপ রেখার সারিকে পারমাণবিক **রেখা বর্ণালী** (Line spectrum) বলে।

পারমাণবিক বর্ণালী সৃষ্টি : কোন গ্যাস বা বাষ্পকে উচ্চ তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে বা তার মধ্য দিয়ে বৈদ্যুতিক স্ফুলিঙ্গ চালনা করলে যে আলো বের হয়, তাতে সব স্পন্দন-সংখ্যার আলো থাকে না। প্রিজম বা অনুরূপ যন্ত্রের মধ্যদিয়ে চালনা করলে সৃষ্ট বর্ণালীতে বেশ কিছু একক বা যৌথ লাইন দেখা যায়, যাদের অবস্থান নির্দিষ্ট অর্থাৎ যাদের স্পন্দন-সংখ্যা নির্দিষ্ট। পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয়েছে যে, **বর্ণালীর** একক লাইনগুলো (line spectrum) পরমাণু হতে উৎপন্ন। এজন্য এদেরকে **পারমাণবিক রেখা বর্ণালী বা পারমাণবিক বর্ণালী** (atomic spectrum) বলা হয়। অপরদিকে **বর্ণালীতে 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 বর্ণালী** (molecular spectrum) বলা যেতে পারে। সাধারণত যৌগের বর্ণালী এভাবে নেয়া হয় না। বিদ্যুৎ চৌম্বকীয় বিকিরণের বিভিন্ন এলাকায় ভিন্ন ভিন্ন পদ্ধতি ব্যবহার করে যৌগের বিভিন্ন বর্ণালী গ্রহণ করা হয়।

বিজ্ঞানীরা প্রমাণ করেন যে, প্রত্যেক মৌলের নির্দিষ্ট বৈশিষ্ট্যপূর্ণ রেখা বর্ণালী আছে। বর্ণালীর প্রতি রঙিন রেখা নির্দিষ্ট তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের বা নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের আলো শক্তির সাথে সম্পর্কযুক্ত। তাই বিভিন্ন উদ্বায়ী ধাতব ক্লোরাইডকে বুনসেন বার্নারের শিখায় উত্তপ্ত করলে বিভিন্ন ধাতব আয়ন বিভিন্ন বর্ণযুক্ত শিখা সৃষ্টি করে। যেমন- সোডিয়াম আয়ন থেকে সোনালী হলুদ, পটাশিয়াম আয়ন থেকে হালকা বেগুনি এবং ক্যালসিয়াম আয়ন থেকে ইটের মত লাল শিখা উৎপন্ন হয়।

পারমাণবিক বর্ণালী দু প্রকার। যেমন,

(ক) আলো বিচ্ছুরণ-বর্ণালী (emission spectra) : এটি উজ্জ্বল বর্ণের রেখার হয়।

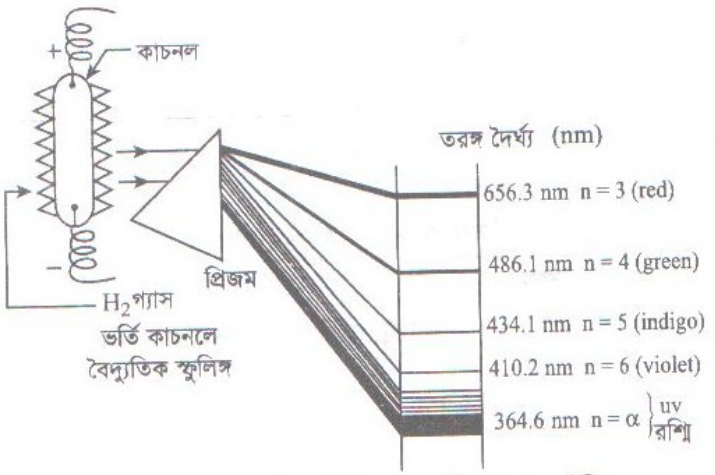
(খ) আলো শোষণ-বর্ণালী (absorption spectra) : এটি কালো বর্ণের রেখার হয়।

(ক) আলো বিচ্ছুরণ বর্ণালী : তড়িৎ-চুম্বকীয় শক্তিতে উদ্দীপিত পরমাণুর বিকিরিত আলো শক্তি দ্বারা বিচ্ছুরণ বর্ণালী সৃষ্টি হয়। বিভিন্ন পরমাণুকে নিম্নরূপে দু'ভাবে উদ্দীপিত করে স্পেকট্রোমিটারে রেখা বর্ণালী পাওয়া যায় :

১। নিম্ন চাপে কোনো গ্যাস বা বাষ্পকে বৈদ্যুতিক স্ফুলিঙ্গ দ্বারা উত্তপ্ত করে। যেমন H_2 এর বর্ণালী।

হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালী : একটি কাচ নলে নিম্ন চাপে রাখা হাইড্রোজেন গ্যাসের ভেতর উচ্চ শক্তির বিদ্যুৎ চালনা করা হলে ঐ গ্যাসের ভেতর থেকে গোলাপী বর্ণের আলোর বিকিরণ ঘটে। এ বিকিরিত আলোকে স্পেকট্রোস্কোপের প্রিজমের মধ্য দিয়ে এর পর্দার ফটোগ্রাফিক প্লেটে ফেললে কতগুলো সুস্পষ্ট রঙিন আলো রেখা দেখা যায়। এদের মধ্যে ১টি লাল বর্ণের ($\lambda = 656.3$nm), ১টি আসমানি বর্ণের ($\lambda = 486.1$nm), ১টি নীল বর্ণের ($\lambda = 434.1$nm) এবং ১টি বেগুনি বর্ণের ($\lambda = 410.1$nm) রেখা সুস্পষ্ট দেখা যায়। এছাড়া 364.6nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সূক্ষ্ম রেখা ও দেখা যায়। এ উজ্জ্বল আলোক রেখাগুলোর সমাহারকে **হাইড্রোজেনের রেখা বর্ণালী বা পারমাণবিক বর্ণালী** বলা হয়। [চিত্র ২.১৭]

২। কোনো পদার্থকে উচ্চতাপমাত্রায় উত্তপ্ত করে এর পরমাণুকে উদ্দীপিত করা হয়। যেমন সোডিয়াম ক্লোরাইড লবণকে শিখায় উত্তপ্ত করে প্রাপ্ত বর্ণালী। এক্ষেত্রে প্রথমে বাষ্পীভূত সোডিয়াম আয়ন নিকটস্থ ঋণাত্মক আয়ন থেকে ইলেকট্রন নিয়ে পরমাণুতে পরিণত হয়। এর পর বর্ণালী সৃষ্টি করে। [অনুচ্ছেদ-২.১১ দেখ]



চিত্র : ২.১৭: হাইড্রোজেনের পারমাণবিক রেখা বর্ণালী

(খ) আলো-শোষণ বর্ণালী : সব তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট দৃশ্যমান আলোকে কোনো মৌলের গ্যাসীয় বা বাষ্পীয় অবস্থায় অথবা পদার্থের দ্রবণের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করার পর ঐ নির্গত আলোকে স্পেকট্রোমিটারে বিশ্লেষণ করলে কতগুলো কালো বর্ণের সূক্ষ্ম রেখা যুক্ত বর্ণালী পাওয়া যায়। এক্ষেত্রে বস্তুর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত দৃশ্যমান আলো থেকে সংশ্লিষ্ট বস্তু দ্বারা শোষিত তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গদৈর্ঘ্যসমূহের অভাবেই ঐ কালো বর্ণের রেখা সৃষ্টি হয়েছে। তাই এরূপ বর্ণালীকে **আলো শোষণ বর্ণালী** বলে। যেমন, NaCl এর দ্রবণ থেকে নির্গত সূর্যালোককে স্পেকট্রোমিটারে বিশ্লেষণ করলে যে একটি কালো সূক্ষ্ম রেখাযুক্ত (D_1 ও D_2) দুটি হলুদ বর্ণালী 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।

বর্ণালীর ব্যাখ্যা ঃ আলোক সম্পর্কীয় প্লাঙ্কের তত্ত্বের সাহায্যে বিজ্ঞানী বোর হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালীর ব্যাখ্যায় বলেন যে, উচ্চ বিদ্যুৎ শক্তির প্রভাবে হাইড্রোজেন অণু (H_2) প্রথমে পরমাণুতে (H) পরিণত হয়। পরে হাইড্রোজেনের অসংখ্য পরমাণুর ইলেকট্রন বিভিন্ন পরিমাণে শক্তি শোষণ করে উদ্দীপিত হয়ে তাদের বিভিন্ন উচ্চ শক্তিস্তরে লাফিয়ে চলে। শক্তির উৎস সরিয়ে নিলে উদ্দীপিত ইলেকট্রনগুলো থেকে শক্তির বিকিরণ ঘটতে থাকে। ফলে ইলেকট্রনগুলো বিভিন্ন নিম্ন শক্তিস্তরে ফিরে আসে। তখন অসংখ্য H-পরমাণুর বিভিন্ন উচ্চ শক্তিস্তরের ইলেকট্রন একই নিম্ন শক্তিস্তরে ফিরতে পারে। ফলে সৃষ্ট রেখা বর্ণালীর পাশাপাশি রেখাগুলো বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের হয়। বিভিন্ন বিজ্ঞানী হাইড্রোজেনের রেখা বর্ণালীর চিত্র আবিষ্কার করেন, তাঁদের নামানুসারে হাইড্রোজেনের রেখা বর্ণালীর বিভিন্ন নাম আছে, যেমন (i) উদ্দীপিত ইলেকট্রন শক্তি হারিয়ে ১ম শক্তিস্তরে ফিরে আসলে তখন H-বর্ণালীতে যে রেখাসমূহ পাওয়া যায়, তাদের সমাহারকে লাইমেন সিরিজ বলে। তদ্রুপ উচ্চ শক্তিস্তর থেকে ইলেকট্রনসমূহ ২য়, ৩য়, ৪র্থ ও ৫ম শক্তিস্তরে ফিরে আসার ফলে সৃষ্ট বর্ণালীকে যথাক্রমে (ii) বামার সিরিজ, (iii) প্যাশ্চেন সিরিজ, (iv) ব্র্যাকেট সিরিজ, (iv) ফুন্ড সিরিজ বলা হয় [চিত্র ২.১৯ দ্রষ্টব্য]।

(৩) হাইড্রোজেন বর্ণালীর উপর বিভিন্ন বিজ্ঞানীর পরীক্ষা নিরীক্ষা ঃ সূর্যের দৃশ্যমান আলোর মধ্যে হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালীর বিভিন্ন লাইন দেখা যায় এবং তাদের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য সূক্ষ্মভাবে মাপা হয়। ১৮৮৫ খ্রিস্টাব্দে জে. জে. বামার (J. J. Balmer) দেখান যে, এদের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যকে নিম্নের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় ঃ

$\lambda = K\frac{n^2}{n^2-4}$; এখানে, λ = তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য; K = একটি ধ্রুবক = $\frac{2ch^3}{\pi^2me^4}$

n = 3, 4, 5 . . . . প্রভৃতি পূর্ণসংখ্যা। এখানে c = আলোর বেগ, h = প্লাঙ্কের ধ্রুবক, m ও e হলো ইলেকট্রনের ভর ও চার্জ।

এ সমীকরণকে অন্যভাবেও লেখা যায়। যেমন,

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\nu} = \frac{1}{K}\left(\frac{n^2-4}{n^2}\right) = \frac{1}{K}\left(1-\frac{4}{n^2}\right) = \frac{4}{K}\left(\frac{1}{4}-\frac{1}{n^2}\right) = R_H\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right);$$

এখানে, $R_H = \frac{4}{K}$

এখানে $\bar{\nu}$ = তরঙ্গ-সংখ্যা এবং R_H- কে রিডবার্গ ধ্রুবক (Rydberg constant) বলা হয়। R_H =109678 cm^{-1}; এ সমীকরণ মতে নির্ণীত বামার সিরিজের বিভিন্ন লাইনের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (nm) ও পরীক্ষণলব্ধ ফলাফল যে কত মিলে গেছে, তা নিচের উদাহরণ থেকে স্পষ্ট হবে।

সারণি ২.৪ ঃ হাইড্রোজেন বর্ণালীর বামার সিরিজে বিভিন্ন লাইনের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য

কক্ষপথ নির্দেশক সংখ্যা, n	বামার সিরিজে বিভিন্ন লাইনের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (nm)	উপরের সমীকরণ হতে হিসাবকৃত তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (nm)
3	656.279	656.280
4	486.133	486.138
5	434.047	434.051
6	410.174	410.178
7	397.006	397.011

১৯০৬ খ্রিস্টাব্দে লাইমেন (T. Lymen) হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালীতে **অতিবেগুনি রশ্মি এলাকায়** কয়েকটি লাইন আবিষ্কার করেন। এ লাইনগুলো **লাইমেন সিরিজ** হিসেবে খ্যাত। এ সব লাইনের তরঙ্গ-সংখ্যা নিম্নরূপ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় ঃ

$\bar{\nu} = R\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n^2}\right)$, এখানে n = 2, 3, 4, 5 ... প্রভৃতি।

১৯০৮ খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী রিট্জ (W. Ritz) একটি নীতি প্রকাশ করেন, যা **রিট্জের সংযোজন নীতি** (Ritz combination principle) হিসেবে খ্যাত। রিটজের নীতি অনুসারে যে কোন পরমাণুর বর্ণালীতে বিভিন্ন লাইনের তরঙ্গ-সংখ্যা নিম্নোক্ত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় ঃ

$\bar{\nu} = \frac{R}{x^2}-\frac{R}{y^2}$; এখানে R হল বিভিন্ন পরমাণুর জন্য নির্দিষ্ট ধ্রুবক। যে কোন সিরিজের জন্য x নির্দিষ্ট এবং y বিভিন্ন মান ধারণ করে। x ও y-এর মান পূর্ণ-সংখ্যা বা অপূর্ণ সংখ্যা উভয়েই হতে পারে।

রিটজের নীতি প্রকাশের পরপরই বিজ্ঞানী প্যাশ্চেন (F. Paschen) ১৯০৮ খ্রিস্টাব্দে **অবলোহিত রশ্মি এলাকায়** হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালীতে কিছু লাইন আবিষ্কার করেন; যা **প্যাশ্চেন সিরিজ** (Paschen series) নামে খ্যাত। পরবর্তীতে ১৯২২ খ্রিস্টাব্দে এফ. এস. ব্র্যাকেট (F.S. Brackett) ও ১৯২৪ খ্রিস্টাব্দে এ. এইচ ফুন্ড (A.H.Pfund)

একই এলাকায় দুটি ভিন্ন সিরিজ আবিষ্কার করেন, এ দুটি **ব্র্যাকেট সিরিজ** (Brackett series) ও **ফুন্ড সিরিজ** (Pfund series) হিসেবে পরিচিত।

আলোর বিভিন্ন অঞ্চলে হাইড্রোজেনের পরমাণু দ্বারা সৃষ্ট বর্ণালীর বিভিন্ন সিরিজের লাইনসমূহের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য নিম্নের সাধারণ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় ঃ

$\frac{1}{\lambda} = \bar{v}\ (cm^{-1}) = R_H\ (cm^{-1}) \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$; এখানে, n_1 ও n_2 বিভিন্ন পূর্ণ সংখ্যা। বিভিন্ন সিরিজে এদের মান নিম্নরূপ:

লাইমেন সিরিজে	(Lymen series এ)	$n_1 = 1;$	$n_2 = 2, 3, 4 \ldots\ldots$	[অতিবেগুনি অঞ্চল]
বামার সিরিজে	(Balmer series এ)	$n_1 = 2;$	$n_2 = 3, 4, 5, 6 \ldots\ldots$	[দৃশ্যমান অঞ্চল] **DU-05-12-13
প্যাশ্চেন সিরিজে	(Paschen series এ)	$n_1 = 3;$	$n_2 = 4, 5, 6, 7 \ldots\ldots$	[অবলোহিত অঞ্চল]
ব্রাকেট সিরিজে	(Brackett series এ)	$n_1 = 4;$	$n_2 = 5, 6, 7, 8 \ldots\ldots$	[অবলোহিত অঞ্চল]
ফুন্ড সিরিজে	(Pfund series এ)	$n_1 = 5;$	$n_2 = 6, 7, 8, 9 \ldots\ldots$	[অবলোহিত অঞ্চল]

সমাধানকৃত সমস্যা ২.২৭ : হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন যখন ৪র্থ শক্তিস্তর (n = 4) থেকে দ্বিতীয় শক্তিস্তরে (n = 2) স্থানান্তরিত হয়, তখন সৃষ্ট বর্ণালী রেখার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কত হবে এবং বিকিরণের বর্ণ কিরূপ 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 $n_2 = 4$

$\therefore \frac{1}{\lambda} = 109678 cm^{-1} \times \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}\right)$ আমরা জানি, রিডবার্গ ধ্রুবক, $R_H = 109678\ cm^{-1}$

$= 109678\ cm^{-1} \times (0.25 - 0.0625) = 109678\ cm^{-1} \times 0.1875$

$\therefore \lambda = \frac{1}{109678\ cm^{-1} \times 0.1875} = \frac{1}{20564.625}\ cm = 4.8627 \times 10^{-7}\ m = 486.27\ nm$

বিকিরণ রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 450 ~ 500 nm এর মধ্যে হওয়ায় বিকিরণের বর্ণ আসমানী হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা ২.২৮ : হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালীর ব্রাকেট সিরিজের তৃতীয় লাইন ($n_2 = 7$) এর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। ($R_H = 10.97 \times 10^6\ m^{-1}$)

সমাধান ঃ রিডবার্গের সমীকরণ মতে, প্রশ্নমতে,

$\frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6\ m^{-1} \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$ ব্রাকেট সিরিজের বেলায়, $n_1 = 4; n_2 = 7$

$\therefore \frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6\ m^{-1} \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{7^2}\right)$;

$\frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6\ m^{-1}\ (0.0625 - 0.0204081)$

$\therefore \frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6\ m^{-1} \times 0.0420919 = 461748.1\ m^{-1}$

$\therefore \lambda = 2.165683 \times 10^{-6}\ m = 2.165683 \times 10^3\ nm$

সমাধানকৃত সমস্যা ২.২৯ : হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালীর লাইমেন সিরিজে রেখা সৃষ্টিকারী চতুর্থ শক্তিস্তর থেকে আগত ইলেকট্রনের বিকিরিত শক্তির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। ($R_H = 10.97 \times 10^6\ m^{-1}$)

সমাধান ঃ রিডবার্গের সমীকরণ মতে,

$$\frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6\ m^{-1}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

$$= 10.97 \times 10^6\ m^{-1}\left(\frac{1}{(1)^2} - \frac{1}{(4)^2}\right) = 10.97 \times 10^6\ m^{-1}\left(1 - \frac{1}{16}\right)$$

$$= 10.97 \times 10^6\ m^{-1} \times \frac{15}{16} = 10.284375 \times 10^6\ m^{-1}$$

$$\therefore\ \lambda = \frac{1}{10.284375 \times 10^6}\ m = 9.7235 \times 10^{-8}\ m = 97.235\ nm \quad \therefore\ \lambda = 97.235\ nm$$

প্রশ্নমতে,

লাইমেন সিরিজের বেলায় $n_1 = 1$

এক্ষেত্রে $n_2 = 4$

২.৬ রেখা বর্ণালীর সাহায্যে মৌল শনাক্তকরণ : শিক্ষার্থীর কাজ

Element detection from Line-Spectrum : Students' Activity

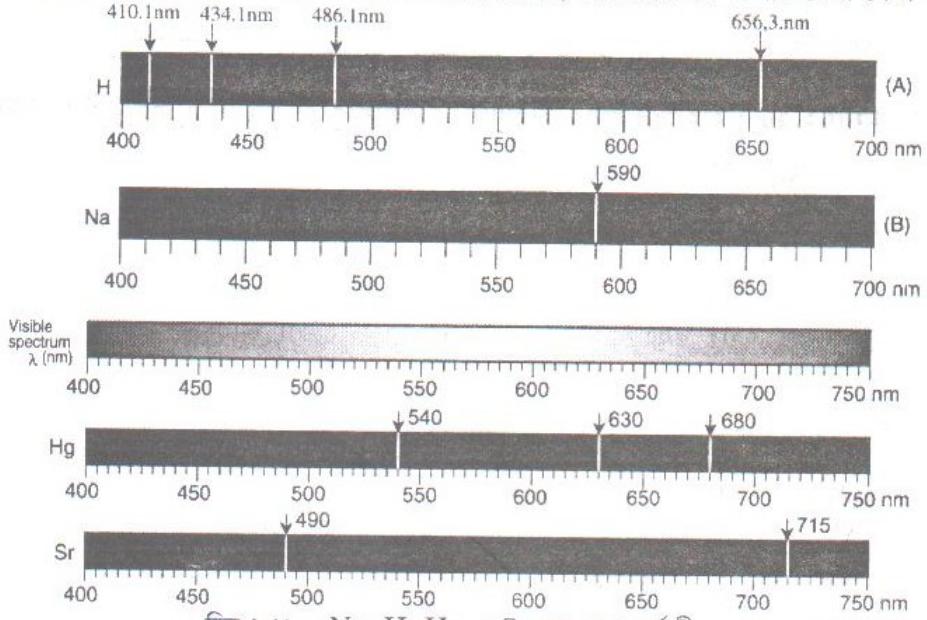
প্রত্যেক মানুষের 'আঙ্গুলের-ছাপ' এর মতই পরমাণুর রেখা বর্ণালী পৃথক। (i) তাই প্রত্যেক মৌলের বৈশিষ্ট্যপূর্ণ বর্ণালী আছে। (ii) বর্ণালীর প্রতিটি রেখার নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্য বা ফ্রিক্যুয়েন্সি থাকে। তাই রেখা বর্ণালীতে সৃষ্ট বর্ণ ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য দেখে মৌল শনাক্ত করা যায়। যেমন–

(১) সোডিয়াম পরমাণুর বর্ণালীতে 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 বর্ণালী দৃশ্যমান আলোর পরিসরে দেখা যায়; (i) নীলবর্ণের $\lambda = 4.10.1$ nm, 434.1 nm, 486.1 nm (আসমানি) এবং লালবর্ণের $\lambda = 656.3$ nm।

(৩) তদ্রূপ, মারকারির অনেকগুলো রেখা বর্ণালীর মধ্যে সবুজ বর্ণের $\lambda = 540$ nm, কমলা বর্ণের $\lambda = 630$ nm এবং লাল বর্ণের $\lambda = 680$ nm দৈর্ঘ্যের রেখাগুলো সুস্পষ্ট হয়।

(৪) স্ট্রনসিয়াম (Sr) এর অনেকগুলো রেখা বর্ণালীর 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 বর্ণালী।

শিক্ষার্থীর কাজ :

সমস্যা-২.৩২ : নিম্নোক্ত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রেখা বর্ণালী থেকে মৌলসমূহ শনাক্ত করে লেখ।

(ক) λ = 590 (nm) ....., (খ) λ= 656.3nm .....

(গ) λ = 410. 1 (nm) ....., (খ) λ= 550.3nm

প্রশ্ন-২.৪ : চিত্র-২.১৫ এ মৌলের রেখা বর্ণালী দেয়া আছে। Na পরমাণু ও H পরমাণুর রেখা বর্ণালীর মধ্যে পার্থক্য সূচক বৈশিষ্ট্যগুলো লিখে তোমার শিক্ষককে দেখাও।

২.৭ বোর পরমাণু মডেল থেকে হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালীর ব্যাখ্যা
Explanation of H-spectrum from Bohr's Atom Model

বোর মডেল থেকে H-এর পারমাণবিক বর্ণালী সৃষ্টির ব্যাখ্যা করা যায়। H পরমাণুতে একটিমাত্র ইলেকট্রন থাকা সত্ত্বেও এর পারমাণবিক বর্ণালীতে অনেক রেখা সৃষ্টি হয়। এর কারণ হলো উচ্চ বিদ্যুৎ শক্তির প্রভাবে হাইড্রোজেন অণু (H_2) প্রথমে পরমাণুতে (H) পরিণত হয়। পরে হাইড্রোজেনের অসংখ্য পরমাণুর ইলেকট্রনগুলো উৎস থেকে বিভিন্ন পরিমাণে শক্তি শোষণ করে বিভিন্ন উচ্চ শক্তিস্তরে উন্নীত হয়। নিউক্লিয়াস হতে অসীম দূরত্বে থাকা অধিক শক্তিসম্পন্ন এই স্তরগুলোকে উত্তেজিত স্তর (Excited state) বলা হয়। উচ্চ শক্তিস্তরে ইলেকট্রনগুলো স্থিতিশীল থাকে না। শক্তির উৎস সরিয়ে নিলে ঐ ইলেকট্রনগুলো বিভিন্ন উচ্চ শক্তিস্তর থেকে আলো শক্তি বিকিরণ করে লাফিয়ে একই নিম্ন শক্তিস্তরে ফিরে আসতে পারে। নিম্ন শক্তিস্তর স্বল্পশক্তি সম্পন্ন ও স্থায়ী, একে সর্বনিম্ন শক্তি অবস্থা (ground state) বলে।

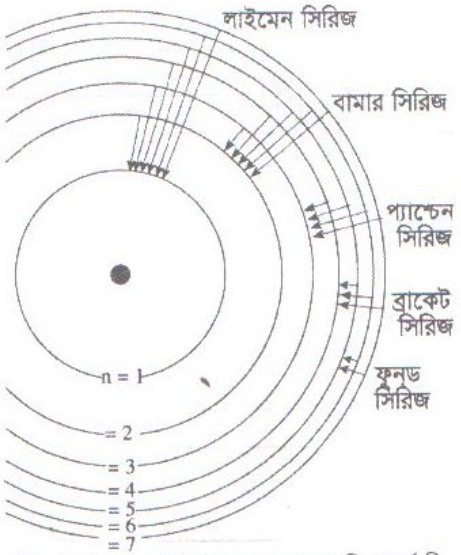
ফলে সৃষ্ট রেখা বর্ণালীর পাশাপাশি রেখাগুলো বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের হয়। বিভিন্ন বিজ্ঞানী H-এর রেখা বর্ণালীর চিত্র আবিষ্কার করেন, তাঁদের নামানুসারে H-এর রেখা বর্ণালীর বিভিন্ন নাম আছে, যেমন (i) বিভিন্ন উচ্চ শক্তিস্তরে থাকা উদ্দীপিত ইলেকট্রন শক্তি বিকিরণ করে ১ম শক্তিস্তরে ফিরে আসলে তখন H-বর্ণালীতে যে রেখাসমূহ পাওয়া যায়, তাদেরকে **লাইমেন সিরিজ** বলে। তদনুরূপ উচ্চ শক্তিস্তর থেকে ইলেকট্রনসমূহ ২য়, ৩য়, ৪র্থ ও ৫ম শক্তিস্তরে ফিরে আসার ফলে সৃষ্ট বর্ণালীকে যথাক্রমে, (ii) **বামার সিরিজ**, (iii) **প্যাশ্চেন সিরিজ**, (iv) **ব্রাকেট সিরিজ**, (v) **ফুন্ড সিরিজ** বলা হয়। [চিত্র : ২.১৯]

হাইড্রোজেনের বর্ণালীর বিভিন্ন রেখার তরঙ্গ সংখ্যা ($\bar{\upsilon}$) নিম্নোক্ত রিডবার্গ সমীকরণ হতে পাওয়া যায়।

$$\frac{1}{\lambda} = \bar{\upsilon} = R_H\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) m^{-1}$$ 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 বর্ণালীগুলো 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 = 1এ 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-



চিত্র ২.১৯ : হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালী রেখাগুলোর বিভিন্ন শক্তিস্তর থেকে উৎপত্তি।

এ স্থানান্তরের জন্য এবং ৭ম, ৮ম ..... শক্তিস্তর $n_2 = 7, 8$ .... হতে ৫ম শক্তিস্তর $n_1 = 5$ এ ইলেকট্রন ফিরে আসলে দূর অবলোহিত অঞ্চলে (Far Infrared) যথাক্রমে ব্রাকেট সিরিজ (Brackett Series) ও ফুন্ড সিরিজ (Pfund Series) পরিদৃষ্ট হয়। বিভিন্ন সিরিজে n_1 ও n_2 এর মান নিম্নরূপ :

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]
প্যাশ্চেন 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]

দ্রষ্টব্য : (১) তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) দীর্ঘতম হলে, n_2 এর মান ক্ষুদ্রতম হবে।
(২) তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) ক্ষুদ্রতম হলে, n_2 এর মান সবচেয়ে বড় হবে। তখন $\frac{1}{n^2} = 0$ হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা ২.৩০। হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন যখন ৪র্থ শক্তিস্তর ($n = 4$) থেকে দ্বিতীয় শক্তিস্তরে ($n = 2$) স্থানান্তরিত হয়, তখন সৃষ্ট বর্ণালী রেখার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কত হবে এবং বিকিরণের বর্ণ কিরূপ হবে?

দক্ষতা : প্রথমে রিডবার্গ সমীকরণটি লিখতে হবে।

সমাধান : বামার সিরিজ মতে পাই,

$\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$; প্রশ্নমতে, $n_1 = 2$ এবং $n_2 = 4$

আমরা জানি, রিডবার্গ ধ্রুবক, $R_H = 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1}$

$\therefore \frac{1}{\lambda} = 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1} \times \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2}\right)$

$= 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1} \times (0.25 - 0.0625) = 1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1} \times 0.1875$

$\therefore \lambda = \frac{1}{1.09678 \times 10^{-2}\ nm^{-1} \times 0.1875} = \frac{1 \times 10^2\ nm}{0.20564625} = 486.27\ nm$

Ju 13 ** [বিকিরণ রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 450–500 nm এর মধ্যে হওয়ায় বিকিরণের বর্ণ আসমানী হবে]

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩১। হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালীর ব্রাকেট সিরিজের তৃতীয় লাইন ($n_2 = 7$) এর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। ($R_H = 10.97 \times 10^6\ m^{-1}$)

দক্ষতা : রিডবার্গ সমীকরণে ব্র্যাকেট সিরিজের সম্পর্ক জানতে হবে।

সমাধান : রিডবার্গের সমীকরণ মতে, প্রশ্নমতে,

$\frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6\ m^{-1}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$ ব্রাকেট সিরিজের বেলায়, $n_1 = 4$; $n_2 = 7$

$\therefore \frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6 m^{-1}\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{7^2}\right) : \frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6 m^{-1}(0.0625 - 0.0204081)$

$\therefore \frac{1}{\lambda} = 10.97 \times 10^6 m^{-1} \times 0.0420919 = 461748.1\ m^{-1}$

$\therefore \lambda = 2.165683 \times 10^{-6}\ m = 2.165683 \times 10^3\ nm$ (উত্তর)।

MCQ-2.9 : জাল টাকা শনাক্তকরণে কোন্ তড়িৎ চুম্বকীয় রশ্মি ব্যবহৃত হয়?
(ক) IR (খ) Radio wave
(গ) UV (ঘ) Vis-ray

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩২। 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 বর্ণালী রেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য গণনা কর। [$h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s]

দক্ষতা : প্লাঙ্কের সমীকরণ, $E_{photon} = h\upsilon$ এবং $\upsilon = \frac{c}{\lambda}$ প্রয়োগ হবে।

সমাধান : $E = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda}$

$\therefore E = \frac{hc}{\lambda}$; $\therefore \lambda = \frac{hc}{E}$

$\therefore \lambda = \frac{6.626 \times 10^{-34}\ J.s \times 2.9979 \times 10^{8}\ ms^{-1}}{2.118 \times 10^{-18}\ J}$

$= 9.379 \times 10^{-8}$ m $= 93.79$ nm.

প্রশ্ন মতে,

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

$c = 2.9979 \times 10^{8}$ ms^{-1}

$E = 2.118 \times 10^{-18}$ J

সমাধানকৃত সমস্যা ২.৩৩ : H-পরমাণুর উত্তেজিত ইলেকট্রনটি উচ্চ শক্তিস্তর থেকে ১ম শক্তিস্তরে স্থানান্তরের সময় বিকিরিত রশ্মির ফোটনের শক্তি 2.12×10^{-18}J হলে বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত? এক্ষেত্রে সৃষ্ট বর্ণালী রেখাটি H-বর্ণালীর কোন্ সারিতে হবে? [$h = 6.626 \times 10^{-34}$J.s]

দক্ষতা : $E = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda}$ সমীকরণ প্রযোজ্য হবে।

সমাধান : তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = \frac{hc}{E}$;

$\therefore \lambda = \frac{6.626 \times 10^{-34}J.s \times 3.0 \times 10^{8}m.s^{-1}}{2.12 \times 10^{-18}J}$

বা $\lambda = \frac{6.626 \times \times 3.0 \times 10^{8}m}{2.12 \times 10^{-18}}$

বা, $\lambda = 9.3764 \times 10^{-8}$m

$= 93.764$ nm

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}

বর্ণালীর সারি চিহ্নিতকরণ : যেহেতু উত্তেজিত ইলেকট্রনটি ১ম শক্তিস্তরে স্থানান্তারিত হয়েছে, তাই বর্ণালী রেখাটি লাইমেন বর্ণালী সারির অন্তর্ভুক্ত হবে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩৪ : হাইড্রোজেন পরমাণুর উত্তেজিত ইলেকট্রন ২য় কক্ষপথ থেকে ১ম কক্ষপথে স্থানান্তরিত হলো। এক্ষেত্রে বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গ-সংখ্যা, তরঙ্গ দৈর্ঘ্য ও কম্পাঙ্ক বা ফ্রিক্যুয়েন্সি গণনা কর।

[$R_H = 1.09678 \times 10^{-2} nm^{-1}$; $c = 3.0 \times 10^{8}$ 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, $\bar{\upsilon} = R_H\left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$;

বা, $\bar{\upsilon} = 1.09678 \times 10^{7}m^{-1}\left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right]$

বা, $\bar{\upsilon} = 1.09678 \times 10^{7} \times (1 - 0.25)m^{-1}$

বা, $\bar{\upsilon} = 1.09678 \times 0.75 \times 10^{7}m^{-1}$

বা, $\bar{\upsilon} = 8.22585 \times 10^{6}$ m^{-1}

আবার, তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = \frac{1}{\bar{\upsilon}} = \frac{1}{8.22585 \times 10^{6}m^{-1}}$

দেয়া আছে, $n_1 = 1$, $n_2 = 2$

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

$c = 3.0 \times 10^{8} ms^{-1}$

তরঙ্গ সংখ্যা, $\bar{\upsilon} = ?$

তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = ?$

কম্পাঙ্ক, $\upsilon = ?$

$$= 1.21568 \times 10^{-7}\ m$$

কম্পাঙ্ক বা ফ্রিক্যুয়েন্সি, $$\upsilon = \frac{c}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^{8} ms^{-1}}{1.21568 \times 10^{-7} m}$$

বা, $$\upsilon = \frac{3.0 \times 10^{15}}{1.21568} = 2.4677 \times 10^{8} s^{-1}$$

শিক্ষার্থীর কাজ :

সমস্যা-২.৩৩ : অবলোহিত অঞ্চলে সৃষ্ট H-পরমাণুর রেখা বর্ণালীর দীর্ঘতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য ন্যানোমিটারে কত হবে, যখন $n_1 = 3$ হয়? [উ: 1876 nm]

সমস্যা-২.৩৪ : অবলোহিত অঞ্চলে সৃষ্ট H-পরমাণুর রেখা বর্ণালীর হ্রস্বতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য ন্যানোমিটারে কত হবে, যখন $n_1 = 3$ হয়? [উ: 820.6 nm]

সমস্যা-২.৩৫ : H-পরমাণুর লাইমেন সিরিজে হ্রস্বতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য ন্যানোমিটারে কত হবে? কিলোজুল/মোলে ফোটনের শক্তি তখন কত হবে? [উ: 91.175 nm; 1312.85 kJ/mol]

সমস্যা : ২.৩৫ (ক) : H পরমাণুর উত্তেজিত ইলেকট্রনটি ৩য় কক্ষপথ থেকে ১ম কক্ষপথে স্থানান্তরিত হলে যে রশ্মি বিকিরিত হয়, তার তরঙ্গদৈর্ঘ্য, কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গ সংখ্যা বের কর।

[উ: $\lambda = 102.55$ nm; কম্পাঙ্ক $= 2.925 \times 10^{15} s^{-1}$; তরঙ্গসংখ্যা $= 9.751 \times 10^{4} cm^{-1}$]

সমস্যা : ২.৩৫ (খ) : H পরমাণুর উত্তেজিত ইলেকট্রনটি N- শেল থেকে L- শেলে স্থানান্তরিত হলে বিকিরিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য, সৃষ্ট রেখা বর্ণালীর বর্ণ ও বর্ণালীর সিরিজ নির্ণয় কর।

[উ: $\lambda = 486.272$ nm, বর্ণ = আসমানি, বাসার সিরিজভুক্ত]

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 কর।

[উ: $\lambda = 97.254$ 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 বর্ণালী সৃষ্টি করলে বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গ সংখ্যা ও তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বের কর।

[উ: তরঙ্গ সংখ্যা $= 1.02823 \times 10^{5}\ cm^{-1}$; $\lambda = 97.254$ nm]

২.৮ জাল টাকা/পাসপোর্ট শনাক্তকরণে UV-রশ্মির ব্যবহার
Uses of UV rays to detect Fake Currency Notes/Passport

Ultra –Violet বা UV-রশ্মি হলো দৃশ্যমান আলো ও রঞ্জন রশ্মির-এ দুয়ের মাঝখানের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট তড়িৎ-চুম্বকীয় রশ্মি। তোমরা সংবাদপত্র ও টেলিভিশনের বিভিন্ন সময়ের সংবাদে জেনেছ, ঢাকা ও বিভিন্ন শহরে জাল টাকা ও জাল গলা কাটা পাসপোর্ট তৈরির দুষ্ট চক্র গোপন সূত্রে পুলিশের হাতে ধরা পড়ে আদালতে সোপর্দ হয়েছে। সাধারণ চোখের দৃষ্টিতে এ সব জাল টাকা সহজে শনাক্ত করা সম্ভব হয় না। নিচের ২.২০ নং চিত্রে আসল ১০০০ টাকার নোট ও একটি নকল বা জাল ১০০০ টাকার কারেন্সি নোট দেখানো আছে। এ দুটি কারেন্সি নোট দেখে তোমরা আসল টাকার নোট ও জাল টাকার নোট পার্থক্য করতে পারবে না। কীভাবে পারবে? বাহ্যিকভাবে দুটো নোটই দেখতে একই রকম। তবে আসল কারেন্সি নোটের অভ্যন্তরে গঠনগত একটি পার্থক্য অবশ্যই আছে; যাকে বলা হয় কারেন্সি নোটের নিরাপত্তা ব্যবস্থা বা Security device. জাল পাসপোর্ট ও নকল টাকা শনাক্তকরণে বর্তমানে UV রশ্মি বিশেষভাবে ব্যবহৃত হয়।

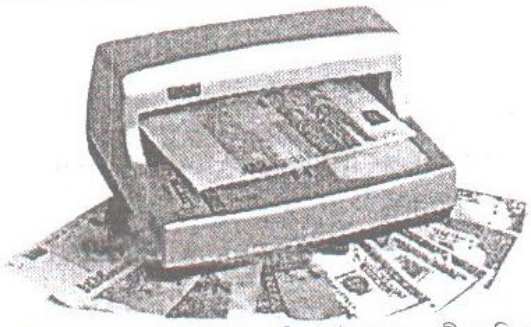
UV রশ্মি দ্বারা জালনোট শনাক্তকরণের মূলনীতি : UV রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = 10$ nm থেকে 380 nm হয়। তবে 230 nm – 375 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের UV রশ্মি অপটিকেল সেন্সররূপে আসল-নকল কারেন্সি নোট ডিটেক্টর মেসিনে ব্যবহৃত হয়। কারেন্সি নোটে Security device রূপে অপটিকেল সেন্সর ফসফোর (phosphor) নামক বিশেষ রাসায়নিক পদার্থ ব্যবহৃত হয়। UV রশ্মির ক্ষুদ্র তরঙ্গ বা বৃহৎ ফ্রিক্যুয়েন্সির ফোটন দ্বারা ফসফোর অণুর ইলেকট্রন উত্তেজিত হয়ে উচ্চতর

শক্তি স্তরে উত্থিত হয়। পরক্ষণে ফসফোর অণুর উত্তেজিত ইলেকট্রন অস্থিতিশীল উত্তেজিত অবস্থা থেকে সুস্থিত অবস্থায় ফেরার পথে পূর্বের শোষিত শক্তি দৃশ্যমান আলোর নির্দিষ্ট বর্ণের ফ্রিক্যুয়েন্সিতে বিকিরিত হয়, একে অনুপ্রভা (fluorescence) বলে। এ নীতির ওপর ভিত্তি করেই জাল টাকা/পাসপোর্ট শনাক্তকরণে UV রশ্মি ব্যবহৃত হয়।

ফসফোর : ফসফোর হলো 230 nm – 375 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের UV রশ্মি শোষণকারী; কিন্তু দৃশ্যমান আলোর পরিসরে অর্থাৎ 380 nm – 780 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মধ্যে ঐ শোষিত শক্তি বিকিরণকারী রাসায়নিক পদার্থ।

ফসফোর রূপে বিভিন্ন জটিল ধাতব অক্সাইড ও ল্যান্থানাইড আয়ন 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।

তাই বিভিন্ন দেশের জাতীয় ব্যাংক নোট কারেন্সি নোট বা কাগজের টাকার ও পাসপোর্টের জাল করার 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 তে দেখানো হয়েছে। বর্তমানে পেন্সিল ব্যাটারিযুক্ত ছোট আকারের পকেট সাইজের **UV-ray** কলম পাওয়া যায়। তোমরা এ UV-ray কলম সংগ্রহ করে জাল টাকা, জাল পাসপোর্ট ও জাল ক্রেডিট কার্ড ইত্যাদি সহজেই শনাক্ত করতে পারবে।

বাংলাদেশের বিভিন্ন মানের কারেন্সি নোটে ব্যবহৃত ফসফোর সুতায় UV রশ্মি দ্বারা সৃষ্ট অনুপ্রভার বর্ণ পরিবর্তন এবং আমেরিকার US-ডলার নোটের নিরাপত্তা ফসফোর সুতায় সৃষ্ট অনুপ্রভার বর্ণ পরিবর্তন নিচে দেয়া হলো।

বাংলাদেশের কারেন্সি নোট	UV রশ্মি দ্বারা সৃষ্ট অনুপ্রভার বর্ণ
১০০০ টাকার নোট	১। হাল্‌কা বেগুনি ও হাল্‌কা হলুদ বর্ণের ছড়ানো ছোট আকারের বিভিন্ন রেখা।
৫০০ টাকা ও ১০০ টাকার নোট	২। হালকা লাল্‌চে, হাল্‌কা বেগুনি ও হাল্‌কা হলুদ বর্ণের ছড়ানো ছোট আকারের বিভিন্ন রেখা।

আমেরিকার কারেন্সি নোট	UV রশ্মি দ্বারা সৃষ্ট অনুপ্রভার 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 :

প্রশ্ন-২.৬ : ফসফোর বলতে কী বুঝ? জাল কারেন্সি নোট শনাক্তকরণে UV-রশ্মি ও ফসফোর-এর ভূমিকা ব্যাখ্যা কর।

প্রশ্ন-২.৭ : অনুপ্রভা বলতে কী বোঝ?

২.৯ চিকিৎসাক্ষেত্রে IR-রশ্মির ব্যবহার
Uses of IR-rays in Medical Treatment

IR রশ্মি [λ = 780nm–1.0 × 10^6nm] : 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 ছোট হওয়ায় তাপশক্তি তুলনামূলকভাবে বেশি হয়। চিকিৎসা ক্ষেত্রে 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 বড় হওয়ায় তাপশক্তি near–IR থেকে কম হয়। middle-IR অঞ্চল জৈব যৌগের কার্যকরীমূলক শনাক্তকরণে ব্যবহৃত হয়।

(৩) **far-IR :** far-IR রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 25000 nm–1.0 × 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 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 চিকিৎসা ক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয়।

মানবদেহ ও IR-রশ্মির সম্পর্ক : দেহে স্বাভাবিক বিপাক ক্রিয়া দ্বারা উৎপন্ন তাপের নির্দিষ্ট অংশ দেহ ত্বকের পৃষ্ঠদেশ থেকে IR-রশ্মি রূপে পরিবেশে বিকিরিত হয়। এ IR-রশ্মির বিকিরণ মাত্রা দেহে উৎপন্ন তাপশক্তির সমানুপাতিক। এক্ষেত্রে মানব দেহের বিকিরিত IR-রশ্মির পরিসর হলো 8 μm–12 μm বা 8000 nm–12000 nm; যা **middle-IR এর মধ্যস্থ দেহ অবলোহিত রশ্মি** নামে পরিচিত।

মেডিকেল IR-imaging বা IR-প্রতিচ্ছবিকে এ দেহ-IR এর পরিসরের Thermal-IR বলে। এটি মানব দেহের 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 শারীর বৃত্তীয় 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।

চিকিৎসা ক্ষেত্রে near-IR ও far-IR : চিকিৎসাক্ষেত্রে অধিকতর তাপশক্তির ছোট তরঙ্গদৈর্ঘ্যের near-IR রশ্মি এবং কম তাপশক্তির বড় তরঙ্গদৈর্ঘ্যের far-IR রশ্মির প্রয়োগে নিম্নোক্ত রোগ নির্ণয় ও রোগের চিকিৎসা করা হয়।

চিকিৎসাক্ষেত্রে near-IR রশ্মি :

(১) near-IR রশ্মি প্রয়োগ করে মস্তিষ্কের রক্তের হিমোগ্লোবিনে শোষিত অক্সিজেন কত টুকু 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 সহায়তা করে। বিপাক ক্রিয়ার বৃদ্ধির মাধ্যমে দেহকোষ ও টিস্যুর বৃদ্ধি ঘটে। মূলত ব্যথা-বেদনা উপশম ও স্নায়ু গঠন প্রক্রিয়ায় উদ্দীপক হিসেবে Far–IR-রশ্মি ব্যবহৃত হয়।

IR-রশ্মি দ্বারা চিকিৎসা পদ্ধতি নিম্নোক্ত দু কৌশলে করা হয়। যেমন Low emission পদ্ধতি ও High emission পদ্ধতি।

(১) Low emission পদ্ধতিতে far-IR রশ্মি ত্বকের নিচের টিস্যুকে মৃদু উত্তপ্ত করে। তখন ঐ স্থানে রক্ত সঞ্চালন বৃদ্ধি পায়; দেহ কোষ ও মাংসপেশি স্বাভাবিক হয়, জয়েন্টের সচলতা বাড়ে; স্নায়ু-বিন্যাস স্বাভাবিক হয়ে ব্যথা-বেদনার উপশম ঘটে। ঘাড়ের মাংসপেশি শক্ত হওয়া বা frozen Shoulder এর জনপ্রিয় চিকিৎসা পদ্ধতি হলো 'ফিজিওথেরাপি', এতে far-IR রশ্মি প্রয়োগ করে ম্যাসেজ করা হয়।

(২) Laser পদ্ধতি : লেসার পদ্ধতিতে অতি সূক্ষ্ম ও তীব্র IR রশ্মি দেয়া হয়; যা ত্বকের 4 cm গভীরে যেতে পারে। তখন IR-রশ্মি ত্বকের তাপমাত্রা বৃদ্ধির পরিবর্তে আক্রান্ত ও ক্ষতিগ্রস্ত স্থানে নতুন কোষ ও টিস্যুর বৃদ্ধিতে উদ্দীপনা জাগায়। আঘাত প্রাপ্ত ও ক্ষতিগ্রস্ত টিস্যুতে স্নায়ু-জালিকা পুনঃস্থাপনের উদ্দীপকরূপে কাজ করে।

বেদনানাশক ওষুধ সংবেদজ স্নায়ু বা Sensory nerve এর প্রান্তকে অসাড় করে ফেলে; তাই বেদনা প্রশমনে IR-রশ্মি চিকিৎসা অধিকতর নিরাপদ গণ্য করা হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ :

প্রশ্ন-২.৮ : তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ শক্তির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ক্রম হ্রাসের সাথে মানুষের দেহের ওপর কীরূপ প্রভাব সৃষ্টি করে, তা IR-রশ্মি, UV-রশ্মি ও X-ray এর সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

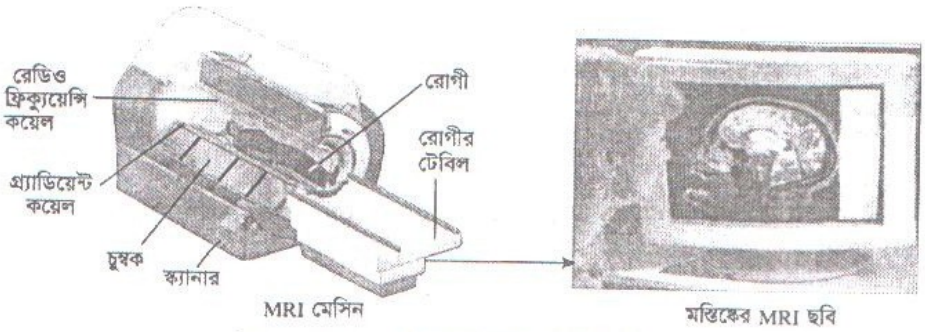
প্রশ্ন-২.৯ : চিকিৎসা ক্ষেত্রে near IR-রশ্মি ও far IR রশ্মির ভূমিকা আলোচনা কর।

প্রশ্ন-২.১০ : দেহ IR-রশ্মি বলতে কী বোঝ? এর উৎস ব্যাখ্যা কর।

২.১০ রোগ নির্ণয়ে MRI পরীক্ষার মূলনীতি
Principle of MRI-Test in Diagnosis of Diseases

MRI পরীক্ষার কার্যকারিতা : MRI বা ম্যাগনেটিক রেজোন্যান্স ইমেজিং (magnetic resonance imaging) হলো চিকিৎসা ক্ষেত্রে রোগ নির্ণয়ের একটি অত্যাধুনিক বিশেষ কার্যকর পরীক্ষা পদ্ধতি। এ পদ্ধতিতে MRI মেসিনে শক্তিশালী চুম্বক ক্ষেত্র (magnetic field) ও রেডিও-তরঙ্গদৈর্ঘ্যের শক্তির প্রভাবে ঐ মেসিনে থাকা মানব দেহের অসুস্থ কোষে NMR 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 ($\upsilon \approx 10^4$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।

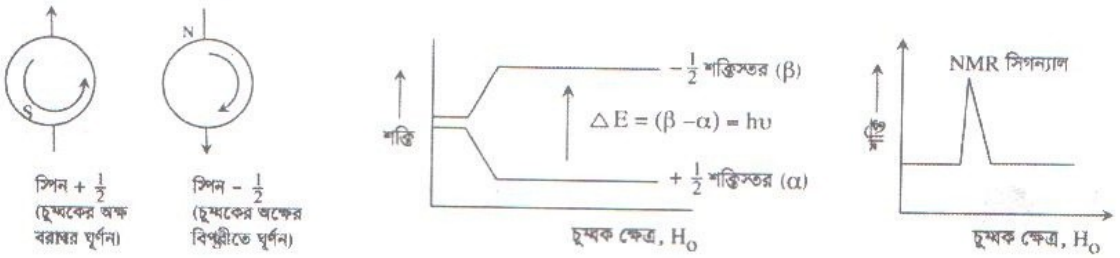
MRI এর ব্যবহার : মানবদেহের বিভিন্ন তন্ত্রের টিস্যুর অস্বাভাবিক বৃদ্ধিজনিত টিউমার, আঘাতজনিত অভ্যন্তরীণ রক্তক্ষরণ, রক্ত নালিকা সংক্রান্ত রোগ ও জীবাণু সংক্রমণজনিত সমস্যার ক্ষেত্রে MRI ব্যবহৃত হয়। মস্তিষ্কের টিউমার ও কোমল টিস্যু যেমন মেরুমজ্জায় টিউমার শনাক্তকরণে MRI কার্যকর।



চিত্র ২.২১ : MRJ মেসিন ও মস্তিষ্কের MRI ইমেজ।

MCQ-2.10 : মানব শরীর থেকে কোন্ রশ্মি বিকিরিত হয়?
(ক) near IR
(খ) middle IR
(গ) far IR
(ঘ) radio wave

MRI এর মূলনীতি : NMR পরমাণুর নিউক্লিয়াসের চুম্বকীয় অনুরণন বা ম্যাগনেটিক রেজোন্যান্সের ওপর ভিত্তি করে MRI পদ্ধতি প্রতিষ্ঠিত। বিজোড় সংখ্যক 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 $+\frac{1}{2}$ ও $-\frac{1}{2}$ মান থাকে। তাই বহিস্থ চুম্বক ক্ষেত্রের (H_0) প্রভাবে H-পরমাণুর নিউক্লিয়াসগুলো দুটি শক্তি স্তরে বিন্যস্ত হয়। এদের একটি স্তর চুম্বক ক্ষেত্র বরাবর বিন্যস্ত থাকে। সেটি হলো কম শক্তি স্তর যুক্ত parallel- spin এর নিউক্লিয়াস (α স্তর)। অপরটি বহিস্থ চুম্বক ক্ষেত্রের বিপরীতে উচ্চ শক্তিস্তর যুক্ত anti parallel spin-এর নিউক্লিয়াস (β–স্তর) রূপে থাকে। ধরা যাক, উভয় শক্তিস্তরের পার্থক্য $\Delta E = (\beta - \alpha) = h\upsilon$। এখন MRI পরীক্ষার নমুনা মানুষটির মস্তিষ্কের মধ্য দিয়ে ঐ উপযুক্ত শক্তির ($\Delta E = h\upsilon$) তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ (যা রেডিও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিকিরণ r_f এর মধ্যে থাকে) প্রবাহিত করলে, তখন নিম্ন শক্তি স্তরে থাকা H পরমাণুর নিউক্লিয়াসসমূহ শক্তি শোষণ করে উচ্চ শক্তিস্তরে (β–স্তরে) অ্যান্টি প্যারারেল স্পিনযুক্ত অবস্থা লাভ করে। ঐ রেডিও তরঙ্গ প্রবাহ বন্ধ করার সাথে ঐ শোষিত শক্তি বিকিরণ করে প্রোটনসমূহ পুনরায় নিম্নশক্তির প্যারারেল স্পিনযুক্ত হয়। এরূপে প্রোটনসমূহ r_f থেকে শক্তি শোষণ এবং পরক্ষণে r_f বন্ধ হলে শক্তি বিকিরণ করে থাকে। তখন প্রোটনসমূহ দোদুল্যমান (oscillate) থাকা অবস্থায় অনুরণন বা রেজোন্যান্স (resonance) এর একটি সিগন্যাল সৃষ্টি করে। অসুস্থ কোষ থেকে একাধিক ভিন্ন সিগন্যাল পাওয়া যায়।



চিত্র ২.২২ : নিউক্লিয়ার ম্যাগনেটিক রেজোন্যান্স NMR সিগন্যাল থেকে MRI সৃষ্টি।

MRI ছবির মানের নির্ভরতা : MRI-পরমাণু দ্বারা r_f 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 চিকিৎসা বিজ্ঞানে নোবেল পুরস্কার পান।

শিক্ষার্থীর কাজ :

প্রশ্ন-২.১১ : MRI বলতে কী বোঝায়? MRI কীরূপে তৈরি হয়?

প্রশ্ন-২.১২ : MRI ছবির ব্যবহার আলোচনা কর।

প্রশ্ন-২.১৩ : MRI এর মূলনীতি সংক্ষেপে লেখ।

২.১১ শিখা পরীক্ষা দ্বারা ধাতব আয়ন শনাক্তকরণ
Metal Ion Detection by Flame Test

অনুচ্ছেদ-২.৬ এ তোমরা রেখা বর্ণালী দেখে মৌল শনাক্তকরণ সম্বন্ধে জেনেছ। এখন আমরা দেখব, কিছু কিছু ধাতব যৌগ বুনসেন বার্নারের অনুজ্জ্বল শিখায় বৈশিষ্ট্যপূর্ণ বর্ণ সৃষ্টি করে; যা দেখে ঐ ধাতব আয়ন শনাক্ত করা যায়। বিশেষত ধাতব লবণসমূহের মধ্যে ধাতব ক্লোরাইড অধিক উদ্বায়ী।

NMR পরমাণুর বৈশিষ্ট্য হলো :
(i) বিজোড় সংখ্যক প্রোটন বা নিউট্রন যুক্ত নিউক্লিয়াস থাকে।
(ii) N M R পরমাণুর নিউক্লিয়াসে দুর্বল ম্যাগনেটিক মোমেন্ট থাকে।
(iii) প্রবল চুম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে থাকা NMR পরমাণু যুক্ত যৌগ থেকে রেডিও ফ্রিক্যুয়েন্সির প্রভাবে অণুরণন সিগন্যাল সৃষ্টি হয়।

ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণি শিক্ষকের সহায়তায় ৪ জনের গ্রুপ কর। ল্যাবরেটরিতে উপরোক্ত পরীক্ষার পদ্ধতির বর্ণনা মতে Na_2SO_4, KCl,, $CuCO_3$, $CaCl_2$ ইত্যাদি লবণসহকারে শিখা পরীক্ষা কর। প্রাপ্ত ফলাফল তোমার 'কর্মপত্র' বা প্রেকটিক্যাল খাতায়, সারণি ২.৫ এর ছক মতে তারিখসহ রেকর্ড করে শিক্ষকের দস্তখত নাও। তোমাদের ৪ জনের এই গ্রুপ পরবর্তী সব পরীক্ষা সম্মিলিতভাবে করবে।

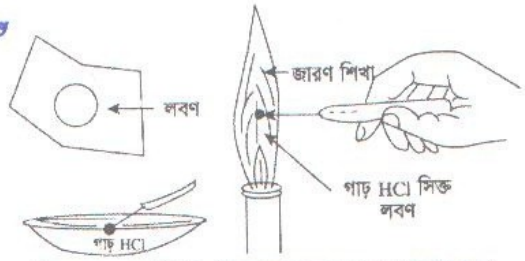
পরীক্ষা নং-১

তারিখ : .....

পরীক্ষার সময় : ১ পিরিয়ড

পরীক্ষার নাম : শিখা পরীক্ষা দ্বারা ধাতব আয়ন শনাক্তকরণ

মূলনীতি : ধাতব লবণসমূহের মধ্যে ধাতব ক্লোরাইড অধিক উদ্বায়ী। তাই ধাতব লবণকে গাঢ় HCl এসিডে সিক্ত করে বুনসেন বার্নারের অনুজ্জ্বল শিখায় উত্তপ্ত করলে বাষ্পীভূত অবস্থায় ধাতব আয়ন নিকটস্থ অ্যানায়ন থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিচ্ছিন্ন ধাতব পরমাণুতে পরিণত হয়। পরে ধাতব পরমাণু শিখা থেকে প্রয়োজনীয় তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলো শোষণ করে উদ্দীপিত হয়। পরমাণুর উদ্দীপিত অবস্থা অস্থায়ী হওয়ায় ঐ শোষিত শক্তি বিকিরিত হয়ে শিখায় বিশেষ বর্ণের আলো সৃষ্টি করে পূর্বাবস্থায় পরমাণুটি ফিরে আসে। এভাবে শিখায় বর্ণালী সৃষ্টি হয়।



চিত্র ২.২৩ : শিখা পরীক্ষায় ধাতব আয়ন শনাক্তকরণ

$CaCO_3$ লবণ সহ শিখা পরীক্ষায় নিম্নরূপ পরিবর্তন ঘটে :

$$CaCO_3\,(s) + 2HCl\,(l) \rightarrow CaCl_2\,(s) + CO_2\,(g) + H_2O\,(g)$$

$$CaCl_2(s) \xrightarrow{\Delta\ (\text{তাপ})} Ca^{2+}\,(g) + 2Cl^-\,(g)$$

$$Ca^{2+}\,(g) + 2\bar{e} \longrightarrow Ca\,(g)$$

MCQ-2.11 : শিখা পরীক্ষায় কোন্ ধাতব মৌল সোনালী হলুদ শিখা দেয়?
(ক) কপার (খ) ক্যালসিয়াম
(গ) সোডিয়াম (ঘ) পটাসিয়াম

$Ca\ (g) + nh\upsilon \xrightarrow{\text{শোষণ}} Ca^*\ (g)$ (অস্থায়ী অবস্থা)

$Ca^*\ (g) \xrightarrow{\text{(শক্তি বিকিরণ)}} Ca\ (g) + nh\upsilon$ (শিখায় বর্ণ সৃষ্টি)

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।

পরীক্ষা পদ্ধতি : নিচের সারণি মতে শিখা পরীক্ষা করা হলো :

শিখা পরীক্ষা (Flame Test) সারণি ২.৫ : ধাতব আয়নের সৃষ্ট বৈশিষ্ট্যপূর্ণ বর্ণের শিখা

পরীক্ষা	খালি চোখে 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)	১। K^+ আয়ন
	২। নীলাভ সবুজ শিখা দেখা যায়। (bluish green)	২। Cu^{2+} আয়ন
	৩। সোনালী হলুদ শিখা দেখা যায়। (golden yellow)	৩। Na^+ আয়ন
	৪। ইটের মতো লাল শিখা দেখা যায়। (brick red)	৪। Ca^{2+} আয়ন

বিশেষ দ্রষ্টব্য : K, Cu, Na, Ca দ্বারা শিখায় সৃষ্ট বিভিন্ন বর্ণ এ বইয়ের মলাটের পেছনের পৃষ্ঠায় দেখ এবং শিখায় ঐ সব বর্ণ দেখে এ চারটি মৌল শনাক্ত করতে পারবে।

শিক্ষার্থীর কাজ :

প্রশ্ন ২.১৪ : শিখা পরীক্ষায় Na_2CO_3 লবণটি বুনসেন শিখায় কীরূপ বর্ণ সৃষ্টি করে তা বিক্রিয়াসহ বর্ণালি সৃষ্টি ব্যাখ্যা কর।

প্রশ্ন ২.১৫(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 কর। [ঢা. বো. '১৫; চ. বো. '১৫]

২.১২ আয়নিক যৌগের দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতার 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]

দ্রাব্যতা : আয়নিক যৌগের দ্রাব্যতা বলতে 25°C-এ ঐ যৌগের পানিতে প্রতি লিটার সম্পৃক্ত দ্রবণে গ্রাম পরিমাণ অথবা মোল পরিমাণকে বোঝানো হয়। যেমন সিলভার ক্লোরাইডের দ্রাব্যতা প্রতি লিটার জলীয় দ্রবণে 0.0015 গ্রাম। আবার AgCl

এর গ্রাম আণবিক ভর (108 + 35.5) = 143.5। সুতরাং মোল এককে AgCl এর দ্রাব্যতা, S = (0.0015 ÷ 143.5) মোল/লিটার বা 1.05×10^{-5} $molL^{-1}$ ধরা হয়।

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 বর্তমানে mol/L দ্রবণ অধিক ব্যবহৃত হয়। দ্রাব্যতার গুণফল থেকে তা সুস্পষ্ট হবে।

আবার আয়নিক যৌগ যেমন অজৈব লবণের ক্ষারকীয় মূলক বা ক্যাটায়নের বিশ্লেষণের বেলায় লবণের আয়নদ্বয়ের দ্রাব্যতা গুণফল নামক পদ ব্যবহৃত হয়।ঃ

দ্রাব্যতার নির্ভরশীলতা :

আয়নিক যৌগ (কঠিন পদার্থ)-এর দাব্যতা নিম্নোক্ত তিনটি বিষয়ের উপর নির্ভর করে।

(ক) দ্রবের প্রকৃতি (খ) দ্রাবকের প্রকৃতি ও (গ) তাপমাত্রা MAT–06-

(ক) দ্রবের প্রকৃতি : একই দ্রাবকে একই তাপমাত্রায় ভিন্ন ভিন্ন কঠিন দ্রবের দাব্যতা ভিন্ন ভিন্ন হয়। এটি দ্রবের কেলাস গঠনের ওপর 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 1500g, 620 g, 500 g, 450 g,, 363 g।

(খ) দ্রাবকের প্রকৃতি : 'LIke dissolves like'—এ নিয়ম মতে পোলার দ্রাবক (আংশিক ধনাত্মক ও ঋণাত্মক চার্জযুক্ত) পানিতে আয়নিক যৌগ দ্রবীভূত হয়। কিন্তু আংশিক পোলার অ্যালকোহলে বা অপোলার দ্রাবকে আয়নিক যৌগের দ্রাব্যতা উল্লেখযোগ্য পরিমাণে হ্রাস পায়। যেমন ইথানলে NaOH পিলেটের দ্রাব্যতার চেয়ে পানিতে NaOH এর দ্রাব্যতা অনেক বেশি হয়।

(গ) তাপমাত্রা : কঠিন দ্রবের দ্রাব্যতার ওপর তাপমাত্রার প্রভাব রয়েছে। সাধারণভাবে দ্রাবকের তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে দ্রবের দ্রাব্যতা বৃদ্ধি পায়। এর কারণ অধিক তাপমাত্রায় দ্রাবক অণুর গতি বৃদ্ধি পায়; ফলে অধিক দ্রব পানিতে দ্রবীভূত হতে পারে। তবে কিছু ব্যতিক্রম আছে। (১) যদি কোনো দ্রব পানিতে দ্রবীভূত হওয়ার কালে তাপের শোষণ ঘটে। তখন তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে দ্রবের দ্রাব্যতা হ্রাস পায়। যেমন- $Ca(OH)_2$, $Ca(NO_3)_2$, NaOH ইত্যাদি।

অপরদিকে $Na_2SO_4.10H_2O$ সোদক কেলাসের ক্ষেত্রে তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে প্রথমে দ্রাব্যতার বৃদ্ধি ঘটে; কিন্তু 32.4°C তাপমাত্রার পর তা নিরুদিত Na_2SO_4 এ পরিণত হয়। তখন নিরুদিত অবস্থায় তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে দ্রাব্যতা ধীরে ধীরে হ্রাস পায়। সোদক কেলাস থেকে নিরুদিত কেলাসে রূপান্তরের কারণে দ্রাব্যতার এরূপ পরিবর্তন ঘটে থাকে।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩৫ : 30°C তাপমাত্রায় 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, $S = \frac{\text{দ্রবের মোল এককে ভর}}{\text{লিটারে সম্পৃক্ত দ্রবণের আয়তন}}$

$\therefore$ NaCl এর দ্রাব্যতা, $S = \frac{0.905 \text{ mol}}{0.200 \text{ L}}$

বা, $S = 4.525 \text{ mol } L^{-1}$

$\therefore$ 30°C তাপমাত্রায় NaCl এর দ্রাব্যতা হলো $4.525 \text{ mol } L^{-1}$

দেয়া আছে,

সম্পৃক্ত দ্রবণ = 200 mL

NaCl এর ভর = 52.95 g

NaCl এর মোল সংখ্যা $= \frac{52.95 \text{g}}{(23+35.5) \text{ g}}$

$= \frac{52.95 \text{ g}}{58.5 \text{ g}} = 0.905$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩৬ : নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় 750 mL সম্পৃক্ত দ্রবণে 200 g NaCl দ্রবীভূত আছে। গ্রাম এককে NaCl ও মোল এককে এর দ্রাব্যতা গণনা কর।

দক্ষতা : দ্রাব্যতার আধুনিক সংজ্ঞা গ্রাম এককে ব্যবহৃত হবে।

সমাধান : দ্রবের দ্রাব্যতা, $S = \frac{\text{দ্রবের ভর গ্রাম এককে}}{\text{লিটারে সম্পৃক্ত দ্রবণের আয়তন}}$

প্রশ্নমতে সম্পৃক্ত দ্রবণের আয়তন = 750 mL = 0.750 L.

দ্রবের ভর = 200 g

$\therefore$ দ্রাব্যতা, $S = \frac{200 \text{ g}}{0.75 \text{ L}} = 266.67 \text{ g L}^{-1}$

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 $= (266.67 \text{ g L}^{-1} \div 58.5 \text{ g mol}^{-1}$
$= 4.558 \text{ mol L}^{-1}$

দ্রাব্যতা গুণফল : মৃদু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ ব্যতীত অন্য পদার্থের তড়িৎ-বিয়োজনের ক্ষেত্রে ভর-ক্রিয়া সূত্রটি প্রযোজ হয় না; কিন্তু 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। কিন্তু উভ আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল $[Ag^+] \times [Cl^-]$ কে **আয়নিক গুণফল** (IP) বা K_{ip} বলে।

25°C-এ AgCl এর $K_{sp} = 1.8 \times 10^{-10}$ বলতে উপরোক্ত সমীকরণের তাৎপর্য হলো এই যে, স্থির তাপমাত্রা AgCl-এর সম্পৃক্ত দ্রবণে Ag^+ আয়ন ও Cl^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল (IP) সর্বদা ধ্রুবক হবে। K_{sp} এর ধ্রু মান দ্বারা সাম্যাবস্থায় বিয়োজনের ডানদিকে অবস্থানের মাত্রাকে বোঝায়। এর কোনো একক নেই।

আয়নিক গুণফল (K_{ip}) ও দ্রাব্যতা গুণফল (K_{sp}) এর মধ্যে সম্পর্ক :

(১) লবণের আয়নিক গুণফল বলতে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোনো স্বল্প দ্রবণীয় লবণের যে কোনো ঘনমাত্রায় দ্রবণে উপস্থিত আয়নদ্বয়ের মোলার ঘনমাত্রার গুণফলকে বোঝায়। অপরদিকে দ্রাব্যতা গুণফল বলতে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় (যেমন 25°C- এ কোনো স্বল্প দ্রবণীয় লবণের সম্পৃক্ত দ্রবণে উপস্থিত আয়নদ্বয়ের সর্বাধিক মোলার ঘনমাত্রার 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 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 মান দ্রাব্যতা গুণফলের মানের চেয়ে বেশি হলে দ্রবণটি অতিপৃক্ত হয় এবং দ্রবটি অধঃক্ষেপণ ঘটে।

দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতা গুণফলের সম্পর্ক :

মনে করি কোনো স্বল্প দ্রবণীয় লবণ BA-এর দ্রাব্যতা হলো S মোল/লিটার এবং তা সম্পূর্ণ মাত্রায় বিয়োজিত হলে B^+ ও A^- আয়ন উভয়েরই ঘনমাত্রা প্রতি লিটারে হবে S গ্রাম আয়ন। সুতরাং দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [B^+] \times [A^-] = S^2$ হয়ে থাকে। তা হতে আরো সিদ্ধান্ত করা যায় যে, **দ্রবের আয়নদ্বয়ের মোলার ঘনমাত্রার গুণফলের মান (IP) এর দ্রাব্যতা-গুণফলের (K_{sp}) মানের চেয়ে বেশি হলেই ঐ দ্রব অধঃক্ষেপ সৃষ্টি করে।**

আবার $Al(OH)_3$ এর বেলায় এর সম্পৃক্ত দ্রবণের ক্ষেত্রে এর বিয়োজনকে নিম্নরূপে দেখানো যায় :

$$Al(OH)_3(s) \rightleftharpoons Al(OH)_3\,(aq) \rightleftharpoons Al^{3+}(aq) + 3OH^-(aq)$$

$\therefore$ $Al(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [Al^{3+}] \times [OH^-]^3$

$\therefore$ $Al(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল দ্রাব্যতা (S) পদ সহযোগে হবে, $K_{sp} = S \times (3S)^3 = 27S^4$

সুতরাং লবণের দ্রাব্যতা গুণফল বলতে বুঝবো : **'কোনো নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় (যেমন 25°C) কোনো দ্রবণীয় তড়িৎ বিশ্লেষ্য লবণের সম্পৃক্ত দ্রবণে এর উপাদান আয়নসমূহের গ্রাম প্রতিলিটার বা 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।

নিচে 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 $K_{sp} = (2S)^2 \times (3S)^3 = 108\ S^5$

* তাপমাত্রার প্রভাব দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতা গুণফল উভয়ের ওপর একই প্রকার হয়।

* দ্রাব্যতা সব প্রকার যৌগ যেমন আয়নিক, সমযোজী প্রভৃতি প্রতিক্ষেত্রে সমভাবে প্রযোজ্য। কিন্তু দ্রাব্যতা গুণফল কেবল দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্যের বা স্বল্প দ্রবণীয় যৌগের বেলায় প্রযোজ্য।

* সম আয়নের প্রভাবে লবণের দ্রাব্যতা হ্রাস পায়; কিন্তু দ্রাব্যতা গুণফল ধ্রুব থাকে।

সমাধানকৃত সমস্যা ২.৩৭ : $Al(OH)_3$ 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 লেখা।

সমাধান : $Al(OH)_3$ জলীয় দ্রবণে নিম্নরূপ আয়নিত হয়ে থাকে :

$$Al(OH)_3(s) + aq \rightleftharpoons Al^{3+}(aq) + 3OH^-(aq) \quad \ldots (1)$$

ধরা যাক, $Al(OH)_3$ এ দ্রাব্যতা x mol L^{-1} উপরোক্ত সমীকরণ মতে প্রতি অণু $Al(OH)_3$ হতে একটি Al^{3+} আয়ন ও তিনটি OH^- আয়ন তৈরি হয়; তাই $[Al^{3+}] = x$ এবং $[OH^-] = 3x$ হবে।

$\therefore$ $Al(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [Al^{3+}] \times [OH^-]^3$

$= x \times (3x)^3 = 27x^4$

* 'দ্রাব্যতা' পদটি সবল ও দুর্বল যে কোনো তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের জন্য প্রযোজ্য।
* দ্রাব্যতা-গুণফল কেবল মৃদু বা দুর্বল তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের জন্য প্রযোজ্য।
* স্থির তাপমাত্রায় Ksp এর মান নির্দিষ্ট; কিন্তু সাধারণ আয়নের প্রভাবে দ্রবের দ্রাব্যতা হ্রাস পায়।

∴ প্রশ্নমতে, $27x^4 = 3.7 \times 10^{-15}$

অর্থাৎ $x^4 = (3.7 \times 10^{-15} \div 27) = 1.37 \times 10^{-16}$

∴ $x = \sqrt[4]{1.37 \times 10^{-16}} = 1.08 \times 10^{-4}$

∴ $Al(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা, $S = 1.08 \times 10^{-4}$ molL^{-1}

MCQ-2.12 : 30°C-এ কোনো লবণের দ্রাব্যতা 50g/L হলে 400 mL সম্পৃক্ত দ্রবণে কত গ্রাম লবণ আছে?
(ক) 4g (খ) 3g (গ) 2g (ঘ) 5g

আবার $Al(OH)_3$ এর গ্রাম আণবিক ভর = $(27 + 3 \times 17) = 78$g

∴ প্রশ্নে উল্লেখিত এককে $Al(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা, $S = 1.08 \times 10^{-4} \times 78$g

$= 8.424 \times 10^{-3}$gL^{-1}

উপরোক্ত লবণের দ্রাব্যতা গুণফলের মান থেকে বোঝা যায় যে, পানিতে $Al(OH)_3$ এর উভয় আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল 1.08×10^{-4}molL^{-1} বা 8.424×10^{-3}gL^{-1} পর্যন্ত দ্রবীভূত অবস্থায় থাকবে; কিন্তু উভয় আয়ন যেমন Al^{3+} আয়ন ও OH^- আয়নের ঘনমাত্রার গুণফল এ মানের অধিক হলে তা অদ্রবণীয় অবস্থায় 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 (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 (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 ২.৩৮ : 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

∴ $K_{sp} = [Ag^+]^2 \times [CrO_4^{2-}] = (1.3 \times 10^{-4})^2 \times 6.5 \times 10^{-5} = 1.1 \times 10^{-12}$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৩৯। 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 দ্রাব্যতা গুণফল (K_{sp}) 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) $\rightleftharpoons Fe^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$

100mL 2.5×10^{-5} M $FeCl_2$ দ্রবণ ≡ 100 mL 2.5×10^{-5} M Fe^{2+} আয়ন

মিশ্রণের পর মিশ্রণের আয়তন 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, $100 \times 2.5 \times 10^{-5} = 250 \times M_2$; $\therefore M_2 = \frac{100 \times 2.5 \times 10^{-5}}{250} = 1.0 \times 10^{-5}M$

$\therefore$ 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

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, $150 \times 6.7 \times 10^{-5} = 250 \times M_4$; $\therefore M_4 = \frac{150 \times 6.7 \times 10^{-5}}{250} = 4.02 \times 10^{-5}M$

$\therefore$ মিশ্রণে $[OH^-] = 4.02 \times 10^{-5}$

সুতরাং $Fe(OH)_2$ এর $K_{sp} = [Fe^{2+}] \times [OH^-]^2 = 1.0 \times 10^{-5} \times (4.02 \times 10^{-5})^2$

$= 1.616 \times 10^{-14}$ (উ:)

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪০ : 10 mL 0.25M $FeCl_3$ দ্রবণে 1.0 mL 0.5 M NH_4OH দ্রবণ যোগ করা হলো। 25°C তাপমাত্রায় $Fe(OH)_3$ এর দ্রাব্যতার গুণফল 3.74×10^{-38} হলে ঐ মিশ্রণে কোনো অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা ব্যাখ্যা কর।

দক্ষতা : মিশ্রণে আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল (IP) এর মান দ্রাব্যতা গুণফলের মান K_{sp} থেকে বেশি হলে অধঃক্ষেপ পড়বে।

সমাধান : অধঃক্ষেপণের সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ :

$$FeCl_{3(aq)} + 3NH_4OH(aq) \rightleftharpoons Fe(OH)_3(s) + NH_4Cl(aq)$$

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

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—

$10 \times 0.25 = 11 \times M_2$; $\therefore M_2 = \frac{10 \times 0.25}{11} = 0.227M$

$\therefore$ 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

$\therefore V_3 \times M_3 = V_4 \times M_4$ সম্পর্ক মতে পাই—

$1.0 \times 0.5 = 11 \times M_4$; $\therefore M_4 = \frac{1.0 \times 0.5}{11} = 0.0454$ M

$\therefore$ মিশ্রণে $[OH^-] = 0.0454$

$Fe(OH)_3$ এর সাম্যাবস্থায় : $Fe(OH)_3(aq) \rightleftharpoons Fe^{3+}(aq) + 3\ OH^-(aq)$

$\therefore Fe(OH)_3$ এর আয়নিক গুণফল, $K_{ip} = [Fe^{3+}] \times [OH^-]^3$

$= 0.227 \times (0.0454)^3 = 2.124 \times 10^{-5}$

প্রশ্ন মতে, $Fe(OH)_3$ 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।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪১: 25°C তাপমাত্রায় ১ম পাত্রে 20 mL 0.02M $AgNO_3$ দ্রবণ এবং ২য় পাত্রে 40 mL 0.04 M NaCl দ্রবণ আছে। (ক) ১ম পাত্রের $AgNO_3$ দ্রবণের দ্রাব্যতা গুণফল নির্ণয় কর।

(খ) ১ম পাত্রের দ্রবণের মধ্যে ২য় পাত্রের দ্রবণ সম্পূর্ণরূপে মিশালে AgCl এর অধঃক্ষেপ পড়বে কিনা বিশ্লেষণ কর।

25°C- এ $AgNO_3$ এর দ্রাব্যতা = 2.2×10^{-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 Ag^+ আয়ন ও NO_3^- আয়নের মোলার ঘনমাত্রা বের করতে হবে।

সমাধান : (ক) $AgNO_3$ এর সম্পৃক্ত দ্রবণে নিম্নরূপ বিয়োজন ঘটে :

$$AgNO_3\,(aq) \rightleftharpoons Ag^+\,(aq) + NO_3^-\,(aq)$$

$\therefore$ $AgNO_3$ দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [Ag^+] \times [NO_3^-]$

প্রশ্ন মতে, $AgNO_3$ এর দ্রাব্যতা = $2.2 \times 10^{-3}\ gL^{-1}$

$AgNO_3$ গ্রাম আণবিক ভর = $(107.87 + 14 + 16 \times 3) = 169.87\ g\ mol^{-1}$

$\therefore$ মোল এককে $AgNO_3$ এর দ্রাব্যতা $= \dfrac{2.2 \times 10^{-3}\ g\ L^{-1}}{169.87\ gmol^{-1}}$

$= 1.29 \times 10^{-5}$ M

$\therefore$ $AgNO_3$ এর সম্পৃক্ত দ্রবণে $[Ag] = [NO_3^-] = 1.29 \times 10^{-5}M$

$\therefore$ 25°C এ $AgNO_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল, $K_{sp} = [Ag^+] \times [NO_3^-]$

$\therefore K_{sp} = 1.29 \times 10^{-5} \times 1.29 \times 10^{-5} = 1.664 \times 10^{-10}$ (উ:)

(খ) মিশ্রিত দ্রবণে অধঃক্ষেপ পড়বে কি না

দক্ষতা : প্রথমে $[Ag^+]$ ও $[Cl^-]$ বের করতে হবে। এরপর K_{ip} ও K_{sp} বের করতে হবে।

সমাধান : AgCl এর বিয়োজন হলো $AgCl(aq) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + Cl^-(aq)$

20 mL 0.02M $AgNO_3$ দ্রবণ ≡ 20 mL 0.02M Ag^+ আয়ন

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—

$20 \times 0.02 = 60 \times M_2$; $\therefore M_2 \dfrac{20 \times 0.02}{60} = 6.67 \times 10^{-3}M$

$\therefore$ 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—

$40 \times 0.4 = 60 \times M_4$; $\therefore M_4 = \dfrac{40 \times 0.04}{60} = 0.027$ M

$\therefore$ মিশ্রণে $[Cl^-] = 0.027$

সুতরাং AgCl এর উভয় আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল

$K_{ip} = [Ag^+] \times [Cl^-] = 6.67 \times 10^{-3} \times 0.027 = 0.18 \times 10^{-3}$

প্রশ্ন মতে, AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল $K_{Sp} = 1.8 \times 10^{-10}$।

সুতরাং AgCl এর আয়নের মোলার ঘনমাত্রার গুণফল (K_{sp}) এর মান দ্রাব্যতা গুণফল (K_{Sp}) এর মান থেকে বেশি হওয়ায় মিশ্রণে অধঃক্ষেপণ ঘটবে। (উ:)

শিক্ষার্থীর কাজ : (ঘ) দ্রবের দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতা গুণফল সম্পর্কীয় :

প্রশ্ন-২.১৬ : লবণের দ্রাব্যতা বলতে কী বোঝ? [রা. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-২.১৭(ক) : লবণের দ্রাব্যতার গুণফল বলতে কী বোঝায়?

(খ) 25°C-এ $M(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 2.5×10^{-39} বলতে কী বোঝায়? [সি. বো. ২০১৫]

(গ) লবণের আয়নিক গুণফল ও দ্রাব্যতা গুণফলের মধ্যে সম্পর্ক বা পার্থক্য কী?

সমস্যা-২.৩৬(ক) : 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 কর। [উ: 2.64×10^{-4} mol/L ও 1.64×10^{-2}g/L]

(খ) 35°C এ AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল 2.458×10^{-10} হলে AgCl এর দ্রাব্যতা কত? [য. বো. ২০১৫]
[উ: 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? [উ: 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) [উ: 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? [উ: 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?[উ: 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?
[উ: 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)। [উ: 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? [উ: 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?
[উ: 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? [উ: 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? [উ: 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? [উ: 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? [উ: 3.741×10^{-38}]

সমস্যা-২.৪৯ : 25°C-এ $Al(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 3.7×10^{-15} হলে ঐ দ্রবণে Al^{3+} ও OH^- এর ঘনমাত্রা ও $Al(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা কত হবে?

[উ: $[Al^{3+}] = 1.08 \times 10^{-4}$ mol L^{-1}; $[OH^-] = 3.24 \times 10^{-4}$ mol L^{-1}; $S = 1.08 \times 10^{-4}$ $molL^{-1}$]

সমস্যা-২.৫০ : 25°C-এ M_2X_3 লবণের দ্রাব্যতা 1.1×10^{-2} mol L^{-1} হলে এর K_{sp} কত? [উ: 1.74×10^{-8}]

সমস্যা-২.৫.১ : 18°C তাপমাত্রায় লেড (II) সালফেট ($PbSO_4$) এর দ্রাব্যতা গুণফল (K_{sp}) হলো 1.8×10^{-8}। 40 mL 1.5×10^{-4}M Na_2SO_4 এর দ্রবণে 10mL 1.0×10^{-3}M লেড অ্যাসিটেট $Pb(CH_3COO)_2$ দ্রবণ মিশ্রিত করলে $PbSO_4$ এর অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[উ: $K_{ip} = 2.4 \times 10^{-8}$; তাই অধঃক্ষেপ পড়বে।]

সমস্যা-২.৫২ : 0.02M $CaCl_2$ এর দ্রবণে 0.0003M Na_2SO_4 দ্রবণ সম-আয়তনে মিশ্রিত করা হলো। এর ফলে মিশ্রণে $CaSO_4$ এর অধঃক্ষেপ পড়বে কীনা গাণিতিক ব্যাখ্যা কর। $CaSO_4$ এর $K_{sp} = 2.4 \times 10^{-5}$ ।

[উ : $K_{ip} = 1.5 \times 10^{-6}$ যা k_{sp} থেকে কম; তাই অধঃক্ষেপ পড়বে না।]

সমস্যা-২.৫৩ : 25°C তাপমাত্রায় 1.0L আয়তনের 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 কর। এক্ষেত্রে $BaCO_3$ এর $K_{sp} = 8.1 \times 10^{-9}$।

[উ: $K_{ip} = 1.67 \times 10^{-3}$ যা K_{sp} এর মান থেকে কম। তাই $BaCO_3$ অধঃক্ষিপ্ত হবে না।]

সমস্যা-২.৫৪ : 5 mL 0.5M AB লবণের দ্রবণে 0.5mL 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 কর।

[উ: $K_{ip} = 3.677 \times 10^{-5}$ যা K_{sp} এর মান থেকে বেশি। তাই AY_2 অধঃক্ষিপ্ত হবে]

সম-আয়ন প্রভাব : দ্রবণে দুটি তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থের বিয়োজনের ফলে কোনো একটি নির্দিষ্ট আয়ন যদি উভয় পদার্থ হতে উৎপন্ন হয়ে থাকে, তবে ঐ আয়নটিকে ঐ দ্রবণে **'সম-আয়ন'** (common ion) বলা হয়। 'সম-আয়নবিশিষ্ট দুটি তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ যখন একই দ্রবণে দ্রবীভূত থাকে, তখন উভয়ের বিয়োজন মাত্রা সাধারণত হ্রাস পায়। তবে বিশেষত উভয়ের মধ্যে মৃদু তড়িৎ–বিশ্লেষ্য পদার্থটির বিয়োজন-মাত্রা যথেষ্ট কমে যায়, তাকে **'সম-আয়ন প্রভাব'** বলে। 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 হবে। পূর্বের সাম্যাবস্থা বজায় রাখতে হলে $\{[NH_4^+] + x\}$ এবং $[OH^-]$-এর পরিমাণ কমাতে 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 হবে। ফলে NH_4OH-এর আগের বিয়োজন মাত্রা কমে যাবে এবং দ্রবণে OH^- আয়নের ঘনমাত্রাও কমে যাবে। বাফার দ্রবণে সম-আয়ন প্রভাব বোঝা যাবে।

২.১২.১. আয়নিক যৌগের পানিতে দ্রবণীয়তা

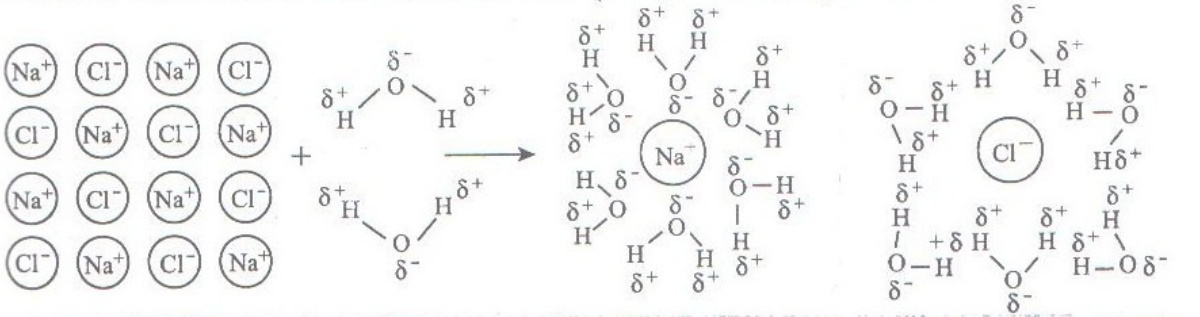
Dissolution of Ionic Compounds in Water

'Like dissolves like'—এ নীতিতে বিভিন্ন যৌগ বিভিন্ন দ্রাবকে দ্রবীভূত হয়। এ নীতির অর্থ হলো আয়নিক যৌগ পোলার দ্রাবকে এবং সমযোজী যৌগকে অপোলার দ্রাবকে দ্রবীভূত হয়। আয়নিক যৌগ অপোলার (non-polar) দ্রাবকে অদ্রবণীয় হয়। পোলার যৌগ বলতে এমন যৌগকে বোঝায় যার এক প্রান্তে ধনাত্মক অন্য প্রান্তে 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।

পোলার দ্রাবক পানিতে আয়নিক যৌগ যেমন NaCl কীভাবে দ্রবীভূত হয় তা ২.২৪ নং চিত্রে দেখানো হয়েছে। পোলার দ্রাবকের যেমন পানি অণুর দুই প্রান্তে দুটি মেরু থাকে। আয়নিক যৌগের যেমন, NaCl এর 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)। জলীয় দ্রবণে আয়নিক যৌগের আয়নসমূহের এরূপে পানি অণু সংযোজিত হওয়ার প্রক্রিয়াকে **পানি যোজন বা হাইড্রেশন** (Hydration) বলা হয়। পানি-যোজন হলো একটি তাপোৎপাদী প্রক্রিয়া।

ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আয়নের সাথে পানি অণুর সংযোগের সময় নির্গত শক্তিকে হাইড্রেশন শক্তি বলে। এ নির্গত তাপ শক্তির প্রভাবে NaCl এর কেলাস-ল্যাটিস থেকে আয়নগুলো পৃথক হয়ে পানিতে দ্রবীভূত থাকে।



চিত্র ২.২৪: পোলার দ্রাবক পানিতে NaCl কেলাসের দ্রবণ তৈরির প্রক্রিয়া

দ্রবণীয়তার শর্ত : সাধারণত আয়নিক যৌগের হাইড্রেশন শক্তি-এর ল্যাটিস-শক্তি বা কেলাস ল্যাটিস ভাঙার শক্তির চেয়ে বেশি হলে তবে ঐ যৌগ পানিতে দ্রবীভূত হয়। যেমন-AgCl, AgBr, AgI, $BaSO_4$, $PbSO_4$ ইত্যাদির হাইড্রেশন শক্তি তাদের ল্যাটিস শক্তির চেয়ে কম। তাই এসব যৌগ পানিতে অদ্রবণীয়।

AgCl, পানিতে অদ্রবণীয় কিন্তু AgF পানিতে দ্রবণীয় ; এর কারণ ফ্লোরাইড আয়ন (F^-) এর আকার খুব ছোট 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 তাপ শক্তি হাইড্রেশন শক্তির সহযোগীরূপে ল্যাটিস্ শক্তিকে অতিক্রম করে এবং উত্তপ্ত অবস্থায় $PbCl_2$ গরম পানিতে দ্রবীভূত থাকে।

কেলাস ল্যাটিস (Crystal Latice) : সব আয়নিক যৌগ কেলাসাকার কঠিন পদার্থ হয়। কক্ষ তাপমাত্রায় কোনো আয়নিক যৌগ তরল বা গ্যাসীয় অবস্থায় থাকে না। কেলাস গঠনকালে সমধর্মী আয়নগুলো পরস্পরকে বিকর্ষণ এবং বিপরীতধর্মী আয়নগুলো পরস্পরকে আকর্ষণ করে স্থির বৈদ্যুতিক আকর্ষণ বল দ্বারা নির্দিষ্ট স্থানে ত্রিমাত্রিকভাবে আবদ্ধ হয়ে পড়ে। উভয় প্রকার আয়নগুলোর কেন্দ্র বিন্দুগুলোকে কাল্পনিক রেখা দ্বারা যুক্ত করলে মোমাছির 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 স্থিতি শক্তি হ্রাস পায়, ঠিক সমপরিমাণ শক্তি ঐ যৌগের কেলাস থেকে নির্গত হয়; তাকে ঐ আয়নিক যৌগের কেলাস ল্যাটিস শক্তি 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। কেলাস গঠনের সময় নির্গত শক্তির পরিমাণ যত বেশি হয়, ঐ আয়নিক কেলাস ততো বেশি সুদৃঢ় হয়।

* **ল্যাটিস শক্তির নির্ভরশীলতা :** কেলাসের ল্যাটিস শক্তি উভয় আয়নের আকার ও আয়নদ্বয়ের আধানের পরিমাণের ওপর নির্ভর করে।

(১) ক্যাটায়নের ক্ষেত্রে : কোনো একটি সুনির্দিষ্ট অ্যানায়নের সাথে যখন বিভিন্ন ধরনের ক্যাটায়ন যুক্ত হয়ে আয়নিক যৌগ গঠন করে তখন দেখা যায়, ক্যাটায়নের আকার যতো বড় হয় কেলাসের ল্যাটিস শক্তিও ততো অধিক হয়। ল্যাটিস শক্তির মান অধিক হওয়ার কারণে আয়নিক যৌগের বন্ধনের স্থায়িত্ব ও শক্তি অধিক হয়।

অর্থাৎ আয়নিক যৌগের শক্তি ও স্থায়িত্ব ∝ ক্যাটায়নের আকার।

যেমন, NaCl যৌগের ক্ষেত্রে Na^+ এর আয়নিক ব্যাসার্ধ = 95 pm। KCl যৌগের ক্ষেত্রে K^+ এর আয়নিক ব্যাসার্ধ = 133 pm। NaCl ও KCl যৌগ দুটির ক্ষেত্রে K^+ এর আয়নিক ব্যাসার্ধ Na^+ এর তুলনায় অধিক হওয়ায় KCl এর ল্যাটিস শক্তি NaCl এর তুলনায় অধিক হয়। KCl এর আয়নিক বন্ধন NaCl এর তুলনায় অধিক শক্তিশালী হয়।

(২) অ্যানায়নের ক্ষেত্রে : কোনো একটি সুনির্দিষ্ট ক্যাটায়নের সাথে যখন বিভিন্ন ধরনের অ্যানায়ন যুক্ত হয়ে আয়নিক যৌগ গঠন করে তখন দেখা যায়, অ্যানায়নের আকার যত ছোট হয় কেলাসের ল্যাটিস শক্তিও তত অধিক হয়। ল্যাটিস শক্তির মান অধিক হওয়ার কারণে আয়নিক যৌগের বন্ধনের স্থায়িত্ব ও শক্তি অধিক হয়।

অর্থাৎ আয়নিক যৌগের শক্তি ও স্থায়িত্ব $\propto \frac{1}{\text{অ্যানায়নের আকার}}$।

যেমন, AgF যৌগের ক্ষেত্রে F^-এর আয়নিক ব্যাসার্ধ 135pm। AgCl যৌগের ক্ষেত্রে Cl^- এর আয়নিক ব্যাসার্ধ 181 pm। AgF ও AgCl যৌগ দুটির ক্ষেত্রে F^-এর আয়নিক ব্যাসার্ধ Cl^- এর তুলনায় ছোট হওয়ায় AgF এর ল্যাটিস শক্তির মান AgCl এর তুলনায় অধিক হয়। ফলে AgF এর আয়নিক বন্ধন AgCl এর তুলনায় অধিক শক্তিশালী হয়। অর্থাৎ পানিতে AgCl এর দ্রাব্যতা AgF এর তুলনায় কম হয়। এর ফলে **AgF পানিতে দ্রবণীয় হয়।**

আয়নের আধান : আয়নিক যৌগের ক্ষেত্রে আয়নগুলোর আধানের পরিমাণ বেড়ে গেলে কেলাসের ল্যাটিস শক্তির মানও বেড়ে যায়। ফলে কেলাসের মধ্যেকার আয়নিক বন্ধনের শক্তি ও স্থায়িত্বের বৃদ্ধি ঘটে।

অর্থাৎ আয়নিক কেলাসের ল্যাটিস শক্তি ও স্থায়িত্ব ∝ আয়নের আধান।

যেমন, NaF যৌগে N^+ ও F^- আয়ন দুটির আধান যথাক্রমে + 1 ও −1।

CaO যৌগে Ca^+ ও O^{2-} আয়ন যথাক্রমে + 2 ও −2।

CaO যৌগের ক্ষেত্রে Ca^{2+} আয়নের আধানের পরিমাণ NaF যৌগের N^+ আয়নের আধানের পরিমাণের চেয়ে বেশি। আবার Ca^{2+} আয়নের আকার Na^+ আয়নের আকারের তুলনায় বড় এবং O^{2-} আয়নের আকার ছোট হওয়ায় CaO যৌগের আয়নিক ল্যাটিস শক্তি NaF এর আয়নিক ল্যাটিস শক্তির তুলনায় বেশি হয়।

** **ল্যাটিস শক্তির ব্যবহার :**

(১) কোনো কেলাসের ল্যাটিস শক্তির মান জানা থাকলে তা থেকে কেলাসটি পোলার দ্রাবকে কীরূপ দ্রবীভূত হবে তা জানা যায়।

(i) ল্যাটিস শক্তির তুলনায় হাইড্রেশন শক্তি যত বেশি হবে, আয়নিক যৌগের দ্রবণীয়তা পানিতে 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 হাইড্রক্সাইড $Be(OH)_2$ পানিতে অদ্রবণীয়; কিন্তু পরবর্তী ধাতুসমূহের হাইড্রক্সাইড যেমন $Mg(OH)_2$, $Ca(OH)_2$ ইত্যাদি পানিতে দ্রবণীয়।

এক্ষেত্রে অ্যানায়নের চার্জ ও আকার প্রতি ক্ষেত্রে সমান; কিন্তু 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।

(১) পানিতে লবণের দ্রাব্যতা পরীক্ষা : একটি টেস্ট টিউবে খুব অল্প নমুনা লবণ (0.01 – 0.02g) নিয়ে এতে 4 –5 mL -পানি যোগ করে ভালোভাবে ঝাঁকাও। যদি লবণটি ঠাণ্ডা পানিতে দ্রবীভূত না হয়; তবে বুনসেন বার্নারে গরম করে দেখ, ওটি দ্রবীভূত হয় 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–২.৩ 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।

(২) লঘু HCl এসিডে লবণের দ্রাব্যতা পরীক্ষা : একাদশ-দ্বাদশ শ্রেণির সিলেবাস মতে সারণি–২.৬ থেকে জানা যায় ছয়টি কার্বনেট লবণ [$CuCO_3$, $Al_2(CO_3)_3$, $FeCO_3$, $Fe_2(CO_3)_3$, $ZnCO_3$, $CaCO_3$] পানিতে অদ্রবণীয়; কিন্তু লঘু HCl এসিডে দ্রবণীয়। এ সব লবণ লঘু HCl এসিডে দ্রবীভূত হয়ে 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।

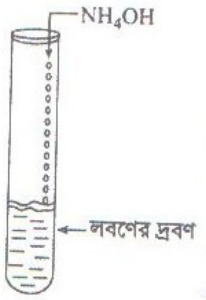
ক্ষারকীয় মূলক বা ক্যাটায়ন-এর সিক্ত পরীক্ষা :

[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।



সিদ্ধান্ত : প্রদত্ত নমুনায় Cu^{2+} আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া : মনে করি লবণটি $CuSO_4$। তখন নিম্নরূপ বিক্রিয়া ঘটে।

$$2CuSO_4(aq) + 2NH_4OH\ (aq) \rightarrow CuSO_4.Cu(OH)_2(s) + (NH_4)_2\ SO_4\ (aq)$$

$$CuSO_4Cu(OH)_2 + (NH_4)_2\ SO_4\ (aq) + 6NH_4OH(aq) \longrightarrow \underset{\text{টেট্রাঅ্যাম্‌মিন কপার (II) সালফেট}}{2\ [Cu(NH_3)_4]\ SO_4\ (aq)} + 8H_2O\ (l)$$

পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণসহ পরীক্ষা : একটি টেস্টটিউবে 2–1 mLপ্রস্তুত 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 : $$CuSO_4(aq) + K_4\ [Fe\ (CN)_6](aq) \longrightarrow \underset{\text{কপার ফেরোসায়ানাইড}}{Cu_2\ [Fe\ (CN)_6](s)} + K_2\ SO_4\ (aq)$$

* **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 : $$Fe\ SO_4\ (aq) + 2NH_4\ OH(aq) \longrightarrow \underset{\text{সবুজ অধঃক্ষেপ}}{Fe\ (OH)_2\ (s)} + (NH_4)_2\ SO_4(aq)$$

$$FeCl_3\ (aq) + 3NH_4\ OH(aq) \longrightarrow \underset{\text{বাদামি অধঃক্ষেপ}}{Fe\ (OH)_3\ (s)} + 3\ NH_4\ Cl\ (aq)$$

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 উপস্থিতি ও নিশ্চিত।

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া :

$$Fe^{2+}(aq) + K_3[Fe(CN)_6](aq) \longrightarrow \underset{\text{গাঢ় নীল অধক্ষেপ}}{KFe_2[Fe(CN)_6](s)} + 2K^+(aq)$$

$$Fe^{3+}(aq) + K_3[Fe(CN)_6](aq) \longrightarrow \underset{\text{বাদামি দ্রবণ}}{Fe[Fe(CN)_6](aq)} + 3K^+(aq)$$

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 ফেরাস ফেরি সায়ানাইডের অধঃক্ষেপ।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে Fe^{3+} আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

সংশ্লিষ্ট বিক্রিয়া :

$$2Fe^{2+}(aq) + K_4[Fe(CN)_6] \longrightarrow Fe_2[Fe(CN)_6](s) + 4K^+(aq)$$

$$4Fe^{3+}(aq) + 3K_4[Fe(CN)_6] \longrightarrow Fe_4[Fe(CN)_6]_3(s) + 12K^+(aq)$$

জেনে নাও : ওপরের উভয় পরীক্ষা দ্বারা Fe^{2+} আয়ন ও Fe^{2+} আয়নের পার্থক্য নিরূপণ করা হয়।

দ্রবণে Al^{3+} আয়ন শনাক্তকরণ :

১। **NH_4OH দ্রবণসহ পরীক্ষা :** টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা NH_4OH দ্রবণ যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : সাদা বর্ণের জেলির মতো **ভাসমান অধঃক্ষেপ পড়ে।** এটি $Al(OH)_3$ এর অধঃক্ষেপ। ঐ অধঃক্ষেপ অল্প পরিমাণে আরেকটি টেস্টটিউবে নিয়ে এতে গাঢ় NaOH দ্রবণ যোগ করে ভালোভাবে ঝাঁকানো হয়। অধঃক্ষেপ দ্রবীভূত হয়। এ দ্রবণে গাঢ় NH_4Cl দ্রবণ যোগ করে উত্তপ্ত করলে পুনরায় সাদা অধঃক্ষেপ দেখা দেয়।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে Al^{3+} আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

বিক্রিয়া :

$$Al^{3+}(aq) + 3NH_4OH(aq) \rightarrow Al(OH)_3(s) + 3NH_4^+(aq)$$

$$Al(OH)_3(s) + NaOH(aq) \rightarrow \underset{\text{Na – অ্যালুমিনেট}}{NaAlO_2(aq)} + 2H_2O(l)$$

$$NaAl(OH)_4(aq) + NH_4Cl(aq) \rightarrow \underset{\text{সাদা অধঃক্ষেপ}}{Al(OH)_3(s)} + NaCl(aq) + NH_3(g) + H_2O(l)$$

* ধাতুর অক্সাইড ও ধাতুর হাইড্রক্সাইড হলো ক্ষারক।
* পানিতে দ্রবণীয় ধাতুর হাইড্রক্সাইড হলো ক্ষার যেমন NaOH, KOH.
* Al_2O_3 ক্ষারক হওয়া সত্ত্বেও NaOH ক্ষার দ্রবণে বিক্রিয়াসহ দ্রবীভূত হয় কেন?

দ্রবণে Zn^{2+} আয়ন শনাক্তকরণ :

১। **NH_4OH দ্রবণসহ পরীক্ষা :** টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত বর্ণহীন দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা NH_4OH দ্রবণ যোগ করা হয়।

পর্যবেক্ষণ : সাদা বর্ণের অধঃক্ষেপ, এটি ধীরে ধীরে নিচে জমতে থাকে। ঐ অধঃক্ষেপ অল্প পরিমাণে আরেকটি টেস্টটিউবে নিয়ে এতে গাঢ় NaOH দ্রবণ যোগ করে ভালোভাবে ঝাঁকানো হয়। অধঃক্ষেপ দ্রবীভূত হয়। এ দ্রবণে গাঢ় NH_4Cl দ্রবণ যোগ করে উত্তপ্ত করলে পুনরায় সাদা অধঃক্ষেপ পড়ে না।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে Zn^{2+} আয়ন উপস্থিত।

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

২। **পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণসহ পরীক্ষা :** টেস্টটিউবে 2–1 mL প্রস্তুত বর্ণহীন দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড দ্রবণ যোগ করা হয়। [এটি Zn^{2+} আয়নের নিশ্চিতকরণ পরীক্ষা।]

পর্যবেক্ষণ : সাদা বর্ণের অধঃক্ষেপ পড়ে। অধঃক্ষেপটি হলো জিংক ফেরোসায়ানাইড।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে Zn^{2+} আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

বিক্রিয়া : $2Zn^{2+}(aq) + K_4[F(CN)_6](aq) \longrightarrow Zn_2[Fe(CN)_6](s) + 4K^+(aq)$

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। 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।

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।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে Ca^{2+} আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

বিক্রিয়া : $Ca^{2+}(aq) + \begin{matrix} NH_4^+\ \bar{O}-C=O \\ | \\ NH_4^+\ \bar{O}-C=O \end{matrix}(aq) \longrightarrow Ca^{2+} \begin{matrix} \bar{O}-C=O \\ | \\ \bar{O}-C=O \end{matrix}(s) + 2NH_4^+(aq$

অ্যামোনিয়াম অক্সালেট ক্যালসিয়াম অক্সালেট

দ্রবণে Na^+ আয়নের শনাক্তকরণ :

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।

বিক্রিয়া : $2NaCl\ (aq) + K_2H_2Sb_2O_7\ (aq) \rightarrow Na_2H_2Sb_2O_7\ (s) + 2KCl\ (aq)$

পটাসিয়াম পাইরো অ্যান্টিমোনেট — সাদা অধঃক্ষেপ

দ্রষ্টব্য : লবণটি পানিতে অদ্রবণীয় হলে এটি সোডিয়াম লবণ নয়।

* সাধারণত Na^+, K^+ ও NH_4^+ এর সব লবণ পানিতে দ্রবণীয়।
* $Na_2H_2Sb_2O_7$ পানিতে অদ্রবণীয়; এটি একটি ব্যতিক্রম।

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।]

পর্যবেক্ষণ : বাদামি বর্ণের অধঃক্ষেপ পড়ে। এটি অ্যামিনো মারকিউরিক আয়োডাইডের অধঃক্ষেপ।

সিদ্ধান্ত : নমুনা লবণে NH_4^+ আয়ন উপস্থিত ও নিশ্চিত।

বিক্রিয়া : নেসলার দ্রবণ হলো NaOH দ্রবণ মিশ্রিত 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

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 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 : $Cl^-\ (aq) + AgNO_3\ (aq) \longrightarrow AgCl\ (s) + NO_3^-(aq)$

সাদা অধঃক্ষেপ

$$AgCl(s) + 2NH_4OH(aq) \longrightarrow [Ag(NH_3)_2]\ Cl\ (aq) + 2H_2O\ (l)$$

ডাইঅ্যামমিনAg(I)ক্লোরাইড

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 পড়ল। এ অধঃক্ষেপ বেরিয়াম কার্বনেট অথবা বেরিয়াম সালফেট-এর জন্য হতে পারে। এতে কয়েক ফোঁটা লঘু HCl যোগ করা হলো।

(ক) অধঃক্ষেপ বুদবুদসহ দ্রবীভূত হয়। **সিদ্ধান্ত :** CO_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) $$SO_4^{2-}\,(aq) + Ba(NO_3)_2\,(aq) \longrightarrow \underset{\text{সাদা অধঃক্ষেপ}}{BaSO_4\,(s)} + 2NO_3^-\,(aq)$$

$$BaSO_4\,(s) + HCl\,(aq) \longrightarrow \text{অদ্রবণীয়।}$$

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 : ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণভিত্তিক :

প্রশ্ন-২.১৭: একমাত্র বিকারক NH_4OH দ্রবণ দ্বারা ছয়টি ক্যাটায়ন শনাক্তকরণ সম্ভব। এর পক্ষে সৃষ্ট উৎপাদ যৌগের বর্ণ ও বিক্রিয়া মাধ্যমে ভৌত অবস্থাসহকারে ব্যাখ্যা কর। এর সাথে উৎপাদ যৌগের বৈশিষ্ট্য অনুসারে NaOH দ্রবণসহ বিক্রিয়া লেখ।

দ্রষ্টব্য : ব্যবহারিক রসায়ন : অধ্যাপক হারাধন নাগ।

প্রশ্ন-২.১৯ : $A^{2+}(3d^6)$, $A^{3+}(3d^5)$ আয়ন দুটির দ্রবণে পার্থক্যকরণের দুটি পরীক্ষা সমীকরণসহ লেখ।

প্রশ্ন-২.২০ : একমাত্র $Ba(NO_3)_2$ বিকারক দ্বারা দ্রবণে SO_4^{2-} আয়ন অথবা CO_3^{2-} আয়নের উপস্থিতি নিশ্চিত করা যায়; রাসায়নিক বিক্রিয়া সহকারে এর যথার্থ ব্যাখ্যা কর।

প্রশ্ন-২.২১ (ক) : $[Ar]ns^0\,(n-1)d^5$; এ উদ্দীপকের d-উপস্তরের সব ইলেকট্রনের স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যার মান একই— ব্যাখ্যা কর। [চ. বো. ২০১৫]

(খ) প্রদত্ত ইলেকট্রন বিন্যাসটি একটি ক্যাটায়নের ইলেকট্রন বিন্যাস এর সত্যতা নিরূপণ কর। [চ. বো. ২০১৫]

(গ) A মৌলটির যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রনের কোয়ান্টাম সংখ্যাগুলোর মান $n = 4$, $l = 0$, $m = 0$, $s = +\frac{1}{2}$ হলে A^{2+} আয়নের বর্ণযুক্ত হওয়ার সম্ভাব্যতা যাচাই কর। [ঢা. বো. ২০১৫]

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণি শিক্ষকের সহায়তায় পূর্বের ৪ জনের গ্রুপ নিয়ে ল্যাবরেটরিতে **ক্যাটায়নের সিক্ত পরীক্ষা** এবং অ্যানায়নের সিক্ত পরীক্ষা পদ্ধতি অনুসরণ করে ক্লাস রুটিন মতে নিম্নোক্ত লবণের যে কোনো একটিকে অজানা লবণরূপে নিয়ে পর পর ৭টি পরীক্ষা কর। প্রতিটি পরীক্ষা শেষ করে তোমার **'প্রেক্‌টিক্যাল 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 লেখার নমুনা

পরীক্ষার নাম : নমুনা লবণে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণ

পরীক্ষা নং-২

তারিখ : . . . . . .

লবণের ভৌত ধর্ম :
(১) গঠন : দানাদার
(২) বর্ণ : নীল
(৩) দ্রাব্যতা : পানিতে দ্রবণীয়

(ক) লবণের দ্রবণে ক্যাটায়ন শনাক্তকরণ :

দ্রবণ প্রস্তুতি : প্রদত্ত নমুনা লবণটির অল্প পরিমাণ টেস্ট টিউবে নিয়ে এতে পানি যোগ করে এবং নেড়ে দেখা গেল তা শীতল পানিতে দ্রবণীয়। তাই শীতল পানিতে প্রদত্ত লবণের দ্রবণ তৈরি করে সিক্ত পরীক্ষা করা হয়।

পরীক্ষা	পর্যবেক্ষণ	সিদ্ধান্ত
(১) NH_4OH দ্রবণ সহ পরীক্ষা : একটি টেস্ট টিউবে 1-1 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 সহ 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 টেস্ট টিউবে 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 টেস্ট টিউবে 2–1 mL প্রস্তুত দ্রবণ নিয়ে এতে কয়েক ফোঁটা সিলভার নাইট্রেট দ্রবণ 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 টেস্ট টিউবে 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 অধঃক্ষেপের মধ্যে কয়েক ফোঁটা লঘু HCl এসিড যোগ করা হয়।

—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 পেন্টা হাইড্রেট 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।

২.১৪ কেলাসন পদ্ধতি
Crystallisation

কোনো কঠিন পদার্থের উত্তপ্ত সম্পৃক্ত দ্রবণকে ধীরে ধীরে শীতল করলে নিম্ন তাপমাত্রায় দ্রবণটি অতিপৃক্ত (super saturated) হওয়ার কারণে দ্রবণ থেকে অতিরিক্ত পদার্থ দানাদার কঠিন পদার্থরূপে পৃথক হয়ে পড়ে। এরূপে পৃথক হওয়া কঠিন পদার্থের নির্দিষ্ট জ্যামিতিক গঠন থাকে, তাকে কেলাস বলে এবং প্রক্রিয়াটিকে **কেলাসন** বলে। কেলাস পৃথক হওয়ার পর প্রাপ্ত দ্রবণটিকে মাতৃদ্রবণ বলে। মাতৃ দ্রবণ হলো একটি সম্পৃক্ত দ্রবণ (saturated solution)।

প্রয়োগ : শিল্প ক্ষেত্রে চিনি উৎপাদনে কেলাসন পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়। এছাড়া জৈব যৌগের বিশোধনে কেলাসন প্রক্রিয়া ব্যবহৃত হয়।

কেলাসন পদ্ধতি নিম্নোক্ত ধাপে সম্পন্ন করা হয় :

(১) প্রদত্ত নমুনার দ্রবণ প্রস্তুতি, (২) দ্রবণের পরিস্রাবণ বা ফিল্টারকরণ, (৩) সম্পৃক্ত দ্রবণ প্রস্তুতি, (৪) উত্তপ্ত সম্পৃক্ত দ্রবণকে শীতলকরণে কেলাসন, (৫) কেলাস পৃথকীকরণ ও শুষ্ককরণ।

ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণি শিক্ষকের সহায়তায় চারজনের গ্রুপ করে নিম্নোক্ত মূলনীতি সহকারে উপরোক্ত ধাপ অনুসরণ করে নিচের চিত্রমতে অবিশুদ্ধ খাদ্যলবণ থেকে বিশুদ্ধ লবণের কেলাস তৈরি কর।

পরীক্ষা নং-৯

তারিখ : .....

পরীক্ষার সময় : ১ পিরিয়ড

২.১৫ পরীক্ষার নাম : খাদ্য লবণ বা অবিশুদ্ধ সোডিয়াম ক্লোরাইড থেকে বিশুদ্ধ সোডিয়াম ক্লোরাইড কেলাস প্রস্তুতি।

(ক) মূলনীতি : প্রদত্ত অবিশুদ্ধ সোডিয়াম ক্লোরাইড বা খাদ্য লবণ-এর গাঢ় জলীয় দ্রবণে বিশুদ্ধ HCl এসিড যোগ করলে উভয়ের 'সাধারণ আয়ন' যেমন ক্লোরাইড আয়ন (Cl^-) এর প্রভাবে শুধুমাত্র NaCl কেলাসিত হয়; কিন্তু খাদ্য লবণের অন্যান্য ভেজাল যেমন $MgCl_2$, $CaCl_2$, Na_2SO_4, $MgSO_4$ ইত্যাদি দ্রবণে থেকে যায়। প্রাপ্ত কেলাসকে পৃথক করে শুষ্ক করে নিলে মোটামুটি বিশুদ্ধ NaCl এর কেলাস পাওয়া যায়।

[যদিও তাত্ত্বিকভাবে ঐ NaCl এর কেলাসকে গাঢ় HCl দিয়ে ধুয়ে ফেলা উচিত এবং তাপ প্রয়োগে গাঢ় HCl দূর করতে হয়। কিন্তু পরীক্ষাগারে শিক্ষার্থীদের জন্য তা বিপজ্জনক ও ক্ষতিকর হবে।]

(খ) প্রয়োজনীয় রাসায়নিক দ্রব্য : প্রদত্ত খাদ্য লবণ, গাঢ় HCl এসিড।

(গ) প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি : (১) বিকার ২টি, টেস্টটিউব ১টি, ফানেল, ফিল্টার পেপার, গ্লাস রড;

(২) পোর্সেলিন বেসিন, ত্রিপদী স্ট্যান্ড, বার্নার বা স্পিরিট ল্যাম্প ইত্যাদি।

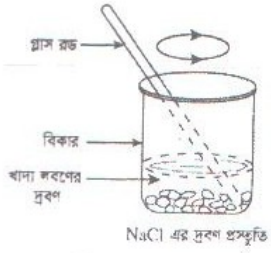
(ঘ) কাজের ধারা : (১) দ্রবণ প্রস্তুতি : প্রথমে খাদ্য লবণকে রাফ-ব্যালান্সে মেপে এর ভর w_1 রেকর্ড করা হয়; (মনে করি $W_1 = 30$ g)। এরপর একটি বিকারে 100 mL পানি নিয়ে এর মধ্যে প্রদত্ত খাদ্য লবণের গুঁড়া অল্প অল্প করে যোগ করে ও গ্লাস রড দিয়ে নেড়ে দ্রবণ প্রস্তুত করা হয়।

(২) পরিস্রাবণ : এখন দ্রবণটিকে পরিস্রাবণ করে পরিষ্কার পরিস্রুত দ্রবণকে বিকারে নেয়া হয়।

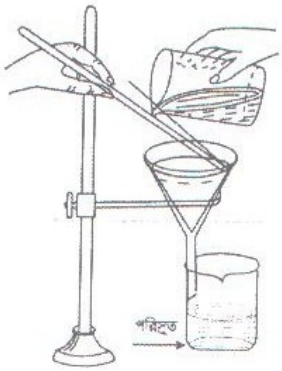
(৩) সম্পৃক্ত দ্রবণ প্রস্তুতি : পরিস্রুত দ্রবণটিকে তাপ দিয়ে সম্পৃক্ত করা হয়। অল্প তপ্ত দ্রবণ টেস্ট টিউবে নিয়ে ট্যাপের পানিতে শীতল করলে যদি কেলাস দেখা যায়, তবে দ্রবণটি সম্পৃক্ত হয়েছে ধরা হয়।

(৪) সাধারণ আয়নরূপে গাঢ় HCl যোগ : এখন একটি শীতল পানির পাত্রে দ্রবণসহ বিকারটিকে রেখে কিছুটা শীতল করা হয়। পরে দ্রবণে ৫-৬ ফোঁটা গাঢ় HCl এসিড যোগ করা হয়। এতে কেলাসন সহজে ঘটে।

(৫) কেলাস পৃথকীকরণ : পরিস্রাবণ করে মাতৃদ্রবণ থেকে কেলাস পৃথক করা হয়। ফিল্টার পেপারের ওপর কেলাসগুলো জমা করা হয়।



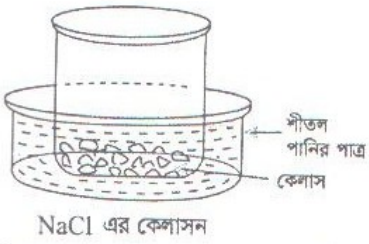
চিত্র ২.২৫ : দ্রবণ প্রস্তুতি



চিত্র ২.২৬: পরিস্রাবণ

চিত্র ২.২৭ : সম্পৃক্তকরণ

(৬) কেলাসের শুষ্ককরণ : ফিল্টার পেপারের ওপর জমা করা কেলাসগুলোকে অপর একটি ফিল্টার পেপার দিয়ে ধীরে ধীরে চেপে কেলাসগুলোর পানি শোষণ করা হয়। এরপর নিরুদক গলিত $CaCl_2$ সহ **ডেসিকেটর** অথবা **ভেক্যুয়াম ডেসিকেটরে** কেলাসগুলোকে পোর্সেলিন বেসিনসহ রেখে শুষ্ক করা হয়। [চিত্র ২.২৯, ২.৩০]।



চিত্র ২.২৮ : NaCl-এর কেলাসন, চিত্র ২.২৯ : ফিল্টার পেপার চেপে কেলাস শুষ্ককরণ, চিত্র ২.৩০ : ভেক্যুয়াম ডেসিকেটর

(৭) কেলাস সংরক্ষণ : টেস্টটিউবের গায়ে রোল নং ..... লেখা কাগজ এঁটে দিয়ে এর ভেতর শুষ্ক 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।

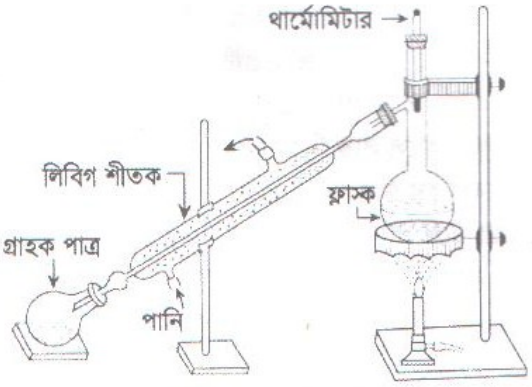
শিক্ষার্থীর কাজ :
প্রশ্ন-২.২২ : কেলাসন বলতে কী বোঝ?
প্রশ্ন-২.২৩ : NaCl এর সম্পৃক্ত দ্রবণে গাঢ় HCl এর কয়েক ফোঁটা যোগ করলে NaCl এর কেলাসন সহজে ঘটে; লবণের দ্রাব্যতার গুণফলের ওপর সমআয়নের প্রভাবের সাহায্যে এর ব্যাখ্যা কর।

২.১৬.১ পাতন (Distillation)

যে তরল পদার্থ স্ফুটনাঙ্কের মধ্যে বিযোজিত না হয়ে বাষ্পীভূত হয় এবং সে বাষ্পকে শীতল করার পর একই তরল পদার্থ পাওয়া যায়, তাকে **উদ্বায়ী তরল** বলে। তাপ প্রয়োগে তরলকে বাষ্পে রূপান্তর ও শীতলকরণে ঘনীভূত হয়ে একই তরল পদার্থে পরিণত হওয়ার প্রক্রিয়াকে **পাতন** বলে। পাতন = তরলের বাষ্পীভবন + বাষ্পের ঘনীভবন

এ পাতন প্রক্রিয়ার সাহায্যে অনুদ্বায়ী কঠিন ও তরল পদার্থ থেকে উদ্বায়ী তরলকে এবং $40^{\circ}C$ তাপমাত্রার অধিক ব্যবধানের স্ফুটনাঙ্কবিশিষ্ট দুই তরল পদার্থের মিশ্রণ থেকে পরস্পরকে বিশুদ্ধ অবস্থায় পৃথক করা যায়।

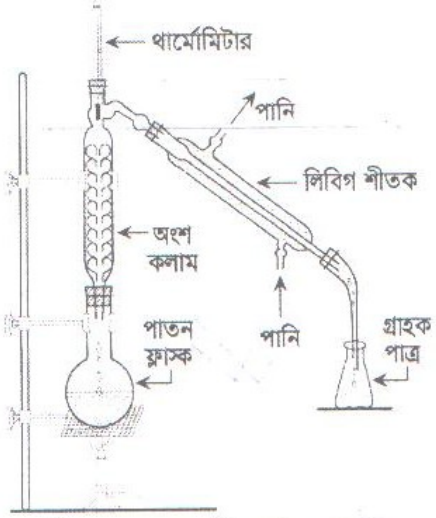
বিশোধনের জন্য অবিশুদ্ধ তরলকে পাতন ফ্লাস্কে নিয়ে এর মুখে কর্কের মাধ্যমে একটি থার্মোমিটার এর বালবকে ফ্লাস্কের পার্শ্বনলের মুখ বরাবর রেখে যুক্ত করা হয়। [চিত্র ২.৩১] পাতন ফ্লাস্কটিকে তারজালির ওপর রেখে উত্তপ্ত করা হয় এবং একই সময়ে লিবিগ শীতকের ভেতরে ঠাণ্ডা পানির প্রবাহ চালনা করা হয়। ফ্লাস্কে তাপ প্রয়োগ করলে থার্মোমিটারে প্রথমে তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেয়ে পরে নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় স্থির থাকে। তখন সে তাপমাত্রায় তরলটি বাষ্পীভূত হতে থাকে এবং শীতকে ঘনীভূত হয়ে বিশুদ্ধ তরলরূপে গ্রাহক পাত্রে জমা হয়। তরল পদার্থের স্ফুটনাঙ্ক 100–120°C এর উর্ধ্বে হলে পানি শীতক বা লিবিগ শীতকের পরিবর্তে 1 cm^3 ব্যাসের 80 cm^3 দীর্ঘ কাচ নির্মিত বায়ুশীতক ব্যবহৃত হয়।



চিত্র ২.৩১ : পাতন পদ্ধতি।

২.১৬.২ আংশিক পাতন (Fractional distillation)

কোনো মিশ্র তরল পদার্থের উপাদানসমূহের স্ফুটনাঙ্কের ব্যবধান 40°C এর বেশি হলে সাধারণ পাতন পদ্ধতিতে এদের পৃথক করা সম্ভব। কিন্তু উপাদানসমূহের স্ফুটনাঙ্কের ব্যবধান 40°C এর কম হলে তখন পাতন ফ্লাস্ক ও শীতকের মাঝখানে 'অংশ কলাম' (fractionation column) নামক 'সাহায্যকারী শীতক' ব্যবহার করে পাতন প্রক্রিয়ায় তরল উপাদানসমূহের পৃথকীকরণ সম্ভব হয়। 'অংশ কলাম' ব্যবহার করে পাতন প্রক্রিয়ায় মিশ্রণের তরল উপাদানকে পৃথক করার পদ্ধতিকে **আংশিক পাতন** বলে। একটি তরল মিশ্রণে A ও B দুটি জৈব যৌগ আছে। A এর স্ফুটনাঙ্ক হলো 85°C এবং B এর স্ফুটনাঙ্ক হলো 100°C। মিশ্রণটিকে পাতন ফ্লাস্কে নিয়ে ছোট ছোট বালববিশিষ্ট একটি অংশ কলামে যথারীতি যুক্ত করে উত্তপ্ত করা হয়। মিশ্রণটি ফুটতে থাকে ও উৎপন্ন বাষ্প অংশ কলামের ভেতর দিয়ে ওপরে উঠলে উক্ত বাষ্পের অপেক্ষাকৃত কম উদ্বায়ী B এর বাষ্প বায়ুর শৈত্যে অংশ কলামের বালবে ঘনীভূত হয়ে নিচে নেমে আসে এবং অধিক উদ্বায়ী যৌগ A এর বাষ্প ক্রমশ ওপরের দিকে উঠতে থাকে। এতে কম উদ্বায়ী ঘনীভূত তরলের একটি নিম্নমুখী প্রবাহ ও অধিক উদ্বায়ী তরলটির বাষ্পের উর্ধ্বমুখী প্রবাহ চলতে থাকে।



চিত্র ২.৩২ : আংশিক পাতন পদ্ধতি।

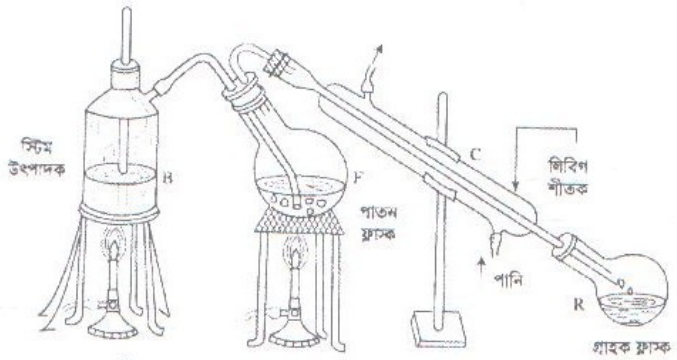
ফলে কম উদ্বায়ী তরলের বাষ্প ঘনীভূত হয়ে পুনরায় ফ্লাস্কে আসে এবং অধিক উদ্বায়ী তরলের বাষ্প অংশ কলাম পার হয়ে লিবিগ শীতকে প্রবেশ করে ও ঘনীভূত হয়ে পাতিত তরলরূপে গ্রাহক পাত্রে জমা হয়। পরে দুই তরলকে পৃথকভাবে পুনঃপাতন করে বিশুদ্ধ করা হয়।

প্রয়োগ : আধুনিক রাসায়নিক শিল্পে 'অংশ কলাম' ব্যবহার করে পেট্রোলিয়াম বিশোধন, রেকটিফাইড স্পিরিট উৎপাদন, আলকাতরার অংশ পাতন, লঘু তৈল থেকে বেনজিন, টলুইন প্রভৃতি পৃথকীকরণ উল্লেখযোগ্য।

২.১৬.৩ বাষ্প পাতন বা স্টিম পাতন (Steam Distillation)

যে সব কঠিন ও তরল জৈব যৌগ 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।

গোলতলী ফ্লাস্কে (F) অল্প পানিসহ অনুদ্বায়ী ভেজাল মিশ্রিত জৈব যৌগের মিশ্রণ নিয়ে এর সঙ্গে এক পার্শ্বে স্টিমের আগম-নল ও অপর পার্শ্বে উদ্বায়ী বাষ্পের নির্গম-নল এর সঙ্গে লিবিগ শীতক যুক্ত করা হয় (চিত্র ২.২৯)। শীতকের (C) শেষ প্রান্তে গ্রাহক পাত্র থাকে। গোলতলী ফ্লাস্কটিকে স্টিম উৎপাদক পাত্রের দিকে একটু হেলান অবস্থায় রেখে স্টিম চালনা করা হয়, যেন স্ফুটনকালে লাফ দিয়ে নির্গম-নল পর্যন্ত তরলটি পৌঁছতে না পারে। স্টিম উৎপাদক (B) ও পাতন ফ্লাস্কে (F) এমনভাবে তাপ দেয়া হয় যেন পাতন ফ্লাস্কে প্রবিষ্ট ও তা থেকে নির্গত বাষ্পের পরিমাণ প্রায় সমান থাকে। গ্রাহক ফ্লাস্কে (R) সঞ্চিত জৈব যৌগের সঙ্গে পানিও জমতে থাকে। তাই কঠিন অদ্রবণীয় জৈব যৌগকে পৃথকীকরণ ফানেলের সাহায্যে পৃথক করা হয়। [চিত্র ২.৩৩ (ক)]



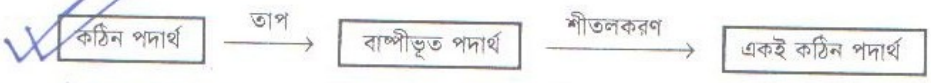
চিত্র ২.৩৩ : বাষ্প পাতন পদ্ধতি।

(ক) পৃথকীকরণ ফানেল।

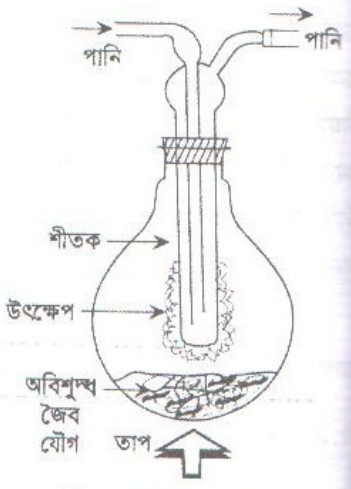
প্রয়োগ : স্টিম পাতন পদ্ধতিতে সুগন্ধ পুষ্প থেকে ফুলের নির্যাস যেমন গোলাপ জল প্রস্তুতি এবং ইউকেলিপটাস পাতা থেকে এর তৈল প্রভৃতি নানা প্রকার সুগন্ধি তৈল নিষ্কাশন করা হয়। অ্যানিলিনের বিশোধন বাষ্প পাতনের সাহায্যে করা হয়।

২.১৬.৪ ঊর্ধ্বপাতন (Sublimation)

যে সব কঠিন পদার্থের গলনাঙ্কের নিম্ন তাপমাত্রায় এদের বাষ্পচাপ বায়ুচাপ অপেক্ষা বেশি হয়, সে সব কঠিন পদার্থ তাপের প্রভাবে কঠিন অবস্থা থেকে সরাসরি বাষ্পে পরিণত হয়। বিপরীতক্রমে ঐ বাষ্পকে শীতল করলে পূর্বের কঠিন পদার্থে পরিণত হয়। এ পদ্ধতিকে **ঊর্ধ্বপাতন** বলে।



এ কঠিন পদার্থকে ঊর্ধ্বপাতনযোগ্য পদার্থ বলে। যেমন কর্পূর, ন্যাফথলিন, বেনজয়িক এসিড এবং ঊর্ধ্বপাতনে পৃথকীকৃত বস্তুকে (sublimate) **উৎক্ষেপ** বলে। কোনো অনুদ্বায়ী কঠিন পদার্থ ও ঊর্ধ্বপাতনযোগ্য জৈব পদার্থের মিশ্রণকে গোলতলী 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 ফ্লাক্সে 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 জৈব যৌগ বাষ্পীভূত হয়ে ওপরের শীতকের গায়ে উৎক্ষেপরূপে জমা হয়।



চিত্র ২.৩৪ : ঊর্ধ্বপাতন

প্রয়োগ : কর্পূর, ন্যাফথলিন, আয়োডিন, বেনজয়িক এসিড প্রভৃতি কঠিন বস্তুকে অনুদ্বায়ী ভেজাল মিশ্রণ থেকে ঊর্ধ্বপাতন প্রক্রিয়ায় বিশোধন করা হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ :
প্রশ্ন-২.২৪ : আংশিক পাতন কী?
প্রশ্ন-২.২৫ : সাধারণ পাতন ও আংশিক পাতনের মধ্যে পার্থক্যগুলো ছক আকারে লেখ।
প্রশ্ন-২.২৬ : বাষ্প পাতন কী?
প্রশ্ন-২.২৭ : আংশিক পাতন ও বাষ্প পাতনের মূল পার্থক্য ও দুটি করে প্রয়োগ বা ব্যবহারিক উদাহরণ দাও।

২.১৭ দ্রাবক নিষ্কাশন
Solvent Extraction

অধিকাংশ জৈব যৌগ অপোলার হওয়ায় পোলার দ্রাবক পানিতে অদ্রবণীয়। তবে কম সংখ্যক আংশিক পোলার জৈব যৌগ পানিতে স্বল্প দ্রবণীয় হয়। উদ্ভিজ্জ বীজ, ফুল, পাতা, মূল ও বাকল ইত্যাদিতে বিভিন্ন জৈব যৌগ মিশ্রিত থাকে। ঐ সব জৈব যৌগকে নির্দিষ্ট জৈব দ্রাবকে দ্রবীভূত করে নিষ্কাশন করা হয়। পরীক্ষাগারে প্রস্তুত করা জৈব যৌগকে বিশুদ্ধ অবস্থায় পৃথক করতে উদ্বায়ী জৈব দ্রাবক ব্যবহৃত হয়। এরূপে, **কোনো জৈব যৌগকে এর জলীয় দ্রবণ অথবা অন্য কোনো মিশ্রিত অবস্থা থেকে একটি উপযুক্ত দ্রাবকে দ্রবীভূত করে পৃথক করার পদ্ধতিকে দ্রাবক নিষ্কাশন বলে।**

দ্রাবক নিষ্কাশনের মূলনীতি হলো নার্নস্টের বণ্টননীতি। এ নীতি অনুসারে, স্থির তাপমাত্রায় দুটি পরস্পর অমিশ্রণীয় A ও B দ্রাবকের মধ্যে পৃথক দ্রাব্যতা বিশিষ্ট কোনো দ্রব যোগ করে ঝাঁকালে ঐ দ্রবটি উভয় দ্রাবকে এমনভাবে বণ্টিত বা দ্রবীভূত হয় যেন উভয় দ্রাবকে দ্রবের ঘনমাত্রার অনুপাত স্থির থাকে। তখন উভয় দ্রাবকে দ্রবটির বিয়োজন বা সংযোজন ঘটবে না। অর্থাৎ

$$\frac{\text{প্রাথমিক A দ্রাবকে দ্রবের ঘনমাত্রা } (C_1)}{\text{দ্বিতীয় B দ্রাবকে দ্রবটির ঘনমাত্রা } (C_2)} = K_D \text{ (ধ্রুবক)}$$

এক্ষেত্রে ধ্রুবক K_D কে দ্রবটির উভয় দ্রাবকে বণ্টন গুণাঙ্ক বা বণ্টন ধ্রুবক (distribution coefficient) 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 = 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, $\frac{x_1}{V_1} = K_D \cdot \frac{(x_0 - x_1)}{v_2} = \left[\frac{K_D.x_0}{v_2} - \frac{K_D.x_1}{v_2}\right]$; 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, $x_1.\left[\frac{K_DV_1 + v_2}{V_1v_2}\right] = K_D.\frac{x_0}{v_2}$;

বা, $x_1 = \frac{x_0.K_DV_1}{(K_DV_1 + v_2)}$; [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 x_2 g এর পরিমাণ হবে :

$$x_2 = \frac{x_1.K_DV_1}{(K_DV_1 + v_2)} = \frac{x_0.K_DV_1}{(K_DV_1 + v_2)} \cdot \frac{K_DV_1}{(K_DV_1 + v_2)} = x_0.\left[\frac{K_DV_1}{K_DV_1 + v_2}\right]^2$$

অনুরূপভাবে v_2 mL ২য় দ্রাবক ব্যবহার করে n বার নিষ্কাশন করলে তখন অনিষ্কাশিত বস্তুর পরিমাণ x_n g হবে :

$x_n = x_0.\left[\frac{K_DV_1}{K_DV_1 + v_2}\right]^n$; এক্ষেত্রে ২য় দ্রাবকটি সর্বমোট ব্যবহৃত হয়েছে $n \times v_2 = nv_2$ mL। যদি এ n mL দ্রাবকটি একবারেই ব্যবহার করে নিষ্কাশন প্রক্রিয়া একবার করা হয়। তখন অনিষ্কাশিত বস্তুর পরিমাণ (x_m) হবে,

$x_m = x_0\left[\frac{K_DV_1}{K_DV_1 + nv_2}\right]$; এক্ষেত্রে গণিতের সূত্র মতে, $\frac{K_DV_1}{(K_DV_1 + nv_2)} > \left(\frac{K_DV_1}{K_DV_1 + v_2}\right)^n$

এক্ষেত্রে n এর মান যত বড় হবে, উপরের রাশি দুটোর মধ্যে পার্থক্য তত বেশি হবে। সুতরাং $x_m > x_n$। অপর কথায় দুয়ের অধিক দ্রাবক নিষ্কাশনে কম দ্রাবক বার বার ব্যবহার করলে নিষ্কাশিত বস্তুর পরিমাণ বেড়ে যায়; অনিষ্কাশিত বস্তুর পরিমাণ কম হয়।

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪২ : এক লিটার জলীয় দ্রবণে 1g আয়োডিন দ্রবীভূত আছে। (ক) ঐ দ্রবণকে 50 mL CCl_4 সহ ঝাঁকালে জলীয় দ্রবণে আর কত আয়োডিন অবশিষ্ট থাকবে? (খ) 50 mL CCl_4কে 10 mL করে পাঁচবার ব্যবহার করলে জলীয় দ্রবণে আর কত আয়োডিন থাকবে? CCl_4 ও পানির মধ্যে I_2 এর বণ্টন গুণাঙ্ক হলো 80।

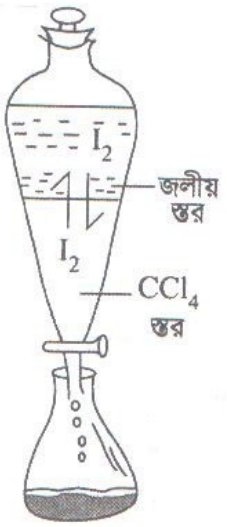
দক্ষতা : বণ্টন সূত্র ব্যবহৃত হবে।

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 = 1g, 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, $x_m = x_0.\left[\frac{K_D.V_1}{K_D.V_1 + nv_2}\right]$

$$= 1g.\frac{0.0125 \times 1000}{(0.0125 \times 1000 + 5 \times 10)}$$

বা, $x_m = \frac{12.5}{62.5} = 0.2g$ (অবশিষ্ট থাকে)।



চিত্র ২.৩৫ : জলীয় স্তর থেকে I_2 কে CCl_4 দ্বারা পৃথক করা।

$\therefore$ 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 $x_5 = ?$ ক্ষেত্রে সমীকরণটি হলো :

$$x_5 = x_0 . \left[\frac{K_D.V_1}{K_D V_1 + v_2}\right]^5 = 1g. \left[\frac{0.0125 \times 1000}{(0.0125 \times 1000 + 10)}\right]^5$$

$= \left(\frac{12.5}{22.5}\right)^5 = (0.555)^5 = 0.053g$ অবশিষ্ট থাকে।

$\therefore$ নিষ্কাশিত % পরিমাণ $= \frac{(1.0 - 0.053) \times 100}{1.0} = 94.7\%$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪৩ : 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 কর।

সমাধান : $\frac{CCl_4\text{-এ দ্রাব্যতা } (C_1)}{H_2O\text{-এ দ্রাব্যতা } (C_2)} = K_D$

বা, $\frac{C_1}{0.35 \text{ g L}^{-1}} = 80$

বা, $C_1 = 80 \times 0.35 \text{ gL}^{-1} = 28\text{gL}^{-1}$

$\therefore$ কার্বন টেট্রা ক্লোরাইডে আয়োডিনের দ্রাব্যতা $= 28 \text{ g L}^{-1}$

দেয়া আছে,

$\frac{CCl_4\text{-এ দ্রাব্যতা } (C_1)}{H_2O\text{-এ দ্রাব্যতা } (C_2)} = K_D = 8$

পানিতে দ্রাব্যতা $(C_2) = 0.35 \text{ g L}^{-1}$

সমাধানকৃত সমস্যা-২.৪৪ : 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 দেখা গেল যে, 100 mL CCl_4 একবার ব্যবহার করার চেয়ে 50 mL করে CCl_4 দ্রাবক দু'বার ব্যবহার করাই উত্তম। CCl_4 পানির 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 বণ্টন গুণাঙ্ক = 80;

সুতরাং পানি ও CCl_4 এর বণ্টন গুণাঙ্ক , $K_D = \frac{1}{80} = 0.0125.$

একবার মাত্র নিষ্কাশনের বেলায়, $X_m = X_o \left[\frac{K_D.V_1}{K_D.V_1 + nv_2}\right]$

বা, $X_m = 0.012 \text{ g} \frac{0.0125 \times 100}{(0.0125 \times 100 + 2 \times 50)}$

বা, $X_m = \frac{0.015}{101.25} = 0.00014815$ g (অনিষ্কাশিত থাকে)।

$\therefore$ নিষ্কাশিত % পরিমাণ $= \frac{(0.012 - 0.00014815)\ g \times 100}{0.012\ g} = 98.76\%$

আবার 50 mL CCl_4 প্রতিবার ব্যবহার করে 2 বার নিষ্কাশনের বেলায় অবশিষ্ট I_2 থাকে $X_2 = ?$

এক্ষেত্রে সমীকরণটি হলো :

$$X_2 = X_o \left[\frac{K_D.V_1}{K_D.V_1 + v_2}\right]^2 = 0.012\ g \left[\frac{0.0125 \times 100}{(0.0125 \times 100 + 50)}\right]^2$$

বা, $X_2 = 0.012\ g \times \left(\frac{1.25}{51.25}\right)^2 = 0.012\ g \times (0.02439)^2$

বা, $X_2 = 0.012 \times 0.000059487\ g = 0.000000714g$

$\therefore$ দুইবার নিষ্কাশনের % পরিমাণ $= \frac{(0.012 - 0.000000714)\ g \times 100}{0.012\ g} = 99.99\%$

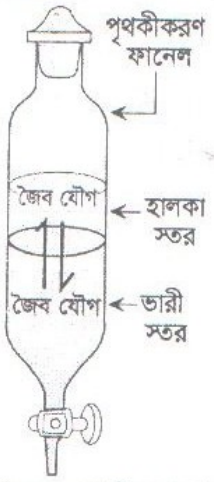
সুতরাং একবারে 100 mL CCl_4 সহযোগে নিষ্কাশনের % পরিমাণ হলো 98.76%; কিন্তু 50 mL করে দু'বার 100 mL CCl_4 ব্যবহার করে নিষ্কাশিত % পরিমাণ হয় 99.98%, যা পূর্বের চেয়ে বেশি। তাই দু'বার 50 mL করে CCl_4 ব্যবহার করাই উত্তম।

দ্রাবক নিষ্কাশনের দ্রাবক :

দ্রাবক নিষ্কাশনের জন্য ব্যবহৃত দ্রাবক হলো অধিক উদ্বায়ী ডাইইথাইল ইথার (b.p = 35°C), এছাড়া, বেনজিন, টলুইন, n-হেক্সেন, ক্লোরোফরম ও ডাইক্লোরো মিথেন ব্যবহৃত হয়। দ্রাবক নিষ্কাশন প্রক্রিয়া দ্রবের ভৌত অবস্থার ওপর ভিত্তি করে দুটি পদ্ধতিতে করা হয়।

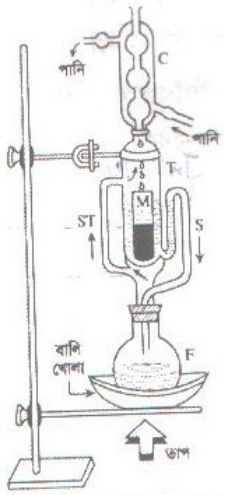
(১) জলীয় দ্রবণ থেকে নিষ্কাশন ও (২) কঠিন পদার্থ থেকে জৈব যৌগ নিষ্কাশন বা সক্সলেট নিষ্কাশন।

(১) জলীয় দ্রবণ থেকে নিষ্কাশন : জৈব যৌগের জলীয় দ্রবণকে একটি পৃথকীকরণ ফানেলে (চিত্র : ২.৩৬) 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 জৈব যৌগটি 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 ২.৩৬ : পৃথকীকরণ ফানেল।

(২) কঠিন পদার্থ থেকে জৈব যৌগ নিষ্কাশন : সক্সলেট নিষ্কাশন : মূলনীতি : কঠিন পদার্থ থেকে জৈব যৌগ নিষ্কাশনের জন্য মিহিচূর্ণ কঠিন বস্তুকে এমন একটি দ্রাবকে সিক্ত ও উত্তপ্ত করা হয় সে দ্রাবকে কেবল উক্ত ঈপ্সিত জৈব যৌগটি দ্রবীভূত হলেও অন্যান্য ভেজাল পদার্থ অদ্রবীভূত থাকে। গাছের পাতা, বাকল ও শস্য বীজ থেকে জৈব যৌগ নিষ্কাশন এ পদ্ধতিতে করা হয়।



চিত্র ২.৩৭ : সক্সলেট নিষ্কাশন যন্ত্র।

এজন্য সক্সলেট নিষ্কাশন যন্ত্র (Soxhlet extractor) ব্যবহৃত হয়। সক্সলেট যন্ত্রে তিনটি অংশ থাকে। যেমন, (১) নিচের পাতন ফ্লাস্ক (F), (২) মাঝখানের পার্শ্বনল ও সাইফুনযুক্ত বড় গ্লাস টিউব (T) এবং (৩) ওপরের শীতক অংশ-কলাম (C) (চিত্র, ২.৩৭]।

জৈব যৌগের উৎস যেমন, গাছের পাতা, বাঁকল বা শস্যবীজ গুঁড়া করে পুরু ফিল্টার কাগজের (M) টোপরকে (thimble) ভর্তি করে মাঝখানের বড় গ্লাস টিউবে (T) এমনভাবে রাখা হয় যেন এর উচ্চতা সাইফুন নলের (S) কিছু উঁচুতে থাকে। এরপর গ্লাসটিউবের আয়তনের দেড় গুণ পরিমাণ দ্রাবক ফ্লাস্কে নিয়ে একে পানিগাহে বা বালিখোলায় উত্তপ্ত করা হয়। দ্রাবকের বাষ্প পার্শ্বনলের (S.T) মাধ্যমে ওপরের শীতকে পৌঁছে এবং তরলীভূত হয়ে ফোঁটায় ফোঁটায় ফিল্টার কাগজের টোপরের ওপর পড়ে এবং জৈব যৌগকে দ্রবীভূত করে পরিস্রাবণের পর 'টোপর' ও গ্লাস টিউবের মাঝখানের ফাঁকে দ্রবণরূপে জমা হয়। এরূপে দ্রবণের উচ্চতা সাইফুন নলের ঊর্ধ্বে পৌঁছলে, ঐ দ্রবণটি সাইফুন টানে নিচের ফ্লাস্কে স্থানান্তরিত হয়। দ্রাবকের এই আবর্তন প্রয়োজন মতো অনেক বার করা হয়। এরপর আংশিক পাতনে দ্রাবক থেকে ঈপ্সিত জৈব যৌগটিকে 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।

২.১৮ ক্রোমাটোগ্রাফি
Chromatography

বিভিন্ন যৌগের মিশ্রণের দুটি সাম্যাবস্থার (phases) মধ্যে বণ্টনের (distribution) পার্থক্যের ওপর নির্ভর করে 1903 খ্রিস্টাব্দে 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।

যে বিশ্লেষণমূলক পদ্ধতিতে বিশেষ জৈব যৌগের দুই বা ততোধিক উপাদানের কোনো মিশ্রণকে একটি স্থির মাধ্যমে রেখে এবং অপর একটি সচল মাধ্যমকে উক্ত স্থির মাধ্যমের সংস্পর্শে প্রবাহিত করে মিশ্রণের উপাদানগুলোর অধিশোষণ মাত্রা কিংবা বণ্টন সহগের ওপর ভিত্তি করে এদেরকে বিভিন্ন স্তরে পৃথক করা সম্ভব হয়, তাকে **ক্রোমাটোগ্রাফি** বলা হয়।

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।

স্থির মাধ্যমটি যদি কঠিন পদার্থ 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,

(১) 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।

শ্রেণিবিভাগ : উপাদানের দুটি ভৌত ধর্ম যেমন, অধিশোষণ ও দ্রাব্যতার ওপর ভিত্তি করে ক্রোমাটোগ্রাফিকে প্রধানত নিম্নোক্ত শ্রেণিতে বিভক্ত করা যায় :

(ক) **অধিশোষণ ক্রোমাটোগ্রাফি** (adsorption chromatography)	:	স্থির মাধ্যম	চলনশীল মাধ্যম
১. কলাম ক্রোমাটোগ্রাফি (CC) (column chromatography)	:	কঠিন	তরল
২. পাতলা স্তর ক্রোমাটোগ্রাফি (TLC) (thin layer chromatography)	:	কঠিন	তরল
(খ) **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

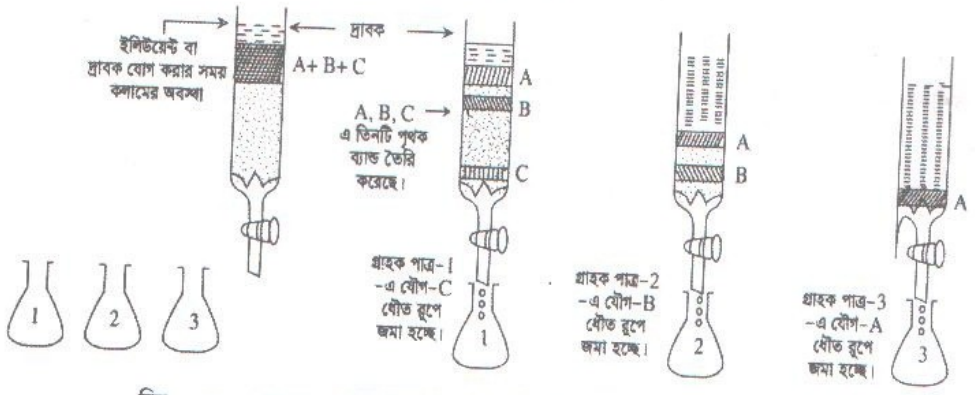
(ক) মূলনীতি : কলাম ক্রোমাটোগ্রাফি পদ্ধতিতে 'স্থির-সাম্যাবস্থা'-এর কলামরূপে সূক্ষ্ম কণার চকের গুঁড়া বা অ্যালুমিনা (Al_2O_3) গুঁড়াকে লম্বা মোটা কাচনলে ভর্তি করা হয়। বিশ্লেষণযোগ্য রঙিন জৈব যৌগের মিশ্রণটিকে ঐ কলামে যোগ করা হয়। শেষে 'চলনশীল সাম্যাবস্থা' রূপে উপযুক্ত দ্রাবকে (যেমন, অ্যালকোহল, পেন্টেন, ইথার ইত্যাদিতে) দ্রবীভূত করে মিশ্রণের উপাদানকে পৃথক করা হয়।

কলাম তৈরির 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 দ্রাবক কলামের মধ্য দিয়ে চালনা করলে বিভিন্ন 'ব্যান্ড' ঐ দ্রাবকে বিভিন্ন 'ধৌত'রূপে বের হয়ে আসে এবং পৃথক পৃথকভাবে সংগ্রহ করা হয়। এক্ষেত্রে সবচেয়ে কম শোষিত অপোলার দ্রবটি প্রথমে ও অধিক শোষিত পোলার দ্রব সব শেষে 'ধৌত'রূপে আসে। ধৌতরূপে আসা দ্রবণকে পাতন করে এর দ্রবসমূহকে পৃথক করা হয়। নির্দিষ্ট দ্রাবক ব্যবহার করে "ব্যান্ডযুক্ত দ্রব" গুলোকে ধুয়ে পৃথক করাকে **ইলিউশন** (elution) বলে এবং 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) এক টুকরা 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 কর। এর মধ্যে অল্প অ্যালকোহল যোগ করে আবারও পিষে নাও। এবার ঐ পাতার পেস্টকে পাতলা কাপড় টুকরায় চেপে নির্যাসকে বিকারে সংগ্রহ কর। এর মধ্যে অল্প চকের গুঁড়া শোষকরূপে যোগ কর।



চিত্র ২.৩৮ : কলাম ক্রোমাটোগ্রাফি দ্বারা উদ্ভিদের রঙিন উপাদান পৃথকীকরণ।

(২) কলাম তৈরি : একটি ব্যুরেটে গ্লাস উল বা ফিল্টার কাগজ টুকরাকে গ্লাস রড দিয়ে ঠেলে ছিদ্রের মুখ বন্ধ কর। এবার বিকারে চকের গুঁড়া নিয়ে ফানেলের মুখে ব্যুরেটে যোগ করে 3 – 4 cm নিচের অংশে পূর্ণ কর। শেষে চকের গুঁড়ায় অ্যালকোহল মিশিয়ে তৈরি কাই বা স্লারি (Slurry) ঢেলে ঐ কলামের উচ্চতা 5 – 6 cm কর। স্ট্যান্ডের সাথে ব্যুরেট কলামটিকে আটকিয়ে নাও।

(৩) এবার নমুনা 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 কর।

(৪) মনে কর মিশ্রণটিতে A, B, C তিনটি উপাদান আছে। এদের মধ্যে A হলো অধিক পোলার, B হলো মাঝারি পোলার, C হলো সবচেয়ে কম পোলার। অধিক পোলার A যৌগটি চক পাউডারের কলামে বেশি শোষিত হবে এবং C যৌগ কম শোষিত হবে। তাই হালকাভাবে শোষিত C যৌগ দ্রাবক ইথানলে সহজে দ্রবীভূত হয়ে গ্রাহক পাত্র-1 এ ধৌত (washing) রূপে জমা হবে। এরপর আসবে যৌগ B ও সর্বশেষে A-যৌগ ধৌতরূপে গ্রাহক পাত্র–2 ও গ্রাহক পাত্র–3-এ সংগ্রহ করা হবে। কলাম থেকে দ্রাবক বা ইলিউয়েন্ট দ্বারা পৃথক হওয়া ব্যান্ডগুলোকে ধৌতরূপে সংগ্রহ করার পদ্ধতিকে ইলিউশন (elusion) বলা হয়।

কলাম ক্রোমাটোগ্রাফির প্রয়োগ বা ব্যবহার : উদ্ভিদের নির্যাস থেকে উপাদানগুলো, ভিটামিন, অ্যামাইনো এসিড, এস্টার ইত্যাদির পৃথকীকরণ ও বিশোধন এ পদ্ধতিতে করা হয়।

২.১৯.২ পেপার ক্রোমাটোগ্রাফি
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 **'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–

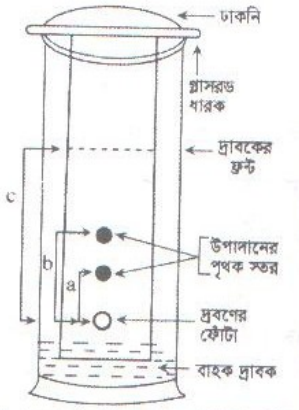
$$R_f = \frac{\text{উপাদান যৌগ কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব}}{\text{গতিশীল দ্রাবক কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব}}$$

(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 টান।

(২) নমুনা মিশ্রণে প্রয়োজনে 2-4 ফোঁটা দ্রাবক যোগ করে দ্রবণ তৈরি কর। চিত্র ২.৩৪ মতে ফিল্টার কাগজটিকে গ্লাস রড ধারকে ক্লিপযুক্ত কর। এখন ক্যাপিলারি টিউব বা ড্রপারের সাহায্যে নমুনা পদার্থ নিয়ে ফিল্টার কাগজে বেইজ লাইন বরাবর নমুনা পদার্থের দ্রবণের ফোঁটা দাও। এখন হেয়ার ড্রাইয়ার-এর গরম বাতাসে নমুনার ফোঁটা শুকিয়ে নাও।



চিত্র ২.৩৯ : পেপার ক্রোমাটোগ্রাফি।

(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 কর 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 কর।

(৪) দ্রাবকটি ওপরের ফ্রন্ট লাইনে পৌঁছলে ফিল্টার কাগজটি বের করে নাও। এখন উপাদান যৌগের ফ্রন্টগুলো পেন্সিল দিয়ে দাগ দাও। এখন দ্রাবকটি শুকিয়ে নাও। উল্লেখ্য বর্ণযুক্ত উপাদান হলে, এদের অবস্থান সুস্পষ্ট হয়। কিন্তু বর্ণহীন উপাদান হলে এদের ক্রোমাটোগ্রাফকে উপযুক্ত বিকারক দ্রবণ স্প্রে করে এদেরকে বর্ণযুক্ত যৌগে পরিণত করা হয়। এখন প্রত্যেক যৌগের R_f মান গণনা কর।

$$R_f = \frac{\text{উপাদান কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব}}{\text{দ্রাবক কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব}}$$

১ম উপাদান (X) এর $R_f = \frac{a}{c}$; ২য় উপাদান (Y) এর $R_f = \frac{b}{c}$

MCQ-2.13 : পেপার ক্রোমাটোগ্রাফিতে R_f এর কোন্ মানটি যুক্তিযুক্ত?
(ক) 0.15 (খ) 1.0 (গ) 1.5 (ঘ) 2.0

R_f এর বৈশিষ্ট্য : (ক) R_f হলো দুটি দূরত্বের অনুপাত; তাই এর কোনো একক নেই।

(খ) দ্রাবকের চেয়ে উপাদানের স্পটগুলো ধীরে চলে ফলে R_f এর মান 1 থেকে কম হবে।

(গ) R_f এর মান থেকে উপাদান শনাক্ত করা যায়।

(ঘ) দ্রাবকের প্রকৃতির ওপর R_f এর মান নির্ভরশীল। দ্রাবক পরিবর্তন করলে R_f এর মানের পরিবর্তন ঘটে।

এ পদ্ধতিতে অ্যামাইনো এসিড, লিপিডসমূহ, স্টেরোয়েডসমূহ, হরমোনসমূহ, নিউক্লিয়োসাইড, নিউক্লিয়োটাইডসমূহ পৃথকীকরণ ও শনাক্তকরণ করা হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ :

প্রশ্ন-২.২৮ : দ্রাবক নিষ্কাশন কী? [সি. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-২.২৯ : ক্রোমাটোগ্রাফি কী? [রা. বো. ২০১৫; ব. বো. ২০১৫]

প্রশ্ন-২.৩০ : R_f বলতে কী বোঝ? [দি. বো. ২০১৫]

ব্যবহারিক (Practical)

ল্যাবরেটরিতে শিক্ষার্থীর কাজ : শ্রেণি শিক্ষকের সহায়তায় চারজনের গ্রুপ করে নিম্নোক্ত মূলনীতি সহকারে উপরোক্ত ধাপ অনুসরণ করে নিচের চিত্রমতে চক ক্রোমাটোগ্রাফির সাহায্যে মিশ্রণ থেকে যৌগ পৃথক কর।

পরীক্ষা নং-১০

তারিখ : .....

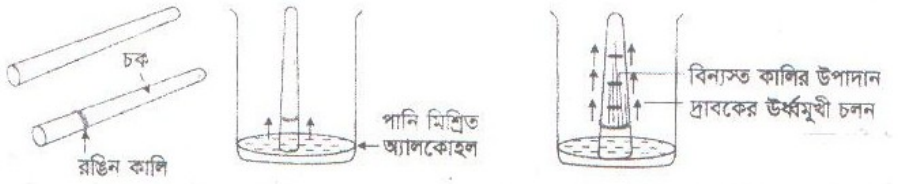
পরীক্ষার সময় : ১ পিরিয়ড

পরীক্ষার নাম : চক ক্রোমাটোগ্রাফির সাহায্যে মিশ্রণ থেকে যৌগ পৃথক করা

(ক) চক ক্রোমাটোগ্রাফির মূলনীতি : চক ক্রোমাটোগ্রাফি হলো একটি কলাম ক্রোমাটোগ্রাফি। কঠিন বস্তু চক ($CaCO_3$) 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 স্টিক্‌টি বর্ণীল 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 ২.৪০ : চক ক্রোমাটোগ্রাফির সাহায্যে কালির উপাদান পৃথকীকরণ।

(ঘ) কাজের ধারা :

(১) চিত্র মতে, চক স্টিকের মোটা অংশের তলদেশ একটু ঘষে সমান করে নাও যেন ছোট বিকারে রাখার সময় কাত হয়ে না পড়ে।

(২) চক-স্টিকের মোটা অংশের প্রান্ত থেকে 1.5 cm ওপরে পেন্সিল দিয়ে চারদিক ঘুরিয়ে 'গোল-ভিত্তি রেখা' টান।

(৩) এবার টুথপিক বা সরু চিকন কাঠি দিয়ে চকের গোল ভিত্তি রেখা বরাবর কলমের কালির ফোঁটা গোল আকারে দাও। [অথবা মার্কার কলমের সরু মুখে গোল করে কালি রেখা টান] এবং শুকিয়ে নাও। [মার্কার কালি পানিতে অদ্রবণীয়, অ্যালকোহলে দ্রবণীয়।]

(৪) এবার ছোট বিকারে 25% ইথানল বা মিথানল 1 cm উচ্চতা পর্যন্ত ঢাল। এখন নমুনা কালি যুক্ত চক-স্টিক্‌টি বিকারটিতে খাড়া করে রাখ। দেখে নাও কালির স্পট দ্রাবক বা ইলিউয়েন্ট (eluent) এর ওপরে থাকছে কীনা, তা না হলে দ্রাবকের পরিমাণ কমিয়ে নাও।

(৫) চক-স্টিক না নড়ে মতো, বিকারটির ওপর একটি কাগজের টুকরা দিয়ে ঢেকে দাও। এতে দ্রাবকের বাষ্পীভবন রোধ হবে।

(৬) লক্ষ কর, কালির উপাদান চক্-স্টিকের ওপর দিকে ধীরে ধীরে ছড়িয়ে পড়ছে।

(৭) এবার 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 কর।

$$R_f \text{ মান} = \frac{\text{প্রত্যেক উপাদান কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব}}{\text{দ্রাবক কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব}} = \frac{a\ (cm)}{c\ (cm)}$$

(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 রাখ : (i) R_f হলো দুটি দূরত্বের অনুপাত; তাই R_f এর কোনো একক নেই।
(ii) R_f মান স্থির সাম্যাবস্থা ও চলনশীল সাম্যাবস্থা (eluent) এর ওপর নির্ভরশীল।
(iii) R_f এর মান 0 (শূন্য) ও 1 এর মধ্যে থাকে, $R_f \leq 1$ হয়।
(iv) R_f কে retention factor ও বলা হয়।

২.২০ পদার্থের গুণগত বিশ্লেষণের গুরুত্ব
Qualitative Analysis of a substance & its Importance

'গুণগত রসায়ন' অধ্যায়ের আলোচনা থেকে আমরা জেনেছি—

(১) পরমাণুর গঠন উপাদান প্রোটন, নিউট্রন ও ইলেকট্রন এর পরীক্ষার মাধ্যমে শনাক্তকরণ এবং বিন্যাস প্রকরণ।

(২) তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালির গঠন প্রকরণ, মৌলের পরমাণুর বৈশিষ্ট্যপূর্ণ বর্ণালি সৃষ্টি এবং মৌল শনাক্তকরণে বর্ণালির ভূমিকা।

(৩) UV রশ্মি দ্বারা জাল টাকা ও পাসপোর্ট শনাক্তকরণ, চিকিৎসা ক্ষেত্রে IR রশ্মির ব্যবহারের সুফল এবং রোগ নির্ণয়ে MRI পরীক্ষার ভূমিকা।

(৪) রসায়ন পরীক্ষাগারে দ্রবণে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণে আয়নিক যৌগের দ্রাব্যতার গুণফল, আয়নিক গুণফল ও দ্রবণে pH এর ভূমিকা।

(৫) যৌগের পৃথকীকরণে ও বিশুদ্ধকরণে কেলাসন, 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 জৈব যৌগ কী কী উপাদান মৌল বা যৌগমূলক দ্বারা গঠিত এদের উপস্থিতি এবং পরিমাণ নির্ণয়ে যে পদ্ধতিগত রাসায়নিক প্রক্রিয়া অনুসরণ করা হয় তাকে **রাসায়নিক বিশ্লেষণ** (Chemical analysis) বলা হয়। রাসায়নিক বিশ্লেষণ হলো **ব্যবহারিক রসায়ন** (Practical Chemistry)-এর অন্তর্ভুক্ত। রাসায়নিক বিশ্লেষণ প্রক্রিয়া দু'শ্রেণিভুক্ত। যেমন-

(১) **গুণগত বিশ্লেষণ** (Qualitative analysis) ও

(২) **মাত্রিক বিশ্লেষণ** (Quantitative analysis).

যে বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় কোনো রাসায়নিক পদার্থের উপাদান মৌল, মূলক এবং মিশ্র পদার্থের উপাদান যৌগের উপস্থিতি প্রয়োজনীয় বিক্রিয়ক বা বিকারক (reagent) এর সাথে বিক্রিয়ায় বিশেষ বর্ণযুক্ত যৌগের দ্রবণ বা অধঃক্ষেপ সৃষ্টির মাধ্যমে শনাক্ত করা হয়, তাকে **গুণগত বিশ্লেষণ** বা **আঙ্গিক বিশ্লেষণ** বলা হয়। যেমন শিখা পরীক্ষা হলো একটি আঙ্গিক বা গুণগত বিশ্লেষণ। দ্রবণে ধনাত্মক আয়ন বা ক্যাটায়ন এবং ঋণাত্মক আয়ন বা অ্যানায়ন শনাক্তকরণ হলো গুণগত বিশ্লেষণ। গুণগত বিশ্লেষণের পরে ঐ নমুনায় ঐ সব মৌল, মূলক বা যৌগ কী পরিমাণে আছে, তা নির্ণয়ের পদ্ধতিকে **মাত্রিক বিশ্লেষণ** বলা হয়। ক্রোমাটোগ্রাফি হলো গুণগত বিশ্লেষণ ও মাত্রিক বিশ্লেষণ উভয় শ্রেণিভুক্ত। বাস্তবক্ষেত্রে গুণগত বিশ্লেষণ ও মাত্রিক বিশ্লেষণ উভয়ের গুরুত্ব অপরিসীম। নিম্নোক্ত ক্ষেত্রে তা আলোচনা করা হলো :

(১) কৃষি ক্ষেত্রে : বাংলাদেশ হলো একটি কৃষিপ্রধান দেশ। বিভিন্ন অঞ্চলের কৃষি জমির মাটির নমুনার গুণগত বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় লবণ শনাক্তকরণ এবং শেষে মাত্রিক বিশ্লেষণ দ্বারা উপস্থিত লবণের পরিমাণ বের করা হয়। এরপর কৃষিবিদগণ ঐ জমির উপযোগী ফসল চাষের ও সার ব্যবহারের জন্য উপদেশ দেন।

(২) খাদ্যদ্রব্য সংরক্ষণ ক্ষেত্রে : পচনশীল খাদ্যবস্তু সংরক্ষণে অনুমোদিত প্রিজারভেটিভস্ ছাড়াও অবিবেচক অসাধু ব্যবসায়ীরা খাদ্যবস্তুর পচনরোধক ফরমালিন ব্যবহার করে। এছাড়া কাঁচাফল পাকা করতে কার্বাইড ব্যবহার করে। এসব রাসায়নিক পদার্থ দেহের জন্য ক্ষতিকর। তাই এ সব ক্ষতিকর রাসায়নিক পদার্থ শনাক্তকরণে সহজ যান্ত্রিক পদ্ধতি কিট (Kit) ব্যবহৃত হয়। অনুরূপভাবে নলকূপের পানিতে আর্সেনিক শনাক্তকরণে আর্সেনিক কিট (Kit) ব্যবহৃত হয়। খাদ্যবস্তুতে বিষাক্ত ধাতু যেমন Pb, Cr, Cd, As ইত্যাদির উপস্থিতি শনাক্তকরণ গুণগত বিশ্লেষণের অন্তর্ভুক্ত।

নলকূপের পানিতে অধিক পরিমাণ Fe^{2+} আয়ন থাকলে তখন ঐ পানি বাসাবাড়ি ও কারখানায় সমস্যা সৃষ্টি করে। তাই আয়রন রিমুভ্যাল প্ল্যান্ট ব্যবহৃত হয়। এক্ষেত্রেও গুণগত বিশ্লেষণ প্রযোজ্য।

(৩) চিকিৎসা ক্ষেত্রে : আধুনিক চিকিৎসায় দেহে রোগ নির্ণয় ও এর চিকিৎসা দেহের বিভিন্ন তরল উপাদানের পরীক্ষানির্ভর প্যাথলজি রিপোর্টের ওপর বিশেষত নির্ভরশীল। যেমন মলমূত্র ও রক্তে জীবাণুর উপস্থিতি শনাক্তকরণ, উপাদান কোষের পরিবর্তন ও এদের প্রতিচ্ছবি গ্রহণ ইত্যাদি গুণগত বিশ্লেষণ দ্বারা করা হয়। এছাড়া ব্যবহৃত ওষুধ বা ড্রাগের বিশুদ্ধতা পরীক্ষায়ও গুণগত বিশ্লেষণ প্রযোজ্য।

(৪) শিল্প ক্ষেত্রে : শিল্পে উৎপাদিত পণ্যের গুণাগুণ ও মান জানার জন্য ঐ পণ্যের গুণগত বিশ্লেষণ দ্বারা সঠিক মান নির্ধারণ করে বাজারজাত করা হয়। এছাড়া শিল্প বর্জ্য দ্বারা পরিবেশ দূষণ রোধ করতে শিল্প বর্জ্যে বিষাক্ত পদার্থের শনাক্তকরণ এবং এর প্রতিকার করতে শিল্প ক্ষেত্রে কম্বাইন্ড ইফ্লুয়েন্ট ট্রিট্‌ম্যান্ট প্ল্যান্ট (CETP) প্রতিষ্ঠায় গুণগত বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ার গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রয়েছে।

অধ্যায়ের সার-সংক্ষেপ (Recapitulation)

- **তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণ :** সব ধরনের দৃশ্য ও অদৃশ্য আলোর উৎপত্তি বিদ্যুৎ ও চুম্বক শক্তির বিকিরণে ঘটে। দৃশ্যমান আলো হলো বিদ্যুৎ চুম্বকীয় বিকিরণ রশ্মির সামান্য অংশ মাত্র। এ সব তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণকে একত্রে তড়িৎ চুম্বকীয় স্পেকট্রাম (spectrum) বা বর্ণালি বলা হয়।
- **ফ্রিক্যুয়েন্সি ও হার্টজ (Hz) :** প্রতি একক সময়ে যেমন এক সেকেন্ডে কোনো তরঙ্গ রশ্মি দ্বারা অতিক্রান্ত দূরত্বের মধ্যে যতটি পূর্ণ তরঙ্গ সৃষ্টি করে, ঐ তরঙ্গ সংখ্যাকে ফ্রিক্যুয়েন্সি (ϑ) 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 শক্তির এ একক পরিমাণকে ফোটন বা আলোর এক কোয়ান্টাম শক্তি বলে।
- **রেখা বর্ণালি (Line Spectrum) :** উদ্দীপিত পরমাণু থেকে নির্গত রশ্মি দ্বারা সৃষ্ট বর্ণালিতে সূর্যালোকের বর্ণালির মত সব বর্ণের আলো থাকে না; কয়েকটি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর সূক্ষ্ম রেখা দেখা যায়। তাই এরূপ রেখার সারিকে পারমাণবিক রেখা বর্ণালি বলে।

* **কোয়ান্টাম সংখ্যা :** ইলেকট্রনের শক্তি স্তরের আকার, আকৃতি ও কক্ষ পথের ত্রিমাত্রিক দিক বিন্যাস নির্দেশক এবং ইলেকট্রনের অক্ষ বরাবর ঘূর্ণন প্রকাশক রাশিকে একত্রে কোয়ান্টাম সংখ্যা বলা হয়।
* **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 অবস্থানের সম্ভাবনা প্রায় শূন্য, সে এলাকাকে নোড (node) এলাকা বলা হয়।
* **পাউলির বর্জন নীতি :** একটি পরমাণুতে দুটি ইলেকট্রনের চারটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান কখনো একইরূপ হতে পারে না। অন্ততপক্ষে একটি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান ভিন্ন হতে হবে।
* **আউফবাউ নীতি (Aufbau Principle) :** পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাসের সময় ইলেকট্রনসমূহ বিভিন্ন অরবিটালে তাদের শক্তির নিম্নস্তর থেকে উচ্চক্রম অনুসারে প্রবেশ করে।
* **হুন্ডের নিয়ম (Hund's rule) :** একই শক্তিসম্পন্ন বিভিন্ন অরবিটালে ইলেকট্রনগুলো সর্বাধিক সংখ্যায় বিজোড় অবস্থায় থাকতে পারে। এই সব অযুগ্ম ইলেকট্রনের স্পিন একইমুখী হবে।
* **IR. রশ্মি :** IR রশ্মি তিন শ্রেণিতে বিভক্ত; যেমন (i) near– IR, (ii) middle– IR ও (iii) Far – IR রশ্মি। Far – IR রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 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 সেন্সররূপে 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 চুম্বক ক্ষেত্র ও রেডিও তরঙ্গ শক্তির প্রভাবে মানব দেহের MRI পরমাণু (^1H) 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 ঘনমাত্রার গুণফল তার দ্রাব্যতা-গুণফলের মান থেকে বেশি হলেই ঐ দ্রব অধঃক্ষেপ সৃষ্টি করে।
* **সম-আয়ন প্রভাব :** সম-আয়নটি দুর্বল তড়িৎ বিশ্লেষ্য পদার্থটির বিয়োজন-মাত্রা হ্রাস করে।
* **কেলাসন :** উচ্চতাপমাত্রায় কোনো দ্রবের সম্পৃক্ত দ্রবণকে শীতল করলে ঐ দ্রবটির দ্রাব্যতা হ্রাস পায়। তখন আয়নিক যৌগের আয়নিক গুণফল বেশি থাকায় কেলাস-আকারে দ্রবণ থেকে আলাদা হয়।
* **উর্ধ্বপাতন :** যে সব কঠিন পদার্থের গলনাঙ্কের চেয়ে কম তাপমাত্রায় এদের বাষ্পচাপ বায়ুমণ্ডল চাপের চেয়ে বেশি হয় এবং ঐ বাষ্পকে শীতল করলে কঠিন পদার্থ পাওয়া যায়। এ প্রক্রিয়াকে উর্ধ্বপাতন বলে।
* **পাতন :** তাপ প্রয়োগে তরল পদার্থকে বাষ্পে রূপান্তর এবং শেষে শীতল করে পুনরায় একই তরলে রূপান্তর করাকে পাতন বলে। এক্ষেত্রে বাষ্পীভবন ও পরে ঘনীভবন প্রক্রিয়া ঘটে।
* **স্টিম পাতন :** যে সব কঠিন ও তরল জৈব যৌগ পানিতে অদ্রবণীয়; কিন্তু স্টিমে উদ্বায়ী হয়; যে সব যৌগকে স্টিম প্রবাহের মাধ্যমে পাতিত করার প্রক্রিয়াকে স্টিম পাতন বলে।

দ্রাবক নিষ্কাশন : উদ্ভিদের ফুলের পাপড়ি, পাতা, মূল ও বীজের মধ্যে থাকা জৈব যৌগকে জৈব দ্রাবকে শোষণ করে পৃথক করাকে দ্রাবক নিষ্কাশন বলে।

ক্রোমাটোগ্রাফি : উদ্ভিদের রঙিন বস্তুকে একটি স্থির মাধ্যমে শোষণ করে অপর সচল মাধ্যমে দ্রবীভূত হওয়ার প্রবণতা বা বণ্টন সহগভিত্তিক পৃথক করার প্রক্রিয়াকে ক্রোমাটোগ্রাফি বলা হয়।

অনুশীলনী-২

দ্বিতীয় অধ্যায় : গুণগত রসায়ন

(ক) জ্ঞানস্তর ভিত্তিক প্রশ্নাবলি (এক নজরে) :

(১) রাদারফোর্ড পরমাণু মডেল :

১। আলফা কণা কী? [সি. বো. ২০১৬; রা. বো. ২০১৬]
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 মডেল :

১। বোর পরমাণু মডেলের ভিত্তি কী?
২। পরমাণুর স্থির শক্তিস্তর বা অরবিট কী?
৩। পরমাণুতে ইলেকট্রনের শক্তিস্তর ও কৌণিক ভরবেগের সম্পর্ক কী?
৪। হাইজেন বার্গের অনিশ্চয়তা নীতি কী?
৫। জিম্যান প্রভাব কী?
৬। স্টার্ক প্রভাব কী?
৭। বোর ব্যাসার্ধ কী?

(৩) কোয়ান্টাম বলবিদ্যা পরমাণু মডেল :

১। কোয়ান্টাম সংখ্যা কী? [ব. বো. ২০১৬; য. বো. ২০১৬]
২। ইলেকট্রনের কক্ষপথের ব্যাসার্ধ প্রকাশক সমীকরণটি লেখ।
৩। n- তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তির মান প্রকাশক সমীকরণটি লেখ।
৪। n- তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের গতি বেগের সমীকরণটি লেখ।
৫। অরবিট কী? [য. বো. ২০১৫]
৬। অরবিটাল কাকে বলে? [সি. বো. ২০১৬]
৭। তিনটি p-অরবিটাল অঙ্কন করে দেখাও।
৮। নোড কী?
৯। তিনটি p-অরবিটালের মধ্যে কৌণিক অবস্থান কত ডিগ্রি?
১০। d- অরবিটাল সংখ্যা কয়টি সম্ভব?
১১। ৫টি d অরবিটাল অঙ্কন করে দেখাও।
১২। আইসোটোপ কী? [রা. বো. ২০১৫]

* (৪) পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস :

১। পরমাণুর ইলেকট্রন বিন্যাস কী?
২। ইলেকট্রন বিন্যাসের নিয়ম গুলো কী কী?
৩। আউফবাউ নীতি কী?
৪। পাউলির বর্জন নীতি কী? [চ. বো. ২০১৫; রা. বো. ২০১৫]
৫। হুন্ডের নিয়ম কী?
৬। কোন্ অরবিটালের জন্য হুন্ডের নিয়ম প্রযোজ্য নয়?
৭। ডিজেনারেট অরবিটাল বলতে কোন্ অরবিটালকে বোঝায়?
৮। ডিজেনারেট অরবিটালসমূহে কখন ইলেকট্রন বিন্যাস সুস্থিত হয়?

* (৫) তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালি :

১। তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালী বা বিকিরণ রশ্মি কী?
২। আলো তরঙ্গের ফ্রিক্যুয়েন্সি কী?
৩। হার্টজ কী?
৪। আলো-তরঙ্গের 'তরঙ্গ–সংখ্যা' কী?
৫। ফোটন কী?
৬। দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিসর কত?
৭। অবলোহিত বা IR–রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত?
৮। মাইক্রোওয়েভস অঞ্চলের পরিসর কত?
৯। অতিবেগুনি বা UV-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত?
১০। রঞ্জন রশ্মি বা X–ray এ পরিসর কত?
১১। পারমাণবিক রেখা বর্ণালী কী?
১২। রেখা বর্ণালীর 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। ব্যাংকসমূহে আসল কারেন্সি নোট শনাক্তকরণে ব্যবহৃত মেসিনের নাম কী?
১৯। near–IR এর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিসর কত?
২০। far–IR এর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিসর কত?
২১। মানবদেহের বিকিরিত IR রশ্মির পরিসর কত?
২২। IR-থার্মোগ্রাফ কী?
২৩। মানব শরীরের IR থার্মোগ্রাফের ভূমিকা কী?
২৪। DOT পদ্ধতি কী?

২৫। MRI এর পুরো নাম কী?

২৬। NMR-পরমাণু বা MRI পরমাণু কী?

* (৬) ধাতব আয়ন বা ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণ :

১। শিখা পরীক্ষায় কপার আয়ন ও ক্যালসিয়াম আয়ন কী রূপ বর্ণ সৃষ্টি করে? [রা. বো. ২০১৫]

২। যৌগের দ্রাব্যতা কী?

৩। দ্রাব্যতার গুণফল কী? [ঢা. বো. ২০১৬]

৪। সম-আয়ন প্রভাব কী? [রা. বো. ২০১৬]

৫। Like dissolves like'-এ নীতিটি কী? [সি. বো. ২০১৬]

৬। গ্রুপ-1এর মৌলের হ্যালাইডসমূহ জলীয় দ্রবণে কীভাবে থাকে?-ব্যাখ্যা কর।

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? [কু. বো. ২০১৬]

১২। বিকারক কী?

* (৭) পৃথকীকরণ পদ্ধতিসমূহ :

১। সম্পৃক্ত দ্রবণ কী?

২। অতিপৃক্ত দ্রবণ কী?

৩। কেলাসন কী?

৪। মাতৃদ্রবণ কী?

৫। পাতন কী?

৬। ঊর্ধ্বপাতন কী?

৭। বাষ্প পাতন কী? [সি. বো. ২০১৬]

৮। দ্রাবক নিষ্কাশন কী? [চ. বো. ২০১৬, রা. বো. ২০১৬, ব. বো. ২০১৬]

৯। ক্রোমাটোগ্রাফি কী?

১০। বণ্টন সহগ কী?

১১। ইলিউশন কী?

১২। ইলিউয়েন্ট কী?

১৩। R_f কী?

১৪। গুণগত বিশ্লেষণ কী?

(খ) অনুধাবন স্তরভিত্তিক প্রশ্নাবলি (এক নজরে) :

* (১) রাদারফোর্ড পরমাণু মডেল :

১। α–কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষায় ZnS ব্যবহারের কারণ ব্যাখ্যা কর।

২। পরমাণুর আকার ও নিউক্লিয়াসের আকারের মধ্যে কীরূপ সম্পর্ক রয়েছে তা রাদারফোর্ডের সিদ্ধান্ত মতে ব্যাখ্যা কর।

* (২) বোর পরমাণু মডেল :

১। পারমাণবিক বর্ণালী কীরূপে সৃষ্টি হয়, তা ব্যাখ্যা কর।

২। ইলেকট্রন কীভাবে এক শক্তিস্তর থেকে অন্য শক্তিস্তরে গমন করে?

৩। বোর পরমাণু মডেলের সাফল্যসমূহ ব্যাখ্যা কর।

৪। রাদারফোর্ড পরমাণু মডেল ও বোর পরমাণু মডেলের মধ্যে মূল পার্থক্য কী?

* (৩) কোয়ান্টাম বলবিদ্যা পরমাণু মডেল ও ইলেকট্রন বিন্যাস :

১। কোয়ান্টাম বলবিদ্যা পরমাণু মডেলের মূল ভিত্তি কী?

২। প্রধান কোয়ান্টাম সংখ্যার বৈশিষ্ট্য ও প্রয়োজনীয়তা ব্যাখ্যা কর।

৩। সহকারী কোয়ান্টাম সংখ্যার বৈশিষ্ট্য ও প্রয়োজনীয়তা ব্যাখ্যা কর।

৪। চুম্বকীয় কোয়ান্টাম সংখ্যার বৈশিষ্ট্য ও প্রয়োজনীয়তা ব্যাখ্যা কর।

৫। স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যার বৈশিষ্ট্য ও প্রয়োজনীয়তা ব্যাখ্যা কর।

৬। l ও m এর মান অনুসারে তৃতীয় ও চতুর্থ শক্তিস্তরে মোট অরবিটাল সংখ্যা গণনা কর।

৭। অরবিট ও অরবিটালের মধ্যে পার্থক্য কী?

৮। কোনো অরবিটালের কোয়ান্টাম সংখ্যা $n = 3, l = 2, m = 1$ হলে অরবিটালটির শেল ও সাবশেল কী তা শনাক্ত কর।

৯। দুটি অরবিটালের মধ্যে কোনটির শক্তি কম তা কীরূপে নির্ণয় করা যায়; উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।

১০। K(19) এর সবশেষ ইলেকট্রনটি 3d অরবিটালে না গিয়ে 4s অরবিটালে প্রবেশ করে কেন ব্যাখ্যা কর।

১১। আউফবাউ নীতি কী? উদাহরণসহ তা ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৫]

১২। পাউলির বর্জন নীতি মূলত স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যার ওপর নির্ভরশীল; তা ব্যাখ্যা কর।

১৩। হুন্ডের নিয়ম কী? উদাহরণসহ তা ব্যাখ্যা কর।

১৪। Fe^{2+} ও Fe^{3+} আয়নের ইলেকট্রন বিন্যাসের মধ্যে কোনটিতে অধিক স্থায়ী; তা ব্যাখ্যা কর।

১৫। 2d অরবিটাল সম্ভব নয় কেন?—ব্যাখ্যা কর।

১৬। 3d ও 4p অরবিটালদ্বয়ের মধ্যে কোনটিতে ইলেকট্রন আগে প্রবেশ করে তা ব্যাখ্যা কর। [ব. বো. ২০১৬]

১৭। Cr(24) এর ইলেকট্রন বিন্যাস সাধারণ নিয়মের ব্যতিক্রম কেন? [ঢা. বো. ২০১৬] [চ. বো. ২০১৫]

*(৪) তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালী:

১। তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালী বা বিকিরণ রশ্মির বিভিন্ন অঞ্চলের মধ্যে তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও ফ্রিক্যুয়েন্সির কীরূপ সম্পর্ক রয়েছে; তা ব্যাখ্যা কর।

২। ফোটনের শক্তি প্রকাশক প্লাঙ্কের সমীকরণটি প্রতিষ্ঠা কর।

৩। রেখা বর্ণালীর সাহায্যে মৌল শনাক্তকরণ কীরূপে সম্ভব, তা ব্যাখ্যা কর।

৪। H-পরমাণুতে একটি মাত্র ইলেকট্রন থাকা সত্ত্বেও এর পারমাণবিক বর্ণালীতে অনেক রেখা সৃষ্টি হয় কেন, তা ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৬]

৫। জাল নোট বা জাল পাসপোর্ট শনাক্তকরণে UV রশ্মির কার্যকারিতা ব্যাখ্যা কর। [ঢা. বো. ২০১৬]

৬। অনুপ্রভা বা প্রতিপ্রভা কীরূপে সৃষ্টি হয়? [ঢা. বো. ২০১৫]

৭। চিকিৎসাক্ষেত্রে near–IR ও far–IR এর ব্যবহার আলোচনা কর।

৮। MRI পরীক্ষার মূলনীতি ব্যাখ্যা কর।

* (৫) ধাতব আয়ন বা ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শনাক্তকরণ :

১। শিখা পরীক্ষায় গাঢ় HCl ব্যবহারের ভূমিকা ব্যাখ্যা কর। [চ. বো. ২০১৬; ঢা. বো. ২০১৫]

২। (ক) 25°C-এ $CaCO_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল 8.7×10^{-9} বলতে কী বোঝ? [দি. বো. ২০১৬]

(খ) 25°C-এ $(M(OH)_3$ এর দ্রাব্যতা গুণফল $2.5 \times 10–39$ বলতে কী বুঝ? [সি. বো. ২০১৬]

৩। দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতার গুণফলের মধ্যে সম্পর্ক উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।

৪। কোনো লবণের দ্রবণে লবণটির অধঃক্ষেপণ লবণটির দ্রাব্যতার গুণফলের ওপরে নির্ভর করে;- তা ব্যাখ্যা কর।

৫। কোনো লবণের দ্রাব্যতার ওপর কোন্ নিয়ামক বা factor এর ভূমিকা আছে; তা ব্যাখ্যা কর।

৬। 'LIke dissolves like'-এ নীতির আলোকে পানিতে NaCl- এর দ্রবণীয়তা ব্যাখ্যা কর। [সি. বো. ২০১৫]

৭। বিশুদ্ধ NaCl- এর কেলাসন প্রক্রিয়ায় গাঢ় HCl যোগ করা হয় কেন? [ঢা. বো. ২০১৬]

৮। Cu^{2+} আয়নের দ্রবণে NH_4OH দ্রবণ যোগ করলে কী পরিবর্তন লক্ষ্য করবে; তা সমীকরণসহ ব্যাখ্যা কর।

৯। দ্রবণে Al^{+} আয়ন শনাক্তকরণ সমীকরণসহ লেখ। [কু. বো. ২০১৬]

১০। $K_4[Fe(CN_6)$ দ্রবণ দ্বারা কোন্ কোন্ ক্যাটায়নের নিশ্চিতকরণ করা যায়; সমীকরণসহ তা ব্যাখ্যা কর।

১১। দ্রবণে Na^{+} আয়ন শনাক্তকরণ সমীকরণসহ লেখ।

১২। NH_4^{+} আয়নের দ্রবণে নেসলার দ্রবণের বিক্রিয়া সমীকরণসহ লেখ।

১৩। দ্রবণে NH_4^{+} আয়নকে কী রূপে শনাক্ত করা যায়?

১৪। $Ba(NO_3)_2$ দ্রবণ ব্যবহার করে দুটি অ্যানায়ন শনাক্তকরণ সম্ভব; তা বিক্রিয়া সহ বোঝাও।

১৫। Fe^{2+} আয়ন ও Fe^{3+} আয়ন এর পার্থক্য সূচক পরীক্ষা সমীকরণসহ লেখ। [য. বো. ২০১৬]

* (৬) পৃথকীকরণ পদ্ধতি সমূহ :

১। দ্রাবক নিষ্কাশনের মূলনীতি ব্যাখ্যা কর।

২। ক্রোমাটোগ্রাফির মূলনীতি ব্যাখ্যা কর। [দি. বো. ২০১৬]

৩। R_f এর মান 1 এর চেয়ে কম হয় কেন ব্যাখ্যা কর। [সি. বো. ২০১৫]

৪। গুণগত বিশ্লেষণ ও মাত্রিক বিশ্লেষণের মধ্যে পার্থক্য কী?

ক-বিভাগ : বহুনির্বাচনি প্রশ্ন (MCQ)

❑ সাধারণ বহুনির্বাচনি প্রশ্ন :

১। 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) $n = 3, l = 2$

২। 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)

৩। বিদ্যুৎ চুম্বকীয় বিকিরণের সর্বাধিক তরঙ্গদৈর্ঘ্য পরিসর নিচের কোনটিতে?
(ক) UV-রশ্মি (খ) X-ray (গ) অবলোহিত রশ্মি (ঘ) টেলিভিশন তরঙ্গ

৪। 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) $4, 2, 1, -\frac{1}{2}$

৫। 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) $5, 3, 0, -\frac{1}{2}$

৬। $Ag_2C_2O_4$ এর ক্ষেত্রে দ্রাব্যতা (s) ও দ্রাব্যতা গুণফল (K_{sp}) এর সম্পর্ক হলো কোন্‌টি?
(ক) $2s^2$ (খ) $4s^3$ (গ) s^3 (ঘ) $27s^4$

৭। M_2X_3 লবণের দ্রাব্যতা $1.1 \times 10^{-2}\ molL^{-1}$ হলে এর K_{sp} হবে—
(ক) 2.1×10^6 (খ) 6×10^{-7} (গ) 1×10^{-10} (ঘ) 1.74×10^{-8}

৮। Ag_2CrO_4 এর $K_{sp} = 4 \times 10^{-12}$ হলে এটির মোলার দ্রাব্যতা কত হবে?
(ক) $1.0 \times 10^{-4}\ mol\ L^{-1}$ (খ) $2 \times 10^{-6}\ molL^{-1}$
(গ) $1.0 \times 10^{-5}\ molL^{-1}$ (ঘ) $2 \times 10^{-12}\ molL^{-1}$

৯। 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) $1011\ gL^{-1}$

১০। 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}

১১। ${}^{15}_{7}N$ আইসোটোপে নিউট্রন সংখ্যা কত?
(ক) 7 (খ) 8 (গ) 15 (ঘ) 22

১২। মস্তিষ্কের টিউমার শনাক্তকরণে সর্বাধিক ব্যবহৃত হয় কোনটি?
(ক) IR (খ) UV (গ) MRI (ঘ) NIR

১৩। জালনোট শনাক্তকরণে তুমি কোন্ পদ্ধতির সাহায্য নিবে?
(ক) UV রশ্মি (খ) MRI (গ) NMR (ঘ) DOT

১৪। একটি তরল জৈব যৌগ 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

২৪। যেসব জৈব যৌগ 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

২৫। দু'টি ভিন্ন তরলে কোনো দ্রবের দ্রাব্যতার মাত্রা কম বেশি হলে ঐ দ্রবকে কম দ্রাব্যতা বিশিষ্ট তরল থেকে কীরূপে পৃথক করা হয়।

(ক) আংশিক পাতন (খ) দ্রাবক নিষ্কাশন (গ) আংশিক কেলাসন (ঘ) পাতন

২৬। অধিশোষণের মাত্রা ও সচল দশার দ্রাব্যতা হারের ভিন্নতা থাকল কোনো মিশ্রণের উপাদানগুলোকে কোন্ পদ্ধতিতে পরস্পর থেকে পৃথক করা সম্ভব?

(ক) দ্রাবক নিষ্কাশন (খ) আংশিক কেলাসন (গ) ক্রোমোটোগ্রাফি (ঘ) পাতন

২৭। Na এর শিখা পরীক্ষায় কত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বর্ণালী সৃষ্টি হয়?

(ক) 620 nm (খ) 590 nm (গ) 570 nm (ঘ) 690 nm

২৮। রিডবার্গ ধ্রুবকের মান কত? [ব. বো. ২০১৫]

(ক) 6.626×10^{-34} kJ.s (খ) $1.097 \times 10^{7} m^{-1}$ (গ) $3 \times 10^{8} m$ (ঘ) 6.2×10^{23}

২৯। নিচের কোন্ সমীকরণটি সঠিক নয়?

(ক) $\bar{\upsilon} = \frac{1}{\lambda}$ (খ) $\upsilon = \frac{c}{\lambda}$ (গ) $\Delta E = h \times \upsilon$ (ঘ) $\Delta E \ \alpha \ \lambda$

৩০। প্লাঙ্কের ধ্রুবকের মান কত?

(ক) 1.097×10^{2} nm (খ) $3.0 \times 10^{8} m$ (গ) $6.626 \times 10^{-34} Js$ (ঘ) 6.026×10^{24}

৩১। বোর ব্যাসার্ধের মান কত?

(ক) $5.292 \times 10^{-11} m$ (খ) 2.18×10^{-18} (গ) $1312 \times 10\ kJ\ mol^{-1}$ (ঘ) $3.0 \times 10^{8} m$

৩২। নিচের কোনটি কম্পোটিজ কণিকা? [কু. বো. ২০১৫]

(ক) ডিউটেরিয়াম (খ) ট্রিটিয়াম (গ) ডিউটেরন (ঘ) মেসন

৩৩। 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) ${}^{1}_{1}H,\ {}^{2}_{1}H$

৩৪। 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) ${}^{64}_{29}Cu,\ {}^{64}_{30}Zn$

৩৫। অধঃক্ষেপনের জন্য শর্ত কোন্টি?

(ক) আয়নিক গুণফল (IP) > K_{sp} (খ) আয়নিক গুণফল < K_{sp}

(গ) আয়নিক গুণফল (IP) = K_{sp} (খ) কোনোটিই নয়

৩৭। NH_4^+ আয়ন শনাক্তকরণে ব্যবহৃত বিকারক হলো— [কু. বো. ২০১৫]

(ক) $AgNO_3$ দ্রবণ (খ) $BaCl_2$ দ্রবণ (গ) নেসলার দ্রবণ (ঘ) NH_4OH দ্রবণ

৩৮। নিচের কোনটি ডি ব্রগলির সমীকরণ নামে পরিচিত?

(ক) $\Delta E = h\upsilon$ (খ) $\lambda = \frac{h}{mv}$ (গ) $C = \upsilon \times \lambda$ (ঘ) $\bar{\upsilon} = \frac{1}{\lambda}$

৩৯। কৌণিক ভরবেগের সমীকরণ কোনটি?

(ক) $mvr = \frac{nh}{\pi}$ (খ) $mvr = \frac{nh}{2\pi}$ (গ) $2\pi r = \frac{nh}{mv}$ (ঘ) $vr = \frac{h}{\pi}$

৩০। কোন অঞ্চলে H- বর্ণালীর ব্র্যাকেট সিরিজের উদ্ভব ঘটে?
(ক) দৃশ্যমান অঞ্চল (খ) UV অঞ্চল (গ) IR অঞ্চল (ঘ) X-ray অঞ্চল

৩১। পেপার ক্রোমাটোগ্রাফির R_f এর মান নিচের কোনটি হবে? [ঢা. বো. ২০১৫]
(ক) 2.0 (খ) 1.0 (গ) 1.5 (ঘ) 0.15

৩২। আলফা কণা বিচ্ছুরণ পরীক্ষায় পর্দায় প্রলেপন থাকে কোনটি?
(ক) CuS (খ) ZnS (গ) FeS (ঘ) NiS

৩৩। d_{xy} অরবিটালে কয়টি লোব (lobe) থাকে?
(ক) 1 (খ) 2 (গ) 3 (ঘ) 4

৩৪। $n = 2, l = 1, m = 1$ হলে ঐ অরবিটালের প্রতীক কোনটি হবে?
(ক) $2p_x$ (খ) $2p_y$ (গ) $2p_z$ (ঘ) 2s

৩৫। নিচের কোন্ অরবিটালের শক্তি সর্বনিম্ন হবে?
(ক) 3d (খ) 4s (গ) 4p (ঘ) 3s

৩৬। এক অ্যাংস্ট্রম (1Å) সমান কত সেন্টিমিটার (cm) ?
(ক) 10^{-10}cm (খ) 10^{-12}cm (গ) 10^{-8}cm (ঘ) 10^{-9}cm

৩৭। বামার সিরিজে $n_2 = 3$ হলে তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 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

৩৮। ৩য় শক্তিস্তরের জন্য mvr এর মান নিচের কোনটি?
(ক) $\frac{nh}{2\pi}$ (খ) $\frac{nh}{6\pi}$ (গ) $\frac{3h}{2\pi}$ (ঘ) $\frac{4h}{2\pi}$

৩৯। নেসলার দ্রবণ কী?
(ক) Hg_2I_4 (খ) K_2HgI_4 (গ) $K_2HgI_4 + KOH$ (ঘ) $KHgI_4$ NaOH

৪০। সোডিয়াম পাইরো অ্যান্টিমোনেটের সংকেত কোন্‌টি হবে?
(ক) $NaHSbO_2$ (খ) Na_2HSbO_7 (গ) $Na_2H_2Sb_2O_7$ (ঘ) $NaHSb_2O_7$

৪১। শিখা পরীক্ষায় কোন আয়নটি নীলাভ সবুজ বর্ণ দেখায়?
(ক) Cu (খ) Ca (গ) Ba (ঘ) K

৪২। শিখা পরীক্ষায় ইটের মতো লাল শিখা সৃষ্টি করে কোনটি? [চ. বো. ২০১৫]
(ক) K^+ (খ) Cu^{2+} (গ) Na^+ (ঘ) Ca^{2+}

৪৩। 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

৪৪। বিকিরিত আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 486.7nm 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

৪৫। কোন্ যৌগটি পানিতে দ্রবণীয় হবে?
(ক) AgCl (খ) $CaCO_3$ (গ) $CaSO_4$ (ঘ) $(NH_4)_2CO_3$

৪৬। কোন আলোক রশ্মির ফ্রিক্যুয়েন্সি বেশি হবে?
(ক) X-ray (খ) UV ray (গ) IR (ঘ) Radio waves

[য. বো. ২০১৫]

নেসলার দ্রবণ দ্বারা কোন্ ক্যাটায়ন শনাক্ত করা যায়?

(ক) Na^+ (খ) Al^{3+} (গ) Cu^{2+} (ঘ) NH_4^+

পটাসিয়াম পাইরো অ্যান্টিমোনেট দ্রবণ দ্বারা কোন ক্যাটায়ন শনাক্ত করা যায়?

(ক) NH_4^+ (খ) Na^+ (গ) Ca^{2+} (ঘ) Zn^{2+}

অ্যামোনিয়াম অক্সালেট দ্রবণ দ্বারা কোন্ ক্যাটায়নের নিশ্চিতকরণ করা যায়?

(ক) Ca^{2+} (খ) Zn^{2+} (গ) Fe^{2+} (ঘ) Na^+

Cu^{2+} আয়নের দ্রবণে অধিক NH_4OH দ্রবণ যোগ করলে কী বর্ণ সৃষ্টি হয়।

(ক) হালকা নীল (খ) গাঢ় নীল (গ) বাদামি (ঘ) সবুজ

Zn^{2+} আয়ন নিশ্চিতকরণের বিকারকের নাম কী?

(ক) পটাশিয়াম ফেরিসায়ানাইড (খ) পটাসিয়াম ফেরোসায়ানাইড

(গ) পটাসিয়াম ক্রোমেট (ঘ) পটাসিয়াম পাইরোঅ্যান্টিমোনেট

ইলেকট্রন বিন্যাসের সাধারণ নিয়মের ব্যতিক্রম দেখায় নিচের কোন মৌলটি?

(ক) Br (খ) Fe (গ) Cr (ঘ) Zn

নিচের কোন অরবিটাল বক্স পদ্ধতিতে আউফবাউ নীতি মানা হয়নি?

(ক) 2s ↑↓ 2p ↑ ↑ ↑

(খ) 3s ↑↓ 3p ↑ ↑ ☐

(গ) 5s ↑↓ 5p ↑ ↑ ↑

(খ) 4s ↑↓ 5d ↑ ↑ ↑ ↑ ↑

[য. বো. ২০১৫]

M^{3+} আয়নে 23 টি ইলেকট্রন থাকলে 'M' এর পারমাণবিক সংখ্যা কত হবে?

(ক) 20 (খ) 23 (গ) 24 (ঘ) 26

[য. বো. ২০১৫]

Cr পরমাণুতে কয়টি অযুগ্ম ইলেকট্রন আছে?

(ক) 3 (খ) 4 (গ) 5 (ঘ) 6

নিচের কোন্ পরমাণুতে d- অরবিটালে ইলেকট্রন আছে?

(ক) K (খ) Ca (গ) Ar (ঘ) Sc

[ব. বো. ২০১৫]

কোনো বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 820 nm হলে ঐ রশ্মির শক্তি কত?

(ক) 2.424×10^{-19}J (খ) 2.424×10^{-18}J (গ) 24.24×10^{-19}J (ঘ) 24.24×10^{-18}J

[ব. বো. ২০১৫]

$AB \rightleftharpoons A^+ + B^-$; এর আয়নিক গুণফল নিচের কোন্‌টি?

(ক) $[A^+]\ [B^-]$ (খ) $A^+\ B^-$ (গ) $K_{sp} = S^2$ (ঘ) $K_{sp} = \sqrt{S}$

[ব. বো. ২০১৫]

25°C তাপমাত্রায় MX_2 এর $K_{sp} = 7.4 \times 10^{-11}$ হলে mol L^{-1} এককে দ্রাব্যতা কত?

(ক) 2.6×10^{-3}mol L^{-1} (খ) 2.6×10^{-2} mol L^{-1}

(গ) 2.6×10^{-4} mol L^{-1} (ঘ) 2.6×10^{-5} mol L^{-1}

[সি. বো. ২০১৫]

কোন্ অরবিটালে ইলেকট্রনের ঘনত্ব সর্বাধিক?

(ক) 2p (খ) 1s (গ) 2s (ঘ) 3s

❐ বহুপদি সমাপ্তিসূচক প্রশ্ন :

৬১। নিচের কোন্ পরমাণুগুলোর সর্ববহিঃস্থ 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

৬২। ক্রোমাটোগ্রাফি দ্বারা নিম্নোক্ত কাজ করা হয়— [দি. বো. ২০১৫]
i. নুমনার 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

৬৩। নিচের কোন্ মৌলগুলো বুনসেন শিখায় বর্ণহীন? [ব. বো. ২০১৫]
i. Mg
ii. Ca
iii. Za
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

৬৪। নিচের তিনটি ইলেকট্রনের জন্য সম্ভাব্য ৪টি কোয়ান্টাম সংখ্যার মান দেখানো হলো : [সি. বো. ২০১৫]
i. $n = 3, l = 0, m = -1, s = +\frac{1}{2}$
ii. $n = 3, l = 1, m = -1, s = -\frac{1}{2}$
iii. $n = 3, l = 0, m = 0, s = -\frac{1}{2}$
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

৬৫। 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

৬৬। $[K_4Fe(CN)_6]$ বিকারক দ্বারা নিচের কোন্ আয়নগুলো নিশ্চিত বা 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

[Ar] $3d^{10}4s^0$ ইলেকট্রন বিন্যাস হলো—

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

বোর পরমাণু মডেল পারমাণবিক বর্ণালী ব্যাখ্যা করতে পারে— [চ. বো. ২০১৫]

i. একটি মাত্র প্রোটন বিশিষ্ট আয়নের

ii. এক ইলেকট্রন বিশিষ্ট আয়নের

iii. এক ইলেকট্রন বিশিষ্ট পরমাণুর

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

কোনটিতে সম-আয়নের 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

ডিউটেরিয়াম পরমাণুতে নিম্নোক্ত কণিকা আছে—

i. 1 টি প্রোটন

ii. 1 টি ইলেকট্রন

iii. 1 টি নিউট্রন

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

দুইটি 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

কোনো লবণের দ্রবণে আয়নগুলোর মোলার ঘনমাত্রার গুণফল—

i. যখন দ্রাব্যতা গুণফলের সমান হয়, তখন দ্রবণটি সম্পৃক্ত

ii. যখন দ্রাব্যতা গুণফলের মান থেকে বেশি হয়, তখন দ্রবণটি অতিপৃক্ত এবং দ্রবটি অধঃক্ষিপ্ত হয়।

iii. যখন দ্রাব্যতা গুণফলের মান থেকে কম হয়, তখন দ্রবণটি অসম্পৃক্ত।

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

৭৩। MRI পরীক্ষা দ্বারা রোগ নির্ণয়ের প্রধান ভিত্তি হলো—

i. মানব দেহে NMR পরমাণুতে r_f এর প্রভাবে প্রোটনের অণুরণন,

ii. NMR পরমাণুর নিউট্রন ও প্রোটনের মিথোস্ক্রিয়া,

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

৭৪। 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

৭৫। 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

৭৬। 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

৭৭। কোন প্রস্তাবনার মাধ্যমে বোর রাদারফোর্ডের পারমাণবিক মডেলের উন্নয়ন সাধন করেন—

i. ইলেকট্রনের স্থির কক্ষপথের ধারণা,

ii. ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগের ধারণা,

iii. সূক্ষ্ম বর্ণালী রেখা উৎপত্তির কারণ ব্যাখ্যা।

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

৭৮। গুণগত রসায়নের পরিধি হলো নিম্নরূপ :

i. পদার্থের উপাদান মৌল শনাক্তকরণ,

ii. পরীক্ষালব্ধ তথ্য থেকে উপাদানের শতকরা পরিমাণ বের করা,

iii. উপাদান পৃথক করা।

নিচের কোনটি সঠিক?

(ক) i ও ii (খ) ii ও iii (গ) i ও iii (ঘ) i, ii ও iii

অভিন্ন তথ্যভিত্তিক প্রশ্ন :

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 ১৫নং ও ১৬নং প্রশ্নের উত্তর দাও।

৭৯। A মৌলটির লবণের বেলায় প্রযোজ্য তথ্য হলো—

i. A মৌলটির লবণ রক্তশূন্যতায় ওষুধরূপে ব্যবহৃত হয়,

ii. A 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

৮০। 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 ৮১, ৮২ ও ৮৩ নং প্রশ্নের উত্তর দাও।

ক্যাটায়ন	বিকারক	অধঃক্ষেপ
X^{2+}	$K_4Fe(CN)_6$ দ্রবণ	সাদা
Y^{2+}		
Z^{3+}		গাঢ় নীল

৮১। Y মৌলটি হবে—

(ক) Fe (খ) Zn (গ) Cu (ঘ) Ca

৮২। কোন দুটি পরিবর্তনশীল যোজনী প্রদর্শন করে?

(ক) Fe (খ) Zn (গ) Cu (ঘ) Ca

৮৩। (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

উত্তরমালা :

১।(খ)	২।(ক)	৩।(ঘ)	৪।(ঘ)	৫।(গ)	৬।(খ)	৭।(ঘ)	৮।(ক)	৯।(খ)	১০।(গ)	১১।(খ)
১২।(গ)	১৩।(ক)	১৪।(গ)	১৫।(ক)	১৬।(খ)	১৭।(গ)	১৮।(খ)	১৯।(খ)	২০।(ঘ)	২১।(গ)	২২।(ক)
২৩।(গ)	২৪।(ক)	২৫।(গ)	২৬।(ক)	২৭।(গ)	২৮।(খ)	২৯।(খ)	৩০।(গ)	৩১।(ঘ)	৩২।(খ)	৩৩।(ঘ)
৩৪।(খ)	৩৫।(ঘ)	৩৬।(গ)	৩৭।(গ)	৩৮।(গ)	৩৯।(গ)	৪০।(গ)	৪১।(ক)	৪২।(ঘ)	৪৩।(ঘ)	৪৪।(ক)
৪৫।(ঘ)	৪৬।(ক)	৪৭।(ঘ)	৪৮।(খ)	৪৯।(ক)	৫০।(খ)	৫১।(খ)	৫২।(গ)	৫৩।(গ)	৫৪।(ঘ)	৫৫।(ঘ)
৫৬।(ঘ)	৫৭।(ক)	৫৮।(ক)	৫৯।(গ)	৬০।(খ)	৬১।(গ)	৬২।(ক)	৬৩।(গ)	৬৪।(গ)	৬৫।(ঘ)	৬৬।(ক)
৬৭।(ক)	৬৮।(খ)	৬৯।(ঘ)	৭০।(ঘ)	৭১।(ক)	৭২।(ঘ)	৭৩।(গ)	৭৪।(ক)	৭৫।(ক)	৭৬।(ক)	৭৭।(ঘ)
৭৮।(ঘ)	৭৯।(ঘ)	৮০।(খ)	৮১।(গ)	৮২।(খ)	৮৩।(গ)					

খ বিভাগ : সৃজনশীল প্রশ্ন (CQ)

১। পরমাণুর গঠন ব্যাখ্যায় রাদারফোর্ডের মডেলটি অত্যন্ত তাৎপর্যপূর্ণ হলেও যথেষ্ট ত্রুটিযুক্ত ছিল। এ মডেলের সীমাবদ্ধতা দূরকরণে বিজ্ঞানী নিলস্ বোর কোয়ান্টাম মতবাদের আলোকে নতুন একটি মডেল উপস্থাপন করেন। কিন্তু বোরের মতবাদটিও সম্পূর্ণ ত্রুটিযুক্ত নয়। পরবর্তীতে এই মতবাদের আরও সংশোধন করা হয়।

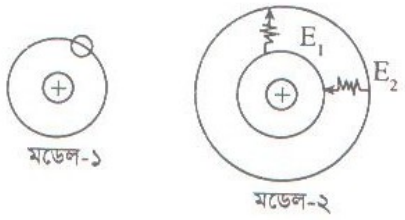
(ক) পাউলির বর্জন নিয়মটি লেখ। ১

(খ) শিখা পরীক্ষায় গাঢ় HCl ব্যবহার করার কারণ ব্যাখ্যা কর। [ঢা. বো. ২০১৫; চ. বো. ২০১৫] ২

(গ) উদ্দীপকের কোন মডেলটি নিউক্লিয়াস সম্পর্কে ধারণা দেয়? এর ব্যাখ্যা কর। ৩

(ঘ) উদ্দীপকে উল্লিখিত পরমাণু মডেলদ্বয়ের তুলনা কর। ৪

২। নিচের দুটি পরমাণু মডেল অনুধাবন করে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।



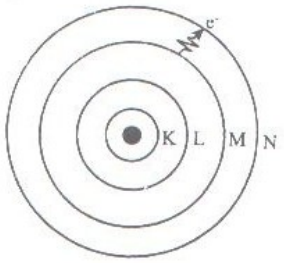
(ক) আউফবাউ নীতি কী? ১

(খ) K এর 19তম 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 কত হবে? ৩

(ঘ) উদ্দীপকের পরমাণু মডেল-১ ও মডেল-২ এর মধ্যে কোন্‌টি তোমার মতে অধিক গ্রহণযোগ্য তা ব্যাখ্যা কর। ৪

৩। প্রদত্ত পরমাণু মডেলভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।



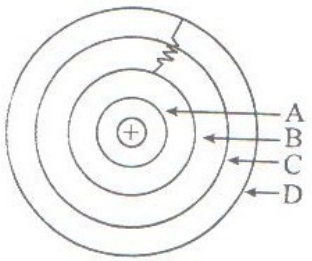
(ক) ক্রোমাটোগ্রাফি কী? ১

(খ) UV-রশ্মির সাহায্যে তুমি কীরূপে জাল টাকার নোট শনাক্ত করবে? ২

(গ) উদ্দীপকে প্রদর্শিত সর্ববহিঃস্থ শক্তিস্তরের কোয়ান্টাম সংখ্যার মান হিসাব করে মোট অরবিটাল সংখ্যা ও ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা বের কর। ৩

(ঘ) উদ্দীপকে প্রদর্শিত চিত্রে ইলেকট্রনটির অরবিটাল ধাপান্তরকালে বিকিরিত শক্তির পরিমাণ ও বিকিরিত রশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য গণনা কর। ৪

৪। পরমাণু মডেলভিত্তিক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।



(ক) আইসোটোপ কী? ১

(খ) অরবিট ও অরবিটালের মধ্যে পার্থক্যসমূহ লেখ। ২

(গ) উদ্দীপকের C কক্ষপথের H পরমাণুর ইলেকট্রনটি B কক্ষপথে ধাপান্তরকালে বিকিরিত শক্তির পরিমাণ কত হবে তা ব্যাখ্যা কর। ৩

(ঘ) উদ্দীপক মতে, H পরমাণুর D কক্ষপথ থেকে B কক্ষপথে ইলেকট্রনের ফেরার কালে বিকিরিত শক্তি দৃশ্যমান হবে কীনা তা গাণিতিক ভাবে বিশ্লেষণ কর। ৪

৫। নিচে দেয়া কোয়ান্টাম সংখ্যাভিত্তিক উদ্দীপকটি অনুধাবন করে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।

n	l	m	অরবিটাল
3	0	0	A
	1	−1, 0, 1	B
	2	−2, −1, 0, 1, 2	C

(ক) নোড বলতে কী বোঝায়? ১

(খ) Cr(24) এর ইলেকট্রন বিন্যাসের যোজ্যতা স্তরে হুন্ডের নিয়ম বক্স পদ্ধতিতে দেখাও। ২

(গ) উদ্দীপকের A ও B অরবিটালসমূহের সম্ভাব্য চিত্র অঙ্কন করে বোঝাও। ৩

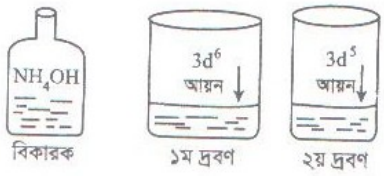
(ঘ) উদ্দীপক মতে, H-পরমাণুর ইলেকট্রনটি নিউক্লিয়াসের চারদিকে বিভিন্ন শক্তিস্তরের বিভিন্ন অরবিটালে অবস্থাভেদে অবস্থান করতে সক্ষম, তা A, B, C অরবিটালের মর্ম মতে ব্যাখ্যা কর। ৪

৬। নিচের উদ্দীপক সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।

(ক) আলফা কণা কী? ১

(খ) দ্রাব্যতা ও দ্রাব্যতার গুণফলের সম্পর্ক ব্যাখ্যা কর। ২

(গ) উদ্দীপকের বিকারক ব্যবহার করে ১ম দ্রবণ ও ২য় দ্রবণে থাকা আয়নদ্বয় কীরূপে শনাক্ত করবে তা সংশ্লিষ্ট সমীকরণসহ লেখ। ৩

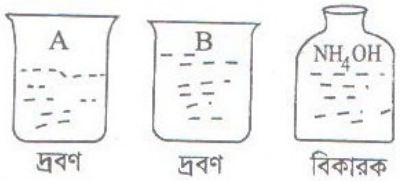


(ঘ) উদ্দীপকের ২য় দ্রবণে বিকারক যোগ করলে যে অধঃক্ষেপ পড়ে ঐ অধঃক্ষেপটির 25°C তাপমাত্রায় দ্রাব্যতা গুণফল 4.5×10^{-22} হলে এটির দ্রাব্যতা gL^{-1} একক ও $mol\ L^{-1}$ এককে বের কর। ৪

৭। নিচের ব্যবহারিক রসায়ন ভিত্তিক উদ্দীপক মতে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।

(ক) হুন্ডের নিয়ম কী? ১

(খ) তোমার রান্নাঘরে ব্যবহৃত মাইক্রোওভেনটি 1.20 cm তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের তাপশক্তি বিকিরণ করে। ঐ বিকিরণের একটি ফোটনের শক্তি কত হবে? ২



(গ) উদ্দীপকের A দ্রবণটির ক্যাটায়নে $3s^2 3p^6 3d^9$ ইলেকট্রন বিন্যাস আছে। এ দ্রবণটিতে উদ্দীপকের বিকারক যোগ কররে কী পরিবর্তন লক্ষ 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

৮। নিচের ইলেকট্রন বিন্যাসভিত্তিক উদ্দীপকটি অনুধাবন করে সংশ্লিষ্ট প্রশ্নের উত্তর দাও।

$Z(19) = 1s^2 2s^2 2P^6 3s^2 3p^6 3d^0 4s^1$

$Z(24) = 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$

(ক) হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি কী? ১

(খ) পরমাণুর কোয়ান্টাম মডেল মতে পরমাণুর ৩য় শক্তিস্তরে সম্ভাব্য মোট অরবিটাল সংখ্যা গণনা কর। ২

(গ) উদ্দীপকের ১ম মৌলটির পরমাণুর সর্বশেষ ইলেকট্রনটি 3d অরবিটালে প্রবেশ না করে কোন্ নিয়ম মতে 4s অরবিটালে প্রবেশ করেছে তা সংশ্লিষ্ট শক্তিক্রম নিয়মের গণনাভিত্তিক ব্যাখ্যা কর। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের ২য় মৌলটির বেলায়, ইলেকট্রন বিন্যাসের কোন্ কোন্ নিয়ম অনুসৃত হয়েছে এবং কোন্ নিয়মের ব্যতিক্রম ঘটেছে তার ব্যাখ্যাসহ এ ইলেকট্রন বিন্যাসের যথার্থ বিশ্লেষণ কর। ৪

৯। [ঢা.বো. ২০১৫]

(ক) ফুড লেকার কী? ১

(খ) শিখা পরীক্ষায় গাঢ় HCl ব্যবহার করা হয় কেন— ব্যাখ্যা কর। ২

(গ) প্রত্যেক পরমাণুর কেন্দ্র ধনাত্মক চার্জযুক্ত নিউক্লিয়াস দ্বারা গঠিত—প্রমাণ কর। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের পরমাণু মডেলটির গ্রহণযোগ্যতার সপক্ষে যুক্তি দাও। ৪

১০। A মৌলটির যোজ্যতা স্তরের ইলেকট্রনের কোয়ান্টাম সংখ্যাগুলো হচ্ছে $n = 4,\ l = 0,\ m = 0,\ s = +\frac{1}{2}$

[ঢা. বো. ২০১৫]

(ক) হাইড্রোজেন বন্ধনের সংজ্ঞা দাও। ১

(খ) NH_4Cl যৌগের বন্ধন প্রকৃতি ব্যাখ্যা কর। ২

(গ) উদ্দীপকে A = H হলে ইলেকট্রনটির স্থানান্তরণের শোষণ বর্ণালির সর্বনিম্ন শক্তি নির্ণয় কর। ৩

(ঘ) উদ্দীপকের A^{2+} আয়নের বর্ণযুক্ত হওয়ার সম্ভাব্যতা যাচাই কর। ৪

১১। নিম্নের ইলেকট্রন বিন্যাসটি লক্ষ্য কর। [চ. বো. ২০১৫]

$[Ar]\ (n-1)d^5$

(ক) সিগমা বন্ধন কী? ১

(খ) বর্জ্য বিশোধন অপেক্ষা হ্রাসকরণ উত্তম— ব্যাখ্যা কর। ২

(গ) উদ্দীপকের d- উপস্তরের সকল ইলেকট্রনের স্পিন কোয়ান্টাম সংখ্যার মান একই—ব্যাখ্যা কর। ৩

(ঘ) প্রদত্ত ইলেকট্রন বিন্যাসটি একটি ক্যাটায়নের ইলেকট্রন বিন্যাস— সত্যতা নিরূপণ কর। ৪

১২। $[30M(NH_3)_4]^{2+}$ [সি. বো. ২০১৫]

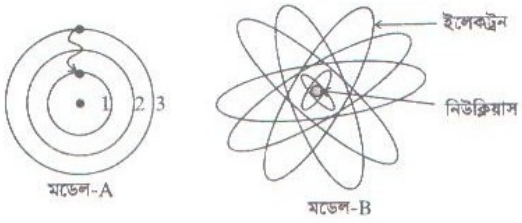
(ক) সাম্য ধ্রুবক কী? ১

(খ) প্রভাবক কীভাবে বিক্রিয়ার গতি বৃদ্ধি করে? ২

(গ) M এর শনাক্তকরণ পরীক্ষাটি সমীকরণসহ লিখ। ৩

(ঘ) উদ্দীপক জটিল দ্রবণের বর্ণের প্রকৃতি বিশ্লেষণ কর। ৪

[সি. বো. ২০১৫]



মডেল-A মডেল-B

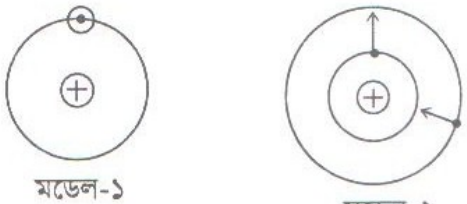
(ক) সবুজ রসায়ন কী? ১

(খ) পানির pH এর মান 7 কেন? ২

(গ) উদ্দীপকে ধাপান্তরে সৃষ্ট বর্ণালীর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। ৩

(ঘ) A ও B মডেলের কোনটি অধিকতর উপযোগী— কারণ বিশ্লেষণ কর। ৪

[রা. বো. ২০১৫]



মডেল-১ মডেল-২

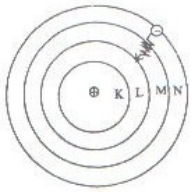
(ক) পলির বর্জন নীতি কী? ১

(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 তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কত? ৩

(ঘ) মডেল-১ ও মডেল-২ এর মধ্যে কোনটি অধিক গ্রহণযোগ্য? যুক্তি দাও। ৪

[বা. বো. ২০১৫]



(ক) ক্রোমোটোগ্রাফি কী? ১

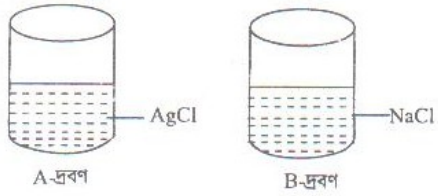
(খ) UV রশ্মির সাহায্যে তুমি কীভাবে জাল টাকা শনাক্তকরণ করবে?— ব্যাখ্যা কর। ২

(গ) উদ্দীপকে উল্লিখিত চিত্রে সর্ববহিস্থ শক্তিস্তরের কোয়ান্টাম সংখ্যাসমূহের মান হিসাব করে মোট অরবিটাল সংখ্যা এবং ঐ শক্তি স্তরে মোট ইলেকট্রন ধারণ ক্ষমতা বের কর। ৩

(ঘ) উদ্দীপকে উল্লিখিত চিত্রে প্রদর্শিত ইলেকট্রনের ধাপান্তরের সময় পরমাণু থেকে নির্গত আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বের কর এবং এটি কোন বর্ণের হবে?—ব্যাখ্যা কর। ৪

১৬। 35°C তাপমাত্রায় AgCl এর দ্রাব্যতা গুণফল 2.458×10^{-10} নিম্নরূপে থাকে— [য. বো. ২০১৫]

$AgCl(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + Cl^-(aq)$



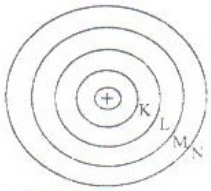
(ক) ব্যুরেট কী? ১

(খ) NaOH ও HCl এর প্রশমন তাপ এর মান ধ্রুবক—ব্যাখ্যা কর। ২

(গ) AgCl এর দ্রাব্যতা গণনা কর। ৩

(ঘ) A দ্রবণে সামান্য পরিমাণ B দ্রবণ যোগ করা হলে 'A' এর দ্রাব্যতার কোনো পরিবর্তন হবে কী? কারণ বিশ্লেষণ কর। ৪

১৭। [দি. বো. ২০১৫]



উক্ত উদ্দীপকের আলোকে নিম্নের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও।

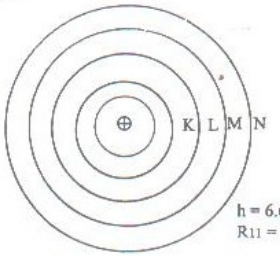
(ক) কোয়াণ্ডলেশন কী? ১

(খ) Na^+ ও Ne এর মধ্যে কোনটির আয়নিকরণ শক্তি বেশি এবং কেন? ২

(গ) প্রদত্ত উদ্দীপকের N শেল থেকে L শেলে একটি ইলেকট্রন ধাপান্তরের সময় তা থেকে নির্গত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [$R_H = 2.18 \times 10^{-18}$] ৩

(ঘ) উদ্দীপকের পরমাণুতে একটি ইলেকট্রন থাকা সত্ত্বেও বর্ণালি রেখার সংখ্যা একাধিক হয়— ব্যাখ্যা কর। ৪

১৮। নিচের উদ্দীপকটির আলোকে প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও : [মাদ্রাসা বোর্ড ২০১৫]



$h = 6.626 \times 10^{-27}$ erg. sec
$R_H = 109678 cm^{-1}$

(ক) আউফবাউ অর্থ কী? ১

(খ) ক্রোমাটোগ্রাফিতে R_f ফ্যাক্টর ব্যাখ্যা কর। ২

(গ) উদ্দীপকের N সেলের ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ নির্ণয় কর। ৩

(ঘ) দেখাও যে, উদ্দীপকের মডেলের N সেল থেকে L সেলে ইলেকট্রন স্থানান্তরিত হলে বিকিরিত রশ্মি আসমানী বর্ণ দেখা যাবে। ৪