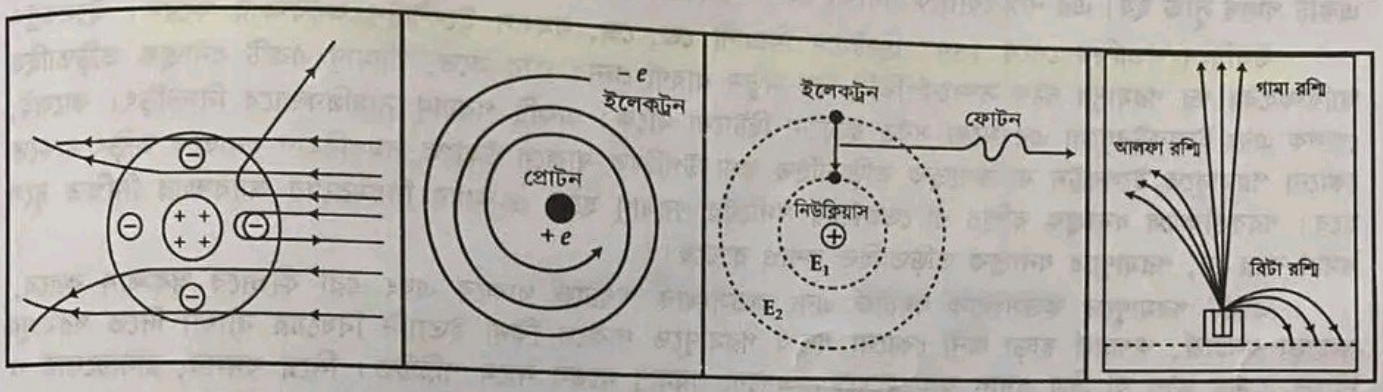
৯

পরমাণুর মডেল এবং নিউক্লিয়ার পদার্থবিজ্ঞান
ATOMIC MODEL AND NUCLEAR PHYSICS

প্রধান শব্দ (Key Words) : পরমাণু, নিউক্লিয়াস, পরমাণু মডেল, নিউক্লিয়ন, নিউক্লিয়াসের গঠন, তেজস্ক্রিয়তা, কুরী, তেজস্ক্রিয়তার ক্ষয়-সূত্র, অর্ধায়ু, ক্ষয় ধ্রুবক, গড় আয়ু, চেইন বিক্রিয়া, ফিশন, ফিউশন, ভর ত্রুটি, বন্ধন শক্তি, নিউক্লীয় বিক্রিয়া।



সূচনা
Introduction

অ্যাটম কথাটি গ্রিক শব্দ অ্যাটোমোস (atomos) হতে এসেছে। অ্যাটোমোসের অর্থ অবিভাজ্য। বিজ্ঞানী ডালটন পরমাণুর অবিভাজ্যতা সংক্রান্ত ধারণার প্রবর্তক। উনবিংশ শতাব্দিতে এই ধারণার বিকাশ হয়েছিল বটে, কিন্তু ইলেকট্রন, প্রোটন, নিউট্রন ইত্যাদি মৌলিক কণার আবিষ্কারের পর ওই ধারণা পরিত্যক্ত হয়। এই মৌলিক কণাগুলিই সমস্ত মৌলের পরমাণু গঠন করে। স্বাভাবিক অবস্থায় যে কোনো পরমাণু বিদ্যুৎ নিরপেক্ষ। এ থেকে সিদ্ধান্ত নেওয়া যায় যে, পরমাণুতে সমপরিমাণ ধনচার্জ এবং ঋণচার্জ রয়েছে।

এর পর 1911 খ্রিস্টাব্দে নিউক্লিয়াস আবিষ্কারের গৌরব এবং কৃতিত্ব অর্জন করেন বিজ্ঞানী লর্ড রাদারফোর্ড (Lord Rutherford) এবং এ ব্যাপারে তাঁকে সক্রিয়ভাবে সহায়তা প্রদান করেন বিজ্ঞানী গাইগার (Geiger) এবং বিজ্ঞানী মার্সডেন (Marsden)। তাছাড়া 1919 খ্রিস্টাব্দে প্রোটন (Proton) এবং 1932 খ্রিস্টাব্দে নিউট্রন (Neutron) আবিষ্কারের পর পরমাণুর গঠন সম্পর্কে একটি সুস্পষ্ট ধারণা পাওয়া যায়।

এই অধ্যায়ে পরমাণু, পরমাণুর গঠন এবং এতদসংক্রান্ত বিষয়াদি আলোচনা করা হবে।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- পরমাণু গঠনের ধারণার ক্রমবিকাশ বর্ণনা করতে পারবে।
- রাদারফোর্ডের আলফা কণা পরীক্ষা বর্ণনা করতে পারবে।
- পরমাণুর গঠন সর্ম্পকিত রাদারফোর্ড মডেলের ব্যাখ্যা দিতে পারবে।
- রাদারফোর্ড মডেলের সীমাবদ্ধতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- বোরের মডেলের সাহায্যে রাদারফোর্ড মডেলের সীমাবদ্ধতা অতিক্রমণ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- নিউক্লিয়াসের গঠন ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- নিউক্লিয়ার পদার্থবিজ্ঞানের বিভিন্ন গুরুত্বপূর্ণ প্রতিভাস ব্যাখ্যা করতে পারবে।

৯.১ পরমাণু গঠনের ধারণার ক্রমবিকাশ
Evolution of ideas on atomic structure

অতি প্রাচীনকাল থেকে বিভিন্ন দার্শনিক পদার্থের গঠন সম্পর্কে বিভিন্ন মতবাদ ব্যক্ত করেন। সর্বপ্রথম ডেমোক্রিটাস নামক একজন গ্রিক দার্শনিক পদার্থের গঠন সম্পর্কে একটি মতবাদ প্রচার করেন। তাঁর মতে পদার্থ কতকগুলো ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অবিভাজ্য নিরেট কণা দ্বারা গঠিত। গ্রিক ভাষায় এর নাম অ্যাটম (Atom)। অ্যাটমগুলো জড় পদার্থে গতিশীল অবস্থায় থাকে এবং এদের বিভিন্ন রকম সংযোগে জড় পদার্থ গঠিত হয়। তবে এ মতবাদের পক্ষে কোনো পরীক্ষালব্ধ প্রমাণ ছিল না।

রবার্ট বয়েল সর্বপ্রথম মৌলিক পদার্থ সম্পর্কে এক ধরনের ধারণা দেন। তিনি বলেন—যে সমস্ত পদার্থকে অতি ক্ষুদ্র অংশে বিভক্ত করার পরও এর নিজের ধর্মের বিলুপ্তি ঘটে না বা তা হতে কোনো নতুন ধর্মের সৃষ্টি হয় না, তাকে মৌলিক পদার্থ বলা হয়।

পরবর্তী সময়ে বিজ্ঞানী ডালটন পদার্থের গঠন সম্পর্কে তিনটি মতবাদ প্রকাশ করেন যা নিম্নরূপ—

(১) জড় পদার্থ কতকগুলো অবিভাজ্য ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণিকা দ্বারা গঠিত যার নাম অ্যাটম বা পরমাণু।

(২) একই পদার্থের পরমাণুগুলো সদৃশ। কিন্তু বিভিন্ন পদার্থের পরমাণুগুলো বিভিন্ন।

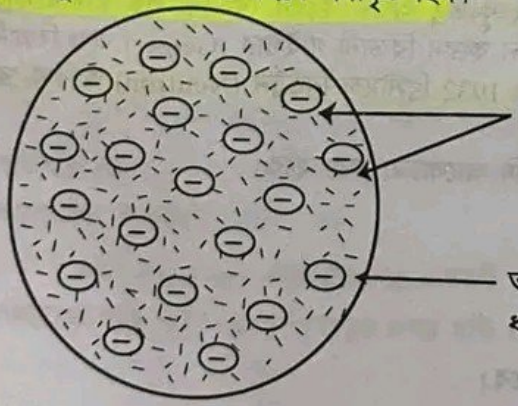
(৩) রাসায়নিক বিক্রিয়ায় এই পরমাণুগুলো অংশগ্রহণ করে। দুই বা ততোধিক পরমাণুর সংযোজনের ফলে নতুন একটি পদার্থ সৃষ্টি হয়। এর নাম যৌগিক পদার্থ। যেমন হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন পরমাণুর দ্বারা পানি উৎপন্ন হয়।

উনবিংশ শতাব্দির শেষে 1897 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী **জে. জে. থমসন** ইলেকট্রন আবিষ্কার করেন। ইলেকট্রন আবিষ্কারের পর পরমাণুর গঠন সম্পর্কে তিনি এক নতুন ধারণা দেন। তাঁর মতে, পরমাণু একটি ধনাত্মক তড়িতাহিত গোলক এবং ইলেকট্রনগুলো এর মধ্যে সর্বত্র ছড়ানো ছিটানো থাকে। একটি পরমাণু সামগ্রিকভাবে নিস্তড়িৎ। কাজেই, কোনো পরমাণুতে ইলেকট্রন বা ঋণাত্মক তড়িতাহিত কণা উপস্থিত থাকলে উহাতে সমপরিমাণ ধনাত্মক তড়িৎ থাকতে হবে। পরবর্তীকালে ধনাত্মক রশ্মির বা তেজস্ক্রিয় পদার্থের পরমাণু হতে α-কণার নিঃসরণের আবিষ্কার নিশ্চিত রূপে প্রমাণ করে যে, পরমাণুতে ধনাত্মক তড়িতাহিত কণাও রয়েছে।

একটি পরমাণুতে কতসংখ্যক ধনচার্জ এবং কতসংখ্যক ঋণচার্জ থাকবে এবং এরা কীভাবে অবস্থান করবে, তাছাড়া ধনচার্জ, ঋণচার্জ ছাড়া অন্য কোনো পদার্থ পরমাণুতে থাকবে কিনা ইত্যাদি বিষয়ের ব্যাখ্যা দিতে পরমাণুর বিভিন্ন প্রকার গঠন বা চিত্র প্রদান করা হয়েছে। এগুলো পরমাণু মডেল নামে পরিচিত। নিম্নে থমসন, রাদারফোর্ড ও বোরের পরমাণু মডেল আলোচনা করা হলো।

৯·১·১ থমসনের পরমাণু মডেল
Thomson's atom model

ইংরেজ পদার্থবিজ্ঞানী **জোসেফ জে. থমসন** (J. J. Thomson) 1897 খ্রিস্টাব্দে ইলেকট্রন আবিষ্কারের পর পরমাণুর গঠন সম্বন্ধে একটি চিত্র বা মডেল উপস্থাপন করেন। এটি **থমসন মডেল** নামে পরিচিত। 1911 খ্রিস্টাব্দে নিউজিল্যান্ড-বাসী পদার্থবিজ্ঞানী আর্নেস্ট রাদারফোর্ডের আলফা কণার দ্বারা বিক্ষেপণ পরীক্ষার ফলাফল প্রকাশের পূর্ব পর্যন্ত থমসনের পরমাণু মডেল বিজ্ঞানী মহলে সমাদৃত ছিল।



চিত্র ৯·১

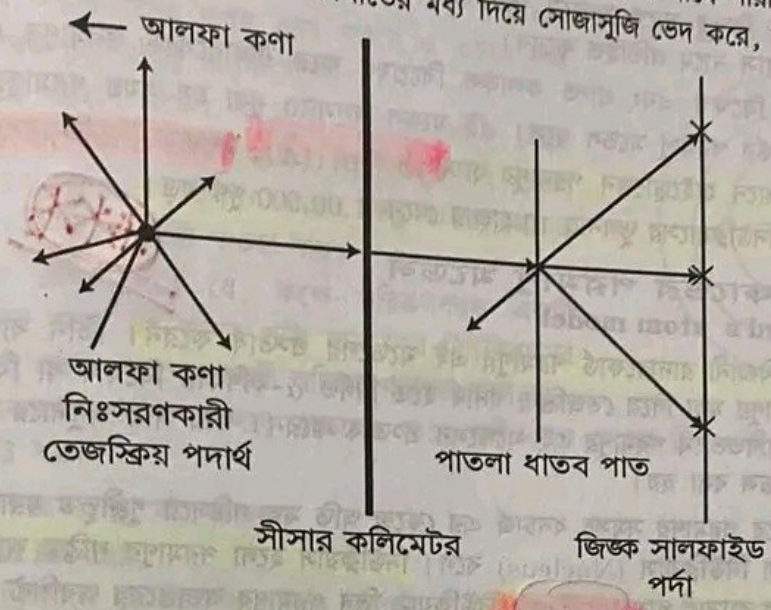
থমসন মডেলের মূল বক্তব্য হলো যে পরমাণু একটি ধনাত্মক তড়িতাহিত গোলক এবং ইলেকট্রনগুলো এর মধ্যে সর্বত্র ছড়ানো ছিটানো রয়েছে [চিত্র ৯·১], অনেকটা ময়দার লেই বা কেক যার মধ্যে কিসমিস্ যেমন সর্বত্র ছড়ানো-ছিটানো থাকে সেরকম। এখানে লেই বা কেক হলো ধনাত্মক তড়িতাহিত গোলক এবং কিস্‌মিস্‌-গুলো হলো ইলেকট্রন। কেকের মধ্যে কিস্‌মিসের ভর যেমন সামান্য তেমনি পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রনের ভর খুবই সামান্য এবং তাঁর মতে গোলকটির ভরই পরমাণুর সম্পূর্ণ ভর; কিন্তু লর্ড রাদারফোর্ড এবং তাঁর সহকারীদের দ্বারা সম্পন্ন বিক্ষেপণ পরীক্ষার ফলাফল (পরের অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য) কোনোভাবেই থমসনের মডেল ব্যাখ্যা করতে সমর্থ না হওয়ায় এর গ্রহণযোগ্যতা আর রইল না।

৯·২ রাদারফোর্ডের আলফা কণা পরীক্ষা
Rutherford's alpha particle experiment

উনবিংশ শতাব্দি পর্যন্ত বিজ্ঞানীদের ধারণা ছিল যে, প্রতিটি পরমাণু ধনাত্মক আধানের বস্তু দ্বারা গঠিত এবং আধান সমস্ত পরমাণু জুড়েই রয়েছে। এই ধনাত্মক আধানযুক্ত বস্তুর মাঝে ইতস্ততভাবে ঋণ আধানযুক্ত ইলেকট্রন ছড়িয়ে রয়েছে। প্রতিটি পরমাণুর মোট ধন আধান ও ঋণ আধানের পরিমাণ সমান।

1909 খ্রিস্টাব্দে রাদারফোর্ডের নির্দেশে বিজ্ঞানী **গাইগার** (Geiger) এবং বিজ্ঞানী **মার্সডেন** (Marsden) একটি 6×10^{-7} m পুরু স্বর্ণপাতের ওপর তেজস্ক্রিয় পলোনিয়াম হতে নির্গত 7·68 MeV গতিশক্তিবিশিষ্ট আলফা কণার বিক্ষেপণ

পরীক্ষা পরিচালনা করেন [চিত্র ৯·২] যা রাদারফোর্ডের আলফা বিক্ষেপণ পরীক্ষা নামে পরিচিত। এই পরীক্ষায় তাঁরা প্রত্যক্ষ করেন যে, কিছু সংখ্যক আলফা কণা স্বর্ণপাতের মধ্য দিয়ে সোজাসুজি ভেদ করে, কিছু সংখ্যক কণা সামান্য



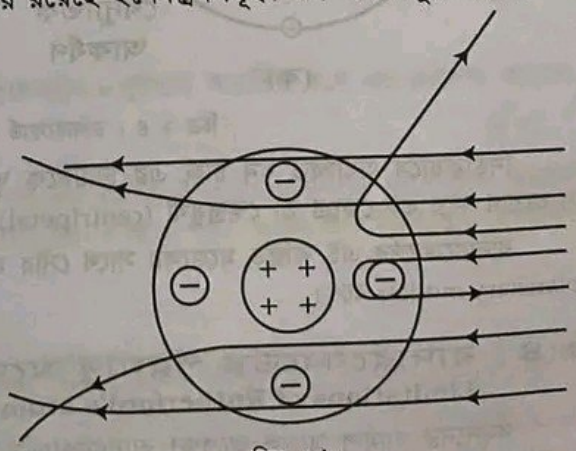
চিত্র ৯·২

কোণে বেঁকে যায়, কিছু সংখ্যক কণা 90° এর অধিক কোণে বেঁকে যায়। আবার কিছু সংখ্যক কণা 180° কোণে ফিরে আসে।

এই পরীক্ষা হতে **লর্ড রাদারফোর্ড** (Lord Rutherford) 1911 খ্রিস্টাব্দে সর্বপ্রথম প্রস্তাব করেন যে অধিক কোণে আলফা কণার বিক্ষেপণ একমাত্র সম্ভব যদি পরমাণুর সমস্ত ধন আধান ও ভর পরমাণুর কেন্দ্রে অতি অল্প পরিসর জায়গায় কেন্দ্রীভূত থাকে। পরে 1913 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী গাইগার এবং মার্সডেনের পরীক্ষার সঙ্গে এই প্রস্তাবের সম্পূর্ণ মিল পরিলক্ষিত হয়। এই পরীক্ষা হতে রাদারফোর্ড সিদ্ধান্ত গ্রহণ করেন যে, **পরমাণুর সমস্ত ধন আধান এবং ভর এর কেন্দ্রে অতি অল্প পরিসর স্থানে কেন্দ্রীভূত রয়েছে।** বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড একে **নিউক্লিয়াস** নামে অভিহিত করেন। অতএব নিউক্লিয়াস আবিষ্কারের কৃতিত্ব অর্জন করেন বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড। নিউক্লিয়াসই হলো পরমাণু তথা পদার্থের প্রাণকেন্দ্র বা শক্তির উৎস।

৯·২·১ পরীক্ষার ফলাফলের ব্যাখ্যা
Explanation of the results of the experiment

রাদারফোর্ডের মতে পরমাণুর কেন্দ্রে রয়েছে নিউক্লিয়াস যেখানে পরমাণুর সমস্ত ধন আধান এবং ভর কেন্দ্রীভূত [চিত্র ৯·৩]। এই নিউক্লিয়াসের চারদিকেই বিক্ষিপ্ত অবস্থায় রয়েছে ইলেকট্রনসমূহ। ধন আধানযুক্ত আলফা কণা স্বর্ণপাতের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় নিউক্লিয়াসের খুব নিকটে আসার সম্ভাবনা কম। তাই অধিকাংশ আলফা কণাই প্রায় শূন্য জায়গার মধ্য দিয়ে সোজা পথেই বের হয়ে আসবে। আবার যেসব আলফা কণা নিউক্লিয়াসের প্রায় কাছাকাছি আসবে তারা নিউক্লিয়াসের ধন আধান দ্বারা বিকর্ষিত হবে এবং এদের আদি গতিপথ হতে বিচ্যুত হবে। উপরন্তু যেসব আলফা কণিকা নিউক্লিয়াসের দিকে মুখোমুখি অগ্রসর হবে তারাই নিউক্লিয়াসের সর্বাপেক্ষা নিকটবর্তী হবে এবং কুলম্বের বিপরীত বর্গীয় সূত্রানুযায়ী এই সব কণা অধিক বল দ্বারা বিকর্ষিত হয়ে আদি গতিপথের সাথে 180° কোণে ফিরে আসবে।



চিত্র ৯·৩

সিদ্ধান্ত : পরমাণুর অধিকাংশ স্থানই ফাঁকা। যেহেতু অধিক সংখ্যক আলফা কণা বিপরীত দিকে ফিরে আসে তাই ধরা যায় পরমাণুর ভেতরে ক্ষুদ্র আয়তনের ধন চার্জের সংঘর্ষ হয়।

উল্লেখ থাকে যে, আলফা কণা ইলেকট্রন অপেক্ষা প্রায় 7000 গুণ ভারী এবং এরা প্রচণ্ড বেগে স্বর্ণপাতে আঘাত করে। সেহেতু স্বর্ণপাতের পরমাণুর অভ্যন্তরস্থ ইলেকট্রনের সঙ্গে ধাক্কা খেয়ে 180° কোণে বা অন্য যে কোনো কোণে

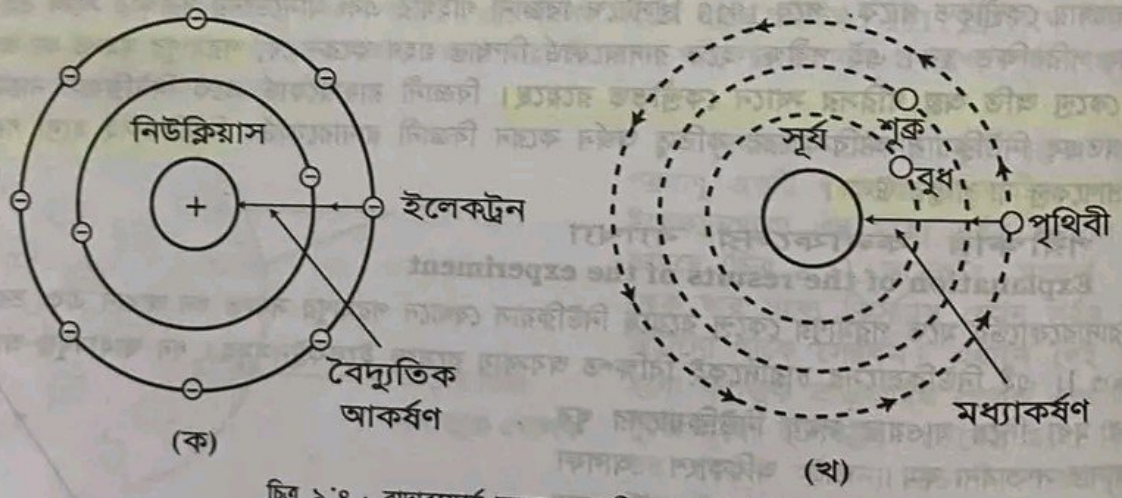
ফিরে আসার সম্ভাবনা নেই বলে ধরে নেয়া যেতে পারে। তাই বলা যায় আলফা কণা সোজাসুজি তার চেয়ে ভারী ও ধনাত্মক চার্জযুক্ত কোনো বিন্দুর সাথে সংঘর্ষে লিপ্ত হয় এবং বিকর্ষিত হয়। তিনি পরমাণুর কেন্দ্রে ভারী ধনাত্মক চার্জযুক্ত বস্তুকে **নিউক্লিয়াস** নামে অভিহিত করেন।

আলফা কণিকার বিক্ষেপ এবং প্রাপ্ত ফলাফল বিশ্লেষণ করে রাদারফোর্ড পরমাণুর সৌর মডেল উপস্থাপন করেন। একে রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল বলে। এই মডেল অনুসারে বলা হয় সমগ্র পরমাণুর তুলনায় নিউক্লিয়াসের আয়তন অতি নগণ্য। যেখানে হাইড্রোজেন পরমাণুর ব্যাস 10^{-10} m (1Å), সেখানে নিউক্লিয়াসের ব্যাস 10^{-15} m থেকে 10^{-14} m। অর্থাৎ পরমাণু নিউক্লিয়াসের তুলনায় 10 হাজার থেকে 1,00,000 গুণ বড়।

৯·৩ রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল
Rutherford's atom model

1911 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড পরমাণুর এই মডেলের প্রস্তাব করেন। তিনি ব্যাপক পরীক্ষার সাহায্যে বিভিন্ন ভারী মৌলের পরমাণুর মধ্য দিয়ে তেজস্ক্রিয় পদার্থ হতে নির্গত α-কণিকার বিক্ষেপ বা বিচ্ছুরণ লক্ষ করেন এবং এর ভিত্তিতে তিনি কাঠামোগতভাবে পরমাণুর এই মডেলের প্রস্তাব করেন। তাঁর নাম অনুসারে পরমাণুর এই মডেলকে **রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল** বলা হয়।

এই মডেল অনুসারে পরমাণুর সমস্ত ধনচার্জ এর কেন্দ্রে অতি স্বল্প পরিসরে পুঞ্জীভূত ধরা হয়। ধন চার্জযুক্ত এই পুঞ্জীভূত ভরকে **কেন্দ্রক** বা **নিউক্লিয়াস** (Nucleus) বলে। নিউক্লিয়াস হলো পরমাণুর শক্তির আধার। এর ব্যাসার্ধ প্রায় 10^{-14} m। আবার পরমাণুর ব্যাসার্ধ প্রায় 10^{-10} m। নিউক্লিয়াস ভিন্ন পরমাণুর অভ্যন্তরের অবশিষ্ট অংশই ফাঁকা বা শূন্য। এই অংশে নির্দিষ্ট সংখ্যক ইলেকট্রন ধনচার্জযুক্ত নিউক্লিয়াসের চারদিকে কতকগুলো বৃত্তাকার কক্ষপথে ঘুরছে। ইলেকট্রনগুলোর ঘূর্ণনজনিত কেন্দ্রবিমুখী বল (centrifugal force) ও নিউক্লিয়াস এবং ইলেকট্রনগুলোর মধ্যে ক্রিয়াশীল কুলম্বীয় বল সমান ও বিপরীতমুখী হওয়ায় ইলেকট্রনগুলো সুস্থিরভাবে নির্দিষ্ট দূরত্বে নিউক্লিয়াসকে প্রদক্ষিণ করে [চিত্র ৯·৪ (ক)]। রাদারফোর্ড বলেন যে, পরমাণুর এই মডেলকে সৌর জগতের সাথে তুলনা করা যায় [চিত্র ৯·৪ (খ)]। গ্রহগুলো যেমন সূর্যের চারদিকে ঘুরছে তেমনি ইলেকট্রনগুলো নিউক্লিয়াসের চারদিকে ঘুরছে।



চিত্র ৯·৪ : রাদারফোর্ড মডেল অনুযায়ী পরমাণুর আকৃতি।

নিউক্লিয়াসে অবস্থিত ধন চার্জ এর চারদিকে ঘূর্ণায়মান ঋণ চার্জযুক্ত ইলেকট্রনের ওপর যে কুলম্বীয় আকর্ষণ বল প্রয়োগ করে এই ক্ষেত্রে তা **কেন্দ্রমুখী** (centripetal) বলের কাজ করে।

রাদারফোর্ডের এই কল্পিত মডেলের সাথে সৌর জগতের গঠনের সাদৃশ্য রয়েছে বলে এই মডেলকে সৌর মডেল (planetary model) বলে।

৯·৪ রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলের সীমাবদ্ধতা
Limitations of Rutherford's atom model

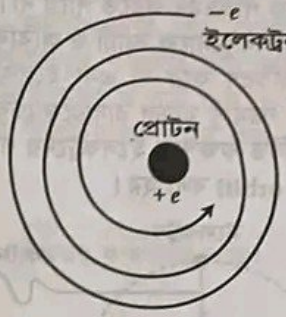
থমসনের পরমাণু মডেল অপেক্ষা রাদারফোর্ডের নিউক্লীয় পরমাণু মডেল অধিকতর যুক্তিসঙ্গত হলেও এর ত্রুটি বা সীমাবদ্ধতা পরিলক্ষিত হয়। নিম্নে এই মডেলের সীমাবদ্ধতা বর্ণনা করা হলো :

১। বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তত্ত্ব অনুসারে যখন কোনো চার্জিত কণা ত্বরণ নিয়ে গতিশীল থাকে, তখন তা ক্রমাগত বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ আকারে শক্তি বিকিরণ করে। এক্ষেত্রে ইলেকট্রনসমূহ নিউক্লিয়াসের আকর্ষণজনিত কেন্দ্রমুখী বলের প্রভাবে নিউক্লিয়াসকে প্রদক্ষিণ করছে। সুতরাং ইলেকট্রনের ওপর সর্বদাই অভিলম্ব ত্বরণ থাকবে। ফলে এরা

বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ হিসেবে শক্তি বিকিরণ করবে। ফলশ্রুতিতে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের শক্তি ক্রমশ হ্রাস পাবে এবং এদের বৃত্তাকার পথের ব্যাসার্ধ কমতে থাকবে। সুতরাং একটি সর্পিল (spiral) পথে ইলেকট্রনসমূহ ক্রমান্বয়ে নিউক্লিয়াসের নিকটবর্তী হয়ে পরিশেষে নিউক্লিয়াসের ওপর এসে পড়বে ও এদের চার্জ বিলীন হয়ে যাবে এবং পরমাণুর স্থায়িত্ব বিনষ্ট হবে।

২। রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল অনুসারে ইলেকট্রনসমূহ নিউক্লিয়াসের চারদিকে ঘূর্ণনকালে সব তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ বিকিরণ করবে এবং নিরবচ্ছিন্ন বর্ণালি প্রদর্শন করবে কিন্তু হাইড্রোজেনের ক্ষেত্রে নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্যের রেখা বর্ণালি পাওয়া যায়।

গণনার সাহায্যে দেখা গেছে যে, কক্ষে পরিক্রমণরত একটি ইলেকট্রন 10^{-8} সেকেন্ডের মধ্যে এর সমস্ত শক্তি ব্যয় করে নিউক্লিয়াসের ওপর পড়বে। কাজেই এই প্রকার পরমাণুর স্থায়ী অস্তিত্ব থাকতে পারে না।



চিত্র ৯·৫

অতএব, রাদারফোর্ডের কল্পিত পরমাণু মডেলের সাথে পরীক্ষালব্ধ ফলের মিল নেই। সুতরাং রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল গ্রহণযোগ্য নয়।

৯·৫ বোরের পরমাণু মডেল
Bohr's Atom Model

সূচনা : 1913 খ্রিস্টাব্দে ডেনমার্কের প্রসিদ্ধ বিজ্ঞানী **নীলস্ বোর** (Niels Bohr) পরমাণুর এই মডেল প্রস্তাব করেন এবং 1922 খ্রিস্টাব্দে এই আবিষ্কারের জন্য তিনি নোবেল পুরস্কার লাভ করেন। বোর প্রস্তাব করেন যে, চিরায়ত বলবিদ্যা (Classical mechanics) এবং বিদ্যুৎ চুম্বকত্ব (Electromagnetism)-এর সূত্রসমূহ পরমাণুতে বিকল হয়ে (break down) পড়ে। তিনি মূলত রাদারফোর্ডের নিউক্লীয় পরমাণু মডেলে কোয়ান্টাম তত্ত্ব প্রয়োগ করেন এবং কোয়ান্টাম তত্ত্বের বৈপ্লবিক প্রসারণ ঘটিয়ে পরমাণুর বর্ণালি ব্যাখ্যা করেন। তাঁর নাম অনুসারে পরমাণুর এই মডেলকে **বোর পরমাণু মডেল** বলা হয়। এই পরমাণু মডেলে তিনি রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলের প্রধান ত্রুটি পরমাণুর স্থায়ী অস্তিত্বসহ অন্যান্য ত্রুটি দূর করার চেষ্টা করেন। এই পর্যায়ে নীলস্ বোর কোয়ান্টাম তত্ত্ব প্রয়োগ করে সমস্যাটির সমাধান করতে চেষ্টা করেন। তিনি রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলে নিম্নলিখিত মৌলিক স্বীকার্য প্রয়োগ করেন। এই স্বীকার্যগুলোকে বোর-এর স্বীকার্য বলে। এগুলো মূলত নিউক্লিয়াসের চারদিকে ইলেকট্রনসমূহের গতি সংক্রান্ত স্বীকার্য।

৯·৫·১ বোর-এর স্বীকার্যসমূহ
Bohr's postulates

ক. প্রথম স্বীকার্য (কৌণিক ভরবেগ সংক্রান্ত) :

কোনো স্থায়ী কক্ষপথে আবর্তনকালে ইলেকট্রনের মোট কৌণিক ভরবেগ $\frac{h}{2\pi}$-এর পূর্ণ সংখ্যার গুণিতক হবে, অর্থাৎ $L = \frac{nh}{2\pi}$। এখানে, h হলো প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক। অন্যভাবে বলা যায়, যে কক্ষপথগুলোতে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ $\frac{h}{2\pi}$-এর পূর্ণ গুণিতক, সেগুলোই অনুমোদিত কক্ষপথ।

এর অর্থ এই যে r ব্যাসার্ধের স্থায়ী কক্ষে m ভরবিশিষ্ট ইলেকট্রন v দ্রুতিতে আবর্তিত হলে এর কৌণিক ভরবেগ,

$$mvr = L = \frac{nh}{2\pi} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.1)$$

এখানে n একটি পূর্ণ সংখ্যা। বিভিন্ন কক্ষপথের জন্য n-এর মান বিভিন্ন হয়। নিউক্লিয়াসের অবস্থানের সাপেক্ষে ১ম, ২য়, ৩য় ইত্যাদি স্থায়ী কক্ষপথের জন্য $n = 1, 2, 3$ ইত্যাদি হয়; কিন্তু 0 নয়। n-কে কক্ষপথের **মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা** (Principal quantum number) বলা হয়।

সমীকরণ (9.1) হলো বোরের কোয়ান্টাম শর্ত।

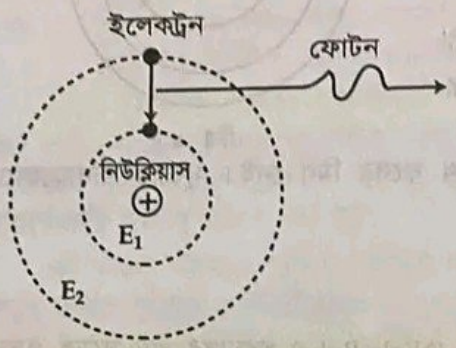
হিসাব : একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রনটি তৃতীয় কক্ষপথে ভ্রমণশীল। এর কৌণিক ভরবেগ কত ? $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

বোরের স্বীকার্য অনুযায়ী ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ হলো

$$L = \frac{nh}{2\pi} = \frac{3 \times 6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{2\pi}$$
$$= 3{\cdot}17 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

খ. দ্বিতীয় স্বীকার্য (শক্তি স্তর সংক্রান্ত) :

পরমাণুস্থ ইলেকট্রনসমূহ ইচ্ছাকৃত যে কোনো ব্যাসার্ধের কক্ষপথে অর্থাৎ সব সম্ভাব্য কক্ষপথে নিউক্লিয়াসের চারদিকে পরিভ্রমণ করতে পারে না। বরং কয়েকটি পৃথক পৃথক নির্দিষ্ট ও সুবিধাযুক্ত বৃত্তাকার কক্ষপথে পরিভ্রমণ করে। এই কক্ষপথগুলোকে স্থায়ী ও অবিকিরণযোগ্য কক্ষপথ বলে। এই স্থায়ী কক্ষপথে আবর্তনকালে ইলেকট্রনসমূহ কখনও শক্তি বিকিরণ করে না এবং ইলেকট্রনের গতিপথ সর্পিল আকারে ক্রমশ নিউক্লিয়াসের দিকে এগিয়ে আসে না। ফলে বোরের পরমাণু মডেল রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলের সীমাবদ্ধতাকে অতিক্রম করে। এই স্বীকার্য অনুসারে যে কোনো অনুমোদিত কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি ধ্রুব থাকে। এজন্য এই কক্ষপথগুলোকে স্থির বা স্থায়ী কক্ষপথ (stationary or stable orbit) বলা হয়।



চিত্র ৯·৬

গ. তৃতীয় স্বীকার্য (কম্পাঙ্ক সংক্রান্ত) :

যখনই কোনো ইলেকট্রন একটি যথোপযোগী কক্ষপথ হতে অপর একটি যথোপযোগী কক্ষপথে লাফ দেয়, তখনই শক্তির বিকিরণ বা শোষণ ঘটে। যদি ইলেকট্রন উচ্চতর সুবিধাযুক্ত কক্ষপথ হতে নিম্নতর সুবিধাযুক্ত কক্ষপথে লাফ দেয়, তবে শক্তির বিকিরণ ঘটে [চিত্র ৯·৬]। আর যদি ইলেকট্রন নিম্নতর সুবিধাযুক্ত কক্ষপথ হতে উচ্চতর সুবিধাযুক্ত কক্ষপথে লাফ দেয় তবে শক্তির শোষণ ঘটে। এই বিকিরিত বা শোষিত শক্তির পরিমাণ ওই দুটি কক্ষপথের শক্তির বিয়োগফলের সমান এবং এর মান এক কোয়ান্টাম অর্থাৎ $h\upsilon$।

$$\therefore \quad E = E_2 \sim E_1 = h\upsilon \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (9.2)$$

এখানে, E = বিকিরিত বা শোষিত শক্তি
E_1 = নিম্নতর কক্ষপথের শক্তি ও
E_2 = উচ্চতর কক্ষপথের শক্তি।

সমীকরণ (9.2) কে বলা হয় **বোরের কম্পাঙ্ক শর্ত।**

রাদারফোর্ড মডেলের সনাতন তড়িচ্চুম্বকীয় তত্ত্ব অনুযায়ী ত্বরিত গতিতে চলমান আহিত কণা সর্বদা তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণের আকারে শক্তি বিকিরণ করে। ফলে ইলেকট্রনের বেগ তথা কক্ষপথের ব্যাসার্ধ ক্রমশ কমে যাবে। বোরের তৃতীয় স্বীকার্য অনুযায়ী ইলেকট্রনের এক কক্ষপথ থেকে অন্য কক্ষপথে লাফ দেওয়ার ফলে শক্তির যে শোষণ বা বিকিরণ তা পরমাণুর অতিরিক্ত শক্তি তড়িৎ চুম্বকীয় শক্তির আকারে বিকিরণ করে। তরঙ্গদৈর্ঘ্য অনুযায়ী ওই বিকিরণ দৃশ্যমান আলোক রশ্মি, অতিবেগুনি রশ্মি এমন কি এক্স-রশ্মি হতে পারে। ফলে কক্ষপথের পরিধির ওপর কোনো প্রভাব ফেলে না। **তাই বলা যায় বোরের পরমাণু মডেলে উল্লিখিত মতবাদ রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলের সীমাবদ্ধতাকে অতিক্রম করে।**

সম্প্রসারিত কাজ : রাদারফোর্ড মডেলের যে সীমাবদ্ধতা আছে তা বোর মডেল দ্বারা অতিক্রম করা যায়। তাই বলা যায় বোর মডেল একটি গ্রহণযোগ্য এবং আধুনিক পরমাণু মডেল—তবুও এই মডেলের কিছু সীমাবদ্ধতা লক্ষ করা যায় তা ব্যাখ্যা কর।

বর্ণালি রেখার উৎপত্তি এবং পরমাণুর স্থায়িত্ব ব্যাখ্যার ক্ষেত্রে বোর তত্ত্ব অভূতপূর্ব সাফল্য অর্জন করলেও এর কিছু সীমাবদ্ধতা বা অসঙ্গতি লক্ষ করা গেছে। প্রথমত উপবৃত্তাকার কক্ষপথের সম্ভাবনা থাকা সত্ত্বেও পরমাণুর ইলেকট্রন কেন বৃত্তাকার কক্ষপথে ঘুরছে তার কোনো কারণ এই তত্ত্বে বলা হয় নাই। এ থেকে প্রতীয়মান হয় যে, বোর তত্ত্ব সর্বসাধারণ বা সম্পূর্ণ নয়। দ্বিতীয়ত, হাইড্রোজেন বর্ণালি রেখাগুলি একক রেখা নয়। পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয়েছে যে, প্রত্যেকটি রেখা খুব সামান্য শক্তি পার্থক্যের কয়েকটি সূক্ষ্ম রেখার সমষ্টি। হাইড্রোজেন বর্ণালি রেখার এই সূক্ষ্ম গঠন (fine structure) বোর তত্ত্ব ব্যাখ্যা করতে পারে না।

বর্তমানে জানা গেছে যে, সৌরজাগতিক মডেল পারমাণবিক গঠনের পূর্ণ চিত্র প্রকাশ করে না, বোর তত্ত্ব ইলেকট্রনের কক্ষপথগুলিকে যেভাবে সংজ্ঞায়িত করেছে, তাও সঠিক নয়। তাছাড়া ইলেকট্রনের তরঙ্গধর্ম আছে এবং বিভিন্ন কক্ষপথে ইলেকট্রনের আধান বণ্টন বোর তত্ত্ব নির্দেশিত আধান বণ্টন অপেক্ষা ভিন্ন ধরনের। উপরোক্ত সীমাবদ্ধতা সত্ত্বেও একথা বলা যায় যে, বোর তত্ত্ব আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের অগ্রগতির পথ মসৃণ করে দিয়েছে।

হিসাব : যদি একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনকে তৃতীয় কক্ষপথে তুলে দেওয়া হয় তা হলে বিভিন্ন শক্তিসম্পন্ন কত রকমের কোয়ান্টা বেরিয়ে আসতে পারে ?

তিনটি সম্ভাব্য অবস্থান্তর হলো $n = 3$ থেকে $n = 2$, $n = 3$ থেকে $n = 1$ ও $n = 2$ থেকে $n = 1$। তাই তিনটি বিভিন্ন শক্তিসম্পন্ন কোয়ান্টা বেরিয়ে আসা সম্ভব।

কাজ : ইলেকট্রন কক্ষপথে আবর্তনকালে শক্তির শোষণ ঘটে, না বিকিরণ ঘটে ? ব্যাখ্যা কর।

ইলেকট্রন নিজ নিজ কক্ষপথে আবর্তনকালে কোনো শক্তি বিকিরণ করে না। আবার শোষণও করে না। তবে যখনই কোনো ইলেকট্রন একটি সুবিধাযুক্ত কক্ষপথ হতে অপর একটি সুবিধাযুক্ত কক্ষপথে লাফ দেয় তখনই শক্তির বিকিরণ বা শোষণ ঘটে। যদি ইলেকট্রন উচ্চতর সুবিধাযুক্ত কক্ষপথ হতে নিম্নতর সুবিধাযুক্ত কক্ষপথে লাফ দেয় তখনই শক্তির বিকিরণ ঘটে। আর যখন নিম্নতর সুবিধাজনক কক্ষপথ হতে উচ্চতর সুবিধাজনক কক্ষপথে লাফ দেয়, তখন শোষণ ঘটে। এই বিকিরণ বা শোষণের শক্তির পরিমাণ, ওই দুটি কক্ষপথের শক্তির বিয়োগফলের সমান এবং এর মান এক কোয়ান্টা বা $h\upsilon$।

$\therefore E = E \sim E_2 = h\upsilon$

এখানে E = বিকিরিত বা শোষিত শক্তি, E_1 = নিম্নতর কক্ষপথের শক্তি, E_2 = উচ্চতর কক্ষপথের শক্তি।

গাণিতিক উদাহরণ ৯.১

১। একটি হাইড্রোজেন পরমাণু উত্তেজিত অবস্থা থেকে ভূমি অবস্থায় আসলে যে ফোটন নিঃসরণ করবে তার কম্পাঙ্ক কত হবে ? উত্তেজিত এবং ভূমি অবস্থার শক্তি যথাক্রমে $-3{\cdot}4\ eV$ এবং $-13{\cdot}6\ eV$।

আমরা জানি,

$h\upsilon = E_2 - E_1$

বা, $\upsilon = \dfrac{E_2 - E_1}{h}$

$= \dfrac{-3{\cdot}4 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} - (-13{\cdot}6) \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}$

$= \dfrac{10{\cdot}2 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}{6{\cdot}63 \times 10^{-34}} = 2{\cdot}46 \times 10^{15}\ \text{Hz}$

এখানে,

নিম্ন শক্তিস্তর, $E_1 = -13{\cdot}6\ eV$

$= -13{\cdot}6 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ \text{J}$

উচ্চ শক্তিস্তর, $E_2 = -3{\cdot}4\ eV$

$= -3{\cdot}4 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ \text{J}$

কম্পাঙ্ক, $\upsilon = ?$

প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক, $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}\ \text{J-s}$

৯·৫·২ বোর মডেল অনুসারে হাইড্রোজেন পরমাণুর ব্যাসার্ধ ও শক্তির রাশিমালা

Expression for radius and energy of the hydrogen atom according to Bohr model

৯·৫·২·১ ব্যাসার্ধের রাশিমালা

হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটি প্রোটন নিউক্লিয়াস হিসেবে থাকে এবং একটি ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে ঘোরে। ধরা যাক, ইলেকট্রনের ভর m এবং চার্জ e। মনে করি ইলেকট্রনটি r ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে প্রোটন তথা নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে v বেগে ঘুরছে। সুতরাং ইলেকট্রনের ওপর প্রযুক্ত কেন্দ্রমুখী বল,

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.3)$$

আবার প্রোটনের চার্জ e এবং প্রোটন ও ইলেকট্রনের মধ্যকার স্থির তড়িৎ বল,

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.4)$$

স্থির তড়িৎ বলই কেন্দ্রমুখী বল সরবরাহ করে, সুতরাং

$$F_c = F_e \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.5)$$

সমীকরণ (9.3) ও (9.4) থেকে পাই

$$mv^2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.6)$$

বা, $v = \dfrac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 mr}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad [9.6(a)]$

$\therefore$ n-তম কক্ষপথের জন্য, $v_n = \dfrac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 mr_n}}$

বোরের ১ম স্বীকার্য থেকে আমরা জানি,

$mv_n r_n = \dfrac{nh}{2\pi}$, 9.6(a) সমীকরণ থেকে v_n-এর মান বসিয়ে পাই,

$\ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad [9.6(b)]$

বা, $r_n = \dfrac{n^2h^2\epsilon_0}{\pi me^2}$

[9.6(b)] সমীকরণ হলো n-তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ। $n = 1$ বসিয়ে হাইড্রোজেন পরমাণুর ১ম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ পাওয়া যায় $r_1 = \frac{h^2\epsilon_0}{\pi me^2}$ ... ... [9.6(c)]

এই কক্ষপথটি নিউক্লিয়াসের সবচেয়ে কাছে থাকে। এই কক্ষপথকে প্রথম বোর কক্ষপথ এবং কক্ষের ব্যাসার্ধকে প্রথম বোর ব্যাসার্ধ বলা হয়।

সমীকরণ 9.6(c)-এ বিভিন্ন রাশির মান বসিয়ে $r_1 = 0{\cdot}53$ Å পাওয়া যায়।

৯·৫·২·২ শক্তির রাশিমালা

হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটিমাত্র ইলেকট্রন আছে। ধরি ইলেকট্রনের মোট শক্তি

$E_n = E_k + E_p$; এখানে E_k = গতিশক্তি এবং E_p = বিভব শক্তি

$$= \frac{1}{2} mv_n^2 + (-eV)$$

$$E_n = \frac{1}{2} mv_n^2 - \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{r_n}$$

$$= \frac{1}{2} m \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 mr_n} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{r_n}$$

$$= \frac{1}{2}\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{r_n} \qquad \left[\because v_n = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 mr_n}}\right] \quad ... \quad ... \quad (9.7)$$

$$\therefore \; E_n = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times e^2 \left[\frac{1}{2r_n} - \frac{1}{r_n}\right]$$

$$= -\frac{1}{2} \times \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{e^2}{r_n} \quad ... \quad ... \quad ... \quad (9.8)$$

এই সমীকরণে r_n-এর মান বসিয়ে পাই,

$$E_n = -\frac{1}{2} \times \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{e^2\pi me^2}{n^2h^2\epsilon_0} \qquad \left[\because r_n = \frac{n^2h^2\epsilon_0}{\pi me^2}\right]$$

$$\therefore \; E_n = -\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 n^2h^2} \quad ... \quad ... \quad ... \quad 9.8(a)$$

এখানে $n = 0, 1, 2, \ldots\ldots\ldots\ldots n$

এই সমীকরণ থেকে দেখা যায় মোট শক্তি সর্বদাই ঋণাত্মক, অর্থাৎ অসীমের দিকে ইলেকট্রনকে সরিয়ে নিতে হলে কাজ সম্পাদন করতে হয়। এর অর্থ হলো ইলেকট্রন পরমাণুতে আবদ্ধ।

$n = 1$ হলে, 9.8(a) সমীকরণ থেকে পাই,

$$E_n = -\frac{me^4}{8h^2\epsilon_0^2} \quad ... \quad ... \quad ... \quad 9.8(b)$$

সুতরাং $E_n = \frac{1}{n^2}E_1$, $n = 2$ হলে $E_2 = \frac{1}{4}E_1$, $n = 3$ হলে $E_3 = \frac{1}{9}E_1$ ইত্যাদি।

9.8(b) সমীকরণে মান বসিয়ে পাওয়া যায়,

$$E_1 = \frac{(9{\cdot}1 \times 10^{-31}\,\text{kg}) \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19}\,\text{C})^4}{8 \times (6{\cdot}63 \times 10^{-34}\,\text{Js})^2 \times (8{\cdot}85 \times 10^{-12}\,\text{C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2})^2}$$

$$= -2{\cdot}17 \times 10^{-18}\,\text{J} = -13{\cdot}6\,eV$$

ইহা হাইড্রোজেন পরমাণুর ভূমি অবস্থার শক্তি নির্দেশ করে।

সমীকরণ 9.8(a) কে লেখা যায়, $E_n = -\frac{13{\cdot}6}{n^2}$ বা, $E_n \propto \frac{1}{n^2}$, সুতরাং n বৃদ্ধিতে E-এর মান কম ঋণাত্মক হয়, অর্থাৎ শক্তি বৃদ্ধি পায়।

n-তম কক্ষপথে ইলেকট্রনের বেগ : সমীকরণ 9.6(a) থেকে দেখা যায় যে বেগ, $v_n \propto \frac{1}{\sqrt{r_n}}$

আবার সমীকরণ 9.6(b) থেকে দেখা যায় যে, ব্যাসার্ধ, $r_n \propto n^2$

সুতরাং, $v_n \propto \frac{1}{\sqrt{n^2}} \propto \frac{1}{n}$। অর্থাৎ n-এর মান যত বাড়বে ইলেকট্রনের বেগ তত কমবে। $n = 1$, অর্থাৎ প্রথম বোর কক্ষে ইলেকট্রনের বেগ v_1 সবচেয়ে বেশি।

সমীকরণ 9.6(a)-এ $n = 1$ বসিয়ে পাই, $v_1 = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 m r_1}}$। এখন $r_1 = 0{\cdot}53\,\text{Å} = 0{\cdot}53 \times 10^{-10}$ m এবং অন্যান্য মান বসিয়ে পাওয়া যায়, $v_1 = 2{\cdot}18 \times 10^6\ \text{ms}^{-1}$। ইলেকট্রনের এই বেগের মান শূন্যস্থানে আলোর বেগ $(3 \times 10^8\ \text{ms}^{-1})$-এর প্রায় 137 ভাগের 1 ভাগ।

জানা দরকার :

১। অনুমোদিত কক্ষগুলিতে ইলেকট্রনের স্থায়িত্বকাল হয় প্রায় 10^{-8} s।

২। হাইড্রোজেন সদৃশ পরমাণুর নিউক্লিয়াসের আধান Ze হলে n-তম ইলেকট্রন কক্ষপথের ব্যাসার্ধ,

$$r_n = \left(\frac{\epsilon_0 n^2 h^2}{\pi m Z e^2}\right).$$

৩। হাইড্রোজেন সদৃশ পরমাণুর n-তম কক্ষপথের ইলেকট্রনের গতিবেগ,

$$v_n = \frac{nh}{2\pi m r_n} = \frac{nh}{2\pi m} \times \frac{\pi m Z e^2}{\epsilon_0 n^2 h^2} = \frac{Ze^2}{2\epsilon_0 nh}.$$

৪। হাইড্রোজেন সদৃশ পরমাণুর ক্ষেত্রে n-তম কক্ষপথের শক্তি, $E_n = -\frac{mZ^2e^4}{8\epsilon_0{}^2 n^2 h^2}$।

গাণিতিক উদাহরণ ৯.২

১। হাইড্রোজেন পরমাণুর অনুমোদিত প্রথম বোর কক্ষের ব্যাসার্ধ এবং ভূমি অবস্থার শক্তি নির্ণয় কর। ($\epsilon_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}\ \text{C}^2\ \text{N}^{-1}\ \text{m}^{-2}$, $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ J s, $m = 9{\cdot}11 \times 10^{-31}$ kg ও $e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C)।

আমরা জানি,

ব্যাসার্ধ, $r_n = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi m e^2}$

প্রথম অক্ষের ব্যাসার্ধ,

$$r_1 = \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi m e^2}$$

$$\therefore\ r_1 = \frac{(6{\cdot}63 \times 10^{-34})^2 \times 8{\cdot}85 \times 10^{-12}}{3{\cdot}14 \times 9{\cdot}11 \times 10^{-31} \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19})^2}$$

$$= 0{\cdot}532 \times 10^{-10}\ \text{m} = 0{\cdot}532\,\text{Å}$$

আবার, ভূমি অবস্থার শক্তি,

$$E_1 = -\frac{me^4}{8h^2\epsilon_0{}^2}$$

$$\therefore\ E_1 = -\frac{9{\cdot}11 \times 10^{-31} \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19})^4}{8 \times (6{\cdot}63 \times 10^{-34})^2 \times (8{\cdot}85 \times 10^{-12})^2}$$

$$= -2{\cdot}17 \times 10^{-18}\ \text{J}$$

$$\therefore\ E_1 = -13{\cdot}6\ eV$$

এখানে,

n	$= 1$
ϵ_0	$= 8{\cdot}85 \times 10^{-12}\ \text{C}^2\ \text{N}^{-1}\ \text{m}^{-2}$
h	$= 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ J s
m	$= 9{\cdot}11 \times 10^{-31}$ kg
e	$= 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C
r	$= ?$

৫। হাইড্রোজেন পরমাণুর চতুর্থ কক্ষে ইলেকট্রনের বেগ দ্বিতীয় কক্ষের বেগের কত গুণ?

আমরা জানি, গতিবেগ,

$v \propto \frac{1}{n}$; এখানে n হলো কক্ষপথের মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা

সুতরাং, কক্ষপথগুলিতে ইলেকট্রনের বেগের অনুপাত হলো—

$$\frac{1}{1} : \frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \frac{1}{4} : \ldots\ldots\ldots$$

অতএব, $\frac{\text{চতুর্থ কক্ষে বেগ}}{\text{দ্বিতীয় কক্ষে বেগ}} = \frac{\frac{1}{4}}{\frac{1}{2}} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$

অর্থাৎ, চতুর্থ কক্ষে ইলেকট্রনের বেগ দ্বিতীয় কক্ষে বেগের অর্ধেক।

৬। হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম বোর কক্ষের ইলেকট্রনটি এক সেকেন্ডে কতবার আবর্তন করবে ? প্রথম বোর কক্ষের ব্যাসার্ধ $r_1 = 0{\cdot}53\,\text{Å}$ এবং প্রথম কক্ষে ইলেকট্রনের বেগ $\frac{1}{137}c$।

আমরা জানি,

$$v_1 = \frac{v_1}{2\pi r_1} = \frac{c}{137 \times 2\pi r_1}$$

$$\therefore \quad v_1 = \frac{3 \times 10^8\ \text{ms}^{-1}}{137 \times 2 \times 3{\cdot}14 \times 0{\cdot}53 \times 10^{-10}\ \text{m}}$$

$$= 6{\cdot}58 \times 10^{15}\ \text{s}^{-1}$$

এখানে,

$r_1 = 0{\cdot}53\,\text{Å} = 0{\cdot}53 \times 10^{-10}\ \text{m}$

$v_1 = \frac{1}{137}c = \frac{1}{137} \times 3 \times 10^8\ \text{ms}^{-1}$

আবর্তন সংখ্যা বা কক্ষীয় কম্পাঙ্ক, $v_1 = ?$

কাজ : বোর কক্ষপথগুলিকে স্থায়ী কক্ষপথ বলা হয় কেন ?

বোর কক্ষপথগুলিকে 'স্থায়ী কক্ষপথ' বলা হয় কারণ এই কক্ষপথগুলিতে প্রদক্ষিণ করার সময় ইলেকট্রন কোনো শক্তি বিকিরণ করে না। যদিও প্রদক্ষিণ কালে এদের গতিতে ত্বরণ থাকে তথাপি বোরের স্বীকার্য অনুযায়ী ইলেকট্রনগুলি শক্তি ক্ষয় না করে কক্ষপথে আবর্তন করে।

সম্পূসারিত কাজ : নিউক্লিয়াসের চারদিকে ইলেকট্রনের ঘূর্ণনের জন্য প্রয়োজনীয় কেন্দ্রমুখী বলের উৎস কী ?

নিউক্লিয়াসের চারদিকে ইলেকট্রনের ঘূর্ণনের জন্য প্রয়োজনীয় কেন্দ্রমুখী বলের উৎস নিউক্লিয়াসে অবস্থিত ধনচার্জ এবং এর চারদিকে ঘূর্ণায়মান ঋণচার্জযুক্ত ইলেকট্রনের ওপর কুলম্বীয় আকর্ষণ বল। অর্থাৎ স্থির তড়িৎ বলই কেন্দ্রমুখী বল সরবরাহ করে।

৯·৬ নিউক্লিয়াসের গঠন
Structure of the nucleus

1911 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড এবং তাঁর সহযোগী গাইগার ও মার্সডেন আলফা কণার বিক্ষেপণ হতে আবিষ্কার করেন যে পদার্থের পরমাণুর কেন্দ্রে অতি ক্ষুদ্র পরিসরে একটি ঘন জমাট ভারী গোলাকার বস্তু পিণ্ড রয়েছে। এর নাম **নিউক্লিয়াস** (Nucleus)। একে পরমাণুর শক্তির আধার বলে। পরমাণুর প্রায় সমস্ত ভর নিউক্লিয়াসে কেন্দ্রীভূত। এর ব্যাসার্ধ 10^{-10}m পর্যায়ের। নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে থাকে প্রোটন ও নিউট্রন। এদেরকে বলে নিউক্লিয়ন। প্রোটন ধনাত্মক চার্জধর্মী এবং নিউট্রন চার্জহীন। কোনো মৌলের প্রোটনের সংখ্যা ইলেকট্রনের সংখ্যার সমান। পরমাণুর আকারের (ব্যাস প্রায় 10^{-8} cm) তুলনায় নিউক্লিয়াসের আকার (ব্যাস প্রায় 10^{-12}cm) অত্যন্ত ক্ষুদ্র। নিউক্লিয়াসের গঠন অত্যন্ত জটিল। নিউক্লিয়াস হতে ইলেকট্রন নির্গত হয়। আলফা কণা ও গামা রশ্মির বর্ণালি হতে জানা যায় যে, নিউক্লিয়াস হতে আলফা কণা ও গামা রশ্মি নির্গত হয়। বিটা রশ্মির বর্ণালি হতে নিউক্লিয়াসে আরও একটি কণার অস্তিত্বের পরিচয় পাওয়া যায়। এর নাম **নিউট্রিনো** (Neutrino), এটি চার্জ নিরপেক্ষ ভরহীন কণা। মহাজাগতিক রশ্মির (Cosmic ray) গবেষণা হতে জানা যায় নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে আরও একটি মৌলিক কণা রয়েছে। এর নাম **মেসন** (Meson)। এই সকল কণার কোন কোনটি নিউক্লিয়াস গঠন করে তা নির্ধারণের জন্য বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন তত্ত্ব প্রদান করা হলেও প্রোটন-নিউট্রন তত্ত্বই অধিকতর যুক্তিসঙ্গত বলে সাধারণভাবে গৃহীত হয়েছে। হাইড্রোজেন পরমাণুর নিউক্লিয়াসে কোনো নিউট্রন থাকে না, শুধুমাত্র প্রোটন থাকে।

ইলেকট্রনের ভর $9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg, চার্জ $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C; প্রোটনের ভর $1{\cdot}672 \times 10^{-27}$ kg, চার্জ $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C; নিউট্রনের ভর $1{\cdot}675 \times 10^{-27}$ kg বা $1{\cdot}675 \times 10^{-24}$ g যা ইলেকট্রনের ভরের 1839 গুণ।

নিউক্লিয়াসের সংকেত : নিউক্লিয়াসে অবস্থিত প্রোটনের সংখ্যাকে পারমাণবিক সংখ্যা (Z) এবং প্রোটন ও নিউট্রনের মোট সংখ্যাকে ভর সংখ্যা (A) বলে। A এবং Z এর বিয়োগফলই নিউট্রন সংখ্যা (N)। অর্থাৎ $N = A - Z$।

একটি নিউক্লিয়াসকে সাধারণত ${}^{A}_{Z}X$ রূপে প্রকাশ করা হয়। যেমন ইউরেনিয়াম নিউক্লিয়াসকে ${}^{235}_{92}U$ রূপে লেখা হয়। এক্ষেত্রে 235 হলো ভর সংখ্যা (A) এবং 92 হলো পারমাণবিক সংখ্যা (Z)।

আর, $A - Z = 235 - 92 = 143$

$= N =$ নিউট্রন সংখ্যা।

নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ : নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ এর ভর সংখ্যার ওপর নির্ভর করে। বিভিন্ন মৌলের নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ ভিন্ন। একটি নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ R নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

$$R = r_0 A^{1/3}$$

এখানে, $r_0 =$ ধ্রুব সংখ্যা, A = ভর সংখ্যা। যেহেতু নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ এর ভর সংখ্যার ওপর নির্ভর করে, তাই বিভিন্ন মৌলের নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধও বিভিন্ন হবে।

r_0 এর মান প্রায় $1{\cdot}2 \times 10^{-15}$ m। 10^{-15} m = 1 ফেমটোমিটার (fm)।

নিউক্লিয়াসের আয়তন ও ঘনত্ব : নিউক্লিয়াসের আয়তন, $V = \frac{4}{3}\pi R^3$

$$= \frac{4}{3}\pi r_0^3 A \quad [\because R = r_0 A^{\frac{1}{3}}]$$

অতএব, **নিউক্লিয়াসের আয়তন পৃথকভাবে নিউট্রন বা প্রোটন সংখ্যার ওপর নির্ভর করে না; নিউক্লিয়াসের মোট সংখ্যার ওপর নির্ভর করে।**

আবার, প্রোটনের ভর ≃ নিউট্রনের ভর $= m$ ধরলে,

নিউক্লিয়াসের ভর $= Am$, এখানে A = নিউক্লিয়াসের ভরসংখ্যা

$\therefore$ নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব, $\rho_N = \frac{Am}{\frac{4}{3} \times r_0^3 A} = \frac{3m}{4\pi r_0^3}$

এই রাশিমালায় A অনুপস্থিত; সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব সকল মৌলের নিউক্লিয়াসের ক্ষেত্রে সমান।

গাণিতিক উদাহরণ ৯.৩

১। নিউক্লিয়াসের গড় ব্যাসার্ধ $R = r_0 A^{1/3}$, এখানে $r_0 = 1{\cdot}2 \times 10^{-15}$ m, নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব ও পানির ঘনত্বের অনুপাত নির্ণয় কর। ধর, নিউট্রন ও প্রোটনের ভর $1{\cdot}67 \times 10^{-27}$ kg।

আমরা জানি, নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব,

$$\rho_N = \frac{\text{নিউক্লিয়াসের ভর}}{\text{নিউক্লিয়াসের আয়তন}} = \frac{A \cdot m_p}{\frac{4}{3}\pi (r_0 A^{1/3})^3}$$

$$= \frac{A \times 1{\cdot}67 \times 10^{-27}}{\frac{4}{3} \times 3{\cdot}14 \times (1{\cdot}2 \times 10^{-15})^3 \times A}$$

$$= 2{\cdot}3 \times 10^{17} \text{ kg m}^{-3} = 2{\cdot}3 \times 10^{14} \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$

$= 2{\cdot}3 \times 10^{14} \times$ পানির ঘনত্ব $\quad [\because$ পানির ঘনত্ব $= 10^3$ kgm$^{-3}]$

$$\therefore \frac{\text{নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব}}{\text{পানির ঘনত্ব}} = \frac{2{\cdot}3 \times 10^{14} \times \text{পানির ঘনত্ব}}{\text{পানির ঘনত্ব}}$$

$= 2{\cdot}3 \times 10^{14}$

২। একটি স্থির নিউক্লিয়াস হঠাৎ দুই টুকরোয় বিভক্ত হলো। টুকরো দুটির বেগের অনুপাত 1 : 27 হলে তাদের ব্যাসার্ধের অনুপাত কত?

ধরা যাক, টুকরো দুটির ভর m_1 ও m_2 এবং তাদের গতিবেগ যথাক্রমে v_1 ও v_2।

এখন রৈখিক ভরবেগের সংরক্ষণ সূত্রানুযায়ী,

$$m_1v_1 = m_2v_2$$

বা, $$\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{27}{1}$$

এখন, যেহেতু নিউক্লীয় ভর m, ভর সংখ্যা A-এর সমানুপাতিক। অতএব,

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{27}{1}$$

বা, $$A_1 = 27\,A_2$$

$\therefore$ তাদের ব্যাসার্ধের অনুপাত,

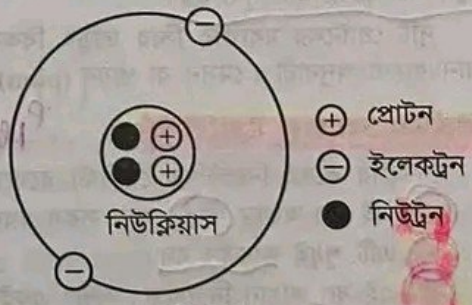
$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_0 A_1^{\frac{1}{3}}}{r_0 A_2^{\frac{1}{3}}} = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^{\frac{1}{3}} = 27^{\frac{1}{3}} = 3$$

$\therefore$ $$r_1 : r_2 = 3 : 1$$

নিম্নে প্রোটন-নিউট্রন তত্ত্ব আলোচনা করা হলো।

৯·৬·১ প্রোটন-নিউট্রন তত্ত্ব

1932 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী **চ্যাডউইক** নিউট্রন আবিষ্কার করেন। নিউট্রন হলো একটি চার্জহীন কণা যার ভর প্রায় প্রোটনের ভরের সমান। নিউট্রন আবিষ্কৃত হওয়ার পর বিজ্ঞানীগণ সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে হাইড্রোজেন ব্যতীত সকল পরমাণুর নিউক্লিয়াস প্রোটন-নিউট্রনের সমন্বয়ে গঠিত। এটি হলো প্রোটন-নিউট্রন তত্ত্ব। একটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াস ধরা যাক। এর নিউক্লিয়াসে 2টি প্রোটন ও 2টি নিউট্রন রয়েছে। দুটি প্রোটনের ধনচার্জ নিউক্লিয়াসের বাইরে দুটি ইলেকট্রনের ঋণচার্জ দ্বারা প্রশমিত হবে, ফলে হিলিয়াম পরমাণুটি তড়িৎ নিরপেক্ষ হবে। এই মতবাদ অনুযায়ী হিলিয়াম নিউক্লিয়াসের গঠন দেখান হলো [চিত্র ৯·৭]।



চিত্র ৯·৭ : প্রোটন-নিউট্রন মতবাদ অনুসারে হিলিয়াম নিউক্লিয়াসের গঠন।

কোনো একটি নিউক্লিয়াসকে দুটি সংখ্যা দ্বারা প্রকাশ করা হয়। একটি হলো ভর সংখ্যা A এবং অপরটি হলো পারমাণবিক সংখ্যা Z। সমগ্র পরমাণুর গঠনসম্পর্কে বিজ্ঞানীদের মত এই যে A ভর সংখ্যা এবং Z পারমাণবিক সংখ্যার পরে নিউক্লিয়াসে Z সংখ্যক প্রোটন, $(A - Z) = N$ সংখ্যক নিউট্রন এবং নিউক্লিয়াসের বাইরে Z সংখ্যক ইলেকট্রন থাকবে। যেমন হিলিয়াম নিউক্লিয়াসকে ${}_2He^4$ দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। এখানে $A = 4$, $Z = 2$। অতএব, এর নিউক্লিয়াসে 2টি প্রোটন $(4 - 2) = 2$টি নিউট্রন এবং নিউক্লিয়াসের বাইরে 2টি ইলেকট্রন থাকবে।

প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তায় বিটা কণা অর্থাৎ ইলেকট্রন নির্গমন এবং প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তায় পজিট্রন (ধনচার্জ যুক্ত ইলেকট্রন বা অ্যান্টি ইলেকট্রন) নির্গমনের নিম্নলিখিত ব্যাখ্যা দেয়া যায়। ইলেকট্রন প্রকৃতপক্ষে নিউক্লিয়াসে অবস্থান করে না, কিন্তু নিউট্রন রূপান্তরিত হয়ে প্রোটনে পরিণত হওয়ার সময় ইলেকট্রন নির্গত হয়।

$$n \rightarrow p^+ + e^-$$

আবার প্রোটন যদি রূপান্তরিত হয়ে নিউট্রনে পরিণত হয় তখন পজিট্রন নির্গত হয়।

$$p^+ \rightarrow n + e^+$$

নিউক্লিয়াসের গঠন সম্পর্কে প্রোটন-নিউট্রন তত্ত্বের সাহায্যে পরমাণু ও নিউক্লিয়াসের অনেক জটিল সমস্যা ব্যাখ্যা করা সম্ভব হয়েছে। তেজস্ক্রিয় মৌলের নিউট্রন ভেঙ্গে প্রোটন ও ইলেকট্রনে পরিণত হয়। ইলেকট্রন বিটা রশ্মি হিসেবে নির্গত হয়। আবার পাউলির মতবাদ অনুসারে এর সঙ্গে নিউট্রিনো নামক আর একটি কণা নির্গত হয়।

$$n \rightarrow p + e + \text{নিউট্রিনো}$$

কাজ : নিউক্লিয়াসের মধ্যে প্রোটন ও নিউট্রন থাকে। যেহেতু নিউট্রনগুলি চার্জহীন প্রোটন ধনাত্মক চার্জধর্মী হওয়া সত্ত্বেও প্রোটন-প্রোটন বিকর্ষণ করে নিউক্লিয়াস থেকে বেরিয়ে আসে না কেন ?

নিউক্লিয়াসে প্রোটন ধনাত্মক চার্জগ্রস্ত এবং নিউট্রন চার্জহীন হওয়ায় এক্ষেত্রে প্রোটন-প্রোটন বিকর্ষণ বল অর্থাৎ কুলম্ব বল ক্রিয়া করে। অপরদিকে নিউক্লিয়াসে নিউক্লীয় উপাদান তথা নিউক্লিয়নগুলোকে একত্রে আবদ্ধ রাখতে নিউক্লীয় বল কার্যকর হয়। এই নিউক্লীয় বলের মান কুলম্ব বলের তুলনায় বেশি হওয়ায় প্রোটন-প্রোটন বিকর্ষণ বলের ক্রিয়াকে নাকচ করে দেয়। তাই নিউক্লিয়াস থেকে প্রোটন বেরিয়ে আসতে পারে না।

জানার বিষয় : I. বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড ১৯১১ সালে নিউক্লিয়াস আবিষ্কার করেন।
II. বিজ্ঞানী রাদারফোর্ড ১৯১৯ সালে প্রোটন আবিষ্কার করেন।
III. বিজ্ঞানী থমসন ১৮৯৭ সালে ইলেকট্রন আবিষ্কার করেন।

৯·৬·২ নিউক্লীয় বল
Nuclear force

পরমাণুর নিউক্লিয়াসে আমরা জানি ধনাত্মক চার্জযুক্ত প্রোটন এবং চার্জ নিরপেক্ষ নিউট্রন রয়েছে। এখন প্রশ্ন জাগে, প্রোটনগুলোর মধ্যে বিকর্ষণ বল ক্রিয়া করা সত্ত্বেও নিউক্লিয়াসের মধ্যে প্রোটন এবং নিউট্রনগুলো অর্থাৎ নিউক্লিয়াসগুলো কীভাবে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে? এই দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকার মূল কারণ হলো যে নিউক্লিয়নগুলোর (প্রোটন ও নিউট্রনগুলোর) মধ্যে একটি শক্তিশালী আকর্ষণ বল ক্রিয়া করে। এক ধরনের আন্তঃক্রিয়ার জন্যই এই নিউক্লিয়াসের মধ্যে ক্রিয়ারত এই বলের উদ্ভব হয়। এই আন্তঃক্রিয়াকে **নিউক্লীয় আন্তঃক্রিয়া** এবং ক্রিয়ারত বলকে **নিউক্লীয় বল** বলা হয়।

সংজ্ঞা : নিউক্লিয়াসের স্থায়িত্বের জন্য নিউক্লিওনগুলোর মধ্যে যে আকর্ষণধর্মী বল ক্রিয়া করে তাকে নিউক্লীয় বল বলে।

কুলম্বীয় বা মহাকর্ষ বল অপেক্ষা এই বল ভিন্নতর। এই বল আধান নিরপেক্ষ; শুধুই আকর্ষণ বল। এই বল শুধুমাত্র নিউক্লিয়াসের ভেতরে পরস্পর থেকে খুব কম দূরত্বের মধ্যে ($r < 2 \times 10^{-15}$ m) ক্রিয়াশীল। 10^{-14} m অপেক্ষা বেশি দূরত্বের এই বলের মান শূন্য হয়।

দুটি প্রোটনের মধ্যকার স্থির তড়িৎ বিকর্ষণ বল এদের মধ্যকার মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বলের প্রায় 10^{36} গুণ। বর্তমান ধারণা অনুযায়ী π-মেসন বা পায়ন (pion)গুলো এই নিউক্লীয় আকর্ষণ বলের জন্য দায়ী।

নিউক্লীয় বলের বৈশিষ্ট্য

নিউক্লীয় বলের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য রয়েছে—

(১) এই বল অত্যন্ত তীব্র। অন্য সকল ধরনের বলের চেয়ে এর তীব্রতা অনেক বেশি।

(২) এটি শুধুই আকর্ষণ বল।

(৩) এই বল আধান নিরপেক্ষ। অর্থাৎ একই দূরত্বে প্রোটন-প্রোটন, প্রোটন-নিউট্রন বা নিউট্রন-নিউট্রন বলগুলির মধ্যে কোনো তফাৎ নেই।

(৪) এটি খুবই স্বল্প পাল্লার বল। এই পাল্লা মাত্র 10^{-14} m (প্রায়)। এই বল দ্বারা নিউক্লিয়নগুলি কেবলমাত্র নিকটবর্তী নিউক্লিয়নগুলির সঙ্গেই আবদ্ধ থাকে।

(৫) প্রোটন, নিউট্রন এবং অন্য কিছু বিশেষ কণাই কেবল নিউক্লীয় মিথস্ক্রিয়ায় (nuclear interaction) অংশগ্রহণ করে। ইলেকট্রন এবং বেশ কিছু মৌলিক কণা আছে, যাদের মধ্যে এই নিউক্লীয় মিথস্ক্রিয়া নেই।

৯·৭ নিউক্লিয়ার পদার্থবিজ্ঞানের গুরুত্বপূর্ণ প্রতিভাস
Important phenomena in Nuclear Physics

৯·৭·১ তেজস্ক্রিয়তা
Radioactivity

তেজস্ক্রিয়তা আলোচনা করবার পূর্বে **স্থায়ী** (stable) এবং **অস্থায়ী** (unstable) নিউক্লিয়াস কী—তা জানা আবশ্যক। আমরা জানি পরমাণুর কেন্দ্রে নিউক্লিয়াস অবস্থিত। নিউক্লিয়াসের মধ্যে ধন চার্জযুক্ত **প্রোটন** এবং নিষ্ক্রিয় **নিউট্রন** থাকে। হাল্কা মৌলের পরমাণুর নিউক্লিয়াসে বেশি সংখ্যক প্রোটন থাকে না। ফলে প্রোটনের সমধর্মী চার্জের মধ্যে বিকর্ষণ বল অধিক না হওয়ায় এরা নিউক্লিয়াস হতে বাইরে আসে না, সুতরাং নিউক্লিয়াস না ভেঙ্গে অক্ষুণ্ণ থাকে। এদেরকে **স্থায়ী নিউক্লিয়াস** বলে। প্রকৃতিতে সর্বোচ্চ সংখ্যক প্রোটনসমৃদ্ধ স্থায়ী নিউক্লিয়াস হলো বিসমাথ। এর পারমাণবিক সংখ্যা 83 এবং ভরসংখ্যা 209। যে সমস্ত মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা 83-এর বেশি সেগুলোর নিউক্লিয়াস স্থায়ী হয় না। সমধর্মী ধন চার্জের মধ্যে বিকর্ষণ বল খুবই প্রবল হওয়ায় তারা নিউক্লিয়াস হতে ছিটকে বের

হয়ে আসে। ফলে নিউক্লিয়াস ভেঙ্গে গিয়ে অন্য নিউক্লিয়াসে পরিবর্তিত হয়। এদেরকে অস্থায়ী নিউক্লিয়াস বলে। এখন তেজস্ক্রিয়তা এবং সংশ্লিষ্ট বিষয়াদি আলোচনা করা হলো।

সংজ্ঞা : তেজস্ক্রিয় মৌল থেকে স্বতঃস্ফূর্তভাবে তেজস্ক্রিয় রশ্মি নির্গমনের ঘটনাকে তেজস্ক্রিয়তা বলে।

তেজস্ক্রিয়তা একটি স্বতঃস্ফূর্ত স্বীয় বিচ্ছিন্নকারী (disruptive) অবিরাম প্রক্রিয়া। সাধারণত যেসব মৌলিক পদার্থের পারমাণবিক ভর 206-এর অধিক তাদের ক্ষেত্রে এই প্রক্রিয়া ঘটে থাকে। 1896 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত ফরাসি বিজ্ঞানী **হেনরি বেকরেল** (Henry Becquerel) সর্বপ্রথম তেজস্ক্রিয়া আবিষ্কার করেন। তিনি লক্ষ করেন যে, ইউরেনিয়াম এবং তাদের যৌগ হতে আপনা-আপনি এক প্রকার রহস্যজনক কণা এবং রশ্মি নির্গত হতে থাকে। এর পর পিয়ারে কুরী এবং তাঁর স্ত্রী **মাদাম কুরী** থোরিয়ামের মধ্যে এই একই গুণ আবিষ্কার করেন। পরবর্তীকালে **রেডিয়াম, পলোনিয়াম** এবং **অ্যাকটিনিয়াম** প্রভৃতি ভারী মৌলিক পদার্থের এই গুণ আবিষ্কৃত হয়। **তেজস্ক্রিয় মৌল হতে স্বতঃস্ফূর্তভাবে কণা এবং রশ্মি নির্গত হওয়ার প্রক্রিয়াকে তেজস্ক্রিয়তা (Radioactivity) বলে এবং যে সমস্ত পদার্থ হতে এই কণা এবং রশ্মি নির্গত হয় এদেরকে যথাক্রমে তেজস্ক্রিয় পদার্থ (Radioactive substance) ও তেজস্ক্রিয় রশ্মি (Radioactive rays) বলে।** **পরমাণুর নিউক্লিয়াসের গঠনগত পরিবর্তনই এই রশ্মির উৎস। তেজস্ক্রিয়তা একটি নিউক্লীয় ঘটনা এবং প্রকৃতি নিয়ন্ত্রিত।** এটি তাপ, চাপ, বৈদ্যুতিক বা চৌম্বক ঘটনা দ্বারা প্রভাবিত হয় না।

৯·৭·২ তেজস্ক্রিয়তার কারণ
Cause of radioactivity

তেজস্ক্রিয়তা একটি স্বতঃস্ফূর্ত স্বীয় বিচ্ছিন্নকারী (disruptive) অবিরাম প্রক্রিয়া। তেজস্ক্রিয়তা আলোচনা করার আগে স্থায়ী (stable) এবং অস্থায়ী (instable) নিউক্লিয়াস কী তা জানা দরকার।

আমরা জানি পরমাণুর কেন্দ্রে নিউক্লিয়াস অবস্থিত। নিউক্লিয়াসের মধ্যে হাল্কা প্রোটন এবং নিউট্রন থাকে এবং নিউক্লীয় বল এদেরকে আবদ্ধ করে রাখে। মৌলের পরমাণুর নিউক্লিয়াসে অধিক সংখ্যক প্রোটন থাকে; ফলে প্রোটনের সমধর্মী চার্জের মধ্যে বিকর্ষণ বল বেশি না হওয়ায় এরা নিউক্লিয়াস থেকে বাইরে বেরিয়ে আসে না। সুতরাং নিউক্লিয়াস না ভেঙ্গে অক্ষুণ্ন থাকে। এদেরকে স্থায়ী নিউক্লিয়াস বলে। প্রকৃতিতে সর্বোচ্চ সংখ্যক প্রোটনসমৃদ্ধ স্থায়ী নিউক্লিয়াস হলো বিসমাথ (Bismuth)।

মৌলের পরমাণুর নিউক্লিয়াসে নিউট্রন ও প্রোটন সংখ্যার অনুপাত $\left(\frac{n}{p}\right)$-এর মান 1·5 অপেক্ষা বেশি হলে প্রোটন প্রোটন (p-p) বিকর্ষণধর্মী বল অতি দ্রুত বৃদ্ধি পায়। ফলে নিউক্লীয় বল প্রোটন ও নিউট্রনগুলিকে একত্রে ধরে রাখতে পারে না। কাজেই নিউক্লিয়াস অস্থায়ী হয়ে স্বতঃস্ফূর্তভাবে ভাঙ্গতে শুরু করে এবং তেজস্ক্রিয় রশ্মি বিকিরণ করে। সাধারণত কোনো মৌলের ভর সংখ্যা 210 বা তার বেশি হলে n/p-এর মান 1·5 অপেক্ষা বেশি হয়, ফলে এদের মধ্যে তেজস্ক্রিয় ধর্ম প্রকাশ পায়। তেজস্ক্রিয় রশ্মি বিকিরণের সঙ্গে সঙ্গে তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াসটির প্রোটনের সংখ্যা পরিবর্তিত হতে থাকে। দীর্ঘ সময় ধরে তেজস্ক্রিয় রশ্মি বিকিরণের পর এক সময় নিউক্লিয়াসটির নিউট্রন ও প্রোটন সংখ্যার অনুপাত 1·5 বা এর কাছাকাছি হয়। তখন নিউক্লিয়াসটি স্থিত হয় এবং পরমাণুর তেজস্ক্রিয়তা থাকে না।

৯·৭·৩ তেজস্ক্রিয়তার একক
Unit of radioactivity

তেজস্ক্রিয়তা পরিমাপের জন্য দুটি একক রয়েছে, যথা—

(১) কুরী (Curie) এবং (২) বেকেরেল (Becquerel)।

(১) কুরী : প্রতি সেকেন্ডে $3{\cdot}7 \times 10^{10}$ সংখ্যক পরমাণুর ভাঙ্গনকে 1 কুরী বলা হয়।

অথবা, কোনো বস্তুর প্রতি সেকেন্ডে $3{\cdot}7 \times 10^{10}$ পরমাণু বিয়োজিত হলে ওই বস্তুর তেজস্ক্রিয়া 1 কুরী হবে।

∴ 1 কুরী, $C = 3{\cdot}7 \times 10^{10}$ বিয়োজন/সেকেন্ড $= 3{\cdot}7 \times 10^{10}$ বেকেরেল।

এই এককটি খুব বড় হওয়ায় মিলি কুরী (Milli Curie) ও মাইক্রো কুরী (Micro-Curie) একক ব্যবহার করা হয়।

∴ 1 মিলি-কুরী (mC) $= 3{\cdot}7 \times 10^{7}$ বিয়োজন/সেকেন্ড

1 মাইক্রো-কুরী (μC) $= 3{\cdot}7 \times 10^{4}$ বিয়োজন/সেকেন্ড

(২) তেজস্ক্রিয়তার এস. আই. একক হলো বেকেরেল (Bq)।

কোনো বস্তুর প্রতি সেকেন্ডে একটি পরমাণুর ভাঙ্গনকে 1 বেকেরেল (Bq) বলে।

চিন্তন কাজ : তেজস্ক্রিয়তা একটি নিউক্লীয় ঘটনা—কীভাবে তা ব্যাখ্যা করবে ?

তেজস্ক্রিয়তা মাধ্যমের তাপমাত্রা, চাপ, তড়িৎ ক্ষেত্র বা চৌম্বক ক্ষেত্র কোনো কিছুর দ্বারা প্রভাবিত হয় না। অর্থাৎ তেজস্ক্রিয়তার ওপর পারিপার্শ্বিকের কোনো রকম প্রভাব নেই। তেজস্ক্রিয়তার এই সমস্ত বিশেষ ধর্মের জন্য বিজ্ঞানীরা মনে করেন যে তেজস্ক্রিয়তা একটি নিউক্লীয় ঘটনা।

৯·৭·৪ তেজস্ক্রিয়তা সংক্রান্ত কয়েকটি রাশি
Some terms relating radioactivity

তেজস্ক্রিয় রশ্মি বা তেজস্ক্রিয় বিকিরণ (Radioactive rays or radioactive radiation) : পরমাণু নিউক্লিয়াস থেকে স্বতঃস্ফূর্তভাবে নিঃসৃত বিকিরণকে তেজস্ক্রিয় রশ্মি বা তেজস্ক্রিয় বিকিরণ বলে।

তেজস্ক্রিয় মৌল (Radioactive element) : যে সকল মৌল নিজে থেকে অন্য মৌলে রূপান্তরিত হয় তাদেরকে তেজস্ক্রিয় মৌল বলে।

তেজস্ক্রিয় নমুনা (Radioactive sample) : যে বস্তুখণ্ড থেকে তেজস্ক্রিয় রশ্মি নির্গত হয় তাকে তেজস্ক্রিয় নমুনা বলে।

জনক পরমাণু ও দুহিতা পরমাণু (Parent atom and daughter atom) : তেজস্ক্রিয় মৌলের যে পরমাণু বিঘটন (disintegration) ঘটে, তাকে **জনক পরমাণু** বলা হয়। নিউক্লিয়াস থেকে তেজস্ক্রিয় রশ্মি নির্গত হওয়ার পর যে পরমাণুটি থাকে তাকে **দুহিতা পরমাণু** বলা হয়। দুহিতা পরমাণুটি তেজস্ক্রিয় হতে পারে অথবা নাও হতে পারে। তবে এটি যদি তেজস্ক্রিয় হয় তাহলে পরবর্তী বিঘটনের ক্ষেত্রে এটি জনক পরমাণু হিসেবে ক্রিয়া করে।

রেডিও আইসোটোপ বা তেজস্ক্রিয় সমস্থানিক (Radio isotope or radioactive isotope) : কিছু কিছু আইসোটোপ তেজস্ক্রিয় কণা এবং রশ্মি নির্গত করে। এদেরকে রেডিও আইসোটোপ বা তেজস্ক্রিয় সমস্থানিক বলা হয়।

এগুলো সাধারণত নিউক্লিয়ার বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হয়। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেছে যে, কোনো নিউক্লিয়ার বিক্রিয়ায় উৎপন্ন নতুন মৌলের প্রকৃতি অত্যন্ত অস্থায়ী। মৌলটি তেজস্ক্রিয় মৌলের মতো ইলেকট্রন, পজিট্রন বা কিছু রশ্মি বিকিরণ করে স্থায়ী অবস্থায় আসে।

নিম্নে একটি উদাহরণ দেওয়া হলো :

$$^{14}_{7}N + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{14}_{6}C + ^{1}_{1}H$$

$$^{14}_{6}C \rightarrow ^{14}_{7}N + \beta^{-} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (9.9)$$

এখানে $^{14}_{6}C$, β-রশ্মি নির্গত করে স্থায়ী মৌলে পরিণত হয়। তাই $^{14}_{6}C$ কার্বনের একটি তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ।

রেডিও বা তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের ব্যবহার (Uses of radio-isotopes) : বর্তমান বিজ্ঞান জগতে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ এক বিস্ময়কর ভূমিকা পালন করছে। বিজ্ঞানের প্রায় সমস্ত ক্ষেত্রেই এর ব্যবহার পরিলক্ষিত হচ্ছে। কয়েকটি ব্যবহার নিম্নে উল্লেখ করা হলো—

১। **কৃষিক্ষেত্র :** কৃষিক্ষেত্রে বীজ সংরক্ষণ, কীটমুক্তকরণ, অধিক ফসল ফলানো, একই গাছে বিভিন্ন বর্ণের ফুল ফুটাবার কাজে ব্যবহৃত হয়।

২। **চিকিৎসা শাস্ত্র :** চিকিৎসা শাস্ত্রে ক্যানসার, টিউমার প্রভৃতির চিকিৎসায় ব্যবহৃত হয়।

৩। **গবেষণা বিজ্ঞান :** জীববিদ্যার বিভিন্ন গবেষণায় এবং রসায়নবিজ্ঞানে ব্যবহৃত হয়।

৪। **শিল্প বিজ্ঞান :** বিভিন্ন শিল্প কাজে ও নানা প্রকার প্রত্নতাত্ত্বিক ধ্বংসাবশেষের সময়কাল নির্ণয়ের কাজে ব্যবহৃত হয়।

৯·৭·৫ তেজস্ক্রিয়তার প্রকারভেদ
Kinds of radioactivity

তেজস্ক্রিয়তা দুই প্রকার; যথা —

(১) **প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তা** (Natural radioactivity) ও

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

কোনো পদার্থ হতে স্বতঃস্ফূর্তভাবে যে তেজস্ক্রিয়া ঘটে, তাকে প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তা বলে। যেমন ইউরেনিয়াম, রেডিয়াম, থোরিয়াম প্রভৃতি মৌল হতে যে তেজস্ক্রিয়া ঘটে তা প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তা।

কৃত্রিম উপায়ে কোনো মৌলকে তেজস্ক্রিয় মৌলে পরিণত করলে যে তেজস্ক্রিয়া ঘটে তাকে কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা বলে। কোনো মৌলকে বাইরে থেকে তীব্র গতিসম্পন্ন কোনো চার্জিত কণা দ্বারা আঘাত করে তাকে তেজস্ক্রিয় মৌলে পরিণত করা যায়। এদেরকেই কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা বলে।

উদাহরণ : $_{13}Al^{27} + _2He^4 \rightarrow _{15}P^{30} + _0n^1$ অর্থাৎ অ্যালুমিনিয়ামকে α-কণা দ্বারা আঘাত করলে তেজস্ক্রিয় ফসফরাস তৈরি হয়।

৯·৭·৬ তেজস্ক্রিয়তার ব্যবহার
Uses of radioactivity

আধুনিক বিজ্ঞান জগতে তেজস্ক্রিয়তার বহুল ব্যবহার দেখা যায়। নিম্নে তা উল্লেখ করা হলো :

(১) এটা তেজস্ক্রিয় প্রদর্শক হিসেবে ব্যবহৃত হয়।
(২) এটা কৃষি বিদ্যায় ব্যবহৃত হয়।
(৩) এটা চিকিৎসা বিদ্যায় ব্যবহৃত হয়।
(৪) এটা রসায়ন বিদ্যায় ব্যবহৃত হয়।
(৫) শিল্প ক্ষেত্রেও এর ব্যবহার সমধিক।

৯·৭·৭ তেজস্ক্রিয়তার বৈশিষ্ট্য
Characteristics of radioactivity

তেজস্ক্রিয়তার নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যসমূহ দেখা যায় :

১। যে সব মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা 83-এর বেশি সেসব পদার্থই তেজস্ক্রিয় ধর্ম দেখায়।
২। তেজস্ক্রিয়তা স্বাভাবিক ও স্বতঃস্ফূর্ত নিউক্লীয় ঘটনা। এটি অবিরাম প্রক্রিয়া, সবিরাম নয়।
৩। তাপমাত্রা বা চাপের পরিবর্তন, পারিপার্শ্বিক যে কোনো বিকিরণ, বিদ্যুৎ বা চৌম্বক ক্ষেত্র, বাহ্যিক কোনো বল ইত্যাদি তেজস্ক্রিয়তাকে প্রভাবিত করে না।
৪। তেজস্ক্রিয় পদার্থ থেকে সাধারণত আলফা, বিটা, গামা রশ্মি নিঃসরণ হয়।

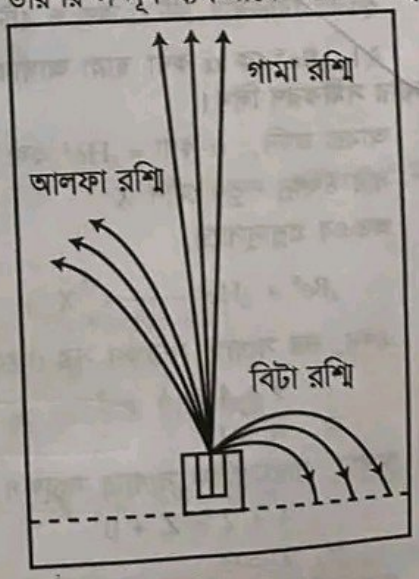
৯·৮ তেজস্ক্রিয় রশ্মির প্রকারভেদ
Kinds of radioactive rays

1899 খ্রিস্টাব্দে রাদারফোর্ড (Rutherford) এবং 1900 খ্রিস্টাব্দে উইলার্ড (Willard) পরীক্ষা-নিরীক্ষার সাহায্যে দেখান যে তেজস্ক্রিয় পদার্থ হতে তিন প্রকার রশ্মি নির্গত হয়; যথা—

(১) আলফা রশ্মি (α-rays), (২) বিটা রশ্মি (β-rays) এবং (৩) গামা রশ্মি (γ-rays)।

নিম্নলিখিত পরীক্ষার সাহায্যে বিজ্ঞানী মাদাম কুরী তিন প্রকার রশ্মির অস্তিত্ব প্রমাণ করেন।

তিনি একটি সীসার ব্লক বা খণ্ড নেন [চিত্র ৯·৮]। সীসার খণ্ডে লম্বা একটি সরু ছিদ্র করে তার মধ্যে এক টুকরা রেডিয়াম স্থাপন করেন। ছিদ্র হতে সামান্য দূরে অনুভূমিকভাবে বা কাগজের তলের অভিলম্বভাবে একটি ফটোগ্রাফিক প্লেট স্থাপন করেন যাতে রেডিয়াম হতে নির্গত রশ্মিসমূহ এতে পতিত হয়। তারপর সম্পূর্ণ ব্যবস্থাকে একটি বায়ুরুদ্ধ কক্ষে স্থাপন করে ভেতরের বায়ু বের করে নেন এবং নির্গত রশ্মির অভিলম্ব বরাবর একটি চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করেন। এতে ফটোগ্রাফিক প্লেটের তিনটি স্থানে তিনটি পরিষ্কার দাগ লক্ষ করেন— একটি বাম দিকে, একটি ডান দিকে এবং অপরটি ঠিক মাঝখানে।



চিত্র ৯·৮

আমরা জানি যে, ধাবমান চার্জিত কণার ওপর চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে কণাগুলি বিক্ষিপ্ত হয়। চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ কাগজের তলের অভিলম্বভাবে নিচের দিকে হলে দক্ষিণ হস্ত নিয়ম-১ অনুসারে কণাগুলোর আদি গতি অভিমুখ হতে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায় যে, বাম দিকে যে রশ্মিটি অল্প বেঁকে গেছে তা ধন চার্জযুক্ত, একে আলফা রশ্মি বা α-রশ্মি; ডান দিকে যে রশ্মিটি বেশি বেঁকে গেছে তা ঋণ চার্জযুক্ত, একে বিটা রশ্মি বা β-রশ্মি এবং মাঝখানে যে রশ্মিটি সোজা চলে গেছে যার উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো প্রভাব নেই তা গামা রশ্মি বা γ-রশ্মি। γ-রশ্মি বৈদ্যুতিক চৌম্বক তরঙ্গ। সাধারণ আলোর সঙ্গে পার্থক্য শুধুমাত্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের। γ-রশ্মি তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ যার তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 0·1 Å থেকে 0·0001 Å।

α, β, γ গ্রিক বর্ণমালার প্রথম তিনটি বর্ণ, তেজস্ক্রিয় পদার্থ থেকে নির্গত রশ্মির ভেদন ক্ষমতার ক্রম অনুসারে α, β, γ নামকরণ করা হয়েছে। α-রশ্মির ভেদন ক্ষমতা β-রশ্মির চেয়ে কম, আবার β-রশ্মির চেয়ে γ-রশ্মির ভেদন ক্ষমতা অনেক বেশি। α-রশ্মি একটি সীসা খণ্ডের মাত্র 1×10^{-5} m ভেদ করতে পারে, β-রশ্মি 1×10^{-4} m এবং γ-রশ্মি 0·1 m।

কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের পরমাণু হতে α-কণা নির্গত হলে যে নতুন মৌল-পরমাণু তৈরি হয় তার ভর সংখ্যা ও পারমাণবিক সংখ্যা প্রাথমিক তেজস্ক্রিয় মৌলটির ভর ও পারমাণবিক সংখ্যা অপেক্ষা যথাক্রমে 4 একক ও 2 একক কম হয়।

পক্ষান্তরে, β-কণা নির্গমনের ক্ষেত্রে নতুন মৌলটির ভর সংখ্যা একই থাকে; কিন্তু পারমাণবিক সংখ্যা প্রাথমিক মৌলটির পারমাণবিক সংখ্যা অপেক্ষা 1 একক বৃদ্ধি পায়।

γ-রশ্মি বিকিরণের ফলে পরমাণুর ভর সংখ্যা বা পারমাণবিক সংখ্যার কোনো পরিবর্তন হয় না।

উল্লিখিত পরীক্ষায় চৌম্বক ক্ষেত্রটির পরিবর্তে ডানদিক থেকে বামদিকে একটি শক্তিশালী তড়িৎ ক্ষেত্র প্রয়োগ করলেও হুবহু একই রকম ফল পাওয়া যাবে।

বি. দ্র. কোনো তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ এক সঙ্গে α–রশ্মি ও β–রশ্মি বিকিরণ করতে পারে না। তাই ওপরের পরীক্ষায় শুধুমাত্র এক ধরনের তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ থাকলে শুধু α–রশ্মি বা β–রশ্মি পাওয়া যাবে, এক সঙ্গে α– বা β–রশ্মি পাওয়া যাবে না। সুতরাং একই সঙ্গে α– বা β–রশ্মি পেতে হলে তেজস্ক্রিয় নমুনা হিসেবে একাধিক আইসোটোপের মিশ্রণ নিতে হয়। সাধারণত যে কোনো তেজস্ক্রিয় নমুনায় জনক আইসোটোপ (parent isotope) এর সাথে দুহিতা আইসোটোপ (daughter isotope) উপস্থিত থাকে। এই দুহিতা আইসোটোপ যদি স্থায়ী না হয়ে তেজস্ক্রিয় হয় তবে একই সঙ্গে ওই নমুনা থেকে তিন ধরনের রশ্মি পাওয়া যেতে পারে। যেমন জনক আইসোটোপ α-রশ্মি নিঃসরণ করলে এবং দুহিতা আইসোটোপ β-রশ্মি নিঃসরণ করলে এই ঘটনা ঘটা সম্ভব।

গাণিতিক উদাহরণ ৯.৪

১। $_{86}A^{222} \longrightarrow {}_{84}B^{210}$ বিক্রিয়াটিতে কয়টি α এবং β-কণা নিঃসৃত হয় বের কর।

আমরা জানি,

α-কণা নিঃসরণের জন্য ভর সংখ্যা ও পারমাণবিক সংখ্যা হ্রাস পায়। কিন্তু β-কণা নিঃসরণের জন্য ভর সংখ্যা একই থাকে, পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধি পায়।

এখানে,

ভর সংখ্যার হ্রাস $= 222 - 210 = 12$

পারমাণবিক সংখ্যার হ্রাস $= 86 - 84 = 2$

এখন, α-কণার ভর সংখ্যা 4

তাই, α-কণা নিঃসরণের সংখ্যা $= \frac{12}{4} = 3$

3টি α-কণা নিঃসৃত হলে পারমাণবিক সংখ্যা হ্রাস $= 2 \times 3 = 6$

সুতরাং, β-কণা নিঃসরণের জন্য পারমাণবিক সংখ্যা বৃদ্ধি $= 6 - 2 = 4$

যেহেতু একটি β কণা নিঃসৃত হলে পারমাণবিক সংখ্যা 1 বৃদ্ধি পায়।

সুতরাং নিঃসৃত β-কণার সংখ্যা $= \frac{4}{1} = 4$

সুতরাং বিক্রিয়ায় 3টি α-কণা ও 4টি β-কণা নিঃসৃত হয়।

২। $_4Be^9$-কে α কণা দ্বারা আঘাত করলে 1টি নিউট্রন নির্গত হয় এবং অন্য একটি মৌল সৃষ্টি হয়। এই বিক্রিয়ার সমীকরণ লিখ।

আমরা জানি, α-কণা $= {}_2He^4$ এবং নিউট্রন $= {}_0n^1$

ধরি উৎপন্ন নতুন মৌল X

অতএব প্রশ্নানুসারে,

$$_4Be^9 + {}_2He^4 \longrightarrow {}^A_Z X + {}_0n^1$$

এখন, ভর সংখ্যার সংরক্ষণ সূত্র থেকে পাই,

$9 + 4 = A + 1$

বা, $A = 12$

আবার, পারমাণবিক সংখ্যার সংরক্ষণ সূত্র থেকে পাই,

$4 + 2 = Z + 0$

বা, $Z = 6$

পারমাণবিক সংখ্যা 6 হওয়ায় মৌলটি কার্বন।

অতএব, বিক্রিয়ার সমীকরণটি হবে,

$$_4Be^9 + {}_2He^4 \longrightarrow {}_6C^{12} + {}_0n^1$$

কাজ : পরমাণুর নিউক্লিয়াসে কোনো ইলেকট্রন নেই অথচ নিউক্লিয়াস থেকে β–কণার নিঃসরণ কীভাবে হয় ব্যাখ্যা কর।

পরমাণুর নিউক্লিয়াসে একটি নিউট্রন যখন একটি প্রোটনে পরিণত হয়, তখনই একটি ইলেকট্রন উৎপন্ন হয়। এই ইলেকট্রনের ওপর নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে উপস্থিত তীব্র নিউক্লীয় বলের কোনো প্রভাব থাকে না। তাই ইলেকট্রনটি নিউক্লিয়াসের মধ্যে থাকতে পারে না, β-কণা হিসেবে বেরিয়ে আসে।

৯.৮.১ তেজস্ক্রিয় রশ্মির ধর্ম
Properties of radioactive rays

আমরা জানি—তেজস্ক্রিয় পদার্থ হতে তিন প্রকারের রশ্মি নির্গত হয়। তারা α, β এবং γ রশ্মি। তাদের বিভিন্ন ধর্ম নিম্নে বর্ণনা করা হলো।

আলফা রশ্মির ধর্ম :

(১) এই রশ্মি কতকগুলো ভারী কণার সমষ্টি। প্রত্যেকটি কণার ভর $6{\cdot}6 \times 10^{-27}$ kg। এর ভর হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াসের বা প্রোটনের ভরের চার গুণ।

(২) এরা ধন চার্জ বহন করে। চার্জের পরিমাণ $q = +2e = 3{\cdot}2 \times 10^{-19}$ C

(৩) এরা দ্বি-আয়নিত হিলিয়াম পরমাণু।

(৪) এরা বৈদ্যুতিক ও চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয়। এটি প্রমাণ করে যে আলফা রশ্মির কণাগুলো চার্জগ্রস্ত। বিক্ষেপের অভিমুখ হতে আলফা রশ্মির চার্জ ধনাত্মক প্রমাণিত হয়।

(৫) এদের আয়নায়ন (Ionisation) ক্ষমতা বেশি । এই ক্ষমতা β-রশ্মির তুলনায় 100 গুণ এবং γ-রশ্মির তুলনায় 1000 গুণ বেশি।

(৬) এরা ফটোগ্রাফিক প্লেটের ওপর বিক্রিয়া করে।

(৭) এরা সহজেই বস্তু দ্বারা শোষিত হয়, অর্থাৎ এদের ভেদন ক্ষমতা (Penetrating power) খুব কম। β এবং γ-রশ্মির তুলনায় এদের ভেদন ক্ষমতা অনেক কম।

(৮) জিঙ্ক সালফাইড বা বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইডে আলফা রশ্মি প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে।

(৯) বাতাসে এদের গম্যতার (Range) সীমা 0·027 m হতে প্রায় 0·09 m।

(১০) বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় বস্তু হতে আলফা রশ্মি বিভিন্ন বেগে নির্গত হয়। এই বেগ $1{\cdot}4 \times 10^{7}$ ms^{-1} হতে $1{\cdot}9 \times 10^{7}$ ms^{-1} হয়।

(১১) আলফা রশ্মি শরীরের কোনো অংশে পড়লে ক্ষত সৃষ্টি করে। এই ক্ষত সারানো খুবই মুশকিল।

(১২) পাতলা ধাতব বা অভ্রের পাতের ভেতর দিয়ে যাবার কালে আলফা কণাগুলোর চতুর্দিকে বিক্ষেপণ হয়।

বিটা রশ্মির ধর্ম :

(১) বিটা রশ্মি খুবই হালকা। এই রশ্মি ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত কণার সমষ্টি।

(২) এদের ভর $9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg।

(৩) এরা ঋণ চার্জ বহন করে। এই চার্জের মান $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C।

(৪) বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় বস্তু হতে বিটা রশ্মি প্রচণ্ড বেগে নির্গত হয়। এই বেগ $0{\cdot}9 \times 10^{8}$ ms^{-1} হতে $2{\cdot}9 \times 10^{8}$ ms^{-1} হতে পারে।

(৫) এরা ফটোগ্রাফিক প্লেটের ওপর প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে।

(৬) এরা গ্যাসকে আয়নিত করে, তবে আয়নিত করার ক্ষমতা আলফা রশ্মি অপেক্ষা কম।

(৭) এদের ভেদন ক্ষমতা আছে। আলফা রশ্মি অপেক্ষা এদের ভেদন ক্ষমতা বেশি।

(৮) এরা বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইড, ক্যালসিয়াম-টাংস্টেন ইত্যাদিতে প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে।

(৯) এরা বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয়।

(১০) এরা চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয়। বৈদ্যুতিক বা চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা সৃষ্ট বিক্ষেপের অভিমুখ হতে জানা যায় যে, এরা ঋণ চার্জ বহন করে।

(১১) এরা কোনো পদার্থের মধ্য দিয়ে যাবার সময় বিক্ষিপ্ত হয়। এই বিক্ষেপণ আলফা রশ্মির তুলনায় অনেক বেশি।

(১২) এদের গতিশক্তি আছে।

গামা রশ্মির ধর্ম :

(১) গামা রশ্মি অতি ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ।
(২) গামা রশ্মির কোনো ভর নেই।
(৩) গামা রশ্মির কোনো চার্জ নেই।
(৪) গামা রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য দৃশ্যমান আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় অনেক কম।
(৫) গামা রশ্মি $3 \times 10^8\ ms^{-1}$ বেগে গমন করে।
(৬) গামা রশ্মি বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয় না।
(৭) গামা রশ্মি চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয় না।
(৮) গামা রশ্মি ফটোগ্রাফিক প্লেটে প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে।
(৯) এরা কোনো পদার্থের ওপর আপতিত হয়ে প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে।
(১০) গামা রশ্মির আয়নায়ন ক্ষমতা আছে। এই ক্ষমতা আলফা এবং বিটা রশ্মির তুলনায় অনেক কম।
(১১) গামা রশ্মির ভেদন ক্ষমতা আছে। আলফা এবং বিটা রশ্মির তুলনায় এই ভেদন ক্ষমতা অনেক বেশি।
(১২) এটা আলোকের মতো বিদ্যুৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গ বলে গামা রশ্মির প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, অপবর্তন ইত্যাদি সব আলোকীয় ধর্ম আছে।

জানার বিষয় : I. ভেদন ক্ষমতার ক্রম হলো γ রশ্মি > β রশ্মি > α রশ্মি। এদের অনুপাত 1000 : 100 : 1।
II. আয়নায়ন ক্ষমতার ক্রম হলো α রশ্মি > β রশ্মি > γ রশ্মি। এদের অনুপাত 1000 : 100 : 1।

৯·৯ ক্ষয়
Decay

তেজস্ক্রিয়তা আবিষ্কারের তিন বছর পর দুজন বিজ্ঞানী এলস্টার (Elster) ও গাইটেল (Geitel) লক্ষ করেন যে, কোনো তেজস্ক্রিয় বস্তুর তেজস্ক্রিয়তা সময় অতিবাহিত হওয়ার সাথে সাথে কমতে থাকে, এটাই তেজস্ক্রিয়তার ক্ষয় (Decay)। এই ক্ষয় সূচক নিয়ম (Exponential Law) মেনে চলে। কোন মুহূর্তে কোন পরমাণুটি ভেঙে যাবে তা নির্দিষ্ট করে বলা অসম্ভব। **কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের একটি পরমাণুর একক সময়ে ভাঙনের সম্ভাব্যতাকে ওই পদার্থের অবক্ষয় ধ্রুবক বা ক্ষয় ধ্রুবক বা ভাঙন ধ্রুবক বলে।** একে λ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। তেজস্ক্রিয় পদার্থের ক্ষয় পরিসংখ্যানের নিয়ম মেনে চলে যা ক্ষয় সূত্র নামে পরিচিত।

৯·৯·১ তেজস্ক্রিয় ক্ষয়ের সরণ সূত্র
Displacement laws of radioactive decay

তেজস্ক্রিয় বিঘটনের বিভিন্ন পরীক্ষালব্ধ ফলাফল বিশ্লেষণ করে বিখ্যাত বিজ্ঞানী সডি (Soddy) ও ফাজান্স (Fajans) দুটি সূত্র উদ্ভাবন করেন। এগুলোকে সডি-ফাজান্স-এর সরণ সূত্র বলে।

(i) α-বিঘটনের সূত্র (α-disintegration law) : কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের পরমাণুর α-বিঘটন হলে যে নতুন মৌল পরমাণু সৃষ্টি হয় তার ভর সংখ্যা ও পারমাণবিক সংখ্যা জনক তেজস্ক্রিয় মৌলটির ভর সংখ্যা ও পারমাণবিক সংখ্যা অপেক্ষা যথাক্রমে 4 একক ও 2 একক কম হয়। অর্থাৎ

$$_ZX^A \longrightarrow {}_{Z-2}Y^{A-4} + \alpha \text{ (কণা)}$$

জনক — দুহিতা

যেমন, $_{88}Ra^{226} \longrightarrow {}_{86}Rn^{222} + \alpha$ (কণা)

(রেডিয়াম) — (রেডন)

ব্যাখ্যা : α কণা হলো হিলিয়াম পরমাণুর নিউক্লিয়াস অর্থাৎ $_2He^4$। ওপরের উদাহরণে জনক রেডিয়াম ও দুহিতা রেডনের ভরসংখ্যার পার্থক্য, $(226 - 222) = 4$ এবং পারমাণবিক সংখ্যার পার্থক্য $(88 - 86) = 2$। সুতরাং ভর সংখ্যার পার্থক্য ও পারমাণবিক সংখ্যার পার্থক্য যথাক্রমে 4 ও 2 যা হিলিয়াম নিউক্লিয়াস $_2He^4$ নির্দেশ করে।

(ii) β-বিঘটনের সূত্র (β-disintegration law) : কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের পরমাণুর β-বিঘটন হলে যে মৌল পরমাণু সৃষ্টি হয় তার ভর সংখ্যা জনক তেজস্ক্রিয় মৌলটির ভর সংখ্যার সমান হয় এবং পারমাণবিক সংখ্যা জনক মৌলটির পারমাণবিক সংখ্যা অপেক্ষা 1 বেশি হয়। অর্থাৎ

$$_ZX^A \longrightarrow {}_{Z+2}Y^A + \beta \text{ (কণা)}$$

যেমন, $_{90}Th^{234} \longrightarrow {}_{91}Pa^{234}$

(থোরিয়াম) — (প্রোটোঅ্যাকটিনিয়াম)

উল্লেখ্য, এখানে পারমাণবিক সংখ্যা 1 বেড়ে যাওয়ার কারণ হলো যে β বিঘটনের ক্ষেত্রে নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরের 1টি নিউট্রন ভেঙ্গে 1টি প্রোটনে পরিণত হয়। β বিঘটনে জনক ও দুহিতার ভর সংখ্যা সমান থাকে।

৯·৯·২ ভর সংখ্যা ও পারমাণবিক সংখ্যার সংরক্ষণ সূত্র
Conservation laws of mass number and atomic number

আমরা ভরবেগ, কৌণিক ভরবেগ, ভর শক্তি সংরক্ষণ সূত্রগুলির সঙ্গে পরিচিত। ওইগুলো ছাড়াও ভর সংখ্যা ও পারমাণবিক সংখ্যার সংরক্ষণ সূত্র নামে আরো দুটি সংরক্ষণ সূত্র রয়েছে।

ভর সংখ্যার সংরক্ষণ সূত্র : তেজস্ক্রিয় বিঘটনে মোট প্রোটন ও নিউট্রন সংখ্যা একই থাকে। অর্থাৎ, বিঘটনের পূর্বের ও পরের ভর সংখ্যা সমান থাকে। একেই ভর সংখ্যার সংরক্ষণ সূত্র বলে।

পারমাণবিক সংখ্যার সংরক্ষণ : তেজস্ক্রিয় বিঘটনে মোট চার্জের পরিমাণ অপরিবর্তিত থাকে। অর্থাৎ, নিউক্লিয়াসের প্রোটন সংখ্যা যা পারমাণবিক সংখ্যা নির্দেশ করে তা বিঘটনের পূর্বে এবং পরে সমান থাকে। এটিই পারমাণবিক সংখ্যার সংরক্ষণ সূত্র।

স্মরণ রাখা দরকার যে ভর সংখ্যা ও পারমাণবিক সংখ্যার সংরক্ষণ সূত্র শুধু তেজস্ক্রিয় বিঘটন ছাড়াও কৃত্রিম মৌল পরিবর্তনের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : পরমাণুর নিউক্লিয়াস থেকে উচ্চ শক্তিসম্পন্ন α ও β কণা বেরিয়ে আসে। এই শক্তির উৎস কী ?

α ও β বিঘটনের জন্য জনক পরমাণুর ভর অপেক্ষা দুহিতা পরমাণুর ও নিঃসৃত কণার ভর সমষ্টি কিছুটা কম হয়। এখন আইনস্টাইনের ভর-শক্তি নীতি অনুসারে এই হ্রাসকৃত ভর শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। α ও β কণা দুহিতা পরমাণুর তুলনায় অনেক হালকা হওয়ায় ওই কণাগুলো শক্তির সিংহভাগ গ্রহণ করে। এই কারণেই নিউক্লিয়াস থেকে উচ্চ শক্তিসম্পন্ন α ও β কণা বেরিয়ে আসে।

৯·৯·৩ তেজস্ক্রিয় ক্ষয় সূত্র
Radioactive decay law

তেজস্ক্রিয়া একটি স্বতঃস্ফূর্ত এবং আকস্মিক ঘটনা। তেজস্ক্রিয় ধর্মের পরিবর্তনের কারণ পরমাণুর ভাঙন বা অবক্ষয়। এই ভাঙন বা অবক্ষয় অবিরাম চলতে থাকবে যতক্ষণ পর্যন্ত এটি একটি অ-তেজস্ক্রিয় স্থায়ী মৌল পরমাণুতে পরিণত না হয়। ভাঙ্গানের সময় আলফা বা বিটা কণা নির্গত হয়। 1902 খ্রিস্টাব্দে রাদারফোর্ড এবং সডি তেজস্ক্রিয় ক্ষয় সূত্র বা অবক্ষয় সূত্র আবিষ্কার করেন। সূত্রটি নিম্নে বিবৃত হলো—

সূত্র : কোনো মুহূর্তে তেজস্ক্রিয় পরমাণুর ভাঙন বা অবক্ষয়ের হার ওই সময়ে উপস্থিত অক্ষত পরমাণুর সমানুপাতিক।

যদি তেজস্ক্রিয় পরমাণুর ভাঙনের হার $\frac{dN}{dt}$ এবং t সময়ে অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা N হয়, তবে $-\frac{dN}{dt} \propto N$

বা, $-\frac{dN}{dt} = \text{ধ্রুবক} \times N$

বা, $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ ... ... (9.10)

বা, $\frac{dN}{N} = -\lambda . dt$

ইহাই তেজস্ক্রিয় ক্ষয় সূত্রের গাণিতিক রূপ।

এখানে, λ একটি ধ্রুবরাশি এবং একে বলা হয় ওই তেজস্ক্রিয় মৌলের **ক্ষয় ধ্রুবক** (Decay constant)। সময় অতিবাহিত হওয়ার সাথে সাথে তেজস্ক্রিয় বস্তুর পরমাণুর সংখ্যা হ্রাস পায় বলে সমীকরণের পূর্বে একটি ঋণ চিহ্ন ব্যবহার করা হয়।

ক্ষয় ধ্রুবক বা অবক্ষয় ধ্রুবক বা ভাঙন ধ্রুবক (decay constant) :

সমীকরণ (9.10) হতে পাই,

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

$\Rightarrow$ এখন, $N = 1$ হলে ওপরের সমীকরণ থেকে পাই,

$$\lambda = -dN/dt$$

অর্থাৎ, ক্ষয় ধ্রুবক একটি পরমাণুর একক সময়ে ভাঙনের সম্ভাব্যতা (probability) নির্দেশ করে।

সংজ্ঞা : কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের একটি পরমাণুর একক সময়ে ভাঙনের সম্ভাব্যতাকে ওই পদার্থের ক্ষয় বা অবক্ষয় বা ভাঙন ধ্রুবক বলে।

এর একক s^{-1} বা, day^{-1} বা, yr^{-1}

^{198}Au এর ক্ষয় ধ্রুবক $0{\cdot}257\ d^{-1}$ বলতে বুঝায় 1 দিনে একটি Au পরমাণু ভেঙ্গে যাওয়ার সম্ভাবনা হলো $0{\cdot}2$ অংশ।

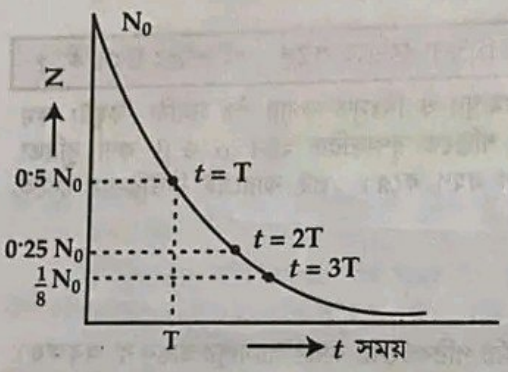
৯·৯·৪ তেজস্ক্রিয় রূপান্তর সূত্র

কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের ক্ষয় ধ্রুবক λ এবং t সময়ে অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা N হলে তেজস্ক্রিয়তার ক্ষয় হার থেকে পাই [সমীকরণ (9.10)]

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

বা, $\frac{dN}{N} = -\lambda dt$

মনে করি শুরুতে অর্থাৎ যখন, $t = 0$, তখন $N = N_0$ এবং যখন $t = t$ তখন $N = N$ এই সীমার মধ্যে উপরোক্ত সমীকরণকে সমাকলন করে পাই,



চিত্র ৯·৯

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.11)$$

বা, $[\log_e N]_{N_0}^{N} = -\lambda(t-0)$

বা, $\log_e N - \log_e N_0 = -\lambda t$

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

বা, $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.12)$

$\therefore \quad N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.13)$

এটিই তেজস্ক্রিয় ক্ষয়ের রূপান্তর সূত্র।

এই সূত্রটি **সূচকীয় সূত্র** (Exponential law) মেনে চলে [চিত্র ৯·৯]। এর লেখ অর্থাৎ সময় t-এর সাপে অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা N-এর লেখ ওপরের চিত্রের মতো হবে।

যদি তেজস্ক্রিয় মৌলের প্রাথমিক ভর M_0 এবং বর্তমান ভর M হয়, তবে লেখা যায়,

$$M = M_0 e^{-\lambda t} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.13(a))$$

$[\because N \propto M]$

চিত্র ৯·৯ হতে দেখা যায় যে, শুরুতে অর্থাৎ ($t = 0$ সময়ে) কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থে নির্দিষ্ট পরিমাণ পরমাণু থাকলে, T সময় পরে ওই তেজস্ক্রিয় পদার্থের পরিমাণ অর্ধেক হয়ে যায়; অর্থাৎ প্রারম্ভিক পদার্থের $0{\cdot}5\ N_0$ অংশ অবশিষ্ট থাকে। 2T সময় পরে ওই অবশিষ্ট পরিমাণ আবার অর্ধেক হয়ে যায় অর্থাৎ তখন প্রারম্ভিক পরিমাণের $\frac{1}{4}$ বা $0{\cdot}25\ N_0$ অংশ অবশিষ্ট থাকে। $N-t$ লেখচিত্র হতে প্রমাণিত হয় যে, **পরমাণু ভাঙার জন্য কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের অসীম সময় লাগে।**

৯·১০ অর্ধায়ু বা অর্ধজীবন
Half life

কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের প্রারম্ভিক বা উপস্থিত অক্ষত পরমাণুগুলোর অর্ধেক পরিমাণ ক্ষয় হতে যে সময় লাগে তাকে অর্ধায়ু বা অর্ধজীবন বলে।

অর্ধায়ুর মান তেজস্ক্রিয় পদার্থের একটি নিজস্ব বৈশিষ্ট্য। পদার্থটির ভৌত বা রাসায়নিক পরিবর্তন হলেও অর্ধায়ুর মান অপরিবর্তিত থাকে।

তেজস্ক্রিয় ভাঙনের সূত্র হতে আমরা জানি, $N = N_0 e^{-\lambda t}$

যদি অর্ধায়ুকে T বা $T_{\frac{1}{2}}$ দ্বারা সূচিত করা হয়, তা হলে যখন $t = T$, তখন $N = \frac{N_0}{2}$

$\therefore \quad \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$ বা, $e^{\lambda T} = 2$ বা, $\lambda T = \log_e 2$

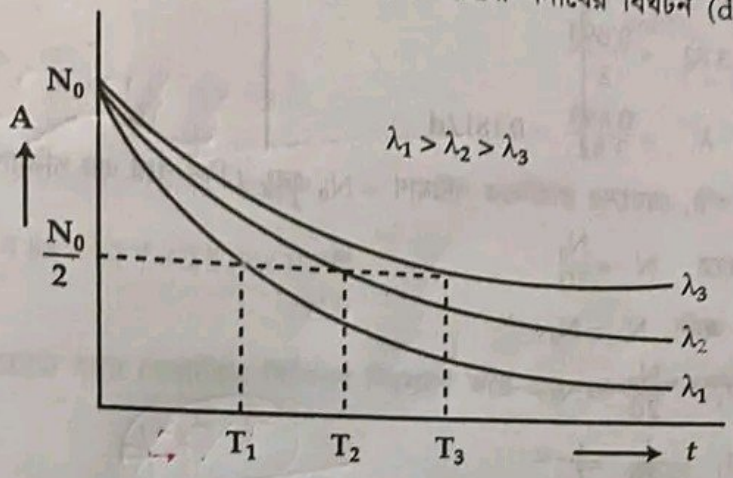
বা, $T = \frac{\log_e 2}{\lambda} = \frac{2{\cdot}303 \times \log_{10} 2}{\lambda}$

$\therefore \quad T = \frac{0{\cdot}693}{\lambda} \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.14)$

অর্থাৎ তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু এর ক্ষয় ধ্রুবকের ব্যস্তানুপাতিক।

1 গ্রাম ইউরেনিয়াম পরমাণু ভেঙে ঠিক অর্ধেক অর্থাৎ $\frac{1}{2}$ গ্রাম হতে 450 কোটি বছর সময় লাগে। আরও 450 কোটি বছরে $\frac{1}{2}$ গ্রাম ভেঙে $\frac{1}{4}$ গ্রাম হবে। সুতরাং ইউরেনিয়ামের অর্ধায়ু 450 কোটি বছর।

স্পষ্টত বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু বিভিন্ন। যে সকল মৌলের T খুব দীর্ঘ হয় এবং λ খুব ক্ষুদ্র হয় তাদের পরমাণুগুলি খুব কম হারে ক্ষয়প্রাপ্ত হয়। বিভিন্ন অর্ধায়ুসম্পন্ন তেজস্ক্রিয় পদার্থের বিঘটন (disintegration) [চিত্র ৯·১০]-এ দেখানো হয়েছে।



চিত্র ৯·১০

T সময় পরে তেজস্ক্রিয় পরমাণুর সংখ্যা প্রাথমিক সংখ্যার অর্ধেক হয়। 2T সময় পরে এই সংখ্যা প্রাথমিক সংখ্যার $2^{1/2}$ অংশ, 3T সময় পরে $2^{1/3}$ অংশ হয়। সুতরাং, nT সময় পরে তেজস্ক্রিয় পরমাণুর সংখ্যা প্রাথমিক সংখ্যার $\frac{1}{2^n}$ হয়।

অর্ধায়ুর সংজ্ঞা থেকে যে কোনো মুহূর্তে অবশিষ্ট পরমাণুর সংখ্যা নিম্নোক্ত সূত্রানুসারে নির্ণয় করা যায়,

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

অর্ধায়ুর মান জানা থাকলে প্রারম্ভিক অবস্থার t সময় পরে প্রাথমিক অক্ষত পরমাণু সংখ্যার কত ভগ্নাংশ অক্ষত থাকবে তা সমীকরণ (i)-এর সাহায্যে জানা যায়। আবার N_0 জানা থাকলে t সময় পরে অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা (N) এবং বিঘটিত পরমাণুর সংখ্যা $(N_0 - N)$ ইত্যাদিও জানা যায়।

প্রাথমিক ভর M_0 এবং t সময়ে ভর M অবশিষ্ট থাকলে অনুরূপভাবে লেখা যায়,

$$\frac{M}{M_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$

৯·১১ গড় আয়ু
Mean life or average life

আমরা জানি—তেজস্ক্রিয়তা স্বতঃস্ফূর্ত ঘটনা। এটা সূচকীয় সূত্র মেনে চলে এবং কোনো পরমাণুর আয়ু শূন্য হতে অসীম (∞) হতে পারে। সুতরাং কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের গড় আয়ু নির্ণয় করা সম্ভব।

প্রত্যেকটি তেজস্ক্রিয় পরমাণুর আয়ুর যোগফলকে পরমাণুর প্রারম্ভিক সংখ্যা দ্বারা ভাগ করলে যে আয়ু পাওয়া যায় তাকে ওই তেজস্ক্রিয় পদার্থের গড় আয়ু বলে।

গড় আয়ুকে সাধারণত τ দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$$\therefore \quad \tau = \frac{\text{১ম পরমাণুর আয়ু} + \text{২য় পরমাণুর আয়ু} + \cdots + N_0\text{-তম পরমাণুর আয়ু}}{N_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.15)$$

গাণিতিকভাবে দেখানো যায় যে, গড় আয়ু, $\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{0{\cdot}693}$

সমীকরণ (9.15) হতে দেখা যায়, গড় আয়ু অর্ধায়ুর সমানুপাতিক।

গাণিতিক উদাহরণ ৯.৫

১। রেডনের অর্ধায়ু 3·82 দিন। রেডনের তেজস্ক্রিয় ধ্রুবকের মান কত এবং কত দিন পর রেডনের প্রারম্ভি মানের $\frac{1}{20}$ অংশ অপরিবর্তিত থাকবে ? [কু. বো. ২০১০, ২০০৩, ২০০০; ঢা. বো. ২০০৯; ব. বো. ২০..]

এখানে,
$T = 3{\cdot}82\ d$

আমরা জানি, $T = \frac{0{\cdot}693}{\lambda}$

$\therefore 3{\cdot}82 = \frac{0{\cdot}693}{\lambda}$

$\therefore \lambda = \frac{0{\cdot}693}{3{\cdot}82} = 0{\cdot}181/d$

আবার, মনে করি, রেডনের প্রারম্ভিক পরিমাণ $= N_0$ এবং t দিন পরে এর পরিমাণ $= N$

প্রশ্নানুসারে, $N = \frac{N_0}{20}$

আমরা জানি, $N = N_0 e^{-\lambda t}$

বা, $\frac{N_0}{20} = N_0 e^{-\lambda t}$

বা, $\frac{1}{20} = e^{-\lambda t}$

$\therefore \ln 1 - \ln 20 = -\lambda t$

বা, $0 - \ln 20 = -\lambda t$

বা, $\ln 20 = \lambda t$

বা, $t = \frac{\ln 20}{\lambda} = \frac{\ln 20}{0{\cdot}181}$ $[\because \lambda = 0{\cdot}181]$

$\therefore t = 16{\cdot}55\ d$

২। প্রারম্ভিক অবস্থায় কোনো বস্তু খণ্ডে যদি 10^8 সংখ্যক রেডন পরমাণু থাকে তাহলে একদিনে কত সংখ্যক পরমাণু ভেঙে যাবে? রেডনের অর্ধায়ু 4 দিন। [য. বো. ২০০..]

এখানে,
প্রাথমিক পরমাণু সংখ্যা,
$N_0 = 10^8$
সময়, $t = 1$ দিন
$T = 4$ দিন
$\Delta N = ?$

আমরা জানি,

$\Delta N = N_0 - N$ ... ... (i)

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

$T = \frac{0{\cdot}693}{\lambda}$

$\therefore \lambda = \frac{0{\cdot}693}{T} = \frac{0{\cdot}693}{4} = 0{\cdot}17325\ d^{-1}$

সমীকরণ (ii) থেকে পাই,

$N = 10^8 \times e^{-0{\cdot}17325 \times 1} = 84{\cdot}09 \times 10^6$

$\therefore \Delta N = 10^8 - 84{\cdot}09 \times 10^6 = 15{\cdot}9 \times 10^6$

৩। রেডিয়ামের অর্ধায়ু 1600 y। 1g Ra^{226}-এ প্রতি সেকেন্ডে কয়টি ভাঙন ঘটবে ? [অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা $N_A = 6 \times 10^{23}$] [BUET Admission Test, 2016-17]

এখানে,
অর্ধায়ু, $T = 1600\ y$
ভর, $1\ g = 1 \times 10^{-3}\ kg$
$N_A = 6 \times 10^{23}$

আমরা জানি,

ক্ষয় ধ্রুবক, $\lambda = \frac{0{\cdot}693}{T}$

$= \frac{0{\cdot}693}{1600 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60}\ s^{-1}$

226 g Ra^{226}-এ পরমাণু সংখ্যা = অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা $= 6 \times 10^{23}$

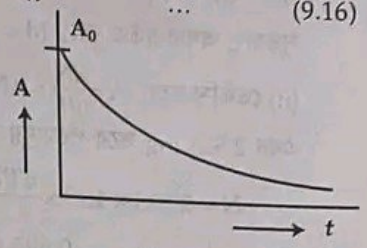
$\therefore$ 1 g Ra^{226}-এ পরমাণু সংখ্যা, $N = \frac{6 \times 10^{23}}{226}$

অতএব, সমীকরণ (ii) কে লেখা যায়,

$A = A_0 e^{-\lambda t}$ ... ... (9.16)

সুতরাং, সক্রিয়তা সূচকীয় সূত্র অনুযায়ী হ্রাস পায়।

চিত্র ৯·১১-তে সময়ের সাথে সক্রিয়তার পরিবর্তন দেখানো হয়েছে।



চিত্র ৯·১১

λN গুণফলটির মাধ্যমে সক্রিয়তাকে প্রকাশ করা হয়। এ থেকে বোঝা যায় যে কোনো তেজস্ক্রিয় নমুনার সক্রিয়তা বেশি হয় যদি (i) নমুনাটিতে পরমাণুর সংখ্যা বেশি থাকে এবং (ii) মৌলটির ক্ষয় ধ্রুবক λ এর মান বেশি থাকে অর্থাৎ অর্ধায়ু T-এর মান কম হয়।

তেজস্ক্রিয় উৎসের সক্রিয়তা পরিমাপের এস.আই. (SI) একক হলো বেকেরেল (Becquerel, Bq)। কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের **সক্রিয়তা 1 Bq বলতে বোঝায় প্রতি সেকেন্ডে ওই তেজস্ক্রিয় পদার্থের একটি নিউক্লিয়াসের ভাঙন।**

অর্থাৎ, $1\ \text{Bq} = 1\ \text{s}^{-1}$

গাণিতিক উদাহরণ ৯.৬

১। $^{16}_{8}O$ নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ হলো $R_1 = 3 \times 10^{-15}$ m। $^{205}_{82}Pb$-এর ব্যাস কত ?

আমরা জানি, $R = r_0 A^{\frac{1}{3}}$, O-এর ব্যাসার্ধ R_1 এবং $^{205}_{82}Pb$-এর ব্যাসার্ধ R_2 হলে, আমরা পাই,

$$\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^{\frac{1}{3}}$$

বা, $$R_2 = R_1 \times \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\therefore \quad R_2 = 3 \times 10^{-15} \times \left(\frac{205}{16}\right)^{\frac{1}{3}} = 7 \times 10^{-15}\ \text{m}$$

২। দেখাও যে, নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব সমস্ত আইসোটোপের জন্য ধ্রুবক।

আমরা জানি,

নিউক্লিয়াসের ভর, $M = c_1 A$ এবং ব্যাসার্ধ, $R \propto A^{\frac{1}{3}}$

$\therefore$ ব্যাসার্ধ, $R = c_2 A^{\frac{1}{3}}$; যেখানে c_1 ও c_2 হলো ধ্রুবক

$$\therefore \quad \text{ঘনত্ব} = \frac{\text{ভর (M)}}{\text{আয়তন}} = \frac{c_1 A}{\frac{4}{3}\pi (c_2 A^{\frac{1}{3}})^3}$$

$$= \frac{3}{4\pi} \times \frac{c_1}{c_2^3} = c = \text{ধ্রুবক}$$

যেখানে, $c = \left(\frac{3}{4\pi} \times \frac{c_1}{c_2^3}\right)$ হলো ধ্রুবক

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব সকল আইসোটোপের জন্য ধ্রুবক।

৩। $_{92}U^{234}$ নমুনার প্রাথমিক ভর 3·0 mg। (i) 62000 বছর পরে কতটা ভর অবিকৃত থাকবে ? (ii) ওই সময় শেষে $_{92}U^{234}$ নমুনার তেজস্ক্রিয়তা কত ? দেওয়া আছে $T = 2{\cdot}48 \times 10^5$ yrs.

এখানে,
$M_0 = 3{\cdot}0\ \text{mg}$
$t = 62000\ \text{yrs}$
$T = 2{\cdot}48 \times 10^5\ \text{yrs}$

(i) আমরা জানি,

$$M = M_0 e^{-\lambda t}$$

এবং $$\lambda t = \frac{0{\cdot}693}{T} t \qquad \left(\because \lambda = \frac{0{\cdot}693}{T}\right)$$

$$= \frac{0{\cdot}693 \times 62000}{2{\cdot}48 \times 10^5} = 0{\cdot}173$$

$\therefore \quad M = M_0 e^{-0.173}$

বা, $M_0 = Me^{0.173} = 1.189\ M$

সুতরাং, অপরিবর্তিত ভর, $M = \frac{3}{1.189} = 2.523$ mg

(ii) তেজস্ক্রিয়তা, $A = \frac{dN}{dt} = \lambda N$, এখানে N = অপরিবর্তিত পরমাণু সংখ্যা।

এখন 2.523 mg ভরে পরমাণুর সংখ্যা,

$$N = 2.523 \times 10^{-3} \times \frac{6.023 \times 10^{23}}{234} = 6.49 \times 10^{18}$$

$$\therefore \quad A = \lambda N = \frac{0.693 \times 6.49 \times 10^{18}}{2.48 \times 10^5 \times 365 \times 86400}$$

$$= \frac{0.693 \times 6.48 \times 10^{18} \times 10^{-11}}{2.48 \times 3.65 \times 8.64}$$

$= 5.74 \times 10^5$ dps (disintegration per second অর্থাৎ প্রতি সেকেন্ডে বিঘটন)

৪। α বিঘটনে $_{92}U^{238}$ নিউক্লিয়াসের অর্ধায়ু 4.5×10^9 yrs এবং প্রাথমিক ভর 1 g হলে (i) তেজস্ক্রিয়তা কত এবং (ii) কত বছর পরে ভর কমে 10^{-2} g হবে ?

(i) 1 g পদার্থে পরমাণু সংখ্যা

$$N = \frac{6.023 \times 10^{23}}{238}$$

$$= 2.53 \times 10^{21}$$

আমরা জানি, তেজস্ক্রিয়তা

$$A = \lambda N = \frac{0.693}{T} \times 2.53 \times 10^{21}$$

$$\therefore \quad A = \frac{0.693 \times 2.53 \times 10^{21}}{4.5 \times 3.65 \times 8.64 \times 10^{15}} = 1.235 \times 10^4\ Bq$$

এখানে,

$T = 4.5 \times 10^9$ yrs

$= 4.5 \times 10^9 \times 365 \times 86400$ s

$M_0 = 1$ g

(ii) আমরা জানি,

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

বা, $0.01 = 1e^{-\lambda t}$

বা, $\ln\left(\frac{0.01}{1}\right) = -\lambda t$

$$\therefore \quad t = -\frac{\ln(0.01)}{\lambda} = -\frac{\ln(0.01)}{\frac{0.693}{1.42 \times 10^{17}}}$$

$$\therefore \quad t = \frac{4.60 \times 1.42 \times 10^{17}}{0.693}$$

$$= 9.42 \times 10^{17}\ s = 2.987 \times 10^{10}\ yrs.$$

এখানে,

$N = 0.01$ g $\quad [\because N \propto M]$

$N_0 = 1$ g

৫। ইউরেনিয়ামের অর্ধায়ু 45×10^8 বছর। এর গড় আয়ু নির্ণয় কর।

[কু. বো. ২০০৭; য. বো. ২০০২; রা. বো. ২০০০]

আমরা জানি,

গড় আয়ু, $\tau = \frac{1}{\lambda}$

আবার,

অর্ধায়ু, $T = \frac{0.693}{\lambda}$

$$\therefore \quad \tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{0.693} = \frac{45 \times 10^8}{0.693}\ yrs$$

$= 64.9 \times 10^8$ yrs

এখানে,

অর্ধায়ু, $T = 45 \times 10^8$ yrs

গড় আয়ু, $\tau = ?$

৯। একটি 2000 MW-এর নিউক্লিয়ার রিঅ্যাক্টর 10 বছরে জ্বালানির অর্ধেক খরচ করে। এতে প্রথমে কত $^{235}_{92}U$ ছিল? ধরে নাও যে, রিঅ্যাক্টরটির সম্পূর্ণ সময়ের 80% কাজ করে এবং উৎপন্ন সমস্ত শক্তিই $^{235}_{92}U$ বিভাজন থেকে এসেছে এবং এই নিউক্লিয়াসটি বিভাজন প্রক্রিয়ায় সম্পূর্ণভাবে ক্ষয়প্রাপ্ত হয়।

আমরা জানি, প্রতি গ্রাম $^{235}_{92}U$-এ উৎপন্ন শক্তি,

$$E = \frac{6{\cdot}023 \times 10^{26} \times 200 \times 10^{6} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}{235} \text{ Jkg}^{-1}$$

10 বছরে মোট উৎপন্ন শক্তি = ক্ষমতা × সময় × 80% = $(2000 \times 10^6) \times (10 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60) \times 80\%$

∴ ব্যয়িত $^{235}_{92}U$-এর পরিমাণ,

$$= \frac{0{\cdot}8 \times 2000 \times 10^{6} \times 10 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 \times 235}{6{\cdot}023 \times 10^{26} \times 200 \times 10^{6} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}} \text{ kg}$$

$$= \frac{0{\cdot}8 \times 2 \times 365 \times 24 \times 36 \times 235 \times 10^{12} \times 10^{-15}}{6{\cdot}023 \times 2 \times 1{\cdot}6} \text{ kg}$$

$$= 6152{\cdot}2 \text{ kg}$$

১০। একটি নিউক্লীয় রিঅ্যাক্টরের ক্ষমতা 3000 kW। প্রতি সেকেন্ডে কতগুলি U^{235} পরমাণুর ফিশন ঘটে? 1000 ঘণ্টায় কত kg U^{235} প্রয়োজন হবে? ধর, প্রতি ফিশনে গড়ে 200 MeV শক্তি নির্গত হয়।

নিউক্লীয় রিঅ্যাক্টরের ক্ষমতা, 3000 kW = 3×10^6 Js^{-1}

প্রতি ফিশনে নির্গত শক্তি = 200 MeV = $200 \times 10^6 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ J = 32×10^{-11} J

∴ এক সেকেন্ডে ফিশন সংখ্যা = $\frac{3 \times 10^6}{3{\cdot}2 \times 10^{-11}} = 9{\cdot}4 \times 10^{16}$

সুতরাং, 1000 ঘণ্টায় ফিশন ঘটে = $9{\cdot}4 \times 10^{16} \times 1000 \times 60 \times 60 = 3{\cdot}384 \times 10^{23}$

∴ $3{\cdot}384 \times 10^{23}$ সংখ্যক U^{235} পরমাণুর ওজন = $\frac{235 \times 3{\cdot}384 \times 10^{23}}{6{\cdot}023 \times 10^{26}} = 0{\cdot}132$ kg

১১। কোনো নিউক্লীয় রিঅ্যাক্টরে দিনে 15 kg $_{92}U^{235}$ জ্বালানির প্রয়োজন হয়। রিঅ্যাক্টরিটির ক্ষমতা নির্ণয় কর। $_{92}U^{235}$-এর প্রতিটি নিউক্লিয়াসের বিভাজনে 200 MeV শক্তি নির্গত হয়।

235 kg $_{92}U^{235}$-এ পরমাণুর সংখ্যা = $6{\cdot}023 \times 10^{26}$

∴ 15 kg জ্বালানিতে পরমাণু সংখ্যা = $\frac{6{\cdot}023 \times 10^{26}}{235} \times 15$

অতএব, ফিশনের জন্য উৎপন্ন শক্তি $= \frac{200 \text{ MeV} \times 6{\cdot}023 \times 10^{26} \times 15}{235}$

$$= \frac{200 \times 10^{6} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 6{\cdot}023 \times 10^{26} \times 15}{235} \text{ J}$$

$$= \frac{2 \times 1{\cdot}6 \times 6{\cdot}023 \times 10^{15} \times 15}{235} \text{ J}$$

$$= 1{\cdot}23 \times 10^{15} \text{ J}$$

এই পরিমাণ শক্তি 1 দিন অর্থাৎ $24 \times 60 \times 60$ s-এ নির্গত হয়।

সুতরাং, রিঅ্যাক্টরটির ক্ষমতা $= \frac{1{\cdot}23 \times 10^{15}}{24 \times 60 \times 60}$ watt $= 1{\cdot}424 \times 10^{10}$ watt $= 1{\cdot}424 \times 10^{5}$ MW

৯·১৩ কতগুলো প্রয়োজনীয় রাশি
Some important terms

নিম্নে কতগুলো প্রয়োজনীয় রাশি আলোচনা করা হলো :

(ক) আইসোটোপ (Isotopes) : যে সব পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা একই, কিন্তু ভর সংখ্যা বা পারমাণবিক ওজন ভিন্ন তাদেরকে আইসোটোপ বা একস্থানিক বা সমস্থানিক বলে। 'আইসো' অর্থ 'একই' এবং 'টোপ' অর্থ 'স্থান' অর্থাৎ পিরিয়ডিক তালিকায় একই স্থান দখল করে; এদের রাসায়নিক ধর্ম এক, কিন্তু অন্য ধর্ম ভিন্ন। আরও বলা যায়, যে সমস্ত পরমাণুর প্রোটন বা ইলেকট্রন সংখ্যা সমান কিন্তু নিউট্রন সংখ্যা ভিন্ন, তাদেরকে আইসোটোপ বলে।

উদাহরণ : অক্সিজেনের তিনটি আইসোটোপ আছে; যথা $^{16}_{8}O$, $^{17}_{8}O$ এবং $^{18}_{8}O$

এই তিনটি পরমাণুতে নিউট্রনের সংখ্যা যথাক্রমে $16 - 8 = 8$, $17 - 8 = 9$ এবং $18 - 8 = 10$

(খ) আইসোবার (Isobars) : যে সমস্ত পরমাণুর ভর সংখ্যা বা পারমাণবিক ওজন একই কিন্তু পারমাণবিক সংখ্যা ভিন্ন তাদেরকে আইসোবার বলে।

উদাহরণ : ${}^{40}_{18}Ar$ এবং ${}^{40}_{19}Ca$ অর্থাৎ আর্গন এবং ক্যালসিয়াম উভয়ের ভর সংখ্যা বা পারমাণবিক ওজন 40, কিন্তু পারমাণবিক সংখ্যা যথাক্রমে 18 এবং 19; সুতরাং তারা আইসোবার।

(গ) আইসোমার (Isomers) : যে সমস্ত পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা এবং ভর সংখ্যা একই কিন্তু তাদের অভ্যন্তরীণ গঠন বিভিন্ন, তাদেরকে আইসোমার বলে।

(ঘ) আইসোটোন (Isotones) : যে সমস্ত পরমাণুতে সমান সংখ্যক নিউট্রন আছে, তাদেরকে আইসোটোন বলে। যেমন ${}^{40}_{20}Ca$ এবং ${}^{39}_{19}K$ অর্থাৎ ক্যালসিয়াম এবং পটাসিয়াম উভয়ের নিউট্রন সংখ্যা 20, অতএব এরা আইসোটোন।

(ঙ) নিউক্লিয়ন (Nucleon) : নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে যে সকল কণা থাকে তাদেরকে নিউক্লিয়ন বলে। যেমন প্রোটন, নিউট্রন—এগুলো নিউক্লিয়ন।

(চ) প্রোটন (Proton) : এটি ধনাত্মক আধানযুক্ত কণা। একটি প্রোটনের আধান একটি ইলেকট্রনের আধানের সমান অর্থাৎ $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C। এর ভর $1{\cdot}6724 \times 10^{-27}$ kg এবং নিশ্চল শক্তি প্রায় 938·38 MeV।

(ছ) নিউট্রন (Neutron) : এটি চার্জবিহীন কণা যা নিউক্লিয়াসে থাকে। এর ভর প্রায় $1{\cdot}6747 \times 10^{-27}$ kg এবং নিশ্চল শক্তি প্রায় 938·57 MeV। এর ভেদন ক্ষমতা অনেক বেশি। হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াস ভিন্ন সকল নিউক্লিয়াসে নিউট্রন থাকে।

(জ) নিউক্লাইড (Nuclide) : দুটি নিউক্লিয়াসে যদি প্রোটন সংখ্যা Z এবং নিউট্রন সংখ্যা N অভিন্ন হয়, তাহলে তারা একই নিউক্লীয় প্রজাতির অন্তর্ভুক্ত হয়। একটি নিউক্লীয় প্রজাতিকে বলা হয় নিউক্লাইড। একটি নিউক্লাইডকে তার রাসায়নিক সংকেত এবং রাসায়নিক সংকেত এর শীর্ষাঙ্ক $(A = Z + N)$ দ্বারা শনাক্ত করা যায়।

(ঝ) পারমাণবিক শক্তি (Atomic energy) : 1905 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত বিজ্ঞানী আল্‌বার্ট আইনস্টাইন (Albert Einstein) দেখান যে, পদার্থ এবং শক্তি প্রকৃতপক্ষে অভিন্ন। পদার্থকে শক্তিতে রূপান্তরিত করা যায়। m ভরবিশিষ্ট কোনো পদার্থকে সম্পূর্ণরূপে শক্তিতে রূপান্তরিত করলে প্রাপ্ত শক্তির পরিমাণ হবে, $E = mc^2$, এখানে c হলো আলোকের বেগ $= 3 \times 10^8$ ms^{-1}।

একেই আইনস্টাইনের পদার্থ ও শক্তির অভিন্নতা বিষয়ক সূত্র বলা হয়।

মনে করি একটি পদার্থের ভর 1 kg। এই পদার্থকে শক্তিতে রূপান্তরিত করতে পারলে প্রাপ্ত শক্তির পরিমাণ হবে, $E = 1 \times (3 \times 10^8)^2 = 9 \times 10^{16}$ J। পদার্থের ভর এবং শক্তির এই সহজাত সমানুপাতিকত্ব আছে বলে পদার্থের ভর এবং শক্তি দুটি তুল্য (Equivalent) জিনিস এবং একই পদার্থের দুটি ভিন্ন রূপ।

নিউক্লিয়াসকে ভেঙে বা বিভাজন করে অথবা দুটি হাল্কা নিউক্লিয়াসকে একত্রিত করে শক্তি পাওয়া যায়। তাই এই শক্তির নাম **নিউক্লিয়ার শক্তি বা নিউক্লীয় শক্তি** (Nuclear energy)। কিন্তু আপাতভাবে একে পারমাণবিক শক্তি (Atomic energy) বলা হয়। পরমাণু হতে দুটি পদ্ধতিতে শক্তি উৎপন্ন করা যায়। এরা হলো (১) নিউক্লীয় ফিউশন (nuclear fusion) ও (২) নিউক্লীয় ফিশন (nuclear fision)।

৯·১৪ ভর ত্রুটি
Mass defect

নিউক্লিয়াসের গঠন সম্পর্কিত প্রোটন-নিউট্রন তত্ত্ব হতে আমরা জানি যে, হাইড্রোজেন ব্যতীত সকল মৌলের পরমাণুর নিউক্লিয়াস প্রোটন এবং নিউট্রন দ্বারা গঠিত। অতএব, নিউক্লিয়াসের ভর প্রোটন ও নিউট্রনের ভরের সমান হওয়া আবশ্যক।

মনে করি, কোনো নিউক্লিয়াসের প্রোটনের সংখ্যা Z ও নিউট্রনের সংখ্যা N। যদি প্রোটন ও নিউট্রনের ভর যথাক্রমে M_p ও M_n হয়, তবে নিউক্লিয়াসের মোট ভর

$M =$ প্রোটনের ভর + নিউট্রনের ভর = নিউক্লীয় ভর।

বা, $M = ZM_p + NM_n$

কিন্তু কোনো স্থায়ী নিউক্লিয়াসের ভর তার গঠনকারী উপাদানসমূহের যুক্তাবস্থার ভরের যোগফল অপেক্ষা কিছুটা কম হতে দেখা যায়। ভরের এই পার্থক্যকে ভর-ত্রুটি বা ভর ঘাটতি বলে। একে সাধারণত Δm দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$\therefore$ ভর-ত্রুটি, $\Delta m = ZM_p + NM_n - M$ ... ... (9.17)

বা, $\Delta m = ZM_p + (A - Z)M_n - M$ ...

এখানে, A = ভরসংখ্যা এবং $N = (A - Z)$

এখন প্রশ্ন জাগে এই হারানো ভর যায় কোথায় ? জবাবে বলা যায়, নিউক্লিয়াস গঠিত হবার মুহূর্তে এই ভর শক্তি হিসেবে বিকিরিত হয় এবং এই শক্তি নিউক্লিয়াস গঠনকালে বন্ধন শক্তির পরিমাপের সমান।

ভর ত্রুটিকে আবার নিম্নলিখিত উপায়েও প্রকাশ করা যায়।

একটি নিউক্লিয়াসের প্রকৃত ভর বা নিউক্লীয় ভর $= M_{nuc}$

প্রোটন সংখ্যা $= Z$

নিউট্রন সংখ্যা $= N$

একটি প্রোটনের ভর $= M_p$

একটি নিউট্রনের ভর $= M_n$

$\therefore$ ভর ত্রুটি, $\Delta m = (ZM_p + NM_n) - M_{nuc}$

এখানে মৌলের নিউক্লীয় ভর = মৌলের পারমাণবিক ভর — ইলেকট্রনের ভর

বা, $M_{nuc} = M_{atm} - ZM_e$

$\therefore \quad \Delta m = (ZM_p + NM_n) - (M_{atm} - ZM_e)$

$= ZM_p + NM_n - M_{atm} + ZM_e$

$= ZM_p + ZM_e + NM_n - M_{atm}$

$= Z(M_p + M_e) + NM_n - M_{atm}$

$\therefore \quad \Delta m = ZM_H + NM_n - M_{atm} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad [9.17(a)]$

[$\because$ হাইড্রোজেনের পারমাণবিক ভর, $M_H = M_p + M_e$]

প্রয়োজনীয় কয়েকটি মৌলের (সর্বোচ্চ প্রাচুর্য সম্পন্ন আইসোটোপের) পারমাণবিক ভর (Atomic mass of some important elements (Isotopes having maximum abundance) :

মৌল	পারমাণবিক ভর (amu)	মৌল	পারমাণবিক ভর (amu)
হাইড্রোজেন ($_1H^1$)	1·00783	কার্বন ($_6C^{12}$)	12·00000
অ্যালুমিনিয়াম ($_{13}Al^{27}$)	26·9815	হিলিয়াম ($_2He^4$)	4·0234
নাইট্রোজেন ($_7N^{14}$)	14·00307	ফসফরাস ($_{15}P^{31}$)	30·9738
লিথিয়াস ($_3Li^7$)	7·0160	অক্সিজেন ($_8O^{16}$)	15·99492
কোবাল্ট ($_{27}Co^{55}$)	54·9380	বেরিলিয়াম ($_4Be^9$)	9·0122
সোডিয়াম ($_{11}Na^{23}$)	22·98977	ইউরেনিয়াম ($_{92}U^{235}$)	238·1249

অনুসন্ধান : ভর-ত্রুটি কী ধনাত্মক, নাকি ঋণাত্মক ?

আমরা জানি,

ভরত্রুটি, $\Delta m = \frac{E}{c^2} \quad [\because E = \Delta mc^2]$

যেহেতু E সর্বদাই ধনাত্মক, তাই ভর-ত্রুটিও সর্বদাই ধনাত্মক হবে।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : ডিউটেরন ($_1H^2$) নিউক্লিয়াসের বিষয় আলোচনা কর। ডিউটেরনে একটি প্রোটন এবং একটি নিউট্রন রয়েছে; এর ভর ত্রুটি এবং নির্গত শক্তি কীরূপ হবে ?

$_1H^2$ হলো হাইড্রোজেনের একটি আইসোটোপ। এর নাম ডিউটেরন। এই আইসোটোপের নিউক্লিয়াসে একটি প্রোটন ও একটি নিউট্রন থাকে।

প্রোটনের ভর = 1·007825 a.m.u.

নিউট্রনের ভর = 1·008665 a.m.u.

$\therefore$ যুক্ত অবস্থায়, প্রোটনের ভর + নিউট্রনের ভর

= 1·007825 + 1·008665 = 2·016490 a.m.u.

কিন্তু ডিউটেরন নিউক্লিয়াসের ভর = 2·014102 a.m.u.

$\therefore$ ভরত্রুটি, Δm = 2·016490 − 2·014102 = 0·002388 a.m.u.

এই বিলুপ্ত ভর শক্তি হিসেবে নির্গত বা বিকরিত হবে এবং নির্গত শক্তি

$\Delta E = \Delta m \times 931$

$= 0.002388 \times 931 = 2.23$ MeV [$\because$ 1 a.m.u. = 931 MeV]

[বি. দ্র. ভর-ত্রুটির অন্য একটি সংজ্ঞাও দেওয়া যেতে পারে। পারমাণবিক ভর এবং ভর সংখ্যার বিয়োগফলকে ভর-ত্রুটি বলা হয়। যদি পারমাণবিক ভর M এবং ভর সংখ্যা A হয়, তবে ভর-ত্রুটি $\Delta m = (M - A)$।]

৯.১৫ বন্ধন শক্তি
Binding energy

আমরা জানি হাইড্রোজেন ব্যতীত সকল পরমাণুর নিউক্লিয়াস এক বা একাধিক প্রোটন এবং নিউট্রন দ্বারা গঠিত। এই প্রোটন এবং নিউট্রনগুলোকে নিউক্লিয়ন বা নিউক্লীয় উপাদান বলা হয়। নিউক্লিয়ন বা নিউক্লীয় উপাদানগুলোকে একত্রিত করে একটি স্থায়ী নিউক্লিয়াস গঠন করতে কিছু পরিমাণ শক্তি নির্গত হয়। এই শক্তি ভর-ত্রুটির সমতুল্য শক্তির সমান। আবার কোনো একটি নিউক্লিয়াসকে ভেঙে উহার নিউক্লিয়নগুলোকে পরস্পরের প্রভাব হতে মুক্ত করতে নিউক্লিয়াসকে বাহির হতে সমপরিমাণ শক্তি সরবরাহ করতে হয়। এই শক্তিকে বন্ধন শক্তি বা নিউক্লীয় বন্ধন শক্তি বলে। উপরোক্ত আলোচনা হতে নিউক্লীয় বন্ধন শক্তির নিম্নলিখিত সংজ্ঞা দেওয়া যেতে পারে।

(ক) কোনো প্রয়োজনীয় সংখ্যক নিউক্লিয়ন একত্রিত হয়ে একটি স্থায়ী নিউক্লিয়াস গঠন করতে যে পরিমাণ শক্তি নির্গত বা শোষিত হয় তাকে নিউক্লীয় বন্ধন শক্তি বলে। একে B. E. দ্বারা ব্যক্ত করা হয়।

(খ) কোনো নিউক্লিয়াসকে ভেঙে এর নিউক্লিয়নগুলোকে পরস্পরের প্রভাব হতে মুক্ত করতে নিউক্লিয়াসকে বাহির হতে যে পরিমাণ শক্তি সরবরাহ করতে হয় তাকে বন্ধন শক্তি বলে।

উল্লেখ থাকে যে, নিউক্লিয়নগুলোকে একত্রকারী নিউক্লীয় বলের ক্রিয়া হতে নিউক্লীয় বন্ধন শক্তি উদ্ভূত হয় এবং এটা নিউক্লিয়াসের স্থায়িত্বের জন্য দায়ী। বন্ধন শক্তি বেশি হলে নিউক্লিয়াস অধিকতর স্থায়ী হয়।

মনে করি নিউক্লিয়াসের ভর-ত্রুটি $= \Delta m$ এবং আলোকের বেগ $= c$। অতএব আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতাবাদ হতে পাই,

বন্ধন শক্তি, B. E. $= \Delta mc^2 =$ ভরত্রুটি $\times$ (আলোকের বেগ)^2

বা, $\text{B. E.} = [ZM_p + (A - Z)M_n - M]c^2$ ... ... (9.18)

এটিই হলো নিউক্লীয় বন্ধন শক্তির চূড়ান্ত রাশিমালা।

বি.দ্র. বন্ধন শক্তির জন্য অন্য সমীকরণও ব্যবহার করা যায়।

$\therefore \quad \text{B. E.} = \Delta m.c^2 = [ZM_p + NM_n - M]c^2$ ... ... [9.18(a)]

এবং $BE = (ZM_n + NM_n - M_{atm})c^2$ ... ... [9.18(b)]

$\therefore$ সমীকরণ 9.18, 9.18(a), 9.18(b) হলো বন্ধন শক্তির সমীকরণ।

সমীকরণ 9.18, 9.18(a), 9.18(b) সমীকরণের ভরসমূহ একীভূত পারমাণবিক ভর একক (amu) অথবা কিলোগ্রাম (kg) এককে প্রকাশ করা যায়।

আমরা জানি,

$E = 1 \text{ amu} \times c^2 = 931.5 \text{ MeV} \simeq 931 \text{ MeV}$

বা, $1 \text{ amu} = 931 \text{ MeV}/c^2$

সমীকরণ 9.18, 9.18(a), 9.18(b) সমীকরণে $1\text{amu} = 931 \text{ MeV}/c^2$ বসিয়ে সরাসরি MeV এককে বন্ধন শক্তি নির্ণয় করা যায়।

উদাহারণ : ডিউটেরন নিউক্লিয়াসের ভর-ত্রুটি

$\Delta m = 0.002388$ a.m.u.

কিন্তু 1 a.m.u. = 931 MeV

$\therefore$ ডিউটেরনের বন্ধন শক্তি

B.E. $= 0.002388 \times 931 = 2.23$ MeV

৯·১৫·১ প্রতি নিউক্লিয়নে বন্ধন শক্তি
Binding Energy per Nucleon

আমরা জানি হাইড্রোজেন ব্যতীত সকল পরমাণুর নিউক্লিয়াস প্রোটন এবং নিউট্রন দ্বারা গঠিত। একে নিউক্লি বলে। নিউক্লিয়নের মোট সংখ্যাকে ভরসংখ্যা বলে। একে μ দ্বারা ব্যক্ত করা হয়। এখন প্রতি নিউক্লিয়নে বন্ধন শক্তি তাই আলোচনা করি।

কোনো নিউক্লিয়াসের মোট বন্ধন শক্তি এবং ভর সংখ্যার অনুপাতকে প্রতি নিউক্লিয়নে বন্ধন শক্তি বলা হ মোট বন্ধন শক্তিকে ভর সংখ্যা দ্বারা ভাগ করে প্রতি নিউক্লিয়নে বন্ধন শক্তি নির্ণয় করা হয়। একে গড় বন্ধন শ বলা হয়।

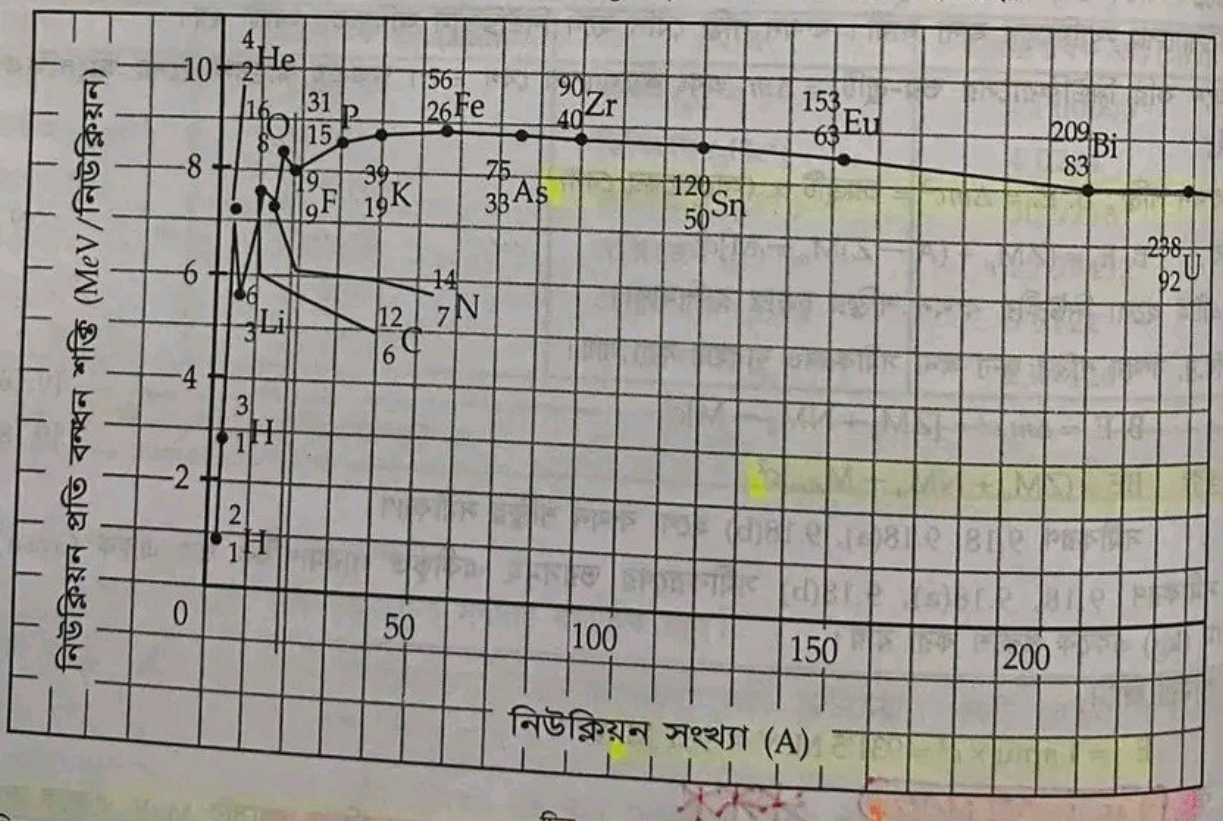
$$\therefore \text{গড় বন্ধন শক্তি} = \frac{\text{মোট বন্ধন শক্তি}}{\text{মোট নিউক্লিয়ন সংখ্যা}}$$

$$= \frac{\text{B.E.}}{A} = \frac{\Delta mc^2}{A} \; MeV/\text{nucleon}$$

গড় বন্ধন শক্তি একটি গুরুত্বপূর্ণ রাশি। কোনো নিউক্লিয়াসের গড় বন্ধন শক্তি ভর সংখ্যার ওপর নির্ভর করে। ভ সংখ্যার পরিবর্তনে গড় বন্ধন শক্তি পরিবর্তিত হয়।

৯·১৫·২ প্রতি নিউক্লিয়নের বন্ধন শক্তি ও নিউক্লিয়াসের স্থায়িত্ব
Binding energy per nucleon and durability of nucleus

নিউক্লিয়াসের স্থায়িত্ব প্রতি নিউক্লিয়ন বন্ধন শক্তির সাথে ঘনিষ্ঠভাবে সম্পর্কিত। লেখচিত্র ৯·১২-এ ভর সং A-এর পরিবর্তনের সাথে প্রতি নিউক্লিয়নের বন্ধন শক্তির (E_B/A) পরিবর্তন দেখানো হয়েছে।



চিত্র ৯·১২

চিত্র থেকে দেখা যায় যে ভর সংখ্যা A-এর বৃদ্ধির সাথে E_B/A প্রথমে দ্রুত বৃদ্ধি পায়। কিছু কিছু নিউক্লিয়া যেমন He^4, C^{12} ও O^{16} এর মান তুলনামূলকভাবে বেশি। অতএব, এই নিউক্লিয়াসগুলি আশেপাশের নিউক্লিয়াসগুলি তুলনায় বেশি স্থায়ী।

পর্যায় সারণির (periodic table) মধ্যবর্তী স্থানে অবস্থিত মৌলগুলির ($50<A<80$) নিউক্লিয়াসগুলি সবচেয়ে সুস্থিত। কেননা এদের নিউক্লিয়াস থেকে একটি নিউক্লিয়ন বিচ্ছিন্ন করতে অনেক বেশি শক্তির প্রয়োজন হয়। লেখচিত্র থেকে দেখা যায় যে এই অঞ্চলের নিউক্লিয়াসগুলির প্রতি নিউক্লিয়ন বন্ধন শক্তি (E_B/A) প্রায় 8·5 MeV। ^{56}Fe-এর ক্ষেত্রে এই মান হলো 8·8 MeV যা সর্বোচ্চ। সুতরাং বলা যায়

অত্যন্ত হাল্কা ($A < 20$) এবং ভারী ($A > 100$) নিউক্লিয়াসের বেলায় E_B/A-এর মান কম। তাই ভারী নিউক্লিয়াস ($A > 200$) বিভাজিত হয়ে এবং হাল্কা নিউক্লিয়াস সংযোজিত হয়ে স্থায়ী নিউক্লিয়াসে পরিণত হতে সচেষ্ট হয়। এ কারণেই $_{92}U^{295}$ নিউক্লিয়াসের ভাঙন বা বিভাজন এবং $_1H^2$ নিউক্লিয়াসের সংযোজন তুলনামূলকভাবে সহজ।

কয়েকটি নিউক্লিয়াসের বন্ধন শক্তি এবং প্রতি নিউক্লিয়নের বন্ধন শক্তি (Binding energy of some nuclei and binding energy per nucleon) :

নিউক্লিয়াস	পারমাণবিক ভর (amu)	নিউক্লিয়াসের বন্ধন শক্তি (MeV)	প্রতি নিউক্লিয়নে বন্ধন শক্তি ($E_{B/A}$) (MeV)
$_1H^1$	1·007825	0	0
$_2He^4$	4·002603	28	7
$_3Li^7$	7·016005	39·2	5·6
$_6C^{12}$	12·00000	92·1	7·7
$_8O^{16}$	15·994915	127·6	7·9
$_{17}Cl^{35}$	34·968855	298·1	8·5
$_{47}Ag^{108}$	107·905890	922·1	8·5
$_{82}Pb^{204}$	203·973069	1606·6	7·8
$_{92}U^{235}$	235·043933	1782·9	7·5

গাণিতিক উদাহরণ ৯.৭

১। একটি হিলিয়াম ($_2He^4$) নিউক্লিয়াসের (i) ভর ত্রুটি, (ii) বন্ধন শক্তি এবং (iii) কণা প্রতি বন্ধন শক্তি বের কর। ভরত্রুটি amu এককে এবং বন্ধন শক্তি MeV, *e*V ও Joule এককে প্রকাশ কর। [একটি প্রোটনের ভর = 1·00728 a.m.u., একটি নিউট্রনের ভর = 1·00876 a.m.u. এবং 1 a.m.u. = 931 MeV]

আমরা জানি, একটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াসে 2টি প্রোটন ও 2টি নিউট্রন রয়েছে। এখন 2টি প্রোটনের ভর

$$= 2 \times 1·00728 = 2·014556 \text{ a.m.u.}$$

2টি নিউট্রনের ভর $= 2 \times 1·00867 = 2·01734$ a.m.u.

∴ এদের মোট ভর $= 2·014556 + 2·01734 = 4·03190$ a.m.u.

কিন্তু একটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াসের প্রকৃত ভর $= 4·00276$ a.m.u.

(i) ভর ত্রুটি $\Delta m = 4·03190 - 4·00276 = 0·02914$ a.m.u.

(ii) সুতরাং বন্ধন শক্তি $= \Delta m \times 931 = 27·129$ MeV

$$= 27·129 \times 10^6 \, eV$$

$$= 27·129 \times 10^6 \times 1·6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$= 4·34 \times 10^{-12} \text{ J}$$

(iii) হিলিয়াম নিউক্লিয়াসে কণার সংখ্যা $A = 4$

সুতরাং প্রতি কণার বন্ধন শক্তি $= \dfrac{\text{বন্ধন শক্তি}}{A} = \dfrac{27·127}{4} = 6·782$ MeV

$$= 6·782 \times 10^6 \text{ eV}$$

$$= 6·782 \times 10^6 \times 1·6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$= 1·085 \times 10^{-12} \text{ J}$$

২। $_3Li^7$ নিউক্লিয়াসের ভরত্রুটি ও বন্ধন শক্তি নির্ণয় কর।
$m_n = 1.008665$ amu, $m_p = 1.007277$ amu, লিথিয়াম নিউক্লিয়াসের ভর = 7.016005 amu এবং 1 amu $= 1.66 \times 10^{-27}$ kg.

আমরা জানি,

$\Delta m = Zm_p + (A-Z)m_n - M$

বা, $\Delta m = [\{3 \times 1.007277 + (7-3) \times 1.008665\} - 7.016005]$ amu

$= \{(3.021831 + 4.03466) - 7.016005\}$ amu

$= (7.056491 - 7.016006)$ amu

$= 0.040485$ amu

$= 0.040485 \times 1.66 \times 10^{-27}$ kg

$\equiv 0.0672 \times 10^{-27}$ kg

এখানে,
$m_n = 1.008665$ amu
$m_p = 1.007277$ amu
Li-এর ভর, $M = 7.016005$ amu
1 amu $= 1.66 \times 10^{-27}$ kg
$c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}
$\Delta m = ?$
বন্ধন শক্তি, $E = ?$

আবার,

বন্ধন শক্তি, $E = \Delta mc^2 = 0.044 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2$

$= 3.96 \times 10^{-12}$ J

৩। একটি সোডিয়াম নিউক্লিয়াসের সংকেত $_{11}Na^{24}$ হলে এর নিউক্লিয়াসে প্রোটন সংখ্যা, নিউট্রন সংখ্যা, ভর সংখ্যা ও পারমাণবিক সংখ্যা নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

মৌলিক নিউক্লিয়াস ^A_ZX রূপে প্রকাশ করা হয়।

প্রদত্ত সংকেত : $_{11}Na^{24}$

∴ পারমাণবিক সংখ্যা, $Z = 11$

ভর সংখ্যা, $A = 24$

নিউট্রন সংখ্যা, $N = A - Z = 24 - 11 = 13$

প্রোটন সংখ্যা = 11

উ: 11, 13, 24, 11

৪। $_{20}Ca^{41}$ পরমাণু থেকে একটি নিউট্রন অপসারিত করতে কত কার্য সম্পাদন করতে হবে? দেওয়া আছে, m_n = 1.008665 amu, $_{20}Ca^{41}$–এর পারমাণবিক ভর (m) = 40.962278 amu, $_{20}Ca^{40}$–এর পারমাণবিক ভর (m') = 39.962591 amu।

আমরা জানি, প্রয়োজনীয় শক্তি,

$E_n = (m_N' + m_n - m_N)c^2$

$= [(m_N' + Zm_e) + m_n - (m_N + Zm_e)] \times c^2$

$= [39.962591 + 1.008665 - 40.962278]\, c^2$

$= 0.008978 \times c^2 = 0.009878 \times 933$ MeV

$= 8.376$ MeV

এখানে,
$m_n = 1.008665$ amu
$_{20}Ca^{41}$–এর ভর m = 40.962278 amu
$_{20}Ca^{40}$–এর ভর, $m'_N = 39.962591$ amu
শক্তি, $E_n = ?$

৯.১৬ নিউক্লীয় বিক্রিয়া
Nuclear Reaction

তেজস্ক্রিয় পদার্থ থেকে নিঃসৃত আলফা কণিকা (^4He)-এর সাহায্যে রাদারফোর্ড সর্বপ্রথম নাইট্রোজেন নিউক্লিয়াস ভাঙতে সক্ষম হন। কৃত্রিম উপায়ে একটি নিউক্লিয়াস ভেঙে অন্য একটি নিউক্লিয়াস সৃষ্টির এটিই প্রথম ঘটনা। এটিই হচ্ছে প্রথম নিউক্লীয় বিক্রিয়া (Nuclear Reaction)। অর্থাৎ **কৃত্রিম উপায়ে পরমাণুর নিউক্লিয়াসের পরিবর্তন ঘটিয়ে নতুন মৌল গঠন করার প্রক্রিয়াকে নিউক্লীয় বিক্রিয়া বলে।** নিউক্লীয় বিক্রিয়া হলো একটি নিউক্লীয় ঘটনা। নাইট্রোজেন নিউক্লিয়াসে যে বিক্রিয়া ঘটে তা নিম্নরূপ :

$$^{14}N + {}^4He \rightarrow {}^{17}O + p$$

বিক্রিয়ার ফলে নির্গত কণিকাকে প্রোটন কণিকা বলে।

পরবর্তীকালে কক্‌রফট (S. D. Cockroft) এবং ওয়ালটন (E.T.S. Walton) কৃত্রিমভাবে ত্বরান্বিত (Accelerated) প্রোটন কণিকার সাহায্যে নিম্নলিখিত বিক্রিয়া ঘটান—

$$^7Li + p \rightarrow He + \alpha$$

পরবর্তী সময়ে আলফা কণিকা, নিউট্রন কণিকা ও অন্যান্য কণিকা ব্যবহার করে অনেক নিউক্লীয় বিক্রিয়া পর্যবেক্ষণ করা হয়েছে এবং নিউক্লিয়াসের গঠন, অভ্যন্তরীণ বিন্যাস, প্রকৃতি ইত্যাদি সম্পর্কে গুরুত্বপূর্ণ তথ্য আহরণ করা সম্ভব হয়েছে।

একটি নিউক্লীয় বিক্রিয়ায় নিম্নলিখিত ভৌত রাশি (Physical quantities) সংরক্ষিত হয়। যথা—

(ক) নিউক্লিয়ন সংখ্যা (Nucleon number)
(খ) তড়িৎ আধান (Electric charge)
(গ) সামগ্রিক ভরশক্তি (Total mass-energy)
(ঘ) রৈখিক ভরবেগ (Linear momentum)
(ঙ) কৌণিক ভরবেগ (Angular momentum)
(চ) আইসোটোপিক স্পিন (Isotopic spin) এবং
(ছ) সমতা (Parity)

কাজ : রাসায়নিক বিক্রিয়া ও নিউক্লীয় বিক্রিয়ার পার্থক্য কী ?

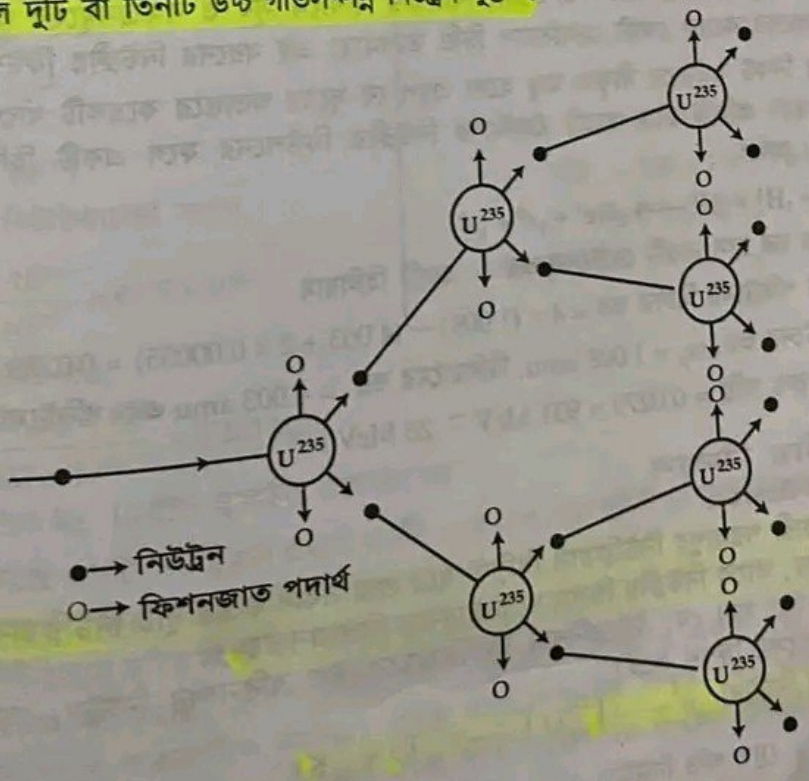
(ক) রাসায়নিক বিক্রিয়ায় পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষপথের ইলেকট্রন অংশগ্রহণ করে এবং এর ফলে নতুন কোনো পরমাণু উৎপন্ন হয় না। কিন্তু নিউক্লীয় বিক্রিয়ায় পরমাণুর নিউক্লিয়াস পরিবর্তিত হয়ে নতুন মৌলের পরমাণু সৃষ্টি হয়।

(খ) রাসায়নিক বিক্রিয়ায় সংশ্লিষ্ট শক্তি খুব কম, মাত্র eV ক্রমের। পক্ষান্তরে নিউক্লীয় বিক্রিয়ায় শক্তির পরিমাণ অনেক বেশি, MeV ক্রমের।

৯·১৬·১ চেইন বিক্রিয়া বা শৃঙ্খল বিক্রিয়া
Chain reaction

চেইন বা শৃঙ্খল বিক্রিয়া এমন একটি প্রক্রিয়া যা একবার শুরু হলেই তাকে চালাবার জন্য অন্য কোনো অতিরিক্ত উপাদান বা শক্তির প্রয়োজন হয় না।

ব্যাখ্যা : চিত্র ৯·১৩ এ চেইন বিক্রিয়া দেখানো হয়েছে। এক্ষেত্রে $^{235}_{92}U$ পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে উচ্চ শক্তিসম্পন্ন নিউট্রন দ্বারা আঘাত করলে দুটি বা তিনটি উচ্চ গতিসম্পন্ন নিউট্রন মুক্ত হয়। ৯·১৩ চিত্রে দুটি নিউট্রন দেখানো হয়েছে।



চিত্র ৯·১৩

এই দুটি নিউট্রন আরো দুটি $^{235}_{92}U$ নিউক্লিয়াসের ফিশন ঘটিয়ে আরো 4টি নিউট্রন উৎপন্ন করে। এই 4টি নিউট্রন 4টি $^{235}_{92}U$ নিউক্লিয়াসের সাথে ফিশন বিক্রিয়া করে 8টি নিউট্রন উৎপন্ন করে। এই বিক্রিয়া ফিশনযোগ্য পদার্থ শেষ না হওয়া পর্যন্ত চেইন বা শৃঙ্খল বিক্রিয়া।

অনিয়ন্ত্রিত চেইন বিক্রিয়ায় এক সেকেন্ডের লক্ষ ভাগের এক ভাগ সময়ের মধ্যে ফিশন বিক্রিয়া হাজার গুণ বৃদ্ধি পেতে পারে। অবশ্য প্রতি ফিশনেই প্রচণ্ড শক্তি নির্গত হবে। অনিয়ন্ত্রিত শৃঙ্খল বিক্রিয়ায় অতি অল্প সময়ে অধিক পরিমাণ শক্তির উদ্ভব হয়। একটি নিউট্রন দ্বারা শুরু করা অনিয়ন্ত্রিত চেইন বিক্রিয়া নজিরবিহীন বিস্ফোরণ ঘটাতে পারে। কিন্তু এ বিক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রিত করতে পারলে তা থেকে অপরিসীম শক্তি পাওয়া যাবে যা মানব কল্যাণে ব্যবহার করা যেতে পারে। নিউক্লীয় চুল্লিতে এ ধরনের নিয়ন্ত্রিত চেইন বিক্রিয়া ঘটানো হয়।

৯·১৭ নিউক্লীয় ফিউশন
Nuclear fusion

যে প্রক্রিয়ায় একাধিক হালকা নিউক্লিয়াস একত্রিত হয়ে একটি অপেক্ষাকৃত ভারী নিউক্লিয়াস গঠন করে এবং অত্যধিক শক্তি নির্গত হয়, তাকে নিউক্লীয় ফিউশন বা নিউক্লীয় সংযোজন বলে। এ জন্য ফিউশনকে ফিশনের বিপরীত প্রক্রিয়া বলা হয়। **ফিউশন অত্যধিক উচ্চ তাপমাত্রায় সংঘটিত হয় বলে এই বিক্রিয়াকে তাপ-নিউক্লীয় বিক্রিয়া** (Thermo-nuclear reaction) বলে। এই তাপমাত্রার মান প্রায় $10^8\ ^\circ C$।

উদাহরণস্বরূপ বলা যেতে পারে যে 4টি হাইড্রোজেন পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে সংযোজন করে একটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াস গঠন করলে হিলিয়াম নিউক্লিয়াসের ভর 4টি হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াসের মোট ভর অপেক্ষা কিছু কম হয়। এই হ্রাসকৃত ভর শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। ফলে প্রচণ্ড শক্তি উৎপন্ন হয়। এজন্য ফিউশনে হাইড্রোজেন আইসোটোপ— **ডিউটেরন** ($_1^2H$ বা $_1^2D$), **ট্রাইটিয়াম বা ট্রাইটন** ($_1^3H$) ব্যবহার করা হয়। যখন 800 kms^{-1} বেগসম্পন্ন ট্রাইটিয়াম নিউক্লিয়াস-এর সঙ্গে ডিউটেরিয়াম নিউক্লিয়াসের সংঘর্ষ ঘটে, তখন ফিউশন প্রক্রিয়ায় হিলিয়াম নিউক্লিয়াস গঠিত হয় এবং এর সঙ্গে প্রচণ্ড শক্তি বিমুক্ত হয়।

$$_1^3H + _1^2D \longrightarrow _2^4He + _0^1n + \text{শক্তি} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.19)$$

এই ধরনের প্রতিটি ফিউশন বিক্রিয়ায় 17·6 MeV শক্তি বিমুক্ত হয়। সূর্যের ভিতরে ফিউশন বিক্রিয়া সংঘটিত হচ্ছে এবং প্রচুর শক্তি উৎপন্ন হচ্ছে, যার খুবই সামান্য অংশ আমাদের পৃথিবী পৃষ্ঠে আসে।

সূর্য ও নক্ষত্রসমূহের শক্তি : তাপ-নিউক্লীয় বিক্রিয়ার মাধ্যমে সূর্য ও নক্ষত্রসমূহের অভ্যন্তরে শক্তি উৎপন্ন হয়। এদের নিউক্লীয় অঞ্চলের কয়েক কোটি সেলসিয়াস ডিগ্রি তাপমাত্রা এই ধরনের নিউক্লীয় ফিউশনের জন্য উপযোগী।

বিজ্ঞানীদের নিকট বর্তমানে স্বীকৃত তত্ত্ব হলো এরূপ যে সূর্যের অভ্যন্তরে কয়েকটি ধাপে তাপ-নিউক্লীয় বিক্রিয়ার একটি চক্র সম্পূর্ণ হয়। প্রতিটি চক্রে চারটি প্রোটনের নিউক্লীয় ফিউশনের ফলে একটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াস ও দুটি পজিট্রন উৎপন্ন হয়। অর্থাৎ,

$$_1H^1 + _1H^1 + _1H^1 + _1H^1 \longrightarrow _2He^4 + _1e^0 + _1e^0$$

এই বিক্রিয়ায় ভর হ্রাস = 4টি প্রোটনের ভর − একটি হিলিয়াম $_2He^4$ ও দুটি পজিট্রনের মিলিত ভর $= 4 \times (1{\cdot}008) - (4{\cdot}003 + 2 \times 0{\cdot}00055) = 0{\cdot}0279$ amu

এখানে, প্রোটনের ভর, $m_p = 1{\cdot}008$ amu, হিলিয়ামের ভর $= 4{\cdot}003$ amu এবং পজিট্রনের ভর $= 0{\cdot}00055$ amu

সুতরাং, এর তুল্য শক্তি $= 0{\cdot}0279 \times 931\ MeV \simeq 26\ MeV$।

৯·১৮ নিউক্লীয় ফিশন
Nuclear fission

যে প্রক্রিয়ায় ভারী পরমাণুর নিউক্লিয়াস বিশ্লিষ্ট হয়ে প্রায় সমান ভরের দুটি নিউক্লিয়াস তৈরি হয় এবং বিপুল পরিমাণ শক্তি নির্গত হয়, তাকে নিউক্লীয় ফিশন বা নিউক্লিয়ার বিভাজন বলে।

উদাহরণস্বরূপ বলা যায় যে, ইউরেনিয়াম নিউক্লিয়াসকে উচ্চ শক্তিসম্পন্ন নিউট্রন, প্রোটন বা ডিউটেরন দ্বারা আঘাত করলে নিউক্লিয়াসের ফিশন ঘটে।

$$_{92}^{235}U + (\text{তাপীয় নিউট্রন})\ _0n^1 \longrightarrow [_{92}^{236}U]^* \longrightarrow _{56}^{141}Ba + _{36}^{92}Kr + (\text{দ্রুত গতি নিউট্রন})\ 3_0^1n + \text{শক্তি (তাপীয় শক্তি) (200 MeV)} \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.20)$$

অর্থাৎ ইউরেনিয়াম $_{92}^{235}U$-কে তাপীয় নিউট্রন দ্বারা আঘাত করায় এটি নিউট্রনকে আটক করে অস্থায়ী যৌগিক নিউক্লিয়াস $[_{92}^{236}U]^*$-এ পরিণত হয় যার স্থায়িত্বকাল 10^{-12} s। এই অস্থায়ী নিউক্লিয়াস ফিশন প্রক্রিয়ায় বিভাজিত হয়ে বেরিয়াম ও ক্রিপটন নিউক্লিয়াস গঠন করে এবং 1টি হতে 3টি দ্রুতগতিসম্পন্ন নিউট্রন সৃষ্টি হয়। এই নিউট্রনগুলোর

আঘাতে আরও ইউরেনিয়াম নিউক্লিয়াসে ফিশন ঘটে। এরূপ ধারাবাহিকভাবে ফিশন প্রক্রিয়া চলতে থাকে। $^{235}_{92}U$ নিউক্লিয়াসকে নিউট্রন দ্বারা আঘাত করলে শুধু সমীকরণ (9.19) বিক্রিয়াই সংঘটিত হয় না। বহু ধরনের বিক্রিয়া ঘটে। যেমন,

$$^{235}_{92}U + {}_0n^1 \longrightarrow [^{236}_{92}U]^* \longrightarrow {}^{140}_{54}Xe + {}^{94}_{38}Sr + 2^1_0n + \text{শক্তি (200 MeV)} \quad \ldots \quad (9.21)$$

এক্ষেত্রে 1টি হতে 2টি নিউট্রন সৃষ্টি হয়। কোনো কোনো বিক্রিয়ায় 5টি পর্যন্ত নিউট্রন সৃষ্টি হয়। প্রতি ফিশনে গড়ে 2·5 সংখ্যক নিউট্রন সৃষ্টি হয়।

উল্লেখ থাকে যে এ পদ্ধতিতে বিভাজিত নিউক্লিয়াস বা জাতক নিউক্লিয়াসের ভর কিছুটা হ্রাস পায় এবং বিজ্ঞানী আইনস্টাইন-এর ভর-শক্তি সমীকরণ অনুসারে এই হ্রাসকৃত ভর $[E = \Delta mc^2]$ শক্তিতে রূপান্তরিত হয় এবং ধারাবাহিকভাবে ফিশনের ফলে প্রচণ্ড শক্তি উৎপন্ন হয়। দেখা গেছে যে **প্রতিটি ফিশনে প্রায় 200 MeV শক্তি উৎপন্ন হয়।** এই বিক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ না করতে পারলে আণবিক বোমার বিস্ফোরণে রূপ নিবে। আর নিয়ন্ত্রণ করতে পারলে তা হবে আণবিক চুল্লীতে সংঘটিত নিয়ন্ত্রিত ফিশন বিক্রিয়া। যার মাধ্যমে টারবাইনের সাহায্যে জেনারেটর থেকে বিদ্যুৎ উৎপন্ন করা হয়। বাংলাদেশের পাবনার রূপপুর আণবিক বিদ্যুৎ কেন্দ্রেও এই প্রক্রিয়ায় বিদ্যুৎ উৎপন্ন করা হবে।

1934 খ্রিস্টাব্দে ফিশন প্রক্রিয়ার আবিষ্কার শুরু করেন বিজ্ঞানী **ফার্মি** (Fermi)। কিন্তু পরবর্তীতে 1939 খ্রিস্টাব্দে এই প্রক্রিয়া আবিষ্কার করেন জার্মান বিজ্ঞানী **অটো হান** (Otto Hann) এবং তাঁর দুজন সহযোগী **স্ট্রাসম্যান** (Strassmann) ও **মাইট্‌নার** (Meitner)।

গাণিতিক উদাহরণ ৯.৮

১। কোনো এক শহরে প্রতি দিন গড়ে 50 MW তড়িৎ ক্ষমতার প্রয়োজন হয়। এই শক্তি নিউক্লীয় বিক্রিয়ক (nuclear reactor)-এর মাধ্যমে সরবরাহ করা হয়। বিক্রিয়কের দক্ষতা 20% এবং জ্বালানি হিসেবে এটি U–235 ব্যবহার করে। এর জন্য প্রতি দিন কত জ্বালানি প্রয়োজন হয় নির্ণয় কর। U–235 প্রতি বিভাজনে 200 MeV শক্তি উৎপাদন করে।

বিক্রিয়কের দক্ষতা $20\% = \frac{20}{100} = 0{\cdot}2$

সুতরাং উৎপাদিত শক্তি,

$$U = \frac{432 \times 10^{10}}{0{\cdot}2}$$
$$= 216 \times 10^{11}\ \text{J}$$

অতএব প্রয়োজনীয় নিউক্লিয়াসের সংখ্যা,

$$n = \frac{216 \times 10^{11}}{3{\cdot}2 \times 10^{-11}} = 67{\cdot}5 \times 10^{22}$$

$\therefore$ U–235 জ্বালানির ভর,

$$m = \frac{235 \times 67{\cdot}5 \times 10^{22}}{6{\cdot}023 \times 10^{26}} = 0{\cdot}263\ \text{kg}$$

এখানে,

প্রতি দিনে প্রয়োজনীয় শক্তি = 50 MW
$= 50 \times 10^6 \times 24 \times 60 \times 60\ \text{J}$
$= 432 \times 10^{10}\ \text{J}$

একটি U–235 নিউক্লিয়াস বিভাজনে উৎপাদিত শক্তি $= 200 \times 10^6 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ \text{J}$
$= 3{\cdot}2 \times 10^{-11}\ \text{J}$

অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা, $N_A = 6{\cdot}023 \times 10^{26}$

উত্তর : প্রতিদিন 0·263 kg U–235 জ্বালানির প্রয়োজন হয়।

২। তেজস্ক্রিয় বিক্রিয়ায় একটি নিউক্লিয়াস প্রথমে একটি α-কণা ও পরে দুইটি β-কণা নিঃসরণ করে।
(ক) দেখাও যে শেষের নিউক্লিয়াসটি প্রথমটির আইসোটোপ।
(খ) প্রথম ও শেষ নিউক্লিয়াস দুটির মধ্যে ভর সংখ্যার কী পরিবর্তন ঘটে ?

(ক) তেজস্ক্রিয় বিক্রিয়ার সূত্রানুসারে, α-কণা নির্গত হলে পারমাণবিক সংখ্যা 2 একক এবং ভর সংখ্যা 4 একক কমে যায়। কিন্তু β-কণা নিঃসরণে পারমাণবিক সংখ্যা 1 একক বাড়ে এবং ভর সংখ্যা একই থাকে। সুতরাং, কোনো নিউক্লিয়াস যদি পরপর 1টি α-কণা ও 2টি β-কণা নিঃসরণ করে, তবে পারমাণবিক সংখ্যার পরিবর্তন হবে।

$$-2 + 1 + 1 = 0$$

অতএব, প্রথম ও শেষ নিউক্লিয়াস দুটির পারমাণবিক সংখ্যা সমান, তাই এরা পরস্পরের আইসোটোপ।

(খ) প্রথম ও শেষ নিউক্লিয়াস দুটির ভর সংখ্যা

$$-4 + 0 + 0 = -4$$

অর্থাৎ এদের ভর সংখ্যা 4 একক কমে যায়।