# নিউক্লিয় পদার্থবিজ্ঞান
# Nuclear Physics

ইউনিট ৯

## ভূমিকা (Introduction)

আদিকাল থেকে মানুষের প্রশ্ন ছিল যে, পদার্থ কিভাবে গঠিত হয়, পদার্থকে ভেঙ্গে অতিক্ষুদ্র করলে পদার্থের অস্তিত্ব থাকবে কিনা ইত্যাদি। এই সব প্রশ্নের উত্তরে আদিকালে দার্শনিকগণ তাদের কল্পনা প্রসূত ব্যাখ্যা দেন। এই সব ব্যাখ্যাগুলো কোনো বিজ্ঞানসম্মত ছিল না। তাদের ধারণা মতে পদার্থের ক্ষুদ্রতম অংশের নাম পরমাণু। পরমাণুকে আর ভাঙ্গা যায় না। এটি অবিভাজ্য। বিজ্ঞানী জে, জে, থমসন ইলেকট্রন আবিস্কারের পরই পরমাণু যে অবিভাজ্য সে ধারণার অবসান ঘটে। পরমাণু চার্জ নিরপেক্ষ হলেও চার্জহীন নয়।

পরমাণু মূলত ইলেকট্রন, প্রোটন ও নিউট্রন কণিকা দিয়ে গঠিত। প্রোটন ও নিউট্রন দিয়ে গঠিত নিউক্লিয়াস পরমাণুর কেন্দ্রে খুব স্বল্প স্থান নিয়ে অবস্থান করে। ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসে চারিদিকে অনুমোদিত কক্ষপথে আবর্তন করে। ইলেকট্রন ও প্রোটন চার্জিত কণা। এদের চার্জের মান সমান তবে ইলেকট্রন ঋণাত্মক এবং প্রোটন ধনাত্মক ধর্মী আর নিউট্রন চার্জহীন। ভূমি স্ড়রের সকল পরমাণুতে ইলেকট্রন ও প্রোটনের সংখ্যা সমান। প্রোটন সংখ্যা পরিবর্তনের সাথে সাথে মৌল পরিবর্তিত হয়। অধিক প্রোটন বিশিষ্ট নিউক্লিয়াসে স্বত:স্ফুর্ত ভাঙ্গন ঘটে এবং তা থেকে বিভিন্ন ধরণের তেজস্ক্রিয় রশ্মি নির্গত হয়। তাছাড়া নিউক্লিয়াসে কৃত্রিম বিভাজনের ফলে প্রচুর পারমাণবিক শক্তি পাওয়া যায়।

আমরা এই অধ্যায়ে পরমাণু গঠনের বিভিন্ন মডেল, পরীক্ষা লব্ধ ফলাফলের সাথে এই সব মডেলের সদৃশ্যতা, নিউক্লিয়াসের গঠন, তেজস্ক্রিয়তা অর্থাৎ স্বত:স্ফুর্ত নিউক্লিয়াসের বিভাজন, নিউক্লিয়াসে কৃত্রিম বিভাজন এবং এর থেকে প্রাপ্ত আণবিক শক্তির ব্যবহার সম্পর্কে আলোচনা করা হবে।

## পাঠ ৯.১: পরমাণু গঠনের ক্রম বিকাশ
## Gradual Development of Atomic Structure

**উদ্দেশ্য**

**এ পাঠের শেষে আপনি-**

- পরমাণু গঠনের ক্রম বিকাশ বর্ণনা করতে পারবেন।
- থমসনের পরমাণু মডেল বর্ণনা ও এর ব্যর্থতা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

**৯.১.১ পরমাণু গঠনের ক্রম বিকাশ ঃ** বহু প্রাচীন কালে ভারতীয় দার্শনিক কণাদ বলেছিলেন, পদার্থ কতকগুলি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা দিয়ে গঠিত। গ্রীক দার্শনিক ডেমোক্রিটাস (Democritus) এবং আরো অনেক তৎ-সমসাময়িক বিজ্ঞানীগণ বলেন পদার্থ মাত্রই বিচ্ছিন্ন কণা দিয়ে তৈরি এবং এই কণাগুলো অবিভাজ্য। গ্রীক ভাষায় 'অ্যাটম' (Atom) শব্দের অর্থ অবিভাজ্য। সেজন্য পদার্থের এই ক্ষুদ্রতম কণাগুলি অ্যাটম (Atom) বা পরমাণু নামে অভিহিত করা হয়। তবে এই সব ধারণাগুলো ছিল কল্পনা প্রসূত। ঊনবিংশ শতাব্দীর প্রথম ভাগে বিজ্ঞানী জন ডালটন (John Dalton) রাসায়নিক সংযোগসূত্রগুলো ব্যাখ্যা করার জন্য একটি তত্ত্ব উপস্থাপন করেন। সেটি ডালটনের পারমাণবিক তত্ত্ব নামে পরিচিত। ডালটনের তত্ত্বানুসারে,

১। সকল মৌলিক পদার্থ অতি সূক্ষ্ম, অবিভাজ্য নিরেট কণার সমন্বয়ে গঠিত। কণাগুলোকে বলা হয় পরমাণু।

২। একই মৌলিক পদার্থের পরমাণুগুলো একই প্রকারের, কিন্তু বিভিন্ন মৌলিক পদার্থের পরমাণুগুলো বিভিন্ন।

৩। একাধিক পরমাণুর রাসায়নিক মিলনে যৌগিক পরমাণু সৃষ্টি করে।

পরমাণু সম্বন্ধে ধারণা জন্মের বহু পূর্বেই মানুষ স্থির তড়িতের ব্যবহার জেনেছে। সেখানে ধনাত্মক চার্জ এবং ঋণাত্মক চার্জের সন্ধান পেয়েছে। কিন্তু এর কারণ জানা ছিল না।

বায়ু তড়িৎ কুপরিবাহী। শূন্য মাধ্যমে তড়িৎ প্রবাহিত হয় কিনা তা জানার জন্য পরীক্ষা চালানো হলো। তড়িৎদ্বারে দুই প্রান্তে উচ্চ বিভব রেখে তড়িৎ মোক্ষম নলের মধ্যে চাপ $10^{-2}\,\text{mmHg}$ মত করলে দেখা যায় ক্যাথোড থেকে এক জাতীয় অদৃশ্য রশ্মি নির্গত হয়ে নলের কাচে আপতিত হয়ে নীলাভ প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে। একে ক্যাথোড রশ্মি বলা হয়। ঊনবিংশ শতাব্দীর শেষ দশকে উইলিয়াম ক্রুকস্ (William Crooke), জে, জে, থমসন (J.J. Thomson), ফিলিপ লেনার্ড (Phlip Lenard), মিলিক্যান (Millikan) ও অন্যান্য বিজ্ঞানীরা বিভিন্ন পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণ করেন যে, এই অদৃশ্য রশ্মি প্রকৃত পক্ষে ক্যাথোড থেকে এবং এর পৃষ্ঠ থেকে লম্ব ভাবে নির্গত হয়ে উচ্চ বেগে গতিশীল এক প্রকার ঋণাত্মক চার্জ যুক্ত কণিকার স্রোত। উপযুক্ত পরীক্ষার মাধ্যমে বিভিন্ন ধরনের পদার্থ থেকেই ইলেকট্রন নিঃসরণ ঘটানো সম্ভব। এর থেকে এটি প্রমাণিত হয় যে, মৌলের পরমাণুকে অবিভাজ্য কণা বলা চলে না এবং সব পরমাণুরই অন্যতম উপাদান হলো ইলেকট্রন। জে, জে, থমসনকেই ইলেকট্রনের আবিষ্কার কর্তা হিসাবে ধরা হয়। এরপর থেকে পরমাণুর অবিভাজ্যতার ভ্রান্ত ধারণার অবসান ঘটে।

ইলেকট্রন একটি মৌলিক কণা। এটি ঋণাত্মক চার্জগ্রস্থ। এর চার্জকে $-e$ দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

থমসন তার পরীক্ষার সাহায্যে এই কণিকার চার্জ ও ভরের অনুপাত নির্ণয় করেন। এই কণিকার চার্জ ও ভরের অনুপাত $-1.76\times10^{11}\,\text{C kg}^{-1}$ পরীক্ষায় আরো প্রমাণিত হয় যে, এই কণিকাগুলোর ভরের মান এবং চার্জের মান সর্বদা একই থাকে। এর ভর $9.11\times10^{-31}\,\text{kg}$ যা মোটামুটি হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরের $1/1836$ গুণ এবং চার্জ $1.6\times10^{-19}\,\text{C}$

জে. জে. থমসনের পরীক্ষায় প্রমাণিত হলো যে, পরমাণুর চেয়ে হালকা কণিকা বিদ্যমান এবং এর চার্জ রয়েছে। সুতরাং পরমাণু অবিভাজ্য হতে পারে না এবং পরমাণু চার্জ নিরপেক্ষ হলেও চার্জহীন নয়।

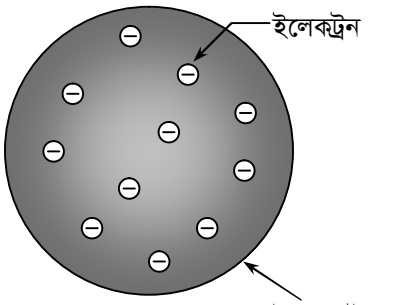
1897 সালে থমসন কর্তৃক ইলেকট্রন আবিস্কারের পর বিজ্ঞানীরা পরমাণু সম্পর্কে দুটি মতবাদ ব্যক্ত করেন :

১। প্রতিটি পরমাণুতে ইলেকট্রন বিদ্যমান, এবং

২। যেহেতু প্রতিটি পরমাণু বৈদ্যুতিকভাবে নিরপেক্ষ, সুতরাং এতে কিছু ধনাত্মক চার্জ আছে এবং এর চার্জ ইলেকট্রনগুলোর ঋণাত্মক চার্জের সমান হওয়া অত্যাবশ্যক।

এখন স্বাভাবিক ভাবেই প্রশ্ন আসতে পারে যে, একটি পরমাণুতে কতগুলো ইলেকট্রন থাকতে পারে এবং পরমাণুর মধ্যে এ ধনাত্মক ও ঋণাত্মক চার্জগুলো কিভাবে অবস্থান করছে।

**৯.১.২ থমসনের পরমাণু মডেল** ঃ ইলেকট্রন আবিস্কারের পরপরই থমসন পরমাণুর গঠন সম্পর্কে একটি মডেল উপস্থাপন করেন। তাঁর এ মডেল পণ্ঢাম পুডিং মডেল নামে পরিচিত। তাঁর মতে পরমাণু একটি নিরেট ধনাত্মক গোলক এবং এই গোলকের মধ্যে বিক্ষিপ্তভাবে ইলেকট্রনগুলো ছড়ানো আছে (চিত্র ৯.১) ঠিক যেমন পুডিং এর মধ্যে কিসমিস ছড়ানো থাকে। তাই একে পণ্ঢাম পুডিং মডেল বলা হয়। গোলকের ধনাত্মক চার্জ ইলেকট্রনগুলোর মোট ঋণাত্মক চার্জের সমান, তাই পরমাণু তড়িৎ নিরপেক্ষ। তিনি আরো উলেণ্ঢখ করেন যে, বিভিন্ন মৌলিক পদার্থে ইলেকট্রনের সংখ্যা বিভিন্ন।



চিত্র- ৯.১

পণ্ঢাম পুডিং মডেল অনুসারে প্রত্যেকটি ইলেকট্রন সুষমভাবে ধনাত্মক চার্জে চার্জিত গোলকের কেন্দ্রের দিকে আকর্ষিত হয়। অপর দিকে ইলেকট্রনগুলোর সমধর্মী চার্জ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে। ফলে ইলেকট্রনগুলো ধনাত্মক চার্জে চার্জিত গোলকের অভ্যন্ড়রে নিজেদেরকে এমন ভাবে সজ্জিত করে যেন আকর্ষণ বল এবং বিকর্ষণ বলে সমতা আসে। যখন পরমাণুকে উত্তেজিত করা হয় তখন ইলেকট্রনগুলো পরমাণুর মধ্যে অগ্রপশ্চাৎ কম্পিত হতে থাকে এবং সেকারণে অবলোহিত, দৃশ্য এবং অতিবেগুনী রশ্মি নির্গত হয়।

**৯.১.৩ থমসনের পরমাণু মডেলের ব্যর্থতা** ঃ থমসনের পরমাণু মডেলটি পরমাণু গঠনের চাহিদা পূরণে ব্যর্থ হয়েছে।

১। ইলেকট্রনের চার্জ $1.6\times10^{-19}\,\mathrm{C}$ এবং নির্দিষ্ট, ফলে পরমাণুতে যদি $n$ সংখ্যক ইলেকট্রন থাকে তবে পরমাণুতে $n\times1.6\times10^{-19}\,\mathrm{C}$ ঋণাত্মক চার্জ আছে। অপর দিকে ধনাত্মক গোলকটি সুষম ভাবে চার্জিত। তাহলে ইলেকট্রন সংখ্যা বৃদ্ধির সাথে সাথে ধনাত্মক গোলকটি চার্জ কেন বিচ্ছিন্ন ভাবে বাড়বে তা জানা যায় না।

২। থমসনের পরমাণু মডেলে হাইড্রেজেন পরমাণু থেকে একটি মাত্র বর্ণালী রেখা পাওয়া যাবে কিন্তু পরীক্ষার মাধ্যমে দেখা গেছে হাইড্রেজেন পরমাণু থেকে একাধিক শ্রেণি বর্ণালী পাওয়া যায় এবং প্রত্যেক শ্রেণিতে একাধিক বর্ণালী রেখা থাকে।

৩। রাদারফোর্ডের আলফা কণা পরীক্ষার প্রাপ্ত ফলাফল থমসনের পরমাণু মডেলের ধারণার সাথে কোনো মিল নেই।

সুতরাং, থমসনের পরমাণু মডেলের উন্নতি সাধন প্রয়োজন।

## সার-সংক্ষেপ :

**ডালটনের তত্ত্বঃ**

১। সকল মৌলিক পদার্থ অতি ক্ষুদ্র, অবিভাজ্য নিরেট কণার সমন্বয়ে গঠিত। কণাগুলেকে বলা হয় পরমাণু।

২। একই মৌলিক পদার্থের পরমাণুগুলো একই প্রকারের, কিন্তু বিভিন্ন মৌলিক পদার্থের পরমাণুগুলো বিভিন্ন।

৩। একাধিক পরমাণুর রাসায়নিক মিলনে যৌগিক পরমাণু সৃষ্টি করে।

**1897 সালে বিজ্ঞানীরা থমসন পরমাণু সম্পর্কে দুটি মতবাদ ব্যক্ত করেন :**

১। প্রতিটি পরমাণুতে ইলেকট্রন বিদ্যমান, এবং

২। যেহেতু প্রতিটি পরমাণু বৈদ্যুতিকভাবে নিরপেক্ষ, সুতরাং এতে কিছু ধনাত্মক চার্জ আছে এবং এর চার্জ ইলেকট্রনগুলোর ঋণাত্মক চার্জের সমান হওয়া অত্যাবশ্যক।

**থমসনের পরমাণু মডেল ঃ** একটি নিরেট ধনাত্মক গোলক এবং এই গোলকের মধ্যে বিক্ষিপ্তভাবে ইলেকট্রনগুলো ছড়ানো আছে ঠিক যেমন পুডিং এর মধ্যে কিসমিস ছড়ানো থাকে।

## পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৯.১

**বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ**

১। থমসনের পরমাণু মডেল অনুসারে,

i. ইলেকট্রনগুলো পরমাণুতে স্থির থাকে।

ii. সমগ্র পরমাণু জুড়েই ধনাত্মক থাকে।

iii. পরমাণু চার্জ নিরপেক্ষ

নীচের কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii খ. ii ও iii গ. i ও iii ঘ. i, ii ও iii

২। ডালটনের পারমাণবিক তত্ত্ব অনুসারে,

i. সকল মৌলিক পদার্থ অতি সূক্ষ্ম, অবিভাজ্য নিরেট কণার সমন্বয়ে গঠিত। কণাগুলেকে পরমাণু বলা হয় ।

ii. একই মৌলিক পদার্থের পরমাণুগুলো একই প্রকারের।

iii. একাধিক পরমাণুর রাসায়নিক মিলনে যৌগিক পরমাণু সৃষ্টি করে।

নীচের কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii খ. ii ও iii গ. i ও iii ঘ. i, ii ও iii

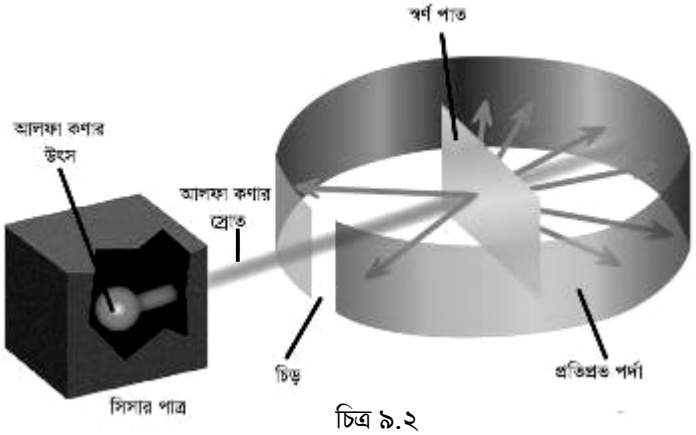
# পাঠ ৯.২ : রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল
## Rutherford's Atom Model

**উদ্দেশ্য**

**এ পাঠের শেষে আপনি-**

- রাদারফোর্ডের আলফা কণা পরীক্ষা বর্ণনা করতে পারবেন।
- রাদারফোর্ডের মডেল ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- রাদারফোর্ডের মডেলের সীমাবদ্ধতা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

**৯.২.১ রাদারফোর্ডের আলফা কণা পরীক্ষা ঃ** 1911 সালে রাদারফোর্ডের এবং তাঁর সহযোগী বিজ্ঞানীগণ আলফা কণার বিক্ষেপণ পরীক্ষাটি সম্পন্ন করেন- তেজস্ক্রিয় উৎস থেকে নির্গত $\alpha$-কণাগুলো সমশক্তি সম্পন্ন হয়। এই $\alpha$-কণার স্রোতকে সমান্তরাল করে একটি ভারী সোনার পাতলা পাতের উপর ফেলা হয়। সোনার পারমাণবিক সংখ্যা 79। তাছাড়া সোনার পাতকে পিটিয়ে খুব পাতলা, প্রায় $10^{-7}\,\mathrm{m}$ পুরুত্বের পাতে পরিণত করা যায়। এর বেধ এত কম হওয়ায় ধরে নেয়া হয় যে, প্রতিটি $\alpha$-কণা পাতের মধ্যস্থ একটি মাত্র পরমাণুর সাথে সংঘাত বা অন্তঃক্রিয়া ঘটে। $\alpha$-কণা পাতের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করার পর বিভিন্ন $\theta$ কোণে বিক্ষিপ্ত হয়। $\theta$ কোণে বিক্ষিপ্ত $\alpha$-কণাগুলোকে শনাক্তকরণের জন্য (৯.২) নং চিত্র অনুসারে সোনার পাতকে ঘিরে একটি প্রতিপ্রভ পর্দা রাখা হয়। এই প্রতিপ্রভ পর্দায় $\alpha$-কণা এসে পড়লে পর্দায় একটি আলোর ঝলক দেখা যায়। কোনো কোনো $\alpha$-কণা সোনার পাতকে অতিক্রম না করে বিক্ষেপের পর আবার আগের অঞ্চলে ফিরে আসে। সেক্ষেত্রে $\theta$- এর মান $90^\circ$ অপেক্ষা বেশী হয়।



চিত্র ৯.২

**৯.২.২ রাদারফোর্ড পরীক্ষার প্রাপ্ত ফলাফলঃ**

১। বেশীরভাগ $\alpha$-কণাই স্বর্ণপাত ভেদ করে সরাসরি বিপরীত দিকে বেরিয়ে আসে কিংবা খুব সামান্যই বিক্ষেপণ ঘটে। এটি থমসন মডেল দিয়ে ব্যাখ্যা করা যায় না।

২। অল্প কিছু সংখ্যক $\alpha$-কণা $90^\circ$ কোণে বা তার চেয়ে কম কোণে বিক্ষিপ্ত হয়।

৩। অতি অল্প কিছু সংখ্যক $\alpha$-কণা $90^\circ$ কোণের চেয়ে বেশী কোণে বিক্ষিপ্ত হয়। দেখা গেছে প্রতি 8000 এ একটি $\alpha$-কণা $90^\circ$ কোণের চেয়ে বেশী কোণে বিক্ষিপ্ত হয়। কোনো কোনো সময় দেখা যায় একটি $\alpha$-কণা $180^\circ$ কোণে বিক্ষিপ্ত হয় অর্থাৎ কণাটি যে পথে যায় সে পথেই ফিরে আসে। মনে হয় যেন স্বর্ণপাতের পরমাণুর সাথে $\alpha$-কণার মুখমুখী সংঘর্ষ হয়েছে। এটি সে সময়ে বিস্ময়কর ঘটনা ছিল। এটি থমসন মডেল দিয়ে ব্যাখ্যা করা যায় না।

৪। যদি $\alpha$-কণা তার গতি পথের সাথে $\phi$ কোণে বিক্ষিপ্ত হয় এবং সেই বরাবর $N$ সংখ্যক $\alpha$-কণা আপতিত হয় তবে দেখা গেছে, $\dfrac{1}{\sin^4\dfrac{\phi}{2}} \propto \log_e N$ সমীকরণটি মেনে চলে।

৫। যদি পাতের পুরুত্ব $t$ হয় এবং $N$ সংখ্যক $\alpha$-কণা $\phi$ কোণে বিক্ষিপ্ত হয় তবে দেখা গেছে, $\dfrac{N}{t}$ =ধ্রুব সংখ্যা।

### ৯.২.৩ রাদারফোর্ড পরীক্ষার সিদ্ধান্তঃ

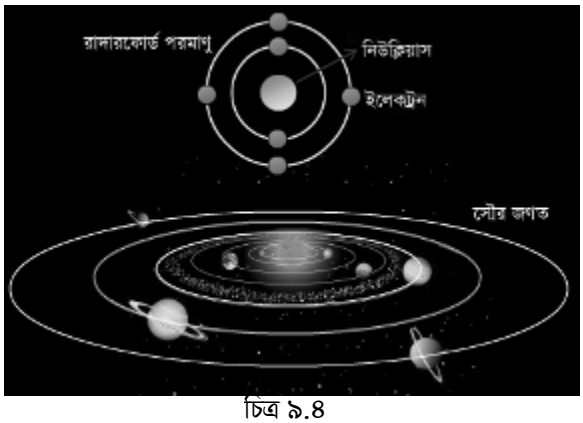
১। অধিকাংশ $\alpha$-কণাই স্বর্ণপাত ভেদ করে সরাসরি বিপরীত দিকে বেরিয়ে আসে। এর থেকে সিদ্ধান্ত নেয়া যায় যে, **পরমাণুর মধ্যে অধিকাংশ স্থানই শূন্য।**

২। কিছু সংখ্যক $\alpha$-কণা অতি সামান্য বিক্ষিপ্ত হয়। এক্ষেত্রে $\theta \approx 1^\circ$ অর্থাৎ বিক্ষেপ কোণ $1^\circ$ এর কাছাকাছি। একে স্বল্প কোণে বিক্ষেপ বলে। এই ঘটনাটিকে $\alpha$-কণা এবং ইলেকট্রনের মধ্যে কুলম্বীয় আকর্ষণ বলের ফলাফল বলে ধরে নেয়া যায়। $\alpha$-কণার চার্জ $+2e$ এবং ইলেকট্রনের চার্জ $-e$ ফলে স্থির তড়িৎ কুলম্বীয় আকর্ষণ ক্রিয়া করে। যেহেতু $\alpha$-কণার ভর ইলেকট্রনের ভরের প্রায় $7000$ গুণ তাই এই আকর্ষণ বলের কারণে $\alpha$-কণা অতি সামান্যই বিক্ষিপ্ত হয়। এর থেকে সিদ্ধান্ত নেয়া যায় যে, **পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রনগুলো বিচ্ছিন্ন ভাবে অবস্থান করে।**

৩। অতি অল্প সংখ্যক $\alpha$-কণা $90^\circ$ কোণের চেয়ে বেশী কোণে বিক্ষিপ্ত হয়। কোনো কোনো সময় দেখা যায় একটি $\alpha$-কণা $180^\circ$ কোণের বিক্ষিপ্ত হয় অর্থাৎ কণাটি যে পথে যায় সে পথেই ফিরে আসে। এর অর্থ হলো, যে সব $\alpha$-কণা ধনাত্মক চার্জের খুব কাছ দিয়ে গেছে সেই সব $\alpha$-কণাগুলো $90^\circ$ কোণের চেয়ে বেশী কোণে বিক্ষিপ্ত হয়েছে এবং যে সব $\alpha$-কণা ধনাত্মক চার্জের সাথে সরাসরি সংঘর্ষে লিপ্ত হয়েছে সেগুলো $180^\circ$ কোণে বিক্ষিপ্ত হয়েছে। এর থেকে রাদারফোর্ড এই সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে, **পরমাণুর সমগ্র ধনাত্মক চার্জ এবং প্রায় সমগ্র ভর অতি অল্প পরিসরে কেন্দ্রীভূত থাকে। একে রাদারফোর্ড পরমাণুর নিউক্লিয়াস নাম দেন।**

### ৯.২.৪ রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলঃ

একটি সম্পূর্ণ পরমাণুর মধ্যে অতি অল্প পরিসরে বেশী ভর ও ধনাত্মক চার্জ বিশিষ্ট নিউক্লিয়াস এবং বাকি বিশাল অঞ্চল জুড়ে শূন্যস্থান যেখানে বিক্ষিপ্ত ভাবে ঋণাত্মক চার্জযুক্ত ইলেকট্রন ছড়িয়ে আছে। ধনাত্মক চার্জ বিশিষ্ট নিউক্লিয়াসের কাছে এই ভাবে ঋণাত্মক চার্জযুক্ত ইলেকট্রন থাকতে পারে না কারণ এখানে স্থির তড়িৎ কুলম্বীয় আকর্ষণ ক্রিয়া করছে। তাই রাদারফোর্ড পরমাণুকে সৌরমন্ডলের সাথে তুলনা করলেন।



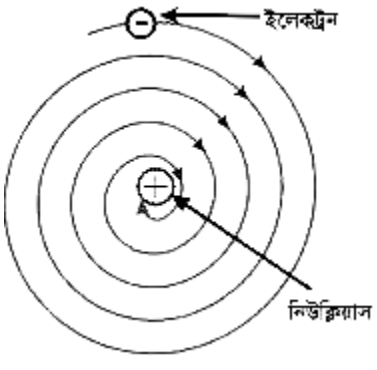
চিত্র ৯.৪

সৌরমন্ডলে যেমন অধিকাংশ অঞ্চলই ফাঁকা স্থান। সূর্যে অল্প পরিসরে সৌরমন্ডলের অধিকাংশ ভরই কেন্দ্রীভূত আছে। গ্রহগুলো বিচ্ছিন্নভাবে সূর্যের চারিদিকে ছড়িয়ে প্রত্যেকে এমন দূরত্বে থেকে আবর্তন করছে যেন গ্রহগুলোর প্রত্যেকের কেন্দ্রমুখী বল ও সূর্যের সাথে তার মহাকর্ষ বল সমান হয়। ঠিক তেমনি নিউক্লিয়াসে অল্প পরিসরে পরমাণুর প্রায় সমস্ত ভর ও ধনাত্মক চার্জ কেন্দ্রীভূত আছে। ইলেকট্রনগুলো বিচ্ছিন্নভাবে নিউক্লিয়াসের চারিদিকে ছড়িয়ে প্রত্যেকে এমন দূরত্বে থেকে আবর্তন করছে যেন ইলেকট্রনগুলো প্রত্যেকের কেন্দ্রমুখী বল ও নিউক্লিয়াসের সাথে তার কুলম্বীয় বল সমান হয়। এটি প্রকৃতপক্ষে বোহ্‌রের প্রস্তাব। তাই এ মডেলকে বলা হয় বোহ্‌র-রাদারফোর্ড মডেল। নিম্নে আলোচনা করা হয়েছে (পাঠ ৯.২.৫)।

### ৯.২.৫ রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলের সীমাবদ্ধতা ঃ

রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলের সীমাবদ্ধতা নিম্নে দেয়া হলো :

১। ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের চারিদিকে বৃত্তাকার পথে আবর্তন করছে। সেজন্য ইলেকট্রনের সর্বদা কেন্দ্রমুখী ত্বরণ $\frac{v^2}{r}$ আছে। চিরায়ত বলবিদ্যায় ম্যাক্সওয়েলের তত্ত্ব অনুসারে ত্বরান্বিত চার্জ তড়িৎচৌম্বক শক্তি বিকিরণ করে। সুতরাং আবর্তনরত ইলেকট্রন অবিচ্ছিন্ন তড়িৎচৌম্বক তরঙ্গ বিকিরণ করবে। অপর দিকে শক্তি বিকিরণ করলে ইলেকট্রনের মোটশক্তি হ্রাস পাবে ফলে লেখ অনুসারে ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের দিকে এগিয়ে আসবে এবং ইলেকট্রনের বেগ বৃদ্ধি পাবে। এই ভাবে ক্রমান্বয়ে নিউক্লিয়াসের দিকে এগিয়ে গিয়ে নিউক্লিয়াসকে আঘাত করবে ফলে পরমাণুটি ধ্বংস হয়ে যাবে। তাত্ত্বিক গণনায় দেখা গেছে এরকম হলে কোনো পরমাণুর আয়ু $10^{-8}$s এর বেশী হত না।



চিত্র- ৯.৫

সুতরাং রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলে পরমাণু অস্থায়ী। কিন্তু বাস্ড়বে বস্তুর স্থায়িত্ব প্রমাণ করে পরমাণু অস্থায়ী নয়।
২। ইলেকট্রন যদি অনবরত শক্তি বিবিরণ করতে থাকে তবে ইলেকট্রনের বেগ বৃদ্ধি পাবে। ফলে প্রতি মূহুর্তে ইলেকট্রনের পর্যায়কাল কমতে থাকবে এবং কম্পাঙ্ক বাড়তে থাকবে। ক্রমান্বয়ে কম্পাঙ্ক বৃদ্ধির ফলে ইলেকট্রন সকল তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের তরঙ্গের বিকিরণ করবে অর্থাৎ পরমাণু থেকে নিরবিচ্ছিন্ন বর্ণালী পাওয়া যাবে। কিন্তু হইড্রোজেন, হিলিয়াম ইত্যাদি মৌলের পরমাণবিক বর্ণালীগুলো হলো রেখা বর্ণালী। নিরবিচ্ছিন্ন নয়।

## সার-সংক্ষেপ :

**রাদারফোর্ড পরমাণু মডেল ঃ**

নিউক্লিয়াসে অল্প পরিসরে পরমাণুর প্রায় সমস্ড় ভর ও ধনাত্মক চার্জ কেন্দ্রীভূত আছে। ইলেকট্রনগুলো বিচ্ছিন্নভাবে নিউক্লিয়াসের চারিদিকে ছড়িয়ে প্রত্যেকে এমন দূরত্বে থেকে আবর্তন করছে যেন ইলেকট্রনগুলো প্রত্যেকের কেন্দ্রমুখী বল ও নিউক্লিয়াসের সাথে তার কুলম্বীয় বল সমান হয়।

**রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলর সীমাবদ্ধতা ঃ**

১। চিরায়ত বলবিদ্যায় ম্যাক্সওয়েলের তত্ত্ব অনুসারে ত্বরান্বিত চার্জ তাড়িতচৌম্বক শক্তি বিকিরণ করে। সুতরাং আবর্তনরত ইলেকট্রন অবিচ্ছিন্ন তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ বিকিরণ করবে। অপর দিকে শক্তি বিকিরণ করলে ইলেকট্রনের মোটশক্তি হ্রাস পাবে ফলে ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের দিকে এগিয়ে আসবে এবং ইলেকট্রনের বেগ বৃদ্ধি পাবে। এই ভাবে ক্রমান্বয়ে নিউক্লিয়াসের দিকে এগিয়ে গিয়ে নিউক্লিয়াসকে আঘাত করবে ফলে পরমাণুটি ধ্বংস হয়ে যাবে। সুতরাং রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলে পরমাণু অস্থায়ী। কিন্তু বাস্ড়বে বস্তুর স্থায়িত্ব প্রমাণ করে পরমাণু অস্থায়ী নয়।

## পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৯.২

**বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ**

১। আলফা কণা বিকিরণ পরীক্ষা দ্বারা রাদারফোর্ড পরমাণুতে কীসের উপস্থিতির ব্যাখ্যা প্রদান করেন?

ক. ইলেকট্রন　খ. প্রোটন　গ. নিউক্লিয়াস　ঘ. নিউট্রন

২। রাদারফোর্ডের আলফা কণা পরীক্ষা সোনার পাত ব্যবহার করা হয় কারণ

i. সোনার পাতকে পিটিয়ে খুব পাতলা, প্রায় $10^{-7}$ m পুরুত্বের পাতে পরিনত করা যায়।

ii. প্রতিটি $\alpha$-কণা পাতের মধ্যস্থ একটি মাত্র পরমাণুর সাথে সংঘাত বা অন্ড়ঃক্রিয়া ঘটে।

iii. সোনার পারমাণবিক সংখ্যা 79, যা আলফা কণার চেয়ে অনেকগুণ ভারী।

নীচের কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii　খ. ii ও iii　গ. i ও iii　ঘ. i, ii ও iii

# পাঠ ৯.৩ : বোরের পরমাণু মডেল
# Bohr Atom Model

**উদ্দেশ্য**

**এ পাঠের শেষে আপনি-**

- বোরের মডেল ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- বোরের মডেলের সাহায্যে রাদারফোর্ডের মডেলের সীমাবদ্ধতা অতিক্রমণ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- বোরের মডেলের সাহায্যে হাইড্রোজেন পরমাণুর ব্যাসার্ধ ও শক্তির রাশিমালা প্রতিপাদন করতে পারবেন।

### ৯.৩.১ বোরের পরমাণু মডেল(Bohr Atom Model) ঃ

বিজ্ঞানী নীল্‌স বোর (Niels Bohr) রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলের সাথে পণ্ঢাঙ্ক ও আইনস্টাইনের কোয়ান্টাম তত্ত্ব প্রয়োগ করে নতুন এক পরমাণু মডেলের চিত্র উপস্থাপন করেন। এটিই বোরের পরমাণু মডেল নামে পরিচিত।
রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলের যে বিষয়গুলো নিয়ে কোনো সমস্যা ছিল না সেগুলোকে তিনি অপরিবর্তিত রাখেন। যেমন,

রাদারফোর্ড পরমাণু মডেলে পরমাণু অস্থায়ীত্ব এবং অবিচ্ছিন্ন বর্ণালী জনিত সমস্যা সমাধান করতে গিয়ে বোর এমন কিছু যুগান্ড়কারী ধারণা উপস্থাপন করেন যা সনাতনী পদার্থবিজ্ঞানের সাথে আদৌ সংগতিপূর্ণ নয় বরং ঘোর বিরোধী। তবুও তৎকালীন পরীক্ষলব্ধ ফলাফলের সাথে বোরের পরমাণু মডেল অনেকটাই সংগতিপূর্ণ হওয়ায় এই মডেলটি বিজ্ঞানীদের কাছে গৃহিত হয়।

### ৯.৩.২ বোরের তত্ত্বের স্বীকার্য (Postulates of Bohr's Theory) ঃ

বোরের পরমাণু মডেল তিনটি স্বীকার্যের উপর প্রতিষ্ঠিত।

**বোরের প্রথম স্বীকার্যঃ** কোনো পরমাণুর ইলেকট্রনগুলো কতকগুলি অনুমোদিত কক্ষপথে বৃত্তাকার পথে আবর্তন করে। অনুমদিত কক্ষপথে আবর্তন কালে ইলেকট্রন কোনো শক্তি বিকিরণ বা শোষণ করেনা। এই অনুমোদিত কক্ষপথগুলোকে স্থায়ী কক্ষপথও বলে।

**বোরের দ্বিতীয় স্বীকার্যঃ** যে কক্ষপথগুলোতে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ $\frac{h}{2\pi}$ এর অখন্ড গুণিতক সেগুলোই হলো অনুমদিত কক্ষপথ বা স্থায়ী কক্ষপথ। পণ্ঢাঙ্কের ধ্রুবক $h = 6.63\times10^{-34}$Js ।

দ্বিতীয় স্বীকার্য অনুসারে, কৌণিক ভরবেগ, $\mathrm{L} = \frac{nh}{2\pi}$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.১)

এখানে, $n = 1,2,3,4,.....$ ।

**বোরের তৃতীয় স্বীকার্যঃ** কোনো ইলেকট্রনের এক স্থায়ী কক্ষপথ থেকে অন্য আর এক স্থায়ী কক্ষপথে সংক্রমিত হওয়া সম্ভব। শুধু মাত্র সংক্রমণ কালে তাড়িতচৌম্বক বিকিরণ নিংসৃত বা শোষিত হয়। এই বিকিরণ হলো সমসত্ত্ব এবং এর কম্পাঙ্ক $f$ হলে নিংসৃত বা শোষিত তাড়িতচৌম্বক বিকিরণ $hf = E_1 \sim E_2$ সমীকরণ দিয়ে নির্দেশিত হবে।
একথা সত্য যে, বোরের স্বীকার্যগুলো কোনোটিই সনাতন পদার্থবিজ্ঞানের সাথে সংগতিপূর্ণ নয়। তবুও হাইড্রোজেন সহ কয়েকটি মৌলের পারমাণবিক বর্ণালীর বিশেণ্ঢষণে বোর তত্ত্বের সাফল্য উলেণ্ঢখযোগ্য। এমনকি সামগ্রিকভাবে যেকোনো মৌলের পারমাণবিক গঠন সম্বন্ধে একটি পরিষ্কার চিত্র বোরের পরমাণু তত্ত্ব থেকে পাওয়া যায়। সে কারণে পরীক্ষলব্ধ ফলাফলের সাথে বোর তত্ত্বের কিছু অসংগতি থাকলেও বোর মডেলকেই পারমাণবিক গঠনের ভিত্তি হিসাবে ধরে নেয়া হয়।

### ৯.৩.৩ বোর তত্ত্বের গ্রয়োগ (Application of Bohr's Theory) ঃ

**১। $n$ – তম অনুমোদিত বা স্থায়ী কক্ষপথের ব্যাসার্ধ (Radius of the n-th Stationary Orbit) ঃ**

মনে করি $e$ চার্জ ও $m$ ভরের একটি ইলেকট্রনের $n$ তম অনুমোদিত বা স্থায়ী কক্ষপথে $v_n$ বেগে আবর্তন করে এবং এই স্থায়ী কক্ষপথের ব্যাসার্ধ $r_n$ ।

তাহলে, ইলেকট্রনে $n$ তম স্থায়ী কক্ষপথে কৌণিক ভরবেগ, $L_n = mv_n r_n$ ।

দ্বিতীয় স্বীকার্য অনুসারে, $mv_n r_n = \frac{nh}{2\pi}$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.২)

এখানে, $n = 1,2,3,4,.....$

বা, $v_n = \frac{nh}{2\pi mr_n}$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.৩)

যদি পরমাণবিক সংখ্যা $Z$ হয় তবে নিউক্লিয়াসের চার্জ $= Ze$

$n$ তম স্থায়ী কক্ষপথে অবস্থিত ইলেকট্রন ও নিউক্লিয়াসের মধ্যে ক্রিয়াশীল কুলম্ব বল,

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze \times e}{r_n^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r_n^2}$$

$r_n$ ব্যাসার্ধের $n$ তম অনুমোদিত কক্ষ পথে $v_n$ বেগে আবর্তনরত ইলেকট্রনের কেন্দ্রবিমুখী বল, $F = \frac{mv_n^2}{r_n}$

আবার কক্ষপথের স্থিতিশীলতার শর্ত থেকে পাই,

নিউক্লিয়াস ও ইলেকট্রনের মধ্যে আকর্ষণী বল = ইলেকট্রনের আবর্তনজনিত কেন্দ্রবিমুখী বল।

সুতরাং, শর্তানুসারে, $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze \times e}{r_n^2} = \frac{mv_n^2}{r_n}$

বা, $m_e v_n^2 = \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 r_n}$

বা, $v_n^2 = \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 mr_n}$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.৪)

(৯.৪) নং সমীকরণে (৯.৩) নং সমীকরণের মান বসালে, $\frac{n^2h^2}{4\pi^2m^2r_n^2} = \frac{Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 m\ r_n}$

বা, $r_n = \frac{\varepsilon_0 n^2 h^2}{\pi Ze^2 m}$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ...(৯.৫)

তাহলে, $r_1 = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi Ze^2 m}$

সুতরাং, $r_n = n^2 r_1$

**হাইড্রেজেন পরমাণুর ক্ষেত্রে,** $Z = 1$

অতএব, $r_n = \frac{\varepsilon_0 n^2 h^2}{\pi e^2 m}$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.৬)

(৯.৬) নং সমীকরণটি হাইড্রেজেন পরমাণুর $n$ তম অনুমোদিত কক্ষপথের ব্যাসার্ধ নির্দেশ করে।

সুতরাং, বলা যায়, $r_n \propto n^2$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ...(৯.৭)

$n = 1$ বসালে, $r_n = r_1$ অর্থাৎ প্রথম অনুমোদিত কক্ষপথের ব্যাসার্ধ। এটাই $r$-এর ক্ষুদ্রতম মান অর্থাৎ এই কক্ষপথটি নিউক্লিয়াসের সবচেয়ে কাছে অবস্থিত। এই কক্ষপথকে বোরের প্রথম কক্ষপথ বা পরমাণুর K-সেল বলে। বোরের প্রথম কক্ষপথকে $a_0$ দিয়ে নির্দেশ করা হয় অর্থাৎ $r_1 = a_0$ ।

(৯.৬) নং সমীকরণে $n = 1$ বসালে, $a_0 = \frac{\varepsilon_0 h^2}{\pi e^2 m}$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.৮)

এখানে,

শূন্য মাধ্যমে ভেদনযোগ্যতা, $\varepsilon_0 = 8.854\times10^{-12}\ \mathrm{Nm^2C^{-2}}$

পণ্ড্যাংকের ধ্রুবক, $h = 6.63\times10^{-34}$ Js

ইলেকট্রনের ভর, $m = 9.11\times10^{-31}$ kg

ইলেকট্রনের চার্জ, $e = 1.6\times10^{-19}$ C

মান বসালে, $a_0 = \dfrac{8.854\times10^{-12}\times\left(6.63\times10^{-34}\right)^2}{3.14\times\left(1.6\times10^{-19}\right)^2\times9.11\times10^{-31}}$

ev, $a_0 = 0.53\times10^{-10}\,\mathrm{m} = 0.53\text{Å}$ … … … … … … … … … … … … … … … … … … … (৯.৯)

তাহলে যেকোনো পরমাণুর জন্য $a_0 = \dfrac{0.53\times10^{-10}}{Z}\mathrm{m} = \dfrac{0.53}{Z}\text{Å}$

(৯.৬) নং সমীকরণের সাথে (৯.৮) নং সমীকরণের তুলনা করলে,

$r_n = n^2a_0$ … … … … … … … … … … … …… … … … … … … …… … … (৯.১০)

**২। $n-$তম অনুমোদিত বা স্থায়ী কক্ষপথে ইলেকট্রনের বেগ (Velocity of the Electron in n-th Stationary Orbit) ঃ**

(৯.৩) নং সমীকরণে (৯.৫) নং সমীকরণের মান বসালে, $v_n = \dfrac{nh}{2\pi m_e\left(\dfrac{\varepsilon_0 n^2h^2}{\pi Ze^2m_e}\right)}$

বা, $v_n = \dfrac{Ze^2}{2\varepsilon_0 nh}$ … … … … … … … … … … … …… … … … … … … … … (৯.১১)

(৯.১১) নং সমীকরণ $n-$ তম অনুমোদিত কক্ষপথে অবস্থিত ইলেকট্রনের বেগ নির্দেশ করে।

তাহলে, $r_1 = \dfrac{Ze^2}{2\varepsilon_0 h}$

সুতরাং, $r_n = \dfrac{r_1}{n}$

**হাইড্রেজেন পরমাণুর ক্ষেত্রে,** $Z = 1$

অতএব, $v_n = \dfrac{e^2}{2\varepsilon_0 nh}$ … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … (৯.১২)

$n = 1$ বসালে, $v_1 = \dfrac{e^2}{2\varepsilon_0 h}$

সুতরাং $v_n = \dfrac{v_1}{n}$

অর্থাৎ প্রথম অনুমোদিত কক্ষপথে অর্থাৎ K- সেলে ইলেকট্রনের বেগ, $v_1 = \dfrac{e^2}{2\varepsilon_0 h}$ … … … … … … (৯.১৩)

মান বসালে, $v_1 = \dfrac{\left(1.6\times10^{-19}\right)^2}{2\times8.854\times10^{-12}\times6.63\times10^{-34}}$

বা, $v_1 = 2.2\times10^6\,\mathrm{ms}^{-1}$

(৯.১২) নং সমীকরণের সাথে (৯.১৩) নং সমীকরণের তুলনা করলে,

$$v_n = \frac{v_1}{n} \quad \text{(৯.১৪)}$$

**৩। $n-$তম অনুমোদিত বা স্থায়ী কক্ষপথে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ(Angular Momemtum of the Electron in n-th Stationary Orbit) ঃ**

বোরের দ্বিতীয় স্বীকার্য অনুসারে, $L_n = mv_n r_n = \frac{nh}{2\pi}$ । এখানে, $n = 1,2,3,4,.....$

কৌণিক ভরবেগ পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা $Z$ এর উপর নির্ভরশীল নয়। সুতরাং সকল পরমাণুর ক্ষেত্রেই ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ একই।

তাহলে, $L_1 = \frac{h}{2\pi}$ সুতরাং, $L_n = nL_1$

সমীকরণ থেকে এটা সুস্পষ্ট যে, $L_n \propto n$ অর্থাৎ, $L_1 : L_2 : L_3 = 1:2:3$ । সুতরাং, অনুমোদিত কক্ষপথ সংখ্যা যত বাড়ে $L_n$ মান তত বাড়ে।

অর্থাৎ, $L_n = nL_1$ ... (৯.১৫)

সুতরাং, $L_1 = \frac{h}{2\pi} = \frac{6.63\times10^{-34}}{2\times3.14} = 1.06\times10^{-34}$ Js

$L_2 = 2\times\frac{h}{2\pi} = 2\times1.06\times10^{-34} = 2.12\times10^{-34}$ Js ইত্যাদি।

**৪। $n-$তম অনুমোদিত বা স্থায়ী কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি (Energy of the Electron in n-th Stationary Orbit)ঃ**

$n-$তম অনুমোদিত বা স্থায়ী কক্ষপথে ইলেকট্রনের গতিশক্তি, $E_{k_n} = \frac{1}{2}m_e v_n^2$

(৯.১১) নং সমীকরণ থেকে $v_n$ এর মান বসালে, $E_{k_n} = \frac{1}{2}m_e\left(\frac{Ze^2}{2\varepsilon_0 nh}\right)^2$

বা, $E_{k_n} = \frac{1}{2}m_e \times \frac{Z^2e^4}{4\varepsilon_0^2 n^2 h^2}$

বা, $E_{k_n} = \frac{m_e Z^2 e^4}{8\varepsilon_0^2 n^2 h^2}$ ... (৯.১৬)

$n-$তম অনুমোদিত বা স্থায়ী কক্ষপথে ইলেকট্রনের বিভব $V_n = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze}{r_n}$

অতএব, $n-$তম অনুমোদিত বা স্থায়ী কক্ষপথে ইলেকট্রনের স্থিতিশক্তি, $E_{p_n} = (-e)V_n$

বা, $E_{p_n} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze(-e)}{r_n}$

বা, $E_{p_n} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{r_n}$

(৯.৫) নং সমীকরণ থেকে $r_n$ এর মান বসালে, $r_n = \dfrac{\varepsilon_0 n^2 h^2}{\pi Z e^2 m_e}$

$$E_{p_n} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Ze^2}{\left(\dfrac{\varepsilon_0 n^2 h^2}{\pi Z e^2 m_e}\right)}$$

বা, $E_{p_n} = -\dfrac{m_e Z^2 e^4}{4\varepsilon_0^2 n^2 h^2}$ … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … (৯.১৭)

মোট শক্তি $E_n = E_{k_n} + E_{p_n} = \dfrac{m_e Z^2 e^4}{8\varepsilon_0^2 n^2 h^2} - \dfrac{m_e Z^2 e^4}{4\varepsilon_0^2 n^2 h^2}$

$E_n = -\dfrac{m_e Z^2 e^4}{8\varepsilon_0^2 n^2 h^2}$ … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … (৯.১৮)

এটাই $n$ তম কক্ষ পথের মোট শক্তি। শক্তির ঋণাত্মক মান প্রমাণ করে যে ইলেকট্রনকে পরমাণু থেকে বিচ্ছিন্ন করতে বাহির থেকে শক্তি সরবরাহ করা প্রয়োজন।

$n = 1$ বসালে, $E_1 = -\dfrac{m_e Z^2 e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}$

সুতুরাং, $E_n = \dfrac{E_1}{n^2}$

অর্থাৎ, $E_n \propto \dfrac{1}{n^2}$ … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … (৯.১৯)

**হাইড্রেজেন পরমাণুর ক্ষেত্রে,** $Z = 1$

অতএব, $E_n = -\dfrac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 n^2 h^2}$ … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … (৯.২০)

বা, $E_n = -\dfrac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 n^2 h^2} = -\dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 \times 2n^2 \times \left(\dfrac{\varepsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2}\right)} = -\dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 \times 2n^2 \times a_0}$ $\left[\because a_0 = \dfrac{\varepsilon_0 h^2}{\pi e^2 m_e}\right]$

ev, $E_n = -\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{e^2}{2n^2 a_0}$ … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … (৯.২১)

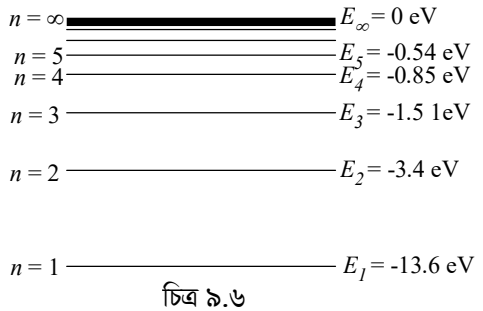
হাইড্রেজেন পরমাণুর ক্ষেত্রে, প্রথম অনুমোদিত বা স্থায়ী কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তির ক্ষেত্রে $n = 1$,

AZGe, $E_1 = -\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{e^2}{2a_0}$ … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … (৯.২২)

(৯.২২) নং সমীকরণে $a_0$ এবং $e$ এর মান বসালে,

$E_1 = -9\times10^9 \times \dfrac{\left(1.6\times10^{-19}\right)^2}{2\times0.53\times10^{-10}} = -21.7359\times10^{-19}\,\text{J}$ … … … … … … … … … … … … … (৯.২৩)

বা, $E_1 = -\dfrac{21.7359\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}}\,\text{eV}$





চিত্র ৯.৬

বা, $E_1 = -13.58\text{eV} \approx -13.6\text{eV}$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.২৪)

তাহলে $-13.6\,\text{eV}$ হলো হাইড্রেজেন পরমাণুর প্রথম কক্ষপথের অর্থাৎ ভূমিস্ড়র শক্তি। সুতরাং একটি হাইড্রোজেন পরমাণুকে আয়নিত করতে অর্থাৎ হাইড্রোজেন পরমাণু থেকে ইলেকট্রন মুক্ত করতে বাহির থেকে $13.6\,\text{eV}$ শক্তি সরবরাহ করতে হবে। একে হাইড্রোজেন পরমাণুর আয়নিত বিভব (ionization potential) বলে।

আবার, $E_n = \dfrac{-13.6\,\text{eV}}{n^2}$

**উদাহরণ ৯.১ ঃ হাইড্রোজেন পরমাণুর ৩য় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ বের করুন। এখানে $h = 6.63\times19^{-34}\,js$ ইলেকট্রনের ভর $9.1\times10^{-31}kg$ এবং ইলেকট্রনের চার্জ $1.6\times10^{-19}C$**

**সমাধান ঃ** দেয়া আছে, $h = 6.63\times19^{-34}\,js$ , $m = 9.1\times10^{-31}kg$ , $e = 1.6\times10^{-19}C$ ,
$\varepsilon_0 = 8.854\times10^{-12}C^2N^{-1}m^{-2}$, $n = 3$

আমার জানি, হাইড্রজেন পরমাণুর ইলেকট্রনের $n$ তম অনুমোদিত কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, $r_n = \dfrac{\varepsilon_0 n^2 h^2}{\pi e^2 m_e}$

মান বসালে, $r_n = \dfrac{8.854\times10^{-12}\times3^2\left(6.63\times19^{-34}\right)^2}{3.14\times9.1\times10^{-31}\times\left(1.6\times10^{-19}\right)^2}$

বা, $r_n = \dfrac{8.854\times\times6.63^2\times3^2}{3.14\times9.1\times1.6^2}\times10^{-11} = 47.86\times10^{-11} = 4.786\times10^{-10}m$

বা, $r_n = 4.786A^\circ$

উ: 4.786 Å

**উদাহরণ ৯.২ ঃ হাইড্রোজেন পরমাণুর দ্বিতীয় কক্ষপথের ইলেকট্রনের শক্তি নির্ণয় করুন।**

**সমাধান ঃ** আমরা জানি, হাইড্রোজেন পরমাণুর $n$-তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি, $E_n = -\dfrac{me^4}{8n^2h^2\varepsilon_0^2}$

সুতরাং দ্বিতীয় কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি, $E_2 = -\dfrac{9.1\times10^{-31}\times\left(1.6\times10^{-19}\right)^4}{8\times2^2\times\left(6.63\times10^{-34}\right)^2\times8.85\times10^{-12}} = -5.413\times10^{-19}\,\text{J}$

$E_2 = \dfrac{-5.413\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}}\text{eV} = 3.38\text{eV}$

উ: 3.38eV

**উদাহরণ ৯.৩ ঃ একটি হাইড্রোজের পরমাণুর ভূমি স্ড়রের শক্তি $-13.6\,\text{eV}$ । একটি ইলেকট্রন প্রথম উত্তেজিত অবস্থা থেকে ভূমিতে ফিরে আসলে কত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটন নির্গত করবে বের করুন।**

**সমাধান ঃ** দেয়া আছে, $E_1 = -13.6\,\text{eV}$
প্রথম উত্তেজিত অবস্থার ক্ষেত্রে, $n = 2$
আমরা জানি, $E_n = \dfrac{E_1}{n^2}$
অতএব, $E_2 = \dfrac{-13.6\,\text{eV}}{2^2} = -3.4\,\text{eV}$

তাহলে, $\Delta E = E_2 - E_1 = -3.4 - (-13.6) = 10.2\,\text{eV} = 10.2 \times 1.6 \times 10^{-19}\,\text{J} = 16.32 \times 10^{-19}\,\text{J}$

আবার, $\Delta E = h\nu = \dfrac{hc}{\lambda}$

অতএব, $\lambda = \dfrac{hc}{\Delta E} = \dfrac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{16.32 \times 10^{-19}} = 1.21875 \times 10^{-7}\,\text{m} = 1219\text{Å}$

উ: 1219Å

**৯.৩.৪ হাইড্রোজেন বর্ণালীতে বোরের তত্ত্বের ব্যাখ্যা (Spectrum of Hydrogen : Explanation on Bohr Theory)ঃ**

বোরের তৃতীয় স্বীকার্য থেকে পাই, কোনো ইলেকট্রনের এক উচ্চ স্থায়ী কক্ষপথ $m$ থেকে অন্য আর এক নিম্ন স্থায়ী কক্ষপথ $n$ সংক্রমিত হলে সংক্রমণ কালে তড়িৎচৌম্বকীয় বিকিরণ নিংসৃত। এর কম্পাঙ্ক $f$ হলে নিংসৃত তড়িৎচৌম্বকীয় বিকিরণ,

$hf = E_m - E_n$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.২৫)

এখানে, $E_m =$ $m$ স্থায়ী কক্ষপথের মোট শক্তি এবং $E_n =$ $n$ স্থায়ী কক্ষপথের মোট শক্তি।

যদি একটি ইলেকট্রন উচ্চ শক্তি স্ড়র $m$ স্থায়ী কক্ষপথ থেকে নিম্ন শক্তি স্ড়র $n$ স্থায়ী কক্ষপথে নেমে আসে তবে এই দুই কক্ষ পথের শক্তি স্ড়রের পার্থক্যের সমান শক্তি নিঃসরণ করবে।

(৯.২০) নং সমীকরণ থেকে লেখা যায়, $E_m = -\dfrac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 m^2 h^2}$ এবং $E_n = -\dfrac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 n^2 h^2}$

অতএব, (৯.১৮) নং সমীকরণে মান বসালে, $hf = -\dfrac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 m^2 h^2} - \left(-\dfrac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 n^2 h^2}\right)$

বা, $hf = \dfrac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}\left(\dfrac{1}{n^2} - \dfrac{1}{m^2}\right)$

বা, $f = \dfrac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^3}\left(\dfrac{1}{n^2} - \dfrac{1}{m^2}\right)$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.২৬)

বা, $\dfrac{c}{\lambda} = \dfrac{m_e Z^2 e^4}{8\varepsilon_0^2 h^3}\left(\dfrac{1}{n^2} - \dfrac{1}{m^2}\right)$

বা, $\dfrac{1}{\lambda} = \dfrac{m_e Z^2 e^4}{8\varepsilon_0^2 c h^3}\left(\dfrac{1}{n^2} - \dfrac{1}{m^2}\right)$

$\dfrac{1}{\lambda}$ অর্থাৎ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিপরীত সংখ্যাকে বলা হয় বিকিরণের কম্পন সংখ্যা (weve number) বা শূন্য স্থানে একক দৈর্ঘ্যে তরঙ্গ সংখ্যা,

$\bar{f} = \dfrac{1}{\lambda} = \dfrac{f}{c}$, এখানে c= আলোর বেগ।

$\therefore \bar{f} = \dfrac{1}{\lambda} = R\left(\dfrac{1}{n^2} - \dfrac{1}{m^2}\right)$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.২৭)

এখান, $R = \dfrac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 c h^3} =$ ধ্রুবক ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.২৮)

$R$ কে রিডবার্গ ধ্রুবক (Rydberg Constant) বলে। সমীকরণের ধ্রুবকের সঠিক মানগুলো বসালে,

$R = 1.09625 \times 10^{7}\,\text{m}^{-1}$ পাওয়া যায়।

### ৯.৩.৫ বোর পরমাণু মডেলের সীমাবদ্ধতা

**Limitations of Bohr's Atom moder**

বোর পরমাণু মডেলের সীমাবদ্ধতা নিম্নরূপ :

১। বোর পরমাণু মডেল একাধিক ইলেকট্রন বিশিষ্ট পরমাণুসমূহের ব্যাখ্যা করতে পারে না। এ মডেলটি শুধুমাত্র হাইড্রোজেন পরমাণু ও হাইড্রোজেন সদৃশ এক ইলেকট্রনবিশিষ্ট আয়ন (যেমন- $He^+$, $Li^{2+}$) সমূহের বর্ণালী ব্যাখ্যা করতে পারে।

২। বোর পরমাণু মডেল অনুসারে পরমাণুর অভ্যন্ড়রে এক শক্তিস্ড়র থেকে অন্য শক্তিস্ড়রে ইলেট্রনের স্থানান্ড়র ঘটলে, বর্ণালীতে একটি রেখা সৃষ্টি হওয়ার কথা। অধিকতর সূক্ষ্ম বর্ণনালীক্ষণ যন্ত্রের (Spectrometer) সাহায্যে পর্যবেক্ষণ করলে দেখা যায় যে, হাইড্রোজেন ও হাইড্রোজেন সদৃশ অন্যান্য পরমাণুর আয়নের রেখা বর্ণালীতে, প্রতিটি রেখার স্থানে কয়েকটি সূক্ষ্ম রেখা (Fine spectral lines) অবস্থান করছে। বোর মডেল অনুসারে এটি ব্যাখ্যা করা যায় না। এক্ষেত্রে, বিজ্ঞানী সমারফিল্ড (Sommerfeld), ইলেকট্রনের কক্ষপথকে উপবৃত্তাকার কল্পনা করে বর্ণালী রেখার উপর একাধিক সূক্ষ্ম রেখার অবস্থানের ব্যাখ্যা প্রদান করেন।

৩। বোর পরমাণু মডেল অনুসারে একটি নির্দিষ্ট কক্ষপথে একই সময়ে ইলেকট্রনের অবস্থান ও ভরবেগ সুনির্দিষ্ট করা হয়েছে। কিন্তু হাইজেনবার্গ অনিশ্চয়তা নীতি (Heigenberg uncertainity principle) অনুসারে একটি নির্দিষ্ট কক্ষপথে অবস্থানরত একটি ইলেকট্রনের অবস্থান ও ভরবেগ একই সময়ে সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায় না। সুতরাং বোর পরমাণু মডেল হাইডেনবার্গ অনিশ্চয়তা নীতির পরিপন্থী।

**সার-সংক্ষেপ :**

**বোরের তত্ত্বের স্বীকার্য ঃ**

**প্রথম স্বীকার্যঃ** কোনো পরমাণুর ইলেকট্রনগুলো কতকগুলি অনুমোদিত কক্ষপথে বৃত্তাকার পথে আবর্তন করে। অনুমোদিত কক্ষপথে আবর্তন কালে ইলেকট্রন কোন শক্তি বিকিরণ বা শোষণ করেনা। এই অনুমোদিত কক্ষপথগুলোকে স্থায়ী কক্ষপথও বলে।

**দ্বিতীয় স্বীকার্যঃ** যে কক্ষপথগুলোতে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ $\frac{h}{2\pi}$ এর অখন্ড গুণিতক সেগুলোই হলো অনুমোদিত কক্ষপথ বা স্থায়ী কক্ষপথ। পণ্ঢাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6.63\times10^{-34}$Js ।

**বোরের তৃতীয় স্বীকার্যঃ** কোন ইলেকট্রনের এক স্থায়ী কক্ষপথ থেকে অন্য আর এক স্থায়ী কক্ষপথে সংক্রমিত হওয়া সম্ভব। শুধু মাত্র সংক্রমণ কালে তড়িৎচৌম্বকীয় বিকিরণ নিংসৃত বা শোষিত হয়। এই বিকিরণ হলো সমসত্ত্ব এবং এর কম্পাঙ্ক $\nu$ হলে নিংসৃত বা শোষিত তড়িৎচৌম্বকীয় বিকিরণ $h\nu = E_1 \sim E_2$ সমীকরণ দিয়ে নির্দেশিত হবে।

**পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৯.৩**

**বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ**

১। বোর তত্ত্বের স্বীকার্য অনুযায়ী–

ক. ইলেকট্রন যে কোনো কক্ষপথে পরিভ্রমন করতে পারে এবং সমস্ড় কক্ষপথেই উহার শক্তি অক্ষুন্ন থাকবে

খ. ইলেকট্রন কতগুলি অনুমোদিত কক্ষপথে আবর্তন করতে পারে এবং সেই সমস্ড় কক্ষপথেই ইলেকট্রনের শক্তি অক্ষুন্ন থাকবে

গ. ইলেকট্রন শুধুমাত্র অনুমোদিত কক্ষপথে আবর্তন করবে কিন্তু যেকোনো মানের শক্তির অধিকারী হতে পারবে

ঘ. ইলেকট্রন যে কোনো কক্ষপথে পরিভ্রমন করতে পারে এবং যেকোনো মানের শক্তির অধিকারী হতে পারবে

২। বোরের তত্ত্বানুযায়ী ইলেকট্রন উচ্চ কক্ষপথ থেকে সংক্রমণ করলে তার

ক. স্থিতিশক্তি এবং গতিশক্তি উভয়ই হ্রাস পায়

খ. স্থিতিশক্তি ও মোট শক্তি বৃদ্ধি পায় এবং গতিশক্তি হ্রাস পায়

গ. স্থিতিশক্তি হ্রাস পায় এবং গতিশক্তি বৃদ্ধি পায়

ঘ. স্থিতিশক্তি এবং গতিশক্তি উভয়ই বৃদ্ধি পায়

# পাঠ ৯.৪ : নিউক্লিয়াসের গঠন
## Structure of Nucleus

**উদ্দেশ্য**

**এ পাঠের শেষে আপনি-**

- নিউক্লিয়াসের গঠন ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- নিউক্লিয়াস সংক্রান্ড় বিভিন্ন রাশি বর্ণনা করতে পারবেন।
- ভর ত্র"টি ও বন্ধন শক্তি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

### ৯.৪.১ নিউক্লিয়াসের উপাদান (Elements of Nucleus) ঃ

রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল অনুযায়ী পরমাণুর সমস্ড় ধনাত্মক চার্জ এর কেন্দ্রে অতি অল্প স্থান জুড়ে থাকে। একে নিউক্লিয়াস বলে। পরমাণুর প্রায় সমস্ড় ভরই এর নিউক্লিয়াসে পুঞ্জিভূত থাকে। একটি নিউক্লিয়াসের ব্যাস $10^{-15}\,\mathrm{m}$ ক্রমের। নিউক্লিয়াসের আয়তন পরমাণুর আয়তনের প্রায় $10^{12}$ ভাগের একভাগ মাত্র।

1932 সালে চ্যাডউইক কর্তৃক নিউট্রন কণা আবিস্কৃত হয়। নিউক্লিয়াস মূলত প্রোটন ও নিউট্রন নামক দুই প্রকার মৌলিক কণা দিয়ে গঠিত। প্রোটন ধনাত্মক চার্জগ্রস্ড় এবং নিউট্রন তড়িৎ নিরপেক্ষ। নিউট্রন ও প্রোটনকে একত্রে নিউক্লিয়ন বলে। একমাত্র হাইড্রোজেন পরমাণুর নিউক্লিয়াসে কোনো নিউট্রন নেই, শুধু একটি প্রোটন আছে।

এখানে একটু জেনে রাখা দরকার যে, নিউক্লিয়াসের মধ্যে প্রোটন ও নিউট্রন দুটি স্থায়ী কণা হলেও মুক্ত অবস্থায় নিউট্রন স্থায়ী কণা নয়। নিজে থেকে $\beta$ -ক্ষয় ঘটলে প্রোটনে পরিণত হয়।

$$\underset{(\text{নিউট্রন})}{{}_0n^1} \rightarrow \underset{(\text{প্রোটন})}{{}_1H^1} + \underset{(\text{ইলেকট্রন})}{{}_{-1}\beta^0}$$

নিউট্রনের অর্ধায়ু হলো প্রায় $12\,\mathrm{minute}$ । এখানে আরো উলেণ্ঢখ্য যে, এই ক্ষয় ক্রিয়ার সাথে অ্যান্টিনিউট্রিনো নামে আরো একটি কণাও নির্গত হয়।

প্রোটনের চার্জ, $e = 1.6\times10^{-19}\,\mathrm{C}$

প্রোটনের ভর ইলেকট্রনের ভরের $1836$ গুণ।

সুতরাং, প্রোটনের ভর, $m_p = 1836\times9.11\times10^{-31} = 1.673\times10^{-27}\,\mathrm{kg}$

প্রোটনের পরীক্ষালব্ধ ব্যাসার্ধ, $r_p = 1.2\times10^{-15}\,\mathrm{m}$

নিউট্রনের ভর ইলেকট্রনের ভরের $1839$ গুণ।

সুতরাং, নিউট্রনের ভর, $m_p = 1839\times9.11\times10^{-31} = 1.675\times10^{-27}\,\mathrm{kg}$

নিউট্রনের ব্যাসার্ধ প্রোটনের পরীক্ষালব্ধ ব্যাসার্ধের সমান অর্থাৎ, $r_n = 1.2\times10^{-15}\,\mathrm{m}$

**নিউক্লিয়াস সংক্রান্ড় বিভিন্ন রাশি ঃ**

নিউক্লিয়াসের গঠন ও কার্যকারীতা সম্বন্ধে জানতে হলে কতকগুলো বিষয় সম্বন্ধে পরিষ্কার ধারণা রাখতে হবে। নীচে তার সংক্ষিপ্ত বিবরণ দেয়া হলো।

**১। একীভূত পারমাণবিক ভর একক (Unified atomic mass unit) ঃ**

পরমাণুর ভর এতই কম যে একে কিলোগ্রামে প্রকাশ করা হয় না। এর একক হলো একীভূত পারমাণবিক ভর একক (Unified atomic mass unit)। একে সংক্ষেপে u দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

একটি কার্বন-12 পরমাণুর ভরের $\frac{1}{12}$ অংশকে 1 u বলা হয়।

আমরা জানি, 1 গ্রাম পরমাণু কার্বনের ভর $= 12g$

আবার যেহেতু যেকোনো মৌলের 1 গ্রাম পরমাণুতে পরমাণু সংখ্যা = অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা = $6.023\times10^{23}$

অতএব 1 গ্রাম পরমাণু কার্বনে পরমাণু সংখ্যা = $6.023\times10^{23}$

সুতরাং, $6.023\times10^{23}$ টি কার্বন পরমাণুর ভর = $12g$

$$1\text{টি কার্বন পরমাণুর ভর} = \frac{12}{6.023\times10^{23}}g$$

অতএব, $\frac{1}{12}$ টি কার্বন পরমাণুর ভর $= \frac{1}{12}\times\frac{12}{6.02\times10^{23}} = \frac{1}{6.02\times10^{23}}g$

$$= 1.66\times10^{-24}g = 1.66\times10^{-27}\text{kg}$$

সুতরাং, $1\text{u} = 1.66\times10^{-27}\text{kg}$

প্রোটন ও নিউট্রনের ভরকে u এককে প্রকাশ করলে,

প্রোটনের ভর $= 1.673\times10^{-27}\text{kg}$

তাহলে, u এককে প্রোটনের ভর $= \frac{1.673\times10^{-27}}{1.66\times10^{-27}} = 1.0078\text{u}$

নিউট্রনের ভর $= 1.675\times10^{-27}\text{kg}$

তাহলে, u এককে নিউট্রনের ভর $= \frac{1.675\times10^{-27}}{1.66\times10^{-27}} = 1.0090\text{u}$

**১৯৬১** সালের আগ পর্যন্ড় অক্সিজেন-**১৬**-এর সাথে তুলনা করে আণবিক ও পারমাণবিক স্কেলে ভর পরিমাপ করা হতো তখন তাকে পারমাণবিক ভর একক (atomic mass unit) বলা হতো এবং (amu) দিয়ে প্রকাশ করা হতো। এখনো অনেকে একীভূত পারমাণবিক ভর এককে অর্থাৎ u-কে পারমাণবিক ভর একক তথা amu দ্বারা প্রকাশ করে থাকেন।

**২। ভর-শক্তির তুল্যতা (Mass-Energy Equivalance) ঃ**

শক্তির অপর একটি রূপ হলো ভর। পদার্থকে শক্তিতে এবং শক্তিকে পদার্থে রূপান্ড়রিত করা সম্ভব। তাই ভর ও শক্তি পরস্পরের সমতুল্য। এইজন্যই ভর বোঝাতে শক্তির এককে এবং কখনো শক্তি বোঝাতে ভরের একক ব্যবহার করা হয়। আইন্টাইনের আপেক্ষিক তত্ত্ব থেকে ভর-শক্তির তুল্যতা নীতি পাওয়া যায়।

কোনো পদার্থের $m$ ভর যদি শক্তিতে রূপান্ড়রিত করা হয় তবে, আইনস্টাইনের সূত্রানুসারে, তুল্য শক্তি, $E = mc^2$

তাহলে, 1u ভরের তুল্য শক্তি হবে, $E = 1.66\times10^{-27}\times\left(3\times10^{8}\right)^2$

বা, $E = 1.49\times10^{-10}\text{J}$

সুতরাং, 1u ভরের তুল্য শক্তি $= 1.49\times10^{-10}\text{J}$

অতএব, একটি প্রোটনের তুল্য শক্তি $= 1.0078\times1.49\times10^{-10} = 1.502\times10^{-10}\text{J}$

একটি নিউট্রনের শক্তি তুল্য শক্তি $= 1.0090\times1.49\times10^{-10} = 1.503\times10^{-10}\text{J}$

শক্তির একক জুল একটি বড় একক। পরমাণবিক শক্তিকে eV এককে প্রকাশ করা হয়।

এক বিভব পার্থক্যের দুটি বিন্দুর এক বিন্দু থেকে অপর বিন্দুতে একটি ইলেকট্রনকে স্থানান্ড়র করতে সম্পাদিত কাজকে 1eV বলে।

অর্থাৎ, 1eV = একটি ইলেকট্রনের চার্জ $\times 1\text{volt}$

বা, $1\text{eV} = 1.6\times10^{-19}\text{C}\times1\frac{\text{J}}{\text{C}} = 1.6\times10^{-19}\text{J}$

সুতরাং, 1u ভরের তুল্য শক্তি $= \frac{1.49\times10^{-10}}{1.6\times10^{-19}} = 931.2\times10^{-6}\text{eV}$

বা, $1\text{u} = 931.2\text{MeV}$

তাহলে, একটি প্রোটনের তুল্য শক্তি $= 1.0078 \times 931.2 = 938.6\text{MeV}$
একটি নিউট্রনের তুল্য শক্তি $= 1.0090 \times 931.2 = 939.7\text{MeV}$

একটি ইলেকট্রনের ভর $9.11 \times 10^{-31}\text{kg} = \dfrac{9.11 \times 10^{-31}}{1.66 \times 10^{-27}} = 0.00055\,\text{u}$

অতএব, একটি ইলেকট্রনের তুল্য শক্তি $= 0.00055 \times 931.2 = 0.511\text{MeV}$

**উদাহরণ ৯.৪ ঃ যদি মাটির ভরকে সম্পূর্ণরূপে শক্তিতে রূপান্তর করার উপায় জানা থাকতো তবে 1000 MW ক্ষমতা সম্পন্ন কোনো বিদ্যুৎ কেন্দ্রের জ্বালানী হিসাবে বছরে কত মাটির প্রয়োজন হতো বের করুন।**

**সমাধান ঃ** $1000\text{MW} = 1000 \times 10^6\,\text{W}$

এক বছর, $1\text{y} = 365 \times 86400\text{s}$

সুতরাং এক বছরের জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি, $E = 1000 \times 10^6 \times 365 \times 86400 = 3.1536 \times 10^{16}\,\text{J}$

আমরা জানি, $E = mc^2$

বা, $m = \dfrac{E}{c^2} = \dfrac{3.1536 \times 10^{16}}{(3 \times 10^8)^2} = 0.350\,\text{kg} = 350\,\text{g}$

উ: $350\,\text{g}$

**৩। নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ (Radius of Nucleus) ঃ**

আমরা দেখেছি একটি প্রোটন বা একটি নিউট্রনের ব্যাসার্ধ $r_0 = 1.2 \times 10^{-15}\,\text{m}$

তাহলে প্রতিটি প্রোটন বা নিউট্রনের আয়তন, $V' = \dfrac{4}{3}\pi r_0^3$

কোনো নিউক্লিয়াসে প্রোটন ও নিউট্রনের সমষ্টি = ভর সংখ্যা = $A$

তাহলে ঐ নিউক্লিয়াসের আয়তন $V = \dfrac{4}{3}\pi r_0^3 A$

যদি ঐ নিউক্লিয়াসের ব্যসার্ধ $R$ হয় তবে আয়তন $V = \dfrac{4}{3}\pi R^3$

সুতরাং, $\dfrac{4}{3}\pi R^3 = \dfrac{4}{3}\pi r_0^3 A$

বা, $R^3 = r_0^3 A$

বা, $R = r_0 A^{\frac{1}{3}}$ … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … (৯.২৯)

**উদাহরণ ৯.৫ ঃ ইউরেনিয়াম $\left({}^{235}_{92}\text{U}\right)$ এর ভর সংখ্যা $A = 235$ । ইউরেনিয়াম নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ নির্ণয় করুন।**

**সমাধান ঃ** দেয়া আছে, $A = 235$

আমরা জানি, নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ, $R = r_0 A^{\frac{1}{3}}$ এবং $r_0 = 1.2 \times 10^{-15}\,\text{m}$

অতএব, ইউরেনিয়াম নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ, $R_U = r_0 A^{\frac{1}{3}} = 1.2 \times 10^{-15} \times (235)^{\frac{1}{3}} = 7.4 \times 10^{-15}\,\text{m}$

উ: $7.4 \times 10^{-15}\,\text{m}$

**৩। নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব (Density of Nucleus) ঃ**

নিউক্লিয়াসটি ভর $M$ এবং আয়তন $V$ হলে,

ঘনত্ব, $\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$

বা, $\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi r_0{}^3 A}$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.৩০)

**উদাহরণ ৯.৬ ঃ কোনো মৌলের নিউক্লিয়াসের ভর সংখ্যা $A$ হলে সেই মৌলের নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব নির্ণয় করুন।**

**সমাধান ঃ** দেয়া আছে, নিউক্লিয়াসটির ভর, $M = A\ \mathrm{u} = A \times 1.66 \times 10^{-27}\ \mathrm{kg}$

নিউক্লিয়াসটির আয়তন, $V = \frac{4}{3}\pi r_0^3 A = \frac{4}{3} \times \pi \times \left(1.2 \times 10^{-15}\right)^3 \times A\,\mathrm{m}^3$

অতএব, নিউক্লীয় ঘনত্ব, $\rho = \frac{M}{V} = \frac{A \times 1.66 \times 10^{-27}}{\frac{4}{3} \times \pi \times \left(1.2 \times 10^{-15}\right)^3 \times A}$

বা, $\rho = 2.3 \times 10^{17}\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$

সাধারণত নিউক্লীয় ঘনত্বের মান, $\rho = 2 \times 10^{17}\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$ ধরা হয়।

উ: $\rho = 2 \times 10^{17}\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$

**৪। নিউক্লিয় বল (Nuclear Force) ঃ**

নিউক্লিয়াসের মধ্যে প্রোটন ও নিউট্রনগুলো তীব্র আকর্ষণ বলের প্রভাবে পরস্পরের সংযুক্ত অবস্থায় থাকে। এই বলকে নিউক্লিয় বল বলে।

**নিউক্লিয় বলের বৈশিষ্ট্য ঃ**

১। নিউক্লিয় বল শুধু আকর্ষণীয় বল। এই বলের তীব্রতা মহাকর্ষ এবং তাড়িতচৌম্বক বলের চেয়ে অনেক বেশী।

২। এই বল চার্জ নিরপেক্ষ। ধনাত্মক চার্জযুক্ত প্রোটন এবং চার্জহীন নিউট্রনের জন্য নিউক্লিয় বলের মান একই থাকে অর্থাৎ একই দূরত্বে প্রোটন-প্রোটন, নিউট্রন-নিউট্রন বা প্রোটন- নিউট্রন বলগুলোর মধ্যে কোনো পার্থক্য নাই।

৩। এটি একটি স্বল্প পালণ্ডার বল। এর পালণ্ডা $10^{-14}\,\mathrm{m}$, অর্থাৎ নিউক্লিয়াসের মধ্যে $10^{-14}\,\mathrm{m}$ পর্যন্ড় দূরত্বে নিউক্লীয় বল অতি তীব্র এবং এর বাইরে এই বলের কোনো প্রভাব নেই। সুতরাং নিউক্লিয়নগুলো শুধু মাত্র তার পাশ্ববর্তী নিউক্লিয়নের সাথে আবদ্ধ থাকে দূরবর্তী নিউক্লিয়নগুলোর সাথে নয়।

**৫। ভর সংখ্যা (Mass Number) ঃ**

পরমাণবিক ভর এককে কোনো মৌলের পরমাণু ভরের নিকটবর্তী পূর্ণসংখ্যাকে পরমাণুর ভর সংখ্যা বলে। সহজ ভাবে বলা যায়, নিউক্লিয়াসে নিউট্রন প্রোটন সংখ্যার যোগফলকে পরমাণুর ভর সংখ্যা। ভর সংখ্যা একটি সংখ্যা মাত্র, এর কোনো একক নাই। ভর সংখ্যাকে $A$ দিয়ে প্রকাশ করা হয়। কোনো পরমাণুর ভর সংখ্যা প্রকাশের জন্য মৌলের প্রতীকের মাথায় বাম দিকে এই সংখ্যা লেখা হয়। যেমন, ${}^{1}H$, ${}^{4}He$, ${}^{12}C$ .....।

**৬। পারমাণবিক সংখ্যা (Atomic Number) ঃ**

কোনো মৌলের পরমাণুর নিউক্লিয়াসে থাকা প্রোটন সংখ্যাকে ঐ মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা বলে। একে $Z$ দিয়ে প্রকাশ করা হয়। পারমাণবিক সংখ্যা প্রকাশের জন্য কোনো মৌলের প্রতীকের আগে ও নীচের দিকে পারমাণবিক সংখ্যাটি লেখা হয় $\left({}^{A}_{Z}\mathrm{X},\ {}_{Z}\mathrm{X}^{A}\right)$। যেমন, ${}^{12}_{6}\mathrm{C}$ বা ${}_{6}\mathrm{C}^{12}$ এখানে কার্বন-12 এর পারমাণবিক সংখ্যা 12।

**৭। আইসোটোপ (Isotope) :** একই মৌলের একাধিক ভর সংখ্যাবিশিষ্ট পরমাণু থাকলে সেগুলিকে পরস্পরের আইসোটোপ বলে। অর্থাৎ যে সকল পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা ( $Z$ ) সমান কিন্তু ভর সংখ্যা ( $A$ ) ভিন্ন তাদেরকে আইসোটোপ বলে। নিউট্রন সংখ্যা ভিন্ন হওয়ার কারণে এদের ভর সংখ্যা ভিন্ন হয়। এদের পারমাণবিক সংখ্যা একই বলে

এদের রাসায়নিক ধর্মও একই এবং পর্যায় সারণীতে এদের স্থানও একই। যেমন- কার্বনের দুটি আইসোটোপ $^{12}_{6}C$ এবং $^{13}_{6}C$ কারণ এদের পারমাণবিক সংখ্যা সমান (6) কিন্তু ভর সংখ্যা ভিন্ন (12) ও (13)।

**৮। আইসোটোন (Isotone) :** যে সকল পরমাণুতে সমান সংখ্যক নিউট্রন থাকে, তাদের পরস্পরকে আইসোটোন বলে। যেমন- $^{39}_{19}K$ ও $^{40}_{20}Ca$ । $^{39}_{19}K$ পরমাণুর নিউট্রন সংখ্যা, $A-Z=39-19=20$

এবং $^{40}_{20}Ca$ পরমাণুর নিউট্রন সংখ্যা, $A-Z=40-20=20$

**৯। আইসোবার (Isober) :** যে সকল পরমাণুর ভর সংখ্যা সমান তাদেরকে বলা হয় আইসোবার। এদের ভর সংখ্যা সমান হলেও প্রোটন ও নিউট্রন সংখ্যা সমান নয়।
যেমন- $^{40}_{18}Ar$ ও $^{40}_{20}Ca$ ।

**১০। ভর ত্র ুটি ও বন্ধন শক্তি (Mass Deffect and Binding Energy)ঃ**

**ভর ত্র ুটি ঃ** কোন নিউক্লিয়াসের ভর তার গঠনকারী প্রোটন ও নিউট্রনের ভরের যোগফল হতে কিছুটা কম হয়ে থাকে। ভরের এই পার্থক্যকে ভর-ত্র ুটি বলে। একে সাধারণতঃ $\Delta m$ দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

মনে করি কোন নিউক্লিয়াসের প্রোটন সংখ্যা $Z$ এবং নিউট্রন সংখ্যা $A-Z$ । যদি প্রোটন ও নিউট্রনের ভর যথাক্রমে $m_p$ এবং $m_n$ হয় তবে,

নিউক্লিয়াসের অবস্থিত নিউক্লীয়নের ভরের সমষ্টি = প্রোটনের ভর + নিউট্রনের ভর $= Zm_p + (A-Z)m_n$

যদি নিউক্লিয়াসের ভর $M_{(Z,A)}$ হয় তবে ভর ত্র ুটি,

$\Delta m = \{Zm_p + (A-Z)m_n\} - M_{(Z,A)}$

বা, $\Delta m = Zm_p + (A-Z)m_n - M_{(Z,A)}$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.৩১)

**বন্ধন শক্তি ঃ** প্রোটন এবং নিউট্রনগুলো যে শক্তির জন্য নিউক্লিয়াসে আবদ্ধ অবস্থায় থাকে তাকে বন্ধন শক্তি বলে। একে সাধারণতঃ $\Delta E$ দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

প্রোটন এবং নিউট্রন যখন সম্পূর্ণরূপে আলাদা ভাবে থাকে এদের ভর-শক্তি বলতে শুধু ভরের সমষ্টি বোঝায়। কিন্তু তারাই যখন নিউক্লিয়াস গঠন করে তখন সেই নিউক্লিয়াসের ভর ও বন্ধন শক্তি দুই থাকে। সুতরাং ভরশক্তি নিত্যতা সূত্রানুসারে,

নিউক্লিয়াসের অবস্থিত প্রোটন ও নিউট্রনের ভরের সমষ্টি × $c^2$ = নিউক্লিয়াসের ভর× $c^2$ + বন্ধন শক্তি

সুতরাং, $[Zm_p + (A-Z)m_n]c^2 = M_{(Z,A)}c^2 + \Delta E$

সুতরাং, নিউক্লিয়াসের বন্ধন শক্তি, $\Delta E = [Zm_p + (A-Z)m_n - M_{(Z,A)}]c^2$ ... ... ... ... ... ... ... (৯.৩২)

বা, $\Delta E = \Delta mc^2$

আবার, যেহেতু নিউক্লিয়াসে $A$ সংখ্যক নিউক্লিয়ন আছে,

সেহেতু নিউক্লিয়াসের মধ্যে নিউক্লিয়নের গড় বন্ধন শক্তি,

$$\frac{\Delta E}{A} = \frac{\lfloor Zm_p + (A-Z)m_n - M_{(Z,A)} \rfloor}{A}c^2 = \frac{\Delta m}{A}c^2 \quad \text{... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.৩৩)}$$

**উদাহরণ ৯.৭ ঃ হিলিয়াম নিউক্লিয়াসের ভর** $4.0015\,u$ **, প্রোটনের ও নিউট্রনের ভর যথাক্রমে** $1.0073\,u$ **এবং** $1.0087\,u$ **হয় তবে হিলিয়াম নিউক্লিয়াসের নিউক্লিয়নের গড় বন্ধন শক্তি কত হবে?**

**সমাধানঃ**

দেয়া আছে, $M = 4.0015\,u$ , $m_p = 1.0073\,u$ , $m_n = 1.0087\,u$ ,

হিলিয়াম নিউক্লিয়াসের $Z = 2$ এবং $A = 4$ , $\frac{\Delta E}{Z} = ?$

আমরা জানি, ভর ত্র ুটি, $\Delta m \lfloor = Zm_p + (A-Z)m_n \rfloor - M_{(Z,A)}$

হিলিয়াম নিউক্লিয়াসের ক্ষেত্রে, $\Delta m = \left[2m_p + (4-2)m_n\right] - M_{(2,4)}$

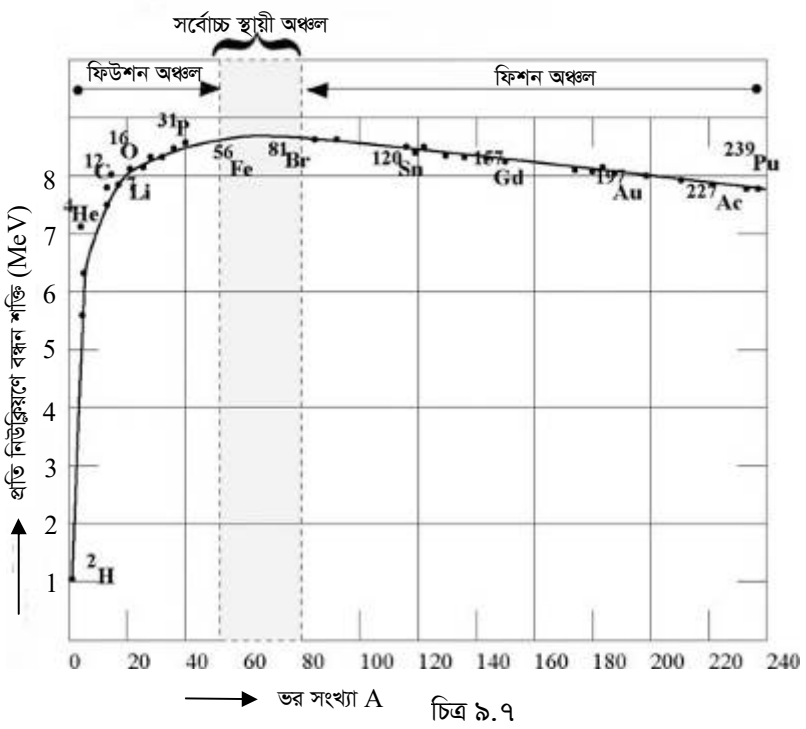
মান বসালে, $\Delta m = \left[2\times1.0073 + 2\times1.0087\right] - 4.0015 = 4.0320 - 4.0015 = 0.305\,\text{u}$

হিলিয়াম নিউক্লিয়াসের বন্ধন শক্তি, $\Delta E = \Delta mc^2 = 0.305\times931.2\text{MeV} = 284016\text{MeV}$

অতএব, হিলিয়াম নিউক্লিয়াসের নিউক্লিয়নের গড় বন্ধন শক্তি, $\frac{\Delta E}{4} = \frac{284016}{4} = 7.1004\text{MeV}$

উঃ $7.1004\text{MeV}$

(৯.৭) নং লেখচিত্রে প্রতি নিউক্লিয়ণে বন্ধন শক্তি বনাম নিউক্লিয়ন সংখ্যা দেখানো হলো। যে সব নিউক্লিয়নে বন্ধন শক্তি যত বেশী অর্থাৎ যত নিউক্লিয়নে বন্ধন দৃঢ় তাদের স্থায়িত্ব তত বেশী, অর্থাৎ তাকে ভাঙ্গতে তত বেশী শক্তি প্রয়োগ করতে হয়। (৯.৭) নং লেখচিত্রে থেকে দেখা যায় যে সব নিউক্লিয়াসের মধ্যে প্রতিটি নিউক্লিয়নে গড় বন্ধন শক্তি $8\text{MeV}$ এ কাছাকাছি হলে নিউক্লিয়াসের স্থায়িত্ব বাড়ে। নিউক্লিয়াসকে একটি তরল বিন্দুর সঙ্গে তুলনা করলে বিষয়টি ভালো বোঝা যায়। যেমন তরলের ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বিন্দুর একত্রে মিলিত হয়ে একটি বড় বিন্দুতে পরিনত হবার প্রবণতা দেখা যায়, অপর দিকে খুব বড় বিন্দু ভেঙ্গে যাওয়ার প্রবণতা থাকে। তেমনি $Z = 200$ উপরে নিউক্লিয়াসগুলোর ভেঙ্গে যাবার প্রবণতা বেশী এবং $Z = 20$ নীচের নিউক্লিয়াসগুলোর মিলিত হবার প্রবণতা থাকে।



চিত্র ৯.৭

**সার-সংক্ষেপ :**

**নিউক্লিয়াসের উপাদান ঃ** নিউক্লিয়াস মূলত প্রোটন ও নিউট্রন নামক দুই প্রকার মৌলিক কণা দিয়ে গঠিত।

**একীভূত পরমাণবিক ভর একক (u) ঃ** একটি কার্বন-12 পরমাণুর ভরের $\frac{1}{12}$ অংশকে 1 u বলা হয়। ১৯৬১ সালের আগ পর্যন্ড় অক্সিজেন 16-এর সাথে তুলনা করে আণবিক ও পারমাণবিক স্কেলে ভর প্রকাশ করা হতো, তখন তাকে কেবল পারমাণবিক ভর একক (atomoic mass unit) বলা হতো। এবং amu দিয়ে প্রকাশ করা হতো। এখনো অনেকে একীভূত পারমাণবিক ভর একককে অর্থাৎ u-কে পারমাণবিক ভর একক তথা 'amu' দিয়ে প্রকাশ করে থাকেন।

$1\text{u}$ বা $(1\text{amu}) = 1.66\times10^{-27}\,\text{kg}$

**ভর-শক্তির তুল্যতা ঃ**

শক্তির অপর একটি রূপ হলো ভর। পদার্থকে শক্তিতে এবং শক্তিকে পদার্থে রূপান্ড়রিত করা সম্ভব। তাই ভর ও শক্তি পরস্পরের সমতুল্য। এইজন্যই ভর বোঝাতে শক্তির এককে এবং কখনো শক্তি বোঝাতে ভরের একক ব্যবহার করা

হয়। আইনস্টাইনের সূত্রানুসারে, তুল্য শক্তি, $E = mc^2$

$1u$ বা 1amu বা ভরের তুল্য শক্তি $= 1.49 \times 10^{-10}\,\text{J}$

শক্তি একক জুল একটি বড় একক। পরমাণবিক শক্তিকে eV এককে প্রকাশ করা হয়।

বা, $1u$ বা $1\text{amu} = 931.2\text{MeV}$

**নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ ঃ** $R = r_0 A^{\frac{1}{3}}$, $r_0 = 1.2 \times 10^{-15}\,\text{m}$

**নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব ঃ** $\rho = 2 \times 10^{17}\,\text{kg m}^{-3}$

**নিউক্লীয় বল ঃ** নিউক্লিয়াসের মধ্যে প্রোটন ও নিউট্রনগুলো অথাৎ নিউক্লিয়ণগুলো তীব্র আকর্ষণ বলের প্রভাবে পরস্পরের সংযুক্ত অবস্থায় থাকে। এই বলকে নিউক্লীয় বল বলে।

**আইসোবার ঃ** যে সকল পরমাণুর ভর সংখ্যা সমান তাদেরকে বলা হয় আইসোবার। এদের ভর সংখ্যা সমান হলেও পৃথকভাবে প্রোটন ও নিউট্রন সংখ্যা সমান নয়।

**ভর ত্রুটি ঃ** কোন নিউক্লিয়াসের ভর তার গঠনকারী প্রোটন ও নিউট্রনের ভরের যোগফল হতে কিছুটা কম হয়ে থাকে। ভরের এই পার্থক্যকে ভর-ত্রুটি বলে। একে সাধারণতঃ $\Delta m$ দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

$$\Delta m = \left\{Zm_p + (A-Z)m_n\right\} - M_{(Z,A)}$$

**বন্ধন শক্তি ঃ** প্রোটন এবং নিউট্রনগুলো যে শক্তির জন্য নিউক্লিয়াসে আবদ্ধ অবস্থায় থাকে তাকে বন্ধন শক্তি বলে। একে সাধারণতঃ $\Delta E$ দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

$$\Delta E = \left[Zm_p + (A-Z)m_n - M_{(Z,A)}\right]c^2 = \Delta mc^2$$

## পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৯.৪

**বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ**

১। বোরের হাইড্রোজেন পরমাণু মডেলে একটি ইলেকট্রন প্রোটনের চারদিকে অনির্দিষ্ট কাল ধরে ঘুরতে পারে যদি ইহার পথ হয়–

ক. যে কোনে ব্যাসার্ধের বৃত্ত
খ. ক্রমহ্রাসমান ব্যাসার্ধের বৃত্ত
গ. উপবৃত্তাকার
ঘ. অনুমোদিত ব্যাসার্ধের বৃত্ত

২। বোরের তত্ত্বানুযায়ী হাইড্রোজেনের n তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের গতিশক্তি ও মোটশক্তির অনুপাত

ক. -1
খ. 1
গ. 2
ঘ. -2

# পাঠ ৯.৫ : তেজস্ক্রিয়তা
## Radioactivity

**উদ্দেশ্য**

**এ পাঠের শেষে আপনি-**

- তেজস্ক্রিয়তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় কণা ও রশ্মির ধর্ম ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- তেজস্ক্রিয় ক্ষয় সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- তেজস্ক্রিয় রূপান্তর সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- অর্ধজীবন ও ক্ষয় ধ্রুবকের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করতে পারবেন।

### ৯.৫.১ তেজস্ক্রিয়তা (Radioactivity) ঃ

হেনরি বেকরেল 1896 সালে ইউরেনিয়ামের তেজস্ক্রিয়তা আবিস্কার করেন। তিনি দেখেন যে, ইউরেনিয়ামের সকল যৌগ নিজের থেকেই অস্বচ্ছ কালো কাগজে মোড়া ফটোগ্রাফিক পেণ্টটকে ক্ষতিগ্রস্ত করতে পারে, এর জন্য বাহ্যিক কোনো শক্তির সাহায্যে উদ্দীপ্ত করতে হয় না। পরবর্তিতে বিজ্ঞানী (মাদাম) মেরি কুরি থোরিয়াম মৌলেও ইউরেনিয়ামের মত ধর্ম দেখতে পান। পরবর্তিতে মেরি কুরি এবং পিয়েরে কুরি ইউরেনিয়াম আকরিক থেকে পোলোনিয়াম ও রেডিয়াম নিস্কাশন করেন। এদের তেজস্ক্রিয়তা কয়েক হাজার গুণ বেশী।

**তেজস্ক্রিয় পদার্থ হতে স্বতঃস্ফুর্তভাবে অবিরাম এক রহস্যময়ী কণা এবং রশ্মি নির্গত হয়। এই প্রক্রিয়াকে তেজস্ক্রিয়তা বলে।**

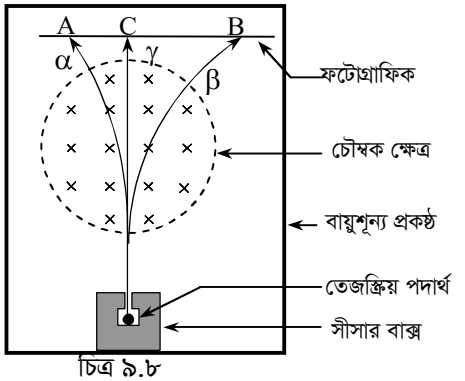
কোনো অস্থায়ী নিউক্লিয়াস থেকে স্বতঃস্ফুর্তভাবে বিকিরণ নিঃসরণের প্রক্রিয়াকে তেজস্ক্রিয়তা বা তেজস্ক্রিয় ক্ষয় বলে। তেজস্ক্রিয় বিকিরণকে তেজস্ক্রিয় রশ্মি বলে। তেজস্ক্রিয় মৌলের যে পরমাণুর তেজস্ক্রিয় ক্ষয় ঘটে তাকে জনক পরমাণু বলে। নিউক্লিয়াসে থেকে তেজস্ক্রিয় রশ্মি নির্গত হবার পর যে পরমাণুটি পড়ে থাকে তাকে দুহিতা পরমাণু বলে।

**তেজস্ক্রিয়তার বৈশিষ্ট্যঃ-**

১। তেজস্ক্রিয়তা একটি স্বতঃস্ফুর্ত বিরামহীন ঘটনা।
২। তেজস্ক্রিয় পদার্থের রাসায়নিক পরিবর্তন ঘটলেও তেজস্ক্রিয়তার মাত্রা অপরিবর্তিত থাকে অর্থাৎ কোনো মৌলের যেকোনো যৌগের তেজস্ক্রিয় ধর্ম অভিন্ন।
৩। এটি একটি অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া।
৪। তেজস্ক্রিয়তা তেজস্ক্রিয় পদার্থের তাপমাত্রা, চাপ, রাসায়নিক সংযোগ, আলো, তড়িৎক্ষেত্র, চৌম্বকক্ষেত্র ইত্যাদির উপর নির্ভর করে না।
৫। তেজস্ক্রিয়তার উৎপত্তিস্থল পদার্থের নিউক্লিয়াসে।
৬। তেজস্ক্রিয়তার বিকিরণ ধনচার্জ যুক্ত কণা, ঋণচার্জ যুক্ত কণা ও তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ প্রবাহের সমষ্টি।

### ৯.৫.২ তেজস্ক্রিয় রশ্মির প্রকার ভেদ (Types of Radioactive Rays) ঃ

বেকরেল প্রথমে তেজস্ত্রিয় রশ্মিকে এক্স রশ্মির অনুরূপ কোন রশ্মি মনে করেছিলেন। পরে এর মধ্যে তিন প্রকার রশ্মির সন্ধান পাওয়া গেল। গ্রীক বর্ণমালার প্রথম তিনটি বর্ণ দিয়ে এদের নামকরণ করা হয়- আলফা ($\alpha$), বিটা ($\beta$) ও গামা ($\gamma$) রশ্মি। নিম্নের পরীক্ষার সাহায্যে তিন প্রকার রশ্মির অস্তিত্ব সহজে বোঝা যায়।



চিত্র ৯.৮

একটি অন্ধকার কক্ষের মধ্যে একটি প্রায় বায়ুশূন্য বড় পাত্রে নেয়া হয়। এই পাত্রের মধ্যে একটি মোটা সীসার দেয়ালযুক্ত একটি গভীর পাত্রে একটি তেজস্ত্রিয় নমুনা রাখা হয় (চিত্র ৯.৮)। সীসার বাক্সের উপরে সরু চিড় দিয়ে তেজস্ত্রিয় রশ্মি সমান্তরালভাব উপরের দিকে নির্গত হবে। সীসা খুব কিছু উপরে রশ্মির সাথে লম্বভাবে একটি ফটোগ্রাফিক পেণ্টট স্থাপন করা হয় এবং রশ্মি পথে লম্বভাবে একটি শক্তিশালী চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করা হয়। × চিহ্ন দিয়ে বোঝানো হয়েছে যে, চৌম্বকক্ষেত্র কাগজের উপর লম্ব

এবং কাগজ ভেদ করে পার হয়ে যাচ্ছে। তেজস্ক্রিয় রশ্মি কিছু সময় ধরে আপতিত হওয়ার পর পেণ্টটি বিকাশ করা হলে এতে তিনটি সুস্পষ্ট কালো দাগ দেখা যায়। একটি ঠিক মাঝখানে C বিন্দুতে, একটি বাম দিকে সামান্য দূরে A বিন্দুতে এবং আর একটি ডান দিকে বেশ কিছুটা দূরে B বিন্দুতে। চৌম্বকক্ষেত্রে ফ্লেমিং-এর বাম হস্ড় নিয়ম অনুসারে বুঝা যায় ডান দিকের কালো দাগ ধনাত্মক চার্জ যুক্ত কণা এবং গতিপথের বক্রতা থেকে বোঝা যায় কণাটি ভারি রশ্মি দ্বারা সৃষ্টি হয়েছে- এটাই আলফা রশ্মি, বাম দিকের কালো দাগ ঋণাত্মক চার্জ যুক্ত কণা এবং গতিপথের বক্রতা থেকে বোঝা যায় কণাটি হালকা রশ্মি দ্বারা সৃষ্টি হয়েছে- এটাই বিটা রশ্মি এবং মাঝের কালো দাগ তড়িৎ নিরপেক্ষ কোন রশ্মি দ্বারা সৃষ্টি হয়েছে- এটাই গামা রশ্মি।

**আলফা রশ্মির ধর্ম ও প্রকৃতিঃ-**

১। আলফা রশ্মি দুটি প্রোটন ও দুটি নিউট্রন নিয়ে গঠিত অর্থাৎ এটি আয়নিত হিলিয়াম নিউক্লিয়াস। এর ভর $6.6\times10^{-27}\text{kg}$ ।

২। ইহা ধনাত্মক চার্জ বহন করে। এর পরিমান $3.2\times10^{-19}\text{C}$ ।

৩। এর শক্তি 1 MeV হতে 9MeV পর্যন্ড় হয়।

৪। এই রশ্মি তড়িৎ ক্ষেত্র ও চুম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয়।

৫। এর আয়নিত করার ক্ষমতা খুব বেশী। $\beta$-রশ্মির চেয়ে 100 গুণ এবং $\gamma$-রশ্মির চেয়ে 1000 গুণ বেশী।

৬। এটি ফটোগ্রাফিক পেণ্টটের উপর বিক্রিয়া করে।

৭। ইহা সহজেই বস্তু দ্বারা শোষিত হয়। এর ভেদন ক্ষমতা খুব কম।

৮। জিংক সালফাইডে আলফা রশ্মি প্রতিপ্রভ সৃষ্টি করে।

৯। ধাতব পেণ্টটের মধ্যদিয়ে যাবার সময় আলফা রশ্মি কণাগুলো চারিদিকে বিক্ষিপ্ত হয়।

**বিটা রশ্মির ধর্ম ও প্রকৃতিঃ-**

১। বিটা রশ্মি খুব হালকা। এরা ইলেকট্রন প্রবাহ। এর ভর $9.11\times10^{-31}\text{kg}$ ।

২। এরা ঋণ চার্জ বহন করে। এই চার্জের মান $1.6\times10^{-19}\text{C}$ ।

৩। তেজস্ক্রিয় বস্তু থেকে বিটা রশ্মি প্রচন্ড বেগে নির্গত হয়। এর বেগ $0.9\times10^{8}\text{Cms}^{-1}$ প্রায়। খুব কম বেগেও বিটা রশ্মি নির্গত হয়।

৪। এই রশ্মি তড়িৎ ক্ষেত্র ও চুম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয়।

৫। এর আয়নিত করার ক্ষমতা আছে তবে আলফা রশ্মি অপেক্ষা কম।

৬। এটি ফটোগ্রাফিক পেণ্টটের উপর বিক্রিয়া করে।

৭। ইহা সহজেই বস্তু দ্বারা শোষিত হয়। এর ভেদন ক্ষমতা আলফা রশ্মি অপেক্ষা বেশী।

৮। জিংক সালফাইডে আলফা রশ্মি প্রতিপ্রভ সৃষ্টি করে।

৯। বিটা রশ্মি ধাতব পেণ্টটের মধ্যদিয়ে যাবার সময় কণাগুলো চারিদিকে বিক্ষিপ্ত হয়। আলফা রশ্মি অপেক্ষা অনেক বিক্ষিপ্ত হয়।

**গামা রশ্মির ধর্ম ও প্রকৃতিঃ-**

১। গামা রশ্মি অতি ক্ষুদ্র তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের তাড়িতচৌম্বক তরঙ্গ।

২। এই রশ্মি আলোর ন্যায় বেগে গতিশীল।

৩। এর কোনো চার্জ ও ভর নাই।

৪। এই রশ্মি বিদ্যুৎ ক্ষেত্র ও চুম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয় না।

৫। এটি ফটোগ্রাফিক পেণ্টটের উপর বিক্রিয়া করে।

৬। এর আয়নিত করার ক্ষমতা আছে তবে বিটা রশ্মি অপেক্ষা কম।

৭। জিংক সালফাইডে গামা রশ্মি প্রতিপ্রভ সৃষ্টি করে।

৮। গামা রশ্মির প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যাতিচার, অপবর্তন ইত্যাদি সব আলোকীয় ধর্ম আছে।

### ৯.৫.৩ তেজস্ক্রিয় ক্ষয় ধ্রুবক (Radioactive Decay Constant) ঃ

তেজস্ক্রিয় ক্ষয় সম্ভাবনার সংখ্যাতাত্ত্বিক সূত্র (Statistical Law of Probability) মেনে চলে।

এর তাৎপর্য হলো বহুসংখ্যক তেজস্ক্রিয় পরমাণুর মধ্য কোনটি আগে বা কোনটি পরে ক্ষয় হবে বা ভাঙ্গবে তা কখনোই বলা সম্ভব নয়। কেবল বলা যায় যে, সময়ের সাপেক্ষে তেজস্ক্রিয় পরমাণুগুলোর ভাঙ্গনের হার বা ক্ষয় ঐ সময় উপস্থিত অক্ষত বা অভগ্ন পরমাণুর সংখ্যার সমানুপাতিক।

ধরা যাক, $t$ সময়ে তেজস্ক্রিয় পরমাণুর সংখ্যা $= N$ এবং $dt$ সময় পর $dN$ সংখ্যক পরমাণুর ক্ষয় হলে

$-\frac{dN}{dt} \propto N$ এখানে ঋণ চিহ্ন দ্বারা ভাঙ্গনের ফলে পরমাণুর সংখ্যার হ্রাস নির্দেশ করে।

$\therefore \frac{dN}{dt} = -\lambda N$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.৩৪)

এখানে, $\lambda$ একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। একে ঐ তেজস্ক্রিয় পদার্থের ক্ষয় ধ্রুবক (decay constant) বলে।

(৯.৩৪) নং সমীকরণ থেকে দেখা যায়, $\lambda = -\frac{dN/dt}{N}$ এখন $N = 1$ হলে, $\lambda = -\frac{dN}{dt}$

সুতরাং, ক্ষয় ধ্রুবক একটি তেজস্ক্রিয় পরমাণুর একক সময়ে ভাঙ্গনের সম্ভাব্যতা নির্দেশ করে। সুতরাং, **কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের একটি পরমাণুর একক সময়ে ভেঙ্গে যাওয়ার সম্ভাব্যতাকে ঐ পদার্থের ক্ষয় ধ্রুবক বলে।** কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের ক্ষয় ধ্রুবক যত বড় হবে কোনো নির্দিষ্ট সময়ে ঐ পদার্থের একটি পরমাণু ভাঙ্গনের সম্ভাব্যতা তত বেশি হবে। ক্ষয় ধ্রুবকের একক $s^{-1}$।

(৯.৩৪) নং সমীকরণকে লেখা যায়, $\frac{dN}{N} = -\lambda dt$

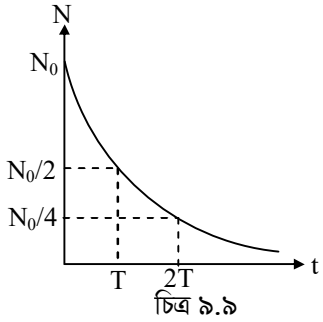
সমাকলন করে পাই, $\int_N^N \frac{dN}{N} = -\int_0^t \lambda dt$ [যখন, $t = 0$ তখন, $N = N_0$, যখন, $t = t$ তখন, $N = N$]

বা, $\left[\ln N\right]_{N_0}^{N} = -\lambda\left[t\right]_0^t$

বা, $\ln N - \ln N_0 = -\lambda(t - 0)$

বা, $\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$

বা, $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$



চিত্র ৯.৯

বা, $N = N_0 e^{-\lambda t}$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.৩৫)

এটাই তেজস্ক্রিয় ভাঙ্গনের বা ক্ষয়ের সূচকীয় সূত্র।

### ৯.৫.৪ তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু (Half-Life of Radoiactive materials) ঃ

কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের প্ররম্ভিক অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা অর্ধেক হতে যে সময় লাগে তাকে অর্ধায়ু বলে।

যদি, তেজস্ক্রিয় পদার্থের প্রারম্ভিক অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা $N_0$ এবং $T$ সময় পর পরমাণুর সংখ্যা $N = \frac{N_0}{2}$ হয়, তবে $T$ কে অর্ধায়ু বলে। সুতরাং,যখন $t = T$ তখন $N = \frac{N_0}{2}$ হবে।

তেজস্ক্রিয় ভাঙ্গনের বা ক্ষয়ের সূচকীয় সূত্র অর্থাৎ (৯.৩৫) নং সমীকরণে মান বসালে, $\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$

বা, $\frac{1}{2} = e^{-\lambda T}$

বা, $2 = e^{\lambda T}$

বা, $\ln 2 = \lambda T$

বা, $T = \frac{\ln 2}{\lambda}$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.৩৬)

বা, $T = \frac{0.693}{\lambda}$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.৩৭)

সুতরাং, তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু তার ক্ষয় ধ্রুবকের ব্যস্তানুপাতিক। ক্ষয় ধ্রুবকের মান যত বেশী হয় অর্ধায়ু তত কম হয়।

আবার, ধরা যাক, $t = nT$ এখানে, $T =$ তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু। (৯.৩৫) নং সমীকরণে শর্তটি প্রয়োগ করলে,

$N = N_0 e^{-\lambda nT}$

(৯.৩৬) নং সমীকরণে সাহায্যে লেখা যায়, $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda n \frac{\ln 2}{\lambda}}$

বা, $\frac{N_0}{N} = e^{n \ln 2}$

বা, $\frac{N_0}{N} = e^{\ln 2^n}$

বা, $\ln \frac{N_0}{N} = \ln 2^n$

বা, $\frac{N_0}{N} = 2^n$

$N = \frac{N_0}{2^n}$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.৩৮)

অর্থাৎ যখন, $t = nT$ তখন, $N = \frac{N_0}{2^n}$

(৯.৯) নং চিত্রে অর্ধায়ুর সাথে সে সময়ের বিদ্যমান অক্ষত পরমাণুর সম্পর্ক দেখানো হয়েছে।

যখন, $t = T$ তখন, $N = \frac{N_0}{2^1} = \frac{N_0}{2}$

যখন, $t = 2T$ তখন, $N = \frac{N_0}{2^2} = \frac{N_0}{4}$

যখন, $t = 3T$ তখন, $N = \frac{N_0}{2^3} = \frac{N_0}{8}$ ইত্যাদি।

**উদাহরণ ৯.৮ ঃ কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের ক্ষয় ধ্রুবকের মান** $3.75 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$ **। এর অর্ধায়ু কত ?**

**সমাধান ঃ** দেয়া আছে, $\lambda = 3.75 \times 10^{-3} \text{s}^{-1}$, $T = ?$

আমরা জানি, ক্ষয় ধ্রুবক, $\lambda = \frac{0.693}{T}$

$\therefore T = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{0.693}{3.75 \times 10^{-3}} = 184.8\text{s}$

উঃ 184.8s

**উদাহরণ ৯.৯ ঃ র‍্যাডনের অর্ধায়ু 3.82 দিন। র‍্যাডনের ক্ষয় ধ্রুবক এবং একখন্ড র‍্যাডনের 40% ক্ষয় হতে কত সময় লাগবে বের করুন।**

**সমাধান ঃ** দেয়া আছে, র‍্যাডনের $T = 3.82\text{d}$ এবং ক্ষয়ের পরিমান র‍্যাডনের 40% ।

40% ক্ষয় হলে প্রাথমিক পরমাণু সংখ্যা 60% অবশিষ্ট আছে।

আমরা জানি, $T = \frac{0.693}{\lambda}$

অতএব, $\lambda = \frac{0.693}{T} = \frac{0.693}{3.82} = 0.18\text{d}^{-1}$

আবার, $\frac{N}{N_0} = \frac{60}{100} = 0.6$

তেজস্ক্রিয় ক্ষয়ের সূত্র হতে পাই, $N = N_0 e^{-\lambda t}$

বা, $e^{-\lambda t} = \frac{N}{N_0} = 0.6$

বা, $\lambda t = \ln \frac{1}{0.6} = \ln 1.67 = 0.51$

বা, $t = \frac{0.51}{\lambda} = \frac{0.51}{0.18} = 2.833\text{d}$

উ: 2.833d

**৯.৫.৫ তেজস্ক্রিয় পদার্থের গড় আয়ু (Mean-Life of Radioactive materials) ঃ**

(৯.৩৫) নং সমীকরণ, $N = N_0 e^{-\lambda t}$

এখানে, $\lambda$ অর্থাৎ ক্ষয় ধ্রুবকের একক হলো $\text{s}^{-1}$ ।

ধরি, $\tau = \frac{1}{\lambda}$ s । তাহলে $\tau$ কিছু সময় নির্দেশ করে।

(৯.৩৫) নং সমীকরণে $\lambda$ এর মান বসালে, $N = N_0 e^{-\frac{1}{\tau}t}$

যখন $\tau = t$ তখন $N = N_0 e^{-1}$

বা, $\frac{N}{N_0} = e$ … … … … … … … … … … … … … … … … … … .. ..… … … (৯.৩৯)

বা, $\frac{N}{N_0} = 2.718$

বা, $N = 2.718 N_0$ … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … … (৯.৪০)

সুতরাং যত সময় পর নিউক্লিয়াস ভেঙ্গে তার আদি পরিমানের চেয়ে 2.718 অংশ হবে সেই সময়কে পরমাণুর গড় আয়ু বলে।

সুতরাং, পরমাণুর গড় আয়ু, $\tau = \frac{1}{\lambda}$ … … … … … … … … … … … … … … … … … … (৯.৪১)

**৯.৫.৬ গড় আয়ুর সাথে অর্ধায়ু এর সম্পর্ক (Relation between Half-Life and Mean-Life) ঃ**

আমরা জানি, তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু, $T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$

এবং তেজস্ক্রিয় পদার্থের গড় আয়ু, $\tau = \frac{1}{\lambda}$ বা, $\lambda = \frac{1}{\tau}$

সুতরাং, $T = \tau \ln 2 = 0.693\tau$ … … … … … … … … … … … … … … … … … (৯.৪২)

এটাই গড় আয়ুর সাথে অর্ধায়ুর এর সম্পর্ক।

### ৯.৫.৭ সক্রিয়তা (Activity) ঃ

**সময়ের সাপেক্ষে কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের ক্ষয়ের হারকে সক্রিয়তা বলা হয়।**

আমরা জানি, ক্ষয়ের হার, $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ ।

তাই, $\lambda N$ গুণফলটির মাধ্যমে সক্রিয়তা প্রকাশ করা হয়। $\lambda N$ গুণফল থেকে বোঝা যায়,

ক) তেজস্ক্রিয় মৌলের সংখ্যা $(N)$ বেশী হলে সক্রিয়তা বেশী হবে এবং

খ) তেজস্ক্রিয় মৌলের ক্ষয় ধ্রুবকের মান $(\lambda)$ বেশী হলে সক্রিয়তা বেশী হবে।

এছাড়াও বলা যায়, অর্ধায়ুর মান কম হলে সক্রিয়তা বেশী হবে কারণ, $T = \frac{0.693}{\lambda}$

এবং গড় আয়ুর মান কম হলে সক্রিয়তা বেশী হবে কারণ, $\tau = \frac{1}{\lambda}$

মনে করি, কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের প্রাথমিক (যখন $t = 0$) সক্রিয়তা $A_0 = \lambda N_0$

এবং $t$ সময় পর সক্রিয়তা $A = \lambda N$ ।

(৯.৩৫) নং সমীকরণ থেকে আমরা জানি, $N = N_0 e^{-\lambda t}$

অতএব, $\lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$

বা, $A = A_0 e^{-\lambda t}$ ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... ... (৯.৪৩)

সুতরাং বলা যায়, সক্রিয়তাও সূচকীয় সূত্র মেনে চলে।

সক্রিয়তার SI পদ্ধতিতে একক বেকরেল (becquerel) সংক্ষেপে Bq। অর্থাৎ 1Bq = 1decay per second (1dps) ।

1 Bq বলতে প্রতি সেকেন্ডে মোট তেজস্ক্রিয় মৌলের মধ্যে একটি নিউক্লিয়াসের ক্ষয়কে বোঝায়।

সক্রিয়তার পুরাতন একক হলো কুরি (Curie) সংক্ষেপে Ci।

$1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}$ decay per second (dps) অর্থাৎ প্রতি সেকেন্ডে মোট তেজস্ক্রিয় মৌলের মধ্যে $3.7 \times 10^{10}$ সংখ্যক নিউক্লিয়াসের ক্ষয়কে বোঝায়।

**উদাহরণ ৯.১০ ঃ একটি তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ু 20d এবং কোনো এক সময়ে এর পরমাণুর সংখ্যা $10^{10}$ হলে এর সক্রিয়তা বের করুন।**

**সমাধান ঃ** দেয়া আছে, $T = 20\text{d} = 20 \times 86400\text{s} = 1728000\text{s}$ এবং $N = 3.7 \times 10^{10}$

আমরা জানি, $\lambda = \frac{0.693}{T} = \frac{0.693}{1728000} = 4.01 \times 10^{-7}\text{s}^{-1}$

সুতরাং, সক্রিয়তা $= N\lambda = 3.7 \times 10^{10} \times 4.01 \times 10^{-7} = 1.483 \times 10^{4}$ dps

উঃ $= 1.483 \times 10^{4}$ dps

**সার-সংক্ষেপ :**

**তেজস্ক্রিয়তা ঃ** তেজস্ক্রিয় পদার্থ হতে স্বতঃস্ফূর্তভাবে অবিরাম এক রহস্যময়ী কণা এবং রশ্মি নির্গত হয়। এই প্রক্রিয়াকে তেজস্ক্রিয়তা বলে।

**তেজস্ক্রিয় রশ্মির প্রকারভেদ ঃ** তেজস্ক্রিয় রশ্মি তিন প্রকার: ১) $\alpha$- রশ্মি, ২) $\beta$- রশ্মি ও ৩) $\gamma$- রশ্মি

**তেজস্ক্রিয় ক্ষয়ের সূচকীয় সূত্র ঃ** $N = N_0 e^{-\lambda t}$

**তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু ঃ** কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের প্রারম্ভিক অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা অর্ধেক হতে যে সময় লাগে তাকে অর্ধায়ু বলে।

**তেজস্ক্রিয় পদার্থের গড় আয়ু ঃ** যত সময় পর নিউক্লিয়াস ভেঙ্গে তার আদি পরিমানের চেয়ে 2.718 অংশ হবে সেই সময়কে পরমাণুর গড় আয়ু বলে।

**গড় আয়ুর সাথে অর্ধায়ু এর সম্পর্ক ঃ** $T = \tau \ln 2 = 0.693\tau$

## পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৯.৫

**বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ**

১। তেজস্ক্রিয় রশ্মির কত প্রকার?

ক. ১ প্রকার খ. ২ প্রকার গ. ৩ প্রকার ঘ. ৪ প্রকার

২। গামা রশ্মির বৈশিষ্ট্য হচ্ছে-

i. তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াস থেকে নির্গত হয় ii. এটি তাড়িৎচৌম্বক তরঙ্গ

iii. এর ভেদন ক্ষমতা সর্বাধিক

নিচের কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii খ. i ও iii **গ.** ii ও iii ঘ. i, ii ও iii

# পাঠ ৯.৬ : নিউক্লিয় বিক্রিয়া
# Nuclear Reaction

**উদ্দেশ্য**

**এ পাঠের শেষে আপনি-**

- নিউক্লিয় বিক্রিয়া ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- নিউক্লিয় বিক্রিয়া ও রাসায়নিক বিক্রিয়ার পার্থক্য বর্ণনা করতে পারবেন।
- শৃঙ্খল বিক্রিয়া ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

### ৯.৬.১ তেজস্ক্রিয়তার প্রকারভেদ (Types of Radioactivity)

তেজস্ক্রিয়তা দুই প্রকার। যথাঃ- প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তা ও কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা।

**প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তাঃ-** কোন পদার্থ হতে স্বতঃস্ফুর্ত ভাবে যে তেজস্ক্রিয়তা ঘটে তাকে প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তা বলে।

**কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তাঃ-** কৃত্রিম উপায়ে প্রাকৃতিক স্থায়ী মৌলের অস্থায়ী আইসোটোপ গঠন ও স্বাভাবিক নিয়মে ঐ আইসোটোপের তেজস্ক্রিয় ক্ষয়কে কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা বলা হয়।

কোনো উচ্চ শক্তিসম্পন্ন কণা দিয়ে নিউক্লিয়াসকে আঘাত করলে নিউক্লিয়াসটি পরিবর্তিত হয়ে অন্য মৌল গঠন করে। একে নিউক্লিয় বিক্রিয়া বলে। নিউক্লিয় বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন নিউক্লিয়াসটি স্থায়ী নিউক্লিয়াস নাও হতে পারে। সেক্ষেত্রে সেই নিউক্লিয়াসটির তেজস্ক্রিয় ক্ষয় ঘটে এবং এবং অন্য কোনো মৌলের নিউক্লিয়াসে পরিনত হয়। এক্ষেত্রে শুধু তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াসটির উৎপাদন কৃত্রিম কিন্তু তেজস্ক্রিয় ক্ষয় তার স্বাভাকিব নিয়মেই ঘটে।

কৃত্রিম উপায়ে কোনো মৌলকে তেজস্ক্রিয় মৌলে পরিনত করলে যে তেজস্ক্রিয়তা ঘটে তাকে কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা বলে।

উদাহরণ: কার্বন, সোডিয়াম ও ফসফরাস স্থায়ী মৌল, এদের $^{12}C, ^{23}Na, ^{31}P$ ইত্যাদি আইসোটোপগুলি হল স্থায়ী আইসোটোপ। অথচ কৃত্রিম উপায়ে $^{14}C, ^{24}Na$ বা $^{30}P$ তৈরি হলে দেখা যায়, এই আইসোটোপগুলি তেজস্ক্রিয়। এইগুলিকেই সাধারণভাবে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ বা রেডিও -আইসোটোপ (radioactive isotope or radio isotope) বলা হয়। $^{14}C$ এর নাম রেডিও-কার্বন (radio-carbon), $^{24}Na$ এর নাম রেডিও-সোডিয়াম (radio-sodium) ইত্যাদি। উলিণ্ঢখিত রেডিও -আইসোটোপগুলির তেজস্ক্রিয় বিঘটনের সমীকরণ নিম্নলিখিতভাবে লেখা যায়:

$^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + {}^{0}_{-1}\beta$ ;অর্ধায়ু $= 5600y$

(রেডিও কার্বন) (নাইট্রোজেন) (ইলেকট্রন)

$^{24}_{11}Na \rightarrow {}^{24}_{12}Mg + {}^{0}_{-1}\beta$ ;অর্ধায়ু $= 15h$

(রেডিও সেডিয়াম) (ম্যাগনেসিয়াম) (ইলেকট্রন)

$^{30}_{15}P \rightarrow {}^{30}_{14}Si + {}^{0}_{+1}\beta$ ;অর্ধায়ু $= 2.5\,\text{min}$

(রেডিও ফসফরাস) (সিলিকন) (পজিট্রন)

কৃত্রিম উপায়ে যে মৌলগুলির অস্থায়ী আইসোটোপ তৈরি হয়, প্রকৃতিতে স্থায়ী অবস্থাতেও সেই মৌলগুলিকে দেখা যায়। রেডিও আইসোটোপগুলির ক্ষয় হয় প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তার সূচকীয় নিয়ম অনুসারে। অর্থাৎ আইসোটোপগুলি কৃত্রিম উপায়ে গঠিত হলেও এদের তেজস্ক্রিয় বিঘটন কৃত্রিম নয়।

### ৯.৬.২ মৌলের কৃত্রিম রূপান্ড়র (Artificial Transformation of Elements) ঃ

তেজস্ক্রিয় ক্ষয়ের ফলে মৌলের স্বাভাবিক রূপান্ড়র ঘটে। কিন্তু কৃত্রিম উপায়ে যদি পরমাণুর নিউক্লিয়াসের প্রোটন সংখ্যার পরিবর্তন ঘটানো যায় তাহলে মৌলটি অন্য মৌলে রূপান্ড়রিত হয়। একে কৃত্রিম মৌলের রূপান্ড়র বলে।

সাধারণ ভাবে দুই প্রকারে মৌলের রূপান্ড়র হয়।

**১। কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা (Artificial radioactivity)**

**২। নিউক্লিয় বিক্রিয়া (Nuclear Reaction)**

কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা সম্বন্ধে পূবে আলাচনা করা হয়েছে। আমরা এখানে নিউক্লিয় বিক্রিয়া নিয়ে আলোচনা করব।

**নিউক্লিয় বিক্রিয়া (NuclearReaction) ঃ**

কৃত্রিম উপায়ে পরমাণুর নিউক্লিয়াসের পরিবর্তন ঘটিয়ে নতুন কোনে মৌল গঠনের প্রক্রিয়াকে নিউক্লিয় বিক্রিয়া বলে।

আমরা দেখেছি, পরমাণুর প্রতিটি নিউক্লিয়নের অর্থাৎ নিউট্রন ও প্রোটনের বন্ধন শক্তি গড়ে প্রায় $8\text{MeV}$ । সুতরাং বাইর থেকে প্রায় এর সমমানের শক্তি সরবরাহ না করা হলে নিউক্লিয়াসের কোনো পরিবর্তন ঘটানো সম্ভব নয়। তাই সাধারণ ভাবে উচ্চশক্তি সম্পন্ন কোনো কণা দিয়ে বস্তু খন্ডকে আঘাত করে তার মধ্যস্থিত নিউক্লিয়াসকে যথেষ্ট শক্তি সরবরাহ করা যায় এবং এই ভাবেই নিউক্লিয়াসের পরিবর্তন ঘটানো সম্ভব। এই প্রক্রিয়ায় কোনো উচ্চ শক্তিসম্পন্ন কণা দিয়ে নিউক্লিয়াসকে আঘাত করা হয় এবং এর ফলে নিউক্লিয়াসটি পরিবর্তিত হয়ে অন্য নতুন মৌলের নিউক্লিয়াস গঠন করে।

**রাসায়নিক বিক্রিয়া ও নিউক্লিয় বিক্রিয়ার মধ্যে পার্থক্য ঃ**

রাসায়নিক বিক্রিয়ায় পরমাণুর বহিঃস্থ অনুমোদিত কক্ষপথের ইলেকট্রনের অংশগ্রহন করে। এই বিক্রিয়ার ফলে নতুন কোনো পরমাণু বা মৌলের সৃষ্টি হয় না বরং নতুন অণু গঠন করে। অপর দিকে নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় কৃত্রিম উপায়ে পরমাণুর নিউক্লিয়াসের পরিবর্তন ঘটিয়ে নতুন কোনে মৌল গঠন করে।

রাসায়নিক বিক্রিয়ায় সংশিণ্টষ্ট শক্তির পরিমাণ অত্যন্ড় কম এবং এর মান eV ক্রমের। অপর দিকে নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় সংশিণ্টষ্ট শক্তির পরিমান অত্যন্ড় বেশী এবং এর মান MeV ক্রমের অর্থাৎ $10^6\text{eV}$ ক্রমের।

**নিউক্লীয় বিক্রিয়ার সমীকরণ (Equation of Nuclear Reaction) ঃ**

যে নিউক্লিয়াস কে আঘাত করা হয় তাকে লক্ষ্যবস্তু (Terget) এবং যে কণা দিয় আঘাত করা হয় তাকে প্রক্ষিপ্ত কণা (Projectile) বলে। এই সংঘর্ষের ফলে একটি বা একাধিক নতুন কণা উচ্চ গতিশক্তি নিয়ে নির্গত হয় এবং নতুন মৌলের নিউক্লিয়াস গঠিত হয়।

লক্ষ্যবস্তু নিউক্লিয়াসকে $X$, প্রক্ষিপ্ত কণাকে $a$, উৎপন্ন নিউক্লিয়াসকে $Y$ এবং নির্গত কণাকে $b$ দিয়ে প্রকাশ করা হলে, নীচের সমীকরণ দিয়ে নিউক্লীয় বিক্রিয়া দেখানো যায়, $a + X \rightarrow Y + b$

**ভর সংখ্যার সংরক্ষণ:** উপরের সমীকরণে $a, X, Y$ ও $b$ এর ভর সংখ্যা যথাক্রমে $A_1, A_2, A_3$ ও $A_4$ হলে,

$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4$$

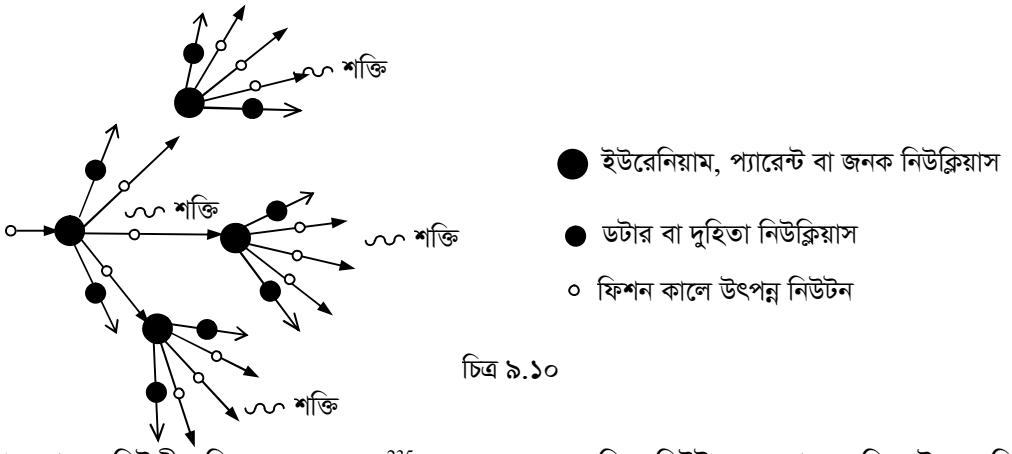
**পারমাণবিক ভর সংখ্যার সংরক্ষণ:** উপরের সমীকরণে $a, X, Y$ ও $b$ এর পারমাণবিক ভর সংখ্যা যথাক্রমে $Z_1, Z_2, Z_3$ ও $Z_4$ হলে, $Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$

### ৯.৬.৩ শৃঙ্খল বিক্রিয়া (Chain Reaction) ঃ

শৃঙ্খল বিক্রিয়া এমন একটি বিক্রিয়া যা একবার শুর" হলে ওকে চালাবার জন্য অন্য কোনো অতিরিক্ত উৎস বা শক্তির প্রয়োজন হয় না বরং এটি স্বয়ংক্রিয় ভাবে চলতে থাকে।

একটি ইউরেনিয়াম নিউক্লিয়াস ${}_{92}U^{235}$ কে একটি তাপীয় নিউটন ${}_0n^1$ দিয়ে আঘাত করলে ইউরেনিয়াম নিউক্লিয়াস বিভাজিত হবার সময় একাধিক নিউটনের সৃষ্টি হয়।

যেমন, ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow \left[{}^{236}_{92}\text{U}\right]^* \rightarrow {}^{141}_{36}\text{Ba} + {}^{92}_{26}\text{Kr} + 3{}^1_0\text{n} + 200\text{MeV}$




চিত্র ৯.১০

সমীকরণে দেখানো নিউক্লীয় ফিশনের ক্ষেত্রে, $^{235}_{92}U$ এর ওপর আপতিত নিউট্রনের সংখ্যা 1, কিন্তু উৎপন্ন নিউট্রনের সংখ্যা 3। এই 3 টি নিউট্রনকে মন্দীভূত করে তাপীয় নিউট্রনে পরিণত করা হয়। সেগুলি দিয়ে আবার নিউক্লীয় বিভাজন ঘটানো হলে পরবর্তী ধাপে 3 টি $^{235}_{92}U$ নিউক্লিয়াসের বিভাজন ঘটবে। 3টি $^{235}_{92}U$ নিউক্লিয়াসের বিভাজনের ফলে আবর 9টি নিউট্রন উৎপন্ন হয়। এই ভাবে ইউরেনিয়াম নিউক্লিয়াস শেষ না হওয়া পর্যন্ড় বিভাজন স্বতঃস্ফুর্ত ভাবে এই প্রক্রিয়া চলতে থাকে। এই ধারাবাহিক বিভাজনের ঘটনাকে শৃঙ্খল বিক্রিয়া বলা হয়। সর্বদাই তিনটি নিউট্রন সৃষ্টি হবে, এমন নয়। গড়ে প্রায় তিনটি নিউট্রন সৃষ্টি হয়। (৯.৭.১ নং) অনুচ্ছেদে দুইটি নিউট্রন সৃষ্টির উদাহরণ দেওয়া আছে।

**সার-সংক্ষেপ :**

**তেজস্ক্রিয়তার প্রকারভেদ ঃ** তেজস্ক্রিয়তা দুই প্রকার। যথাঃ- প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তা ও কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা।

**প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তাঃ-** কোন পদার্থ হতে স্বতঃস্ফুর্ত ভাবে যে তেজস্ক্রিয়তা ঘটে তাকে প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তা বলে।

**কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তাঃ-** কৃত্রিম উপায়ে প্রাকৃতিক স্থায়ী মৌলের অস্থায়ী আইসোটোপ গঠন ও স্বাভাবিক নিয়মে ঐ আইসোটোপের তেজস্ক্রিয় ক্ষয়কে কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা বলা হয়।

**মৌলের কৃত্রিম রূপান্ড়র ঃ** তেজস্ক্রিয় ক্ষয়ের ফলে মৌলের স্বাভাবিক রূপান্ড়র ঘটে। কিন্তু কৃত্রিম উপায়ে যদি পরমাণুর নিউক্লিয়াসের প্রোটন সংখ্যার পরিবর্তন ঘটানো যায় তাহলে মৌলটি অন্য মৌলে রূপান্ড়রিত হয়। একে কৃত্রিম মৌলের রূপান্ড়র বলে।

**নিউক্লিয় বিক্রিয়া ঃ** কৃত্রিম উপায়ে পরমাণুর নিউক্লিয়াসের পরিবর্তন ঘটিয়ে নতুন কোনে মৌল গঠনের প্রক্রিয়াকে নিউক্লিয় বিক্রিয়া বলে।

**শৃঙ্খল বিক্রিয়া ঃ** শৃঙ্খল বিক্রিয়া এমন একটি বিক্রিয়া যা একবার শুর" হলে ওকে চালাবার জন্য অন্য কোন অতিরিক্ত উৎস বা শক্তির প্রয়োজন হয় না বরং এটি স্বয়ংক্রিয় ভাবে চলতে থাকে।

## পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৯.৬

**বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ**

১। ঋণাত্মক $\beta$-ক্ষয়ে
- ক. পরমাণুর একটি ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়
- খ. আগে থেকেই নিউক্লিয়াসের অবস্থিত ছিল, এরকম একটি ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়
- গ. নিউক্লিয়াসের একটি নিউট্রনের ক্ষয়ের ফলে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়
- ঘ. নিউক্লীয় বন্ধন শক্তি একটি অংশ ইলেকট্রনে র"পান্ড়রিত হয়

২। কোন উক্তিটি সঠিক?
- ক. $\beta$-রশ্মি ও ক্যাথোড রশ্মি সদৃশ
- খ. $\gamma$-রশ্মি হল উচ্চ শক্তিসম্পন্ন নিউট্রনের স্রোত
- গ. $\alpha$-কণাগুলি একক আয়নিত হিলিয়াম পরমাণু
- ঘ. প্রোটন ও নিউট্রনের ভর হুবহু এক

# পাঠ ৯.৭ : নিউক্লিয় ফিশন ও নিউক্লিয় ফিউশন
# Nuclear Fission and Fussion

**উদ্দেশ্য**

**এ পাঠের শেষে আপনি-**

- নিউক্লিয় ফিশন ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- নিউক্লিয় ফিউশন ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

## ৯.৭.১ নিউক্লিয় ফিশন (Nuclear Fission) ঃ

আমরা দেখেছি, $^{238}_{92}\mathrm{U}$ কে তাপীয় নিউট্রন দিয়ে আঘাত করলে এই ভারী নিউক্লিয়াসটি প্রায় সমান ভাবে দুটি নিউক্লিয়াসে ভেঙ্গে যায়। এর সাথে প্রচুর শক্তি নির্গত করে।

যেমন, $^{235}_{92}\mathrm{U} + ^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow \left[^{236}_{92}\mathrm{U}\right]^{*} \rightarrow ^{134}_{54}\mathrm{Xe} + ^{100}_{38}\mathrm{Sr} + 2^{1}_{0}\mathrm{n} + h\nu$

এবং $^{235}_{92}\mathrm{U} + ^{1}_{0}\mathrm{n} \rightarrow \left[^{236}_{92}\mathrm{U}\right]^{*} \rightarrow ^{141}_{56}\mathrm{Ba} + ^{92}_{36}\mathrm{Kr} + 3^{1}_{0}\mathrm{n} + h\nu$

প্রথম সমীকরণটির ক্ষেত্রে নির্গত শক্তির পরিমান নির্ণয় করা যাক,

$^{235}_{92}\mathrm{U}$ এর ভর $= 235.0439\,\mathrm{u}$, $^{1}_{0}\mathrm{n}$ এর ভর $= 1.0087\,\mathrm{u}$,

$^{134}_{54}\mathrm{Xe}$ এর ভর $= 133.9054\,\mathrm{u}$, $^{100}_{38}\mathrm{Sr}$ এর ভর $= 99.9354\,\mathrm{u}$,

তাহলে, বিক্রিয়ার পূর্বে ভর =235.0439+1.0087=236.0526 u

এবং বিক্রিয়ার পরের ভর $= 133.9054 + 99.9354 + 2 \times 1.0087 = 235.85836\,\mathrm{u}$

তাহলে, ভরত্রুটি, $\Delta m = 236.0526 - 235.85836 = 0.19424\,\mathrm{u}$

সুতরাং, মুক্ত শক্তি, $\Delta mc^2 = \Delta E = 0.19424 \times 931.2\,\mathrm{MeV} = 181\mathrm{MeV}$

দ্বিতীয় সমীকরণটির ক্ষেত্রে নির্গত শক্তির পরিমান,

$^{235}_{92}\mathrm{U}$ এর ভর $= 235.0439\,\mathrm{u}$, $^{1}_{0}\mathrm{n}$ এর ভর $= 1.0087\,\mathrm{u}$,

$^{141}_{56}\mathrm{Ba}$ এর ভর $= 140.9139\,\mathrm{u}$, $^{92}_{36}\mathrm{Kr}$ এর ভর $= 91.8973\,\mathrm{u}$,

তাহলে, বিক্রিয়ার পূর্বে ভর =235.0439+1.0087=236.0526 u

এবং বিক্রিয়ার পরের ভর $= 140.9139 + 91.8973 + 3 \times 1.0087 = 235.8373\,\mathrm{u}$

তাহলে, ভরত্রুটি, $\Delta m = 236.0526 - 235.8373 = 0.2153\,\mathrm{u}$

সুতরাং, মুক্ত শক্তি, $\Delta mc^2 = \Delta E = 0.2153 \times 931.2\,\mathrm{MeV} = 200.5\mathrm{MeV}$

এই ধরণের নিউক্লীয় বিক্রিয়ার ঘটনাকেই সাধারণভাবে নিউক্লীয় বিভাজন বা নিউক্লিয় ফিশান বলে।

1939 সালে অটো হান ও স্ট্রাসম্যান; ফ্রিশ ও মিটনার এই পদ্ধতি আবিষ্কার করেন।

**কোনো ভারী নিউক্লিয়াসকে $(A > 230)$ সঠিক গতির নিউট্রন বা ফোটন দিয়ে আঘাত করে সম্পূর্ণরূপে ভেঙে প্রায় সমান অংশে বিভক্ত করে প্রচন্ড পারমাণবিক শক্তি উৎপন্ন করার প্রক্রিয়াকে নিউক্লীয় বিভাজন বা নিউক্লিয় ফিশান বলে।**

এখানে, $^{235}_{92}\mathrm{U}$ কে পেরেন্ট বা জনক নিউক্লিয়াস, $\left[^{236}_{92}\mathrm{U}\right]^{*}$ কে অস্থায়ী যৌগিক নিউক্লিয়াস এবং $^{134}_{54}\mathrm{Xe}$ ও $^{100}_{38}\mathrm{Sr}$ কে ডটার বা দুহিতা নিউক্লিয়াস বলে।

### ৯.৭.২ নিউক্লীয় ফিউশন বা সংযোজন (Nuclear Fusion) ঃ

একাধিক হালকা নিউক্লিয়াস একসঙ্গে জুড়ে অপেক্ষাকৃত বড়ো এবং ভারী একটি নিউক্লিয়াসে পরিণত হওয়ার ঘটনাকে নিউক্লীয় সংযোজন বলা হয়। নিউক্লীয় সংযোজনকে নিউক্লীয় বিভাজনের বিপরীত ঘটনা বলা যায়।

দুটি হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াস, অর্থাৎ দুটি প্রোটনের মধ্যে সংযোজনের সম্ভাবনা খুবই কম। নিউক্লীয় সংযোজনের সহজতম উদাহরণ হল দুটি ডিউটেরন (deuteron)-এর সংযোজন; এর চিহ্ন হল ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$ ।

${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$

এ ছাড়া, হাইড্রোজেনের আর একটি আইসোটোপ ট্রিটিয়াম ${}^{3}_{1}\mathrm{H}$ এর নিউক্লিয়াস, অর্থাৎ ট্রাইটন (triton) এর সঙ্গে ডিউটেরনের সংযোজনের সম্ভাবনাও খুব বেশি।

${}^{3}_{1}\mathrm{H} + {}^{2}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$

### ৯.৭.৩ নিউক্লীয় ফিউশনের শর্ত (Conditions of nuclear fusion) ঃ

**হালকা মৌল ঃ** ধনাত্মক আধানযুক্ত একাধিক নিউক্লিয়াসকে সংযোজনের জন্য পরস্পরের সংস্পর্শে আনতে হলে স্থির তড়িৎ বিকর্ষণ বলের বিরূদ্ধে কাজ করতে হয়। এজন্য হাইড্রোজেনের মতো হালকা মৌল ব্যবহারই সুবিধাজনক, কারণ সেক্ষেত্রে নিউক্লিয়াসের ধনাত্মক আধানের পরিমাণ কম হয়, ফলে পারস্পরিক বিকর্ষণ বলও কম থাকে।

**অতি উচ্চ উষ্ণতা ঃ** নিউক্লীয় সংযোজনের জন্য হাইড্রোজেনের আইসোটোপগুলিকে কয়েক কোটি ডিগ্রি সেলসিয়াস উষ্ণতায় উত্তপ্ত করতে হয়, এর চেয়ে কম উষ্ণতায় ফিউশন ঘটে না। এজন্যই নিউক্লীয় সংযোজন আসলে তাপ-নিউক্লীয় বিক্রিয়া (themo-nuclear reaction)। এই ধরনের উচ্চ উষ্ণতা তৈরী করার সবচেয়ে কার্যকর উপায় হল অনিয়ন্ত্রিত নিউক্লীয় বিভাজন। তই বলা যায়, নিউক্লীয় সংযোজন থেকে শক্তি পেতে হলে আগে নিউক্লীয় বিভাজন ঘটানো প্রয়োজন।

### সূর্য ও নক্ষত্রসমূহের শক্তি (Energy of the sun and the stars) ঃ

সূর্য ও বিভিন্ন নক্ষত্রগুলির অভ্যন্ড়রে তাপ নিউক্লীয় বিক্রিয়ার মাধ্যমে শক্তি উৎপন্ন হয়। এদেরে কেন্দ্রীয় অঞ্চলের কয়েক কোটি ডিগ্রি সেলসিয়াস উষ্ণতা এই ধরনের নিউক্লীয় সংযোজনের পক্ষে অত্যন্ড় উপযোগী।

বর্তমান স্বীকৃত তত্ত্ব হল: সূর্যের অভ্যন্ড়রে কয়েকটি ধাপে তাপ নিউক্লীয় বিক্রিয়ার একটি চক্র সম্পূর্ণ হয়, প্রতি চক্রে মূলত চারটি প্রোটনের নিউক্লীয় সংযোজনের ফলে তৈরি হয় একটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াস এবং দুটি পজিট্রন।

নিউক্লীয় বিক্রিয়াটি হলে, ${}^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + 2 + 1e^{0}$

${}^{1}_{1}\mathrm{H}$ -এর ভর $= 1.008$ u

${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ -এর ভর $= 4.003$ u

${}^{0}_{1}\mathrm{e}$ -এর ভর $= 0.00055$ u

সুতরাং, এই বিক্রিয়ায় ভর হ্রাস $= 4\times1.008 - (4.003 + 2\times0.00055) = 0.0279$ u

অতএব, এই নিউক্লীয় বিক্রিয়ায় নির্গত শক্তির পরিমান, $\Delta E = 0.0279 \times 931.2\mathrm{MeV} = 26\mathrm{MeV}$

সূর্যে বিপুল পরিমাণে হাইড্রোজেন আছে, প্রতি বছরে এই হাইড্রোজেনের প্রায় $10^{11}$ ভাগের মাত্র 1 ভাগ রূপান্ড়রিত হয় শক্তিতে। তা সত্ত্বেও সূর্যের অভ্যন্ড়রে নিউক্লীয় সংযোজনের ফলে শক্তি উৎপাদনের হার খুবই বেশি, যার মান প্রায় $4\times10^{26}\,\mathrm{W}$ । এই হারে শক্তি উৎপাদন হলেও সূর্যে যে বিপুল পরিমাণ হাইড্রোজেন জ্বলানি আছে তার সাহায্যে কোটি কোটি বছর ধরে এই শক্তি উৎপন্ন হতে থাকবে।

**সার-সংক্ষেপ ঃ**

**নিউক্লিয় ফিশন (Nuclear Fission) ঃ** কোনো ভারী নিউক্লিয়াসকে $(A > 230)$ সঠিক গতির নিউট্রন বা ফোটন দিয়ে আঘাত করে সম্পূর্ণরূপে ভেঙে প্রায় সমান অংশে বিভক্ত করে প্রচন্ড পারমাণবিক শক্তি উৎপন্ন করার প্রক্রিয়াকে নিউক্লিয় ফিশন বলে।

**নিউক্লিয় ফিউশন বা সংযোজন ঃ** একাধিক হালকা নিউক্লিয়াস একসঙ্গে জুড়ে অপেক্ষাকৃত বড়ো একটি নিউক্লিয়াসে পরিণত হওয়ার ঘটনাকে নিউক্লিয় সংযোজন বলা হয়। নিউক্লিয় সংযোজনকে নিউক্লিয় বিভাজনের বিপরীত ঘটনা বলা যায়।

## পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৯.৭

**বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ**

১। নিউক্লিয় ফিশান হলো-

i. কৃত্রিম উপায়ে নিউক্লিয়াস ভাঙার একটি প্রক্রিয়া।
ii. ভারী নিউক্লিয়াসকে ধীর নিউট্রন দিয়ে আঘাত করে সম্পূর্ণরূপে ভেঙে প্রায় সমান অংশে বিভক্ত করা।
iii. একাধিক হালকা নিউক্লিয়াস একসঙ্গে জুড়ে অপেক্ষাকৃত বড়ো একটি নিউক্লিয়াসে পরিণত করা।

নিচের কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii খ. i ও iii গ. ii ও iii. ঘ. i, ii ও iii

২। নিউক্লিয় ফিউশন হলো-

i. কৃত্রিম উপায়ে হালকা নিউক্লিয়াস জুড়ে দেয়ার একটি প্রক্রিয়া।
ii. ভারী নিউক্লিয়াসকে ধীর নিউট্রন দিয়ে আঘাত করে সম্পূর্ণরূপে ভেঙে প্রায় সমান অংশে বিভক্ত করা।
iii. অত্যধিক উচ্চ তাপমাত্রায় একাধিক হালকা নিউক্লিয়াস একসঙ্গে জুড়ে অপেক্ষাকৃত বড়ো একটি নিউক্লিয়াসে পরিণত করা।

নিচের কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii খ. i ও iii গ. ii ও iii. ঘ. i, ii ও iii

# পাঠ ৯.৮ : নিউক্লিয় রিঅ্যাকটর
**Nuclear Reactor**

### উদ্দেশ্য

**এ পাঠের শেষে আপনি-**

- নিউক্লিয় রিঅ্যাকটর বর্ণনা করতে পারবেন।

### ৯.৮.১ নিউক্লিয় রিঅ্যাকটর ঃ

শৃঙ্খল বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে আমরা দেখেছি, $_{92}U^{235}$ কে তাপীয় নিউট্রন দিয়ে আঘাত করলে এই ভারী নিউক্লিয়াসটি প্রায় সমান ভাবে দুটি নিউক্লিয়াসে ভেঙ্গে যায়। এর সাথে প্রচুর শক্তি নির্গত করে।

$$^{235}_{92}\mathrm{U}+^{1}_{1}\mathrm{n}\rightarrow\left[^{236}_{92}\mathrm{U}\right]^{*}\rightarrow^{141}_{56}\mathrm{Ba}+^{92}_{36}\mathrm{Kr}+3^{1}_{0}\mathrm{n}+h\nu$$

শৃঙ্খল বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে 1,3,9,27,81.....-এই গুণোত্তর শ্রেণিতে বিভাজনের সংখ্যা দ্রুত বৃদ্ধি পায়। ফলে অতি অল্প সময়ের মধ্যেই $^{235}_{92}U$ এর সমগ্র নমুনার মধ্যে এক বিপুল পরিমাণ শক্তির উদ্ভব হয়। এটিই হল পারমাণবিক বোমার (atom bomb-এর) মূলনীতি।

যদি এই প্রক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রিত করে এখান থেকে প্রয়োজনীয় শক্তি সংগ্রহ করা যায় তবে এই শক্তিকে মানব কল্যানে ব্যবহার করা যাবে।

নিউক্লিয় বিভাজন থেকে উৎপন্ন তাপশক্তিকে তড়িৎশক্তিতে রূপান্তরিত করার জন্য এমন ব্যবস্থা নেওয়া দরকার, যাতে অতি অল্প সময়ে বিপুল পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন হয়ে সমগ্র প্রক্রিয়াটি নিয়ন্ত্রণের বাইরে চলে না যায় এবং যাতে দীর্ঘ সময় ধরে সমহারে শক্তির সরবরাহ পাওয়া যায়। একে নিয়ন্ত্রিত বিভাজন বা নিউক্লিয় রিঅ্যাকটর বলা হয়। পারমাণবিক শক্তি কেন্দ্রের নিউক্লিয় রিঅ্যাকটরকে এই নিয়ন্ত্রিত বিভাজনের উপযোগী করে তৈরি করা হয়।

নিউক্লিয় রিঅ্যাকটরের বিভিন্ন অংশ সম্বন্ধে এখানে সংক্ষেপে আলোচনা করা হলো।

**১। মডারেটর (Moderator) ঃ** এই বিক্রিয়ার জন্য তাপীয় নিউট্রন অর্থাৎ ধীর গতির নিউট্রন প্রয়োজন।

অথচ এই বিক্রিয়ায় নির্গত নিউট্রনের শক্তি প্রায় 181MeV অর্থাৎ দ্রুতগতি সম্পন্ন নিউট্রন সেইজন্য এর গতি কমিয়ে তাপীয় নিউট্রন তৈরি করা প্রয়োজন। মডারেটরের কাজ হলো দ্রুতগতি সম্পন্ন নিউট্রনগুলিকে আবার পরবর্তী বিভাজনে কাজে লাগাতে হলে পর্যাপ্ত পরিমাণ মন্দন ঘটিয়ে তাপীয় নিউট্রনে পরিণত করে নিতে হয়। যেসব পদার্থের মধ্য দিয়ে পাঠালে উচ্চ গতির নিউট্রন মন্দীভূত হয়ে তাপীয় নিউট্রনে পরিণত হতে পারে, তাদের বলা হয় মডারেটর। বহুল প্রচলিত দুটি মডারেটর হল: (i) ভারী জল বা ডিউটেরিয়াম অক্সাইড ($D_2O$) এবং (ii) গ্রাফাইট।

**২। ক্রান্তি বা সন্ধি আকার (Critical size):** নিউক্লিয় বিভাজনে যে নিউট্রনগুলি উৎপন্ন হয়, তেজস্ক্রিয় নমুনার বাইরের তল দিয়ে সেগুলির বেরিয়ে যাওয়ার প্রবণতা থাকে। বেশি সংখ্যক নিউট্রন বেরিয়ে গেলে ধাপে ধাপে নিউট্রনের সংখ্যা না বেড়ে কমে যাওয়ার আশঙ্কা থাকে। তখন আর শৃঙ্খল বিক্রিয়া বজায় থাকে না এবং নিউক্লিয় বিভাজন বন্ধ হয়ে যায়। এই ঘটনাকে রোধ করতে দুটি উপায় অবলম্বন করা হয়:
তেজস্ক্রিয় নমুনাটিকে গোলকের আকারে নেওয়া হয়, যাতে আয়তনের সাপেক্ষে বাইরের তলের ক্ষেত্রফল কম হয় এবং নমুনার ভরকে আগে থেকে হিসাব করা একটি ন্যূনতম ভর অপেক্ষা বেশি রাখা হয়। শৃঙ্খল বিক্রিয়া বজায় রেখে নিউক্লিয় বিভাজন চালিয়ে যাওয়ার জন্য তেজস্ক্রিয় নমুনাকে যে ন্যূনতম আকারে নিতে হয়, তাকে সন্ধি আকার বলা হয়।

**৩। কোর (Core) ঃ** কোরের মধ্যে নিউক্লিয় বিক্রিয়া ঘটানো হয়। এই অংশে জ্বালানি রড (Fuel rod), নিয়ন্ত্রণ রড (control rod), মডারেটর ও কুল্যান্ট (Coolant) থাকে।

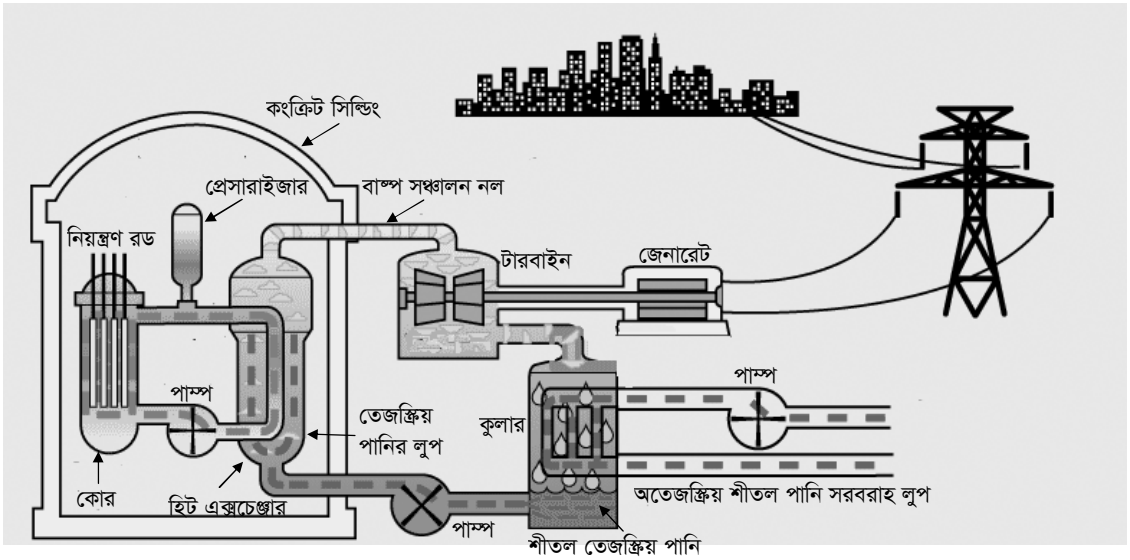
বিভিন্ন ধরনের রিঅ্যাকটরগুলির মধ্যে অন্যতম হল প্রেসারাইজড ওয়াটার রিঅ্যাকটর (Pressurized Water Reactor বা PWR) [চিত্র ৯.১১]। নীচে একটি PWR -এর সংক্ষিপ্ত বিবরণ দেওয়া হল।

এই ধরণের রিঅ্যাকটরগুলিতে জ্বালানি রড হিসেবে $^{235}_{92}U$ ব্যবহার করা হয়। $^{235}_{92}U$-কে নিউট্রন দ্বারা আঘাত করে তাপশক্তি উৎপন্ন করা হয়।

নিয়ন্ত্রণ রড হিসেবে বোরন প্রলেপযুক্ত ইস্পাত দন্ড ব্যবহার করা হয়।

মডারেটর হিসেবে সাধারণত ভারী পানি ব্যবহার করা হয়। নিউক্লীয় বিক্রিয়ার ফলে উৎপন্ন উচ্চ গতিশক্তিসম্পন্ন নিউট্রনগুলিকে মন্দীভূত করে মডারেটর। মন্দীভূত নিউট্রনগুলি আবার নিউক্লীয় বিক্রিয়া ঘটায়।

কুল্যান্ট হিসেবে আজকাল পানি ব্যবহার করা হয়। নিউক্লীয় বিক্রিয়া থেকে উৎপন্ন তাপশক্তি কুল্যান্টই শোষণ করে। উলেণ্টখ্য, উত্তপ্ত পানি প্রেসারাইজারের সাহায্যে খুব উচ্চ চাপে রাখা হয়; তাই এই জলে স্ফুটন না ঘটে।




চিত্র ৯.১১

**হিট এক্সচেঞ্জার (Heat exchanger) ঃ** কোর থেকে নির্গত উত্তপ্ত পানি (কুল্যান্ট) হিট এক্সচেঞ্জারে গিয়ে পৌঁছোয়। এই

পানি তেজস্ক্রিয় হয়। তাই এই পানিকে কংক্রিট শিল্ডিং (Concrete shielding)-এর বাইরে আসতে দেওয়া হয় না। কিন্তু পানিতে সঞ্চিত তাপশক্তি আমাদের প্রয়োজন। হিট এক্সচেঞ্জোরই এই পানির সঞ্চিত তাপশক্তিকে অতেজস্ক্রিয় পানিতে সঞ্চালিত করা হয় এরপর কনক্রিট শিল্ডিং এর বাইরে নিয়ে আসা হয় এবং বাষ্পে পরিণত করা হয়। এই বাষ্প টারবাইনে আসে এবং টারবাইন ঘুরিয়ে তড়িৎশক্তি উৎপন্ন করে।

## সার-সংক্ষেপ :

**নিউক্লিয় রিঅ্যাকটর ঃ** নিউক্লিয় বিভাজন থেকে উৎপন্ন তাপশক্তিকে তড়িৎশক্তিতে রূপান্ড়রিত করার জন্য এমন ব্যবস্থা নেওয়া দরকার, যাতে অতি অল্প সময়ে বিপুল পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন হয়ে সমগ্র প্রক্রিয়াটি নিয়ন্ত্রণের বাইরে চলে না যায় এবং যাতে দীর্ঘ সময় ধরে সমহারে শক্তির সরবরাহ পাওয়া যায়। একে নিয়ন্ত্রিত বিভাজন বা নিউক্লিয় রিঅ্যাকটর বলা হয়।

**মডারেটর ঃ** মডারেটরের কাজ হলো দ্র“তগতি সম্পন্ন নিউট্রনগুলিকে আবার পরবর্তী বিভাজনে কাজে লাগাতে হলে পর্যাপ্ত পরিমাণ মন্দন ঘটিয়ে তাপীয় নিউট্রনে পরিণত করে নিতে হয়। যেসব পদার্থের মধ্য দিয়ে পাঠালে উচ্চ গতির নিউট্রন মন্দীভূত হয়ে তাপীয় নিউট্রনে পরিণত হতে পারে, তাদের বলা হয় মডারেটর।

**ক্রান্ড়ি বা সন্ধি আকার (Critical size) ঃ** তেজস্ক্রিয় নমুনাটিকে গোলকের আকারে নেওয়া হয়, যাতে আয়তনের সাপেক্ষে বাইরের তলের ক্ষেত্রফল কম হয়। নমুনার ভরকে আগে থেকে হিসাব করা একটি ন্যূনতম ভর অপেক্ষা বেশি রাখা হয়। শৃঙ্খল বিক্রিয়া বজায় রেখে নিউক্লিয় বিভাজন চালিয়ে যাওয়ার জন্য তেজস্ক্রিয় নমুনাকে যে ন্যূনতম আকারে নিতে হয়, তাকে সন্ধি আকার বলা হয়।

**কোর ঃ** কোরের মধ্যে নিউক্লিয় বিক্রিয়া ঘটানো হয়। এই অংশে জ্বালানি রড (Fuel rod), নিয়ন্ত্রণ রড (control rod), মডারেটর ও কুল্যান্ট (Coolant) থাকে।

## পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৯.৮

**বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ**

১। নিউক্লিয় রিঅ্যাকটর কি?
- ক. নিয়ন্ত্রিত নিউক্লিয় বিভাজন থেকে উৎপন্ন তাপশক্তিকে তড়িৎশক্তিতে রূপান্ড়রিত করার জন্য এমন ব্যবস্থা
- খ. শৃঙ্খল নিউক্লিয় বিক্রিয়া ঘটানো
- গ. যে পদার্থ দ্র“তগতিসম্পন্ন নিউট্রনকে মন্দন ঘটিয়ে তাপীয় নিউট্রনে পরিণত করে
- ঘ. যেখানে নিউক্লিয় বিক্রিয়া ঘটানো হয়

২। মডারেটরের কাজ হলো-
- ক. কোরকে ঠান্ডা করা
- খ. নিউক্লিয় বিক্রিয়া ঘটানো
- গ. নিউক্লিয় শক্তিকে তাপ শক্তিতে রূপান্ড়র করা
- ঘ. নিউট্রনকে মন্দন ঘটিয়ে তাপীয় নিউট্রনে পরিণত করা

## চূড়ান্ড় মূল্যায়ন

১। নিউক্লিয়াস একটি ধনাত্মক তড়িৎ আহিত গোলক। এটি কার মতবাদ?

ক. রাদারফোর্ড খ. থমসন গ. ডাল্টন ঘ. মোসলে

২। ভূমি অবস্থা থেকে কোন হাইড্রোজেন পরমাণুকে আয়নিত করতে কত শক্তির প্রয়োজন হয়?

ক. -13.6 eV খ. 13.6 eV গ. 27.2 J ঘ. 13.6 J

৩। হাইড্রোজেন পরমাণুর n-তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তির রাশিমালা-

i. $E_n = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 n^2 h^2}$ ii. $E_n = -n^2 E_1$ iii. $E_n = \frac{E_1}{n^2}$

নিচের কোনটি সঠিক?

ক. i ও ii খ. ii ও iii গ. i ও iii ঘ. i, ii ও iii

৪। হাইড্রোজেন পরমাণুর সর্বনিম্ন কৌণিক ভরবেগ-

ক. $h$ খ. $\frac{h}{2}$ গ. $\frac{h}{2\pi}$ ঘ. $\frac{h}{\pi}$

৫. একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রন চতুর্থ কক্ষপথের ব্যাসার্ধ দ্বিতীয় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ অপেক্ষা কতগুণ বেশি?

ক. দ্বিগুণ খ. তিনগুণ গ. চারগুণ ঘ. পাঁচগুণ

৬. নিচের কোনটির ভর সবচেয়ে কম?

ক. ইলেকট্রন খ. প্রোটন গ. হাইড্রোজেন ঘ. নিউট্রন

৭. বোরের হাইড্রোজেন পরমাণু মডেলে একটি ইলেকট্রন প্রোটনের চারদিকে অনির্দিষ্ট কাল ধরে ঘুরতে পারে যদি ইহার পথ হয়–

ক. যে কোনো ব্যাসার্ধের বৃত্ত খ. ক্রমহ্রাসমান ব্যাসার্ধের বৃত্ত

গ. উপবৃত্তাকার ঘ. অনুমোদিত ব্যাসার্ধের বৃত্ত

৮. 1u বা 1 amu ভরের সমতুল্য শক্তি MeV এ কত হবে?

ক. $9.38\times10^{8}\,\text{MeV}$ খ. $9.31\times10^{2}\,\text{Mev}$ গ. $9.38\times10^{3}\,\text{MeV}$ ঘ. $9.38\times10^{6}\,\text{MeV}$

৯. একটি পরমাণুর ভর M, পারমাণবিক সংখ্যা Z, ভরসংখ্যা A হলে এর ভরত্রুটি হবে-

ক. $M/A$ খ. $M/Z$ গ. $(A-Z)M_n + AM_p - M$ ঘ. $ZM_P + (A-Z) - M$

১০. নিচের কোন নিউক্লিয়াসে প্রোটন ও নিউট্রন সংখ্যা সমান?

ক. ${}_{1}^{1}\text{H}$ খ. ${}_{2}^{4}\text{He}$ গ. ${}_{3}^{7}\text{Li}$ ঘ. ${}_{13}^{21}\text{Al}$

১১. একটি উদ্দীপ্ত $Ne^{22}$ নিউক্লিয়াস দুটি $\alpha$-কণা ও একটি অজানা নিউক্লিয়াসে ক্ষয় হয়। এই অজানা নিউক্লিয়াসটি হল-

ক. নাইট্রোজেন খ. বোরন গ. কার্বন ঘ. অক্সিজেন

**সৃজনশীল প্রশ্নঃ**

**১। $15\text{eV}$ গতিশক্তি সম্পন্ন একটি ইলেকট্রন ভূমি অবস্থায় হাইড্রোজেন পরমাণুকে আঘাত করে বিক্ষিপ্ত হয় এবং কিছু গতিশক্তি হারায়। উত্তেজিত পরমাণু হতে একটি ফোটন নির্গত হয়ে $1.23\text{eV}$ কার্যাপেক্ষক বিশিষ্ট ধাতুর উপর আপতিত হলে ধাতু থেকে $11.52\text{eV}$ গতিশক্তি সম্পন্ন ইলেকট্রন নির্গত হলো। হাইড্রোজেন পরমাণুর আয়নায়ন শক্তি $13.6\text{eV}$ ।**

ক. বোরের দ্বিতীয় স্বীকার্যটি লিখুন।

খ. থমসনের পরমাণু মডেলের ব্যার্থতাগুলো লিখুন

গ. বিক্ষিপ্ত ইলেকট্রনের বেগ নির্ণয় করুন।

ঘ. উত্তেজিত পরমাণু থেকে কতগুলি বর্ণালি রেখা পাওয়া সম্ভব? আপনার উত্তর গাণিতিক ভাবে বিশেণ্ডষণ করুন।

**২। ${}_{92}\text{U}^{235}$ এর একটি নিউক্লীয় বিক্রিয়া নীচে দেয়া হলো।**

$${}_{92}\text{U}^{235} + {}_{0}\text{n}^{1} \rightarrow {}_{56}\text{Ba}^{141} + {}_{36}\text{Kr}^{92} + 3\,{}_{0}\text{n}^{1} + h\nu$$

**দেয়া আছে, ${}_{92}\text{U}^{235}$ এর ভর $= 235.0439\text{u}$, ${}_{0}\text{n}^{1}$ এর ভর $= 1.0087\text{u}$,**

**${}_{56}\text{Ba}^{141}$ এর ভর $= 140.9139\text{u}$, ${}_{36}\text{Kr}^{92}$ এর ভর $= 91.8973\text{u}$ ।**

ক. নিউক্লিয় বিক্রিয়া কাকে বলে?

খ. নিউক্লিয়াসে ইলেকট্রন থাকে না কিন্তু নিউক্লিয়াস থেকে ইলেকট্রন নির্গত হয়- উক্তিটি ব্যাখ্যা করুন।

গ। তেজস্ক্রিয় ক্ষয়ের সরণ সূত্রের সাহায্যে নিউক্লিয় বিক্রিয়াটির সত্যতা যাচাই করুন।

ঘ। প্রদত্ত উপাত্ত থেকে $h\nu$ -এর মান নির্ণয় সম্ভব কিনা গাণিতিক ভাবে যাচাই করুন।

**সংক্ষিপ্ত উত্তর প্রশ্ন ঃ**

১। রাদারফোর্ডের $\alpha$–কণা বিক্ষেপণ পরীক্ষায় লক্ষ্যবস্তু হিসেবে অন্য ধাতুর পরিবর্তে সোনা ব্যবহারের সুবিধা কি?

২। রাদারফোর্ডের পরীক্ষায় কোনো $\alpha$–কণা অনেক বেশি কোণে বিক্ষিপ্ত হয় কেন?

৩। রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল দ্বারা হাইড্রোজেন পরমাণুর বর্ণালির ব্যাখ্যা সম্ভব নয় কেন?

৪। হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটিমাত্র ইলেকট্রন থাকে। কিন্তু হাইড্রোজেন বর্ণালিতে বহুসংখ্যক রেখা পাওয়া যায়। কারণ কী?

৫। হাইড্রোজেন পরমাণুর শক্তি বলতে কী বোঝায়?

৬। পরমাণুতে আবদ্ধ যেকোনো ইলেকট্রনের মোট শক্তি ঋণাত্মক –এর কারণ কী?

৭। নিউক্লিয়াস থেকে কক্ষপথের দূরত্ব যত বাড়ে, ইলেকট্রনের গতিশক্তি তত কমে কিন্তু মোট শক্তি বৃদ্ধি পায় কেন?

**বিশদ উত্তর প্রশ্নঃ**

১। থমসনের পরমাণু মডেল চিত্রসহ বর্ণনা করুন।

২। রাদারফোর্ডের আলফা কণা বিক্ষেপন পরীক্ষা বর্ণনা করুন।

৩। রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল বর্ণনা করুন। এই মডেলের ত্রুটিগুলো কি কি?

৪। রাদারফোর্ড মডেলে হাইড্রোজেন পরমাণুর বর্ণালি ব্যাখ্যা করা সম্ভব নয় কেন ব্যাখ্যা করুন।

৫। বোরের পরমাণু মডেলের স্বীকার্যগুলো বিবৃত ও ব্যাখ্যা করুন।

৬। বোরের পরমাণু মডেল বর্ণনা করুন।

৭। তেজস্ক্রিয়তার ক্ষয় সূত্র বিবৃত ও ব্যাখ্যা করুন।

৮। তেজস্ক্রিয় ক্ষয়ের সূচকীয় সমীকরণটি প্রতিপাদন করুন।

৯। অর্ধায়ুর সাথে ক্ষয় ধ্রুবকের সম্পর্ক স্থাপন করুন।

১০। গড় আয়ু কাকে বলে? গড় আয়ুর সাথে অর্ধায়ুর সম্পর্ক স্থাপন করুন।

১১। দেখান যে, যখন $\tau = t$ তখন $N = 2.718N_0$

১২। দেখান যে, $t = nT$ তখন, $N = \frac{N_0}{2^n}$

১৩। সক্রিয়তা কাকে বলে? দেখান যে, সক্রিয়তা সূচকীয় সূত্র মেনে চলে।

১৪। কোন তেজস্ক্রিয় মৌলের পরমাণু সংখ্যা $N_0$ হলে যে কোন $t$ সময় পরে ঐ মৌলের অবিভাজিত পরমাণুর সংখ্যা নির্ণয় করুন।

**গাণিতিক সমস্যা ঃ**

১। হাইড্রোজেন পরমাণুর ৩য় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ ও শক্তি নির্ণয় করুন। উত্তর: 4.786 Å

২। হাইড্রোজেন পরমাণুর ১০ম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ ও শক্তি নির্ণয় করুন। প্রথম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ 0.53 Å।উত্তর: 53 Å

৩। একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম কক্ষপথের শক্তি – 13.6 eV। একটি ইলেকট্রন তৃতীয় কক্ষপথ থেকে দ্বিতীয় কক্ষপথে গমন করলে নির্গত ফোটনের কম্পাঙ্ক কত হবে নির্ণয় করুন। উত্তর: $4.56 \times 10^{14}$ Hz

৪। হাইড্রোজেন পরমাণুর দ্বিতীয় উদ্দীপিত স্ড়র থেকে ভূমস্ড়রে ইলেকট্রনের সংক্রমণ হলে নিঃসৃত বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য হয় 1026Å । রিডবার্গ ধ্রুবকের মান নির্ণয় করুন। উত্তর: $1.0965 \times 10^7 \text{m}^{-1}$

৫। হাইড্রোজেনের পারমাণবিক বর্ণালিতে একটি বর্ণালিরেখার তরঙ্গদৈর্ঘ্য 4861Å । কোন দুটি কোয়ান্টম স্ড়রের মধ্যে ইলেকট্রন সংক্রমণের জন্য এই রেখার উৎপত্তি হয়? উত্তর: চতুর্থ ও দ্বিতীয় স্ড়র

৬। হাইড্রোজেন পরমাণুর তৃতীয় কোয়ান্টাম স্ড়র ও ভূমিস্ড়রের মধ্যে শক্তির ব্যবধান 12.1eV হলে, ভূমিস্ড়রের শক্তি কত হবে বের করুন। উত্তর: $-13.61$eV

৭। হাইড্রোজেন পরমাণুর বোর ব্যাসার্ধ 0.53Å হলে, দ্বিতীয় কোয়ান্টাম স্ড়রে ইলেকট্রনটির গতিবেগ কত? $e = -1.6 \times 10^{-19}\text{C}$, $m_e = 9.1 \times 10^{-31}\text{kg}$ উত্তর: $1.1 \times 10^6 \text{m s}^{-1}$

৮। হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম বোর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ 0.53Å হলে পরমাণুটির ভূমিস্ড়রের শক্তি eV এককে নির্ণয় করুন। উত্তর: $-13.6$eV

৯। উত্তেজিত অবস্থায় হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনের শক্তি $-0.54e$V । বোরের তত্ত্ব থেকে এই অবস্থায় ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ কত হবে নির্ণয় করুন। উত্তর: $5.29 \times 10^{-34} \text{Js}^{-1}$

১০। একটি প্রোটন ও একটি নিউট্রনের ভর যথাক্রমে $1.0073\,u$ ও $1.0087\,u$। যদি একটি $O^{16}$ নিউক্লিয়াসের ভর $15.990525\,u$ হয়, তবে এই নিউক্লিয়াসের নিউক্লিয়ন প্রতি বন্ধন শক্তি নির্ণয় করুন।

উত্তর: $8.001 MeV/A$

১১। একটি নিউক্লিয়নের গড় ব্যাসার্ধ $1.2\times10^{-15}\,m$ হলে $Ra^{226}$ নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ ও নিউক্লীয় ঘনত্ব নির্ণয় করুন। $\left(1u = 1.66\times10^{-27}\,kg\right)$ উত্তর: $7.3\times10^{-15}\,m,\ 2.29\times10^{17}\,kg\,m^{-3}$

১২। কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের ক্ষয় ধ্রুবকের মান $0.00385 s^{-1}$। এর অর্ধায়ু কত ? উত্তর: $180\ s$

১৩। একটি তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু 5 ঘন্টা। এর ক্ষয় ধ্রুবকের মান কত ? উত্তর: $3.85\times10^{-5}\ s^{-1}$

১৪। রেডিয়ামের গড় আয়ু 2294 বছর। এর ক্ষয় ধ্রুবক ও অর্ধায়ু বের করুন।

উত্তর: $4.36\times10^{-4}\ Y^{-1}$; $1589.45 Y$

১৫। কোন একটি তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু 10 দিন। কত দিনে ঐ পদার্থের 75 % অংশ ক্ষয় হবে? উত্তর: $20d$

১৬। এক খন্ড রেডনের 40 % ক্ষয় হতে কত সময় লাগবে? রেডনের অর্ধায়ু 3.82 দিন। উত্তর: $2.82\ d$

১৭। রেডনের অর্ধায়ু 3.82 দিন। রেডনের তেজস্ক্রিয় ধ্রুবকের মান কত এবং কত দিন পর রেডনের প্রারম্ভিক মানের $\frac{1}{20}$ অংশ অপরিবর্তিত থাকবে? উত্তর: $0.181\ d^{-1}$; $16.54\ d$

১৮। কোন তেজস্ত্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু 15 ঘন্টা। ঐ বস্তুর প্রারম্ভিক ভর 4 gm হলে 60 ঘন্টা পর কতটুকু অবশিষ্ট থাকবে?

উত্তর: $0.25\ gm$

১৯। এক গ্রাম থোরিয়াম থেকে প্রতি সেকেন্ডে 4500 টি আলফা কণিকা নির্গত হয়। এক গ্রাম থোরিয়ামে পরমাণুর সংখ্যা $2.61\times10^{21}$ C হলে থোরিয়ামের অর্ধায়ু কত? উত্তর: $1.28\times10^{10}$ বছর

২০। $U^{238}$ এর অর্ধায়ু $4.5\times10^{9}\,y$। কোনো তেজস্ক্রিয় নমুনায় ঐ মৌলের $1g$ থাকলে, নমুনাটির সক্রিয়তা Curie এককে নির্ণয় করুন (অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা $N = 6.023\times10^{23}$)। উত্তর: $3.34\times10^{7} C$

২১। কার্বন আইসোটেপের অর্ধজীবনকাল $1600y$ হলে, কত বছরে ঐ কার্বনের পরিমাণ প্রাথমিক পরিমানের $\frac{1}{16}$ অংশে পরিণত হবে? উত্তর: $18000y$

## উত্তরমালা

**বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:**

পাঠ-৯.১ ১. ঘ ২. ঘ
পাঠ- ৯.২ ১. গ ২. ঘ
পাঠ- ৯.৩ ১. খ ২. খ
পাঠ- ৯.৪ ১. ঘ ২. ক
পাঠ- ৯.৫ ১. গ ২. ঘ
পাঠ- ৯.৬ ১. গ ২. ক
পাঠ- ৯.৭ ১. ক ২. খ
পাঠ- ৯.৮ ১. ক ২. ঘ

**চূড়ান্ড় মূল্যায়ন**

**বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:**

১.ক ২.খ ৩.গ ৪.গ ৫.গ ৬.ক ৭.ঘ ৮.খ ৯.গ ১০.খ ১১.গ