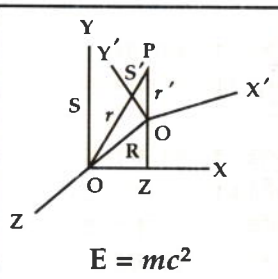
RMDAC

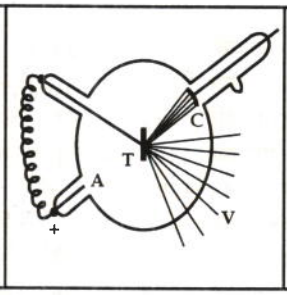
৮

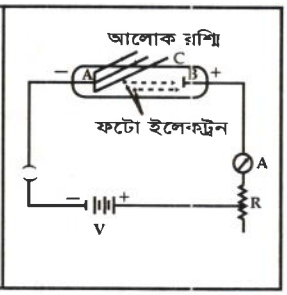
আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের সূচনা

INTRODUCTION OF MODERN PHYSICS

প্রধান শব্দ (Key Words) : প্রসঙ্গ কাঠামো, জড় কাঠামো, অজড় কাঠামো, আপেক্ষিকতা, গ্যালিলিওর রূপান্তরণ, লরেঞ্জের রূপান্তর সূত্র, দৈর্ঘ্য সংকোচন, সময় প্রসারণ বা কাল দীর্ঘায়ন, ভরের আপেক্ষিকতা, ভর-শক্তি সম্পর্ক, মৌলিক বল, প্ল্যাঙ্ক-এর কোয়ান্টাম তত্ত্ব, এক্সরে, এক্সরে-এর একক, আলোক তড়িৎ ক্রিয়া, নিবৃত্তি বিভব, সূচন কম্পাঙ্ক, কার্য অপেক্ষক, ডি ব্রগলি তরঙ্গ, কম্পটন ক্রিয়া, হাইসেনবার্গের অনিশ্চয়তা সূত্র।







সূচনা
Introduction

আজ যদি বিশ্বের যেকোনো দেশের বিজ্ঞানমনস্ক কোনো ব্যক্তিকে জিজ্ঞেস করা হয়, "বিংশ শতাব্দীর সবচেয়ে বিখ্যাত বিজ্ঞানী কে ?" স্বাভাবিক উত্তর পাওয়া যাবে **"আলবার্ট আইনস্টাইন।"** খুব কমসংখ্যক বিজ্ঞানীই আইনস্টাইনের মতো তাঁর মৌলিক কাজের সংখ্যা, বৈচিত্র্য এবং অপরিসীম গুরুত্ব বিবেচনায় এত বিখ্যাত হতে পেরেছেন। আইনস্টাইন তাঁর বহু বৈচিত্র্যময় বৈজ্ঞানিক আবিষ্কারের মধ্যে সবচেয়ে বেশি পরিচিত তাঁর আপেক্ষিক তত্ত্বের জন্য। আপেক্ষিক তত্ত্বের মধ্যে আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের জন্য তিনি সমধিক পরিচিত। 1905 সালে যখন তাঁর বয়স মাত্র 26 বছর তখন তিনি আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব প্রকাশ করেন। আমাদের মৌলিক চিন্তা-চেতনা বা বিশ্বাসের অনেক কিছুরই পরিবর্তন সাধন করেছে এই আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব। পারমাণবিক বিজ্ঞানের ক্রম বিকাশের ক্ষেত্রে আপেক্ষিক তত্ত্বের ভূমিকা অপরিসীম। এই অধ্যায়ে আমরা দেখাব যে স্থান (Space), কাল (Time), দৈর্ঘ্য (Length) কোনোটিই পরম রাশি বা নিরপেক্ষ নয়। এগুলো পরিবর্তনশীল। চিরায়ত বলবিজ্ঞানে (Classical Mechanics) ভর এবং শক্তি স্বাধীন হলেও আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব অনুসারে দেখা যায় এরা সমতুল্য (Equivalent)। এই তত্ত্ব থেকে দেখা যায় যে ভরসম্পন্ন কোনো বস্তুই আলোর বেগ বা তার বেশি বেগে চলতে পারে না, তা যত বলই বস্তুর ওপর প্রয়োগ করা হোক না কেন।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- জড় কাঠামো ও অজড় কাঠামো ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- মাইকেলসন-মর্লির পরীক্ষার ফলাফল বিশ্লেষণ করতে পারবে।
- আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতা তত্ত্ব ব্যাখ্যা কররতে পারবে।
- গ্যালিলিওর রূপান্তর ও লরেঞ্জ রূপান্তর ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসারে সময় সম্প্রসারণ, দৈর্ঘ্য সংকোচন এবং ভর বৃদ্ধি বর্ণনা করতে পারবে।
- ভর শক্তির সম্পর্ক ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- মৌলিক চারটি বল ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- মহাকাশ ভ্রমণে আপেক্ষিকতা তত্ত্বের সময় সম্প্রসারণ ও দৈর্ঘ্য সংকোচনের নিয়ম ব্যবহার করতে পারবে।
- প্ল্যাঙ্কের কালো বস্তুর বিকিরণ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- এক্স-রের উৎপাদন প্রক্রিয়া বর্ণনা করতে পারবে।
- আইনস্টাইনের ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়া বর্ণনা ও ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- ডি ব্রগলির বস্তু তরঙ্গের ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- কম্পটন ক্রিয়া ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- হাইজেনবার্গের অনিশ্চয়তার নীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।

৮·১ আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের ধারণা
Concept of modern physics

আলোর প্রকৃতি সম্পর্কে বিভিন্ন সময়ে বিজ্ঞানীরা বিভিন্ন তত্ত্ব প্রদান করেন। 1675 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী নিউটন আলোর কণিকা তত্ত্ব (corpuscular theory), 1678 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী হাইগেন্‌স (Huygens) আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব (wave theory), 1886 খ্রিস্টাব্দে ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল (Clark Maxwell) আলোর তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্ব (electro-magnetic theory) প্রদান করেন। 1887 খ্রিস্টাব্দে জার্মান পদার্থবিজ্ঞানী হেনরিখ হার্টজ (Henrich Herts) পরীক্ষামূলকভাবে তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্ব সুপ্রতিষ্ঠিত করেন। ওই সময় তিনি তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ নিয়ে পরীক্ষা-নিরীক্ষার কালে আকস্মিকভাবে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া আবিষ্কার করেন। কিন্তু আলোক তড়িৎ ক্রিয়া তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ দ্বারা ব্যাখ্যা করা সম্ভব হয়নি।

আলোর তরঙ্গ তত্ত্বের অভাবনীয় সাফল্য সত্ত্বেও এর সাহায্যে কৃষ্ণ বস্তু বিকিরণ (black body radiation), কম্পটন ক্রিয়া (Compton effect), রমন ক্রিয়া (Raman effect), পারমাণবিক বর্ণালি (atomic spectra) তরঙ্গ তত্ত্ব দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায় না। কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণ ব্যাখ্যা করতে গিয়ে 1900 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক (Max Planck) কোয়ান্টাম তত্ত্ব প্রবর্তন করেন। প্ল্যাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুসারে বিকিরণ কণাধর্মী। এই তত্ত্ব অনুসারে যখনই কোনো বস্তু থেকে বিকীর্ণ শক্তি নির্গত হয় কিংবা কোনো বস্তু বিকিরণ শোষণ করে তখন তা কখনই নিরবচ্ছিন্নভাবে (continuously) হয় না। নিঃসরণ বা শোষণের সময় শক্তি বিচ্ছিন্নভাবে শক্তি প্যাকেট (energy packet or bundle) রূপে নির্গত বা শোষিত হয় এবং এর সংখ্যা সব সময়ই একটি পূর্ণ সংখ্যা। শক্তি কণার এই গুচ্ছকে শক্তি কোয়ান্টাম (energy quantum) বলা হয়। একটি কোয়ান্টামের শক্তি, $E = h\upsilon$। এখানে υ হচ্ছে তার কম্পাঙ্ক এবং h হচ্ছে একটি ধ্রুবক যা **প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক** (Planck's constant) নামে পরিচিত।

প্ল্যাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব পরিবর্তিত ও সম্প্রসারিত করে আইনস্টাইন (Einstein) ফোটন কণার ধারণা প্রবর্তন করেন এবং আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার যৌক্তিক ব্যাখ্যা প্রদান করেন। আইনস্টাইনের মতে,

(ক) বিকিরণ শুধুমাত্র নিঃসরণ বা শোষণের সময়ই যে বিচ্ছিন্ন কোয়ান্টারূপে নির্গত বা শোষিত হয় তা নয়, কোনো স্থানের (space) মধ্য দিয়ে প্রবাহের সময়ও কোয়ান্টাম হিসেবে গণ্য করতে হয়।

(খ) কোনো ধাতুর ওপর আলো পড়লে আপতিত ফোটনের সাথে ইলেকট্রনের স্থিতিস্থাপক সংঘাত ঘটে অর্থাৎ এক্ষেত্রে ইলেকট্রনগুলো হয় আপতিত ফোটনের সমস্ত শক্তি শোষণ করবে অথবা কোনো শক্তিই শোষণ করবে না। শোষণের ক্ষেত্রে যদি ফোটনের শক্তি ধাতু পৃষ্ঠের ইলেকট্রনের বন্ধনশক্তি অপেক্ষা বেশি হয়, তবে আলোক ইলেকট্রন (photo-electron) নির্গত হয়।

তড়িৎ-চুম্বকীয় বিকিরণকে ফোটন কণার স্রোত হিসেবে বিবেচনা করলে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া, কৃষ্ণ বস্তু বিকিরণ, পারমাণবিক বর্ণালি, কম্পটন ক্রিয়া ইত্যাদি ব্যাখ্যা করা যায়। তবে এই তত্ত্ব দিয়ে ব্যতিচার, অপবর্তন, সমবর্তন ইত্যাদি ব্যাখ্যা করা যায় না। অপর দিকে বিকিরণের তরঙ্গ তত্ত্ব সঠিকভাবে ব্যতিচার, অপবর্তন, সমবর্তন ইত্যাদি ঘটনাগুলোকে ব্যাখ্যা করতে পারে। তাই আধুনিক বিজ্ঞানে বিকিরণ কখনো তরঙ্গরূপে, আবার কখনো কণার স্রোতরূপে আচরণ করে এবং এরা পরস্পরের পরিপূরক। একেই তরঙ্গ কণিকা দ্বি-তত্ত্ব (Wave-particle dual theory) বলা হয়।

1924 খ্রিস্টাব্দে ফরাসি বিজ্ঞানী লুইস ডি ব্রগলি (Louis de Broglie) দেখান যে একটি কণার স্রোতও তরঙ্গের মতো আচরণ করতে পারে। সুতরাং, ম্যাক্স প্ল্যাঙ্কের আলোর কোয়ান্টাম তত্ত্ব ও আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতা বিশেষ তত্ত্ব প্রবর্তনের মাধ্যমেই আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের যাত্রা শুরু হয়েছে।

আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের বিভিন্ন শাখা হলো :

- কোয়ান্টাম বলবিদ্যা (Quantum mechanics)
- পারমাণবিক ও নিউক্লীয় পদার্থবিদ্যা (Atomic and nuclear physics)
- আপেক্ষিকতা তত্ত্ব (Theory of relativity)
- জ্যোতির্পদার্থবিদ্যা (Astro-physics)
- বায়ো-মেডিকেল পদার্থবিদ্যা (Bio-medical physics)
- পারিসাংখ্যিক বলবিদ্যা (Statistical mechanics)
- কঠিন অবস্থার পদার্থবিদ্যা (Solid state physics)
- আবহাওয়া বিজ্ঞান (Meteorological science)
- জিয়ো-পদার্থবিদ্যা (Geo-physics) প্রভৃতি।

৮·২ প্রসঙ্গ কাঠামো
Frame of reference

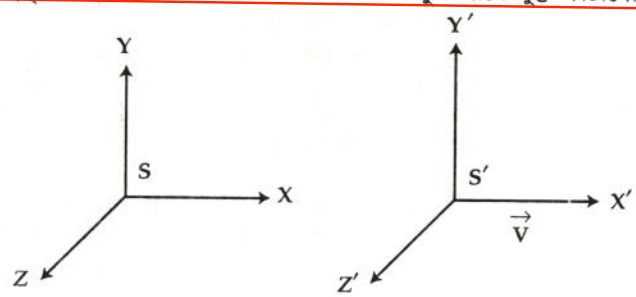
চিরায়ত ও নিউটনীয় বলবিদ্যায় তিনটি মৌলিক রাশির ধারণা করা হয়েছে। এগুলো হলো স্থান, কাল ও ভর। চিরায়ত বলবিদ্যার মতে স্থান, কাল ও ভর ধ্রুব কিন্তু আইনস্টাইনের মতে এগুলো পরম কিছু নয়—সবই আপেক্ষিক। আইনস্টাইনের এই তত্ত্বই আপেক্ষিক তত্ত্ব (Theory of relativity) নামে পরিচিত।

কোনো বস্তুর অবস্থান বা গতি বর্ণনার জন্য আমাদের একটি প্রসঙ্গ কাঠামো প্রয়োজন, যার সাপেক্ষে বস্তুর স্থির বা চলমান অবস্থা নির্দেশ করা যায়। দূরের বা কাছের কোনো বিন্দুর সাপেক্ষে দ্বি- বা ত্রি-মাত্রিক স্থানে একটি বিন্দুকে সুনির্দিষ্ট করা যায়। একে প্রসঙ্গ কাঠামো বলে। অন্য কথায় বলা যায়, কোনো বস্তুর গতি বর্ণনার জন্য ত্রিমাত্রিক স্থানে যে সুনির্দিষ্ট স্থানাঙ্ক ব্যবস্থা বিবেচনা করা হয় এবং যার সাপেক্ষে বস্তুটির গতি বর্ণনা করা যায় তাকে প্রসঙ্গ কাঠামো বলে। যেমন ঘরে সিলিং-এর ফ্যানকে নির্দিষ্ট করতে ঘরের যেকোনো একটি কোণাকে মূলবিন্দু (origin) ধরে দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং উচ্চতা বরাবর নির্দিষ্ট পরিমাণ স্থান, স্কেল বা ফিতা দিয়ে পরিমাপ করে ফ্যানের অবস্থান নির্দিষ্ট করা যায়। মনে করা যাক ঘরের দৈর্ঘ্য বরাবর 3 m, প্রস্থ বরাবর 2 m এবং উচ্চতা বরাবর 3 m মেপে ফ্যানটি নির্দিষ্ট করা হলো। এক্ষেত্রে ফ্যানের স্থানাঙ্ক (3, 2, 3)। তবে এটি ওই মূলবিন্দুর সাপেক্ষে। আবার ঘরের বা বাইরের কোনো বিন্দুকে মূলবিন্দু (origin) কল্পনা করলে স্থানাঙ্ক পরিবর্তিত হবে। সবচেয়ে সহজ এবং পরিচিত প্রসঙ্গ কাঠামো হলো কার্তেজীয় অক্ষ পদ্ধতি (Cartesian co-ordinate system)। এর দ্বারা একটি বস্তুকণার অবস্থান তিনটি পরস্পর লম্ব অক্ষ X, Y, Z দ্বারা নির্দিষ্ট করা হয়।

প্রসঙ্গ কাঠামো দুই প্রকার; যথা—(১) জড় প্রসঙ্গ কাঠামো, (২) অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো। নিচে এই দুই ধরনের প্রসঙ্গ কাঠামো আলোচনা করা হলো।

৮·২·১ জড় প্রসঙ্গ কাঠামো
Inertial frame of reference

পরস্পরের সাপেক্ষে ধ্রুব বেগে গতিশীল যেসব প্রসঙ্গ কাঠামোতে জড়তার সূত্র এবং নিউটনের গতিসূত্র প্রযোজ্য হয় তাকে জড় কাঠামো বা জড় প্রসঙ্গ কাঠামো বা জড়তার কাঠামো বলে। একে অভ্যন্তরীণ কাঠামো বা গ্যালিলিও কাঠামো বা নিউটনীয় প্রসঙ্গ কাঠামো বলা হয়। ভূপৃষ্ঠের তুলনায় সমবেগে গতিশীল সকল বস্তুর সাথে যুক্ত কাঠামোতে নিউটনের জড়তার সূত্র প্রযোজ্য হলে এরাও প্রত্যেকে একটি জড়তার কাঠামো। কিন্তু ঘূর্ণায়মান বস্তু জড় কাঠামো নয়। বস্তুর গতির হ্রাস/বৃদ্ধি ঘটানোর জন্য মন্দন/ত্বরণ সৃষ্টি হয় বলে অর্থাৎ সমবেগে চলে না বলে এটি জড় কাঠামো নয়। অর্থাৎ ভূপৃষ্ঠের তুলনায় সমবেগসম্পন্ন হলে কাঠামোটি জড় কাঠামো। জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে নিউটনের দ্বিতীয় ও তৃতীয় গতিসূত্র সঠিকভাবে প্রয়োগ হয়। ৮·১ চিত্রে জড় প্রসঙ্গ কাঠামো দেখান হলো।



চিত্র ৮·১ : জড় প্রসঙ্গ কাঠামো।

এই ধরনের কাঠামোতে ত্বরণ,

$$a = \frac{d^2r}{dt^2} = 0,$$ কারণ প্রযুক্ত বল $F = ma = 0$

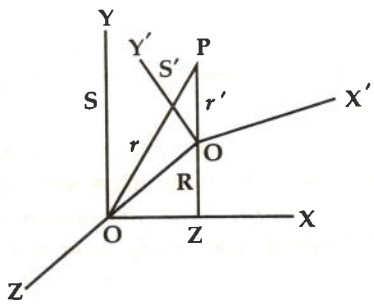
বা, $\frac{d^2x}{dt^2} = a_x = 0;\ \frac{d^2y}{dt^2} = a_y = 0;\ \frac{d^2z}{dt^2} = a_z = 0$

৮·২·২ অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো
Non-inertial frame of reference

যেসব প্রসঙ্গ কাঠামো পরস্পরের সাথে ধ্রুব বেগে গতিশীল নয় এবং যে কাঠামোতে জড়তার সূত্র এবং নিউটনের গতির সূত্র প্রযোজ্য হয় না তাকে অজড় কাঠামো বলে। ঘূর্ণায়মান এবং অসমবেগে চলমান প্রসঙ্গ কাঠামো অজড় কাঠামো। এই ধরনের কাঠামোতে কাল্পনিক বল দ্বারা ত্বরণ ঘটে।

উদাহরণ : সমবেগে চলমান একটি বাসের ভেতরে একটি ফুটবল রয়েছে। বাসটি ব্রেক কষলে মনে হবে সামনের দিকে ফুটবলটির ত্বরণ হচ্ছে। ফুটবলটির ওপর কোনো বাহ্যিক বল ক্রিয়া করেনি; কিন্তু আমরা ফুটবলটিকে বাসের ভেতরে একটি ত্বরিত প্রসঙ্গ কাঠামো হতে দেখি বলে মনে হয় এখানে একটি বাহ্যিক বল ক্রিয়া করছে।

ধরা যাক প্রসঙ্গ কাঠামো S′ জড় প্রসঙ্গ কাঠামো S এর সাপেক্ষে $\vec{a_0}$ ত্বরণে গতিশীল [চিত্র ৮·২]। তাহলে কণা A, প্রকৃতপক্ষে যেসব কণা, প্রসঙ্গ কাঠামো S এর সাপেক্ষে স্থির থাকলে, কাঠামো S′ সাপেক্ষে তা $-\vec{a_0}$ ত্বরণে গতিশীল মনে হবে। সুতরাং একটি কণা S জড় কাঠামোর সাহায্যে $\vec{a}$ ত্বরণে গতিশীল হলে, S′ কাঠামোতে এর ত্বরণ হবে $\vec{a}' = \vec{a} - \vec{a_0}$। এখন কণাটির ভর m হলে S′ কাঠামোতে কণাটির ওপর ক্রিয়াশীল বল পাওয়া যায়।



চিত্র ৮·২ : অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো।

$$\vec{F}' = m\vec{a}' = m(\vec{a} - \vec{a_0}) = m\vec{a} - m\vec{a_0}$$

এখানে $m\vec{a} = \vec{F}$, জড় কাঠামো S এ কণাটির ওপরে ক্রিয়াশীল বল। সুতরাং, $\vec{F}' = \vec{F} - m\vec{a_0}$

ধরি, $m\vec{a_0} = \vec{F_0}$

অতএব, $\vec{F}' = \vec{F} - \vec{F_0}$

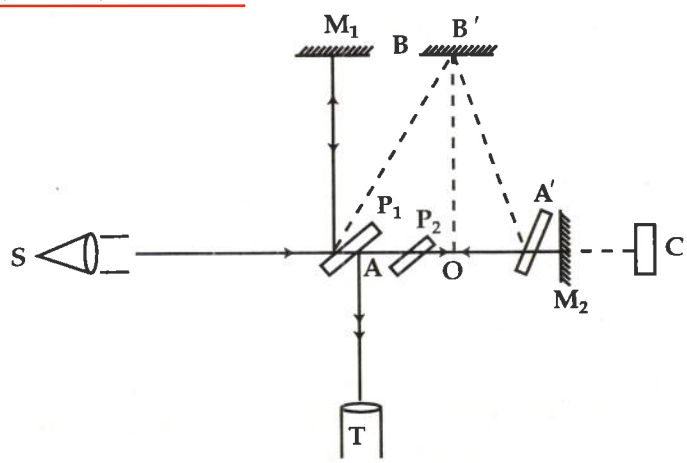
যদি $\vec{F} = 0$, তবে $\vec{F}' = -\vec{F_0}$

অর্থাৎ, S কাঠামোতে কণাটির ওপর কোনো বল ক্রিয়াশীল না হলেও $\vec{F_0} = m\vec{a_0}$ কাল্পনিক বল S′ কাঠামো সাপেক্ষে কণাটি ক্রিয়াশীল রয়েছে। সুতরাং S′ কাঠামো অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো।

৮·৩ মাইকেলসন-মর্লির পরীক্ষা
Michelson-Morley experiment

1861 খ্রিস্টাব্দে ম্যাক্সওয়েলের সমীকরণগুলো আবিষ্কারের পর দেখা গেল বিদ্যুৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ শূন্য স্থানে আলোর বেগে প্রবাহিত হয়। পরে হার্জ তাঁর পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেন যে, আলো বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ। ওই সময় বস্তু মাধ্যম ব্যতিরেকে তরঙ্গের চলাচল চিন্তা করা সম্ভব ছিল না। তাই মনে করা হয়েছিল যে, বিশ্বের সর্বত্র এমনকি মহাশূন্যে, এবং অণু-পরমাণুর অভ্যন্তরেও এমন একটি মাধ্যম আছে যার মধ্য দিয়ে গ্রহ, নক্ষত্র ছুটে চলে—যে মাধ্যম কোনো কিছুর গতিকে বাধা দেয় না, যার ওজন নেই, সেই মাধ্যমের নাম করা হয়েছিল ইথার মাধ্যম। সেই ইথারের সাপেক্ষে স্থির কাঠামোকে বিশেষ অধিকার প্রাপ্ত কাঠামো বলা হয়েছিল। ব্রাডলির পরীক্ষা হতে জানা গেছে যে, পৃথিবী ইথার মাধ্যমের সাপেক্ষে 30 কিমি/সে বেগে বিচরণ করে এবং পারিপার্শ্বিক ইথার মাধ্যমকে কোনোরূপ আলোড়িত করে না।

পৃথিবী ও ইথারের মধ্যে আপেক্ষিক বেগ পরিমাপের জন্য অনেক বিজ্ঞানী অনেক পরীক্ষা-নিরীক্ষা করেন; কিন্তু মাইকেলসন-মর্লির পরীক্ষাটিও না-ধর্মী পরীক্ষা। তাই এই পরীক্ষা বিজ্ঞানী মহলে যথেষ্ট আলোড়নের সৃষ্টি করে। এই



চিত্র ৮·৩

না-ধর্মী পরীক্ষায় প্রকৃতির ইথার মাধ্যম বিষয়ক রহস্য উদ্‌ঘাটিত হয়। 1887 খ্রিস্টাব্দে অ্যালবার্ট মাইকেলসন ও এডওয়ার্ড মর্লি ইথারের অস্তিত্ব প্রমাণের জন্য এই পরীক্ষা সম্পন্ন করেন। মাইকেলসন তাঁর পরীক্ষার জন্য এক অভূতপূর্ব

সূক্ষ্ম যন্ত্র আবিষ্কার করেন যার ফলে তিনি নোবেল পুরস্কারের সম্মান লাভ করেন। তাঁর যন্ত্রের নাম করা হয় মাইকেলসন ব্যতিচার মাপক যন্ত্র [চিত্র ৮·৩]। এই পরীক্ষাটি পদার্থবিদ্যার ইতিহাসে এক শ্রেণির পরীক্ষা যা হতে ইথার মাধ্যমের যে অস্তিত্ব নেই তা পরিষ্কারভাবে বুঝা যায়।

এই যন্ত্রে S একটি এক রঙবিশিষ্ট আলোক রশ্মি যা হতে লেন্সের মাধ্যমে সমান্তরাল হয়ে একটি রশ্মি 45° কোণে হেলান একটি অর্ধস্বচ্ছ কাঁচের প্লেট P_1-এর ওপর আপতিত হয়। এই আপতিত রশ্মি A বিন্দুতে সমকোণে দুই অংশে বিভক্ত হয়। একটি অংশ P_1-এর উপরিতল হতে প্রতিফলিত হয়ে আড়াআড়িভাবে M_1 দর্পণে আপতিত হয় এবং পুনরায় প্রতিফলিত হয়ে একই পথে দূরবীণ T-তে ফিরে আসে। অপর রশ্মিটি P_1 প্লেটের ভেতর দিয়ে প্রতিসরিত হয়ে লম্বিকভাবে M_2 দর্পণে আপতিত হয়ে পুনরায় প্রতিফলিত হয়ে প্রথম রশ্মির সাথে মিলিত হয়। এই আলোক রশ্মিদ্বয় প্রায় সমান পথ অতিক্রম করে। M_1 ও M_2 দর্পণের সম্মুখ ভাগ ভালোভাবে রূপার প্রলেপযুক্ত করা হয় যাতে পৌনঃপুনিক প্রতিফলন না ঘটে এবং দর্পণদ্বয়কে সমকোণে সাজানো হয়।

P_1 প্লেট হতে উভয় দর্পণের দূরত্ব d ধরা হয়। এখানে P_2 একটি ক্ষতিপূরণকারী প্লেট যা দ্বারা কাঁচের মধ্যে অতিক্রান্ত দূরত্ব দুই রশ্মির ক্ষেত্রে সমান থাকে। যদি আলোক রশ্মিদ্বয় ঠিক সমান্তরাল হয় এবং P_1 প্লেট হতে AB ও AC-এর দূরত্ব d-এর সমান হয় তবে M_1 ও M_2 হতে প্রতিফলিত রশ্মিদ্বয় একই দশায় থাকে এবং দূরবীন T-তে উজ্জ্বল আলোর ব্যতিচার নকশা দেখা যায়। যদি M_1 ও M_2-এর মধ্যে কোণ এক সমকোণ হয় তবে ব্যতিচার নকশাটি বৃত্তাকার সমকেন্দ্রিক রেখার সমষ্টি হয় আর যদি M_1 ও M_2-এর মধ্যে কোণ এক সমকোণের চেয়ে কম রাখা যায় যা পরীক্ষায় রাখা হয়েছিল, তবে ব্যতিচার নকশাটি কয়েকটি সমান্তরাল সরলরেখার সমষ্টি হয়। মনে করি ইথার মাধ্যমের সাপেক্ষে যন্ত্রের বেগ ডান দিকে v এবং বিপরীতে $-v$, যদি আলোর সঠিক বেগ c হয় তবে যন্ত্রের সাপেক্ষে আলোর বেগ হবে $(c-v)$ AC বরাবর এবং A হতে C-তে যেতে সময় t_1 হলে সময় $t_1 = \dfrac{d}{c-v}$।

আলোক রশ্মি M_2 হতে প্রতিফলিত হয়ে ফেরত আসার সময় যন্ত্রের সাপেক্ষে আলোর বেগ হবে $(c+v)$ এবং সময়, $t_2 = \dfrac{d}{c+v}$।

অতএব আলোক রশ্মি A হতে C এবং C হতে A-তে ফিরে আসতে মোট সময় t হলে

$$t = t_1 + t_2 = \frac{d}{(c-v)} + \frac{d}{(c+v)} = \frac{d(c+v) + d(c-v)}{c^2-v^2}$$

$$= \frac{dc + dv + dc - dv}{c^2 - v^2}$$

$$= \frac{2dc}{c^2 - v^2} = \frac{2d}{c\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)} = \frac{2d}{c}\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-1}$$

পৃথিবী ও যন্ত্র গতিশীল থাকার কারণে A হতে রশ্মিটি B অবস্থানে আপতিত না হয়ে B′ অবস্থানে আপতিত হবে।

অতএব $AB'A' = AB' + B'A' = 2AB'$

আবার $AB'^2 = AO^2 + OB'^2$

$$\therefore \quad c^2 t_1'^2 = v^2 t_1'^2 + d^2$$

$$\therefore \quad t_1' = \frac{d}{(c^2 - v^2)^{\frac{1}{2}}}$$

আবার A হতে B ও B হতে A-তে আসতে আলোর মোট সময় t' হলে

$$\text{সময় } t' = t_1' + t_1' = 2t_1' = \frac{2d}{(c^2 - v^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{2d}{c}\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

আড়াআড়িভাবে ও লম্বিকভাবে আলোক রশ্মি চলাচল করবার জন্য দুই রকম সময় পাওয়া গেল। এই দুই রকম সময় t ও t'-এর পার্থক্যের ফলে ব্যতিচার নকশার সৃষ্টি হয়। যদি যন্ত্রটি স্থির থাকে বলে ধরা হয় তবে $\dfrac{v^2}{c^2}$ এর মান খুবই কম হয়। পরিষ্কারভাবে দেখা যাচ্ছে A হতে B-তে যেতে ও আসতে সময় t', A হতে C-তে যেতে ও আসতে সময় t অপেক্ষা কম যদিও উভয় ক্ষেত্রে আলোক রশ্মি একই দূরত্ব অতিক্রম করে ইথার মাধ্যমে।

অতএব সময়ের পার্থক্য $\Delta t = t - t'$

$$= \frac{2d}{c}\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-1} - \frac{2d}{c}\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

যদি যন্ত্রের বা পৃথিবীর বেগ $v << c$ হয় তবে বাইনোমিয়াল (Binomial) তত্ত্ব দ্বারা সম্প্রসারিত করলে পাই

$$\Delta t = \frac{2d}{c}\left[\left(1+\frac{v^2}{c^2}\right) - \left(1-\frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2}\right)\right]$$

$$= \frac{2d}{c}\cdot\frac{v^2}{2c^2} = \frac{dv^2}{c^3}$$

এই Δt সময়ে আলো কর্তৃক অতিক্রান্ত দূরত্ব = $\Delta t \times$ আলোর বেগ, $c = \frac{dv^2}{c^3} \times c = \frac{dv^2}{c^2}$। এই দূরত্ব হতে এটিই বুঝতে পারা যায় যে AC আলোর পথ AB আলোর পথ হতে বেশি। যন্ত্রটি গতিশীল থাকার কারণেই এই পথ পার্থক্যের সৃষ্টি হয়। যদি মাইকেলসন ব্যতিচার মাপক যন্ত্রের দুই বাহুর বিনিময় করা হয় অর্থাৎ পুরো যন্ত্রটিকে 90° কোণে ঘুরানো হয় তবে প্রথম বাহুটি দ্বিতীয় বাহুর স্থানে এবং দ্বিতীয় বাহুটি প্রথম বাহুর স্থানে আসে। এই অবস্থায় মোট পথ পার্থক্য হয় $\frac{2dv^2}{c^2}$। এই পথ পার্থক্যের কারণে দূরবিনে ব্যতিচার নকশার কিছু অপসারণ হয়। মনে করি সেই অপসারণের পরিমাণ n।

যেহেতু এক তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ-এর সমান পথ পার্থক্যে নকশার অপসারণ হয় 1 ব্যতিচার

$\therefore$ n ব্যতিচার অপসারণের জন্য পথ পার্থক্য হবে $n\lambda$

অতএব $n\lambda = \frac{2dv^2}{c^2}$, এখানে $n = \frac{2dv^2}{c^2\lambda}$

মাইকেলসন ও মর্লি দূরত্ব 'd'-কে বাড়িয়ে 11 m ধরেছিলেন।

পৃথিবীর কক্ষপথের বেগ, v = 30 km-s^{-1} বা 3×10^6 cms^{-1} বা, 30×10^3 ms^{-1}

আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^{10}$ cms^{-1} = 3×10^8 ms^{-1}

এবং ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = 6 \times 10^{-5}$ cm = 6×10^{-8} m হলে উক্ত সমীকরণ অনুসারে ব্যতিচার নকশার অপসারণের পরিমাণ দাঁড়ায়,

$$n = \frac{2dv^2}{\lambda c^2} = \frac{2 \times 1100 \times 9 \times 10^{12}}{9 \times 10^{20} \times 6 \times 10^{-5}} = 0.37 \approx 0.4$$

৮.৩.১ পরীক্ষার ফলাফল বিশ্লেষণ
Analysis of the experimental result

এই পরীক্ষায় ব্যতিচার নকশার অপসারণ ব্যতিচার রেখার বিস্তৃতির 25 ভাগের এক ভাগ যা মাইকেলসনের সূক্ষ্ম যন্ত্রে মাপা সম্ভব হয়। এই অপসারণের পরিমাণ এতই সামান্য যে তাকে নগণ্য ধরা যায়। অর্থাৎ মাইকেলসনের মতে ব্যতিচার রেখাগুলোর কোনো অপসারণ হয়নি। এটি হতে তিনি এই সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে, স্থিতিশীল ইথার প্রকল্পের ফলাফল ভুল বা পৃথিবী ও ইথারের মধ্যে কোনো আপেক্ষিক বেগ নেই।

এই পরীক্ষাটি পৃথিবীর গভীরে, ওপরে, বছরের বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন স্থানে, এমনকি লেজার রশ্মি ব্যবহার করেও একই ফলাফল পাওয়া যায়। ফলে ইথার প্রবাহ তত্ত্বটি ভুল প্রমাণিত হয়েছে। এই সমস্ত ফলাফল বিবেচনা করে আইনস্টাইন তাঁর দ্বিতীয় স্বীকার্যে বলেছিলেন শূন্য স্থানে আলোর বেগ বিশ্বজনীনভাবে ধ্রুব।

বিজ্ঞানী মাইকেলসন এবং বিজ্ঞানী মর্লি ইথারের অস্তিত্ব প্রমাণের জন্যে পরীক্ষা সম্পাদন করেন এবং তাদের পরীক্ষা হতে নিম্নলিখিত সিদ্ধান্তে আসা যায়—

(ক) ইথার বলতে এই মহাবিশ্বে কিছু নেই।

(খ) গ্যালিলিয় রূপান্তর সঠিক নয়।

(গ) আলোকের বেগ একটি ধ্রুব রাশি। এটি উৎস অথবা পর্যবেক্ষণ বা মাধ্যমের গতির ওপর নির্ভর করে না।

জানার বিষয় : ইথার বলতে এ মহাবিশ্বে কিছুই নেই একথা বলেছেন বিজ্ঞানী মাইকেলসন ও মর্লি।

৮·৪ আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতা তত্ত্ব
Einstein's theory of relativity

স্থান, কাল ও ভরকে নিউটন নিরপেক্ষ ধরেছিলেন; কিন্তু আলবার্ট আইনস্টাইন তাঁর আপেক্ষিক তত্ত্বে এগুলোকে আপেক্ষিক ধরেন। নিরপেক্ষ শব্দের অর্থ, **কোনো কিছুর সাপেক্ষে যা পরিবর্তনশীল নয়।** পূর্বে উল্লেখ করা হয়েছে যে কোনো বস্তুর অবস্থান, গতিবেগ পরিমাপের জন্য একটি কাঠামোর প্রয়োজন হয় এবং উক্ত কাঠামোর সাপেক্ষে বস্তুর উপস্থিতি তিনটি সংখ্যা দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এছাড়া সময় পরিমাপের জন্য ঘড়ি বা অন্য কোনো মানদণ্ড প্রয়োজন হয়। এগুলো দেশ কালের কাঠামো নামে পরিচিত। বলবিদ্যা শাস্ত্র নিউটনের তিনটি সূত্রের ওপর ভিত্তি করে প্রতিষ্ঠিত হয়েছে। কিন্তু সেখানে উল্লেখ ছিল না কোন কাঠামোর সাপেক্ষে সূত্রগুলো প্রযোজ্য। বলবিদ্যার ধারণা হতে এও জানা গেছে যে, সব পরিমাপ কাঠামোর সাপেক্ষে নিউটনের সূত্রগুলো সত্য নয়। নিউটনের গতির প্রথম সূত্র আলোচনা করলে দেখা যায় একাধিক নিরীক্ষকের কাছে বস্তুর সমবেগ থাকে না। তাই গতি বা স্থিতির কাঠামো নিরপেক্ষ এর কোনো অর্থ থাকতে পারে না। যদি কোনো বস্তু পারিপার্শ্বিক কোনো কিছুর সাপেক্ষে স্থান পরিবর্তন না করে তার নাম স্থিতি, আর যদি পরিবর্তন করে তার নাম গতি, কাজেই আপেক্ষিক স্থিতি এবং আপেক্ষিক গতি ছাড়া অন্য কিছু বলা অর্থহীন। কিন্তু নিউটন পরম বেগের ধারণায় বিশ্বাসী ছিলেন। **পক্ষান্তরে আইনস্টাইন স্পষ্ট ভাষায় ব্যক্ত করেন যে স্থান, কাল এবং ভর এদের কোনোটিই নিরপেক্ষ বা পরম কিছু নয়, এগুলো আপেক্ষিক। এই তিনটি বিষয়ের প্রত্যেকটি অন্য কোনো কিছুর সাপেক্ষে বিবেচিত হয়।** অর্থাৎ **কোনো বিষয় অন্য কোনো কিছুর সাপেক্ষে বিবেচিত হবার নামই আপেক্ষিকতা। আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব অনুসারে পরম গতি নিরর্থক, সব গতিই আপেক্ষিক।**

আপেক্ষিক তত্ত্ব মূলত দুভাগে বিভক্ত, যথা—

(১) **আপেক্ষিকতার সাধারণ বা সার্বিক তত্ত্ব** (The general theory of relativity) এবং

(২) **আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব** (The special theory of relativity)।

আপেক্ষিকতার সাধারণ বা সার্বিক তত্ত্ব পরস্পরের তুলনায় ঊর্ধ্ব বা নিম্নগতিশীল (ত্বরিত) বস্তুসমূহ বা সিস্টেম (System) নিয়ে আলোচনা করেছে। যেমন সূর্য, চন্দ্র, নক্ষত্র, ধূমকেতু, উল্কাপিণ্ড প্রভৃতির গতি, মাধ্যাকর্ষণ এবং সমগ্র বিশ্বের গঠন সম্পর্কে তার বৈজ্ঞানিক ও দার্শনিক মতবাদসমূহ আপেক্ষিকতার সাধারণ তত্ত্বের অন্তর্ভুক্ত। এটি প্রকাশিত হয় 1916 সালে।

পক্ষান্তরে আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব শুধু পরস্পরের তুলনায় সমগতিতে সঞ্চরণশীল (অত্বরিত) বা অসঞ্চরণশীল (অপরিবর্তনীয়ভাবে শূন্যগতিবিশিষ্ট) বস্তু বা সিস্টেম নিয়ে আলোচনা করা হয়েছে। বস্তুত বিশেষ তত্ত্ব সার্বিক বা সাধারণ তত্ত্বের একটি বিশেষ রূপ। এটি আবিষ্কৃত হয় 1905 সালে। এই অধ্যায়ে আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব আলোচনা করা হবে।

৮·৪·১ আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব এবং এর মৌলিক স্বীকার্য
The special theory of relativity and its fundamental postulates

1905 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী আইনস্টাইন আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব প্রবর্তন করেন যা নিম্নলিখিত দুটি **মৌলিক স্বীকার্যের** ওপর প্রতিষ্ঠিত। এই দুটি স্বীকার্যকে আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের মৌলিক স্বীকার্য (Fundamental postulates of the special theory of relativity) বলে। নিম্নে স্বীকার্য দুটি বিবৃত ও ব্যাখ্যা করা হলো—

৮·৪·১·১ আপেক্ষিকতার মৌলিক স্বীকার্যসমূহ
Fundamental postulates of relativity

প্রথম স্বীকার্য :

জড় কাঠামোতে বা গ্যালিলীয় কাঠামোতে পদার্থবিজ্ঞানের সূত্রসমূহ অভিন্ন থাকে। অন্য কথায় বলা যায় পরস্পরের সাথে সমবেগে ধাবমান সকল প্রসঙ্গ কাঠামোতে পদার্থবিজ্ঞানের সূত্রগুলো একইরূপ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যেতে পারে।

ব্যাখ্যা : নিউটনের গতি সূত্রের ১ম সূত্র যে প্রসঙ্গ কাঠামোতে প্রযুক্ত হয়, তাকে জড়তার কাঠামো বলে। যদি কোনো বস্তু জড়তায় (স্থির বা গতি) থাকে, তবে এর ওপর বাহ্যিক বল প্রযুক্ত না হলে এর অবস্থার কোনো পরিবর্তন হবে না। এই স্বীকার্য অনুসারে দুজন পর্যবেক্ষক একই রৈখিক বেগে চলতে থাকলে যেকোনো ভৌত সূত্রের রূপ বা অবস্থা একই থাকবে।

উদাহরণ : সমগতিসম্পন্ন কোনো ট্রেনযাত্রী কামরার ভেতরের কোনো পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ করতে পারবেন না ট্রেন স্থির রয়েছে না চলছে। পদার্থবিজ্ঞানের সকল পরীক্ষার ফল ট্রেন স্থির থাকলেও যা হবে, সমবেগে চললেও তাই পাওয়া যাবে।

দ্বিতীয় স্বীকার্য :

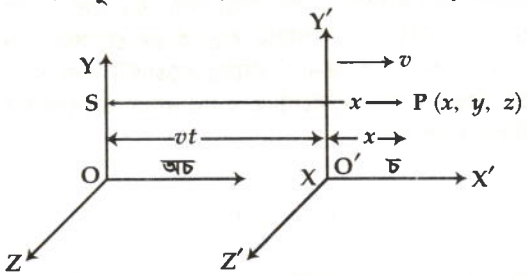
শূন্যস্থানে সকল পর্যবেক্ষকের নিকট আলোকের বেগ সর্বদা একই থাকে। এ বেগ আলোক প্রবাহের দিক, উৎস এবং পর্যবেক্ষকের আপেক্ষিক বেগের ওপর নির্ভর করে না।

ব্যাখ্যা : এই স্বীকার্যের পরিপ্রেক্ষিতে ইথারের অস্তিত্ব স্বীকার করা কোনো মতেই সম্ভব হয় না। তাছাড়া ইথার মাধ্যমের ওজন বা সান্দ্রতা কিছুই নির্ণয় করা যায় না। আইনস্টাইনের মতে আলোক পরিবাহী ইথারের প্রবর্তন অনাবশ্যক। মাইকেলসন-মর্লির পরীক্ষা এবং পরবর্তী যুগে বহু পরীক্ষা-নিরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণিত হয়েছে যে শূন্যস্থানে বা বায়ু মাধ্যমে আলোকের বেগ আলোক প্রবাহের দিক, উৎস এবং পর্যবেক্ষকের আপেক্ষিক বেগের ওপর নির্ভরশীল নয়। এটি একটি ধ্রুব রাশি।

৮·৫ গ্যালিলিওর রূপান্তর
Galilean transformation

যদি কোনো ঘটনা একই সাথে দুটি পৃথক কাঠামোয় ঘটে, তবে স্বাভাবিকভাবেই দুটি কাঠামোর জন্যে দুই প্রকারের সেট স্থানাঙ্ক পাওয়া যাবে। উক্ত ঘটনার জন্যে দুই সেট স্থানাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করার নিমিত্তে যে সমীকরণ পাওয়া যায়, তাকেই গ্যালিলিওর রূপান্তর সমীকরণ বলে।

যদি দুটি কাঠামোই অভ্যন্তরীণ কাঠামো হয়, তবে সে রূপান্তরকেও গ্যালিলিয় রূপান্তর বলে।



চিত্র ৮·৪

মনে করি ভূপৃষ্ঠে স্থির **অচ**-একটি কাঠামো [চিত্র ৮·৪]। এর সাপেক্ষে X-অক্ষ বরাবর চলমান **চ**-কাঠামোর বেগ v। $t = 0$ সময়ে উভয় কাঠামোর মূল বিন্দু O এবং O′ এক জায়গায় থাকলে $t = t$ সময় পরে O′ বিন্দু O হতে vt দূরত্বে অবস্থান করবে। P বিন্দুর স্থানাঙ্ক **অচ**-কাঠামোতে (x, y, z) হলে t সময়ে ওই বিন্দুর স্থানাঙ্ক **চ**-কাঠামোতে,

$$x' = x - vt \quad \ldots \quad (8.1)$$

চ কাঠামো X-অক্ষ বরাবর গতিশীল বলে Y ও Z অক্ষে কোনো পরিবর্তন হবে না; অর্থাৎ

$$y' = y \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.2)$$

$$z' = z \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.3)$$

পূর্বে সকল কাঠামোতে সময় অভিন্ন বলে,

$$t' = t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.4)$$

সুতরাং, **অচ**-কাঠামোর কোনো সমীকরণকে **চ**-কাঠামোতে রূপান্তরিত করতে হলে ওপরের সমীকরণগুলো ব্যবহার করতে হবে। এই সমীকরণগুলোকে **গ্যালিলিয় রূপান্তর** বলা হয়। এই রূপান্তরণে বলবিদ্যার সূত্রসমূহ সকল কাঠামোয় অভিন্ন থাকে।

সমীকরণ (8.1) হতে (8.3) সমীকরণগুলোকে সময়ের সাপেক্ষে ব্যবকলন করে **অচ** ও **চ** কাঠামোর জন্য বেগের রূপান্তর সমীকরণ পাওয়া যায়,

$$v_x' = \frac{dx'}{dt} = \frac{d}{dt}(x - vt) = \frac{dx}{dt} - v = v_x - v \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.5)$$

$$v_y' = \frac{dy'}{dt} = v_y \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.6)$$

$$v_z' = \frac{dz'}{dt} = v_z \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.7)$$

সমীকরণ (8.5), (8.6) ও (8.7) হলো বেগ রূপান্তরের সমীকরণ। গ্যালিলিয় রূপান্তর ও বেগে রূপান্তর উভয়ই আপেক্ষিকতার বিশেষে স্বীকার্য দুটির পরিপন্থী। কীভাবে পরিপন্থী তাই এখন আলোচনা করা হবে।

৮·৫·১ গ্যালিলিওর রূপান্তরের সীমাবদ্ধতা
Limitation of Galileo's transformation

১। আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের প্রথম স্বীকার্য অনুসারে **অচ** ও **চ** কাঠামোতে পদার্থবিজ্ঞানের সূত্রগুলো অবশ্যই একই রূপ হবে। কিন্তু তড়িৎ চুম্বকীয় সূত্রগুলোর ক্ষেত্রে এক কাঠামোর জন্য প্রযোজ্য সমীকরণগুলো অপর কাঠামোতে প্রকাশ করতে গেলে ভিন্ন রূপ হয়। এটি অপেক্ষিকতার প্রথম স্বীকার্যের পরিপন্থী।

২। পুনরায় আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের দ্বিতীয় স্বীকার্য অনুসারে **অচ** ও **চ** উভয় কাঠামোতে আলোর বেগ একই হবে। কিন্তু গ্যালিলীয় রূপান্তরণে ভিন্ন রূপ হয়।

RMDAC

ব্যাখ্যা : ধরা যাক **অচ** কাঠামোতে X-অক্ষের দিকে পরিমাপ করে আলোর বেগ পাই c, সমীকরণ (8.5) অনুসারে **চ** কাঠামোতে আলোর বেগ হবে $c' = c - v$; অর্থাৎ আলোর বেগ পর্যবেক্ষকের বেগের ওপর নির্ভরশীল যা আপেক্ষিকতার দ্বিতীয় স্বীকার্যের পরিপন্থী।

৮·৬ লরেঞ্জ-এর রূপান্তর
Lorentz's transformation

যে রূপান্তর সূত্র প্রয়োগে বিদ্যুৎ চুম্বকীয় সমীকরণ এক জড় কাঠামো থেকে অন্য কাঠামোতে নিলে অভিন্নরূপে প্রকাশিত হয় তা লরেঞ্জ রূপান্তর সূত্র নামে পরিচিত।

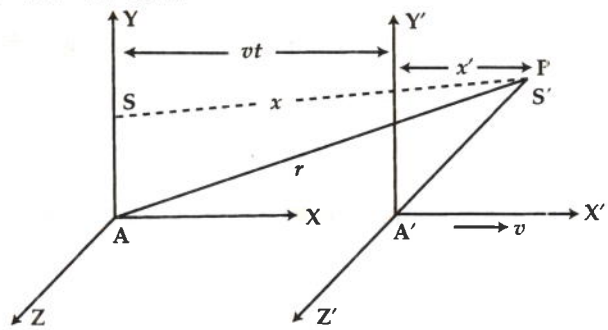
লরেঞ্জ-এর রূপান্তর সূত্র বা সমীকরণ নিম্নলিখিত দুটি স্বীকার্যের ওপর প্রতিষ্ঠিত।

স্বীকার্য (১) : পদার্থবিদ্যার সূত্রগুলো সকল অভ্যন্তরীণ কাঠামোয় অভিন্ন থাকে; তবে কাঠামোগুলোকে পরস্পরের সাপেক্ষে সমবেগে গতিশীল থাকতে হবে।

স্বীকার্য (২) : শূন্যস্থানে আলোর বেগ সর্বদা ধ্রুব থাকে, এটি একটি অভ্যন্তরীণ কাঠামো হতে অন্যটিতে রূপান্তরিত হলেও মান অপরিবর্তিত থাকে এবং আলোর এই বেগ $c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$। এই মান দর্শকের স্থিতি বা গতিশীলতার ওপর নির্ভর করে না। MAT(15-16)

উপরোক্ত স্বীকার্যের ভিত্তিতে লরেন্জ নতুন রূপান্তর সমীকরণ আবিষ্কার করেন যা **লরেঞ্জ সমীকরণ** নামে পরিচিত। নিম্নে লরেঞ্জের রূপান্তর সমীকরণসমূহ প্রতিপাদন করা হলো।

ধরা যাক দুটি কাঠামো S এবং S′-এ দুজন পর্যবেক্ষক A এবং A′ রয়েছে। S কাঠামো সাপেক্ষে কাঠামো S′ ধনাত্মক X অক্ষ বরাবর v সমবেগে গতিশীল [চিত্র ৮·৫]। মনে করি, কাঠামো দুটি $t = 0$ সময়ে একই অবস্থানে রয়েছে। এ অবস্থায় একটি ঘটনা, মনে করা যাক একটি আলোক স্ফুলিঙ্গ (pulse) তরঙ্গামুখ সৃষ্টি করা হলো। এভাবে সৃষ্ট তরঙ্গামুখ সময়ের পরিবর্তনের সঙ্গে বর্ধিত গোলীয় আকারে প্রসারিত হতে থাকবে। t সময় পরে স্থির কাঠামো S-এর পর্যবেক্ষক A দেখবে যে তরঙ্গামুখ P বিন্দুতে পৌঁছেছে। A পর্যবেক্ষকের নিকট P বিন্দুর দূরত্ব হবে,



চিত্র ৮·৫

$$r = ct \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.8)$$

আবার, $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$ [চিত্র ৮·৫ থেকে]

$$\therefore \quad r^2 = x^2 + y^2 + z^2 = c^2t^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.9)$$

S′ কাঠামোর পর্যবেক্ষকের কাছে P বিন্দুর দূরত্ব হবে,

$$r' = ct' \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.10)$$

S′ কাঠামোর সাপেক্ষে,

$$r'^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2t'^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.11)$$

এখন আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের ১ম স্বীকার্য অনুসারে উভয় কাঠামোয় পদার্থবিজ্ঞানের সমীকরণগুলো অভিন্ন হবে।

অর্থাৎ $x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2t'^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.12)$

এখন Y এবং Z অক্ষ বরাবর গতি না থাকার কারণে, $y' = y$ এবং $z' = z$ হবে।

অতএব, সমীকরণ (8.12) থেকে,

$$x^2 - c^2t^2 = x'^2 - c^2t'^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.13)$$

এখন x এবং x'এর রূপান্তর সমীকরণ নিম্নোক্তভাবে লেখা যায়

$$x' = k(x - vt) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.14)$$

এখানে k ধ্রুবক। সমীকরণ (8.14) এর যৌক্তিকতা হলো এই যে স্বল্পমাত্রার বেগ ($v << c$)-এর জন্য রূপান্তর অবশ্যই গ্যালিলিয় রূপান্তরের রূপ নেবে।

অনুরূপভাবে, ধরা যায়,

$$t' = a(t - bx) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.15)$$

এখানে a ও b উভয়ই ধ্রুব।

সমীকরণ (8.13)-এ x' এবং t'-এর মান বসিয়ে পাওয়া যায়,

$$x^2 - c^2t^2 = k^2(x - vt)^2 - c^2a^2(t - bx)^2$$

বা, $$x^2 - c^2t^2 = (k^2 - a^2b^2c^2)x^2 - 2(k^2v - a^2bc^2)xt - \left(a^2 - \frac{k^2v^2}{c^2}\right)c^2t^2 \quad \cdots \quad (8.16)$$

সমীকরণ (8.16)-এর বামপক্ষ = ডানপক্ষ হওয়ার শর্ত হলো অনুরূপ রাশির সহগগুলো সমান হবে। অর্থাৎ

$$\left.\begin{aligned} k^2 - a^2b^2c^2 &= 1 \\ k^2v - a^2bc^2 &= 0 \\ a^2 - \frac{k^2v^2}{c^2} &= 1 \end{aligned}\right\} \quad \cdots \quad \cdots \quad (8.17)$$

সমীকরণ (8.17) সমাধান করে, আমরা পাই,

$$k = a = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \cdots \quad \cdots \quad (8.18)$$

এবং $$b = \frac{v}{c^2} \quad \cdots \quad \cdots \quad (8.19)$$

এখন, সমীকরণ (8.14) ও (8.15)-এ k, a এবং b-এর মান বসিয়ে পাওয়া যাবে,

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

এবং $$t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

সুতরাং S' কাঠামোর স্থানাঙ্কগুলো S কাঠামোর স্থানাঙ্কের সাপেক্ষে লেখা যায়,

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \cdots \quad \cdots \quad (8.20)$$

$$y' = y \quad \cdots \quad \cdots \quad (8.21)$$

$$z' = z \quad \cdots \quad \cdots \quad (8.22)$$

এবং $$t' = \frac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \cdots \quad \cdots \quad (8.23)$$

এই সমীকরণগুলোই লরেঞ্জ-এর রূপান্তর সমীকরণ নামে পরিচিত। 1930 সালে এইচ এ লরেঞ্জ এর চৌম্বক তত্ত্বের মধ্য দিয়ে এই সমীকরণগুলো প্রতিষ্ঠিত হয়েছিল বলে এদেরকে লরেঞ্জ রূপান্তর বলা হয়।

পুন যদি কাঠামোর আপেক্ষিক বেগ v আলোকের বেগের তুলনায় খুবই ছোট হয়, অর্থাৎ $v << c$, তাহলে সমীকরণ (8.20) এবং (8.23) নিম্নরূপে রূপান্তর হবে

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$= x - vt \qquad [\because \; v^2/c^2 \ll 1]$$

এবং $$t' = t - vx/c^2$$

এগুলো গ্যালিলিওর রূপান্তর সমীকরণ মাত্র। সুতরাং ওপরের আলোচনা থেকে এটা স্পষ্ট যে আপেক্ষিক বেগ আলোকের বেগের মানের কাছাকাছি না হলে আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব হতে প্রাপ্ত ফলাফল পরিমাপযোগ্য হবে না। সেক্ষেত্রে সনাতন ধারণাই বলবৎ থাকবে। যখন বস্তুর দ্রুতি আলোর দ্রুতির কাছাকাছি তখনই লরেঞ্জ রূপান্তর প্রয়োগ করা হয়।

৮·৬·১ বিপরীত লরেঞ্জ রূপান্তর
Inverse Lorentz transformation

আমরা যদি S' কাঠামোর পরিমাপকে S কাঠামোর পরিমাপে রূপান্তরিত করতে চাই তাহলে v এর স্থলে $-v$ বসাতে হবে এবং x', y', z', t' এবং x, y, z, t কে পরস্পর বিনিময় করতে হবে। এভাবে যে রূপান্তর পাওয়া যায় তা হলো বিপরীত লরেঞ্জ রূপান্তর।

বিপরীত লরেঞ্জ রূপান্তর সমীকরণগুলো হলো,

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad [8.20(a)]$$

$$y = y' \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad [8.21(a)]$$

$$z = z' \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad [8.22(a)]$$

$$t = \frac{t' + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad [8.23(a)]$$

৮·৭ আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসারে সময় প্রসারণ (বা কাল দীর্ঘায়ন), দৈর্ঘ্য সংকোচন ও ভর বৃদ্ধি

Time dilation, length contraction and increase of mass according to the theory of relativity

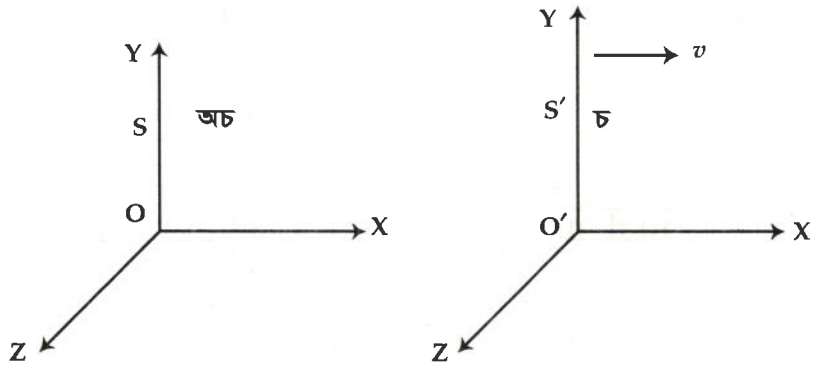
৮·৭·১ আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসারে সময় প্রসারণ

Time dilation according to the theory of relativity

কোনো জড় বা স্থির কাঠামোতে সংঘটিত ঘটনা উক্ত কাঠামো সাপেক্ষে গতিশীল অন্য কোনো কাঠামো থেকে লক্ষ করলে দেখা যাবে ঘটনার সময় ব্যবধান বৃদ্ধি পেয়েছে। এ বিষয়টিকে সময় প্রসারণ বা কাল দীর্ঘায়ন বলে।

বুঝার সুবিধার্থে ধরা যাক মহাশূন্যে অবস্থানকারী কোনো ব্যক্তি মহাশূন্যযানে একটি ঘটনা t_0 সময় ধরে পর্যবেক্ষণ করলেন। ভূপৃষ্ঠ থেকে কোনো ব্যক্তি ওই একই ঘটনা t সময় ধরে পর্যবেক্ষণ করলেন। তাহলে দেখা যাবে যে, সময় t, সময় t_0 অপেক্ষা দীর্ঘতম হবে।

ব্যাখ্যা : মনে করি S এবং S′ দুটি কাঠামো। এদের মধ্যে S স্থির কাঠামো। একে **অচ**-কাঠামো বলি। অপরটি S′



চিত্র ৮·৬

কাঠামো যা v বেগে + ve X অক্ষের দিকে S কাঠামো সাপেক্ষে গতিশীল। একে **চ**-কাঠামো বলি।

ধরি **চ**-কাঠামোর x' বিন্দুতে একটি ঘড়ি রয়েছে। উক্ত কাঠামোতে স্থিতিশীল একজন পর্যবেক্ষক কোনো ঘটনার সময় t'_1 নির্ণয় করলেন। **অচ**-কাঠামোর একজন পর্যবেক্ষক v বেগে গতিশীল হওয়ায় ওই ঘটনার সময় t_1 নির্ণয় করলেন। এখন লরেঞ্জ-এর বিপরীত রূপান্তর সমীকরণ অনুসারে (Lorentz's inverse transformation)

$$t_1 = \frac{t_1' + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.24)$$

এখন t_0 সময় পর **চ**-কাঠামোর পর্যবেক্ষক দেখতে পাবে তাঁর ঘড়ি অনুসারে সময় t_2'; অর্থাৎ $t_0 = t_2' - t_1'$

কিন্তু **অচ**-কাঠামোর পর্যবেক্ষকের মতে তাঁর ঘড়ি অনুসারে সময় হলো t_2 এবং

$$t_2 = \frac{t_2' + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.25)$$

সুতরাং এই পর্যবেক্ষকের কাছে ঘটনার সময় কাল

$$t = t_2 - t_1 = \frac{t_2' - t_1'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

$$\therefore \quad t_0 = t\sqrt{1 - v^2/c^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.26)$$

সমীকরণ (8.26) হতে প্রমাণিত হয় যে $t > t_0$, অর্থাৎ গতিশীল কাঠামোতে সময় দীর্ঘ হয়। একে সময় প্রসারণ বলে।

সিদ্ধান্ত : গতিশীল অবস্থায় থাকা ঘড়ি নিশ্চল অবস্থায় থাকা ঘড়ির চেয়ে ধীরে চলে। অর্থাৎ গতিশীল অবস্থায় থাকা ঘড়ির সময় স্থির অবস্থায় থাকা ঘড়ির চেয়ে $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ পরিমাণ বৃদ্ধি পাবে।

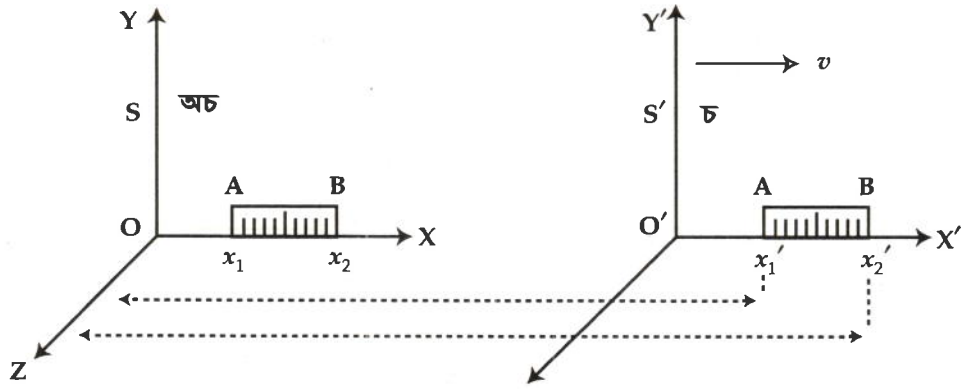
৮·৭·২ আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসারে দৈর্ঘ্য সংকোচন
Length contraction according to the theory of relativity

চিরায়ত বলবিদ্যা অনুসারে বস্তুর সাপেক্ষে পর্যবেক্ষকের বেগ বা পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে বস্তুর বেগ যাই হোক না কেন, সকল পর্যবেক্ষকের নিকট বস্তুর দৈর্ঘ্য একই থাকে। কিন্তু আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে বস্তু ও পর্যবেক্ষকের মধ্যে আপেক্ষিক বেগ থাকলে বস্তুর দৈর্ঘ্য পর্যবেক্ষকের কাছে কম বলে মনে হয়। একে দৈর্ঘ্য সংকোচন বলে।

পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে কোনো বস্তুর গতিশীল অবস্থার দৈর্ঘ্য, ওই বস্তুর স্থির অবস্থার দৈর্ঘ্যের চেয়ে ছোট হয় এবং এই প্রভাবকে দৈর্ঘ্য সংকোচন বলে।

দৈর্ঘ্য সঙ্কোচন নির্ণয় : আমরা জানি কোনো একটি বস্তুর দুই প্রান্তের মধ্যবর্তী দূরত্বই তার দৈর্ঘ্য। এখন দুটি কাঠামো বিবেচনা করি। একটি S কাঠামো, অপরটি S′ কাঠামো [চিত্র ৮·৭]। এখানে S কাঠামো স্থির। একে **অচ** দিয়ে সূচিত করি এবং S′ গতিশীল কাঠামো। একে **চ** দিয়ে সূচিত করি। স্থির অবস্থায় AB দণ্ড বিবেচনা করি।

মনে করি **অচ** কাঠামোর X অক্ষ বরাবর একটি দণ্ড শায়িত আছে। এই কাঠামোর কোনো পর্যবেক্ষক যেকোনো সময়ে দুই প্রান্তের স্থানাঙ্ক নির্ণয় করল x_1 এবং x_2। তার মতে দণ্ডটির দৈর্ঘ্য $L_0 = (x_2 - x_1)$। এই দৈর্ঘ্য দণ্ডের প্রকৃত



চিত্র ৮·৭

এবং স্বকীয় দৈর্ঘ্য অর্থাৎ পর্যবেক্ষক সাপেক্ষে স্থির অবস্থায় প্রাপ্ত দৈর্ঘ্য। চ-কাঠামো **অচ**-কাঠামোর সাপেক্ষে v বেগে গতিশীল এবং এই কাঠামোর একজন পর্যবেক্ষক একই সময়ে দণ্ডের প্রান্ত দুটির স্থানাঙ্ক নির্ণয় করলেন x_1' এবং x_2'। সুতরাং তাঁর মাপে দণ্ডের দৈর্ঘ্য, $L = (x_2' - x_1')$।

অতএব লরেঞ্জ-এর বিপরীত রূপান্তর সমীকরণ অনুসারে

$$x_2 = \frac{x_2' + vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.27)$$

$$x_1 = \frac{x_1' + vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.28)$$

এখন সমীকরণ (8.27) হতে (8.28)-কে বিয়োগ করে পাই,

$$x_2 - x_1 = \frac{x_2' - x_1'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.29)$$

আবার, $L_0 = \frac{L}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ ... ... (8.30)

বা, $L = L_0\sqrt{1 - v^2/c^2}$ ... ... (8.31)

DAT(21-22) সমীকরণ (8.31) হতে প্রমাণিত হয় যে, $L_0 > L$ অর্থাৎ কোনো দণ্ডের গতিশীল দৈর্ঘ্য দণ্ডটির নিশ্চল অবস্থার দৈর্ঘ্যের চেয়ে ছোট হবে। এই ঘটনাকে বলা হয় লরেঞ্জ ফিটজেরাল্ড সংকোচন (Lorents-Fitz Gerald contraction)।

অতএব S কাঠামোর কোনো পর্যবেক্ষকের নিকট S′ কাঠামোতে দণ্ডের দৈর্ঘ্য $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ পরিমাণ ছোট মনে হবে।

গাণিতিক উদাহরণ ৮.১

১। একটি কাল্পনিক ট্রেন কত দ্রুতিতে চললে এর চলমান দৈর্ঘ্য নিশ্চল দৈর্ঘ্যের এক-তৃতীয়াংশ হবে?

[কু. বো. ২০১১; য. বো. ২০০৮, ২০০১; Admission Test : BSMRSTU 2018-19 (মান ভিন্ন); BSMRMU 2021-22; DU 2020-21 (মান ভিন্ন); KUET 2011-12 (মান ভিন্ন)]

এখানে,
কাল্পনিক ট্রেনের প্রকৃত দৈর্ঘ্য $= L_0$
কাল্পনিক ট্রেনের চলমান দৈর্ঘ্য $= L$
$\frac{L}{L_0} = \frac{1}{3}$
$c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$
$v = ?$

আমরা জানি,

$$L = L_0\sqrt{1 - v^2/c^2}$$

বা, $\frac{L}{L_0} = \sqrt{1 - v^2/c^2}$

প্রশ্নানুসারে, $\frac{1}{3} = \sqrt{1 - v^2/c^2}$

বা, $\frac{1}{9} = 1 - v^2/c^2$

বা, $\frac{v^2}{c^2} = 1 - \frac{1}{9} = \frac{8}{9}$

বা, $v^2 = \frac{8}{9}c^2$

$\therefore\ v = \sqrt{\frac{8}{9} \times c^2} = \sqrt{\frac{8}{9} \times (3 \times 10^8)^2}$

$= \sqrt{\frac{8}{9} \times 9 \times 10^{16}} = 2{\cdot}83 \times 10^8\ ms^{-1}$

২। ভূপৃষ্ঠের একটি রকেটের দৈর্ঘ্য 100 m। রকেটটি ভূপৃষ্ঠের কোনো স্থির পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে চলতে থাকলে এর দৈর্ঘ্য 99·5 m মনে হয়। রকেটটির গতি নির্ণয় কর।

[রা. বো. ২০০১; Admission Test : CKRUET 2021-22 (মান ভিন্ন); KUET 2015-16 (মান ভিন্ন)]

এখানে,
$L_0 = 100\ m$
$L = 99{\cdot}5\ m$
$c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$

আমরা জানি,

$$L_0 = \frac{L}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$\therefore\ 100 = \frac{99{\cdot}5}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

বা, $100 \times 100 = \frac{99{\cdot}5 \times 99{\cdot}5}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

বা, $1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{99{\cdot}5 \times 99{\cdot}5}{100 \times 100} = 0{\cdot}990025$

বা, $\frac{v^2}{c^2} = 1 - 0{\cdot}990025 = 9{\cdot}975 \times 10^{-3}$

বা, $\frac{v}{c} = 0{\cdot}0998$

$\therefore\ v = 0{\cdot}0998\,c = 0{\cdot}0998 \times 3 \times 10^8 = 29{\cdot}96 \times 10^6\ ms^{-1}$

৩। একজন মহাশূন্যচারী 25 বছর বয়সে $2{\cdot}6 \times 10^8$ ms^{-1} বেগে গতিশীল একটি মহাশূন্যযানে চড়ে ভ্রমণে বের হলেন। 40 বছর পর (ভূপৃষ্ঠের সময় গণনায়) তিনি পৃথিবীতে ফিরে এলেন। মহাশূন্যচারীর কাছে তাঁর বয়স তখন কত হবে? [চ. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); ব. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); ম. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); Admission Test : JKKNIU 2019-20 (মান ভিন্ন); RUET 2012-13 (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি,

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

বা, $t_0 = t\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

$\therefore t_0 = 40 \times \sqrt{1 - \frac{(2{\cdot}6 \times 10^8)^2}{(3 \times 10^8)^2}}$

$= 40 \times \sqrt{0{\cdot}24} = 40 \times 0{\cdot}499$

$= 19{\cdot}955 \simeq 20$ y

এখানে,

ভূপৃষ্ঠ হতে পরিমাপ্য সময় ব্যবধান

$t = 40$ বছর

মহাশূন্যযানের দ্রুতি, $v = 2{\cdot}6 \times 10^8$ ms^{-1}

আলোর দ্রুতি, $c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

মহাশূন্যে মহাশূন্যচারীর বয়স বৃদ্ধি, $t_0 = ?$

$\therefore$ মহাশূন্যচারীর বয়স হবে, 25 y + 20 y = 45 y

৪। একটি মহাশূন্যযান কত দ্রুত ভ্রমণ করলে মহাশূন্যে 1 দিন অতিবাহিত হলে পৃথিবীতে 2 দিন অতিবাহিত হওয়ার সমান হবে? [Admission Test : KUET 2017-18, 2005–06; RUET 2012–13; RU-C 2021-22 (মান ভিন্ন); BSMRSTU 2019-20]

আমরা জানি,

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

বা, $2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

বা, $\frac{1}{2} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

$\therefore \frac{1}{4} = 1 - \frac{v^2}{c^2}$

$\frac{v^2}{c^2} = \frac{3}{4}$

$\therefore v = \frac{\sqrt{3}}{2}c = 0{\cdot}866 \times 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} = 2{\cdot}598 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

৫। একজন লোকের ভর 99 kg। কত বেগের উড়ন্ত রকেটে থাকাকালীন মাটিতে অবস্থিত একজন পর্যবেক্ষকের নিকট তার ভর 100 kg হবে? [দি. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); ম. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); CUET Admission Test, 2003–04]

আমরা জানি,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

বা, $1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{m_0^2}{m^2}$

বা, $\frac{m^2 - m_0^2}{m^2} = \frac{v^2}{c^2}$

বা, $v^2 = \left(\frac{m^2 - m_0^2}{m^2}\right) \times c^2$

$= \left(\frac{100^2 - 99^2}{100^2}\right) \times 9 \times 10^{16}$

$\therefore v = 4{\cdot}23 \times 10^7$ ms^{-1}

৬। একজন মহিলা 30 বছর বয়সে 10 বছরের একটি কন্যাকে রেখে $0{\cdot}98\,c$ বেগে গতিশীল একটি মহাশূন্যযানে চড়ে মহাকাশ ভ্রমণে গেলেন। পৃথিবীর হিসেবে তিনি 30 বছর সময় মহাকাশে কাটিয়ে ফিরে এলেন। ফেরার পর তাদের কার বয়স কত হবে ? [KUET Admission Test, 2019-20]

আমরা জানি,

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

বা, $t_0 = t \times \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$

$$= 30 \times \sqrt{1-\left(\frac{0{\cdot}98\,c}{c}\right)^2}$$

$$= 5{\cdot}97 \text{ y}$$

এখানে,

$t = 30$ y

$v = 0{\cdot}98\,c$

$t_0 = ?$

সুতরাং কন্যার বয়স $= 10 + t = 10 + 30 = 40$ y

মহিলার বয়স $= 30 + t_0 = 30 + 5{\cdot}97 = 35{\cdot}97$ y

৭। স্থির অবস্থায় একটি কণার ভর 10^{-30} kg। যদি কণাটি একটা নির্দিষ্ট বেগ নিয়ে গতিশীল হয় তবে তার ভর হয় $1{\cdot}25 \times 10^{-30}$ kg। কণাটির বেগ কত ? [BUET Admission Test, 2014-15]

আমরা জানি,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

বা, $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = \frac{m_0}{m}$

বা, $1-\frac{v^2}{c^2} = \left(\frac{m_0}{m}\right)^2$

বা, $\frac{v^2}{c^2} = 1-\left(\frac{m_0}{m}\right)^2$

বা, $v = c\sqrt{1-\left(\frac{m_0}{m}\right)^2}$

$$= 3 \times 10^8 \times \sqrt{1-\left(\frac{10^{-30}}{1{\cdot}25 \times 10^{-30}}\right)^2}$$

$$= 1{\cdot}8 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

এখানে,

$m_0 = 10^{-30}$ kg

$m = 1{\cdot}25 \times 10^{-30}$ kg

$v = ?$

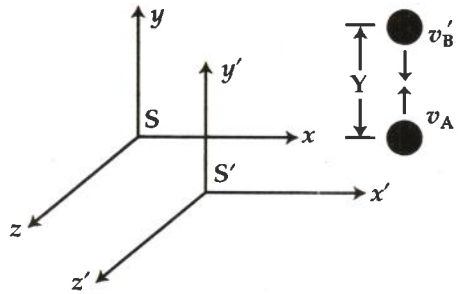
৮·৭·৩ ভর বৃদ্ধি (আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসারে)
Increase of mass (according to the theory of relativity)

নিউটনীয় বলবিদ্যায় আমরা জেনেছি বস্তুর ভর ধ্রুব রাশি। স্থান, কাল ও গতির পরিবর্তনের ওপর এটি নির্ভরশীল নয়। কিন্তু আইনস্টাইনের আপেক্ষিক তত্ত্বের মতে দৈর্ঘ্য ও সময়ের মতো বস্তুর ভরও গতিশীলতার ওপর নির্ভরশীল। **আপেক্ষিক তত্ত্বানুসারে বস্তুর বেগের সাথে ভর বৃদ্ধি পায়। এ ঘটনাকে ভরের আপেক্ষিকতা বলে।**

ব্যাখ্যা : মনে করি S এবং S′ দুটি জড় প্রসঙ্গ কাঠামো। S′ কাঠামোটি X-অক্ষের অভিমুখে S কাঠামোর সাপেক্ষে v বেগে গতিশীল [চিত্র ৮·৮]। কাঠামোগুলোতে অবস্থিত দু'জন পর্যবেক্ষক দুটি কণা A ও B এর স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ পর্যবেক্ষণ করছেন [চিত্র ৮·৯]। [উল্লেখ্য, স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষে গতিশক্তি সংরক্ষিত থাকে]। কণা দুটির ভর সমান।

ধরি সংঘর্ষের পূর্বে A কণাটি S কাঠামোতে এবং B কণাটি S′ কাঠামোতে স্থির অবস্থায় রয়েছে। একই মুহূর্তে A কণাটি v_A বেগে +Y অক্ষের দিকে এবং B কণাটি v_B' বেগে −Y′ অক্ষের দিকে নিক্ষেপ করা হলো [চিত্র ৮·৮]। এখানে

$v_A = v_B'$। সুতরাং, S′ কাঠামোতে A কণার আচরণ S′ প্রসঙ্গ কাঠামোতে B কণার আচরণ অভিন্ন। সংঘর্ষের পর A কণাটি —Y-অক্ষের দিকে v_A বেগে এবং B কণাটি +Y′-অক্ষের দিকে v_B বেগে ফিরে আসে। নিক্ষেপের মুহূর্তে কণা



চিত্র ৮·৮

চিত্র ৮·৯

দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব y হলে উভয় পর্যবেক্ষক দেখবেন যে সংঘর্ষটি $\frac{1}{2}y$ দূরে সংঘটিত হচ্ছে। সুতরাং **অচ**-কাঠামোতে A-এর মোট যাতায়াতের সময়,

$$t_0 = \frac{y}{v_A} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.32)$$

এবং **চ**-কাঠামোতে B-এর যাতায়াতের সময় একই থাকবে অর্থাৎ

$$t_0 = \frac{y}{v_B'} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.33)$$

অচ-কাঠামোতে ভরবেগ সংরক্ষিত হলে,

$$m_A v_A = m_B v_B \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.34)$$

এখানে m_A ও m_B এবং v_A ও v_B **অচ**-কাঠামোতে যথাক্রমে A ও B কণার ভর ও বেগ।

অচ-কাঠামোতে B-এর ভ্রমণকাল t হলে,

$$t = \frac{y}{v_B}, \text{ বা, } v_B = \frac{y}{t} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.35)$$

যদিও উভয় পর্যবেক্ষকই একই ঘটনা নিজ নিজ কাঠামোতে পর্যবেক্ষণ করছেন, তবুও ঘটনার সময়ের পরিমাণ সম্বন্ধে একমত হতে পারছেন না।

কিন্তু **চ**-কাঠামোতে B-এর ভ্রমণকাল t_0 হলে কাল দীর্ঘায়ন নীতি হতে t এবং t_0 এর মধ্য হতে আমরা যে সম্পর্ক পাই তা হলো, $t = \dfrac{t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$

এখন সমীকরণ (8.35)-এ t-এর মান বসিয়ে পাই,

$$v_B = \frac{y}{\dfrac{t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}} = y\sqrt{1 - v^2/c^2}/t_0$$

এবং সমীকরণ (8.32) হতে পাই,

$$v_A = \frac{y}{t_0}$$

∴ ভরবেগের সংরক্ষণ সমীকরণ (8.34)-এ v_A ও v_B-এর মান বসিয়ে পাই,

$$m_A \frac{y}{t_0} = m_B \frac{y\sqrt{1 - v^2/c^2}}{t_0}$$

$$\therefore \quad m_A = m_B\sqrt{1 - v^2/c^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.36)$$

সুতরাং, সমীকরণ (8.36) হতে প্রমাণিত হয় যে,

শুরুতে আমরা ধরে নিলাম যে কণাদ্বয় একইরূপ (identical), এদের ভর সমান। কিন্তু সমীকরণ (8.36) থেকে দেখা যায়, তা সঠিক নয়। অর্থাৎ $m_A \neq m_B$। এর অর্থ হলো, স্থান ও সময়ের অনুরূপ ভরের পরিমাপও পর্যবেক্ষক ও পর্যবেক্ষণীয় বস্তুর আপেক্ষিক গতির উপরে নির্ভরশীল।

উপরের দৃষ্টান্তে A ও B কণাদ্বয় একই প্রসঙ্গ কাঠামো S-এ গতিশীল। এখন একটি বস্তুর গতিশীল অবস্থায় ভর এবং ওই বস্তুর নিশ্চল বা স্থির অবস্থার ভর সম্পর্কীয় সূত্র প্রাপ্তির জন্য ওপরের দৃষ্টান্তের অনুরূপ দৃষ্টান্ত বিবেচনা করা যেতে পারে। এক্ষেত্রে v_A এবং v_B' খুব কম মানের হলে S বা **অচ**-কাঠামো একজন পর্যবেক্ষক দেখবেন যে A স্থির রয়েছে এবং B, A এর দিকে v বেগে অগ্রসর হয়ে মুহূর্তের মধ্যে তির্যকভাবে সংঘর্ষ ঘটিয়ে দ্রুত সামনের দিকে অগ্রসর হচ্ছে।

∴ S (**অচ**)-কাঠামোতে $m_A = m_0$ =কণার স্থির অবস্থায় ভর এবং $m_B = m$ ধরা হলে, সমীকরণ (8.36) হতে পাই,

$m_0 = m\sqrt{1 - v^2/c^2}$, m_0 = স্থির অবস্থার ভর, m = চলমান অবস্থার ভর।

বা, $$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.37)$$

এখানে $\beta^2 = v^2/c^2$

আবার, গতিশীল S′ বা **চ**-কাঠামোর একজন পর্যবেক্ষক বিপরীত ক্রিয়া লক্ষ করবেন। তিনি দেখবেন, B স্থির রয়েছে এবং A বস্তুটি B এর দিকে v বেগে অগ্রসর হয়ে মুহূর্তের মধ্যে তির্যক স্তরে সংঘর্ষ ঘটিয়ে সামনের দিকে এগিয়ে চলেছে। S এবং S′ কাঠামো থেকে সংঘর্ষ ক্রিয়াটি পর্যবেক্ষণ করলে কীরূপ দেখা যাবে, তা চিত্র ৮·৯-এ দেখানো হয়েছে।

উপরোক্ত সমীকরণ (8.37) হতে প্রমাণিত হয় যে গতিশীল কোনো বস্তুর ভর ওই বস্তুর নিশ্চল ভরের চেয়ে বেশি। অর্থাৎ **বেগের সাথে বস্তুর ভরবৃদ্ধি ঘটে।** DAT(21-22)

কাজ : আপেক্ষিক তত্ত্বের সাহায্যে দেখাও যে, কোনো বস্তুর বেগ আলোর বেগের সমান হতে পারে না। [চ. বো. ২০১৯]

Hints : ভরের আপেক্ষিকতা থেকে আমরা জানি, $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$

$v = c$ হলে, $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{c^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\sqrt{1-1}} = \frac{m_0}{0} = \infty$ হয়, যা অসম্ভব। তাই বস্তুর বেগ আলোর বেগের সমান বা বেশি হতে পারে না। অন্যভাবে বলা যায় **একটি বস্তু আলোর বেগে ধাবিত হয়ে তার ভর অসীম হয়।** MAT(20-21)

গাণিতিক উদাহরণ ৮.২

১। একটি ইলেকট্রন 0·99c দ্রুতিতে গতিশীল হলে এর চলমান ভর কত?

[রা. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০১১; য. বো. ২০০৮, ২০০৭, ২০০৪; Admission Test : BUET 2021-22 (মান ভিন্ন); KU 2017-18; SUST 2016-17]

আমরা জানি,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{9{\cdot}1 \times 10^{-31}}{\sqrt{1 - \frac{(0{\cdot}99)^2 c^2}{c^2}}}$$

$$= \frac{9{\cdot}1 \times 10^{-31}}{\sqrt{1 - 0{\cdot}9801}} = \frac{9{\cdot}1 \times 10^{-31}}{0{\cdot}1410}$$

$$= 6{\cdot}45 \times 10^{-30}\text{kg}$$

এখানে,

$m_0 = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$kg
$v = 0{\cdot}99\,c$
$m = ?$

৮·৮ ভর-শক্তি সম্পর্ক
Mass-energy relation

আইনস্টাইন-এর ভর-শক্তি সম্পর্ক হলো **পদার্থবিজ্ঞানের কালজয়ী সূত্র।** আইনস্টাইন আপেক্ষিকতার সাহায্যে এই বিখ্যাত সম্পর্ক নির্ণয় করেন। এই সূত্রকে **ভর-শক্তি রূপান্তরের সূত্রও** বলে। নিউটনের দ্বিতীয় গতি সূত্র হতে আমরা জানি ভরবেগের পরিবর্তনের হারকে **বল** বলে। অতএব,

$$F = \frac{d}{dt}(mv) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.38)$$

আপেক্ষিক তত্ত্ব হতে আমরা জানি ভর এবং বেগ উভয়ই পরিবর্তনশীল।

$$\therefore \quad F = \frac{d}{dt}(mv) = m\frac{dv}{dt} + v\frac{dm}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.39)$$

মনে করি বল F বস্তুর dx সরণ ঘটায়। অতএব কৃত কাজ $= F \,.\, dx$। এই কাজ বস্তুটির গতিশক্তি বৃদ্ধির সমান।

$$\therefore \quad dE_k = F.\,dx = \left(m\frac{dv}{dt} + v\frac{dm}{dt}\right).\,dx$$

$$= m.\frac{dv}{dt}.\,dx + v.\frac{dm}{dt}.\,dx$$

$$= mv.\,dv + v^2\,dm \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.40)$$

$$\left[\because \frac{dx}{dt} = v\right]$$

এখন ভর ও বেগের সম্পর্ক হতে পাই,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.41)$$

উভয় পার্শ্বকে বর্গ করে পাই,

$$m^2 = \frac{m_0^2}{1 - v^2/c^2}$$

বা, $$m^2 = \frac{m_0^2 c^2}{c^2 - v^2}$$

বা, $$m^2c^2 - m^2v^2 = m_0^2c^2$$

বা, $$m^2c^2 = m^2{}_0c^2 + m^2v^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.42)$$

উভয় পার্শ্বকে অন্তরীকরণ বা অবকলন করে পাই,

$$2m.\,dm\,c^2 = 2m\,dm\,v^2 + 2v.\,dv\,m^2$$

বা, $$dm.\,c^2 = (mv.\,dv + v^2.\,dm) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.43)$$

এখন সমীকরণ (8.40) এবং (8.43) হতে পাই,

$$dmc^2 = dE_k$$

বা, $$dE_k = dmc^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.44)$$

উক্ত সমীকরণ হতে প্রমাণিত হয় যে গতিশক্তির পরিবর্তন ভরের পরিবর্তনের সমানুপাতিক

অর্থাৎ $dE_k \propto dm$

বস্তু যদি স্থির থাকে, তবে $v = 0$ এবং K. E. $= 0$

এমতাবস্থায় $m = m_0$। কিন্তু বস্তুর বেগ যখন v হয়, তখন ভরের মান হয় m

অতএব সমীকরণ (8.44)-কে সমাকলন করে পাই,

$$\int_0^{E_k} dE_k = \int_{m_0}^{m} dm.\,c^2$$

বা, $$E_k = c^2\int_{m_0}^{m} dm$$

বা, $$E_k = c^2\Big[\,m\,\Big]_{m_0}^{m}$$

বা, $$E_k = c^2\,[\,m - m_0\,]$$

বা, $$E_k = mc^2 - m_0c^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.45)$$

এটিই হলো আপেক্ষিকতার গতিশক্তির সমীকরণ।

বস্তু যদি স্থিতিশীল অবস্থায় থাকে, তবে তার মধ্যে যে শক্তি সঞ্চিত থাকে, তাকে **স্থির ভর শক্তি** (Rest mass energy) বলে এবং এর পরিমাণ $= m_0c^2$

$\therefore$ বস্তুর মোট শক্তি

E = গতিশক্তি + স্থির ভর শক্তি

বা, $E = E_k + m_0 c^2$

বা, $E = mc^2 - m_0c^2 + m_0c^2$

বা, $E = mc^2$ MAT(16-17) ... ... (8.46)

এটিই হলো বিজ্ঞানী আইনস্টাইন-এর ভর-শক্তি সমীকরণ।

স্থির ভর (Rest mass) : আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে বস্তুর ভর বেগের সাথে পরিবর্তিত হয়। গতিবেগ আলোর বেগের কাছাকাছি হলে ভর উল্লেখযোগ্যভাবে বৃদ্ধি পায়। এজন্যই বস্তুর নিজস্ব ধর্ম হিসেবে ভরের উল্লেখ করতে হবে। স্থির অবস্থায় তার ভর নিতে হয়। একেই বস্তুর স্থির ভর বলা হয়। অর্থাৎ একটি বস্তুর স্থির অবস্থার ভরই হলো এর স্থির ভর।

৮.৮.১ পারমাণবিক ভর একক
Atomic mass unit or amu

একটি পরমাণুর ভর খুবই নগণ্য। তাই পরমাণুর প্রকৃত ভর বিবেচনা করা হয় না। নিউক্লীয় পদার্থবিজ্ঞানে ভরের প্রচলিত একক হলো **পারমাণবিক ভর একক** (amu)। 1960 সাল থেকে ${}_6C^{12}$ মৌলকে প্রমাণ মৌল ধরে এর সাহায্যে অন্য সকল মৌলের ভর নির্ণয় করা হয়।

এক পারমাণবিক ভর (1 amu) বলতে ${}_6C^{12}$ পরমাণুর ভরের $\frac{1}{12}$ অংশ বুঝায়।

$1 \text{ amu} = 1.66377 \times 10^{-27} \text{ kg}$

নিউট্রন, প্রোটন প্রভৃতি কণার ভর amu এককে প্রকাশ করা যায়। এই এককে প্রোটন ও নিউট্রনের ভর যথাক্রমে 1.007277 amu ও 1.008665 amu

1 amu ভরের সমতুল্য শক্তি $= \frac{1.66377 \times 10^{-27} \times (2.998 \times 10^8)^2}{1.6022 \times 10^{-19}}$

$= 933.3 \times 10^6 \, eV \simeq 933 \, MeV$

৮.৮.২ ভর-শক্তির সংরক্ষণ সূত্র
Law of conservation of mass-energy

পদার্থ ও শক্তির যখন পারস্পরিক রূপান্তর ঘটে, তখন আলাদাভাবে ভরের সংরক্ষণ সূত্র এবং শক্তির সংরক্ষণ সূত্র প্রয়োগ করা যায় না। তখন ভর-শক্তির সংরক্ষণ সূত্রের প্রকাশ ঘটে।

সংজ্ঞা : প্রকৃতিতে ভর ও শক্তির মোট পরিমাণ ধ্রুবক থাকে। এদের মধ্যে বিভিন্ন ধরনের রূপান্তর সম্ভব; কিন্তু কখনই ভর-শক্তির সৃষ্টি বা বিনাশ হয় না। শুধুমাত্র পরমাণুর অভ্যন্তরে ভর শক্তিতে রূপান্তরিত হতে পারে। বেশি শক্তিসম্পন্ন (কয়েক MeV বা তারও বেশি) গামা রশ্মি ভারি নিউক্লিয়াসের পাশ দিয়ে যাওয়ার সময় তা একটি ইলেকট্রন ও একটি পজিট্রনে পরিণত হয়। শক্তির ভরে রূপান্তরের এটি একটি উদাহরণ।

গাণিতিক উদাহরণ ৮.৩

১। একটি ইলেকট্রনের নিশ্চল ভর 9.028×10^{-31} kg। এর শক্তি সমতুল নির্ণয় কর। ইলেকট্রন ভোল্ট (eV)-এ মান কত হবে ? [ঢা. বো. ২০১১; কু. বো. ২০০৩; রা. বো. ২০০১]

ধরি সমতুল শক্তি = E

আমরা পাই, $E = m_0c^2$

এখানে, $m_0 = 9.028 \times 10^{-31}$ kg, $c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

$\therefore$ শক্তি সমতুল, $E = 9.028 \times 10^{-31} \text{ kg} \times (3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})^2$

$= 8.125 \times 10^{-14}$ J $= \frac{8.125 \times 10^{-14}}{1.6 \times 10^{-19}} eV$

$= 5.078 \times 10^5 \, eV = 0.5078 \, MeV$

২। একটি ইলেকট্রন (নিশ্চল ভর $9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg) আলোর দ্রুতির 90% দ্রুতিতে চলছে। আইনস্টাইনের আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে ইলেকট্রনের গতিশক্তি নির্ণয় কর।

[রা. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); দি. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); কু. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); BUET Admission Test, 2017–18]

আমরা জানি,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{9{\cdot}1 \times 10^{-31}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0{\cdot}9\,c}{c}\right)^2}} = 2{\cdot}09 \times 10^{-30}\ \text{kg}$$

গতিশক্তি, $E_k = (m - m_0)c^2$

$= (2{\cdot}09 \times 10^{-30} - 9{\cdot}1 \times 10^{-31}) \times (3 \times 10^8)^2$

$= 1{\cdot}062 \times 10^{-13}$ J

৩। (ক) $1{\cdot}6 \times 10^6$ eV গতিশক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রনের ভর কত ? [রা. বো. ২০০২]

(খ) 12 a. m. u. ভরের সমতুল্য শক্তি (i) eV, (ii) MeV এককে প্রকাশ কর।

[রা. বো. ২০১০; ঢা. বো. ২০০৬; সি. বো. ২০০৬; Admission Test : JUST 2017-18 (মান ভিন্ন); SyAU 2018-19 (মান ভিন্ন)]

(ক) আমরা জানি,

$E_k = (m - m_0)\,c^2$

$\therefore\ 1{\cdot}6 \times 10^6 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} = (m - 9{\cdot}1 \times 10^{-31})\,(3 \times 10^8)^2$

বা, $37{\cdot}54 \times 10^{-31} = m$

$\therefore\ m = 37{\cdot}54 \times 10^{-31}$ kg

এখানে,

$E_k = 1{\cdot}6 \times 10^6\ eV$

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

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

$m_0 = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg

$m = ?$

(খ) আমরা জানি,

(i) $E = mc^2$

$= 12 \times 1{\cdot}66057 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2$

$= 179{\cdot}34 \times 10^{-11}$ J $= 17{\cdot}934 \times 10^{-10}$ J

$= \frac{17{\cdot}934 \times 10^{-10}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}}\ eV = 11{\cdot}2 \times 10^9\ eV$

এখানে,

$m = 12$ a. m. u.

$= 12 \times 1{\cdot}66057 \times 10^{-27}$ kg

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

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

(ii) $1\ MeV = 10^6\ eV$

$\therefore\ E = \frac{11{\cdot}2 \times 10^9}{10^6} = 11{\cdot}2 \times 10^3\ MeV$

৪। একটি বস্তুকণার মোট শক্তি এর স্থির অবস্থার শক্তির দ্বিগুণ। কণাটির দ্রুতি কত?

[কু. বো. ২০২৩, ২০০৩, ২০০০; ঢা. বো. ২০১১; চ. বো. ২০১০, ২০০২; য. বো. ২০০৯; দি. বো. ২০০৯; সি. বো. ২০০৮; রা. বো. ২০০৬; ব. বো. ২০০৪; Admission Test : BAU 2018-19; BSMRSTU 2015-16; SAU 2017-18, 2014-15; DU-A 2021-22]

প্রশ্নানুসারে, $mc^2 = 2m_0c^2$

বা, $\frac{m}{m_0} = 2$

আবার, $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ বা, $\frac{m}{m_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

বা, $2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ বা, $4 = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

বা, $1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{4}$ বা, $\frac{v^2}{c^2} = 1 - \frac{1}{4}$

বা, $\frac{v^2}{c^2} = \frac{3}{4}$ বা, $\frac{v^2}{c^2} = 0{\cdot}75$

$\therefore\ \frac{v}{c} = 0{\cdot}866$ বা, $v = 0{\cdot}866 \times 3 \times 10^8 = 2{\cdot}598 \times 10^8\ \text{ms}^{-1}$

৮·৯ মৌলিক বল
Fundamental forces

মনে করি টেবিলের ওপর একটি বই আছে। বইটিকে নড়াবার জন্য হাত দিয়ে বইটির ওপর **'কোনো কিছু'** (something) প্রয়োগ করি। একটি ফুটবল গোলরক্ষকের দিকে ছুটে আসছে। গোলরক্ষক হাত দিয়ে ফুটবলের ওপর **'কোনো কিছু'** প্রয়োগ করে ফুটবলকে থামিয়ে দিল। বইটিকে গতিশীল বা ফুটবলটি থামাবার জন্য এই যে **'কোনো কিছু'** প্রয়োগ করা হলো এর নাম **বল** (Force)।

প্রকৃতিতে আমরা বিভিন্ন ধরনের বলের সঙ্গে পরিচিত হলেও এবং এদের বিভিন্ন নামকরণ থাকলেও সব বল কিন্তু মৌলিক বল নয়। **যেসব বল মূল বা অকৃত্রিম অর্থাৎ অন্য কোনো বল থেকে উৎপন্ন হয় না বরং অন্যান্য বল এ সব বলের প্রকাশ তাকে মৌলিক বল বলে।**

MAT(21-22)
DAT(21-22)

মৌলিক বলের ধরন
Kinds of Fundamental forces

মৌলিকতা অনুসারে প্রকৃতিতে চার ধরনের বল আছে। অন্য যেকোনো ধরনের বলকে এই চারটি বলের যে কোনো একটি বা একাধিক বল দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়। মৌলিক বলগুলো হলো :

১। মহাকর্ষ বল (Gravitational force)
২। তড়িৎ-চুম্বকীয় বল (Electromagnetic force)
৩। সবল নিউক্লীয় বল (Strong nuclear force)
৪। দুর্বল নিউক্লীয় বল (Weak nuclear force)

১। মহাকর্ষ বল : ভরের কারণে মহাবিশ্বের যেকোনো দুটি বস্তুর মধ্যকার পারস্পরিক আকর্ষণ বলকে মহাকর্ষ বল বলে। অর্থাৎ মহাবিশ্বের যেকোনো দুটি বস্তুর মধ্যে এক ধরনের আকর্ষণ বল ক্রিয়াশীল রয়েছে। এই আকর্ষণ বলকে মহাকর্ষ বল বলা হয়। এই বলের পরিমাণ ক্রিয়াশীল বস্তু দুটির ভরের গুণফলের সমানুপাতিক এবং বস্তুদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। বিজ্ঞানীরা ধারণা করেন যে বস্তুদ্বয়ের মধ্যে এক প্রকার কণার পারস্পরিক বিনিময়ের দ্বারা এই মহাকর্ষ বল ক্রিয়াশীল হয়। এই ধরনের কণার নামকরণ করা হয়েছে গ্রাভিটন (Graviton)।

২। তড়িৎ-চুম্বকীয় বল : দুটি আহিত বা চার্জিত বস্তুর মধ্যে এবং দুটি চুম্বক পদার্থের মধ্যে এক ধরনের বল ক্রিয়াশীল থাকে। **এদেরকে যথাক্রমে কুলম্বের তড়িৎ বল এবং চৌম্বক বল বলা হয়।** তড়িৎ বল এবং চৌম্বক বল আকর্ষণ (attractive) এবং বিকর্ষণ (repulsive) উভয় ধরনের হতে পারে। তড়িৎ বল এবং চৌম্বক বল পরস্পর ঘনিষ্ঠভাবে সম্পর্কিত। বস্তুত আপেক্ষিক গতিতে পরিভ্রমণরত দুটি আহিত কণার মধ্যে ক্রিয়াশীল বলই হচ্ছে তড়িৎ-চুম্বকীয় বল। যখন তড়িৎ আধান বা চার্জগুলো গতিশীল হয়, তখন তারা চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। আবার পরিবর্তী (varying) চৌম্বক ক্ষেত্র তড়িৎ ক্ষেত্রের উৎস হিসেবে কাজ করে। বিজ্ঞানীরা ধারণা করেন ফোটন নামক ভরহীন, চার্জহীন কণার পারস্পরিক বিনিময়ের দ্বারা এই বল কার্যকর হয়। স্থিতিস্থাপক বল, আণবিক গঠন, রাসায়নিক বিক্রিয়া ইত্যাদিতে তড়িৎ-চুম্বকীয় বলের প্রকাশ ঘটে।

৩। সবল নিউক্লীয় বল : একটি পরমাণুর নিউক্লিয়াস প্রোটন ও নিউট্রন দ্বারা গঠিত। এদেরকে সমষ্টিগতভাবে বলা হয় নিউক্লিয়ন (nucleon)। **পরমাণুর নিউক্লিয়াসে নিউক্লীয় উপাদানসমূহকে একত্রে আবদ্ধ রাখে যে শক্তিশালী বল তাকে সবল নিউক্লীয় বল বলে।** নিউক্লিয়াসের মধ্যে সমধর্মী ধনাত্মক আধানযুক্ত প্রোটনগুলো খুব কাছাকাছি থাকায় এদের মধ্যে কুলম্বের বিকর্ষণ বল প্রবল হওয়া উচিত এবং নিউক্লিয়াস ভেঙ্গে যাওয়ার কথা। কিন্তু বাস্তবে অনেক নিউক্লিয়াসই স্থায়ী; কারণ নিউক্লিয়াসে বিদ্যমান নিউক্লীয় বল নিউক্লিয়াসকে ভাঙ্গতে দেয় না। নিউক্লিয়নের মধ্যে যে মাধ্যাকর্ষণ বল কাজ করে তা এত নগণ্য যে এই বল কুলম্বের বিকর্ষণ বলকে প্রতিমিত (balance) করতে পারে না। সুতরাং নিউক্লিয়াসে অবশ্যই অন্য এক ধরনের সবল বল কাজ করে যা নিউক্লিয়াসকে ধরে রাখে। এই বলকে বলা হয় **সবল নিউক্লীয় বল।** বিজ্ঞানীদের ধারণা যে নিউক্লিয়নের মধ্যে মেসন (meson) নামে এক প্রকার কণার পারস্পরিক বিনিময়ের দ্বারা এই বল ক্রিয়াশীল হয়। এই বল আকর্ষণধর্মী এবং নিউক্লিয়াসের বাইরে ক্রিয়াশীল নয়; অর্থাৎ স্বল্প পরিসরে (short range) এই বল ক্রিয়াশীল। এই বল আকর্ষণধর্মী ও চার্জ নিরপেক্ষ।

৪। দুর্বল নিউক্লীয় বল : যে স্বল্প পাল্লার ও স্বল্প মানের বল নিউক্লিয়াসের মৌলিক কণাগুলোর মধ্যে ক্রিয়া করে নিউক্লিয়াসে অস্থিতিশীলতার উদ্ভব ঘটায় তাকে দুর্বল নিউক্লীয় বল বলে। প্রকৃতিতে বেশ কিছু মৌলিক পদার্থ (elements) রয়েছে যাদের নিউক্লিয়াস স্বতঃস্ফূর্তভাবে ভেঙ্গে যায় (যেমন ইউরেনিয়াম, থোরিয়াম ইত্যাদি)। এই সমস্ত নিউক্লিয়াসকে বলা হয় তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াস। তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াস থেকে তিন ধরনের রশ্মি বা কণা নির্গত হয় যাদেরকে বলা হয় আলফা-রশ্মি (α-rays), বিটা-রশ্মি (β-rays) এবং গামা-রশ্মি (γ-rays)।

তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াস থেকে যখন বিটা কণা নির্গত হয় তখন একই সঙ্গে শক্তিও নির্গত হয়। কিন্তু পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে দেখা যায় যে, নিউক্লিয়াস থেকে যে পরিমাণ শক্তি নির্গত হয় তা বিটা কণার গতিশক্তির চেয়ে বেশি। স্বাভাবিকভাবেই বিজ্ঞানীদের মাঝে প্রশ্ন ওঠে যে β-কণা যদি শক্তির সামান্য অংশ বহন করে, তবে অবশিষ্ট শক্তি যায় কোথায় ? 1930 সালে ডব্লিউ. পাউলি (W. Pauli) প্রস্তাব করেন যে অবশিষ্ট শক্তি অন্য এক ধরনের কণা বহন করে

যা β-কণার সঙ্গেই নির্গত হয়। এই কণাকে বলা হয় নিউট্রিনো (neutrino)। এই β-কণা এবং নিউট্রিনো কণার নির্গমন চতুর্থ একটি মৌলিক বলের কারণে ঘটে যাকে বলা হয় **দুর্বল নিউক্লীয় বল**। এই বল সবল নিউক্লীয় বা তড়িৎ-চুম্বকীয় বলের তুলনায় খুবই দুর্বল। এই বলের কারণে অনেক নিউক্লিয়াসের ভাঙ্গন প্রক্রিয়া সংঘটিত হয় এবং নিউক্লিয়াস হতে β ক্ষয় হয়। বিজ্ঞানীরা ধারণা করেন **বোসন** নামক এক প্রকার কণার বিনিময়ের দ্বারা এই বল কার্যকর হয়।

৮·৯·১ মৌলিক বলসমূহের তীব্রতার তুলনা
Comparison of intensities of fundamental forces

চারটি মৌলিক বলের পরিমাপের আপেক্ষিক সবলতা তুলনা করলে দেখা যায় যে সবচেয়ে শক্তিশালী বল হচ্ছে সবল নিউক্লীয় বল এবং সবচেয়ে দুর্বল বল হলো মহাকর্ষ বল।

সবল এবং দুর্বল উভয় ধরনের নিউক্লীয় বলের ক্রিয়ার পাল্লা (range) খুবই স্বল্প পাল্লাবিশিষ্ট (short range)। এগুলো নিউক্লিয়াসের পৃষ্ঠের বাইরে ক্রিয়াশীল হয় না। পক্ষান্তরে মহাকর্ষ এবং তড়িৎ-চুম্বকীয় বলের পাল্লা প্রায় অসীম।

চারটি মৌলিক বলের আপেক্ষিক সবলতা সম্বন্ধে ধারণা লাভের জন্য নিচের সারণিটি লক্ষ কর।

সারণি ৮.১

মৌলিক বলসমূহের তুলনা

	মহাকর্ষ বল	তড়িৎ চৌম্বক বল	সবল নিউক্লীয় বল	দুর্বল নিউক্লীয় বল
পাল্লা	অসীম	অসীম	10^{-15} m	10^{-16} m
আপেক্ষিক সবলতা	1	10^{39}	10^{41}	10^{30}

৮·৯·২ বলের একীভূতকরণ
Unification of forces

চারটি মৌলিক বলের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপনের জন্য বিজ্ঞানীরা বহু বছর ধরে চেষ্টা চালিয়ে যাচ্ছেন। পূর্বে তড়িৎ বল এবং চৌম্বক বলকে স্বতন্ত্র মৌলিক বল হিসেবে বিবেচনা করা হতো। উনিশ শতকের অনেক বৈজ্ঞানিক পরীক্ষায় প্রাপ্ত ফলাফল পর্যালোচনা করলে দেখা যায় যে তড়িৎ বল এবং চৌম্বক বলের মধ্যে একটা সম্পর্ক থাকা স্বাভাবিক। জেম্‌স ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল (J. C. Maxwell) কর্তৃক আবিষ্কৃত তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্বের মাধ্যমে এই দুই বলের মধ্যে সম্পর্ক চূড়ান্তভাবে প্রতিষ্ঠিত হয়।

সালাম, ওয়াইনবার্গ এবং গ্লাসো অনেক গবেষণার মাধ্যমে বলের একীভূতকরণ তত্ত্বের অপরিসীম উন্নতি সাধন করেন। তাদের সম্মিলিত প্রচেষ্টায় দুর্বল নিউক্লীয় বল এবং তড়িৎ-চুম্বকীয় বলের মধ্যে মাত্র কয়েক বছর আগে সম্পর্ক স্থাপিত হয়েছে। MAT(20-21)

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে অতীতের তড়িৎ বল এবং চৌম্বক বল একীভূত হয়ে রূপ নিয়েছে তড়িৎ-চুম্বকীয় বলের এবং হালে দুর্বল নিউক্লীয় বল এবং তড়িৎ-চুম্বকীয় বলের একীভূত তত্ত্ব আবিষ্কৃত হয়েছে। বিজ্ঞানীদের ঐকান্তিক প্রচেষ্টার ফলে হয়ত একদিন সকল মৌলিক বলের সমন্বয়ে মহা একীভূত ক্ষেত্রতত্ত্ব (grand unified field theory) আবিষ্কৃত হবে। তা হলে বিশ্বব্রহ্মাণ্ডের সৃষ্টি রহস্যের অনেক অজানা তথ্য আবিষ্কৃত হবে।

৮·১০ মহাকাশ ভ্রমণে আপেক্ষিকতা তত্ত্ব
Theory of relativity for journey to space

কাল দীর্ঘায়নের ও দৈর্ঘ্য সংকোচনের কৌতূহলী দিক মহাকাশ ভ্রমণে ঘটে থাকে। প্রচুর দূরত্ব অন্তর্ভুক্তির কারণে এমনকি আমাদের সৌরজগতের বাইরের নিকটতম তারায় গমন করতেও অনেক সময় লাগবে। আলফা সেন্টোরাই (Alpha Centauri) আমাদের গ্যালাক্সির নিকটতম তারা যা 4·3 আলোকবর্ষ দূরে অবস্থিত। অর্থাৎ এই তারায় আলো পৌঁছাতে পৃথিবীতে অবস্থিত ব্যক্তি কর্তৃক পরিমাপকৃত সময় 4·3 বছর। ধরি একটি রকেট পৃথিবীর সাপেক্ষে 0·95c বেগে আলফা সেন্টোরাই-এর দিকে গমন করল। এখানে দুটি বিষয় জড়িত রয়েছে একটি হলো পৃথিবী থেকে গমন এবং অপরটি আলফা সেন্টোরাই-এ আগমন। গমনের ঠিক পূর্ব মুহূর্তে পৃথিবী মহাকাশযানের বাইরে এবং গন্তব্যে পৌঁছার ঠিক পর মুহূর্তে আলফা সেন্টোরাই মহাকাশযানের বাইরে। সুতরাং মহাকাশযাত্রীর নিকট দুটো ঘটনা একই স্থানে সংঘটিত হয়, অর্থাৎ মহাকাশযানের বাইরে।

পৃথিবীতে অবস্থিত ব্যক্তির কাছে ঘটনা দুটো ভিন্ন ভিন্ন স্থানে সংঘটিত হয়। সুতরাং এরূপ ব্যক্তি কর্তৃক পরিমাপকৃত দীর্ঘায়িত সময় ব্যবধান Δt যেখানে

$$\Delta t = \frac{4\cdot3}{0\cdot95} \text{ বছর} = 4\cdot5 \text{ বছর}$$

কাল দীর্ঘায়ন সূত্রানুসারে মহাকাশযাত্রী কর্তৃক তাদের ঘড়িতে পরিমাপকৃত আসল সময় ব্যবধান হবে

$$\Delta t_0 = \Delta t\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = 4\cdot5\times\sqrt{1-\left(\frac{0\cdot95\,c}{c}\right)^2}$$

$$= 1\cdot4 \text{ বছর}$$

সুতরাং, যখন মহাকাশযাত্রী আলফা সেন্টোরাইতে পৌঁছবে তখন তার বয়স বাড়বে 1·4 বছর। কিন্তু পৃথিবীর পর্যবেক্ষক কর্তৃক নির্ণীত 4·5 বছর নয়।

আবার ধরা যাক একটি দণ্ড দ্রুতযান রকেটের মধ্যে আছে। রকেট যখন আলোর বেগের কাছাকাছি বেগ নিয়ে গতিশীল থাকে তখন ওই রকেটের মধ্যে যদি দণ্ডটির দৈর্ঘ্য পরিমাপ করা হয় তাহলে দেখা যাবে যে, গতিশীল অবস্থায় দণ্ডটির দৈর্ঘ্য নিশ্চল অবস্থায় দৈর্ঘ্যের চেয়ে ছোট হবে। অর্থাৎ পৃথিবীতে দণ্ডটি স্থির অবস্থায় থাকাকালীন দৈর্ঘ্য গতিশীল অবস্থায় থাকাকালীন দৈর্ঘ্যের চেয়ে বড় হবে। যদি পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে গতিশীল কোনো বস্তুর দৈর্ঘ্য L হয় এবং যদি ওই পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে নিশ্চল অবস্থায় একই বস্তুর দৈর্ঘ্য L_0 হয় তাহলে L সব সময় L_0 অপেক্ষা ছোট হবে। এখানে L_0 কে বলা হয় যথোপযুক্ত বা প্রকৃত দৈর্ঘ্য (proper length) যা নিচের সমীকরণ দ্বারা সম্পর্কিত।

$$L = L_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

এখানে v = রকেটের বেগ

c = আলোর বেগ

হিসাব কর : একজন মহাশূন্যচারী 40 বছর বয়সে $2{\cdot}4\times10^8\ ms^{-1}$ বেগে গতিশীল মহাশূন্যযানে চড়ে ছায়াপথ অনুসন্ধানে গেলেন এবং 50 বছর পর ফিরে এলেন। মহাশূন্যচারীর বয়স তখন কত হবে ?

হিসাব কর : একটি রকেট কত বেগে চললে এর দৈর্ঘ্য সংকুচিত হয়ে নিশ্চল দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হবে ?

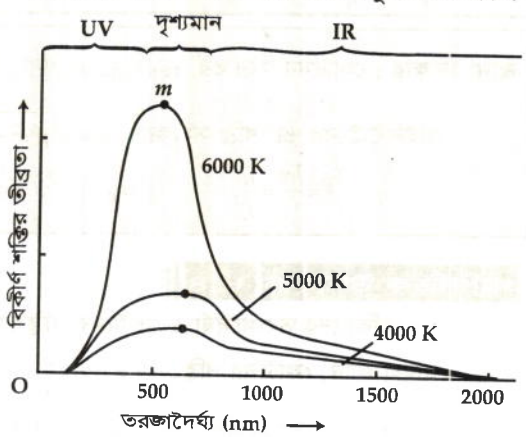
৮·১১ প্ল্যাঙ্ক-এর কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণ
Planck's black body radiation

আমরা জানি তাপমাত্রার কারণে কোনো বস্তু থেকে বিকিরণ নিঃসৃত হয়। তাপ বিকিরণের বৈশিষ্ট্য বস্তুর ধর্ম ও তাপমাত্রার ওপর নির্ভর করে। একটি আদর্শ কৃষ্ণ বস্তু সকল তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তাপশক্তি শোষণ করতে পারে। আবার যথাযথ তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে সকল তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তাপশক্তি বিকিরণ করতে পারে। a দিয়ে যদি বস্তুটিতে আপতিত বিকিরণের শোষিত অংশ, r দিয়ে প্রতিফলিত অংশ এবং t দিয়ে যদি সঞ্চালিত অংশ বোঝায় তাহলে সাধারণ বস্তুর বেলায় $a+r+t=1$ হয়। কিন্তু আদর্শ কৃষ্ণ বস্তুর বেলায় কোনো বিকিরণ প্রতিফলিত ও সঞ্চালিত হয় না। এক্ষেত্রে $r=0$ এবং $t=0$ এবং $a=1$ হয়। কালো বস্তুর শোষণ ক্ষমতা 1 অর্থাৎ কৃষ্ণ বা কালো বস্তু আপতিত বিকিরণের সম্পূর্ণটাই শোষণ করে। এটিই কৃষ্ণ ও বাস্তব বিকিরণের প্রধান পার্থক্য। চিত্র ৮·১০-এ তিনটি তাপমাত্রার জন্য একটি কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণের বিকীর্ণ শক্তি বনাম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের লেখচিত্র দেখান হয়েছে। লেখচিত্র হতে দেখা যায় যে,

(i) তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে কৃষ্ণ বস্তু হতে মোট বিকীর্ণ শক্তি বৃদ্ধি পায় এবং

(ii) যে তরঙ্গদৈর্ঘ্যে সর্বোচ্চ পরিমাণ শক্তি বিকীর্ণ হয় তা তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে হ্রাস পায়।

নিম্ন তাপমাত্রায় তাপ সকল বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য অবলোহিত (Infrared) অঞ্চলে থাকে বলে এই বিকিরণ চোখে দেখা যায় না। বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে লাল রং এর আভা ক্রমশ সাদা রং ধারণ করে। তাপ বিকিরণের ওপর পরীক্ষা-নিরীক্ষায় দেখা যায় যে, তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বণ্টন বর্ণালির অবলোহিত রেখা অঞ্চল হতে অতিবেগুনি রেখা অঞ্চল পর্যন্ত বিস্তৃত হয়। কৃষ্ণ কায়ার তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে কৃষ্ণকায়া কর্তৃক নিঃসৃত মোট শক্তি বৃদ্ধি পায়। কিন্তু যে তরঙ্গদৈর্ঘ্যে সর্বোচ্চ পরিমাণ শক্তি বিকীর্ণ হয় তা তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে হ্রাস পায়। চিরায়ত পদার্থবিজ্ঞানের তত্ত্ব বা সূত্র দ্বারা কৃষ্ণ বস্তুর বর্ণালির সকল পরিসরের শক্তি বণ্টন ব্যাখ্যা করা যায় না। কৃষ্ণ বস্তুর ব্যাখ্যা প্রদান করার জন্য 1900 খ্রিস্টাব্দে জার্মানির বিখ্যাত পদার্থবিদ **প্ল্যাঙ্ক** (Planck) কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণের মতবাদ প্রতিষ্ঠা করেন। এই মতবাদ প্রতিষ্ঠা লাভের পর পদার্থবিজ্ঞানে এক যুগান্তকারী অধ্যায় সৃষ্টি হয়। ভিয়েন-এর শক্তি বণ্টন সূত্রের সাহায্যে ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিকিরণের শক্তি বণ্টন নির্ণয় করা যায়। আবার র‍্যালে-জিন্‌স-এর শক্তি বণ্টন সূত্রের সাহায্যে দীর্ঘ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিকিরণের শক্তি বণ্টন ব্যাখ্যা করা যায়। কিন্তু আদর্শ কৃষ্ণ বস্তু ক্ষুদ্র ও দীর্ঘ অর্থাৎ সকল তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিকিরণ নিঃসরণ করে। সুতরাং উপরোল্লেখিত সূত্র দুটি দ্বারা কৃষ্ণ বস্তুর বর্ণালির সকল পরিসরের শক্তি বণ্টন ব্যাখ্যা করা যায় না। কৃষ্ণ বস্তুর বর্ণালির সকল পরিসরের শক্তি বণ্টন ব্যাখ্যার জন্য বিজ্ঞানী প্ল্যাঙ্ক একটি তত্ত্ব প্রতিষ্ঠা করেন। প্ল্যাঙ্ক-এর প্রতিষ্ঠিত এই তত্ত্বকে **কোয়ান্টাম তত্ত্ব** বা **তেজকণাবাদ** বলে।



চিত্র ৮·১০

RMDAC

৮·১১·১ প্ল্যাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব

Planck's quantum theory

প্ল্যাঙ্কের অভিমত অনুসারে কোনো বস্তু হতে শক্তির বিকরণ বা বিভিন্ন বস্তুর মধ্যে শক্তির বিনিময় নিরবচ্ছিন্নভাবে ঘটে না। এই প্রক্রিয়ায় কোনো ধারাবাহিকতা নাই। শক্তির নিঃসরণ বিচ্ছিন্নভাবে খণ্ড খণ্ড আকারে বা এক একটি গুচ্ছে বা প্যাকেটে নির্গত বা শোষিত হয়। প্রত্যেকটি শক্তিকণা বা শক্তিগুচ্ছ এক একটি অবিভাজ্য একক। শক্তির এই অবিভাজ্য এককের নাম কোয়াণ্টাম বা ফোটন। এই কোয়াণ্টাম বা ফোটনকে শক্তির পরমাণু (atoms of energy) বলে। যদি কোয়াণ্টাম বা ফোটনের কম্পাঙ্ক υ এবং প্ল্যাঙ্ক-এর ধ্রুবক h হয় তবে প্রতিটি ফোটনে শক্তির পরিমাণ,

$$E = h\upsilon \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.47)$$

কিন্তু যদি n সংখ্যক ফোটন একসাথে নির্গত বা শোষিত হয়, তবে মোট শক্তির পরিমাণ $= nh\upsilon$

এখানে $n = 0, 1, 2, \ldots$, ইত্যাদি। এটাই প্ল্যাঙ্ক-এর বিকিরণ সূত্র। প্ল্যাঙ্ক-এর ধ্রুবক $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ জুল সে.। প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবকের মাত্রা $[h] = ML^{-2}T^{-2}s^{-1}$; বিকিরণের এই তত্ত্ব কোয়ান্টাম তত্ত্ব বা তেজকণা তত্ত্ব (Quantum theory) নামে পরিচিত।

৮·১১·২ ফোটন

Photon

কোনো বস্তু থেকে আলো বা কোনো শক্তির নিঃসরণ নিরবচ্ছিন্নভাবে হয় না। শক্তি বা বিকিরণ গুচ্ছ গুচ্ছ আকারে প্যাকেট বা কোয়ান্টাম হিসেবে নিঃসৃত হয়। আলো তথা যেকোনো বিকিরণ অসংখ্য কোয়ান্টার সমষ্টি। আলোর এই কণা বা প্যাকেট বা কোয়ান্টাকে ফোটন বলে। একটি ফোটনের শক্তি, $E = h\upsilon$।

ফোটনের ধর্মাবলি

ফোটন কণার প্রধান ধর্মগুলো হলো—

১। প্রতিটি ফোটন কণাই চার্জহীন অর্থাৎ নিস্তড়িৎ। তাই তড়িৎ ক্ষেত্র বা চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা এর কোনো বিক্ষেপ হয় না।

২। প্রতিটি ফোটন কণা আলোর বেগে চলে। এই বেগের কোনো হ্রাস-বৃদ্ধি নেই।

৩। একটি ফোটন কণার শক্তি $E = h\upsilon$, এখানে $\upsilon =$ বিকিরণের কম্পাঙ্ক, $h =$ প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক।

৪। ফোটন কণার স্থির ভর শূন্য।

৫। এদের আয়নিত করা যায় না।

৬। ফোটন ভরহীন কণা হলেও এর সুনির্দিষ্ট ভরবেগ আছে। এর ভরবেগ, $p = \frac{h\upsilon}{c} = \frac{h}{\lambda}$।

৭। E ও P যথাক্রমে ফোটনের শক্তি ও ভরবেগ হলে এবং υ ও λ যথাক্রমে একই আলোর ফোটনের কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য হলে, $E = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda}$।

৮। ফোটন পদার্থের কণার সাথে সংঘর্ষ ঘটাতে পারে। এই সংঘর্ষে মোটশক্তি ও মোট ভরবেগ সংরক্ষিত থাকে।

কাজ : "কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণ ব্যাখ্যায় চিরায়ত পদার্থবিজ্ঞানের ব্যর্থতা পরিলক্ষিত হয়।"—উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।

জানা দরকার : ফোটনের স্থির ভর (rest mass) শূন্য। কিন্তু গতিশীল অবস্থায় ফোটনের ভর, $m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\upsilon}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}$

আইনস্টাইনের ভর শক্তি সমীকরণ, $E = \sqrt{p^2c^2 + m_0^2c^4}$ থেকে ফোটনের ভরবেগ পাওয়া যায়,

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\gamma}{c} = \frac{h}{\lambda} \qquad [\because m_0 = 0 \therefore E = pc]$$

গাণিতিক উদাহরণ ৮.৪

১। বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও ফোটনের শক্তির মধ্যে সম্পর্ক বের কর।

আমরা জানি, ফোটনের শক্তি, $E = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda} \quad \ldots \quad \ldots \quad$ (i)

$1\ \mathring{A} = 10^{-10}$ m এবং $1\ J = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ eV$

সুতরাং, E-কে eV এককে এবং λ-কে $\mathring{A}$ এককে প্রকাশ করলে,

$\lambda \mathring{A} = \lambda \times 10^{-10}$ m, $E(eV) = E \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19})$ J

সমীকরণ (i) এই মানগুলো বসিয়ে পাই,

$$E \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19}) = \frac{(6{\cdot}625 \times 10^{-34}) \times (3 \times 10^{8})}{\lambda \times 10^{-10} \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19})} \simeq \frac{12422}{\lambda}$$

সুতরাং, E-কে eV এককে এবং λ-কে $\mathring{A}$ এককে প্রকাশ করলে এদের মধ্যে সম্পর্ক হলো,

$$E\ (eV \text{ এককে}) = \frac{12422}{\lambda(\mathring{A} \text{ এককে})}$$

২। 6630×10^{-10} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটনের শক্তি নির্ণয় কর। [চ. বো. ২০১৭, ২০১০, ২০০৬, ২০০১; দি. বো. ২০০৯; ঢা. বো. ২০০৮, ২০০৪; কু. বো. ২০০৮, ২০০৬; ব. বো. ২০০৬]

আমরা জানি, $E = h\upsilon$

যেহেতু, $c = \upsilon\lambda \quad \therefore \upsilon = \frac{c}{\lambda}$

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

বা, $E = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{6630 \times 10^{-10}} = 3{\cdot}0 \times 10^{-19}\ J$

এখানে,

$\lambda = 6630 \times 10^{-10} m$

$c = 3 \times 10^{8}\ ms^{-1}$

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}\ Js$

৩। 10 kilo volt বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করলে স্থির অবস্থা থেকে একটি ইলেকট্রন যে চূড়ান্ত বেগ প্রাপ্ত হবে তার মান নির্ণয় কর। [ঢা. বো. ২০০১]

আমরা জানি,

$\frac{1}{2}mv^2 = eV$

বা, $v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$

$\therefore v = \sqrt{\frac{2 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 10000}{9{\cdot}1 \times 10^{-31}}}$

$= 59{\cdot}29 \times 10^{6}\ ms^{-1}$

এখানে,

$V = 10$ kilo volt $= 10000$ volt

$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ C$

$m = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}\ kg$

৪। একট ধাতব প্লেটের ওপর প্রতি সেকেন্ডে কতগুলো ফোটন আপতিত হলে প্লেটটির ওপর 10^{-4} N বল প্রযুক্ত হবে? বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5×10^{-7} m।

আমরা জানি, ফোটনের ভরবেগ,

$$p = mc = \frac{h}{\lambda}$$

যদি প্রতি সেকেন্ডে n সংখ্যক ফোটন ধাতু পৃষ্ঠে আপতিত হয় তবে প্রতি সেকেন্ডে ভরবেগের পরিবর্তন, $np = \frac{nh}{\lambda}$

এখানে,

$\lambda = 5 \times 10^{-7}$ m

$F = 10^{-4}$ N

$h = 6{\cdot}62 \times 10^{-34}$ Js

$n = ?$

$\therefore$ প্রযুক্ত বল = ভরবেগের পরিবর্তনের হার $= \frac{nh}{\lambda}$

$\therefore \quad \frac{nh}{\lambda} = 10^{-4}$

$\therefore \quad n = \frac{\lambda \times 10^{-4}}{h} = \frac{5 \times 10^{-7} \times 10^{-4}}{6{\cdot}62 \times 10^{-34}} = 7{\cdot}55 \times 10^{22}$

$\therefore$ নির্ণেয় ফোটন সংখ্যা $= 7{\cdot}55 \times 10^{22}$

৫। একটি ফোটনের শক্তি একটি ইলেকট্রনের স্থির অবস্থার শক্তির সমান। ওই ফোটনের (i) কম্পাঙ্ক (ii) তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং (iii) ভরবেগ নির্ণয় কর। [KUET Admission Test, 2019-20]

ইলেকট্রনের স্থিরাবস্থার শক্তি,

$E = m_0c^2$

$\therefore \quad E = 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times (3 \times 10^{8})^2 = 8{\cdot}19 \times 10^{-14}\ J$

(i) ফোটনের কম্পাঙ্ক, $\upsilon = \frac{E}{h} = \frac{8{\cdot}19 \times 10^{-14}}{6{\cdot}62 \times 10^{-34}} = 1{\cdot}237 \times 10^{20}$ Hz

(ii) ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = \frac{c}{\upsilon} = \frac{3 \times 10^8}{1{\cdot}237 \times 10^{20}} = 2{\cdot}425 \times 10^{-12}$ m

(iii) ফোটনের ভরবেগ, $p = \frac{E}{c} = \frac{8{\cdot}19 \times 10^{-14}}{3 \times 10^8} = 2{\cdot}73 \times 10^{-22}$ kg ms^{-1}

৬। মানুষ 10^{-10} Wm^{-2} ন্যূনতম মানের আলোর তীব্রতা সহ্য করতে পারে। চোখের তারার ক্ষেত্রফল 0·4 cm^2 এবং আলোকের কম্পাঙ্ক 6×10^{14} Hz হলে, আমাদের চোখে প্রতি সেকেন্ডে কতগুলো ফোটন প্রবেশ করবে?

আমরা জানি, একটি ফোটনের শক্তি

$= h\upsilon = 6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 6 \times 10^{14}$ J

$= 39{\cdot}78 \times 10^{-20}$ J

চোখে প্রবিষ্ট মোট শক্তি

$= 10^{-10} \times 0{\cdot}4 \times 10^{-4} = 4 \times 10^{-15}$ Js^{-1}

এখানে,

তীব্রতা, $I = 10^{-10}$ Wm^{-2}

$\upsilon = 6 \times 10^{14}$ Hz

চোখের তারার ক্ষেত্রফল,

$a = 0{\cdot}4$ cm^2 $= 0{\cdot}4 \times 10^{-4}$ m^2

$\therefore$ প্রতি সেকেন্ডে প্রবিষ্ট ফোটন সংখ্যা,

$$n = \frac{4 \times 10^{-15}}{39{\cdot}78 \times 10^{-20}} = 0{\cdot}1 \times 10^5 = 10^4\text{টি}$$

৭। পারদের বাষ্প 140 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একটি ফোটন শুষে নিয়ে পরবর্তীতে দুটি ফোটন নিঃসরণ করে। একটি ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 180·5 nm হলে অপর ফোটনটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত?

[BUET Admission Test, 2016–17]

আমরা জানি,

$h\upsilon = h\upsilon_1 + h\upsilon_2$

বা, $h\frac{c}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_1} + \frac{hc}{\lambda_2}$

বা, $hc\left(\frac{1}{\lambda}\right) = hc\left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2}\right)$

বা, $\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2}$

$\therefore \quad \frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1}{140} - \frac{1}{180{\cdot}5}$

$= \frac{180{\cdot}5 - 140}{140 \times 180{\cdot}5} = \frac{40{\cdot}5}{140 \times 180{\cdot}5}$

$\therefore \quad \lambda_2 = 623{\cdot}95$ nm

৮। কোন তাপমাত্রায় একটি গ্যাস অণুর গতিশক্তি 5890 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একটি ফোটনের গতিশক্তির সমান হবে? ($k = 1{\cdot}38 \times 16^{-23}$ JK^{-1}, $h = 6{\cdot}625 \times 10^{-34}$ Js)

ধরা যাক নির্ণেয় তাপমাত্রা, TK

আমরা জানি একটি গ্যাসের গতিশক্তি,

$= \frac{3}{2}kT = \frac{3}{2} \times 1{\cdot}38 \times 10^{-23} \times T$

পুনরায়, ফোটনের গতিশক্তি $= h\upsilon = \frac{hc}{\lambda}$

$= \frac{6{\cdot}625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{5890 \times 10^{-10}}$

এখানে,

$\lambda = 5890$ Å $= 5890 \times 10^{-10}$ m

$k = 1{\cdot}38 \times 10^{-23}$ Jk^{-1}

$h = 6{\cdot}625 \times 10^{-34}$ Js

অতএব, $\frac{3}{2} \times 1{\cdot}38 \times 10^{-23} \times T = \frac{6{\cdot}625 \times 3 \times 10^8 \times 10^{-34}}{5890 \times 10^{-10}} = \frac{6{\cdot}625 \times 3 \times 10^8 \times 10^{10} \times 2 \times 10^{-34} \times 10^{23}}{3 \times 5890 \times 1{\cdot}38}$

সুতরাং, $T = 1{\cdot}63 \times 10^4$ T

৯। একটি লেজার $6{\cdot}0 \times 10^{14}$ Hz কম্পাঙ্কের একবর্ণী আলো উৎপন্ন করে। বিকিরিত শক্তির মান $2{\cdot}0 \times 10^{-3}$ J। (i) আলোক রশ্মির একটি ফোটনের শক্তি কত? (ii) উৎস থেকে প্রতি সেকেন্ডে কতগুলো ফোটন নির্গত হয়? [RUET Admission Test. 2018-19]

(i) ধরা যাক একটি ফোটনের শক্তি, E_1

$\therefore \quad E_1 = h\upsilon = 6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 6 \times 10^{14}$

$= 3{\cdot}978 \times 10^{-19}$ J

এখানে,

$\upsilon = 6 \times 10^{14}$ Hz

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

$E = 2{\cdot}0 \times 10^{-3}$ J

(ii) পুনরায়, $E = nE_1$ বা, $n = \frac{E}{E_1} = \frac{2 \times 10^{-3}}{3{\cdot}978 \times 10^{-19}}$

$= 5{\cdot}028 \times 10^{15}$

RMDAC

৮·১২ এক্স-রে বা রঞ্জন রশ্মি
X-rays or Röntgen rays

আধুনিক বিজ্ঞানের অগ্রগতিতে এক্স-রে (x-ray) আবিষ্কার একটি অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ ঘটনা। এই আবিষ্কার শুধু বিজ্ঞানের ক্ষেত্রেই নয়, চিকিৎসা ক্ষেত্রেও যুগান্তকারী পরিবর্তন এনেছে। শরীরের কোনো অঙ্গ যেমন হাত, পা ভেঙ্গে গেলে আমরা চিকিৎসকের কাছে যাই। চিকিৎসক আমাদের এক্স-রে করার পরামর্শ দেন। এক্স-রে ফিল্মের রিপোর্ট দেখে আমরা জানতে পারি কী ধরনের সমস্যা হয়েছে। তাহলে এই এক্স-রে কী ? কীভাবে তা উৎপন্ন হয় ? এ ব্যাপারে আমারা বিস্তারিত আলোচনা করব।

এক্স-রে বা রঞ্জন রশ্মি উনবিংশ শতাব্দির এক যুগান্তকারী আবিষ্কার। 1895 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত জার্মান বিজ্ঞানী অধ্যাপক **উইলহেম কে. রনজেন** (Wilhelm K. Röntgen) এই রশ্মি আবিষ্কার করেন। তিনি ক্ষরণ নল নিয়ে ক্যাথোড রশ্মি সম্পর্কে গবেষণা চালাবার সময় দেখতে পান যে, ক্ষরণ নলের পার্শ্বে স্থাপিত বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইডের পাতের উপর ক্যাথোড রশ্মি পতিত হয়ে প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করেছে। তিনি একটি মোটা লাল কাগজ দ্বারা ক্ষরণ নলকে আবৃত করে পাতের উপর প্রতিপ্রভা লক্ষ করেন। তারপর পাত এবং নলের মধ্যে পুরু ধাতব পাত স্থাপন করেও একই জিনিস দেখতে পান। তখন তিনি এই সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে, ওই রশ্মিসমূহ ক্যাথোড রশ্মি নয়। বরং ক্যাথোড রশ্মি ক্ষরণ নলের গায়ে আঘাতপ্রাপ্ত হবার পর তা হতে বিশেষ এক প্রকার রশ্মি উৎপন্ন হচ্ছে যার ফলে ওই প্রতিপ্রভা সৃষ্টি হচ্ছে। এই বিশেষ রশ্মির প্রকৃতি এবং ধর্মাবলি জানা না থাকায় তিনি ঐ রশ্মিসমূহের নামকরণ করেন **এক্স-রে** বা **অজানা রশ্মি**। সাধারণত অঙ্ক করার সময় অজানা রাশিকে আমরা x ধরে থাকি। বিজ্ঞানী রনজেনও তাই করেছেন। আবিষ্কারকের নামানুসারে তাদেরকে **রনজেন রশ্মিও** বলা হয়। পরবর্তী কালে বিভিন্ন পরীক্ষার মাধ্যমে এই রশ্মিসমূহের প্রকৃতি এবং ধর্ম জানা যায়। DAT(19-20)

সংজ্ঞা : দ্রুতগতিসম্পন্ন ইলেকট্রন কোনো ধাতুকে আঘাত করলে তা থেকে উচ্চ ভেদন ক্ষমতাসম্পন্ন এক প্রকার বিকিরণ উৎপন্ন হয়। এই বিকিরণকে এক্স-রে বলে। MAT(14-15,17-18,21-22)

এক্স-রের প্রকৃতি : বিভিন্ন বিজ্ঞানী বিভিন্ন পরীক্ষার সাহায্যে এক্স-রে বা রঞ্জন রশ্মির প্রকৃতি নির্ণয় করেন। এক্স-রে চার্জযুক্ত কণা দ্বারা গঠিত নয়। এরা দৃশ্যমান আলোকের বিদ্যুৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ। এই তরঙ্গ আড় তরঙ্গ, লম্বিক তরঙ্গ নয়। দৃশ্যমান আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা তাদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য অনেক ছোট ।

এক্স-রের প্রকারভেদ (Kinds of X-rays) : এক্স-রে দুই প্রকার, যথা—

(১) কোমল এক্স-রে ও (২) কঠিন এক্স-রে।

(১) কোমল এক্স-রে (Soft X-rays) : এক্স-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সীমা 0·01 Å থেকে 10 Å এর মধ্যে। যে সমস্ত এক্স রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 10 Å এর কাছাকাছি, ওই ধরনের এক্স-রশ্মিকে কোমল এক্স-রে বলে। এই রশ্মির ফোটনের শক্তি keV রেঞ্জের। এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি কিন্তু ভেদন ক্ষমতা অত্যন্ত কম। তবে চিকিৎসাবিজ্ঞানে কোমল এক্স-রের ব্যবহার প্রচুর।

(২) কঠিন এক্স-রে (Hard X-rays) : নলের ভেতর গ্যাসের চাপ কম হলে অধিক বিভব পার্থক্য প্রয়োগে এক্স-রশ্মি উৎপন্ন হয়। এই এক্স-রশ্মিকে কঠিন এক্স-রে বলে। কঠিন এক্স-রের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0·01 Å মানের কাছাকাছি। এই রশ্মির ফোটনের শক্তি MeV রেঞ্জের হয়। এই রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য কম কিন্তু ভেদন ক্ষমতা খুবই বেশি। পদার্থের গঠন প্রকৃতি নির্ণয়ে এবং বিভিন্ন গবেষণা কার্যে এর ব্যবহার সর্বাধিক।

এক্স-রের একক (Unit of X-rays) : এক্স-রে বিকিরণ পরিমাপ করার জন্য যে একক ব্যবহার করা হয় তাকে **রন্‌জেন** বলা হয়। **এক রন্‌জেন** বলতে আমরা সেই পরিমাণ এক্স-রে বিকিরণ বুঝি যা সাধারণ চাপ এবং তাপমাত্রায় 1×10^{-3} m বায়ুতে $3{\cdot}33 \times 10^{-10}$C চার্জের সমান চার্জ উৎপন্ন করতে পারে ।

জানার বিষয় : I. কোমল এক্স-রে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি, ভেদনক্ষমতা অত্যন্ত কম।
II. কঠিন এক্স-রে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কম, ভেদনক্ষমতা অত্যন্ত বেশি।

৮·১২·১ এক্স-রে উৎপাদন
Production of X-rays

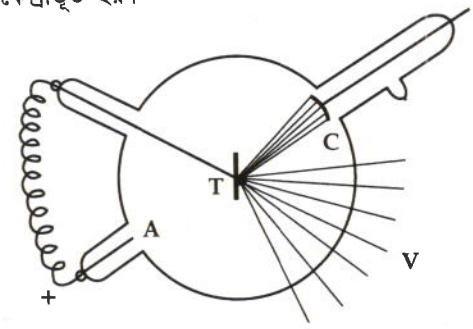
আমরা জানি যে, ক্যাথোড রশ্মি দ্রুতগতিসম্পন্ন ইলেকট্রন ছাড়া আর কিছুই নয়। দ্রুতগতিসম্পন্ন ইলেকট্রন সহসা কঠিন ধাতব পদার্থে আঘাত করলে তা হতে এক্স-রে উৎপন্ন হয় ।

এক্স-রে উৎপাদনের জন্য **তিনটি** পদ্ধতি আছে; যথা—

(১) **গ্যাস নল পদ্ধতি** (Gas tube method) ;
(২) **কুলীজ নল পদ্ধতি** (Coolidge tube method) ও
(৩) **বিটাট্রন পদ্ধতি** (Betatron method) ।

এক্স-রে উৎপাদনের জন্য এখানে আমরা শুধু গ্যাস নল পদ্ধতি আলোচনা করব ।

গ্যাস নল পদ্ধতি : গ্যাস নল একটি বিশেষ ধরনের ক্ষরণ নল। এতে একটি নিষ্কাশিত কাচের শক্ত বাল্‌ব আছে। এই বাল্‌বে তিনটি পার্শ্ব নল আছে। এক পার্শ্ব নলে অ্যালুমিনিয়ামের তৈরি অবতল আকৃতির ক্যাথোড C থাকে [চিত্র ৮·১১]। ক্যাথোডের ঠিক বিপরীত দিকে অ্যানোড A থাকে। ক্যাথোড অবতল হওয়ায় ক্যাথোড রশ্মি একটি বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হয়।



চিত্র ৮·১১

ক্যাথোডের ঠিক সম্মুখে উচ্চ গলনাঙ্ক এবং উচ্চ পারমাণবিক ওজনবিশিষ্ট ধাতু যেমন টাংস্টেন, প্লাটিনাম বা মলিবডেনাম-এর তৈরি একটি বিদ্যুৎদ্বার T আছে। এর নাম **অ্যান্টি-ক্যাথোড** (Anti-cathode) বা **টারগেট** (Target)। এটি ক্যাথোড অক্ষের সাথে 45° কোণে অবস্থান করে। অ্যানোড এবং টারগেট বাইরের দিকে সংযুক্ত থাকে, ফলে ক্ষরণ স্থির থাকে ।

নলের মধ্যে বায়ুর চাপ 10^{-7} atmosphere এবং অ্যানোড ও ক্যাথোডের মধ্যে বিভব পার্থক্য, 30,000 V হতে 50,000 V হলে ক্যাথোড হতে ইলেকট্রন তীব্র বেগে ধাবিত হয়ে টারগেট বা লক্ষ্যবস্তুর ওপর পড়বে এবং তা হতে এক্স-রে উৎপন্ন হবে। বায়ুর চাপ কম রাখার কারণ হলো যে, ইলেকট্রনগুলো ক্যাথোড থেকে অ্যানোডে যাওয়ার সময় বায়ুর অণুগুলোর সাথে সংঘর্ষের ফলে অ্যানোডে পৌঁছতে অসুবিধা না হয়।

ইলেকট্রনের চার্জ e এবং ক্যাথোড ও অ্যানোডের মধ্যে বিভব পার্থক্য V হলে তাপীয় ইলেকট্রন ক্যাথোড থেকে অ্যানোডে যাওয়ার সময় eV শক্তি লাভ করে। ইলেকট্রন লক্ষ্যবস্তুকে আঘাতের ফলে গতিশক্তির কিছু অংশ তাপশক্তি হিসেবে লক্ষ্যবস্তু শোষণ করে এবং অবশিষ্ট অংশ এক্স-রশ্মিতে পরিণত হয়। ক্যাথোড ও অ্যানোডের মধ্যে প্রযুক্ত ভোল্টেজ এবং সৃষ্ট এক্স-রের সর্বোচ্চ কম্পাঙ্ক (বা ন্যূনতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য)-এর মধ্যে নিম্নোক্ত সম্পর্ক দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

$$eV = h\upsilon_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}} \qquad [\because \upsilon = \frac{c}{\lambda}]$$

এখানে, c = আলোর বেগ এবং h = প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক।

বা, $\lambda_{min} = \frac{ch}{eV}$ ... ... (8.48)

এটিই হলো উৎপন্ন এক্স-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য।

এক্স-রে উৎপাদনের জন্য বর্তমানে কিনোট্রন, বিটাট্রন প্রভৃতি অনেক আধুনিক যন্ত্র আবিষ্কৃত হয়েছে। তবে সব যন্ত্রের মূলনীতি একই।

এক্স-রশ্মি নলে উৎপন্ন এক্স-রশ্মির ন্যূনতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য
Minimum wavelength of x-rays produced in x-ray tube

এক্স-রশ্মি নল থেকে উৎপন্ন এক্স-রশ্মির ন্যূনতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য ওই নলের অ্যানোড ও ক্যাথোডের মধ্যে প্রদত্ত বিভব পার্থক্যের ওপর নির্ভর করে।

এখন আপতিত ইলেকট্রনের গতিশক্তি যদি সম্পূর্ণরূপে একটি ফোটনে রূপান্তরিত হয় তবে ওই ফোটনের শক্তি বা কম্পাঙ্ক সর্বাধিক হয় এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য ন্যূনতম হয়।

ধরা যাক, তড়িৎ দ্বার দ্বয়ের মধ্যে প্রদত্ত বিভব পার্থক্য V। একটি ইলেকট্রন যে শক্তি অর্জন করে তার মান, $E = eV$।

এখন উৎপন্ন ফোটনের কম্পাঙ্ক υ হলে, এর শক্তি, $E = h\upsilon_{max}$।

$\therefore \quad h\upsilon_{max} = eV$

বা, $\upsilon_{max} = \frac{eV}{h}$

বা, $\lambda_{min} = \frac{c}{\upsilon_{max}} = \frac{hc}{eV}$

বিভিন্ন রাশির মান বসিয়ে পাই,

$$\lambda_{min} = \frac{6{\cdot}623 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{V \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}} \quad [\because h = 6{\cdot}623 \times 10^{-34}\ \text{Js},\ e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ \text{C},\ c = 3 \times 10^{-8}\ \text{ms}^{-1}]$$

$$= \frac{1241}{V} \times 10^{-9}\ \text{m} = \frac{12410}{V}\ \text{Å}$$

$\therefore \quad \lambda_{min} \propto \frac{1}{V}$

অর্থাৎ ন্যূনতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রযুক্ত বিভব পার্থক্যের ব্যস্তানুপাতিক।

এক্স-রশ্মি ও দৃশ্যমান আলোক রশ্মির তুলনা
(Comparison of x-rays and visible light rays)

এক্স-রশ্মি	দৃশ্যমান আলোক রশ্মি
১। এক্স-রশ্মি তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ।	১। দৃশ্যমান আলোক রশ্মি তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ।
২। এক্স-রশ্মি কণা ধর্ম প্রদর্শন করে।	২। দৃশ্যমান আলোক রশ্মি কণা ধর্ম প্রদর্শন করে।
৩। এক্স-রশ্মি তড়িৎক্ষেত্র বা চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয় না।	৩। দৃশ্যমান আলোক রশ্মি তড়িৎ বা চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয় না।
৪। এক্স-রশ্মি $3 \times 10^{8}\ \text{ms}^{-1}$ বেগে চলে।	৪। দৃশ্যমান আলোক রশ্মি $3 \times 10^{8}\ \text{ms}^{-1}$ বেগে চলে।
৫। এক্স-রশ্মি দ্বারা প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, অপবর্তন ও সমবর্তন ঘটানো সম্ভব।	৫। দৃশ্যমান আলোক রশ্মি দ্বারা প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, অপবর্তন, সমবর্তন ঘটানো সম্ভব।
৬। এক্স-রশ্মি ফটোগ্রাফিক প্লেটকে প্রভাবিত করতে পারে।	৬। দৃশ্যমান আলোক রশ্মি ফটোগ্রাফিক প্লেটকে প্রভাবিত করতে পারে।
৭। এক্স-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 10^{-9} m থেকে 10^{-11} m এর মধ্যে।	৭। দৃশ্যমান আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 10^{-7} m অপেক্ষা কম।
৮। এক্স-রশ্মির কম্পাঙ্ক অনেক বেশি।	৮। দৃশ্যমান আলোক রশ্মির কম্পাঙ্ক কম।
৯। এক্স-রশ্মির ভেদন ক্ষমতা অনেক বেশি।	৯। দৃশ্যমান আলোক রশ্মির ভেদন ক্ষমতা নেই।
১০। এক্স-রশ্মি গ্যাসকে আয়নিত করতে পারে।	১০। দৃশ্যমান আলোর আয়নায়ন ক্ষমতা নেই।
১১। এক্স-রশ্মি বস্তুকে দৃশ্যমান করে না।	১১। দৃশ্যমান আলোক রশ্মি বস্তুকে দেখতে সাহায্য করে।

গাণিতিক উদাহরণ ৮.৫

১। সর্বনিম্ন 0·6 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্মি উৎপাদনের জন্য এক্স-রশ্মি নলের ক্যাথোড ও অ্যানোডের মধ্যে বিভেদ পার্থক্যের সর্বনিম্ন মান কত হওয়া প্রয়োজন বের কর।

আমরা জানি,

$\lambda_{min} = \frac{hc}{eV}$

বা, $V = \frac{hc}{e\lambda_{min}}$

$\therefore \quad V = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 0{\cdot}6 \times 10^{-10}}$

$= \frac{6{\cdot}63 \times 3 \times 10^{3}}{1{\cdot}6 \times 0{\cdot}6} = 2 \times 10^{4}\ \text{Volt} = 20\ \text{kV}$

এখানে,

$\lambda_{min} = 0{\cdot}6\ \text{Å} = 0{\cdot}6 \times 10^{-10}\ \text{m}$

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}\ \text{Js}$

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

$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ \text{C}$

$V = ?$

২। এক্স-রশ্মি নলে প্রযুক্ত বিভব পার্থক্য 6 kV হলে প্রবাহমাত্রা 2 mA হয়। (i) লক্ষ্যবস্তুতে প্রতি সেকেন্ডে আপতিত ইলেকট্রন সংখ্যা (ii) আপতিত ইলেকট্রনের বেগ এবং (iii) নলে উৎপন্ন ক্ষমতা নির্ণয় কর।

(i) ধরা যাক, প্রতি সেকেন্ডে n সংখ্যক ইলেকট্রন লক্ষ্যবস্তুতে আঘাত করে। তাহলে,

$$I = ne$$

বা, $$n = \frac{I}{e}$$

$$\therefore \quad n = \frac{2 \times 10^{-3}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}} = 1{\cdot}25 \times 10^{16}/\text{sec}$$

এখানে,

$V = 6\ \text{kV} = 6 \times 10^3\ \text{V}$

$I = 2\ \text{mA} = 2 \times 10^{-3}\ \text{A}$

$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ \text{C}$

$n = ?$

(ii) ইলেকট্রনের গতিশক্তি,

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV$$

বা, $$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

$$\therefore \quad v = \sqrt{\frac{2 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 6 \times 10^3}{9{\cdot}1 \times 10^{-31}}}$$

$$= 4{\cdot}68 \times 10^7\ \text{ms}^{-1}$$

এখানে,

$m_e = 9{\cdot}11 \times 10^{-31}\ \text{kg}$

$v = ?$

(iii) এক্স-রশ্মি নলে উৎপন্ন ক্ষমতা, $P = VI$

$$\therefore \quad P = 6 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-3} = 12\ \text{watt}$$

৩। 40 keV গতিশক্তিসম্পন্ন একটি ইলেকট্রনের স্রোত যদি একটি মলিবডেনাম M_o (Molybdenum), লক্ষ্যবস্তুর ওপর আপতিত হয়, তবে নির্গত X-রশ্মির কাট অফ (cut off) তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে?

আমরা জানি,

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{k_0} = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{4 \times 10^4 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}$$

$$= \frac{6{\cdot}63 \times 3 \times 10^{-26}}{4 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-15}}$$

$$= 3{\cdot}11 \times 10^{-11}\ \text{m} = 0{\cdot}0311\ \text{nm}$$

এখানে,

K.E., $k_0 = 40\ keV$

$= 4{\cdot}0 \times 10^4\ eV$

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

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

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}\ \text{Js}$

৪। একটি এক্স-রশ্মি নল 25 kV বিভব পার্থক্যে কাজ করে। লক্ষ্যবস্তুতে ইলেকট্রনগুলো কত বেগে আঘাত করবে ? ইলেকট্রনের শক্তির 6% এক্স-রশ্মিতে রূপান্তরিত হলে উৎপন্ন এক্স-রশ্মির সর্বোচ্চ কম্পাঙ্ক কত ?

আমরা জানি,

ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিবেগ,

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2eV}{m}} \qquad [eV = \text{ইলেকট্রনের গতিশক্তি}]$$

$$\therefore \quad v_{max} = \sqrt{\frac{2 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 25 \times 10^3}{9{\cdot}1 \times 10^{-31}}}$$

$$= 9{\cdot}38 \times 10^7\ \text{ms}^{-1}$$

এখানে,

$V = 25\ \text{kV} = 25 \times 10^3\ \text{V}$

$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ \text{C}$

$m = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}\ \text{kg}$

নির্গত এক্স-রশ্মির সর্বোচ্চ কম্পাঙ্ক υ_{max} হলে আমরা পাই,

$$h\upsilon_{max} = eV \times \frac{6}{100} \qquad \left(\because 6\% = \frac{6}{100}\right)$$

$$\therefore \quad \upsilon_{max} = \frac{eV}{h} \times \frac{6}{100} = \frac{1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 25 \times 10^3 \times 6}{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 100}$$

$$= 3{\cdot}62 \times 10^{17}\ \text{Hz}$$

৫। একটি ইলেকট্রন স্রোত 2000 Vm^{-1} প্রাবল্যের তড়িৎ ক্ষেত্রের সমকোণে 6×10^6 ms^{-1} বেগে গতিশীল। 10 cm দূরত্ব অতিক্রম করার পর যদি ইলেকট্রনের 3 mm বিক্ষেপ হয়, তবে আপেক্ষিক আধান (*e*/*m*) এর মান নির্ণয় কর।

তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য E হলে, ইলেকট্রনের ওপর কার্যকর ত্বরণ,

$$a = \frac{eE}{m} \quad [\because F = eE = ma]$$

এখন, তড়িৎক্ষেত্রের সমকোণে রৈখিক l দূরত্ব অতিক্রম করতে সময় লাগে, $t = \frac{l}{v}$

এখানে,
$E = 2000\ Vm^{-1}$
$y = 3\ mm = 3 \times 10^{-3}\ m$
$v = 6 \times 10^6\ ms^{-1}$
$l = 10\ cm = 0{\cdot}1\ m$

ইলেকট্রনের বিক্ষেপ, $y = \frac{1}{2}at^2$

$$\therefore\ y = \frac{1}{2}\frac{eE}{m}\left(\frac{l}{v}\right)^2 = \frac{1}{2}\frac{eE}{m}\frac{l^2}{v^2}$$

বা, $$\frac{e}{m} = \left(\frac{2y}{E}\right)\left(\frac{v^2}{l^2}\right)$$

$$\therefore\ \frac{e}{m} = \frac{(2 \times 3 \times 10^{-3}) \times 36 \times 10^{12}}{2000 \times (0{\cdot}1)^2}$$

$$= \frac{6 \times 36 \times 10^9}{2 \times 10^3 \times 10^{-2}} = 108 \times 10^8\ C\ kg^{-1}$$

$$= 1{\cdot}08 \times 10^{10}\ C\ kg^{-1}$$

৬। একটি এক্স-রশ্মি নলের দুই তড়িৎদ্বারের মধ্যে 72 kV বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করলে যে ন্যূনতম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্মি নির্গত হয় তার মান 0·173 Å। প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবকের মান কত ?

আমরা জানি, ন্যূনতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{eV}$$

বা, $$h = \frac{\lambda_{min} \times eV}{c}$$

$$\therefore\ h = \frac{0{\cdot}173 \times 10^{-10} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 72 \times 10^3}{3 \times 10^8}$$

$$= 6{\cdot}643 \times 10^{-34}\ Js$$

এখানে,
$V = 72\ kV = 72 \times 10^3\ V$
$\lambda_{min} = 0{\cdot}173\ \mathring{A} = 0{\cdot}173 \times 10^{-10}\ m$
$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ C$
$c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$

৭। একটি এক্স-রে টিউবকে 80 kV বিভব পার্থক্যে রাখা হলে, লক্ষ্যবস্তুতে ইলেকট্রনগুলো সর্বোচ্চ কত বেগে আঘাত করবে? আঘাতের পর ইলেকট্রনের শক্তির 2% এক্স-রে বর্ণালিতে রূপান্তরিত হলে উৎপন্ন বর্ণালির সর্বনিম্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে?

[BUET Admission Test, 2020-21]

(ক) আমরা জানি,

$$eV = \frac{1}{2}mv^2$$

বা, $$V^2 = \frac{2eV}{m}$$

বা, $$V = \sqrt{\frac{2eV}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 10 \times 80^3}{9{\cdot}1 \times 10^{-31}}}$$

$$= 1{\cdot}68 \times 10^8\ ms^{-1}$$

এখানে,
$V = 80\ kV = 80 \times 10^3\ V$
$m_e = 0{\cdot}1 \times 10^{-31}\ kg$
$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ C$

(খ) প্রশ্নানুসারে, *e*V-এর 2% এক্স-রে বর্ণালিতে রূপান্তরিত হয়।

$$\therefore\ eV \times 2\% = h\gamma = \frac{hc}{\lambda}$$

বা, $$\lambda = \frac{hc}{eV \times 0{\cdot}02} = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 80 \times 10^3}$$

$$= \frac{6{\cdot}63 \times 3 \times 10^{-26} \times 10^{16}}{1{\cdot}6 \times 80 \times 0{\cdot}02} = 7{\cdot}77 \times 10^{-10}\ m$$

RMDAC

অনুসন্ধানমূলক কাজ : উচ্চ গতিসম্পন্ন ইলেকট্রন ধাতুর ওপর আপতিত হলে ওই ধাতু থেকে এক্স-রশ্মি নির্গত হয়। আপতিত ইলেকট্রনটির কী ঘটে ?

উচ্চ গতিশক্তির ইলেকট্রন ধাতুর ওপর আপতিত হলে ওই শক্তি এক্স-রশ্মিতে রূপান্তরিত হয়। কেননা ধাতুটি এক্স-রশ্মি নলের অ্যানোড তড়িৎদ্বার হওয়ায় ইলেকট্রনটি সাথে সাথে ধাতু কর্তৃক শোষিত হয়।

৮·১২·২ এক্স-রের ধর্ম*** Upto Infinity MAT(07-08,17-18) DAT(01-02,03-04)
Properties of X-rays

বিভিন্ন পরীক্ষা-নিরীক্ষার সাহায্যে এক্স-রের নিম্নলিখিত ধর্মসমূহ আবিষ্কৃত হয়েছে—

(১) এক্স-রে সরলরেখায় গমন করে।

(২) এক্স-রে অদৃশ্য । সাধারণ আলোক রেটিনায় পড়লে দৃষ্টির অনুভূতি জন্মায় কিন্তু এদের ক্ষেত্রে এমন হয় না।

(৩) এটি বিদ্যুৎ-চুম্বকীয় আড় তরঙ্গ।

(৪) এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য সাধারণ আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা ছোট। সাধারণ আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 10^{-7} m বা 1000 Å; কিন্তু এদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 10^{-10} m বা, 1 Å।

(৫) আলোকের সমবেগে অর্থাৎ 3×10^8 ms^{-1} বেগে এটি গমন করে ।

(৬) এর ভেদন ক্ষমতা অত্যধিক ।

(৭) ফটোগ্রাফিক প্লেটের ওপর এর প্রতিক্রিয়া আছে ।

(৮) এটি প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে ।

(৯) এটি বিদ্যুৎ এবং চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয় না । সুতরাং এর মধ্যে কোনো চার্জ নেই।

(১০) গ্যাসের মধ্য দিয়ে যাবার সময় এটি গ্যাসকে আয়নিত করে ।

(১১) এটি আলোক-বিদ্যুৎ ক্রিয়া প্রদর্শন করে। অর্থাৎ কোনো ধাতব পদার্থে আপতিত হলে তা হতে ইলেকট্রন নির্গত হয় ।

(১২) সাধারণ আলোকের ন্যায় এর প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, অপবর্তন এবং ব্যবর্তন ঘটে ।

(১৩) এটি জীবন্ত কোষকে ধ্বংস করতে পারে ।

(১৪) এর প্রভাবে জীব কোষের জিনের (genes) চারিত্রিক গুণাবলির পরিবর্তন ঘটে । DAT(18-19)

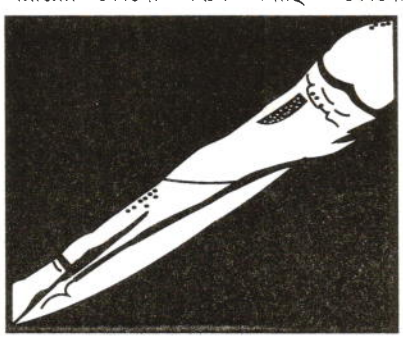
(১৫) চামড়ার ওপর অনেকক্ষণ ধরে এটি আপতিত হলে শরীরের ক্ষতিসাধন করে। তখন এটি রক্তের শ্বেত-কণিকা ধ্বংস করে।

(১৬) X-রশ্মির তীব্রতা ব্যস্তানুপাতিক সূত্র মেনে চলে ।

৮·১২·৩ এক্স-রের ব্যবহার
Uses of X-rays

আধুনিক বিজ্ঞান জগতে এক্স-রে এর ব্যবহার একটি অমূল্য অবদান। নিম্নে এক্স-রে এর বিভিন্ন প্রয়োগের বিবরণ দেয়া হলো।

(১) চিকিৎসা ক্ষেত্রে (In medical science) : শরীরের কোনো অংশের হাড় স্থানচ্যুত হলে, হাড় ভেঙ্গে গেলে বা শরীরের কোনো অংশে অবাঞ্ছিত কোনো বস্তু প্রবেশ করলে এক্স-রে দ্বারা তা ধরা যায়। দাঁতের ক্ষয় এবং দাঁতের গোড়ায় ক্ষত নির্ণয়ে এক্স-রে ব্যবহার করা হয়। আলসার, ক্যান্সার, টিউমার, যক্ষ্মা প্রভৃতি রোগ নির্ণয় এক্স-রে এর সাহায্যে করা যায়। এ ছাড়া জীব কোষ ধ্বংসের কাজে এক্স-রে ব্যবহার করা হয়।


চিত্র ৮·১২

(২) গোয়েন্দা বিভাগে (In detective departments) : কোনো কাঠের বাক্স বা চামড়ার থলের মধ্যে লুকানো বিস্ফোরক, আগ্নেয়াস্ত্র বা নিষিদ্ধ দ্রব্য থাকলে এক্স-রে এর সাহায্যে তা নির্ণয় করা যায়। তা ছাড়া কোনো দুষ্কৃতিকারীর পেটে সোনা, রূপা, মুক্তা প্রভৃতি মূল্যবান ধাতু থাকলে এক্স-রে এর সাহায্যে তা চিহ্নিত করা যায়।

(৩) শিল্প ক্ষেত্রে (In industry) : কোনো ধাতব পাতের অভ্যন্তরে কোনো ফাটল বা গর্ত নির্ণয়ের জন্য, প্রকৃত এবং নকল হীরকের পার্থক্য নির্ণয়ের জন্য, ঝিনুকের মধ্যে মুক্তার অবস্থান নির্ণয়ের জন্য, ঢালাইয়ের কোনো খুঁত নির্ধারণের জন্য এবং ঝালাইয়ের ত্রুটি নির্ণয়ের কাজে এক্স-রে ব্যবহার করা হয়। আজকাল চামড়া শিল্পে এক্স-রে ব্যবহৃত হচ্ছে।

(৪) ব্যবসায়ে (In commerce) : আমেরিকা, ইংল্যান্ড এবং অন্যান্য উন্নত দেশসমূহে লজেন্স, টফি, কেক প্রভৃতি খাদ্য তৈরির পর এক্স-রে এর সাহায্যে তা পরীক্ষা করা হয়। অনেক সময় অবাঞ্ছিত দ্রব্য এই সমস্ত খাদ্যদ্রব্যের মধ্যে মিশ্রিত হয়ে খাদ্যদ্রব্য বিষাক্ত করে ফেলে। এক্স-রে এই বিপদ দূর করতে সাহায্য করে ব্যবসায়ের সুনাম অক্ষুণ্ন রাখে।

(৫) পরীক্ষাগারে (In laboratory) : পরমাণুর গঠন, কেলাসের গঠন এবং অন্যান্য বৈজ্ঞানিক গবেষণায় এক্স-রে ব্যবহৃত হয়।

নিজে কর : এক্স-রশ্মি তড়িৎ চুম্বকীয় রশ্মি, তাহলে তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা এক্স-রশ্মি বিক্ষিপ্ত হয় না কেন?

এক্স-রশ্মি আহিত কণা নয়, তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ। তাই তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা এক্স-রশ্মি বিক্ষিপ্ত হয় না।

৮·১৩ ফটো তড়িৎ ক্রিয়া
Photo electric effect

দুপুরের প্রখর সূর্যের তাপে টিনের চালে আলো এসে পড়লে যদি টিনের চাল থেকে ইলেকট্রন নির্গত হয়ে বিদ্যুৎ উৎপন্ন হতো তাহলে ব্যাপারটি কেমন হতো একবার ভেবে দেখতো! ঠিক এমনই একটি ঘটনা হলো ফটো তড়িৎ ক্রিয়া। এখন এই ক্রিয়া সম্পর্কে আমরা জানব।

পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেছে **যে ধাতব পদার্থের ওপর যথোপযুক্ত কম্পাঙ্কের দৃশ্যমান আলোক কিংবা অন্য কোনো বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ আপতিত হলে ওই পদার্থ হতে ইলেকট্রন নির্গত হয়। এই ঘটনাকে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া বা ফটো ইলেকট্রিক ইফেক্ট বলে।** আলোক রশ্মি যতক্ষণ পর্যন্ত ধাতব পদার্থে আপতিত হয়, ততক্ষণই ইলেকট্রন নির্গত হয়। ধাতব পদার্থ হতে নির্গত ইলেকট্রনকে বলা হয় **ফটো-ইলেকট্রন** (Photo-electron) বা **আলোক ইলেকট্রন।** DAT(17-18,22-23) **সোডিয়াম, পটাশিয়াম, সিজিয়াম, লিথিয়াম, রুবিডিয়াম** প্রভৃতি ক্ষারধর্মী পদার্থের ওপর দৃশ্যমান আলোক আপতিত হলে অধিক পরিমাণে ফটো ইলেকট্রন নির্গত হয়। অর্থাৎ ক্ষারধর্মী পদার্থের আলোক তড়িৎ সংবেদনশীলতা বেশি। তবে এক্স-রশ্মি বা গামা-রশ্মির প্রভাবে সব ধাতব পদার্থে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া পরিলক্ষিত হয়।

আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়।

ধাতব পদার্থের ওপর উপযুক্ত কম্পাঙ্ক বা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক আপতিত হলে ওই পদার্থ হতে ইলেকট্রন নির্গত হয়। এই পদ্ধতিকে আলোক-তড়িৎ নির্গমন এবং এই ক্রিয়াকে আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া বা আলোক বিদ্যুৎ ক্রিয়া বা ফটো ইলেকট্রিক ইফেক্ট বলে। আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার প্রভাবে নির্গত ইলেকট্রনকে আলোক ইলেকট্রন বা ফটো ইলেকট্রন, ইলেকট্রনের নিঃসরণকে আলোক তড়িৎ নিঃসরণ এবং ইলেকট্রনের নিঃসরণের ফলে যে বিদ্যুৎ প্রবাহ সৃষ্টি হয় তাকে আলোক তড়িৎ প্রবাহ বা ফটো কারেন্ট বলে। আলোক তীব্রতা ও ফটো ইলেকট্রন নিঃসরণের লেখচিত্র ৮·১২(ক)-এ দেখানো হলো। লক্ষনীয় যে ফটো ইলেকট্রন নিঃসরণ আলোক তীব্রতার ওপর নির্ভর করে না।

চিত্র ৮·১২(ক)

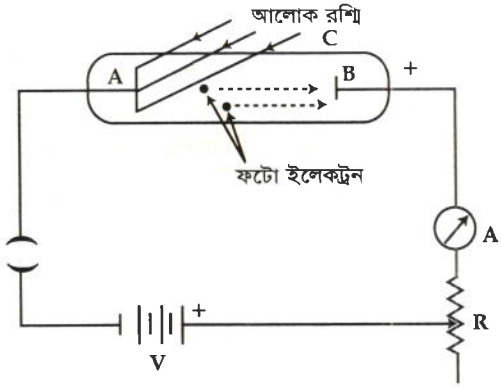
৮·১৩·১ আলোক তড়িৎ ক্রিয়া আবিষ্কার
Discovery of photo electric effect

1873 খ্রিস্টাব্দে ডব্লিউ. স্মিথ (W. Smith) নামক একজন টেলিফোন অপারেটর আলোক তড়িৎ ক্রিয়া আবিষ্কার করেন। ট্রান্স আটলান্টিক ক্যাবল-এর বৈদ্যুতিক রোধ পরিমাপের যন্ত্রে তিনি সেলিনিয়াম রোধক ব্যবহার করেন। পরীক্ষাকালে তিনি লক্ষ করেন যে সূর্যের আলোক রোধকের ওপর আপতিত হওয়ায় বর্তনীর বিদ্যুৎ প্রবাহ অনেকাংশে বৃদ্ধি পায়। 1887 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী হার্জ (Hertz) লক্ষ করেন যে, দুটি বিদ্যুৎদ্বারের মধ্যবর্তী ফাঁকে বা ঋণ বিদ্যুৎদ্বারে অতি বেগুনি রশ্মি আপতিত হলে এদের মধ্যে স্ফুলিঙ্গ (sparking) চলতে থাকে। 1888 খ্রিস্টাব্দে হল্‌ওয়াচ (Hallwachs) এবং তাঁর সঙ্গীরা গবেষণার সময় লক্ষ করেন যে অতি বেগুনি রশ্মি ধনাত্মক আধানযুক্ত পাতের ওপর আপতিত হলে তা দ্রুত অচার্জিত হয়ে পড়ে এবং ঋণাত্মক আধানযুক্ত পাতের ওপর আপতিত হলে এই ক্রিয়া সংঘটিত হয় না। 1899 খ্রিস্টাব্দে **জে. জে. থমসন** এবং 1900 খ্রিস্টাব্দে **লিনার্ড** প্রমাণ করেন যে, আলোকের প্রভাবে ধাতব পাত হতে নির্গত কণাগুলো ইলেকট্রন ছাড়া আর কিছুই নয়। MAT(14-15,21-22)

৮·১৩·২ পরীক্ষণ : আলোক তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন
Experiment : Demonstration of photo electric effect

একটি কোয়ার্জ (Quartz) নল, দস্তার দুটি পাত, ক্যাথোড পাত ও অ্যানোড পাত, অ্যামিটার, চাবি, একটি ব্যাটারি ও একটি পরিবর্তনশীল রোধ নিয়ে পরীক্ষণটি সম্পন্ন কর।

এই পরীক্ষায় C একটি বায়ুশূন্য কোয়ার্টজ (Quartz) নল। নলের মধ্যে দস্তার তৈরি দুটি পাত রয়েছে। একটি ক্যাথোড প্লেট A, অপরটি অ্যানোড প্লেট B। A পাতের ওপর সোডিয়াম, পটাসিয়াম, লিথিয়াম ইত্যাদি ক্ষারকীয় পদার্থের প্রলেপ থাকে। উক্ত পরীক্ষায় A পাতের ওপর লিথিয়াম ডাই-অক্সাইড (Li_2O)-এর একটি প্রলেপ আছে। A পাতকে ব্যাটারির ঋণপাত এবং B পাতকে একটি অ্যামিটার ও পরিবর্তনশীল রোধ R-এর মাধ্যমে ব্যাটারির ধনপাতের সাথে যুক্ত করা হয় [চিত্র ৮·১৩]। R-এর মান কম-বেশি করে পাত দুটির মধ্যে বিভব পার্থক্য নিয়ন্ত্রণ করা হয়।



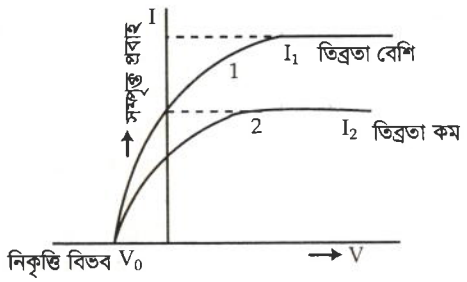
চিত্র ৮·১৩

এখন A পাতের ওপর আলোক আপতিত হলে তা হতে ইলেকট্রন নির্গত হবে। B পাত ধনাত্মক হওয়ায় ইলেকট্রন আকৃষ্ট হবে এবং বর্তনীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চলবে। ফলে অ্যামিটার বিক্ষেপ দেখাবে। আলোক না পড়লে অ্যামিটারের কোনো বিক্ষেপ হবে না। তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা আপতিত আলোকের তীব্রতার ওপর নির্ভর করে।

চিত্র ৮·১৪-এ ক্যাথোড প্লেট A ও অ্যানোড প্লেট B এর মধ্যে প্রযুক্ত বিভব পার্থক্য V-এর সাথে আলোক তড়িৎ প্রবাহমাত্রা I-এর নির্ভরতা দেখানো হয়েছে। এই চিত্রে 1 ও 2 লেখ দুটি হচ্ছে আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার অ্যাম্পিয়ার-ভোল্ট বৈশিষ্ট্য লেখ। এই লেখগুলো থেকে দেখা যায়॥

(ক) সম্পৃক্ত প্রবাহ (Saturation current) : V-এর মান যথেষ্ট বেশি হলে, বৈশিষ্ট্য লেখগুলো অনুভূমিক হয় অর্থাৎ V বাড়লেও I স্থির থাকে। এ থেকে বোঝা যায় যে প্রবাহ সম্পৃক্ত হয়েছে। অর্থাৎ ক্যাথোড থেকে নির্গত সকল ইলেকট্রন অ্যানোড গ্রহণ করেছে।

(খ) আপতিত আলোর তীব্রতার প্রভাব (Effect of intensity of incident light) : V যদি ধ্রুবক হয় তবে ফটো ক্যাথোডে আপতিত একবর্ণী আলোর তীব্রতা যত কমে, আলোক তড়িৎ প্রবাহমাত্রাও তত কম হয়। এখানে **আলোক তড়িৎ প্রবাহমাত্রা আপতিত আলোক তীব্রতার সমানুপাতিক।**



চিত্র ৮·১৪

(গ) নিবৃত্তি বিভব (Stopping potential) : ক্যাথোড সাপেক্ষে অ্যানোডে ঋণাত্মক বিভব প্রয়োগ করলে আলোক তড়িৎপ্রবাহ সঙ্গে সঙ্গে বন্ধ হয় না। এর কারণ হলো যে ইলেকট্রনগুলোর কিছু প্রারম্ভিক গতিশক্তি থাকে, যার ফলে ঋণাত্মক বিভবের বিকর্ষণ বলকে অতিক্রম করে কিছু সংখ্যক ইলেকট্রনের সংগ্রাহক অ্যানোডে পৌঁছা সম্ভব। এখন অ্যানোডের ঋণাত্মক বিভবের মান বাড়তে থাকলে একটি অবস্থায় আলোক তড়িৎ প্রবাহ শূন্যে নেমে আসে। এই অবস্থায় ঋণাত্মক বিভবই হলো নিবৃত্তি বিভব V_0। চিত্রের 1 ও 2 লেখ দুটি বিশ্লেষণ করলে নিম্নোক্ত সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায়—

(i) আপতিত আলোর তীব্রতার ওপর নিবৃত্তি বিভব V_0 আদৌ নির্ভর করে না।
(ii) আলোর তীব্রতা বৃদ্ধি পেলে সম্পৃক্ত প্রবাহমাত্রার মান বৃদ্ধি পায়।
(iii) আপতিত আলোর তীব্রতা যাহোক না কেন, একটি নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের আলোর ক্ষেত্রে নিবৃত্তি বিভবের মান সর্বদা একই মানের হয়।

ওপরের আলোচনা থেকে প্রারম্ভ বা সূচন কম্পাঙ্ক, নিবৃত্তি বিভব এবং কার্য অপেক্ষকের নিম্নরূপ সংজ্ঞা দেয়া যায়।

প্রারম্ভ বা সূচন কম্পাঙ্ক (Threshold frequency) : প্রত্যেক ধাতুর ক্ষেত্রে একটি ন্যূনতম কম্পাঙ্ক আছে যার চেয়ে কম কম্পাঙ্কবিশিষ্ট কোনো আলো ওই ধাতু থেকে ইলেকট্রন নির্গত করতে পারে না। ওই ন্যূনতম কম্পাঙ্ককে ওই ধাতুর প্রারম্ভ বা সূচন কম্পাঙ্ক বলে। সূচন কম্পাঙ্ক, $\upsilon_0 = \frac{W_0}{h}$, এখানে W_0 = কার্য অপেক্ষক, h = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক। MAT(22-23) DAT(22-23)

নিবৃত্তি বিভব : ক্যাথোড প্লেটের সাপেক্ষে অ্যানোড প্লেটে যে ন্যূনতম ঋণ বিভব দিলে আলোক তড়িৎ প্রবাহমাত্রা সদ্য বন্ধ হয়ে যায়, সেই বিভবকে নিবৃত্তি বিভব বলা হয়।

কার্য অপেক্ষক (Work function) : কোনো ধাতব পৃষ্ঠ হতে শূন্য বেগসম্পন্ন ইলেকট্রন নির্গত করতে যতটুকু শক্তির প্রয়োজন তাকে ওই ধাতুর কার্য অপেক্ষক বলে। কার্য অপেক্ষক, $W = h\upsilon$, এখানে h = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, υ = ফোটনের কম্পাঙ্ক।

৮·১৩·৩ আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার বৈশিষ্ট্য
Characteristics of photo electric effect

আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য রয়েছে—

(১) আলোক তড়িৎ ক্রিয়া একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা অর্থাৎ আলো আপতিত হওয়ার সঙ্গে সঙ্গেই ইলেকট্রন নির্গত হয়। আলোক রশ্মির আপতিত ও ইলেকট্রন নিঃসরণের মধ্যে সময়ের ব্যবধান 10^{-9} s বা তারও কম।

(২) প্রত্যেক ধাতু হতে আলোক ইলেকট্রন নির্গমনের জন্য আপতিত রশ্মির একটি ন্যূনতম কম্পাঙ্ক থাকে যার নাম প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক।

(৩) বিভিন্ন ধাতুর ক্ষেত্রে প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক বিভিন্ন।

(৪) আলোক ইলেকট্রনের বেগ কোনো নির্দিষ্ট শীর্ষ মানের মধ্যে হতে পারে।

(৫) আলোক ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিবেগ আপতিত রশ্মির কম্পাঙ্কের সমানুপাতিক।

(৬) আলোক ইলেকট্রন নির্গমনের হার আপতিত আলোকের প্রাবল্যের সমানুপাতিক।

অনুসন্ধান কর : এক্স-রশ্মি বা গামা রশ্মি দ্বারা আলোক তড়িৎ ক্রিয়া ঘটানো সম্ভব কী ?

দৃশ্যমান আলোর ফোটনের শক্তি অপেক্ষাকৃত কম। এই রশ্মি ধাতব পৃষ্ঠে আপতিত হলে ফোটনটি বিলুপ্ত হয় এবং সম্পূর্ণ শক্তি ইলেকট্রন শোষণ করে ধাতু থেকে নির্গত হয়। কিন্তু এক্স-রশ্মি বা গামা রশ্মির ফোটনের শক্তি খুবই বেশি যা ইলেকট্রন সম্পূর্ণ শোষণ করতে পারে না এবং ফোটনও বিলুপ্ত হয় না। এ ঘটনাটি আলোক তড়িৎ ক্রিয়া নয়, কম্পটন ক্রিয়া।

৮·১৩·৪ আলোক তড়িৎ নির্গমনের সূত্রাবলি
Laws of photo electric emission

1912 খ্রিস্টাব্দে **লিনার্ড, থমসন, রিচার্ডসন** এবং **কম্পটন**-এর পরীক্ষালব্ধ ফলাফল হতে নির্ণীত হয়েছে যে আলোক তড়িৎ নির্গমন নিম্নলিখিত সূত্র মেনে চলে।

১ম সূত্র : আলোক তড়িৎ নির্গমন একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা। অর্থাৎ আপতিত রশ্মির পতনকাল এবং আলোক ইলেকট্রন-এর নির্গমনকালের মধ্যে সময়ের ব্যবধান যদি থাকেও তবে তা অবশ্যই 3×10^{-9} সেকেন্ডের কম।

২য় সূত্র : প্রতিটি আলোক ইলেকট্রন নির্গমনের ক্ষেত্রে আপতিত আলোক রশ্মির একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম কম্পাঙ্ক রয়েছে যার নাম প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক।

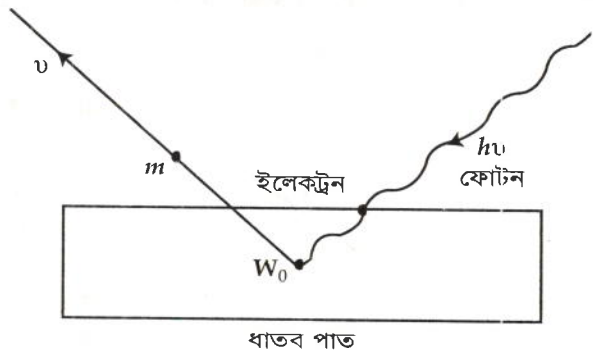
৩য় সূত্র : আপতিত আলোকের কম্পাঙ্ক প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক অপেক্ষা অধিক হলে আলোক তড়িৎ প্রবাহ মাত্রা আপতিত আলোকের প্রাবল্যের সমানুপাতিক অর্থাৎ $i \propto I$।

এখানে i = তড়িৎ প্রবাহমাত্রা এবং I = আলোকের প্রাবল্য।

৪র্থ সূত্র : আলোক ইলেকট্রনের গতিবেগ তথা গতিশক্তি আপতিত আলোকের প্রাবল্যের ওপর নির্ভর করে না, বরং আপতিত আলোকের কম্পাঙ্ক এবং নিঃসারক বা নির্গমক (emitter)-এর প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে।

৮·১৩·৫ আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ সমীকরণ
Einstein's photo electric equation

1905 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত বিজ্ঞানী আইনস্টাইন আলোক তড়িৎ ক্রিয়া ব্যাখ্যার জন্য প্ল্যাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব প্রয়োগ করেন। কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুসারে যেকোনো বিকিরণ অসংখ্য ফোটনের সমষ্টি অর্থাৎ বিকিরণ ফোটনের একটি ঝাঁক বা ঝরনা। একে ফোটন হাইপোথেসিস (hypothesis) বলে। যদি υ ফোটনের কম্পাঙ্ক হয়, তবে প্রতিটি ফোটনের শক্তি হবে $= h\upsilon$, এখানে h হলো প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক। মনে করি $h\upsilon$ শক্তিবিশিষ্ট একটি ফোটন কোনো একটি ধাতব পাতের পরমাণুর ওপর আপতিত হলো [চিত্র ৮·১৫]। ফোটনের সাথে পরমাণুর একটি সংঘাত হবে এবং এই সংঘাত একটি স্থিতিস্থাপক সংঘাত হবে। এই সংঘাতের ফলে পরমাণুস্থ একটি ইলেকট্রন ফোটনের সমুদয় শক্তি গ্রহণ করবে এবং কোনো শক্তি স্থানান্তরিত হবে না। এখন ইলেকট্রনটি নিউক্লিয়াসের সঙ্গে আবদ্ধ থাকায় এই শক্তির কিছু অংশ (W) ইলেকট্রনকে নিউক্লিয়াসের



চিত্র ৮·১৫

আকর্ষণ হতে মুক্ত করতে ব্যয় হবে। অবশিষ্ট শক্তি নিয়ে ইলেকট্রন v বেগে নির্গত হবে। যদি ইলেকট্রনের ভর m হয় তবে এর গতিশক্তি $= \frac{1}{2}mv^2$।

অতএব শক্তির নিত্যতা সূত্র হতে পাই,

$$h\upsilon = \frac{1}{2}mv^2 + W$$

বা, $\frac{1}{2}mv^2 = h\upsilon - W$ ... ... (8.49)

এখানে W = ইলেকট্রনকে নিউক্লিয়াসের বন্ধন থেকে মুক্ত করতে ব্যয়িত শক্তি। যখন বন্ধনশক্তি ন্যূনতম হবে, তখন নির্গত ইলেকট্রনের গতিশক্তি বা বেগ সর্বোচ্চ মানের হবে। এই ন্যূনতম বন্ধনশক্তি W_0 এবং নির্গত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ বেগ v_m হলে, সমীকরণ (8.49)-কে লেখা যায়,

$$\frac{1}{2}mv_m^2 = h\upsilon - W_0$$ ... ... (8.50)

ন্যূনতম বন্ধনশক্তি W_0-কে বলা হয় কার্য অপেক্ষক (Work function)। W_0 বিভিন্ন পদার্থের জন্য ভিন্ন ভিন্ন মানের হয় [সারণি ৮.২ দ্রষ্টব্য]।

সমীকরণ (8.49) ও (8.50) হলো আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ সমীকরণ। ওপরের সমীকরণে, $v_m = 0$ হলে, $h\upsilon = W_0$। সুতরাং কার্য অপেক্ষকের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়।

সংজ্ঞা : কোনো ধাতব পৃষ্ঠ হতে শূন্য বেগসম্পন্ন ইলেকট্রন নির্গত করতে যতটুকু শক্তির প্রয়োজন তাকে ওই ধাতুর কার্য অপেক্ষক বলে।

কোনো ধাতুর কার্য অপেক্ষক 2·31 eV বলতে বুঝায় ওই ধাতব পৃষ্ঠ হতে শূন্য বেগসম্পন্ন ইলেকট্রন নির্গত করতে 2·31 eV শক্তির ফোটনের প্রয়োজন হয়।

হিসাব : কোনো পদার্থের কার্য অপেক্ষক 1·85 eV হলে ওই পদার্থের সূচন কম্পাঙ্ক কত ? [ব. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন)]

Hints : $W_0 = h\upsilon_0$

বা, $\upsilon_0 = \frac{W_0}{h} = \frac{1{\cdot}85 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}{6{\cdot}63 \times 10^{-34}} = 4{\cdot}46 \times 10^{14}$ Hz

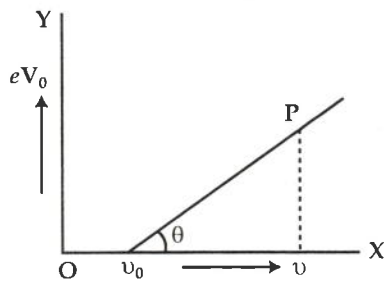
কাজ : আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় উৎপন্ন ইলেকট্রনের গতিশক্তি আপতিত ফোটনের চেয়ে কম হয় কেন ?

আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় উৎপন্ন ইলেকট্রনের গতিশক্তি আপতিত ফোটনের চেয়ে কম হওয়ার সম্ভাবনা খুবই প্রবল, এর কারণ হলো ইলেকট্রনগুলো অবমুক্ত হওয়ার সাথে সাথে ধাতুর প্রস্থচ্ছেদের মধ্য দিয়ে যখন গতিপ্রাপ্ত হয় তখন অণু-পরমাণুগুলোর অবস্থানের দরুন কম-বেশি বাধা পায় বা বৈদ্যুতিক রোধের সম্মুখীন হয়।

৮·১৩·৬ লেখচিত্র হতে ফটো ইলেকট্রিক ক্রিয়ার সমীকরণ প্রতিপাদন
Derivation of the equation of photoelectric effect from the graph

পরীক্ষাভিত্তিক যুক্তির ভিত্তিতে আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করা যায়। মনে করি ধাতব পাত হতে সর্বাধিক বেগে নির্গত ইলেকট্রনের চার্জ $= e$ এবং নিবৃত্তি বিভব $= V_0$। তা হলে আলোক ইলেকট্রনের সর্বাধিক শক্তি হবে $= eV_0$। পুন, নির্গত ইলেকট্রনের সর্বাধিক বেগ v_m হলে, সর্বাধিক গতিশক্তি $= \frac{1}{2}mv_m^2$

$\therefore$ আমরা পাই, $\frac{1}{2}mv_m^2 = eV_0$ ... ... (8.51)



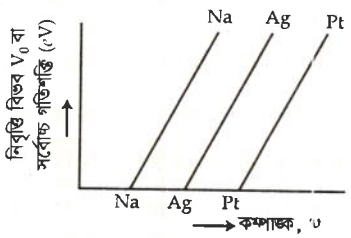
চিত্র ৮·১৬

এই সমীকরণকে ইলেকট্রনের সর্বাধিক গতিশক্তির সমীকরণ বলে।

কম্পাঙ্ক বৃদ্ধির সাথে সাথে eV_0 বৃদ্ধি পায়। এখন বিকিরণের কম্পাঙ্ক υ-কে X-অক্ষে এবং eV_0-কে Y-অক্ষে বসিয়ে একটি লেখচিত্র অঙ্কন করি। eV_0—υ লেখটি একটি সরলরেখা হবে যা X-অক্ষকে υ_0-তে ছেদ করবে [চিত্র ৮·১৬]। এক্ষেত্রে υ_0 কম্পাঙ্ককে সূচন কম্পাঙ্ক বা প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক বলা হয়। এই সূচন কম্পাঙ্কের কোনো বিকিরকের তল হতে আলোক ইলেকট্রনের নির্গমন শুরু হবে। উল্লেখ থাকে যে বিভিন্ন বিকিরকের সূচন কম্পাঙ্ক বিভিন্ন হবে।

বিভিন্ন ধাতুর জন্য কম্পাঙ্ক ও নিবৃত্তি বিভবের লেখচিত্র ৮·১৬(ক) দেখানো হয়েছে।

চিত্র ৮·১৬(ক) থেকে দেখা যায় যে, প্রতিটি ধাতুর ক্ষেত্রেই আপতিত আলোর এমন একটা কম্পাঙ্ক থাকে যার জন্য আলোক তড়িৎ ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি শূন্য হয় অর্থাৎ কোনো ইলেকট্রন নিঃসৃত হয় না। সরলরেখাটির ওপর যেকোনো একটি বিন্দু নিই। মনে করি এটি P। ধরি সরলরেখাটি X-অক্ষের সাথে θ কোণ উৎপন্ন করে।



চিত্র ৮·১৬(ক)

∴ আমরা পাই, $\tan\theta = \dfrac{eV_0}{\upsilon - \upsilon_0}$ ... ... (8.52)

কিন্তু $\tan\theta$ = সরলরেখাটির ঢাল = h = ধ্রুব সংখ্যা = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক।

∴ $h = \dfrac{eV_0}{\upsilon - \upsilon_0}$

বা, $eV_0 = h(\upsilon - \upsilon_0)$ ... ... (8.53)

বা, $\frac{1}{2} mv_m^2 = h(\upsilon - \upsilon_0)$ [সমীকরণ (8.51) ব্যবহার করে]

বা, $\frac{1}{2} mv_m^2 = h\upsilon - h\upsilon_0$

বা, $\boxed{\frac{1}{2} mv_m^2 = h\upsilon - W_0}$ ... ... (8.54)

এই সমীকরণকে আইনস্টাইনের ফটো তড়িৎ ক্রিয়ার সমীকরণ বলে।

এখানে, $h\upsilon_0 = W_0$ = আলোক তড়িৎ কার্য অপেক্ষক (photo-electric work function)। অর্থাৎ কোনো একটি ইলেকট্রনকে বিকিরকের নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ বন্ধন হতে মুক্ত করতে যে পরিমাণ কাজ সম্পাদন করতে হয়, তাকে আলোক তড়িৎ কার্য অপেক্ষক বলে। সমীকরণ (8.54) আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের একটি গুরুত্বপূর্ণ সমীকরণ।

আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ সমীকরণের সাহায্যে আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার বিভিন্ন বৈশিষ্ট্যের ব্যাখ্যা [ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়ায় প্রাপ্ত ফলাফল] নিম্নে প্রদত্ত হলো :

(ক) এই তত্ত্ব অনুসারে যেকোনো বিকিরণ অসংখ্য ফোটনের সমষ্টি যাদের প্রত্যেকের শক্তি হলো $h\upsilon$। সুতরাং আলোকের তীব্রতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে ফোটনের সংখ্যা বৃদ্ধি পায় এবং আলোক তড়িৎ প্রবাহ বৃদ্ধি পায়। কিন্তু আলোকের কম্পাঙ্ক অপরিবর্তিত থাকলে ফোটনের শক্তি বৃদ্ধি পায় না বরং ফোটনের বেগ এবং গতিশক্তি অপরিবর্তিত থাকে। সুতরাং কোয়ান্টাম তত্ত্ব পরীক্ষালব্ধ ফলের সাথে সঙ্গতিপূর্ণ।

(খ) আমরা জানি $W_0 = h\upsilon_0$ একটি ধ্রুব সংখ্যা। সুতরাং আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ সমীকরণ হতে দেখা যায় যে, ইলেকট্রনের গতিশক্তি আপতিত আলোকের কম্পাঙ্কের সমানুপাতিক।

(গ) এই তত্ত্ব অনুযায়ী এক একক ফোটন ও এক একক ইলেকট্রনের মধ্যে সংঘর্ষ হলে ইলেকট্রন এর গৃহীত শক্তির ভাগ অন্যান্য ইলেকট্রনকে দেয় না। সুতরাং এই সংঘর্ষে শক্তি সংরক্ষিত থাকে অর্থাৎ এটি একটি স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ। পুন, স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষে শক্তির তাৎক্ষণিক হস্তান্তর ঘটে। সুতরাং আলোক রশ্মির আপতন ও ইলেকট্রন নির্গমন একই সঙ্গে ঘটে।

(ঘ) আলোকের কম্পাঙ্ক υ-এর মান ক্রমশ হ্রাস পেতে থাকলে ইলেকট্রনের বেগ হ্রাস পায় এবং একটি ন্যূনতম কম্পাঙ্ক υ_0-এর জন্য বেগ শূন্য হয়। ফলে এর নিচের কম্পাঙ্কে কোনো আলোক ইলেকট্রন নির্গত হয় না। অতএব প্রত্যেক ধাতব বস্তুর জন্য একটি ন্যূনতম কম্পাঙ্ক থাকে যাকে **প্রারম্ভ** বা **সূচন কম্পাঙ্ক** বলে। একে υ_0 দ্বারা সূচিত করা হয়। সুতরাং কোয়ান্টাম তত্ত্ব দ্বারা আলোক তড়িৎ ক্রিয়া বিশদভাবে ব্যাখ্যা করা সক্ষম।

সারণি ৮·২

ধাতু	কার্য অপেক্ষক, W_0 (eV)
সিজিয়াম (Cesium)	2·14
পটাসিয়াম (Potassium)	2·30
সোডিয়াম (Sodium)	2·75
রূপা (Silver)	4·74
তামা (Copper)	4·94
সোনা (Gold)	5·31
প্লাটিনাম (Platinum)	5·65

পদার্থবিজ্ঞান (২য়)—২৪(খ)

কাজ : আপতিত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য হ্রাস পেলে নির্গত আলোক ইলেকট্রনের বেগের ওপর ইহা কী প্রভাব ফেলবে?

আইনস্টাইনের আলোক-তড়িৎ সমীকরণ থেকে পাওয়া যায় যে,

আলোক ইলেকট্রনের গতিশক্তি $= \frac{1}{2} mv^2 = h\upsilon - W_0 = \frac{hc}{\lambda} - W_0$

তাই আপতিত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য হ্রাস পেলে নিঃসৃত আলোক ইলেকট্রনের বেগ বৃদ্ধি পাবে।

কাজ : ইলেকট্রন দিয়ে ফোটন ও ফোটন দিয়ে ইলেকট্রন উৎপন্ন সম্ভব কি না ?

উপযুক্ত বেগের ইলেকট্রন টার্গেটে আঘাত করে এক্স-রশ্মি ফোটন উৎপন্ন করে। আবার উপযুক্ত কম্পাঙ্কের ফোটন কোনো পদার্থে আপতিত হয়ে আলোক তড়িৎ ইলেকট্রন নিঃসৃত করে।

হিসাব : সোডিয়াম ধাতুর ওপর 6800 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের কমলা রঙের আলোক রশ্মি ফেললে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া সৃষ্টি হবে কী? সোডিয়াম ধাতুর কার্য অপেক্ষক 2·3 eV।

কার্য অপেক্ষক W_0 এবং প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ_0 হলে,

$$\lambda_0 = \frac{hc}{W_0}$$

সোডিয়ামের ক্ষেত্রে, $\lambda_0 = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2.3 \times 1.6 \times 10^{-19}} = 5.4049 \times 10^{-7}\ \text{m} = 5405\ \text{Å}$

অতএব সোডিয়ামের প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5405Å। যেহেতু আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6800Å, প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা বেশি তাই আপতিত আলো সোডিয়াম ধাতুতে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন করবে না।

কাজ : এক্স রশ্মি উৎপাদন এবং আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার সাহায্যে ইলেকট্রন উৎপাদন পরস্পর বিপরীত ক্রিয়া—ব্যাখ্যা কর।

উচ্চ গতিসম্পন্ন ইলেকট্রন যখন ধাতব লক্ষ্যবস্তুর ওপর আপতিত হয় তখন এক্স রশ্মি উৎপন্ন হয়। পক্ষান্তরে আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় আলোক সংবেদী ধাতব পৃষ্ঠে উপযুক্ত কম্পাঙ্কের আলো আপতিত হলে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়। সুতরাং, এক্স রশ্মি উৎপাদনের ক্ষেত্রে ইলেকট্রনের শক্তি আলোক কণা (ফোটন) উৎপন্ন করে। অপরদিকে আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় ফোটনের শক্তি ধাতু পৃষ্ঠ থেকে ইলেকট্রনের নিঃসরণ ঘটায়। অর্থাৎ, এই দুই প্রক্রিয়া পরস্পরের বিপরীত।

ফটোসেল বা আলোক তড়িৎ কোষ

আলোক তড়িৎ ক্রিয়াকে ব্যবহার করে একটি ব্যবস্থার সাহায্যে আলোক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয়। এই ব্যবস্থার নামই ফটোসেল বা আলোক তড়িৎ কোষ। লোক গণনার কাজে স্বয়ংক্রিয় যন্ত্রে ফটোসেল ব্যবহার করা হয়। অফিস বা বাসাবাড়িতে চোর শনাক্তের কাজে ফটোসেল ব্যবহার করে বার্গলার অ্যালার্ম ব্যবহার করা হয়।

গাণিতিক উদাহরণ ৮.৬

১। এক ব্যক্তি বুকের এক্স-রে করার সময় 1.5×10^{-3} J শক্তি শোষণ করল। প্রতিটি এক্স-রে ফোটনের শক্তি 40,000 eV হলে তিনি কত সংখ্যক ফোটনের শক্তি শোষণ করেছেন ? [1 eV = 1.6×10^{-19} J]

[RU-C Admission Test, 2021-22]

ধরা যাক, তিনি n সংখ্যক এক্স-রে ফোটনের শক্তি শোষণ করেছেন।

সুতরাং, $n = \frac{\text{মোট শোষিত শক্তি}}{\text{প্রতিটি ফোটনের শক্তি}} = \frac{1.5 \times 10^{-3}\ \text{J}}{6.4 \times 10^{-15}\ \text{J}}$

$= 2.3 \times 10^{11}$

এখানে,

ফোটনের শক্তি $= 40,000\ eV$
$= 40,000 \times 1.6 \times 10^{-19}$ J
$= 6.4 \times 10^{-15}$ J

মোট শোষিত শক্তি $= 1.5 \times 10^{-3}$ J

লোকটি 2.3×10^{11} সংখ্যক ফোটনের শক্তি শোষণ করেছেন।

২। সোডিয়ামের সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6800 Å। এর কার্য অপেক্ষক নির্ণয় কর।

[ঢা. বো. ২০১৭; কু. বো. ২০০৫; চ. বো. ২০০১; রা. বো. ২০০০; CUET Admission Test, 2013–14]

আমরা জানি, কার্য অপেক্ষক,

$$W = h\upsilon_0 = \frac{hc}{\lambda_0} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{6800 \times 10^{-10}}$$

$$= 2.925 \times 10^{-19}\ \text{J} \simeq 2.93 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

এখানে,

$\lambda_0 = 6800$ Å
$= 6800 \times 10^{-10}$m
$c = 3 \times 10^8\ \text{ms}^{-1}$
$h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js

৩। কোনো ধাতুর ওপর 2500 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতিবেগুনি রশ্মি ফেলা হলো। ধাতুর কার্য অপেক্ষক 2·3 eV হলে নিঃসৃত ফটো ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ বেগ কত হবে ? [ঢা. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); য. বো. ২০১৬; কু. বো. ২০১০; রা. বো. ২০০৭, ২০০৫; ব. বো. ২০০৬; Admission Test : BUET 2018-19 (মান ভিন্ন); BuTex 2021-22 (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি,

$$E_{max} = \frac{1}{2} mv^2 = h\upsilon - W_0$$

বা, $\frac{1}{2} mv^2 = \frac{hc}{\lambda} - W_0$

বা, $\frac{1}{2} \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times v^2$

$$= \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2500 \times 10^{-10}} - 2{\cdot}3 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$$

বা, $4{\cdot}55 \times 10^{-31} v^2 = 7{\cdot}956 \times 10^{-19} - 3{\cdot}68 \times 10^{-19}$

বা, $v^2 = \frac{4{\cdot}276 \times 10^{-19}}{4{\cdot}55 \times 10^{-31}}$

$\therefore \quad v = 969 \times 10^3 \text{ ms}^{-1} = 969 \text{ kms}^{-1}$

এখানে,

$\lambda = 2500 \text{ Å}$

$= 2500 \times 10^{-10} \text{ m}$

$W_0 = 2{\cdot}3 \text{ } eV$

$= 2{\cdot}3 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \text{ J}$

$m = 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \text{ kg}$

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34} \text{ Js}$

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

৪। যখন 250 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট আলো একটি ফটোসেলের ক্যাথোডে আপতিত হয়, তখন নিবৃত্তি বিভব 4V। যদি আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 300 nm প্রবৃদ্ধি করা হয় তা হলে নিবৃত্তি বিভব নির্ণয় কর।

[BUET Admission Test, 2019-20]

আমরা জানি,

$$h\gamma - h\gamma_0 = eV_0$$

ধরা যাক, 250 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যে নিবৃত্তি বিভব V_{01} এবং 300 nm-এ নিবৃত্তি বিভব V_{02}। অতএব,

$$h\gamma_1 - h\gamma_0 = eV_{01}$$

বা, $\frac{hc}{\lambda_1} - \frac{\lambda_c}{\lambda_0} = eV_{01} \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$

এবং $\frac{hc}{\lambda_2} - \frac{hc}{\lambda_0} = eV_{02} \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$

সমীকরণ (i) ও (ii) বিয়োগ করে পাই,

$$\frac{hc}{\lambda_1} - \frac{hc}{\lambda_2} = e(V_{01} - V_{02})$$

বা, $hc\left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}\right) = e(V_{01} - V_{02})$

বা, $6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8 \left(\frac{1}{250 \times 10^{-9}} - \frac{1}{300 \times 10^{-9}}\right) = 1{\cdot}6 \times 10^{-19} (4 - V_{02})$

বা, $1{\cdot}6 \times 10^{-19} (4 - V_{02}) = 19{\cdot}89 \times 10^{-26} \left(\frac{1}{250} - \frac{1}{300}\right) = 19{\cdot}89 \times 10^{-17} \left(\frac{300 - 250}{250 \times 300}\right)$

বা, $4 - V_{02} = \frac{19{\cdot}89 \times 10^{-17}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}} \times \frac{50}{250 \times 300}$

বা, $V_{02} = 4 - \frac{19{\cdot}89 \times 10^2 \times 50}{250 \times 300 \times 1{\cdot}6} = 4 - 0{\cdot}829 = 3{\cdot}171 \text{ volt}$

এখানে,

$\lambda_1 = 250 \text{ nm} = 250 \times 10^{-9} \text{ m}$

$\lambda_2 = 300 \text{ nm} = 300 \times 10^{-9} \text{ m}$

$V_{01} = 4V$

৫। Ag ও Au-এর সূচন কম্পাঙ্ক যথাক্রমে $6{\cdot}033 \times 10^{14}$ Hz ও $4{\cdot}416 \times 10^{14}$ Hz এবং এদের নিবৃত্তি বিভব যথাক্রমে 2·25 V এবং 1·58 V। প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক এবং উভয়ের কার্যাপেক্ষক নির্ণয় কর।

[রা. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); BUET Admission Test, 2015–16]

আমরা জানি,

$$h\upsilon = eV_{Ag} + h\upsilon_{0Ag} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \text{(i)}$$

$$h\upsilon = eV_{Au} + h\upsilon_{0Au} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \text{(ii)}$$

$$\therefore \quad eV_{Ag} + h\upsilon_{0Ag} = eV_{Au} + h\upsilon_{0Au}$$

$$\therefore \quad h = \frac{eV_{Ag} - eV_{Au}}{\upsilon_{0Ag} - \upsilon_{0Au}}$$

$$= \frac{1{\cdot}6 \times 10^{-19}\,(2{\cdot}25 - 1{\cdot}58)}{10^{14}\,(6{\cdot}033 - 4{\cdot}416)}$$

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

এখানে,

$\upsilon_{Ag} = 6{\cdot}033 \times 10^{14}$ Hz

$\upsilon_{Au} = 4{\cdot}416 \times 10^{14}$ Hz

$V_{Ag} = 2{\cdot}25$ V

$V_{Au} = 1{\cdot}58$ V

আবার, $W_0\,(Ag) = h\upsilon_{01} = 6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 6{\cdot}033 \times 10^{14} = 4 \times 10^{-19}\ \text{J} = \dfrac{4 \times 10^{-19}\ eV}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}} = 2{\cdot}5\ eV$

$$\therefore \quad W_0\,(Au) = h\upsilon_{02} = 6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 4{\cdot}416 \times 10^{14}$$

$$= 2{\cdot}93 \times 10^{-19}\ \text{J} = 1{\cdot}83\ eV$$

৬। কোনো একটি ধাতুর আলোক তড়িৎ কার্য অপেক্ষক 3·45 eV। সবচেয়ে বেশি কত তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট ফোটন এই ধাতু থেকে ফটো ইলেকট্রন নির্গত করতে পারবে ?

[RUET Admission Test, 2019-20]

আমরা জানি,

$$W_0 = h\upsilon_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$$

বা, $\lambda_0 = \dfrac{hc}{W_0}$

$$\therefore \quad \lambda_0 = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{3{\cdot}45 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}$$

$$= 3{\cdot}6 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

এখানে,

$W_0 = 3{\cdot}45\ eV = 3{\cdot}45 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ J

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

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

৭। সিজিয়ামের কার্য অপেক্ষক 1·9 eV। নির্ণয় কর : (i) সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য, (ii) আপতিত ইলেকট্রনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 4200 Å হলে নির্গত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি, (iii) নিবৃত্তি বিভব।

(i) আমরা জানি, সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$$W_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$$

বা, $\lambda_0 = \dfrac{hc}{W_0}$

$$\therefore \quad \lambda_0 = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1{\cdot}9 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}$$

$$= 6{\cdot}54 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

এখানে,

$W_0 = 1{\cdot}9\ eV = 1{\cdot}9 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ J

$\lambda = 4200\ \text{Å} = 4200 \times 10^{-10}$ m

$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

(ii) নির্গত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি, $E_K = E - W_0$

এখানে, $E = \dfrac{hc}{\lambda} = \dfrac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{4200 \times 10^{-10} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}} = 2{\cdot}96\ eV$

∴ নির্গতক ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ শক্তি,

$E_K = 2{\cdot}96 - 1{\cdot}9 = 1{\cdot}06\ eV$

(iii) নিবৃত্তি বিভব, $V_S = 1{\cdot}06\ eV$

আলোক তড়িৎ কোষ
Photoelectric cell

আলোক তড়িৎ ক্রিয়াকে কাজে লাগিয়ে যে ব্যবস্থার সাহায্য আলোক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তর করা যায় তাকে আলোক তড়িৎ কোষ বলে।

আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার ব্যবহার (Application of photoelectric effect) : আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার বহুবিধ গুরুত্বপূর্ণ ব্যবহার রয়েছে। যেমন স্বয়ংক্রিয় সুইচ হিসেবে, টেলিভিশন সম্প্রচারে, সিনেমা ফিল্মে শব্দ পুনরুদ্ধারে, সৌর ব্যাটারিতে, ফটোমিতি ইত্যাদিতে। মহাকাশ যানে প্রয়োজনীয় বিদ্যুৎ শক্তি প্রধানত সৌর কোষ থেকে পাওয়া যায়।

কাজ : আলোক তড়িৎ কোষকে 'তড়িৎ চোখ" (electric eye) বলা হয় কেন ? ব্যাখ্যা কর।

MAT(18-19) কোনো শপিং মলে, স্টেডিয়ামে, অডিটোরিয়ামে কত জন দর্শক বা ক্রেতা ঢুকছেন বা বের হচ্ছেন তা গণনার জন্য স্বয়ংক্রিয় যন্ত্রে আলোক তড়িৎ কোষ ব্যবহৃত হয়। বাসাবাড়ি, অফিস-আদালত, ব্যাংক ইত্যাদিতে তস্কর সংকেত (burglar alarms) যন্ত্রে আলোক তড়িৎ কোষ ব্যবহার করা হয়। এজন্য আলোক তড়িৎ কোষকে তড়িৎ চোখ (electric eye) বলা হয়।

৮·১৪ ডি ব্রগলির বস্তু তরঙ্গ
de Broglie's matter waves

টকটকে লাল গরম এক টুকরা লোহাকে কোথাও রেখে দিলে তা থেকে বিকিরণ নিঃসৃত হতে দেখি। আবার রাতের বেলা টর্চলাইটের আলো কোথাও ফেললে দেখা যায় যে, আলোর স্রোত যতদূর ছড়িয়ে পড়ে ততদূর আলোকিত হয়। এই বিকিরণ এবং আলোক নিঃসরণ আপাতদৃষ্টিতে মনে হয় নিরবচ্ছিন্ন ঘটনা। ম্যাক্স প্ল্যাঙ্কের ও পরবর্তীতে আইনস্টাইনের ফোটন বা কোয়ান্টাম তত্ত্ব থেকে জানা যায়, কোনো বস্তু থেকে শক্তি বা বিকিরণ নিঃসরণ নিরবচ্ছিন্ন ঘটনা নয়। শক্তি বা বিকিরণ ছিন্নায়িত অর্থাৎ শক্তি গুচ্ছ গুচ্ছ আকারে প্যাকেট বা কোয়ান্টাম হিসেবে নিঃসৃত হয়।

কোয়ান্টাম তত্ত্ব হতে প্রমাণিত হয়েছে যে বিকিরণ বা শক্তির দ্বৈত ধর্ম রয়েছে—একটি **কণা ধর্ম**, অপরটি **তরঙ্গ ধর্ম**। এ মতবাদ আবিষ্কৃত হওয়ার তেইশ বছরের মধ্যে কোনো বিজ্ঞানীর মাথায় আসেনি যে শক্তির ন্যায় পদার্থের দুইটি ধর্ম থাকতে পারে অর্থাৎ **পদার্থেরও তরঙ্গ প্রকৃতি থাকতে পারে।** 1924 খ্রিস্টাব্দে ফরাসি বিজ্ঞানী **লুইস ডি ব্রগলি** (Louis de Broglie) এ মতবাদ প্রচার করেন। তিনি উল্লেখ করেন যে, পদার্থ যা অণু, পরমাণু, প্রোটন, নিউট্রন, ইলেকট্রন প্রভৃতি ভিন্ন ভিন্ন কণার সমন্বয়ে গঠিত নিশ্চয়ই কোনো যথোপযোগী পরিস্থিতির মধ্যে তরঙ্গ প্রকৃতি প্রদর্শন করবে। এক কথায় বলা যায়—পদার্থেরও ঠিক তরঙ্গের মতো দ্বৈত প্রকৃতি রয়েছে।

সংজ্ঞা : প্রত্যেকটি চলমান পদার্থ কণার সাথে একটি তরঙ্গ যুক্ত থাকে। আবিষ্কারকের নাম অনুসারে এই তরঙ্গ ডি ব্রগলি বস্তু তরঙ্গ (de Broglie's matter waves) নামে পরিচিত এবং এই তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য (de Broglie's wavelength) বলে।

ব্যাখ্যা : ডি ব্রগলি বস্তু তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলে।

প্ল্যাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুসারে একটি ফোটনের শক্তি,

$$E = h\upsilon \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.55)$$

এখানে h = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, υ = ফোটনের কম্পাঙ্ক। ফোটন কণিকার ভর m হলে আইনস্টাইনের ভর শক্তি সমীকরণ অনুসারে

$$E = mc^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.56)$$

এখানে c = আলোকের বেগ। উল্লেখ্য, ফোটন আলোকের বেগে গমন করে।

$\therefore$ সমীকরণ (8.55) এবং (8.56) হতে পাই

$$E = mc^2 = h\upsilon$$

$$\therefore \quad m = \frac{h\upsilon}{c^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.57)$$

মনে করি ফোটনের ভরবেগ $= p$

$\therefore$ p = ফোটনের ভর $\times$ ফোটনের বেগ

$$= mc = \frac{h\upsilon}{c^2} \times c$$

$$= \frac{h\upsilon}{c} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.58)$$

পুন, $c = \lambda\upsilon$ ... ... (8.59)

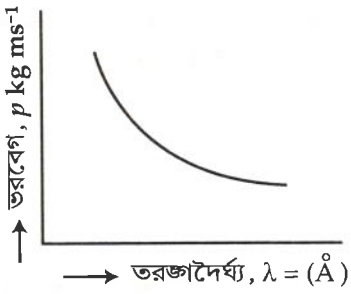
বা, $\lambda = \frac{c}{\upsilon}$ ... ... (8.60)

∴ সমীকরণ (8.58) এবং (8.59) হতে পাই,

$$p = \frac{h\upsilon}{c} = \frac{h\upsilon}{\lambda\upsilon} = \frac{h}{\lambda} \quad \text{... ... ...} \quad (8.61)$$

বা, $\lambda = \frac{h}{p}$ ... ... (8.62)

এই সমীকরণে তেজশক্তির দ্বৈত প্রকৃতি প্রকাশিত হয়েছে অর্থাৎ কণিকা ধর্ম ভরবেগের সাথে এবং তরঙ্গ ধর্ম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সাথে সম্পর্ক স্থাপিত হয়েছে।



চিত্র ৮·১৬(খ)

এখন ডি ব্রগলির মতবাদ অনুসারে পদার্থের ক্ষুদ্র কণিকা, যেমন ইলেকট্রনকে ফোটন কণিকার মতো কল্পনা করলে ফোটনের মতো তার তরঙ্গদৈর্ঘ্য হবে

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv} \quad \text{... ...} \quad (8.63)$$

এখানে, m = পদার্থ কণিকার ভর,

v = পদার্থ কণিকার বেগ

এবং mv = পদার্থ কণিকার ভরবেগ।

৮·১৬(খ) চিত্রে কোনো বস্তুর ভরবেগ এবং ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তন দেখানো হয়েছে।

এটিই বিখ্যাত ডি ব্রগলি সমীকরণ, এটি দ্বারা পদার্থ কণিকার তরঙ্গ ধর্ম প্রকাশিত হয়েছে। উক্ত সমীকরণ হতে গতিশীল কণার তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়। তড়িৎ চৌম্বক বিকিরণ অবস্থা বিশেষে কণার মতো এবং ফোটন অবস্থা বিশেষে তরঙ্গের মতো আচরণ করে।

জানা দরকার :

(i) $\lambda \propto \frac{1}{m}$; অর্থাৎ কণার ভর যত বেশি হবে, তরঙ্গদৈর্ঘ্য তত ক্ষুদ্রতর হবে।

(ii) $\lambda \propto \frac{1}{p}$; অর্থাৎ কণার ভরবেগ যত বেশি হবে, তরঙ্গদৈর্ঘ্য তত ক্ষুদ্রতর হবে।

(iii) $\lambda \propto \frac{1}{v}$; অর্থাৎ $v = 0$ হলে $\lambda \propto \infty$। সুতরাং, পদার্থ কণাগুলো (material particles) কেবলমাত্র গতিশীল হলেই সংশ্লিষ্ট কণা-তরঙ্গের অস্তিত্ব থাকে।

(iv) কোনো কণার সাথে সংশ্লিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্য কণাটির আধান নিরপেক্ষ।

অনুসন্ধান কর : কণিকা-তরঙ্গ কী তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ ?

কণিকা-তরঙ্গ চুম্বকীয় তরঙ্গ নয়; কারণ ত্বরণসম্পন্ন আধান থেকে তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের উৎপত্তি হয়। কিন্তু কণিকা-তরঙ্গের সঙ্গে তড়িৎগ্রস্ত আধানের কোনো সম্পর্ক নেই।

কাজ : তরঙ্গ-কণা দ্বৈততা কী ? গ্রুপ বেগ ও দশা বেগ বলতে কী বুঝ ?

৮·১৪·১ তরঙ্গ-কণা দ্বৈততা
Wave-particle duality

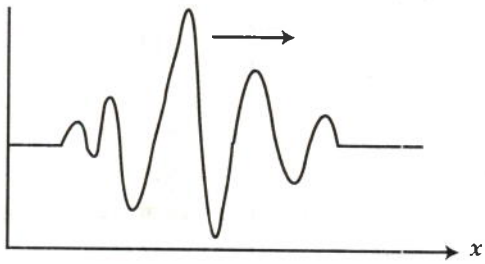
তড়িৎচুম্বকীয় বিকিরণকে ফোটন কণার স্রোত হিসেবে ধরে নিলে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া, কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণ, পারমাণবিক বর্ণালি ইত্যাদির ব্যাখ্যা পাওয়া যায়; তবে এই তত্ত্ব দিয়ে ব্যতিচার, অপবর্তন, সমবর্তন ইত্যাদি আলোকীয় ঘটনাবলি বিশ্লেষণ করা যায় না। অপরদিকে, বিকিরণের তরঙ্গতত্ত্ব সঠিকভাবেই ব্যতিচার, অপবর্তন, সমবর্তন ইত্যাদি ঘটনাগুলিকে ব্যাখ্যা করতে পারে। **তাই আধুনিক মতে, পরীক্ষা ভেদে বিকিরণ কখনো তরঙ্গের মতো, আবার কখনো কণার স্রোতের মতো আচরণ করে। অর্থাৎ বিকিরণের দুটি রূপ রয়েছে—তরঙ্গরূপ ও কণারূপ। সুতরাং তরঙ্গতত্ত্ব এবং**

কণাতত্ত্ব পরস্পর বিরোধী তো নয়ই, বরং একই মুদ্রার এপিঠ-ওপিঠের মতোই পরস্পরের পরিপূরক। একেই তরঙ্গ কণিকা দ্বৈততা বলে।

তরঙ্গ-কণা দ্বৈততা হলো এমন একটি ধারণা যাতে উল্লেখ করা হয় যে, সকল শক্তি তরঙ্গ-সদৃশ এবং কণা-সদৃশ উভয় ধর্ম প্রদর্শন করে। ইহাই তরঙ্গ-কণা দ্বৈততা। কণা তরঙ্গ তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ নয়।

দশা বেগ (Phase velocity) : তরঙ্গের দশা সময়ের সাথে যে হারে পরিবর্তিত হয় তাকে দশা বেগ বলা হয়। দশা বেগ কণার বেগ এমনকি আলোর বেগ অপেক্ষা বেশি।

গুচ্ছ বেগ (Group velocity) : ভিন্ন কম্পাঙ্কের একাধিক সাইন ধর্মী তরঙ্গের উপরিপাত হলে তরঙ্গ রূপটি পরিবর্তিত হয়। এভাবে ক্রমশ পরিবর্তনশীল কম্পাঙ্কের বহু সংখ্যক সাইন ধর্মী তরঙ্গের উপরিপাতের ফলে যে লব্ধি তরঙ্গ গঠিত হয়, তার সাধারণ রূপটি দেখানো হলো [চিত্র ৮.১৭]। একেই তরঙ্গ গুচ্ছ বা সমষ্টি বলে এবং তরঙ্গ-গুচ্ছের বেগকে গুচ্ছ বেগ বা সমষ্টি বেগ (Group velocity) বলা হয়।



চিত্র ৮.১৭

এই গুচ্ছবেগ $v_g = \frac{d\omega}{dk}$। এখানে ω = তরঙ্গের কৌণিক বেগ এবং k = তরঙ্গের ধ্রুবক। গাণিতিক গণনার মাধ্যমে দেখানো যায় যে গুচ্ছবেগ $v_g = v$। অর্থাৎ গুচ্ছবেগ কণার বেগের সমান।

উদাহরণ : পুকুরের পানিতে ঢিল ছুড়লে অল্প কয়েকটি মাত্র তরঙ্গ শীর্ষ ও তরঙ্গ পাদ নিয়ে চিত্র ৮.১৭-এর অনুরূপ একটি তরঙ্গগুচ্ছ উৎপন্ন হয়। এটি পানি তলের ওপর দিয়ে বৃত্তের আকারে বিস্তার লাভ করে। এই তরঙ্গগুচ্ছের বেগ কণার বেগের সমান।

হিসাব কর : একটি ইলেকট্রনের ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য 2×10^{-12} m হলে এর গতিশক্তি কত হবে ?

ডি ব্রগলি বস্তু কণার তরঙ্গ-সদৃশ্য বৈশিষ্ট্য থেকে জানি p ভরবেগের কোনো কণার সাথে সংশ্লিষ্ট তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ হলে,

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$\therefore \quad p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{2 \times 10^{-12}}$$

আবার, $E = \frac{p^2}{2m} = \frac{\left(\frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{2 \times 10^{-12}}\right)^2}{2 \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31}} = 6{\cdot}04 \times 10^{-14}$ J

অনুসন্ধানমূলক কাজ : ডি ব্রগলির কণিকা তরঙ্গের ধারণাটি শুধুমাত্র পারমাণবিক পর্যায়ের কণার ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য —ব্যাখ্যা কর।

দৈনন্দিন জীবনে আমরা যেসব বস্তু দেখি, তাদের ক্ষেত্রে ডি ব্রগলি প্রকল্পের কোনো ব্যবহারিক গুরুত্ব নেই। নিচের উদাহরণ থেকে এটি স্পষ্ট হবে।

মনে করি একটি ইলেকট্রনের বেগ 10^7 ms^{-1}। তাহলে ইলেকট্রনটির ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য হবে, $\lambda = \frac{h}{mv}$ $= \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{(9{\cdot}1 \times 10^{-31}) \times 10^7} \simeq 0{\cdot}73$ Å। এই তরঙ্গদৈর্ঘ্য এক্স-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমতুল।

এখন মনে করি একটি গতিশীল বস্তুর ভর 20 gm এবং বেগ 20 ms^{-1}। তাহলে বস্তুটির ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য হবে, $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{0{\cdot}02 \times 20} = 1{\cdot}65 \times 10^{-33}$ m। এই মান এতই ক্ষুদ্র যে তা পরিমাপের কোনো ব্যবস্থা নেই এবং এত ক্ষুদ্র তরঙ্গের কোনো বাস্তব অস্তিত্ব নেই। সুতরাং, ডি ব্রগলি কণিকা-তরঙ্গ শুধুমাত্র পারমাণবিক পর্যায়ের কণার ক্ষেত্রেই গুরুত্বপূর্ণ।

গাণিতিক উদাহরণ ৮.৭

১। 60 V বিভব পার্থক্যের মধ্য দিয়ে ত্বরিত কোনো ইলেকট্রনের (ক) ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও (খ) ভরবেগ নির্ণয় কর।

(ক) আমরা জানি,

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}} \qquad \left[\because \frac{1}{2}mv^2 = eV\right]$$

$$\therefore \quad \lambda = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 60}}$$

$$= \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{4{\cdot}18 \times 10^{-24}} = 1{\cdot}586 \text{ Å}$$

এখানে,

বিভব পার্থক্য, $V = 60$ V

ইলেকট্রনের চার্জ, $e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C

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

ইলেকট্রনের ভর, $m = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg

$\lambda = ?$

$p = ?$

(খ) ভরবেগ, $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{1{\cdot}586 \times 10^{-10}}$ kgms^{-1}

$= 4{\cdot}18 \times 10^{-24}$ kgms^{-1}

২। একটি প্রোটনের বেগ আলোর বেগের $\frac{1}{20}$ ভাগ হলে ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

বা, $$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{1{\cdot}673 \times 10^{-27} \times \left(\frac{3 \times 10^8}{20}\right)}$$

$$= \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 20}{1{\cdot}673 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^8} = 2{\cdot}64 \times 10^{-14} \text{ m}$$

এখানে,

$m = 1{\cdot}673 \times 10^{-27}$ kg

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

$v = \frac{c}{20} = \frac{3 \times 10^8}{20}$

৩। একটি প্রোটন ও একটি ইলেকট্রনের ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য সমান। কার গতিশক্তি বেশি ?

আমরা জানি, ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = \frac{h}{p}$

এবং ইলেকট্রনের গতিশক্তি, $K = \frac{1}{2}mv^2$

বা, $mv^2 = 2K$

বা, $m^2v^2 = 2mK$

বা, $mv = \sqrt{2mK} = p$

$\therefore \quad \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mK}}$

বা, $mK = \frac{h^2}{2\lambda^2}$

একই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য $mK =$ ধ্রুবক, অর্থাৎ $K \propto \frac{1}{m}$। ইলেকট্রন ও প্রোটনের গতিশক্তি যথাক্রমে K_e এবং K_p হলে

$$\frac{K_p}{K_e} = \sqrt{\frac{m_p}{m_e}} > 1 \qquad [\because m_p > m_e]$$

অর্থাৎ ইলেকট্রনের গতিশক্তি বেশি।

৪। 1 g ভরের একটি কণা 2000 ms^{-1} বেগে গতিশীল। কণাটির সাথে সংশ্লিষ্ট তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য হিসাব কর।

আমরা জানি,

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

$$= \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{10^{-3} \times 2000}$$

$$= 3{\cdot}315 \times 10^{-34} \text{ m}$$

এখানে,

$m = 1 \text{ g} = 10^{-3}$ kg

$v = 2000$ ms^{-1}

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

$\lambda = ?$

৫। 1 eV গতিশক্তিবিশিষ্ট একটি ইলেকট্রনের সাথে সংশ্লিষ্ট ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2\,mK}}$$

$$= \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}}$$

$$= 1{\cdot}23 \times 10^{-9}\ \text{m} = 1{\cdot}23\ \text{nm}$$

এখানে,

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ J

$m = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg

$K = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$

৬। কত বিভব পার্থক্যের মধ্য দিয়ে একটি ইলেকট্রনকে ত্বরান্বিত করলে ইলেকট্রনটির ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0·4 Å হবে?

আমরা জানি,

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

এবং $\frac{1}{2}mv^2 = eV$ বা, $m^2v^2 = 2meV$

$\therefore \quad mv = \sqrt{2meV}$

$\therefore \quad \lambda = \frac{h}{\sqrt{2\,meV}}$ বা, $\lambda^2 = \frac{h^2}{2\,meV}$

$$\therefore \quad V = \frac{h^2}{2\,me\lambda^2} = \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 \frac{1}{2\,me} = \left(\frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{0{\cdot}4 \times 10^{-10}}\right)^2 \times \frac{1}{2 \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}$$

$$= \frac{6{\cdot}63 \times 6{\cdot}63 \times 10^{-68}}{0{\cdot}4 \times 0{\cdot}4 \times 10^{-20} \times 10^{-31} \times 2 \times 9{\cdot}1 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}$$

$$= \frac{6{\cdot}63 \times 6{\cdot}63 \times 10^{-68} \times 10^{70}}{0{\cdot}4 \times 0{\cdot}4 \times 9{\cdot}1 \times 1{\cdot}6 \times 2} = 9{\cdot}43 \times 10^2 = 943\ \text{V}$$

এখানে,

$\lambda = 0{\cdot}4\ \text{Å} = 0{\cdot}4 \times 10^{-10}$ m

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

$me = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg

$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C

৭। নিউট্রনের গতিশক্তির মান কত হলে এর সঙ্গে জড়িত ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মান $1{\cdot}20 \times 10^{-10}$ m হবে? ($m_n = 1{\cdot}675 \times 10^{-27}$ kg, $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js)।

আমরা জানি,

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2\,m_nK}} \quad \text{বা, } \lambda^2 = \frac{h^2}{2\,m_nK}$$

বা, $K = \frac{h^2}{2\,m_n\lambda^2} = \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 \frac{1}{2\,m_n}$

$$\therefore \quad K = \frac{(6{\cdot}63 \times 10^{-34})^2}{(1{\cdot}20 \times 10^{-10})^2} \times \frac{1}{2 \times 1{\cdot}675 \times 10^{-27}}$$

$$= \frac{6{\cdot}63 \times 6{\cdot}63 \times 10^{-68} \times 10^{20} \times 10^{27}}{1{\cdot}20 \times 1{\cdot}20 \times 2 \times 1{\cdot}675}$$

$$= 9{\cdot}11 \times 10^{-21}\ \text{J}$$

এখানে,

$\lambda = 1{\cdot}20 \times 10^{-10}$ m

$m_n = 1{\cdot}675 \times 10^{-27}$ kg

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

K.E, K = ?

৮। একটি প্রোটন ও একটি α-কণার গতিশক্তি সমান। এদের ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অনুপাত কত?

আমরা জানি,

$$E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{m^2v^2}{2m}$$

বা, $mv = \sqrt{2\,mE}$

এবং ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2\,mE}}$$

যেহেতু প্রোটন ও α-কণার গতিশক্তি সমান সুতরাং,

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}} \qquad m_1 = \text{প্রোটনের ভর এবং } \lambda_1 = \text{প্রোটনের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্য}$$

$$= \sqrt{\frac{4}{1}} = \frac{2}{1} \qquad \text{এবং } m_2 = \alpha\text{-কণার ভর এবং } \lambda_2 = \alpha\text{-কণার সঙ্গে সংশ্লিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্য}$$

$\therefore \lambda_1 : \lambda_2 = 2 : 1$; সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে প্রোটনের সাথে সংশ্লিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্য α-কণার তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চেয়ে বেশি।

৯। হাইড্রোজেন পরমাণুতে প্রথম বোর কক্ষে ইলেকট্রনের ডি ব্রগলির তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

প্রথম বোর কক্ষে ইলেকট্রনের শক্তি,

$$E_1 = -13{\cdot}6\ eV$$
$$= -13{\cdot}6 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ J$$

$\therefore \quad |E_1| = 13{\cdot}6 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ J$

$\therefore$ ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m|E|}}$$
$$= \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times 13{\cdot}6 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}}$$
$$= \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{19{\cdot}9 \times 10^{-25}} = 3{\cdot}33 \times 10^{-10}\ m = 3{\cdot}33\ \text{Å}$$

১০। একটি ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপ 50 kV বিভব পার্থক্যে ত্বরান্বিত ইলেকট্রন ব্যবহার করা হয়। ইলেকট্রনের ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। একটি ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপ ও সোডিয়াম আলো ব্যবহৃত একটি আলোকীয় মাইক্রোস্কোপের বিশ্লেষণী ক্ষমতা তুলনা কর।

আমরা জানি, ইলেকট্রনের ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$$\lambda_e = \frac{h}{\sqrt{2\,meV}}$$

$$\therefore \quad \lambda_e = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 50 \times 10^3}}$$
$$= 0{\cdot}0549 \times 10^{-10}\ m$$

এখানে,

$V = 50\ kV = 50 \times 10^3$ volt

ইলেকট্রন চার্জ, $e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ coul.

ইলেকট্রনের ভর, $m = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg

প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

সোডিয়াম আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$$\lambda_S = 5893\ \text{Å} = 5893 \times 10^{-10}\ m$$

আবার, আমরা জানি, মাইক্রোস্কোপের বিশ্লেষণী ক্ষমতা $\propto \frac{1}{\lambda}$

সুতরাং, $\dfrac{\text{ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপের বিশ্লেষণী ক্ষমতা}}{\text{আলোকীয় মাইক্রোস্কোপের বিশ্লেষণী ক্ষমতা}} = \dfrac{\lambda_S}{\lambda_e}$

$$= \frac{5893 \times 10^{-10}}{0{\cdot}0549 \times 10^{-10}} = 1{\cdot}07 \times 10^5$$

ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপের বিশ্লেষণী ক্ষমতা এক লক্ষ গুণ বেশি।

১১। 127°C তাপমাত্রায় নিউট্রনের ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। এই তরঙ্গদৈর্ঘ্য অবেক্ষণ (detect) করা যাবে কী? (দেওয়া আছে, $k = 1{\cdot}38 \times 10^{-23}\ Jk^{-1}$, $h = 6{\cdot}625 \times 10^{-34}$ Js, $m_n = 1{\cdot}66 \times 10^{-27}$ kg)

নিউট্রনের গতিশক্তি, $E = \frac{3}{2}kT$

আমরা জানি,

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

বা, $mv = \sqrt{2Em} = \sqrt{2m \times \frac{3}{2}kT} = \sqrt{3mkT}$

RMDAC

∴ ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{3mkT}} = \frac{6{\cdot}625 \times 10^{-34}}{\sqrt{3 \times 1{\cdot}66 \times 10^{-27} \times 1{\cdot}38 \times 10^{-23} \times 400}}$$

$$= 1{\cdot}264 \times 10^{-10}\ \text{m} = 1{\cdot}264\ \text{Å}$$

এই তরঙ্গদৈর্ঘ্যটি তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালির X-রশ্মি অঞ্চলের অন্তর্ভুক্ত। এটি কেলাসের মধ্যে নিউট্রন অপবর্তন (Neutron diffraction) দ্বারা অবেক্ষণ করা যাবে।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : আলোক তরঙ্গ এবং কণিকা তরঙ্গের মধ্যে পার্থক্য কী?

শূন্য মাধ্যমে আলোক তরঙ্গের বেগ ধ্রুবক রাশি; কিন্তু শূন্য মাধ্যমে কণিকা তরঙ্গের বেগ তার তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ওপর নির্ভরশীল।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : কোন ফোটনটি বেশি শক্তিশালী—বেগুনি না লাল?

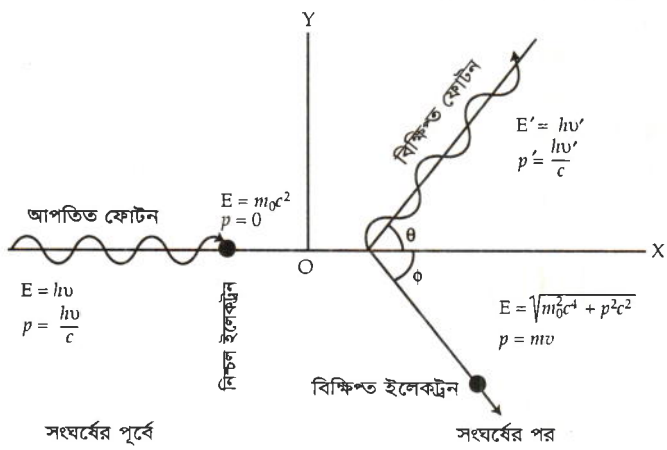
শক্তি ও কম্পাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক হলো : $E = h\upsilon$। এখন যেহেতু বেগুনি আলোর কম্পাঙ্ক লাল আলোর কম্পাঙ্কের চেয়ে বেশি, সুতরাং বেগুনি আলোর ফোটন লাল আলোর ফোটন অপেক্ষা বেশি শক্তিশালী।

৮·১৫ কম্পটন ক্রিয়া
Compton effect

আলোকের তেজকণা প্রতিষ্ঠিত হবার পর বিজ্ঞানী কম্পটন (Compton) 1925 খ্রিস্টাব্দে প্রস্তাব করেন যে, কোনো একটি শক্তিশালী ফোটনের সাথে পদার্থের কণিকা ইলেকট্রনের সংঘর্ষ ঘটলে ফোটনটি ইলেকট্রনকে কিছু শক্তি প্রদান করে। ফলে ফোটনের নিজস্ব শক্তি কিছু পরিমাণ হ্রাস পায়। এভাবে ফোটনের নিজস্ব শক্তি ব্যয় হবার ফলে বিক্ষিপ্ত ফোটনের শক্তি (scattered photon energy) আপতিত ফোটনের (incident photon) চেয়ে কম হয়। অর্থাৎ বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য আপতিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চেয়ে বেশি হবে। তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এই পরিবর্তনকে কম্পটন প্রভাব বা **কম্পটন ক্রিয়া** বলে।

সংজ্ঞা : উচ্চ শক্তিসম্পন্ন ফোটন যখন কোনো লক্ষ্যবস্তুর (যেমন ইলেকট্রনের) সাথে সংঘর্ষে লিপ্ত হয়ে বিক্ষিপ্ত হয় তখন বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য আপতিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চেয়ে বেশি হয়। এই ঘটনাকে কম্পটন ক্রিয়া বা কম্পটন প্রভাব বলে। DAT(23-24)

বিজ্ঞানী কম্পটন পদার্থের এক্স-রশ্মির বিক্ষেপণ প্রক্রিয়াকে ফোটনের সাথে ইলেকট্রনের সংঘর্ষ কল্পনা করে ফোটনের ও ইলেকট্রনের শক্তি ও গতিবেগের নিত্যতার নিয়ম প্রয়োগের মাধ্যমে ফোটনের কম্পন হার বা তরঙ্গদৈর্ঘ্য



চিত্র ৮.১৮ : কম্পটন ক্রিয়া।

পরিবর্তন গণনা করেন। কার্বন, অ্যালুমিনিয়াম প্রভৃতি হালকা মৌলিক পদার্থের ইলেকট্রন দ্বারা একবর্ণী এক্স-রশ্মি বিক্ষিপ্ত হলে বিক্ষিপ্ত রশ্মির ভেতর আপতিত তরঙ্গদৈর্ঘ্য ছাড়াও কিছু পরিবর্তিত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্মি পাওয়া যায়। এই পরিবর্তিত তরঙ্গদৈর্ঘ্যগুলি প্রাথমিক এক্স-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা দীর্ঘতর হয়। কম্পটন ক্রিয়া চিত্র ৮·১৮-এ দেখান হলো।

সংঘর্ষে ফোটনের হারানো শক্তি ইলেকট্রনের গতিশক্তির সমান হবে। বিক্ষিপ্ত ফোটনের শক্তি ফোটনের চেয়ে কম হবে। অর্থাৎ বিক্ষিপ্ত ফোটনের কম্পাংক υ' আপতিত ফোটনের কম্পাঙ্ক υ অপেক্ষা কম হবে ($\upsilon > \upsilon'$)। সুতরাং ইলেকট্রনের অর্জিত গতিশক্তির পরিমাণ হবে,

$$h\upsilon - h\upsilon' = E_k \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.64)$$

এখানে h = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, E_k = ইলেকট্রনের গতিশক্তি।

আপেক্ষিকতার ভরশক্তি সম্পর্ক থেকে পাই একটি কণার মোটশক্তি,

$$E = E_k + m_0c^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)} \quad [\text{সমীকরণ } 8.45 \text{ দ্রষ্টব্য}]$$

এবং $E = \sqrt{m_0^2c^4 + p^2c^2}$* $\quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad$ (ii)

ফোটন ও ইলেকট্রনের সংঘর্ষে সংঘর্ষের পূর্বে এবং পরে সংঘর্ষের অভিমুখে এবং উল্লম্ব দিকে ভরবেগ সংরক্ষিত থাকে।

অতএব, ফোটনের আদি অভিমুখে, আদি ভরবেগ = চূড়ান্ত ভরবেগ

অর্থাৎ, ফোটনের আদি ভরবেগ + ইলেকট্রনের আদি ভরবেগ = ফোটনের চূড়ান্ত ভরবগে + ইলেকট্রনের চূড়ান্ত ভরবেগ

$$\therefore \quad \frac{h\upsilon}{c} + 0 = \frac{h\upsilon'}{c}\cos\theta + p\cos\phi \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(iii)}$$

উল্লম্ব দিকে (বিক্ষিপ্ত ফোটন যে তলে অবস্থিত তার উল্লম্ব দিকে) আদি ভরবেগ = চূড়ান্ত ভরবেগ

অর্থাৎ উল্লম্ব দিকে, ফোটনের আদি ভরবেগ + ইলেকট্রনের আদি ভরবেগ = ফোটনের চূড়ান্ত ভরবেগ + ইলেকট্রনের চূড়ান্ত ভরবেগ

$$\therefore \quad 0 + 0 = \frac{h\upsilon'}{c}\sin\theta - p\sin\phi \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(iv)}$$

[এখানে ϕ কোণের মান ঋণাত্মক]

এখন সমীকরণ (iii) ও (iv)-কে c দ্বারা গুণ করে পাই,

$$pc\cos\phi = h\upsilon - h\upsilon'\cos\theta \text{ এবং } pc\sin\phi = h\upsilon'\sin\theta$$

উভয় সমীকরণ বর্গ করে এবং যোগ করে পাই,

$$p^2c^2 = (h\upsilon)^2 - 2(h\upsilon)(h\upsilon')\cos\theta + (h\upsilon')^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(v)}$$

আবার, সমীকরণ (i) ও (ii) থেকে পাই,

$$E_k + m_0c^2 = \sqrt{m_0^2c^4 + p^2c^2}$$

বা, $(E_k + m_0c^2)^2 = m_0^2c^4 + p^2c^2$

বা, $E_k^2 + 2E_km_0c^2 + m_0^2c^4 = m_0^2c^4 + p^2c^2$

বা, $p^2c^2 = E_k^2 + 2m_0c^2E_k$

সমীকরণ (8.64) ব্যবহার করে পাই,

$$p^2c^2 = (h\upsilon)^2 - 2(h\upsilon)(h\upsilon') + (h\upsilon')^2 + 2m_0c^2(h\upsilon - h\upsilon') \quad \ldots \quad \text{(vi)}$$

সমীকরণ (vi) সমীকরণ (v)-এ বসিয়ে পাই,

$$(h\upsilon)^2 - 2(h\upsilon)(h\upsilon') + (h\upsilon')^2 + 2m_0c^2(h\upsilon - h\upsilon') = (h\upsilon)^2 - 2(h\upsilon)(h\upsilon')\cos\theta + (h\upsilon')^2$$

বা, $2m_0c^2(h\upsilon - h\upsilon') = 2(h\upsilon)(h\upsilon')[1 - \cos\theta]$

বা, $m_0c^2(h\upsilon - h\upsilon') = (h\upsilon)(h\upsilon')[1 - \cos\theta]$

বা, $m_0c^2\left(\frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda'}\right) = \left(\frac{hc}{\lambda}\right)\left(\frac{hc}{\lambda'}\right)[1 - \cos\theta]$

বা, $\frac{m_0c}{h}\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'}\right) = \frac{(1 - \cos\theta)}{\lambda\lambda'}$

বা, $\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.65)$

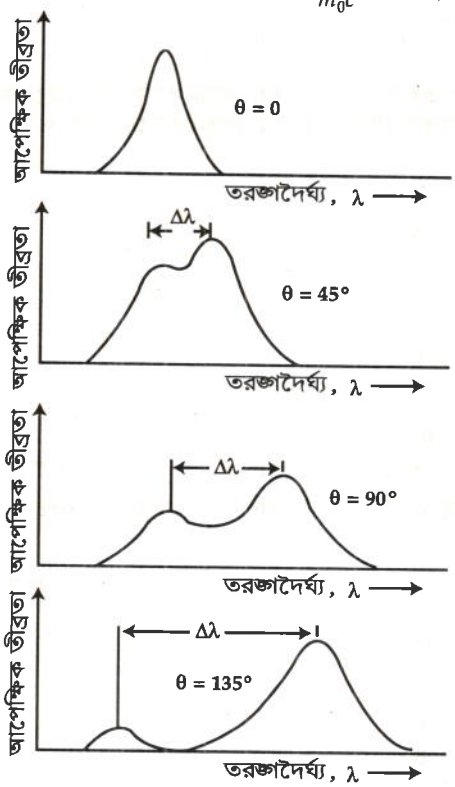
---

* $E = mc^2$, $\boldsymbol{p = mv}$ এবং $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$

$\therefore E^2 - p^2c^2 = m^2c^4 - m^2v^2c^2 = \frac{m_0^2c^4}{(1 - v^2/c^2)} - \frac{m_0^2v^2c^2}{(1 - v^2/c^2)} = \frac{m_0^2c^4 \times c^2}{(c^2 - v^2)} - \frac{m_0^2v^2c^4}{(c^2 - v^2)} = \frac{m_0^2c^4}{(c^2 - v^2)}\{c^2 - v^2\} = m_0^2c^4$

বা, $E^2 = m_0^2c^4 + p^2c^2 \quad \therefore E = \sqrt{m_0^2c^4 + p^2c^2}$

কম্পটন এই সমীকরণ প্রতিপাদন করেন। তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এই পরিবর্তনকে কম্পটন প্রক্রিয়া (compton effect) বলা হয়। (8.65) সমীকরণের $\frac{h}{m_0 c}$ কে কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলা হয়। h, m_0 ও c-এর মান বসিয়ে কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মান পাওয়া যায় 0·02468 Å বা $0{\cdot}02468 \times 10^{-10}$ m। সমীকরণ (8.64) থেকে দেখা যায় যে সর্বাধিক তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিবর্তন ঘটে যখন $\phi = 180°$ হয়। সে অবস্থায় তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিবর্তন হবে $\frac{h}{m_0 c}$ এর দ্বিগুণ।



চিত্র ৮.১৯ : কম্পটন বিক্ষেপন।

চিত্র 8·19-এ ফোটনের বিক্ষিপ্ত কোণ θ এর সাথে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিবর্তন দেখানো হয়েছে।

ইলেকট্রনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য পরিবর্তন 0·02468 Å বলতে বুঝায় ইলেকট্রনের সাথে কোনো ফোটনের সংঘর্ষ হলে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য সর্বোচ্চ 0·02468 Å পরিমাণ বৃদ্ধি পায়।

অনুসন্ধান কর : কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য কী ? কম্পটন ক্রিয়ায় বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য সর্বদা আপতিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা বড় হয়। বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে ?

গাণিতিক উদাহরণ ৮.৮

১। 3×10^{19} হার্জ আদি কম্পাঙ্কের একটি X-রশ্মি ফোটন একটি ইলেকট্রনের সাথে সংঘর্ষের ফলে 90° কোণে বিক্ষিপ্ত হয়। এর নতুন কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। [ইলেকট্রনের কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য 8×10^{-12} m]

আমরা জানি, $\lambda' - \lambda_0 = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\phi)$

বা, $\lambda' = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\phi) + \lambda_0$

আবার, $\frac{h}{m_0 c} = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^{8}}$

$= 2{\cdot}43 \times 10^{-12}$ m

এখানে,

$\upsilon_0 = 3 \times 10^{19}\ s^{-1}$

$\phi = 90°$

$\lambda_0 = \frac{c}{\upsilon_0}$

$$\therefore \quad \lambda' = 2{\cdot}43 \times 10^{-12}\ (1 - \cos 90°) + \frac{c}{\upsilon_0}$$

$$= 2{\cdot}43 \times 10^{-12} + \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^{19}}$$

$$\therefore \quad \lambda' = 0{\cdot}243 \times 10^{-11} + 1 \times 10^{-11} = 1{\cdot}24 \times 10^{-11}\ \text{m}$$

এবং $\upsilon' = \frac{c}{\lambda'} = \frac{3 \times 10^8}{1{\cdot}24 \times 10^{-11}}\ \text{s}^{-1} = 2{\cdot}42 \times 10^{19}\ \text{s}^{-1}$

২। 0·40 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একটি ফোটন স্থিরাবস্থায় থাকা একটি ইলেকট্রনের সাথে সংঘর্ষের পর ফোটনটি পূর্বের গতিপথের সাপেক্ষে 150° কোণে বিক্ষিপ্ত হয়। বিক্ষিপ্ত ফোটনের বেগ ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

[BUET Admission Test, 2017–18]

আমরা জানি,

$$\lambda_1 - \lambda_0 = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\phi)$$

$$\lambda_1 = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^8}(1 - \cos 150°) + 0{\cdot}4 \times 10^{-9}$$

$$= 0{\cdot}453 \times 10^{-11} + 0{\cdot}4 \times 10^{-9}$$

$$= 0{\cdot}0453 \times 10^{-10} + 4 \times 10^{-10}$$

$$= 4{\cdot}0453 \times 10^{-10}\ \text{m} = 4{\cdot}0453\ \text{Å}$$

বিক্ষেপণের পর ফোটনের বেগ একই থাকবে; অর্থাৎ $c = 3 \times 10^8\ \text{ms}^{-1}$ যা ধ্রুবক।

৩। 558Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি একবর্ণি রশ্মি 46° কোণে বিক্ষিপ্ত হলো। বিক্ষিপ্ত রশ্মিটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$\lambda' - \lambda_0 = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\varphi)$$

$$\lambda' = 0{\cdot}02468 \times 10^{-10}\ (1 - \cos 46°) + 558 \times 10^{-10}$$

$$= 0{\cdot}02468 \times 10^{-10}\ (1 - 0{\cdot}695) + 558 \times 10^{-10}$$

$$= 7{\cdot}53 \times 10^{-7} + 558 \times 10^{-10}$$

$$= 0{\cdot}00753 \times 10^{-10} + 558 \times 10^{-10}$$

$$= 558{\cdot}0075 \times 10^{-10}\ \text{m} = 558{\cdot}0075\text{Å}$$

এখানে,

$\lambda = 558\text{Å} = 558 \times 10^{-10}\ \text{m}$

$\varphi = 46°$

$\frac{h}{m_0 c_1} = 0{\cdot}02468 \times 10^{-10}\ \text{m}$

$\lambda_1 = ?$

৮·১৬ হাইসেনবার্গ-এর অনিশ্চয়তা নীতি

Heisenberg's uncertainty principle

ডি ব্রগলির মতবাদ অনুসারে পদার্থের দ্বৈত ধর্ম রয়েছে—একটি কণা ধর্ম অপরটি তরঙ্গ ধর্ম। পদার্থ যখন কণা রূপে আচরণ করে, তখন প্রাচীন বা চিরায়ত বলবিদ্যার সাহায্যে এর অবস্থান ও ভরবেগ সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায়। কিন্তু পদার্থ যখন তরঙ্গ রূপে আচরণ করে, তখন এর অবস্থান ও ভরবেগ সঠিকভাবে নির্ণয় করা সম্ভবপর নয়। কারণ তরঙ্গ চারদিকে বিস্তার লাভ করে। 1927 সালে জার্মান বিজ্ঞানী হাইসেনবার্গ তরঙ্গধর্মী বস্তুর অবস্থান ও ভরবেগ নির্ণয়ের অনিশ্চয়তার ধারণা পোষণ করেন। তাঁর মতে কোনো কণার অবস্থান ও ভরবেগ একই সাথে সঠিকভাবে নির্ণয় করা সত্যিই অসম্ভব। অর্থাৎ কোনো নির্দিষ্টি দিকে কোনো কণার অবস্থানের পরিমাপ যতই নির্ভুল হবে তার ভরবেগের পরিমাপের ভুলের মাত্রা ততই বেশি হবে। আবার ভরবেগের পরিমাপ যতই নির্ভুল হবে, অবস্থানের পরিমাপ ততই অনিশ্চিত হবে। একেই **হাইসেনবার্গ-এর অনিশ্চয়তা সূত্র** বলা হয়। সূত্রটি নিম্নে বিবৃত হলো :

"কোনো কণার অবস্থান এবং ভরবেগ যুগপৎ সঠিকভাবে পরিমাপ করা যায় না।" নিম্নের গাণিতিক সম্পর্ক দ্বারা অনিশ্চয়তা নীতি প্রকাশ করা যায়। কোনো নির্দিষ্ট দিকে কোনো নির্দিষ্ট সময়ে কোনো কণার অবস্থানের অনিশ্চয়তা Δx এবং ভরবেগের অনিশ্চয়তা Δp হলে, অনিশ্চয়তার নীতি অনুসারে, $\Delta x.\Delta p \geq h$। পরবর্তীকালে এই নীতির গাণিতিক প্রকাশকে সংশোধন করে লেখা হয়,

$\Delta x.\Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$; এখানে $\frac{h}{2\pi} = \hbar$ প্ল্যাঙ্কের হ্রাসকৃত ধ্রুবক $= 1{\cdot}055 \times 10^{-34}\ \text{Js}$। উল্লেখ্য প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক h এর মান খুবই ক্ষুদ্র হওয়ায় h, $\hbar$ বা $\frac{\hbar}{2}$ এর ব্যবহারের ফলে তেমন কোনো পার্থক্য পরিলক্ষিত হয় না।

অতএব, কোনো নির্দিষ্ট দিকে কোনো কণার অবস্থান ও ভরবেগকে একই সাথে নির্ণয় করতে হলে দেখা যায় যে, অনিশ্চয়তার পরিমাণদ্বয়ের গুণফল $\frac{\hbar}{2}$ এর চেয়ে বৃহত্তর বা সমান। কোনো বস্তুর শক্তি ও সময়ের ক্ষেত্রেও এ সম্পর্ক প্রযোজ্য। সময় শক্তি অনিশ্চয়তা হলো

$$\Delta E.\, \Delta t \geqslant \frac{\hbar}{2}$$

কৌণিক অবস্থান ও কৌণিক ভরবেগের ক্ষেত্রেও এই নীতি প্রযোজ্য। সেক্ষেত্রে $\Delta L\, \Delta\varphi \geqslant \frac{\hbar}{2}$

কাজ : অনিশ্চয়তা নীতি থেকে তুমি কীভাবে দেখাবে যে নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে ইলেকট্রন থাকতে পারে না।

পরমাণুর নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ 10^{-14} m প্রায়। সুতরাং ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে আবদ্ধ থাকতে হলে এর অবস্থানের অনিশ্চয়তা অবশ্যই 2×10^{-14} m এর অধিক হবে না।

এখন Δx এবং Δp যথাক্রমে অবস্থান ও ভরবেগের অনিশ্চয়তা হলে,

$$\Delta x.\, \Delta p = \frac{\hbar}{2}$$

বা, $$\Delta p = \frac{h}{2 \times 2\pi \times \Delta x} = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{4 \times 3{\cdot}14 \times 2 \times 10^{-14}}$$

$$= 2{\cdot}64 \times 10^{-21}\ \text{kg ms}^{-1}$$

এখন ভরবেগ অনিশ্চয়তা এই মানের হলে ইলেকট্রনের ভরবেগ অবশ্যই ন্যূনতম পক্ষে এই মানের সমতুল্য হবে, অর্থাৎ $p = 2{\cdot}64 \times 10^{-21}\ \text{kg ms}^{-1}$

তাহলে ইলেকট্রনের গতিশক্তি,

$$E = \frac{p^2}{2m} = \frac{(2{\cdot}64 \times 10^{-21})^2}{2 \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31}} = 3{\cdot}83 \times 10^{-12}\ \text{J}$$

$$= \frac{3{\cdot}83 \times 10^{-12}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}}\ eV = 23{\cdot}93437 \times 10^{6}\ eV = 23{\cdot}93\ \text{M eV}$$

এর অর্থ হলো, ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে থাকতে হলে একে $23{\cdot}93\ MeV$ শক্তির অধিকারী হতে হবে। কিন্তু পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে দেখা যায় যে, ইলেকট্রনের শক্তি $4\ MeV$ এর অধিক হয় না। সুতরাং নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরের ইলেকট্রন থাকতে পারে না।

নিজে কর : আমরা জানি হাইসেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি অনুযায়ী $\Delta x.\, \Delta p \geqslant \frac{\hbar}{2}$; যদি Δx এর মান শূন্য হয় তবে Δp এর মান কীরূপ হবে ?

যেহেতু Δx ও Δp এর গুণফল-এর মান $\geqslant \frac{h}{2 \times 2\pi}$, কাজেই একটির অনিশ্চয়তা শূন্য হলে অপরটির অনিশ্চয়তা অসীম হবে। তাই এক্ষেত্রে অবস্থানের অনিশ্চয়তা শূন্য হলে ভরবেগের অনিশ্চয়তা সর্বাধিক বা অসীম হবে।

গাণিতিক উদাহরণ ৮.৯

১। একটি ইলেকট্রনের অবস্থানের অনিশ্চয়তা $0{\cdot}4 \times 10^{-10}$ m। এর ভরবেগের অনিশ্চয়তা কত ?

আমরা জানি,

$$\Delta p\ .\ \Delta x = \frac{\hbar}{2} = \frac{h}{2 \times 2\pi}$$

বা, $$\Delta p = \frac{h}{4\pi \times \Delta x} = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{4 \times 3{\cdot}14 \times 0{\cdot}4 \times 10^{-10}}$$

$$\therefore \quad \Delta p = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{5{\cdot}024 \times 10^{-10}}$$

$$= 1{\cdot}32 \times 10^{-24}\ \text{kg ms}^{-1}$$

এখানে,

$\Delta x = 0{\cdot}4 \times 10^{-10}$ m

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

$\Delta p = ?$

২। একটি মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে পরমাণুর মধ্যকার ইলেকট্রনের অবস্থান 0·25 Å দূরত্বের মধ্যে নির্ণয় করার সময় ইলেকট্রনের ভরবেগ নিরূপণে অনিশ্চয়তা কত ?

আমরা জানি,

$$\Delta x \cdot \Delta p = \frac{\hbar}{2} = \frac{h}{2 \times 2\pi}$$

বা, $\Delta p = \frac{1}{\Delta x} \times \frac{h}{2\pi \times 2} = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{4 \times 3{\cdot}14 \times 0{\cdot}25 \times 10^{-10}}$

$\therefore \quad \Delta p = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{3{\cdot}14 \times 10^{-10}}$

$= 2{\cdot}11 \times 10^{-24}$ kg ms^{-1}

এখানে,

ইলেকট্রনের অবস্থানের অনিশ্চয়তা,

$\Delta x = 0{\cdot}25$ Å $= 0{\cdot}25 \times 10^{-10}$ m

প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

ইলেকট্রনের ভরবেগের অনিশ্চয়তা, $\Delta p = ?$

৩। একটি ইলেকট্রনের বেগ 400 ms^{-1} এবং তার অনিশ্চয়তা হলো 0·01%। ইলেকট্রনের অবস্থান কতটুকু নির্ভুলভাবে নির্ণয় করা যাবে?

ইলেকট্রনের ভরবেগ,

$P = mv = 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times 400$

$= 3{\cdot}64 \times 10^{-28}$ kgms^{-1}

এখানে,

$v = 400$ ms^{-1}

$m_e = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg

এখানে, অনিশ্চয়তার হার 0·01%

$\therefore \quad \Delta P = \frac{0{\cdot}01}{100} \times 3{\cdot}64 \times 10^{-28} = 3{\cdot}64 \times 10^{-32}$ kgms^{-1}

আমরা জানি,

$$\Delta P . \Delta x = \frac{\hbar}{2 \times 2\pi}$$

$\therefore \quad \Delta x = \frac{h}{2 \times 2\pi \times \Delta P} = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{2 \times 2 \times 3{\cdot}14 \times 3{\cdot}64 \times 10^{-32}}$

$= \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-2}}{4 \times 3{\cdot}14 \times 3{\cdot}64} = 1{\cdot}45 \times 10^{-3}$ m

সার-সংক্ষেপ

প্রসঙ্গ কাঠামো : বস্তুর অবস্থান বা গতি বর্ণনার জন্য যে প্রসঙ্গ স্থানাঙ্ক নির্দেশ ব্যবস্থা গ্রহণ করা হয় তাকে প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।

জড় প্রসঙ্গ কাঠামো : যে সব প্রসঙ্গ কাঠামোতে জড়তার সূত্র এবং নিউটনের গতির প্রথম সূত্র প্রযোজ্য হয় তাকে জড় কাঠামো বা জড় প্রসঙ্গ কাঠামো বা জড়তার কাঠামো বলে।

অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো : যে কাঠামোতে জড়তার সূত্র এবং নিউটনের গতির প্রথম সূত্র প্রযোজ্য হয় না, তাকে অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।

নিউটনীয় বা চিরায়ত বলবিদ্যার মৌলিক রাশি : (i) দেশ বা স্থান ; (ii) সময় বা কাল ও (iii) ভর।

আপেক্ষিকতা : আইনস্টাইনের মতে স্থান, কাল এবং ভর এদের কোনোটিই নিরপেক্ষ বা পরম নয়, প্রত্যেকটি অন্য কিছুর সাপেক্ষে বিবেচিত হয়। কোনো বিষয় অন্য কোনো কিছুর সাপেক্ষে বিবেচিত হওয়াই আপেক্ষিকতা। আইনস্টাইনের এই তত্ত্বকে আপেক্ষিক তত্ত্ব বলা হয়।

আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের মৌলিক স্বীকার্যসমূহ : (i) সব জড় কাঠামোতে পদার্থবিজ্ঞানের সূত্রসমূহ অভিন্ন থাকে।
(ii) শূন্যস্থানে সব পর্যবেক্ষকের নিকট আলোর বেগ সর্বদা সমান থাকে।

লরেঞ্জের রূপান্তর সূত্র : যে রূপান্তর সূত্রে বিদ্যুৎ চুম্বকীয় সমীকরণ বিভিন্ন কাঠামোতে অভিন্ন থাকে, তাকে লরেঞ্জের রূপান্তর সূত্র বলে।

দৈর্ঘ্য সংকোচন : কোনো বস্তুর গতিশীল অবস্থার দৈর্ঘ্য, ওই বস্তুর স্থির অবস্থার দৈর্ঘ্যের চেয়ে ছোট হওয়াকে দৈর্ঘ্য সংকোচন বলে।

সময় প্রসারণ বা কাল দীর্ঘায়ন : কোনো ঘড়িকে গতিশীল রাখলে স্থিতিশীল অবস্থার চাইতে ধীরে চলবে। অর্থাৎ এই ঘড়িতে সময়ের পরিমাণ বৃদ্ধি পাবে। এই ঘটনাকে সময় প্রসারণ বা কাল দীর্ঘায়ন বলে।

ভরের আপেক্ষিকতা : দৈর্ঘ্য ও সময়ের মত বস্তুর ভরও গতিশীলতার ওপর নির্ভরশীল; আপেক্ষিক তত্ত্বানুসারে বস্তুর ভর বেগের সাথে বৃদ্ধি পায়।

আপেক্ষিকতার সাধারণ বা সার্বিক তত্ত্ব : পরস্পরের তুলনায় উর্ধ্ব বা নিম্ন গতিশীল (ত্বরিত) বস্তুসমূহ বা সিস্টেমে নিয়ে আলোচনা করা হয়েছে। যেমন : সূর্য, নক্ষত্র প্রভৃতির গতি, মাধ্যাকর্ষণ এবং সমগ্র বিশ্বের গঠন সম্পর্কে তার বৈজ্ঞানিক ও দার্শনিক মতবাদসমূহ আপেক্ষিকতার সাধারণ তত্ত্বের অন্তর্ভুক্ত।

আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব : শুধু পরস্পরের তুলনায় সমগতিতে সংরক্ষণশীল (অত্বরিত) বা অসংরক্ষণশীল (অপরিবর্তনীয়ভাবে শূন্য গতিবিশিষ্ট) বস্তু বা সিস্টেম নিয়ে আলোচনা করা হয়েছে। বস্তুত বিশেষ তত্ত্ব সার্বিক বা সাধারণ তত্ত্বের একটি বিশেষ রূপ।

গ্যালিলিওর রূপান্তর : যদি কোনো ঘটনা একই সাথে দুটি পৃথক কাঠামোয় ঘটে, তবে স্বাভাবিকভাবে দুটি কাঠামোর জন্যে দুই প্রকারের সেট স্থানাঙ্ক পাওয়া যাবে।
উক্ত ঘটনার জন্যে দুই সেট স্থানাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করার নিমিত্তে যে সমীকরণ পাওয়া যায়, তাকে গ্যালিলিওর রূপান্তর সমীকরণ বলে।

লরেঞ্জের দুটি স্বীকার্য : (i) পদার্থবিদ্যার সূত্রগুলো সকল অভ্যন্তরীণ কাঠামোয় অভিন্ন থাকে, তবে কাঠামোগুলোকে পরস্পরের সাপেক্ষে সমবেগে গতিশীল থাকতে হবে।
(ii) শূন্যস্থানে আলোর বেগ সর্বদা ধ্রুব থাকে, এটি একটি অভ্যন্তরীণ কাঠামো হতে অন্যটিতে রূপান্তরিত হলেও মান অপরিবর্তিত থাকে এবং আলোর এই বেগ $c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$।

সময় প্রসারণ বা কাল দীর্ঘায়ন : কোনো জড় বা স্থির কাঠামোতে সংঘটিত ঘটনা উক্ত কাঠামো সাপেক্ষে গতিশীল অন্য কোনো কাঠামো থেকে লক্ষ করলে দেখা যাবে ঘটনার সময় ব্যবধান বৃদ্ধি পেয়েছে। এ বিষয়টিকে সময় প্রসারণ বা কাল দীর্ঘায়ন বলে।

স্থির ভর : একটি বস্তুর স্থির অবস্থার ভরই হলো এর স্থির ভর।

পারমাণবিক ভর একক : নিউক্লিয় পদার্থবিজ্ঞানে ভরের প্রচলিত একক হলো পারমাণবিক ভর একক। এক পারমাণবিক ভর (amu) বলতে ^{12}C পরমাণুর ভরের $\frac{1}{12}$ অংশ বুঝায়। 1 amu ভরের সমতুল্য শক্তি = 933 MeV।

ভর শক্তির সংরক্ষণ সূত্র : প্রকৃতিতে ভর ও শক্তির মোট পরিমাণ ধ্রুবক। এদের মধ্যে বিভিন্ন ধরনের রূপান্তর সম্ভব; কিন্তু কখনোই ভর শক্তির সৃষ্টি বা বিনাশ হয় না। শুধুমাত্র পরমাণুর অভ্যন্তরে ভর শক্তিতে রূপান্তরিত হতে পারে।

মহাকর্ষ বল : ভরের কারণে মহাবিশ্বের যেকোনো দুটি বস্তুর মধ্যকার পারস্পরিক আকর্ষণ বলকে মহাকর্ষ বল বলে।

তড়িৎ চুম্বকীয় বল : দুটি আহিত বা চার্জিত বস্তুর মধ্যে এবং দুটি চুম্বক পদার্থের মধ্যে এক ধরনের বল ক্রিয়াশীল থাকে। এদেরকে কুলম্বের তড়িৎ বল এবং চৌম্বক বল বলা হয়। তড়িৎ বল এবং চৌম্বক বল পরস্পর ঘনিষ্ঠভাবে সম্পর্কিত। বস্তুত আপেক্ষিক গতিতে পরিভ্রমণরত দুটি আহিত কণার মধ্যে ক্রিয়াশীল বলই হচ্ছে তড়িৎ চুম্বকীয় বল।

সবল নিউক্লিয় বল : পরমাণুর নিউক্লিয়াসে নিউক্লিয় উপাদানসমূহকে একত্রে আবদ্ধ রাখে যে শক্তিশালী বল তাকে সবল নিউক্লিয় বল বলে।

দুর্বল নিউক্লিয় বল : যে স্বল্প পাল্লার ও স্বল্প মানের বল নিউক্লিয়াসের মৌলিক কণাগুলোর মধ্যে ক্রিয়া করে নিউক্লিয়াসে অস্থিতিশীলতার উদ্ভব ঘটায় তাকে দুর্বল নিউক্লিয় বল বলে।

প্ল্যাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব : প্ল্যাঙ্কের অভিমত অনুসারে কোনো বস্তু হতে শক্তির বিকিরণ বা বিভিন্ন বস্তুর মধ্যে শক্তির বিনিময় নিরবচ্ছিন্নভাবে ঘটে না। এই প্রক্রিয়ায় কোনো ধারাবাহিকতা নেই। শক্তির নিঃসরণ বিচ্ছিন্নভাবে খণ্ড খণ্ড আকারে বা এক একটি গুচ্ছ বা প্যাকেটে নির্গত হয় বা শোষিত হয়। এটিই প্ল্যাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব।

ফোটন : কোনো বস্তু থেকে আলো বা কোনো শক্তির নিঃসরণ নিরবচ্ছিন্নভাবে হয় না। শক্তি বা বিকিরণ গুচ্ছ গুচ্ছ আকারে প্যাকেট বা কোয়ান্টাম হিসেবে নিঃসৃত হয়। শক্তির এই অবিভাজ্য এককের নাম কোয়ান্টাম বা ফোটন। এই কোয়ান্টাম বা ফোটনকে শক্তির পরমাণু বলে।

এক্স-রে : দ্রুতগতিসম্পন্ন ইলেকট্রন কোনো ধাতুকে আঘাত করলে তা থেকে উচ্চ ভেদন ক্ষমতাসম্পন্ন এক প্রকার বিকিরণ উৎপন্ন হয়। এই বিক্রিয়াকে এক্স-রে বলে।

1 রনজেন : এক রনজেন বলতে আমরা সেই পরিমাণ এক্স-রে বিকিরণ বুঝি যা সাধারণ চার্জ এবং তাপমাত্রায় 1×10^{-3} m বায়ুতে $3{\cdot}33 \times 10^{-10}$ C চার্জের সমান চার্জ উৎপন্ন করতে পারে।

ফটো তড়িৎ ক্রিয়া : ধাতব পদার্থের ওপর যথোপযুক্ত কম্পাঙ্কের দৃশ্যমান আলোক কিংবা অন্য কোনো বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ আপতিত হলে ওই পদার্থ হতে ইলেকট্রন নির্গত হয়। এই ঘটনাকে ফটো তড়িৎ ক্রিয়া বলে।

আলোক তড়িৎ প্রবাহ বা ফটো কারেন্ট : ফটো ইলেকট্রন নিঃসরণের ফলে যে বিদ্যুৎ প্রবাহ সৃষ্টি হয় তাকে আলোক তড়িৎ প্রবাহ বা ফটো কারেন্ট বলে।

দশা বেগ : তরঙ্গের দশা সময়ের সাথে যে হারে পরিবর্তিত হয় তাকে দশা বেগ বলে।

গুচ্ছ বেগ : ভিন্ন কম্পাঙ্কের একাধিক সাইন ধর্মী তরঙ্গের উপরিপাত হলে তরঙ্গ রূপটি পরিবর্তিত হয়। এভাবে ক্রমশ পরিবর্তনশীল কম্পাঙ্কের বহু সংখ্যক সাইন ধর্মী তরঙ্গের উপরিপাতের ফলে যে লব্ধি তরঙ্গ গঠিত হয়, ওই তরঙ্গ গুচ্ছের বেগকে গুচ্ছ বেগ বলে।

ভর-শক্তি সম্পর্ক : আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের সাহায্যে আইনস্টাইন বস্তুর ভর ও শক্তির মধ্যে নিম্নরূপ সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা করেন :
$E = mc^2$, এখানে E = শক্তি ; m = বস্তুর ভর এবং c = আলোর বেগ।

মৌলিক বল : যে বল মূল বা অকৃত্রিম তাকে মৌলিক বল বলে। মৌলিক বল চার ধরনের। যথা—(১) মহাকর্ষ বল, (২) তড়িৎ-চৌম্বকীয় বল, (৩) সরল নিউক্লীয় বল এবং (৪) দুর্বল নিউক্লীয় বল।

এক্স-রে : দৃশ্যমান আলোকের মতোই এক্স-রে বিদ্যুৎচুম্বকীয় তরঙ্গ। কিন্তু এরা অদৃশ্য রশ্মি। এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য আলোকের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য অপেক্ষা কম।

এক্স-রের একক : এর এককের নাম রন্‌জেন বলতে আমরা সেই পরিমাণ এক্সরে বিকিরণ বুঝি যা সাধারণ চাপ এবং তাপমাত্রায় 1 mm বায়ুতে $3{\cdot}33 \times 10^{-10}$ C চার্জের সমান চার্জ উৎপন্ন করতে পারে।

প্ল্যাঙ্ক-এর কোয়ান্টাম তত্ত্ব : কোনো বস্তু হতে শক্তির বিকিরণ বা বিভিন্ন বস্তুর মধ্যে শক্তির বিনিময় নিরবচ্ছিন্নভাবে ঘটে না। তেজশক্তি বিচ্ছিন্নভাবে খণ্ড খণ্ড আকারে এক একটি প্যাকেটে নির্গত বা শোষিত হয়।

লরেঞ্জ রূপান্তর সূত্রের স্বীকার্যসমূহ

স্বীকার্য–১ : পদার্থবিদ্যার সূত্রগুলো সকল অভ্যন্তরীণ কাঠামোয় অভিন্ন থাকে; তবে কাঠামোগুলোকে পরস্পরের সাপেক্ষে সমবেগে গতিশীল থাকতে হবে।

স্বীকার্য–২ : শূন্যস্থানে আলোর বেগ সর্বদা ধ্রুব থাকে, এটি একটি অভ্যন্তরীণ কাঠামো হতে অন্যটিতে রূপান্তরিত হলেও মান অপরিবর্তিত থাকে এবং আলোর এই বেগ $c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}। এ মান দর্শকের স্থিতি বা গতিশীলতার ওপর নির্ভর করে না।

কোমল এক্স-রে : গ্যাস নলের ভেতরে গ্যাসের চাপ যদি অপেক্ষাকৃত বেশি হয়, তবে কম বিভব পার্থক্যেও এক্স রশ্মি উৎপন্ন করা যায়। এই ধরনের এক্স রশ্মিকে কোমল এক্সরে বলে। কোমল এক্স রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় 10 Å এর কাছাকাছি হয়। এর ভেদন ক্ষমতা অত্যন্ত কম।

কঠিন এক্স-রে : নলের ভেতর গ্যাসের চাপ কম হলে অধিক বিভব পার্থক্য প্রয়োগে এক্স রশ্মি উৎপন্ন হয়। এই এক্স রশ্মিকে কঠিন এক্স-রে বলে। কঠিন এক্স রশ্মির তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য প্রায় 0·01 Å মানের হয়। এই রশ্মির ভেদন ক্ষমতা খুবই বেশি।

ফটো ইলেকট্রন : আলোক রশ্মির আপতনের ফলে ধাতব পদার্থ হতে নির্গত ইলেকট্রনকে ফটো ইলেকট্রন বলে।

আলোক তড়িৎ : ধাতব পদার্থ হতে নির্গত ইলেকট্রন প্রবাহিত হওয়ার ফলে যে বিদ্যুৎ উৎপন্ন হয় তাকে আলোক তড়িৎ বলা হয়।

আলোক তড়িৎ প্রবাহ : নির্গত ইলেকট্রন প্রবাহের ফলে যে বিদ্যুৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয় তাকে আলোক তড়িৎ প্রবাহ বলে।

আলোক তড়িৎ নির্গমনের সূত্রাবলি :

১ম সূত্র : আলোক তড়িৎ নির্গমন একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা।

২য় সূত্র : প্রতিটি ফটো ইলেকট্রন নির্গমনের ক্ষেত্রে আপতিত আলোক রশ্মির একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম কম্পাঙ্ক রয়েছে যার নাম প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক বা সূচন কম্পাঙ্ক।

৩য় সূত্র : আপতিত আলোকের কম্পাঙ্ক প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক অপেক্ষা অধিক হলে আলোক তড়িৎ প্রবাহমাত্রা আপতিত আলোকের প্রাবল্যের সমানুপাতিক।

৪র্থ সূত্র : আলোক ইলেকট্রনের গতিবেগ তথা গতিশক্তি আপতিত আলোকের প্রাবল্যের ওপর নির্ভর করে না; বরং আপতিত আলোকের কম্পাঙ্ক এবং নিঃসারক-এর প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে।

তরঙ্গ কণা দ্বৈততা : সকল শক্তি তরঙ্গ সদৃশ এবং কণা সদৃশ উভয় ধর্ম প্রদর্শন করে। ইহাই তরঙ্গ কণা দ্বৈততা।

আলোক তড়িৎ ক্রিয়া : আলোকের প্রভাবে ধাতব হতে ইলেকট্রনের নির্গমনের প্রক্রিয়াকে আলোক তড়িৎ নির্গমন ও এ ক্রিয়াকে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া বলে।

নিবৃত্তি বিভব : আলোক তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন যন্ত্রে যে ধাতব পাতের ওপর আলোক রশ্মি আপতিত করে আলোক তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করা হয়, ওই পাত ন্যূনতম যে ধনাত্মক বিভবে রাখলে আলোক তড়িৎ প্রবাহ সম্পূর্ণ বন্ধ হয়ে যায়, ওই বিভবকে নিবৃত্তি বিভব বলে।

সূচন কম্পাঙ্ক : প্রতিটি আলোক ইলেকট্রন নির্গমনের ক্ষেত্রে আপতিত আলোক রশ্মির একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম কম্পাঙ্ক রয়েছে; এই কম্পাঙ্ককে সূচন কম্পাঙ্ক বলে।

কার্য অপেক্ষক : কোনো একটি ইলেকট্রনকে নিঃসারকের নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ বন্ধন হতে মুক্ত করতে যে পরিমাণ কাজ সম্পাদন করতে হয়, তাকে আলোক তড়িৎ কার্য অপেক্ষক বলে।

ডি ব্রগলি তরঙ্গ : প্রত্যেক চলমান পদার্থ কণার সাথে একটি তরঙ্গ যুক্ত থাকে। এই তরঙ্গকে ডি ব্রগলি তরঙ্গ বলে।

কম্পটন ক্রিয়া : হালকা পদার্থের ইলেকট্রন দ্বারা এক্স-রশ্মি বিক্ষিপ্ত হলে বিক্ষিপ্ত রশ্মির ভেতর আপতিত তরঙ্গদৈর্ঘ্য ছাড়াও কিছু পরিবর্তিত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্মি পাওয়া যায়। এই পরিবর্তিত তরঙ্গদৈর্ঘ্যগুলো প্রাথমিক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা দীর্ঘতর হয়। এই ঘটনাকে কম্পটন ক্রিয়া বলে।

হাইসেনবার্গের অনিশ্চয়তা সূত্র : কোনো কণার অবস্থান ও ভরবেগ যুগপৎ সঠিকভাবে পরিমাপ করা যায় না। যদি কোনো কণার কোনো নির্দিষ্ট সময়ে অবস্থানের অনিশ্চয়তা Δx এবং ভরবেগের অনিশ্চয়তা Δp হয়, তবে এদের গুণফল প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবকের সমান বা বড় হবে। একেই হাইসেনবার্গের অনিশ্চয়তা সূত্র বলে।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$$x' = x - vt \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

$$y' = y \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

$$z' = z \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

$$v_x' = v_x - v \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

$$v_y' = v_y \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

$$v_z' = v_z \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

$$t' = \frac{t + vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

$$x' = \frac{x + vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9)$$

$$t' = \frac{t + \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10)$$

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{eV} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (11)$$

$$\lambda_0 = \frac{hc}{W_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (12)$$

$$L = L_0\sqrt{1 - v^2/c^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (13)$$

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (14)$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (15)$$

$$E = mc^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (16)$$

$$E = h\upsilon \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (17)$$

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (18)$$

$$\frac{1}{2}mv_{max}^2 = h\upsilon - W_0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (19)$$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2\,meV}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (20)$$

$$E = h\frac{c}{\lambda} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (21)$$

$$v = \sqrt{\frac{2eV}{\lambda}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (22)$$

$$\frac{1}{2}mv^2_{max} = eV \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (23)$$

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\phi) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (24)$$

$$\Delta x.\,\Delta p \geqslant \frac{\hbar}{2},\quad \hbar = \frac{h}{2\pi} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (25)$$

$$\Delta E.\,\Delta t \geqslant \frac{\hbar}{2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (26)$$

বিশ্লেষণাত্মক ও মূল্যায়নধর্মী গাণিতিক সমস্যাবলির সমাধান

১। একজন মহাশূন্যচারী একটি কাল্পনিক গ্রহের ঘনত্ব পর্যবেক্ষণের জন্য মহাশূন্যযানে চড়ে গ্রহটির ব্যাস বরাবর $1{\cdot}8 \times 10^8\ ms^{-1}$ বেগে যাচ্ছেন। গ্রহটির স্থির ভর $7{\cdot}4 \times 10^{28}$ kg এবং ব্যাস 14200 km।

(ক) গতিশীল অবস্থায় মহাশূন্যচারীর নিকট গ্রহটির ভর কত হবে নির্ণয় কর।

(খ) মহাশূন্যচারীর নিকট গ্রহটির ঘনত্বের পরিবর্তন কীরূপ হবে? গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর।

[ব. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); ম. বোর্ড ২০২১; সি. বো. ২০১৬ (মান ভিন্ন)]

(ক) আমরা জানি,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\therefore\ m = \frac{7{\cdot}4 \times 10^{28}}{\sqrt{1 - \left(\frac{1{\cdot}8 \times 10^8}{3 \times 10^8}\right)^2}}$$

এখানে,

$v = 1{\cdot}8 \times 10^8\ ms^{-1}$

$m_0 = 7{\cdot}4 \times 10^{28}$ kg

$d_0 = 14200\ km = 14{\cdot}2 \times 10^6$ m

বা, $m = \dfrac{7{\cdot}4\times10^{28}}{\sqrt{1-\left(\frac{1{\cdot}8}{3}\right)^2}} = \dfrac{7{\cdot}4\times10^{28}}{\sqrt{1-0{\cdot}36}}$

$= \dfrac{7{\cdot}4\times10^{28}}{0{\cdot}8} = 9{\cdot}25\times10^{28}\ \text{kg}$

(খ) আবার, ঘনত্ব

$\rho_0 = \dfrac{m_0}{V_0}$ এবং $V_0 = \dfrac{4}{3}\pi r_0^3$

$\therefore\ \rho_0 = \dfrac{7{\cdot}4\times10^{28}}{\frac{4}{3}\times3{\cdot}14\times(7{\cdot}1\times10^6)^3}$

$= \dfrac{7{\cdot}4\times3\times10^{28}}{4\times3{\cdot}14\times357{\cdot}9\times10^{18}}$

$= 4{\cdot}94\times10^7\ \text{kgm}^{-3}$

এখানে,

$d_0 = 14{\cdot}2\times10^6\ \text{m}$

$\therefore\ r_0 = \dfrac{14{\cdot}2}{2}\times10^6 = 7{\cdot}1\times10^6\ \text{m}$

এখন গতিশীল অবস্থায় গ্রহটির ব্যাস,

$d_0 = \dfrac{d}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

বা, $d = d_0\times\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = 14{\cdot}2\times10^6\times\sqrt{1-\left(\frac{1{\cdot}8}{3}\right)^2}$

$= 14{\cdot}2\times0{\cdot}8\times10^6 = 11{\cdot}36\times10^6\ \text{m}$

$\therefore\ r = \dfrac{d}{2} = \dfrac{11{\cdot}36}{2}\times10^6 = 5{\cdot}68\times10^6\ \text{m}$

$\therefore\ V = \dfrac{4}{3}\pi r^3 = \dfrac{4}{3}\times3{\cdot}14\times(5{\cdot}68\times10^6)^3$

অতএব, গতিশীল অবস্থানের ঘনত্ব,

$\rho = \dfrac{m}{V} = \dfrac{9{\cdot}25\times10^{28}}{\frac{4}{3}\times3{\cdot}14\times(5{\cdot}68\times10^6)^3}$

$= \dfrac{9{\cdot}25\times3\times10^{28}}{4\times3{\cdot}14\times(5{\cdot}68)^3\times10^{18}} = \dfrac{9{\cdot}25\times3\times10^{10}}{4\times3{\cdot}14\times183{\cdot}25}$

$= 1{\cdot}21\times10^8\ \text{kgm}^{-3}$

অর্থাৎ গ্রহটির ঘনত্বের পরিবর্তন হবে $= 1{\cdot}21\times10^8 - 4{\cdot}94\times10^7 = 7{\cdot}16\times10^7\ \text{kgm}^{-3}$, ঘনত্ব হ্রাস পাবে।

২। পৃথিবীর পৃষ্ঠ হতে 250 আলোকবর্ষ দূরে একটি গ্রহের ওপর গবেষণা করার জন্য একদল গবেষক 60 বছর বয়সী একটি প্রাণীকে $0{\cdot}6\ c$ বেগে চলমান একটি নভোযানের মাধ্যমে ওই গ্রহে পাঠায়। ওই প্রাণীর ওজন 20 kg। 1 আলোকবর্ষ $= 9{\cdot}4\times10^{15}$ m, প্রাণীটির গড় আয়ুষ্কাল 100 বছর।

(ক) উদ্দীপকের আলোকে চলন্ত অবস্থায় প্রাণীটির ভর কত হবে? বের কর।

(খ) উদ্দীপকের তথ্য অনুযায়ী চলমান প্রাণীটি জীবিত ওই গ্রহে পৌঁছাতে সক্ষম হবে কি না—গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর। **[য. বো. ২০২১; ঢা. বো. ২০১৭ (মান ভিন্ন)]**

(ক) আমরা জানি,

$m = \dfrac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

$\therefore\ m = \dfrac{20}{\sqrt{1-\left(\frac{0{\cdot}6c}{c}\right)^2}} = \dfrac{20}{\sqrt{1-0{\cdot}36}}$

$= \dfrac{20}{\sqrt{0{\cdot}64}} = \dfrac{20}{0{\cdot}8} = 25\ \text{kg}$

এখানে,

$m_0 = 20\ \text{kg}$

$v = 0{\cdot}6c$

$m = ?$

(খ) আবার,

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

এখানে,
$s = 250 \text{ ly}$
$= 250 \times 9{\cdot}4 \times 10^{15} \text{ m}$
$v = 0{\cdot}6c$

পৃথিবীর পর্যবেক্ষকের নিকট ওই গ্রহে প্রাণীটির পৌঁছতে সময় লাগবে,

$$s = vt$$

বা, $$t = \frac{s}{v} = \frac{250 \times 9{\cdot}4 \times 10^{15}}{0{\cdot}6c}$$

$$= \frac{250 \times 9{\cdot}4 \times 10^{15}}{0{\cdot}6 \times 3 \times 10^8} = \frac{250 \times 9{\cdot}4 \times 10^7}{0{\cdot}6 \times 3} \, s$$

$$= \frac{250 \times 9{\cdot}4 \times 10^7}{0{\cdot}6 \times 3 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365} \text{ yr.}$$

$$= \frac{250 \times 9{\cdot}4 \times 10^7}{0{\cdot}6 \times 3 \times 3{\cdot}6 \times 10^3 \times 0{\cdot}24 \times 10^2 \times 3{\cdot}65 \times 10^2}$$

$$= \frac{250 \times 9{\cdot}4 \times 10^7 \times 10^{-7}}{0{\cdot}6 \times 3 \times 3{\cdot}6 \times 0{\cdot}24 \times 3{\cdot}65}$$

$$= 414 \text{ yr.}$$

ওই গ্রহে প্রাণীটির বয়স হবে,

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

বা, $$t_0 = t \times \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

$$= 414 \times \sqrt{1 - 0{\cdot}36}$$

$$= 414 \times 0{\cdot}8 = 331 \text{ yr.}$$

অতএব জীবন্ত অবস্থায় প্রাণিটি ওই গ্রহে পৌঁছাতে পারবে না।

৩। বেলি একটি আয়তাকার ঘনবস্তুর দৈর্ঘ্য 50 cm, প্রস্থ 25 cm, উচ্চতা 25 cm এবং ভর 100 gm পরিমাপ করে। অন্যদিকে বস্তুর দৈর্ঘ্য বরাবর গতিশীল কাঠামো হতে শেলির নিকট বস্তুটিকে ঘনকাকৃতির মনে হয়।

(ক) গতিশীল কাঠামোর দ্রুতি নির্ণয় কর।

(খ) বেলি ও শেলির নিকট বস্তুটির ঘনত্ব একই হবে কী? গাণিতিক বিশ্লেষণপূর্বক মতামত দাও।

[কু. বো. ২০২১]

(ক) আমরা জানি,

$$L = L_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

$$\therefore \quad 25 = 50 \times \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

বা, $$625 = 2500 \times (1 - v^2/c^2)$$

বা, $$1 - v^2/c^2 = \frac{1}{4}$$

বা, $$v^2/c^2 = 1 - \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$$

$$\therefore \quad v = \sqrt{\frac{3}{4}}\, c = 0{\cdot}866\, c$$

এখানে,
$L_0 = 50 \text{ cm}$
$L = 25 \text{ cm}$
(∵ বস্তুটি ঘনাকৃতির)

(খ) আবার, $\rho_0 = \frac{m_0}{V}$

$\therefore$ বেলির নিকট ঘনত্ব, $\rho_0 = \frac{100}{31250} = 3{\cdot}2 \times 10^{-3} \text{ gm/cm}^3$

এখানে,
$V = 50 \times 25 \times 25 = 31250 \text{ cm}^3$
$m_0 = 100 \text{ gm}$

আমরা জানি,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = \frac{100}{\sqrt{1 - (0{\cdot}866)^2}} = \frac{100}{\sqrt{0{\cdot}25}} = 200 \text{ gm}$$

শেলির নিকট ঘনত্ব,

$\rho_0 = \frac{m}{V'}$ এখানে, $V' = 25 \times 25 \times 25 = 15625\ cm^3$ [∵ বস্তুটি ঘনকাকৃতির]

$\therefore \quad \rho_0 = \frac{200}{15625} = 12{\cdot}8 \times 10^{-3}\ gm/cm^3$

সুতরাং, শেলির নিকট ঘনত্ব 4 গুণ বেশি মনে হবে।

৪। রাতুল ও প্রীতম 18 বছর বয়সী দুই জমজ ভাই। রাতুল 200m দৈর্ঘ্যের এবং আলোর দ্রুতির 90% দ্রুতিতে গতিশীল একটি মহাশূন্যযানে চড়ে মহাকাশ ভ্রমণে যায়। যাওয়ার সময় রাতুল তার ভাই প্রীতমকে বলে, "যখন তোমার বয়স 40 বছর হবে তখন আমি 25 বছরের কম বয়সী হিসেবে পৃথিবীতে ফিরে আসব।"

(ক) পৃথিবীর সাপেক্ষে মহাশূন্যযানটির দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের রাতুলের বক্তব্যের সত্যতা যাচাই কর। [ব. বো. ২০২১]

(ক) আমরা জানি,

$L = L_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$

এখানে,
$L_0 = 200m$
$v = c$ এর $90\% = 0{\cdot}9\,c$

$\therefore \quad L = 200 \times \sqrt{1-\left(\frac{0{\cdot}9c}{c}\right)^2}$

$= 200 \times \sqrt{1-(0{\cdot}9)^2} = 300 \times \sqrt{1-0{\cdot}81}$

$= 200 \times \sqrt{0{\cdot}19} = 87{\cdot}2m$

(খ) এক্ষেত্রে ভূপৃষ্ঠ হতে পরিমাপ্য সময়, $t = 40 - 18 = 22$ বছর

আমরা জানি,

$t = \frac{t_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

এখানে,
$v = 0{\cdot}9C$
মহাশূন্যে মহাশূন্যচারীর বয়স বৃদ্ধি, $t_0 = ?$

বা, $t_0 = t \times \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$

$= t \times \sqrt{1-\left(\frac{0{\cdot}9c}{c}\right)^2}$

$= 22 \times \sqrt{0{\cdot}19} = 22 \times 0{\cdot}436$

$= 9{\cdot}59$ বছর

সুতরাং, মহাশূন্যচারীর বয়স হবে $= 18 + 9{\cdot}59 = 27{\cdot}59$ বছর

অতএব, রাতুলের বক্তব্য সঠিক নয়।

৫। রহিম ও রায়হান দুই বন্ধুর জন্ম 1980 সালে। তারা যে স্কুলের ছাত্র ছিল সে স্কুল স্থাপিত হয় 1950 সালে। 30 বছর বয়সে রায়হান 90 মিটার লম্বা মহাকাশযানে চড়ে $0{\cdot}8c$ বেগে মহাকাশে যাত্রা শুরু করল এবং রায়হানের হিসাব মতে 23 বছর পরে ফিরে এলো তার স্কুলের 100 বছর পূর্তি অনুষ্ঠানে যোগ দেওয়ার জন্য।

(ক) রহিমের নিকট মহাকাশ যানের দৈর্ঘ্য কত মনে হবে?

(খ) রায়হান তার স্কুলের অনুষ্ঠানে যোগ দিতে পারবে কী? গাণিতিক বিশ্লেষণসহ মতামত দাও।

[চ. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); ২০২১]

(ক) আমরা জানি,

$L = L_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$

এখানে,
$v = 0{\cdot}8c$
$L_0 = 90\,m$

$\therefore \quad L = 90 \times \sqrt{1-\left(\frac{0{\cdot}8c}{c}\right)^2}$

$= 90 \times \sqrt{1-0{\cdot}64} = 90 \times \sqrt{0{\cdot}36}$

$= 90 \times 0{\cdot}6 = 54m$

(খ) রায়হান তার সময় অনুযায়ী 23 বছর পরে ফিরে আসে। পৃথিবীর সময় অনুযায়ী এর মান হবে,

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\therefore \quad t = \frac{t_0}{\sqrt{1-\left(\frac{0.8c}{c}\right)^2}}$$

$$= \frac{23}{0.6} = 38.3 \text{ বছর}$$

মহাশূন্যে রায়হানের অতিক্রান্ত সময়,
$t_0 = 23$ বছর
$v = 0.8c$
ভূপৃষ্ঠে পরিমাপ্য সময়, $t = ?$

রায়হান 30 + 38.3 = 68.3 বছর পরে পৃথিবীতে ফিরে আসে। তখন পৃথিবীর ক্যালেন্ডারে সাল = 1980 + 68.3 = 2048.3

স্কুলের শতবর্ষ হবে 2050 সালে। যেহেতু রায়হান 2048 সালে ফিরে আসে সুতরাং সে স্কুলের শতবর্ষী অনুষ্ঠানে যোগ দিতে পারবে।

৬। ফটো তড়িৎ ক্রিয়া পরীক্ষণে দেখা গেল পটাশিয়াম ধাতুর উপর 4400 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো আপতিত হলে শুধুমাত্র ইলেকট্রন নির্গত হয় কিন্তু গতিপ্রাপ্ত হয় না। যদি 1500 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো আপতিত হয় তবে ইলেকট্রন নিঃসরিত হয় এবং গতিশক্তিপ্রাপ্ত হয়।

(ক) পটাশিয়ামের কার্য অপেক্ষক নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকে নিঃসরিত ইলেকট্রনের গতিশক্তিপ্রাপ্ত হওয়া না হওয়ার কারণ কী ? গাণিতিক উল্লেখসহ মতামত দাও। [ঢা. বো. ২০১৫]

(ক) আমরা জানি,

$$W_0 = \frac{hc}{\lambda_0} = 6.63\times10^{-34}\times\frac{3\times10^8}{4400\times10^{-10}}$$

$$= 4.52\times10^{-19}\text{ J}$$

$$= \frac{4.52\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}}eV = 2.825\ eV$$

এখানে,
$\lambda_0 = 4400\text{ Å} = 4400\times10^{-10}\text{ m}$
$h = 6.63\times10^{-34}\text{ Js}$
কার্য অপেক্ষক, $W_0 = ?$

(খ) ইলেকট্রনসমূহ কক্ষপথে নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তি নিয়ে ঘুরে। এদেরকে কক্ষপথ হতে বিচ্যুত করতে হলে ন্যূনতম মানের শক্তির প্রয়োজন হয়। এই শক্তি পাওয়া যেতে পারে ফোটন হতে। ফোটনের শক্তি এর কম্পাঙ্কের সমানুপাতিক এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ব্যস্তানুপাতিক। সেজন্য ইলেকট্রন অবমুক্ত করতে হলে ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য একটি সর্বোচ্চ মানের চেয়ে বেশি হতে পারে না। এই মানকে সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলে। উদ্দীপকে সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য 4400 Å। এর চেয়ে কম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটন আপতিত হলে অবমুক্ত ইলেকট্রন গতিশক্তিপ্রাপ্ত হবে এবং ওই শক্তির পরিমাণ হলো,

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

$$= \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^8}{1500\times10^{-10}} = 13.26\times10^{-19}\text{ J}$$

$$= \frac{13.26\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}}eV = 8.2875\ eV$$

এখানে,
$\lambda = 1500\text{ Å} = 1500\times10^{-10}\text{ m}$
$E = ?$

'ক' থেকে প্রাপ্ত $W_0 = 2.825\ eV$

$E > W_0$, এ কারণে ধাতব পাত থেকে ইলেকট্রন মুক্ত হয় এবং উচ্চ গতিশক্তি প্রাপ্ত হয়। এক্ষেত্রে সর্বোচ্চ গতিশক্তি

$$K_{max} = 8.2875\ eV - 2.825\ eV$$

$$= 5.4625\ eV$$

অর্থাৎ আপতিত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কম বা কম্পাঙ্ক বেশি হওয়ায় আপতিত আলোকের গতিশক্তি পটাশিয়ামের কার্য অপেক্ষকের চেয়ে অনেক বেশি। ফলে ধাতু হতে উচ্চ গতিশক্তির ইলেকট্রন নির্গত হয়।

৭। 0·2500 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্মি কোনো লক্ষ্যবস্তুকে আঘাত হেনে 60° কোণে বিক্ষিপ্ত হলো। ইলেকট্রনের নিশ্চল ভর $9·1 \times 10^{-31}$ kg, $h = 6·63 \times 10^{-34}$ Js।

(ক) বিক্ষিপ্ত এক্স-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(খ) এক্স রশ্মির পরিবর্তে 2500 Å এবং 3500 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট দুটি তড়িৎচুম্বক তরঙ্গ আলাদাভাবে কোনো ধাতব পৃষ্ঠে পতিত হওয়ায় ইলেকট্রন নির্গত হলো। ধাতুটির সূচন কম্পাঙ্ক $5·5 \times 10^{14}$ Hz হলে উভয় ক্ষেত্রে নিবৃত্তি বিভবের তুলনামূলক গাণিতিক বিশ্লেষণ কর। [য. বো. ২০১৫]

(ক) আমরা জানি,

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\phi)$$

$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\phi)$$

$$= 0·2500 \times 10^{-9} + \frac{6·63 \times 10^{-34}}{9·1 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^{8}}(1 - \cos 60°)$$

$$= 0·251214 \times 10^{-9}\ \text{m} = 0·251214\ \text{nm}$$

এখানে,

$\lambda = 0·2500\ \text{nm} = 0·2500 \times 10^{-9}\ \text{m}$

$\varphi = 60°$

$\lambda' = ?$

(খ) ১ম ক্ষেত্রে তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda_1 = 2500\ \text{Å} = 2500 \times 10^{-10}\ \text{m}$

২য় ক্ষেত্রে তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda_2 = 3500\ \text{Å} = 3500 \times 10^{-10}\ \text{m}$

আমরা জানি,

$$E = K_{max} + W_0$$

$$\frac{hc}{\lambda_1} = eV_0 + h\upsilon_0$$

ধাতুর সূচন কম্পাঙ্ক, $\upsilon_0 = 5·5 \times 10^{14}$ Hz

বা, $$V_0 = \frac{hc}{e\lambda_1} - \frac{h\upsilon_0}{e} = \frac{h}{e}\left(\frac{c}{\lambda_1} - \upsilon_0\right)$$

$$= \frac{6·63 \times 10^{-34}}{1·6 \times 10^{-19}}\left[\frac{3 \times 10^{8}}{2500 \times 10^{-10}} - 5·5 \times 10^{14}\right] = 2·69\ \text{volt}$$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে

$$V_0' = \frac{hc}{e\lambda_2} - \frac{h\upsilon_0}{e} = \frac{h}{e}\left(\frac{c}{\lambda_2} - \upsilon_0\right)$$

$$= \frac{6·63 \times 10^{-34}}{1·6 \times 10^{-19}}\left[\frac{3 \times 10^{8}}{3500 \times 10^{-10}} - 5·5 \times 10^{14}\right] = 1·27\ \text{volt}$$

$\therefore\ V_0 : V_0' = 2·69 : 1·27$; এক্ষেত্রে 2500 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য নিবৃত্তি বিভবের মান বেশি হবে।

৮। 20 kg ভরের ও 10 m দৈর্ঘ্যের কোনো একটি বস্তু স্থিরাবস্থা থেকে $0·5\,c$ বেগে চলা আরম্ভ করল।

(ক) বস্তুটির গতিশীল অবস্থার দৈর্ঘ্য কত ?

(খ) নিউটনীয় বলবিদ্যা হতে প্রাপ্ত গতিশক্তি ও আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে গতিশক্তি এক নয়—উদ্দীপকে প্রদত্ত তথ্যের আলোকে বিশ্লেষণ কর। [ব. বো. ২০১৫; মাদরাসা বোর্ড ২০১৭ (মান ভিন্ন)]

(ক) আমরা জানি,

$$L = L_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$= 10 \times \sqrt{1 - \left(\frac{0·5\,c}{c}\right)^2} = 8·66\ \text{m}$$

এখানে,

$m = 20$ kg

$L_0 = 10$ m

$v = 0·5\,c$

চলমান দৈর্ঘ্য $L = ?$

(খ) নিউটনীয় বলবিদ্যা হতে প্রাপ্ত গতিশক্তি,

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 20 \times (0.5 \times 3 \times 10^8)^2$$

$$= 2.25 \times 10^{17} \text{ J}$$

এখানে,

$v = 0.5\,c = 0.5 \times 3 \times 10^8$ m

E = ?

আপেক্ষিক তত্ত্ব থেকে প্রাপ্ত গতিশক্তি,

$$E' = (m - m_0)c^2 = \left(\frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0\right) c^2$$

$$= \left(\frac{20}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.5\,c}{c}\right)^2}} - 20\right) \times (3 \times 10^8)^2$$

$$= 2.7846 \times 10^{17} \text{ J}$$

যেহেতু 2.25×10^{17} J $\neq 2.7846 \times 10^{17}$ J অর্থাৎ $E \neq E'$

সুতরাং নিউটনীয় বলবিদ্যা হতে প্রাপ্ত গতিশক্তি ও আপেক্ষিক তত্ত্ব থেকে প্রাপ্ত গতিশক্তি এক নয়।

৯। করিম তার বন্ধু রহিমের সাথে আপেক্ষিক তত্ত্বের বিভিন্ন বিষয় নিয়ে আলোচনা করল। করিম বলল একজন মহাশূন্যচারী 30 বছর বয়সে 2.5×10^8 ms^{-1} বেগে একটি রকেটে চড়ে নতুন গ্রহের অনুসন্ধানে গেল। পৃথিবীতে রকেটের দৈর্ঘ্য ছিল 80 m।

(ক) পৃথিবী থেকে পরিমাপকৃত গতিশীল রকেটের দৈর্ঘ্য কত হবে ?

(খ) অনুসন্ধান শেষে উক্ত নভোচারী পৃথিবীর হিসাবে 50 বছর পর ফিরে আসলে আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে তার বয়স পৃথিবীর ক্যালেন্ডার অনুযায়ী একই হবে কি না—ব্যাখ্যা কর। [সি. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); ঢা. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); রা. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন), ২০১৭; চ. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); দি. বো. ২০১৭ (মান ভিন্ন); ম. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন)]

(ক) আমরা জানি,

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$= 80 \sqrt{1 - \frac{(2.5 \times 10^8)^2}{(3 \times 10^8)^2}} = 44.22 \text{ m}$$

এখানে,

গতিশীল রকেটের দৈর্ঘ্য = L

রকেটের বেগ, $v = 2.5 \times 10^8$ ms^{-1}

রকেটের নিশ্চল দৈর্ঘ্য, $L_0 = 80$ m

আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

(খ) আমরা জানি,

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\therefore \quad t_0 = t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$= 50 \sqrt{1 - \frac{(2.5 \times 10^8)^2}{(3 \times 10^8)^2}}$$

$$= 27.64 \text{ y}$$

এখানে,

পৃথিবী থেকে নির্ণীত সময় ব্যবধান, $t = 50$ y

রকেটের দ্রুতি, $v = 2.5 \times 10^8$ ms^{-1}

আলোর দ্রুতি, $c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

রকেটে নভোচারীর বয়স বৃদ্ধি, t_0 = ?

গ্রহ অনুসন্ধান শেষে পৃথিবীতে নভোচারীর বয়স, $t_0 = (30 + 27.64)$ y $= 57.64$ y

পৃথিবীর হিসাব অনুযায়ী বয়স $t = (30 + 50)$ y $= 80$ y

যেহেতু $t_0 \neq t$, সেহেতু আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে বয়স এবং পৃথিবীর ক্যালেন্ডার অনুযায়ী বয়স একই হবে না।

১০। একটি তড়িৎ ক্ষরণ নলে X-ray উৎপাদনের জন্য 12·4 kV এবং আরেকবার 24·8 kV বিভব পার্থক্য সরবরাহ করা হলো। এই যন্ত্রে ইলেকট্রনের গতিশক্তির 0·3% X-ray উৎপাদন করে।

(ক) ১ম ক্ষেত্রে ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ বেগ নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকে উৎপাদিত দুই ধরনের X-ray এর ক্ষেত্রে কোনটির ভেদনযোগ্যতা বেশি হবে ? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে দেখাও। [কু. বো. ২০১৭]

(ক) আমরা জানি, ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ বেগ v_{max},

$$\frac{1}{2}mv^2_{max} = eV_0$$

বা, $$v_{max} = \sqrt{\frac{2eV_0}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 12{\cdot}4 \times 10^3}{9{\cdot}11 \times 10^{-31}}}$$

$$= 6{\cdot}6 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$$

এখানে,
১ম ক্ষেত্র
বিভব পার্থক্য, V_0 = 12·4 kV
= 12·4 × 10^3 V
ইলেকট্রনের ভর, $m = 9{\cdot}11 \times 10^{-31}$ kg
ইলেকট্রনের চার্জ, $e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C

(খ) আমরা জানি,

২য় ক্ষেত্রে,

$$K'_{max} = eV_{01}$$
$$= 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 24{\cdot}8 \times 10^3$$
$$= 3{\cdot}968 \times 10^{-15} \text{ J}$$

এখানে,
২য় ক্ষেত্রে
বিভব পার্থক্য, V_{01} = 24·8 kV
= 24·8 × 10^3 V
ইলেকট্রনের ভর, $m = 9{\cdot}11 \times 10^{-31}$ kg
ইলেকট্রনের চার্জ, $e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C

১ম ক্ষেত্রে,

$$K_{max} = eV_0 = 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 12{\cdot}4 \times 10^3$$
$$= 1{\cdot}985 \times 10^{-15} \text{ J}$$

দেখা যাচ্ছে $K'_{max} > K_{max}$; অতএব ২য় ক্ষেত্রের X-ray এর ভেদনক্ষমতা বেশি হবে।

১১। ভূপৃষ্ঠে একটি রকেটের দৈর্ঘ্য 10 m এবং ভর 5000 kg। এটি ভূপৃষ্ঠের কোনো স্থির পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে 3×10^7 ms^{-1} বেগে চলতে শুরু করল।

(ক) উদ্দীপকের আলোকে রকেটের চলমান দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের রকেটের বেগ দ্বিগুণ করা হলে এর ভরের কীরূপ পরিবর্তন হবে—গাণিতিক বিশ্লেষণসহ ব্যাখ্যা কর। [ম. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); ঢা. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); দি. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি,

$$L = L_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\therefore L = 10 \times \sqrt{1 - \left(\frac{3 \times 10^7}{3 \times 10^8}\right)^2}$$

$$= 10 \times \sqrt{1 - 0{\cdot}01} = 10 \times 0{\cdot}995$$
$$= 9{\cdot}95 \text{ m}$$

এখানে,
রকেটের স্থির দৈর্ঘ্য, L_0 = 10 m
রকেটের বেগ, v = 3×10^7 ms^{-1}
আলোর বেগ, c = 3×10^8 ms^{-1}
রকেটের চলমান দৈর্ঘ্য, L = ?

(খ) আমরা জানি,

$$m_1 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$= \frac{5000}{\sqrt{1 - \left(\frac{3 \times 10^7}{3 \times 10^8}\right)^2}} = \frac{5000}{0{\cdot}995}$$

$$\simeq 5025 \text{ kg}$$

এখানে,
রকেটের স্থির ভর, m_0 = 5000 kg
প্রথম ক্ষেত্রে রকেটের বেগ,
$v = 3 \times 10^7$ ms^{-1}
এক্ষেত্রে চলমান ভর, m_1 = ?

এখন,

$$m_2 = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{5000}{\sqrt{1-\left(\frac{6\times10^7}{3\times10^8}\right)^2}}$$

$$= \frac{5000}{0.9798} \simeq 5103 \text{ kg}$$

এখানে,
দ্বিতীয় ক্ষেত্রে রকেটের বেগ,
$v_2 = 2v_1 = 2\times3\times10^7 \text{ ms}^{-1}$
$= 6\times10^7 \text{ ms}^{-1}$
দ্বিতীয় ক্ষেত্রে ভর, $m_2 = ?$

গাণিতিক বিশ্লেষণ থেকে দেখা যায় যে রকেটের বেগ দ্বিগুণ করলে রকেটের ভর (5103 — 5025) kg = 78 kg বৃদ্ধি পায়।

১২। একটি ফুটবল খেলার মাঠের দৈর্ঘ্য 400m এবং প্রস্থ 200m। একজন নভোচারী 0.86c বেগে 1000 kg ভরের একটি নভোযানে চড়ে মাঠটির দৈর্ঘ্য বরাবর অতিক্রম করল।

(ক) নভোযানটির আপাত ভর নির্ণয় কর।

(খ) "নভোচারী কর্তৃক নির্ণয়কৃত মাঠটির ক্ষেত্রফল প্রকৃত ক্ষেত্রফলের সমান নয়।" গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে যাচাই কর। [দি. বো. ২০২১]

(ক) আমরা জানি,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

এখানে,
$m_0 = 1000\text{kg}$
$v = 0.86c$

$$\therefore \quad m = \frac{1000}{\sqrt{1-\left(\frac{0.86c}{c}\right)^2}} = \frac{1000}{\sqrt{1-(0.86)^2}}$$

$$= \frac{1000}{0.51} = 1960.8 \text{ kg}$$

(খ) ফুটবল খেলার মাঠের ক্ষেত্রফল $= 400\times200 = 8\times10^4 \text{ m}^2$

যেহেতু নভোযানটি দৈর্ঘ্য বরাবর গতিশীল সুতরাং দৈর্ঘ্যের মান পরিবর্তন হবে।

আমরা জানি,

$$L = L_0\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

এখানে,
$L_0 = 400\text{m}$
$v = 0.86c$

$$\therefore \quad L = 400\times\sqrt{1-\left(\frac{0.86c}{c}\right)^2}$$

$$= 400\times0.51 = 204\text{m}$$

সুতরাং, নভোচারী কর্তৃক নির্ণিত ক্ষেত্রফল $= 204\times200 = 4.08\times10^4 \text{ m}^2$

অর্থাৎ নির্ণয়কৃত ক্ষেত্রফল প্রকৃত ক্ষেত্রফলের সমান নয়—উক্তিটি সঠিক।

১৩। 50 বছর বয়সে একজন মহাশূন্যচারী মহাকাশযানে চড়ে মহাকাশ অভিযানে গেলেন এবং 30 বছর পর পৃথিবীতে ফিরে এলেন। মহাকাশযানের ভর = 720 kg, মহাশূন্যযানের বেগ = $3.72\times10^5 \text{ ms}^{-1}$, আলোর গতি = $3\times10^8 \text{ ms}^{-1}$।

(ক) পৃথিবীতে মহাশূন্যচারীর বয়স নির্ণয় কর।

(খ) মহাশূন্যযানের মূল ভরের পরিবর্তন কীরূপ হবে? গাণিতিক ব্যাখ্যা দাও। [য. বো. ২০১৭]

(ক) আমরা জানি,

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

এখানে,
$t = 30$ বছর
$c = 3\times10^8 \text{ ms}^{-1}$
$v = 3.72\times10^5 \text{ ms}^{-1}$
$t_0 = ?$

বা, $t_0 = t\times\sqrt{1-v^2/c^2}$

$$= 30\times\sqrt{1-\left(\frac{3.72\times10^5}{3\times10^8}\right)^2}$$

$$= 30\times\sqrt{1-1.54\times10^{-6}}$$

$$= 30\times0.99999 = 29.999$$

মহাশূন্যচারীর বয়স $= 50 + 29.999 = 79.999 \text{ yr}$

(খ) $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ | $m_0 = 720$ kg

$\therefore \quad m = \frac{720}{\sqrt{1 - \left(\frac{3{\cdot}72 \times 10^5}{3 \times 10^8}\right)^2}}$

$= \frac{720}{0{\cdot}99999} = 720$

যেহেতু মহাশূন্যযানের বেগ আলোর বেগের চেয়ে খুবই কম সুতরাং মহাশূন্যযানের ভরের উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন হবে না।

১৪। একটি ইলেকট্রনের গতিশক্তি 100 eV।

(ক) ইলেকট্রনটির ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ?

(খ) কত বিভব পার্থক্যের মধ্য দিয়ে একটি ইলেকট্রনকে ত্বরান্বিত করা হলে ইলেকট্রনটির ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0·6 Å হবে? (দেওয়া আছে, $m_e = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg, $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js, $e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C)

(ক) ইলেকট্রনটির গতিশক্তি,

$E = \frac{1}{2} mv^2$

বা, $m^2v^2 = 2mE$

বা, $mv = \sqrt{2mE}$

এখানে,

$E = 100\ eV = 100 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ J

$m_e = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C

$\lambda' = 0{\cdot}6$ Å $= 0{\cdot}6 \times 10^{-10}$ m

ইলেকট্রনটির ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$

$= \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times 100 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}}$

$= 1{\cdot}23 \times 10^{-10}$ m $= 1{\cdot}23$ Å

(খ) আমরা জানি, $\lambda' = \frac{h}{mv}$

এবং $\frac{1}{2} mv^2 = eV$

$\therefore \quad mv = \sqrt{2meV}$

$\therefore \quad \lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$

বা, $\lambda^2 = \frac{h^2}{2meV}$ বা, $V = \frac{h^2}{\lambda^2 . 2me}$

বা, $V = \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 \times \frac{1}{2\,me}$

$\therefore \quad V = \left(\frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{0{\cdot}6 \times 10^{-10}}\right)^2 \times \frac{1}{2 \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}$

$= 419$ V

সুতরাং, ইলেকট্রনটিকে 419 V বিভব পার্থক্যের মধ্য দিয়ে ত্বরান্বিত করা হলে ইলেকট্রনের ডি ব্রগলি তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 0·6 Å হবে।

১৫। কোনো ধাতব পদার্থ হতে ইলেকট্রন নিঃসরণের জন্য এর ওপর 2500 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ফেলা হলো। ধাতুটির কার্য অপেক্ষক 2·3 eV। প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক $h = 6·63 \times 10^{-34}$ Js।

(ক) উদ্দীপকে নিঃসৃত ফটো ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিবেগ কত হবে বের কর।

(খ) উদ্দীপকে বর্ণিত ধাতুর ওপর 5897 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো পতিত হলে ইলেকট্রন মুক্ত হবে কী ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করে মতামত দাও। [ব বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); চ. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); কু. বো. ২০১৬ (মান ভিন্ন); য. বো. ২০১৬]

(ক) ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ বেগ v_{max} হলে,
আমরা জানি,

$$\frac{1}{2}mv^2_{max} = h\upsilon - W_0 = \frac{hc}{\lambda} - W_0$$

$$= \frac{6·63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2500 \times 10^{-10}} - 2·3 \times 1·6 \times 10^{-19}$$

$$= \frac{6·63 \times 3 \times 10^{-34} \times 10^8 \times 10^7}{2·5} - 2·3 \times 1·6 \times 10^{-19}$$

$$= 7·956 \times 10^{-19} - 3·68 \times 10^{-19}$$

$$= 4·276 \times 10^{-19} \text{ J}$$

এখানে,
কার্য অপেক্ষক, $W_0 = 2·3\ eV$
$= 2·3 \times 1·6 \times 10^{-19}$ J
তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 2500$ Å
$= 2500 \times 10^{-10}$ m
$h = 6·63 \times 10^{-34}$ Js
$c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}
$m_e = 9·1 \times 10^{-31}$ kg

$$\therefore \quad v_{max} = \sqrt{\frac{4·276 \times 2 \times 10^{-19}}{9·1 \times 10^{-31}}}$$

$$= 9·69 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$$

(খ) আবার,

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

$$\therefore \quad E = \frac{6·63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{5897 \times 10^{-10}}$$

$$= \frac{6·63 \times 3 \times 10^{-19}}{5·897} = 3·3729 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$= \frac{3·3729 \times 10^{-19}}{1·6 \times 10^{-19}}\ eV = 2·11\ eV$$

এখানে,
$\lambda = 5897$ Å $= 5897 \times 10^{-10}$ m
E = ?

$\therefore$ $E < W_0$, অর্থাৎ আপতিত আলোর শক্তি ধাতব পদার্থের কার্য অপেক্ষক অপেক্ষা কম বিধায় ধাতব পদার্থ হতে কোনো ইলেকট্রন নির্গত হবে না।

১৬। একটি ইলেকট্রন $6·5 \times 10^6$ ms^{-1} বেগে গতিশীল।

(ক) ইলেকট্রনটির সাথে জড়িত ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে ?

(খ) একটি কণা একটি ইলেকট্রনের 3 গুণ বেগে গতিশীল। কণাটির এবং ইলেকট্রনের ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অনুপাত $1·813 \times 10^{-4}$। কণাটির ভর নির্ণয় করে কণাটি শনাক্ত করা যাবে কী ?

(ক) আমরা জানি,

$$p = mv = 9·11 \times 10^{-31} \times 6·5 \times 10^6$$

$$= 5·9 \times 10^{-24} \text{ kgms}^{-1}$$

আবার, ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$\therefore \quad \lambda = \frac{6·63 \times 10^{-34}}{5·9 \times 10^{-24}} = 1·124 \times 10^{-10} \text{ m}$$

(খ) ধরা যাক, কণাটির ভর $= m$, কণাটি v বেগে গতিশীল হলে ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

$$\therefore \quad m = \frac{h}{\lambda v} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \text{(i)}$$

এবং ইলেকট্রনের ভর,

$$m_e = \frac{h}{\lambda_e v_e} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \text{(ii)}$$

প্রশ্নানুসারে, $\frac{v}{v_e} = 3$ এবং $\frac{\lambda}{\lambda_e} = 1{\cdot}813 \times 10^{-4}$

বা, $\frac{\lambda_e}{\lambda} = \frac{1}{3}$ বা, $\frac{\lambda_e}{\lambda} = \frac{1}{1{\cdot}813 \times 10^{-4}}$

সমীকরণ (i) কে সমীকরণ (ii) দ্বারা ভাগ করে পাই,

$$\frac{m}{m_e} = \frac{\lambda_e v_e}{\lambda v} = \left(\frac{\lambda_e}{\lambda}\right)\left(\frac{v_e}{v}\right)$$

$$\therefore \quad m = m_e\left(\frac{\lambda_e}{\lambda}\right)\left(\frac{v_e}{v}\right)$$

$$= \frac{9{\cdot}11 \times 10^{-31}}{1{\cdot}813 \times 10^{-4}} \times \frac{1}{3} = 1{\cdot}675 \times 10^{-27}\ \text{kg}$$

এই ভর নিউট্রনের ভর। সুতরাং কণাটি নিউট্রন।

১৭। একটি ধাতু থেকে আলোক তড়িৎ নিঃসরণের প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য 3800 Å। ওই ধাতুর ওপর 2600 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতি বেগুনি আলো ফেলা হলো।

(ক) ওই ধাতুর কার্য অপেক্ষক নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের ধাতুর কার্য অপেক্ষক যদি 4·4 eV হয় তবে ওই ধাতুর ওপর দৃশ্যমান আলো ফেলা হলে ফটো ইলেকট্রন নিঃসৃত হবে কী ? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে মতামত দাও।

(ক) আমরা জানি, ধাতুর কার্য অপেক্ষক,

$$W_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$$

$$\therefore \quad W_0 = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{3800 \times 10^{-10}}$$

$$= 5{\cdot}23 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

$$= \frac{5{\cdot}23 \times 10^{-19}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}} = 3{\cdot}27\ eV$$

এখানে,

প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$\lambda_0 = 3800\ \text{Å} = 3800 \times 10^{-10}\ \text{m}$

আপতিত বেগুনি আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$\lambda = 2600\ \text{Å} = 2600 \times 10^{-10}\ \text{m}$

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}\ \text{Js}$

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

$W_0 = 4{\cdot}4\ eV = 4{\cdot}4 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ \text{J}$

(খ) দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা 4000 Å থেকে 7500 Å।

এখন, উদ্দীপকের ধাতু কার্য অপেক্ষা 4·4 eV হলে এর সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$$\therefore \quad \lambda_0 = \frac{hc}{W_0} = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{4{\cdot}4 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}$$

$$= 2{\cdot}82 \times 10^{-7}\ \text{m} = 2820 \times 10^{-10}\ \text{m} = 2820\ \text{Å}$$

স্পষ্টত এই তরঙ্গদৈর্ঘ্য দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা অনেক কম। তাই এক্ষেত্রে আলোক তড়িৎ নিঃসরণ ঘটবে না।

১৮। অনন্যা সিজিয়াম ধাতুর পাতে 4.5×10^{-7} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো আপতিত করে ফটোতড়িৎ ক্রিয়ার পরীক্ষা পরিচালনা করছে। সে নিবৃত্তি বিভব পেলো 1.5V। পরবর্তীকালে 5.5×10^{-7} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সবুজ আলো ব্যবহার করে। [দেওয়া আছে, ইলেকট্রনের ভর = 9.1×10^{-31} kg]

(ক) উদ্দীপক অনুসারে ফটোইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিবেগ নির্ণয় কর।

(খ) সবুজ আলো ব্যবহার করায় ফটোতড়িৎ প্রবাহ ঘটবে কি না—গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে দেখাও।

[ঢা. বো. ২০২২]

(ক) আমরা জানি সর্বোচ্চ গতিবেগের ক্ষেত্রে,

$$\frac{1}{2}mv_{max}^2 = eV_0$$

বা, $v_{max}^2 = \frac{eV_0 \times 2}{m}$

$$= \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 1.5 \times 2}{9.1 \times 10^{-31}}$$

বা, $v_{max}^2 = 5.28 \times 10^{11}\ m^2s^2$

$\therefore v_{max} = \sqrt{5.28 \times 10^{11}\ m^2s^2}$

$= 7.26 \times 10^5\ ms^{-1}$

এখানে,

$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C

$V_0 = 1.5$ V

$m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

অতএব, ফটোইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিবেগ = $7.26 \times 10^5\ ms^{-1}$

(খ) আমরা জানি, আপতিত ফোটনের শক্তি,

$$E = h\frac{c}{\lambda} = 6.63 \times 10^{-34} \times \frac{3 \times 10^8}{4.5 \times 10^{-7}}$$

$= 4.42 \times 10^{-19}$ J

এখানে,

$c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$

$h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js

$\lambda = 5.5 \times 10^{-7}$ m

আবার কার্য অপেক্ষক,

$W = E - eV_0 = 4.42 \times 10^{-19} - (1.6 \times 10^{-19} \times 1.5)$

$= 2.02 \times 10^{-19}$ J

সবুজ বর্ণের ফোটনের শক্তি,

$$E_g = h\frac{c}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{5.5 \times 10^{-7}}$$

$= 3.61 \times 10^{-19}$ J

যেহেতু $E_g > W$, কাজেই সবুজ আলো ব্যবহার করলে ফটোতড়িৎ প্রবাহ ঘটবে।

১৯। দুটি ইলেকট্রন যথাক্রমে $0.866\ c$ এবং $0.99\ c$ বেগে গতিশীল। ইলেকট্রনের নিশ্চল ভর 9.1×10^{-31} kg।

(ক) প্রথম ইলেকট্রনের গতিশীল ভর নির্ণয় কর।

(খ) প্রথম ইলেকট্রনের আপেক্ষিকতার গতিশক্তি দ্বিতীয় ইলেকট্রনের চেয়ে কম—গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে প্রমাণ কর।

[চ. বো. ২০১৭]

(ক) ধরা যাক, প্রথম ইলেকট্রনের গতিশীল ভর = m_1

আমরা জানি,

$$m_1 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\therefore m_1 = \frac{9.1 \times 10^{-31}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.866\ c}{c}\right)^2}} = \frac{9.1 \times 10^{-31}}{0.5}$$

$= 18.2 \times 10^{-31}$ kg

সুতরাং নির্ণেয় গতিশীল ভর 18.2×10^{-31} kg

এখানে,

$v_1 = 0.866\ c$

$v_2 = 0.99\ c$

$m_0 = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

$m_1 = ?$

(খ) ধরা যাক,
প্রথম ইলেকট্রনের আপেক্ষিকতার গতিশক্তি E_1 এবং
দ্বিতীয় ইলেকট্রনের আপেক্ষিকতার গতিশক্তি E_2।
আমরা জানি,

$$E_1 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v_1^2}{c^2}}} \times v_1^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 18{\cdot}2 \times 10^{-31} \times (0{\cdot}866\, c)^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 18{\cdot}2 \times 10^{-31} \times (0{\cdot}866 \times 3 \times 10^8)^2$$

$$= 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times 6{\cdot}7496 \times 10^{16}$$

$$= 61{\cdot}4 \times 10^{-15}\ \text{J}$$

এবং $E_2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v_2^2}{c^2}}} \times (0{\cdot}99\, c)^2$

$$= \frac{1}{2} \frac{9{\cdot}1 \times 10^{-31}}{\sqrt{1-\left(\frac{0{\cdot}99\, c}{c}\right)^2}} \times (0{\cdot}99 \times 3 \times 10^8)^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 64{\cdot}5 \times 8{\cdot}82 \times 10^{-15}$$

$$= 284{\cdot}4 \times 10^{-15}\ \text{J}$$

$\therefore$ $E_2 > E_1$, অর্থাৎ প্রথম ইলেকট্রনের আপেক্ষিকতার গতিশক্তি দ্বিতীয় ইলেকট্রনের আপেক্ষিকতার গতিশক্তির চেয়ে কম।

২০। ইলেকট্রনের সাথে সংঘর্ষের ফলে 4400 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আপতিত ফোটন 60° কোণে বিক্ষিপ্ত হয়ে একটি ধাতব পৃষ্ঠকে আঘাত করে। ধাতব পৃষ্ঠের কার্য অপেক্ষক 2·5 eV।

[$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js, $c = 3 \times 10^8$ ms^{-1} $m_0 = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg]

(ক) আপতিত ফোটনের শক্তি কত?

(খ) ফটো ইলেক্ট্রন ও বিক্ষিপ্ত ফোটনের মধ্যে কোনটির গতিশক্তি বেশি হবে—যাচাই কর। [ঢা. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি, ফোটনের শক্তি,

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

$$\therefore\ E = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{4400 \times 10^{-10}}$$

$$= \frac{6{\cdot}63 \times 3 \times 10^{-16}}{4400} = 4{\cdot}52 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

এখানে,
$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js
$c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}
$\lambda = 4400$ Å $= 4400 \times 10^{-10}$ m

(খ) আবার, $\lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\theta)$

$$\therefore\ \lambda = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^8}(1 - \cos 60^\circ) + \lambda_0$$

$$= 2{\cdot}43 \times 10^{-12} \times 0{\cdot}5 + 4400 \times 10^{-10}$$

$$= 0{\cdot}012 \times 10^{-10} + 4400 \times 10^{-10}$$

$$= 4400{\cdot}012 \times 10^{-10} = 4400{\cdot}012\ \text{Å}$$

এখানে,
$\theta = 60^\circ$
$\lambda_0 = 4400$ Å $= 4400 \times 10^{-10}$ m
$m_0 = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg
$c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}
$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

এখন ফটোইলেকট্রনের গতিশক্তি,

$$E = h\upsilon - W_0 = \frac{hc}{\lambda} - W_0$$

$$= \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{4400 \times 10^{-10}} - 2{\cdot}5 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$$

$$= 4{\cdot}52 \times 10^{-19} - 4 \times 10^{-19}$$

$$= 0{\cdot}52 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

আবার, বিক্ষিপ্ত ফোটনের গতিশক্তি,

$$E = h\upsilon = h\frac{c}{\lambda} = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{4400{\cdot}012 \times 10^{-10}}$$

$$= 4{\cdot}520 \times 10^{-3} \times 10^{-2} \times 10^{10}$$

$$= 4{\cdot}52 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

অর্থাৎ, বিক্ষিপ্ত ফোটনের গতিশক্তি বেশি।

২১। ফটো তড়িৎ প্রক্রিয়া পর্যবেক্ষণের জন্য মিথিলা পটাসিয়াম ধাতুর ওপর উপযুক্ত কম্পাঙ্কের একটি আলো আপতিত করল। পটাসিয়াম পৃষ্ঠ হতে যে ইলেকট্রন নির্গত হলো তার গতিশক্তি 1·4 eV। পটাসিয়ামের কার্যাপেক্ষক হলো 2·0 eV। নাবিলা 10 kV বিভব পার্থক্যের একটি ইলেকট্রনকে গতিশীল করল।

(ক) উদ্দীপকের পটাসিয়ামের ওপর আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ছিল ?

(খ) উদ্দীপকের উভয় ইলেকট্রনের গতিবেগ একই ছিল কী ? —গাণিতিক বিশ্লেষণ এবং তোমার মতামত দাও।

[ব. বো. ২০১৬]

এখানে,

$W = 2{\cdot}5\ eV = 2{\cdot}5 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ J$

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}\ Js$

(ক) আমরা জানি,

$K_{max} = h\upsilon - W_0$

$\therefore\ h\upsilon = K_{max} + W_0$

বা, $h\frac{c}{\lambda} = = 1{\cdot}4 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} + 2 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$

$\frac{hc}{\lambda} = 5{\cdot}44 \times 10^{-19}$

$\therefore\ \lambda = \frac{hc}{5{\cdot}44 \times 10^{-19}} = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{5{\cdot}44 \times 10^{-19}}$

$= 3{\cdot}656 \times 10^{-7}\ \text{m}$

এখানে,

উদ্দীপক থেকে পাই,

$K_{max} = 1{\cdot}4\ eV = 1{\cdot}4 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ J$

কার্য অপেক্ষক, $W_0 = 2{\cdot}0\ eV$

$= 2 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ J$

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}\ Js$

$c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$

$\lambda = ?$

(খ) মিথিলার ইলেকট্রনের গতিশক্তি, $K_{max} = 1{\cdot}4\ eV = 1{\cdot}4 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ J$

নাবিলার ইলেকট্রনের বিভব পার্থক্য, $V_0 = 10\ kV = 10 \times 10^3\ V$

মিথিলার ইলেকট্রনের গতিবেগ v_m এবং নাবিলার ইলেকট্রনের গতিবেগ v_n হলে এবং ইলেকট্রনের ভর, $m = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg, ইলেকট্রনের চার্জ, $e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ coul

$\therefore\ K_{max} = \frac{1}{2} m v_m^2$

$$v_m = \sqrt{\frac{2K_{max}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1{\cdot}4 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}{9{\cdot}1 \times 10^{-31}}}$$

$$= 0{\cdot}702 \times 10^6\ ms^{-1}$$

নাবিলার ক্ষেত্রে,

$$K_{max} = \frac{1}{2} m v_n^2 = eV_0$$

$$v_n = \sqrt{\frac{2eV_0}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 10 \times 10^3}{9{\cdot}1 \times 10^{-31}}}$$

$$= 59{\cdot}3 \times 10^6\ ms^{-1}$$

অতএব উদ্দীপকের উভয় ইলেকট্রনের গতিবেগ একই ছিল না, $v_n > v_m$

২২। কোনো পরমাণুর দুটি ইলেকট্রনের বেগ যথাক্রমে 0·90c এবং 0·99c। এখানে c হলো আলোর বেগ এবং ইলেকট্রনের স্থির ভর $9·1 \times 10^{-31}$ kg।

(ক) দ্বিতীয় ইলেকট্রনটির গতিশীল ভর নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের কোন ইলেকট্রনের আপেক্ষিক গতিশক্তি বেশি হবে? গাণিতিকভাবে যাচাইপূর্বক মন্তব্য কর।

[ব. বো. ২০১৯]

(ক) ২য় ইলেকট্রনটির বেগ, $v_2 = 0·99c$

আমরা জানি, গতিশীল ভর,

$$m_2 = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v_2^2}{c^2}}}$$

$$\therefore \quad m_2 = \frac{9·1 \times 10^{-31}}{\sqrt{1-\left(\frac{0·99c}{c}\right)^2}}$$

$$= \frac{9·1 \times 10^{-31}}{0·141} = 64·54 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

এখানে,

$m_0 = 9·1 \times 10^{-31}$ kg
$v_1 = 0·90c$
$v_2 = 0·99c$
$c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

(খ) প্রথম ইলেকট্রনের গতিশীল ভর,

$$m_1 = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v_1^2}{c^2}}} = \frac{9·1 \times 10^{-31}}{\sqrt{1-\left(\frac{0·9c}{c}\right)^2}}$$

$$= \frac{9·1 \times 10^{-31}}{0·436}$$

$$= 20·87 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

এখন, ১ম ইলেকট্রনের আপেক্ষিক গতিশক্তি,

$$E_1 = (m_1 - m_0)c^2 = (20·87 - 9·1) \times 10^{-31} \times (3 \times 10^8)^2$$

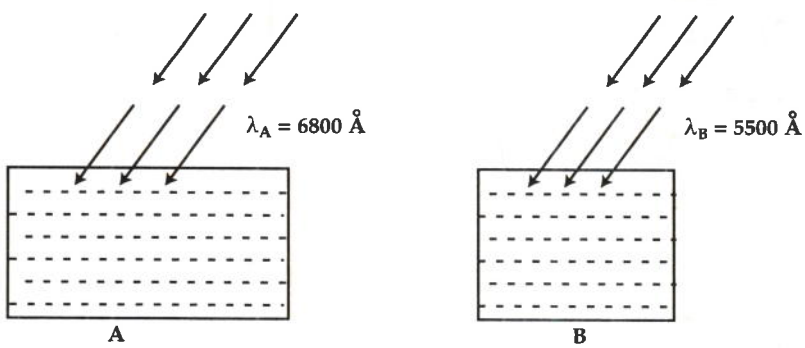
$$= 11·77 \times 9 \times 10^{-31} \times 10^{16} = 105·9 \times 10^{-15} \text{ J}$$

এবং $E_2 = (m_2 - m_0)c^2 = (64·54 - 9·1) \times 10^{-31} \times 9 \times 10^{16}$

$$= 498·96 \times 10^{-15} \text{ J}$$

সুতরাং, $E_2 > E_1$ অর্থাৎ ২য় ইলেকট্রনের আপেক্ষিক গতিশক্তি ১ম ইলেকট্রনের আপেক্ষিক গতিশক্তির চেয়ে বেশি।

২৩।



চিত্রে A ও B দুটি ধাতব পাত। পাত দুটির কার্য অপেক্ষক W_A এবং W_B যথাক্রমে 2·1 eV এবং 2·0 eV। আলোক উৎস থেকে যথাক্রমে 6800 Å এবং 5500 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকরশ্মি আপতিত হয়।

(ক) B ধাতব পাতের সূচন কম্পাঙ্ক কত ?

(খ) উদ্দীপকে A ও B উভয় পাতে ফটোতড়িৎ ক্রিয়া সংঘটিত হবে কি না—গাণিতিকভাবে মতামত দাও। [রা. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); য. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি,

$W = h\upsilon_0$, এখানে υ_0 সূচন কম্পাঙ্ক

সুতরাং B পাতের সূচন কম্পাঙ্ক,

$W_B = h\upsilon_{0B}$

বা, $\upsilon_{0B} = \frac{W_B}{h} = \frac{2\cdot0 \times 1\cdot6 \times 10^{-19}}{6\cdot63 \times 10^{-34}}$

$= 4\cdot83 \times 10^{14}$ Hz

এখানে,

$W_A = 2\cdot1\ eV = 2\cdot1 \times 1\cdot6 \times 10^{-19}$ J

$W_B = 2\cdot0\ eV = 2\cdot0 \times 1\cdot6 \times 10^{-19}$ J

$\lambda_A = 6800\ \text{Å} = 6800 \times 10^{-10}$ m

$\lambda_B = 5500\ \text{Å} = 5500 \times 10^{-10}$ m

$h = 6\cdot63 \times 10^{-34}$ Js

$c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

(খ) A পাতের কার্যঅপেক্ষক, W_A। অতএব, প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$\lambda_A = \frac{hc}{W_A}$

$\therefore \lambda_A = \frac{6\cdot63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2\cdot1 \times 1\cdot6 \times 10^{-19}}$

$= 5\cdot92 \times 10^{-7}$ m $= 5920$ Å

এখানে, আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6800 Å যা প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা বেশি। তাই, এক্ষেত্রে ফটো তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন করবে না।

B পাতের ক্ষেত্রে প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$\lambda_B = \frac{hc}{W_B} = \frac{6\cdot63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2\cdot0 \times 1\cdot6 \times 10^{-19}}$

$= 6\cdot216 \times 10^{-7}$ m $= 6216$ Å

এক্ষেত্রে আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda_B = 5500$ Å যা প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা কম, তাই আপতিত আলো তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন করবে।

২৪। তোমার বন্ধু একটি অতি দ্রুত গতিসম্পন্ন কাল্পনিক গাড়িতে $0\cdot76c$ গতিতে তোমার পাশ দিয়ে চলে গেল। গাড়িটি $5\cdot80$ m লম্বা বলে তোমার কাছে মনে হলো।

(ক) স্থির অবস্থায় গাড়িটির দৈর্ঘ্য কত হবে ?

(খ) তোমার ঘড়িতে 20 sec সময় অতিবাহিত হলে তোমার বন্ধুর ঘড়িতে অতিবাহিত সময় বেশি না কম হবে? গাণিতিকভাবে যাচাই কর। [চ. বো. ২০১৯]

(ক) L গতিশীল অবস্থায় বস্তুর দৈর্ঘ্য এবং L_0 স্থির অবস্থায় বস্তুটির দৈর্ঘ্য।

আমরা জানি,

$L = L_0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

এখানে,

$L = 5\cdot80$ m

$v = 0\cdot76$ c

বা, $L_0 = \frac{L}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{5\cdot80}{\sqrt{1 - \left(\frac{0\cdot76c}{c}\right)^2}}$

$= \frac{5\cdot80}{\sqrt{1 - (0\cdot76)^2}} = \frac{5\cdot80}{0\cdot65} = 8\cdot92$ m

(খ) আবার, আমরা জানি,

$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$

এখানে,

$t = 20$ s

$t_0 = ?$

বা, $t_0 = t\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 20 \times \sqrt{1 - \left(\frac{0\cdot76\ c}{c}\right)^2} = 20 \times 0\cdot65 = 13$ sec

অতএব, বন্ধুর ঘড়িতে অতিবাহিত সময় কম হবে।

২৫। একজন মহাশূন্যচারী 25 বছর বয়সে $2{\cdot}4 \times 10^8\ ms^{-1}$ বেগে গতিশীল একটি মহাশূন্যযানে চড়ে মহাকাশ ভ্রমণে গিয়ে ফিরে এলেন। পৃথিবীর মানুষ তাকে দেখতে পেলেন 75 বছর বয়সের একজন বৃদ্ধ হিসেবে।

(ক) মহাশূন্যচারীর বয়স নির্ণয় কর।

(খ) মহাশূন্যচারী তার 50তম জন্মদিন পৃথিবীতে করতে চাইলে তাকে কত বেগে গতিশীল হতে হবে?

[সি. বো. ২০২১]

(ক) আমরা জানি,

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{25}{\sqrt{1-\left(\frac{2{\cdot}4}{3}\right)^2}}$$

$$= \frac{25}{\sqrt{1-0{\cdot}64}} = \frac{25}{\sqrt{0{\cdot}36}} = \frac{25}{0{\cdot}6} = 41{\cdot}67 \text{ বছর}$$

এখানে,

$t_0 = 25$ বছর

$v = 2{\cdot}4 \times 10^8\ ms^{-1}$

$c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$

যেহেতু মহাশূন্যচারী 25 বছর বয়সে অভিযান শুরু করে 41·67 বছর মহাশূন্যে অবস্থান করেছে। সুতরাং তাঁর বর্তমান বয়স = 25 + 41·67 = 66·67 বছর।

(খ) ধরা যাক, নির্ণেয় বেগ = $v\ ms^{-1}$

প্রশ্নানুসারে, $t = 50$ বছর এবং $t_0 = 25$ বছর $= 25 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60\ s$

আমরা জানি, $t = \frac{t_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$

$$50 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 = \frac{25 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

বা, $50 \times \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = 25$

বা, $50 \times 50 \times \left(1-\frac{v^2}{c^2}\right) = 25 \times 25 = 625$

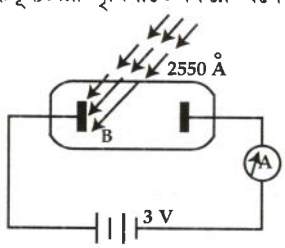
$$2500 \times \frac{v^2}{c^2} = 2500 - 625$$

বা, $v^2 = \frac{1875 \times 9 \times 10^{16}}{2500}$

$\therefore\ v = \sqrt{\frac{1875 \times 9}{2500} \times 10^{16}} = 2{\cdot}6 \times 10^8\ ms^{-1}$

অর্থাৎ, $2{\cdot}6 \times 10^8\ ms^{-1}$ বেগে চললে মহাশূন্যচারী পৃথিবীতে ফিরে এসে 50তম জন্মদিন পালন করতে পারবেন।

২৬। উদ্দীপকটি লক্ষ কর :



B পাতের কার্য অপেক্ষক 2·2 eV

(ক) B পাতের সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপক অনুযায়ী 3 V বিভব প্রয়োগে ফটোকারেন্ট পাওয়া যাবে কি না—গাণিতিকভাবে যাচাই কর।

[ঢা. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, কার্য অপেক্ষক,

$W_0 = h\upsilon_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$

বা, $\lambda_0 = \frac{hc}{W_0}$

$\therefore\ \lambda_0 = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2{\cdot}2 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}$

$= 5{\cdot}650 \times 10^{-7}\ m = 5650 Å$

এখানে,

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}\ Js$

$c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$

$W_0 = 2{\cdot}2\ eV = 2{\cdot}2 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ J$

(খ) এখানে, $\lambda_{min} = 2550\text{Å} = 2550 \times 10^{-10}$ m

আমরা জানি,

$$\text{K.E} = h\upsilon - W_0 = \frac{hc}{\lambda_{min}} - W_0$$

$$eV = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2550 \times 10^{-10}} - 2{\cdot}2 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$$

$$= 7{\cdot}8 \times 10^{-19} - 3{\cdot}52 \times 10^{-19}$$

$$= 4{\cdot}28 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\therefore \quad V = \frac{4{\cdot}28 \times 10^{-19}}{e}$$

$$= \frac{4{\cdot}28 \times 10^{-19}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}} = 2{\cdot}675 \text{ volt}$$

এখানে, $V = 2{\cdot}675 \text{ volt} < 3 \text{ volt}$

সুতরাং, 3V প্রয়োগে ফটোকারেন্ট পাওয়া যাবে।

২৭। আলোক তড়িৎ ক্রিয়া পরীক্ষায় সোডিয়াম ধাতব পাতের ওপর $0{\cdot}714 \times 10^{15}$ Hz কম্পাঙ্কের আলো আপতিত করলে নিবৃত্তি বিভব 0·65 V হয়। আবার $3{\cdot}1 \times 10^2$ nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ফেললে নিবৃত্তি বিভব 1·69 V হয়।

(ক) পরীক্ষণে প্রাপ্ত উপাত্ত হতে সূচন কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।

(খ) উভয় ক্ষেত্রে ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ বেগ সমান নয়—গাণিতিক ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০২৩]

(ক) ধরা যাক সূচন কম্পাঙ্ক υ_0, আমরা জানি,

$$eV_0 = h(\upsilon - \upsilon_0)$$

বা, $\upsilon - \upsilon_0 = \frac{eV_0}{h}$

বা, $\upsilon_0 = \upsilon - \frac{eV_0}{h}$

এখানে,

$\upsilon = 0{\cdot}714 \times 10^{15}$ Hz
$V_0 = 0{\cdot}65$ V
$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C
$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

$$\therefore \quad \upsilon_0 = 0{\cdot}714 \times 10^{15} - \frac{1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 0{\cdot}65}{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}$$

$$= 0{\cdot}714 \times 10^{15} - 0{\cdot}159 \times 10^{15}$$

$$= 0{\cdot}557 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

(খ) সর্বোচ্চ গতিশক্তি,

$$\frac{1}{2} mv^2_{max} = h(\upsilon - \upsilon_0)$$

বা, $v_{max} = \sqrt{\frac{2h(\upsilon - \upsilon_0)}{m}}$

এখানে,

$m = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$
$\upsilon = 0{\cdot}714 \times 10^{15}$ Hz
$\upsilon_0 = 0{\cdot}557 \times 10^{15}$
$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

সুতরাং, $v_{max} = \sqrt{\frac{2 \times 6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times (0{\cdot}714 - 0{\cdot}557) \times 10^{15}}{9{\cdot}1 \times 10^{-31}}}$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 6{\cdot}63 \times 0{\cdot}157 \times 10^{12}}{9{\cdot}1}}$$

$$= 4{\cdot}78 \times 105 \text{ ms}^{-1}$$

এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে সূচক কম্পাঙ্ক,

$$\upsilon_0' = \upsilon' - \frac{eV_0'}{h}$$

$$= 0{\cdot}9677 \times 10^{15} - \frac{1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 1{\cdot}69}{6{\cdot}63 \times 10^{-34}}$$

$$= 0{\cdot}9677 \times 10^{15} - 0{\cdot}4078 \times 10^{15}$$

$$= 0{\cdot}5598 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

এখানে,

$\lambda' = 3{\cdot}1 \times 10^2$ nm
$= 3{\cdot}1 \times 10^{-7}$ m

$\therefore \upsilon' = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{3{\cdot}1 \times 10^{-7}}$
$= 0{\cdot}9677 \times 10^{15}$ Hz

$V_0' = 1{\cdot}69$ V

সুতরাং, সর্বোচ্চ বেগ,

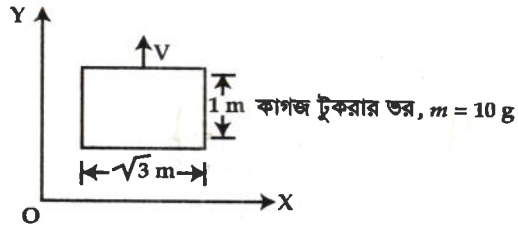
$$v'_{max} = \sqrt{\frac{2h(\upsilon - \upsilon_0)}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times (0{\cdot}9677 - 0{\cdot}559) \times 10^{15}}{9{\cdot}1 \times 10^{-31}}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 6{\cdot}63 \times 0{\cdot}4078 \times 10^{12}}{9{\cdot}1}} = 7{\cdot}71 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$$

সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে উভয় ক্ষেত্রে ইলেকট্রনের বেগ সমান নয়।

২৮।



একজন নভোচারী রকেটে করে $0{\cdot}1\,c$ বেগে পৃথিবী হতে মঙ্গল গ্রহের উদ্দেশ্যে Y-অক্ষ বরাবর রওয়ানা দেন। চিত্রে রকেটে রক্ষিত একটি আয়তাকার কাগজের টুকরোর গতি নির্দেশিত হয়েছে।

(ক) কাগজ টুকরাটির গতিশীল ভর নির্ণয় কর।

(খ) পৃথিবীতে অবস্থানরত একজন ব্যক্তির নিকট কাগজের টুকরোটির ক্ষেত্রফল কত হতে পারে? আপেক্ষিকতার আলোকে গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [রা. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, গতিশীল ভর,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\therefore \quad m = \frac{0{\cdot}01}{\sqrt{1 - (0{\cdot}1)^2}}$$

$$= \frac{0{\cdot}01}{\sqrt{0{\cdot}99}} = \frac{0{\cdot}01}{0{\cdot}995}$$

$$= 0{\cdot}01005 \text{ kg} = 10{\cdot}05 \text{ g}$$

সুতরাং, কাগজ টুকরাটির গতিশীল ভর হবে $10{\cdot}05$ g

এখানে,

$m_0 = 10 \text{ g} = 0{\cdot}01 \text{ kg}$

$v = 0{\cdot}1\,c$

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

(খ) রকেটটি Y-অক্ষ বরাবর গতিশীল।

আবার,

এখানে,

$l_0 = 1 \text{ m}$

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\therefore \quad l = 1 \times \sqrt{1 - (0{\cdot}1)^2}$$

$$= \sqrt{0{\cdot}99} = 0{\cdot}995 \text{ m}$$

টুকরাটির স্থির ক্ষেত্রফল, $A = l_0 \times b = 1 \times \sqrt{3} = \sqrt{3} \text{ m} = 1{\cdot}732 \text{ m}^2$

টুকরাটির গতিশীল ক্ষেত্রফল, $A' = l \times b = 0{\cdot}995 \times \sqrt{3} = 1{\cdot}723 \text{ m}^2$

[∵ রকেটটি Y অক্ষ বরাবর গতিশীল। সুতরাং, b-এর মান একই থাকবে।]

সুতরাং, পৃথিবীর অবস্থানরত ব্যক্তির নিকট কাগজের টুকরাটির ক্ষেত্রফল $1{\cdot}723 \text{ m}^2$

২৯। একটি ধাতুর ওপর 3000 Å এবং 4400 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট দুটি তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ আলাদাভাবে ফেলা হলো। ফলে দুটি ক্ষেত্রেই ধাতব পৃষ্ঠ হতে ইলেকট্রন নির্গত হলো। ধাতুটির সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5454 Å।

(ক) উদ্দীপকে ধাতুটির কার্যাপেক্ষক MeV এককে নির্ণয় কর।

(খ) ধাতুর ওপর আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পেলে নিবৃত্তি বিভব কমে—উদ্দীপকের আলোকে গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [কু. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, কার্যাপেক্ষক,

$$W_0 = h\upsilon_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$$

$$\therefore \quad W_0 = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{5454 \times 10^{-10}} = 3{\cdot}6489 \times 10^{-11}\ \text{J}$$

$$= \frac{3{\cdot}6489 \times 10^{-11}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}} = 2{\cdot}28 \times 10^8\ eV = 22{\cdot}8\ MeV$$

এখানে,

$h = 66{\cdot}3 \times 10^{-34}\ \text{Js}$

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

$\lambda_0 = 5454\ \text{Å} = 5454 \times 10^{-10}\ \text{m}$

(খ) নিবৃত্তি বিভব, V_0,

$$eV_0 = h(\upsilon - \upsilon_0) = h\left(\frac{c}{\lambda} - \frac{c}{\lambda_0}\right) = hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right)$$

3000Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য,

$$V_{0_1} = \frac{hc}{e}\left(\frac{1}{3000 \times 10^{-10}} - \frac{1}{5454 \times 10^{-10}}\right)$$

$$= \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}}\left(\frac{1}{3{\cdot}0 \times 10^{-7}} - \frac{1}{5{\cdot}454 \times 10^{-7}}\right)$$

$$= \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1{\cdot}6 \times 10^{-19} \times 10^{-7}} \times \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{5{\cdot}454}\right)$$

$$= \frac{6{\cdot}63 \times 3}{1{\cdot}6}\left(\frac{5{\cdot}454 - 3}{3 \times 5{\cdot}454}\right)$$

$$= \frac{6{\cdot}63 \times 3 \times 2{\cdot}454}{1{\cdot}6 \times 3 \times 5{\cdot}454} = 1{\cdot}864\ \text{volt}$$

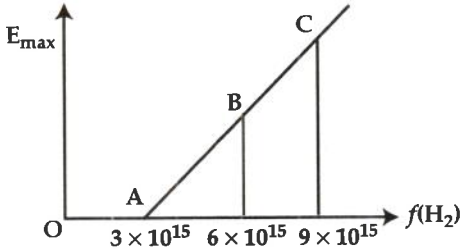
4400Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ক্ষেত্রে,

$$V_{0_2} = \frac{6{\cdot}63 \times 3}{1{\cdot}6} \times \left(\frac{1}{4{\cdot}4} - \frac{1}{5{\cdot}454}\right)$$

$$= \frac{6{\cdot}63 \times 3 \times 1{\cdot}054}{1{\cdot}6 \times 4{\cdot}4 \times 5{\cdot}454} = 0{\cdot}546\ \text{volt}$$

এখানে, $V_{0_1} > V_{0_2}$ অর্থাৎ ধাতুর ওপর আপতিত তরঙ্গদৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পেলে নিবৃত্তি বিভব কমে।

৩০।



চিত্রে ফটোতড়িৎ ক্রিয়ার ক্ষেত্রে ধাতব পাতের ওপর আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক বনাম ধাতব পাত থেকে নির্গত ইলেকট্রনের গতিশক্তি দেখানো হয়েছে।

(ক) উদ্দীপকের B বিন্দুতে সর্বোচ্চ গতিশক্তি নির্ণয় কর।

(খ) B ও C বিন্দুতে নিবৃত্তি বিভবের পার্থক্য গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [য. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, সর্বোচ্চ গতিশক্তি,

$$E_{max} = \frac{1}{2}mv_{max}^2 = h\upsilon - h\gamma_0 = h(\upsilon - \upsilon_0)$$

এখানে,

$\upsilon_0 = 3 \times 10^{15}$ Hz

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

B বিন্দুতে $\upsilon = 6 \times 10^{15}$ Hz

$\therefore \quad E_{max} = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}(6 \times 10^{15} - 3 \times 10^{15})$

$= 6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{15}$

$= 19{\cdot}89 \times 10^{-19}$ J

$= 1{\cdot}989 \times 10^{-18}$ J

(খ) B বিন্দুতে নিবৃত্তি বিভব V_{0_1}

$$eV_{0_1} = h(\upsilon_B - \upsilon_0)$$

$= 6{\cdot}63 \times 10^{-34}(6 \times 10^{15} - 3 \times 10^{15})$

বা, $V_{0_1} = \dfrac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{15}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}}$

$= \dfrac{19{\cdot}81}{1{\cdot}6} = 12{\cdot}43$ volt

এবং C বিন্দুতে নিবৃত্তি বিভব V_{0_2}

$$eV_{0_2} = h(\upsilon_C - \upsilon_0)$$

বা, $V_{0_2} = \dfrac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times (9 \times 10^{15} - 3 \times 10^{15})}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}}$

$= \dfrac{6{\cdot}63 \times 6 \times 10^{-19}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}} = 24{\cdot}86$ volt

সুতরাং, B ও C বিন্দুতে নিবৃত্তি বিভবের পার্থক্য $= 24{\cdot}86 - 12{\cdot}43 = 12{\cdot}43$ volt

৩১। একজন মহাশূন্যচারী 30 বছর বয়সে $1{\cdot}8 \times 10^8$ ms^{-1} বেগে গতিশীল মহাশূন্যযানে চড়ে ছায়াপথ অনুসন্ধানে গেলেন এবং পৃথিবীর হিসেবে 30 বছর পর ফিরে এলেন। ওই মহাশূন্যযানের দৈর্ঘ্য 120m এবং ভর 2200 kg ছিল।

(ক) উদ্দীপকে বর্ণিত মহাশূন্যচারী পৃথিবীতে ফিরে এলে তাঁর কাছে তার বয়স কত হবে?

(খ) উদ্দীপকের আলোকে গতিশীল অবস্থায় মহাশূন্যযানের দৈর্ঘ্য ও ভর স্থির অবস্থায় দৈর্ঘ্য ও ভরের পার্থক্য হবে কি? তোমার উত্তর গাণিতিক বিশ্লেষণে দাও। [চ. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি,

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

এখানে,

$v = 1{\cdot}8 \times 108$ ms^{-1}

$l = 30$ yr

বা, $t_0 = t \times \sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}$

$$= 30 \times \sqrt{1 - \left(\frac{1{\cdot}8 \times 10^8}{3 \times 10^8}\right)^2}$$

$= 30 \times \sqrt{1 - 0{\cdot}36} = 30 \times 0{\cdot}8 = 24$ yr

সুতরাং, মহাশূন্যচারীর নিকট তার বয়স হবে $= 30 + 24 = 54$ yrs

(খ) এখানে মহাশূন্যযানের দৈর্ঘ্য 120 m

আমরা জানি,

$$l = l0\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 120 \times 0{\cdot}8 = 96 \text{ m}$$

এবং মহাশূন্য যানের ভর, $m = 2200$ kg.

সুতরাং, $m = \dfrac{m_0}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}} = \dfrac{2200}{0.8} = 2750$ kg

সুতরাং, দৈর্ঘ্য 120 — 96 = 24 m কম হবে এবং ভর (2750 — 220) = 550 kg বৃদ্ধি হবে।

৩২। নাবিহা ফটোতড়িৎ ক্রিয়া পরীক্ষা করার জন্য 3 eV কার্যাপেক্ষকের একখণ্ড ধাতু নিল। ধাতুটিতে 280 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ফেলা হলো। সে তার বান্ধবী নিলাকে বলল, ধাতুটি থেকে 7.11×10^5 ms^{-1} বেগের ইলেকট্রন নির্গত হয়।

(ক) পরীক্ষণে ব্যবহৃত আলোর সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত?

(খ) নাবিহার উক্তির যথার্থতা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [ব. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, কার্য অপেক্ষক,

$W_0 = h\upsilon_0 = \dfrac{hc}{\lambda_0}$ বা, $\lambda_0 = \dfrac{hc}{W_0}$

$\therefore \lambda_0 = \dfrac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{3 \times 1.6 \times 10^{-19}}$

$= \dfrac{6.63 \times 3 \times 10^{-7}}{3 \times 1.6}$

$= 4.144 \times 10^{-7}$ m $= 4144$ Å

এখানে,

$W_0 = 3eV = 3 \times 1.6 \times 10^{-19}$ J

$h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js

$c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

(খ) $\dfrac{1}{2}mv^2 = h\upsilon - W_0$

বা, $\dfrac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} \times v^2$

$= \dfrac{6.63 \times 10^{-34} \times 10^{-8}}{280 \times 10^{-9}} - 3 \times 1.6 \times 10^{-19}$

$= \dfrac{6.63 \times 3 \times 10^{-17}}{280} - 4.8 \times 10^{-19}$

$= 7.10 \times 10^{-19} - 4.8 \times 10^{-19}$

$= 2.3 \times 10^{-19}$

বা, $v^2 = \dfrac{2 \times 2.3 \times 10^{-19}}{9.1 \times 10^{-31}} = \dfrac{2 \times 2.3 \times 10^{12}}{9.1}$

$= 50.55 \times 10^{10}$

বা, $v = \sqrt{50.55 \times 10^{10}}$

$= 7.11 \times 10^5$ ms^{-1}

এখানে,

$\lambda = 280$ nm $= 280 \times 10^{-9}$ m

$m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

সুতরাং নাবিহার উক্তি সঠিক।

৩৩। একটি কণা (P)-এর স্থির ভর 2×10^{-20} kg। কণাটি $0.91c$ বেগে গতিশীল। আর একটি কণা (Q) যার স্থির ভর 1.6×10^{-19} kg।

(ক) P কণাটির আপেক্ষিক তত্ত্বীয় গতিশক্তি নির্ণয় কর।

(খ) আপেক্ষিক তত্ত্বানুযায়ী P কণাটির ভর Q কণার স্থির ভরের সমান হওয়া সম্ভব —গাণিতিকভাবে যাচাই কর। [দি. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, P কণাটির গতিশীল ভর,

$m = \dfrac{m_0}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}} = \dfrac{2 \times 10^{-20}}{\sqrt{1-(0.91)^2}}$

$= \dfrac{2 \times 10^{-20}}{\sqrt{0.172}} = \dfrac{2}{0.4} \times 10^{-20}$

$= 5 \times 10^{-20}$ kg

এখানে, P কণার,

$m_0 = 2 \times 10^{-20}$ kg

$v = 0.91\,c$

∴ P কণাটির আপেক্ষিক তত্ত্বীয় গতিশক্তি,

$$E = (m - m_0)c^2 = (5 - 2) \times 10^{-20} \times 9 \times 10^{16}$$
$$= 3 \times 9 \times 10^{-4} = 2.7 \times 10^{-3} \text{ J}$$

(খ) আপেক্ষিক তত্ত্বানুযায়ী P কণাটির ভর,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$
$$= \frac{2 \times 10^{-20}}{\sqrt{1 - (0.91)^2}} = 5 \times 10^{-20}$$

কিন্তু Q কণাটির স্থির ভর 1.6×10^{-19} kg যা P কণাটির আপেক্ষিক তত্ত্বানুযায়ী ভর অপেক্ষা বেশি।

৩৪। একটি হাইড্রোজেন পরমাণুতে $13.4\ eV$ শক্তির আলো ফেলা হলো এবং সব শক্তি শোষিত হলো। উল্লেখ্য যে, হাইড্রোজেন পরমাণুতে ইলেকট্রনটি প্রথম শক্তিস্তরে অবস্থান করছিল।

(দেওয়া আছে, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js; $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ Nm^2C^{-2}; $E_1 = -13.6\ eV$)

(ক) আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য অ্যাংস্ট্রম এককে নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনটির চূড়ান্ত অবস্থান গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[ম. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, আপতিত আলোর শক্তি,

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

এখানে,
$E = 13.6\ eV$
$= 13.6 \times 1.6 \times 10^{-19}$ J

$$\therefore \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{13.6 \times 1.6 \times 10^{-13}}$$
$$= 0.914 \times 10^{-7} = 914 \times 10^{-10} \text{ m}$$
$$= 914 \text{Å} \quad [\because 1\text{Å} = 10^{-10} \text{ m}]$$

(খ) ইলেকট্রনটি প্রথম শক্তি স্তরে আবদ্ধ।

প্রথম শক্তি স্তরের শক্তি $-13.6\ eV$। হাইড্রোজেন পরমাণুতে ইলেকট্রন নির্গত করার জন্য $13.6\ eV$ শক্তির প্রয়োজন। কিন্তু এখানে আপতিত আলোর শক্তি $13.4\ eV$ যা প্রথম স্তরের ইলেকট্রনকে বিচ্যুত করার জন্য কম শক্তি সম্পন্ন।

সুতরাং ইলেকট্রনটি নিজের কক্ষপথে অবস্থান করবে।

৩৫। তোহা ও নূহা দুই বন্ধুর জন্ম 1955 সালে। তারা যে স্কুলের ছাত্রী ছিল সে স্কুল স্থাপিত হয় 1915 সালে। 25 বছর বয়সে নূহা 85m লম্বা মহাকাশযানে চড়ে $0.6c$ বেগে মহাকাশে যাত্রা শুরু করল এবং নূহার হিসাব মতে 30 বছর পরে ফিরে এল তার স্কুলের 100 বছর পূর্তি অনুষ্ঠানে যোগ দেওয়ার জন্য।

(ক) তোহার নিকট মহাকাশযানের দৈর্ঘ্য কত মনে হবে? হিসাব কর।

(খ) নূহা তার স্কুলের অনুষ্ঠানে যোগ দিতে পারবে কি না—গাণিতিক বিশ্লেষণসহ উত্তর দাও।

[কু. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা দৈর্ঘ্য সংকোচনের সূত্র থেকে জানি,

$$L = L_0 \sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}$$
$$= 85 \sqrt{1 - \left(\frac{0.6c}{c}\right)^2}$$
$$= 85\ (1 - 0.36)^{\frac{1}{2}} \text{m}$$
$$= 85\ (0.64)^{\frac{1}{2}} \text{m}$$
$$= 85 \times 0.8 \text{ m} = 68 \text{ m}$$

এখানে,
L_0 = স্থির অবস্থার দৈর্ঘ্য = 85 m
v = মহাকাশযানের বেগ = $0.6c$
c = আলোর বেগ = 3×10^8 ms^{-1}

∴ তোহার নিকট মহাকাশযানটি 68 m মনে হবে অর্থাৎ ছোট মনে হবে।

(খ) তোহা, নোহার জন্মের বছর স্কুলটির বয়স ছিল (1955 — 1915) = 40 বছর

তোহা-নোহার বয়স যখন 25 বছর তখন স্কুলটির বয়স 40 + 25 = 65 বছর

নোহা 0·6 c বেগে চলে তার নিকট 30 বছর পৃথিবী স্থির তোহার কাছে হবে,

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$= \frac{30}{\sqrt{1-(0{\cdot}6)^2}} = \frac{30}{\sqrt{0{\cdot}64}}$$

$$= \frac{30}{0{\cdot}8} = 37{\cdot}5 \text{ y}$$

তখন স্কুলের বয়স হবে = (65 + 37·5) = 102·5 y

সুতরাং নোহা স্কুলের 100 বছর পূর্তি উৎসবে যোগ দিতে পারবে না।

৩৬। মডার্ন ফিজিক্স ল্যাবরেটরিতে দেখা যায়, 3000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকরশ্মি $6{\cdot}56 \times 10^{14}$ Hz সূচন কম্পাঙ্কের একখণ্ড ধাতুর উপর আপতিত হলে ফটো ইলেকট্রন নির্গত হয়। [প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ J-S]

(ক) ফটো ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি নির্ণয় কর।

(খ) 4000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকরশ্মি ধাতবখণ্ডটির উপর আপতিত হলে কি ফটো ইলেকট্রন পাওয়া সম্ভব? গাণিতিক বিশ্লেষণ করে মতামত দাও। [য. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি, ফটোইলেকট্রিক ইফেক্টের ক্ষেত্রে ইলেকট্রিক সর্বোচ্চ গতিশক্তি,

$$K_{max} = h\upsilon - W_0$$

$$= h(\upsilon - \upsilon_0)$$

$$\therefore K_{max} = h(1 \times 10^{15} - 0{\cdot}656 \times 10^{15}) \text{ J}$$

$$= 6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 0{\cdot}344 \times 10^{15}$$

$$= 2{\cdot}28 \times 10^{-19} \text{ J}$$

এখানে,

$W_0 = h\upsilon_0$

দেওয়া আছে, সূচন কম্পাঙ্ক,

$\upsilon_0 = 6{\cdot}56 \times 10^{14}$ Hz

আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$\lambda = 3000 \text{ Å} = 3000 \times 10^{-10}$ m

$\upsilon = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{3000 \times 10^{-10} \text{ m}} = 1 \times 10^{15}$ Hz

n = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক $= 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

(খ) আমরা জানি,

$$\upsilon = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}{4000 \times 10^{-10} \text{ m}}$$

$$= 0{\cdot}75 \times 10^{15} \text{ Hz}$$

$$= 7{\cdot}5 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

এখানে,

তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 4000 \text{ Å}$

$= 4000 \times 10^{-10}$ m

পরীক্ষাধীন ধাতুর কার্য অপেক্ষক W_0 হলে,

$$W_0 = h\upsilon_0 = 6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 6{\cdot}56 \times 10^{14} \text{ J}$$

$$= 43{\cdot}493 \times 10^{-20} \text{ J}$$

ফোটনের শক্তি,

$$E = h\upsilon = 6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 7{\cdot}5 \times 10^{14} \text{ J}$$

$$= 49 \times 10^{-20} \text{ J}$$

যেহেতু ফোটনের শক্তি কার্যঅপেক্ষক W_0-এর তুলনায় বড় তাই 4000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকরশ্মি ধাতব খণ্ডটির উপর আপতিত হলে ফটোইলেকট্রন পাওয়া যাবে।

৩৭। কোন ধাতু থেকে ইলেকট্রন নিঃসরনের জন্য প্রয়োজনীয় তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সর্বোচ্চ মান 4400 Å। উক্ত ধাতুর উপর 1500 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতিবেগুনি রশ্মি এবং 500 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্মি ফেলা হলো। প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js।

(ক) ধাতুর কার্যাপেক্ষক নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের কোন আলোক রশ্মির জন্য নিঃসৃত ইলেকট্রনের বেগ বেশি হবে? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[চ. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি, কার্যাপেক্ষক,

$$\varphi = hf_0 = h\frac{c}{\lambda_{max}}$$

$$= 6.63 \times 10^{-34} \times \frac{3 \times 10^8}{4400 \times 10^{-10}}$$

$$= 4.52 \times 10^{-19} \text{ J}$$

এখানে,

$\lambda_{max} = 4400 \text{Å} = 4400 \times 10^{-10}$ m

প্লাঙ্কের ধ্রুবক,

$h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js

$c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

(খ) প্রথম ক্ষেত্রে (UV রশ্মি ফেলার সময়),

$$\frac{1}{2}mv_m^2 = hf - \varphi$$

বা, $$v_{m_1} = \sqrt{\frac{2}{m}(hf - \varphi)} = \sqrt{\frac{2}{m}\left(h\frac{c}{\lambda} - \varphi\right)}$$

$$V_{m_1} = \sqrt{\frac{2}{9.1 \times 10^{-31}}\left[\frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1500 \times 10^{-10}} - 4.52 \times 10^{-19}\right]}$$

$$= 1.38 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$$

এখানে,

$V_{m_1} = 1.38 \times 10^6$ ms^{-1}

ইলেকট্রনের ভর,

$m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

$\lambda = 1500$ Å

$= 1500 \times 10^{-10}$ m

$c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, (X-রশ্মি ফেলার সময়),

$$V_{m_2} = \sqrt{\frac{2}{m}(hf - \varphi)} = \sqrt{\frac{2}{m}\left(h \times \frac{c}{\lambda} - \varphi\right)}$$

$$= \sqrt{\frac{2}{9.1 \times 10^{-31}}\left[\frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{500 \times 10^{-10}} - 4.52 \times 10^{-19}\right]}$$

$$= 2.78 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$$

এখানে,

$\lambda = 500$ Å

$= 500 \times 10^{-10}$ m

$\because V_{m_2} > V_{m_1}$, কাজেই নিঃসৃত ইলেকট্রনের বেগ বেশি হবে।

৩৮। কোনো ধাতুর সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5100 Å। ধাতুটিকে 4600 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো দ্বারা আলোকিত করা হলো। এর ফলে নির্গত ফটোইলেকট্রন দ্বারা কোনো ধাতব লক্ষ্যবস্তুকে আঘাত করা হলো। এক্স রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা 5×10^{-8} m —— 5×10^{-15} m।

(ক) ধাতুটির কার্যাপেক্ষক eV এককে নির্ণয় কর।

(খ) নির্গত ফটোইলেকট্রনের সমস্ত শক্তি ব্যয়ে এক্স রশ্মি উৎপন্ন করা যাবে কি না—যাচাই কর।

[ব. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি, কার্যাপেক্ষক,

$$\varphi = hf_0 = h \times \frac{c}{\lambda_0}$$

$$= 6.634 \times 10^{-34} \times \frac{3 \times 10^8}{5100 \times 10^{-10}}$$

$$= 3.9 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{3.9 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} e\text{V}$$

$$= 2.43 \, e\text{V}$$

এখানে,

$h = 6.634 \times 10^{-34}$ Js

$c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

$\lambda_0 = 5100$ Å

$= 5100 \times 10^{-10}$ m

(খ) 'ক' হতে প্রাপ্ত কার্যাপেক্ষক, $\varphi = 3{\cdot}9 \times 10^{-19}$ J

আমরা জানি, আইনস্টাইনের ফেটোইলেকট্রিক সংক্রান্ত সমীকরণ,

$$hf = K_{max} + \varphi$$

বা, $k_{max} = hf - \varphi$

$$= \left(6{\cdot}634 \times 10^{-34} \times \frac{3 \times 10^8}{4600 \times 10^{-10}}\right) - (3{\cdot}9 \times 10^{-19})$$

$$= 4{\cdot}26 \times 10^{-20} \text{ J}$$

উদ্দীপক অনুসারে, এই K_{max}, ফটোইলেকট্রনের শক্তির সমান,

অর্থাৎ $K_{max} = E = h\upsilon$

$$\therefore \quad 4{\cdot}26 \times 10^{-20} = h\frac{c}{\lambda'} = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{\lambda'}$$

বা, $\lambda' = 4{\cdot}67 \times 10^{-6}$ m

এখানে,

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

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

$c = 3 \times 108$ ms^{-1}

$\lambda' = ?$

এই তরঙ্গদৈর্ঘ্য এক্সরশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমান না। তাই এক্সরশ্মি উৎপন্ন করা সম্ভব নয়।

৩৯। মেসন কণাসমূহের গড় আয়ু এবং স্থির ভর যথাক্রমে 3×10^{-6} seconds এবং $-1{\cdot}82 \times 10^{-28}$ kg। এরা পৃথিবীপৃষ্ঠ থেকে 4 km উপরে আপতিত হবার পর 0·98 C বেগে পৃথিবীর দিকে ধাবিত হয়। পৃথিবীপৃষ্ঠে এদের উপস্থিতি সনাক্ত করা হলো।

(খ) গতিশীল মেসনের ভর নির্ণয় কর।

(খ) পৃথিবী পৃষ্ঠে মেসন কণার উপস্থিতির কারণ আপেক্ষিক তত্ত্বের আলোকে গাণিতিক যুক্তিসহ ব্যাখ্যা কর।

[ব. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1{\cdot}8 \times 10^{-28}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0{\cdot}98\,c}{c}\right)^2}}$$

$$= \frac{1{\cdot}8 \times 10^{-28}}{\sqrt{1 - (0{\cdot}98)^2}} = 9{\cdot}1 \times 10^{-28} \text{ kg}$$

এখানে,

স্থির ভর, $M_0 = 1{\cdot}8 \times 10^{-28}$ kg

বেগ, $v = 0{\cdot}98\,c$

$\therefore \quad m = ?$

(খ) আমরা জানি,

$$S = vt$$

$$\therefore \quad t = \frac{S}{v} = \frac{4 \times 10^3}{0{\cdot}98 \times 3 \times 10^8}$$

$$= 13{\cdot}6 \times 10^{-6} \text{ s}$$

এখানে, উদ্দীপক অনুযায়ী গড় আয়ু $= 3 \times 10^{-6}$ s

গতিশীল কাঠামোর সময় $= t$

$S = 4$ km $= 4 \times 10^3$ m

$v = 0{\cdot}98\,c$

স্থির কাঠামোতে সময় t_0 হলে, আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে,

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

এখানে,

$c =$ আলোর বেগ

$$\therefore \quad t_0 = t\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

$$= 13{\cdot}6 \times 10^{-6}\sqrt{1 - \left(\frac{0{\cdot}98\,c}{c}\right)^2}$$

$$= 13{\cdot}6 \times 10^{-6}\sqrt{1 - (0{\cdot}98)^2} = 2{\cdot}71 \times 10^{-6} \text{ S}$$

যেহেতু মেসন কণাটির গড় আয়ু 3×10^{-6} S > মেসন কণার পতনের সময় $2{\cdot}71 \times 10^{-6}$ S। কাজেই পৃথিবী পৃষ্ঠে মেসন কণার উপস্থিতি লক্ষ্য করা যাবে।

৪০। 25 বছর বয়সের 50 kg ভরের একজন নভোচারী 100 m দৈর্ঘ্যের ও 1000 kg ভরের নভোযানে চড়ে $0.7c$ বেগে মহাশূন্যে ভ্রমণরত অবস্থায় দৈর্ঘ্য বরাবর $70 \times 50\ m^2$ আকারের একটি মাঠকে অতিক্রম করছেন। (আলোর বেগ $= 3 \times 10^8\ ms^{-1}$)

(ক) স্থির অবস্থা সাপেক্ষে নভোচারীর গতিশীল অবস্থায় ভর কত হবে?

(খ) নভোচারী কর্তৃক চলন্ত অবস্থায় মাঠের আকার বর্গাকার দেখার সম্ভাবনা আছে কি? গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে যাচাই কর।

[সি. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{50\ kg}{\sqrt{1-\left(\frac{0.7c}{c}\right)^2}}$$

$$= \frac{50\ kg}{\sqrt{1-0.45}} = 70.01\ kg \approx 70\ kg$$

এখানে,

নভোচারীর স্থির ভর,

$m_0 = 50\ kg$

নভোযানের গতি,

$v = 0.7c$

c = আলোর বেগ $= 3 \times 10^3\ ms^{-1}$

(খ) আমরা দৈর্ঘ্য সংকোচনের ক্ষেত্রে জানি,

$$L = L_0\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

বা, $50 = 70\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$

বা, $\frac{5}{7} = \sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}$

বা, $\frac{25}{49} = 1-\left(\frac{v}{c}\right)^2$

বা, $\left(\frac{v}{c}\right)^2 = 1-\left(\frac{5}{7}\right)^2$

$$\frac{v}{c} = \sqrt{1-\left(\frac{5}{7}\right)^2}$$

$$\therefore\ v = c\sqrt{1-\left(\frac{5}{7}\right)^2}$$

$$= 0.6998c \approx 0.7c$$

মনে করি মহাকাশযানটি v বেগে চলছে, মাঠের দৈর্ঘ্য, 70 m-এর স্থলে 50 m দেখাবে।

$\therefore$ $L = 50\ m$

$L_0 = 70\ m$

$v = ?$

c = আলোর বেগ

উদ্দীপক অনুসারে মাঠটিকে বর্গকার দেখাতে হলে v বেগে গতিশীল নভোচারীর নিকট মাঠটির দৈর্ঘ্য $L = 50\ m$ হতে হবে। সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে, মহাকাশযানটি $0.7c$ বেগে চললে মাঠটি বর্গকার দেখাবে।

৪১। একটি কাল্পনিক ট্রেনের ভর 500 টন এবং এটি $0.8\ c$ দ্রুতিতে একটি স্টেশনের প্লাটফর্ম অতিক্রম করল। প্লাটফর্মে দাঁড়ানো একজন যাত্রী চলমান ট্রেনের দৈর্ঘ্য মাপল 200 m যা প্লাটফর্মের দৈর্ঘ্যের সমান।

(ক) ট্রেনটির আপেক্ষিক গতিশক্তি নির্ণয় কর।

(খ) ট্রেনের কোনো যাত্রী প্লাটফর্মের দৈর্ঘ্য মাপলে দৈর্ঘ্যের কোনো পরিবর্তন পাবে কি না—গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে মতামত দাও।

[দি. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{500}{\sqrt{1-\left(\frac{0.8c}{c}\right)^2}}$$

$$= \frac{500}{\sqrt{1-(0.8)^2}} = 833.33 \text{ টন (Ton)}$$

$$= 833.33 \times 10^3\ kg$$

এখানে,

স্থির অবস্থার ভর,

$m_0 = 500$ টন $= 500$

ট্রেনের গতি, $v = 0.8\ c$

$= 0.8 \times 3 \times 10^8\ ms^{-1}$

চলমান ভর, $m = ?$

∴ ট্রেনটির আপেক্ষিক গতিশক্তি,

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 833{\cdot}33 \times 10^3 \times (0{\cdot}8 \times 3 \times 10^8)^2$$
$$= \frac{1}{2} \times 833{\cdot}33 \times 10^3 \times (0{\cdot}8 \times 0{\cdot}8 \times 9 \times 10^{16})\ J$$
$$= 2{\cdot}399 \times 10^{22}\ J$$

(খ) আমরা জানি,

$$L = L_0\sqrt{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}$$

$$\therefore\ L_0 = \frac{L}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{200}{\sqrt{1 - \left(\frac{0{\cdot}8\,c}{c}\right)^2}}$$
$$= 333{\cdot}33\ m$$

এখানে,
গতিশীল অবস্থায় ট্রেনের দৈর্ঘ্য,
$L = 200\ m$
= প্লাটফর্মের দৈর্ঘ্য
$v = 0{\cdot}8\,c$
$L_0 = ?$

দেখা যাচ্ছে যে, $L \neq L_0$, অর্থাৎ এক্ষেত্রে চলমান দৈর্ঘ্য এবং প্লাটফর্মের স্থির দৈর্ঘ্য সমান নয়। সুতরাং ট্রেনের কোনো যাত্রী প্লাটফর্মের দৈর্ঘ্য মাপলে তা চলমান ট্রেনের দৈর্ঘ্যের সাথে পরিবর্তন হবে। চলমান অবস্থার পরিমাপকৃত দৈর্ঘ্য প্রকৃত দৈর্ঘ্য অপেক্ষা কম হবে। অর্থাৎ প্লাটফর্মের দৈর্ঘ্য প্রকৃত দৈর্ঘ্য অপেক্ষা কম হবে।

৪২। পাটাশিয়ামের কার্য-অপেক্ষক হলো 2·0 eV। 3500Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতিবেগুনি আলো পটাশিয়াম ধাতুর উপর আপতিত হলে ফটোইলেকট্রন নির্গত হয়। পরবর্তীতে ওই ধাতুর উপর 7800Å ও 4450Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের যথাক্রমে লাল ও নীল আলো আপতিত করা হলো।

(ক) ফটোইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি বের কর।

(খ) উদ্দীপকে দৃশ্যমান আলো দুইটির মধ্যে কোন আলোর জন্য নিবৃত্তি বিভব বেশি হবে? গাণিতিকভাবে যাচাই কর। [ম. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি, ফটোইলেট্রনের সর্বাধিক গতিশক্তি,

$$K_{max} = h\upsilon - W_0 \quad \ldots \quad (1)$$
$$= \frac{h \times c}{\lambda} - W_0$$
$$= \left(\frac{6{\cdot}634 \times 10^{-3} \times 3 \times 10^8}{3500 \times 10^{-10}} - 2 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\right) J$$
$$= 2{\cdot}48 \times 10^{-19}\ J = 1{\cdot}55\ eV$$

এখানে,
$W_0 = 2 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ J$
প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক,
$h = 6{\cdot}634 \times 10^{-34}\ Js$
$c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$
$\lambda = 3500 \times 10^{-10}\ m$
$K_{max} = ?$

(খ) নিবৃত্তি বিভব V_0 হলে লাল আলোর জন্য,

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV_0$$

$$\therefore\ h\upsilon - W_0 = eV_0$$

$$\therefore\ V_0 = \frac{h\upsilon - W_0}{e} = h \times \frac{c}{\lambda \times e} - \frac{W_0}{e}$$
$$= \frac{6{\cdot}634 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{7800 \times 10^{-10} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}} - \frac{2 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}}$$
$$= 1{\cdot}59 - 2 = -0{\cdot}40\ Volt$$

এখানে,
V_0 = নিবৃত্তি বিভব
e = ইলেকট্রনের চার্জ
$= 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ C$
$W_0 = 2eV = 2 \times 1{\cdot}6 \times 10^{19}\ J$
$\lambda = 7800Å = 7800 \times 10^{-10}\ m$

আবার, নীল আলোর জন্য,

$$V_0' = \frac{6{\cdot}634 \times 10^{-3} \times 10^8}{4450 \times 10^{-10} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}} - \frac{2 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}}$$
$$= 0{\cdot}79\ Volt$$

এখানে,
$\lambda = 4450Å$
$= 4450 \times 10^{-10}\ m$

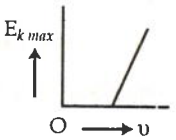
এখানে, $V_0' > V_0$। অর্থাৎ, নীল আলোর জন্য নিবৃত্তি বিভব লাল আলোর নিবৃত্তি বিভব অপেক্ষা বেশি হবে।

RMDAC

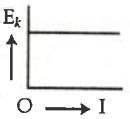
বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের অন্যতম স্রষ্টা আইনস্টাইন এবং ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক।

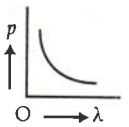
২। বিকিরণের কম্পাঙ্কের সাথে সর্বাধিক গতিশক্তির পরিবর্তনের লেখচিত্রের ঢাল প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক নির্দেশ করে এবং লেখচিত্রটি হলো—



৩। ফটো তড়িৎ ক্রিয়ার সর্বোচ্চ গতিশক্তি (E_k) এবং আলোর তীব্রতা (I) এর সম্পর্ক সূচক লেখচিত্র হলো—



৪। ভরবেগের সাথে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিবর্তনের লেখচিত্র হলো—



৫। এক্স-রে (i) তড়িৎ চৌম্বক তরঙ্গ (ii) এর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সীমা 10^{-12} m — 10^{-9} m (iii) আলোক তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন করে (iv) এর কোনো চার্জ নেই (v) প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে।

৬। এক্স-রে তড়িৎ চৌম্বক তরঙ্গ দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয় এবং এটি সরলরেখায় গমন করে।

৭। ফোটনের ক্ষেত্রে (i) স্থির ভর শূন্য (ii) এর শক্তি $E = h\upsilon$, (iii) এর বেগ 3×10^8 ms^{-1}, (iv) এর নির্দিষ্ট ভরবেগ আছে। এর ভরবেগ, $P = \frac{h\upsilon}{c}$

৮। কোনো বস্তু আলোর সমান বেগে গতিশীল হলে কোনো স্থির কাঠামোর সাপেক্ষে তার দৈর্ঘ্য শূন্য হবে, সময় অসীম হবে।

৯। আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব আইনস্টাইন কর্তৃক 1905 সালে প্রকাশিত হয়।

১০। ফটো ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি নির্ভর করে — আলোর কম্পাঙ্কের ওপর এবং ধাতুর কার্যাপেক্ষকের ওপর।

১১। প্ল্যাঙ্কের তত্ত্ব অনুসারে কালো বস্তু হতে—(i) শক্তির বিকিরণ বিচ্ছিন্নভাবে ঘটে। (ii) শক্তি নির্গমনের কোনো ধারাবাহিকতা নেই।

১২। ফটো তড়িৎ ক্রিয়ার ক্ষেত্রে— (i) ফটো তড়িৎ প্রবাহ আলোর তীব্রতার ওপর নির্ভর করে। (ii) ফটো ইলেকট্রনের বেগ আলোর কম্পাঙ্ক নির্ভর।

১৩। $\frac{c}{\sqrt{2}}$ বেগে চলমান কোনো কণার ভরবেগ m_0c। ফোটনের ক্ষেত্রে $E = m_0c^2$ প্রযোজ্য নয়।

১৪। ঘূর্ণায়মান প্রসঙ্গ কাঠামো—অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো।

১৫। আপেক্ষিকতা জনিত বস্তুর গতিশক্তি নিশ্চল শক্তির তিনগুণ হতে হলে বস্তুর বেগ 0·97 c হবে।

১৬। S ও S′ জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে আলোর বেগ যথাক্রমে c ও c'। S′ কাঠামো S কাঠামোর সাপেক্ষে x অক্ষ বরাবর v বেগে গতিশীল হলে : $c' = c$ হয়।

১৭। নিবৃত্তি বিভব V ও ইলেকট্রনের বেগ v এর মধ্যে সম্পর্ক হলো : $v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$

১৮। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ এবং ফোটনের শক্তি $\vec{E}$ এর মধ্যে সম্পর্ক হলো : $E = \frac{hc}{\lambda}$। আইনস্টাইনের স্থির ভরশক্তি সূত্র হলো, $E_0 = m_0c^2$ এবং ভরশক্তি সমীকরণ হলো $E = mc^2$.

১৯। আলোক বর্ষ দূরত্বের একক। $E = h\upsilon$ সূত্র প্রদান করেন ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক। ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক শক্তির ক্ষুদ্র এককের নাম দেন কোয়ান্টা।

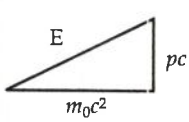
২০। গতিশীল ঘড়ি নিশ্চল ঘড়ির চেয়ে ধীরে চলে। কোনো বস্তু আলোর বেগ প্রাপ্ত হলে এর ভর হবে সসীম।

২১। একটি মহাকাশ যান $\frac{\sqrt{3}c}{2}$ বেগে চললে এর দৈর্ঘ্য প্রকৃত দৈর্ঘ্যের অর্ধেক মনে হবে।

২২। কম্পটন ক্রিয়ার সাহায্যে কোয়ান্টাম তত্ত্বের ব্যাখ্যা প্রদান করা যায়।

২৩। নিবৃত্তি বিভব এবং ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ বেগের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করা যায় $eV_0 = \frac{1}{2}mV^2_{max}$ সমীকরণের সাহায্যে।

২৪। $E = \sqrt{p^2c^2 + m^2_0c^4}$ সম্পর্কীয় লেখচিত্র হলো—



২৫। একটি সরু রড এর দৈর্ঘ্যের লম্ব বরাবর আলোর বেগ চললে গতিশীল অবস্থায় একে একই দৈর্ঘ্যের মনে হবে।

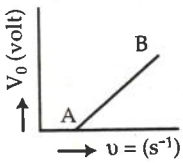
২৬। সর্বাধিক কম্পটন অংশ আপতিত তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ এর জন্য প্রযোজ্য $\Delta\lambda_{max}$ আপতিত তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ-এর ওপর নির্ভরশীল নয়।

২৭। আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার সমীকরণ হলো $\frac{1}{2}mV^2_{max} + W_0 = h\upsilon$ এবং কম্পাঙ্ক অপরিবর্তিত রেখে তীব্রতা-প্রবাহের লেখচিত্র হবে।

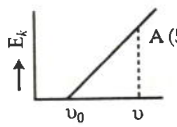
২৮। কম্পটন প্রভাবে অপরিবর্তিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য, বিক্ষিপ্ত হবার পর তরঙ্গদৈর্ঘ্য—বৃদ্ধি পায়।

২৯। আলোক তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন করে—(i) ইলেকট্রন তরঙ্গ প্রকৃতি (ii) আলোর তরঙ্গ প্রকৃতি (iii) আলোর কণা প্রকৃতি।

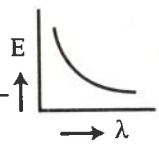
৩০। ঋণাত্মক পাত হতে ধনাত্মক পাতের দিকে একটি ইলেকট্রন ত্বরিত করলে ইলেকট্রনের গতিশক্তি হবে $4eV$।

৩১। 

লেখচিত্রটির ঢাল h।

৩২। 

লেখচিত্রটির সূচন কম্পাঙ্ক $4{\cdot}7 \times 10^{15}$ Hz এর ওপর 1000 Hz কম্পাঙ্কের আলো পড়লে ইলেকট্রন নির্গত হবে না।

৩৩। ফোটনের শক্তি বনাম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের লেখচিত্র হলো— 

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। 1 eV সমান কত জুল ? [ঢা. বো. ২০১৭]
- ক $6{\cdot}7 \times 10^{-34}$ J
- খ $1{\cdot}9 \times 10^{-31}$ J
- গ $1{\cdot}6 \times 10^{-31}$ J
- ঘ $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ J

২। একটি ইলেকট্রন $0{\cdot}99\ c$ দ্রুতিতে গতিশীল হলে এর চলমান ভর কত ? [রা. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); Admission Test : JU 2019-20 (মান ভিন্ন); SUST 2016-17; U 2017-18]
- ক $5{\cdot}46 \times 10^{-30}$ kg
- খ $6{\cdot}45 \times 10^{-30}$ kg
- গ $6{\cdot}45 \times 10^{-31}$ kg
- ঘ $5{\cdot}46 \times 10^{-31}$ kg

৩। একটি রকেট কত দ্রুতিতে চললে এর দৈর্ঘ্য আদি দৈর্ঘ্যের এক-চতুর্থাংশ হবে ? [ঢা. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); সকল বোর্ড ২০১৮; Admission Test : DU-A 2020-21 (মান ভিন্ন) BSMRSTU 2018-19 (মান ভিন্ন)]
- ক 3×10^8 ms^{-1}
- খ $2{\cdot}99 \times 10^8$ ms^{-1}
- গ $2{\cdot}90 \times 10^8$ ms^{-1}
- ঘ $2{\cdot}92 \times 10^8$ ms^{-1}

৪। ফোটনের ধর্ম— [রা. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); দি. বো. ২০১৬; RU-C Admission Test, 2021-22]
(i) স্থির ভর শূন্য
(ii) নির্দিষ্ট ভরবেগ আছে
(iii) চার্জবিহীন
নিচের কোনটি সঠিক ?
- ক i ও ii
- খ i ও iii
- গ ii ও iii
- ঘ i, ii ও iii

৫। ডি ব্রগলির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমীকরণ কোনটি ? [ব. বো. ২০১৭; ঢা. বো. ২০১৬; BuTex Admission Test, 2015-16]
- ক $\lambda = \frac{E}{p}$
- খ $\lambda = \frac{h}{p}$
- গ $\lambda = \frac{h}{m_0 c}$
- ঘ $\lambda = \frac{h}{m_0 c^2}$

৬। নিচের কোন ধাতু থেকে ফটো ইলেকট্রন নির্গত হবে না ? [চ. বো. ২০১৬; Admission Test : BDS 2017-18; KU 2019-20]

ⓚ সিজিয়াম
ⓚ পটাসিয়াম
ⓖ অ্যালুমিনিয়াম
ⓖ সোডিয়াম

৭। হাইসেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি হলো— [ঢা. বো. ২০১৬; SUST Admission Test, 2019-20]

(i) $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{2\pi}$

(ii) $\Delta p \Delta E \geq \frac{h}{2\pi}$

(iii) $\Delta E \Delta t \geq \frac{h}{2\pi}$

নিচের কোনটি সঠিক ?

ⓚ i ও ii
ⓚ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

৮। কোনটি বিকিরণ কোয়ান্টা ? [ঢা. বো. ২০১৬]

ⓚ ফোটন
ⓚ প্রোটন
ⓖ নিউট্রন
ⓖ ইলেকট্রন

৯। h কী নামে পরিচিত ? [রা. বো. ২০১৬]

ⓚ ডিরাক ধ্রুবক
ⓚ প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক
ⓖ কম্পটন ধ্রুবক
ⓖ ডি-ব্রগলি ধ্রুবক

১০। ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6630 Å হলে শক্তি কত ? [ম. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন), ২০২২ (মান ভিন্ন); ঢা. বো. ২০১৭; রা. বো. ২০১৬; Admission Test : Jn U-A 2016-17; CU 2017-18; BuTex 2016-17; GST-A 2020-21]

ⓚ $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ J
ⓚ 2×10^{-10} J
ⓖ 3×10^{-19} J
ⓖ $9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ J

১১। ফোটনের ভরবেগ— [দি. বো. ২০২৩; ম. বো. ২০২৩, ২০২১; সি. বো. ২০২২; কু. বো. ২০১৭, ২০১৬; Admission Test : JUST 2019-20; MBSTU 2019-20; BuTex 2015-16]

ⓚ $p = \frac{h}{\lambda}$

ⓚ $p = \frac{hc}{\lambda}$

ⓖ $p = \frac{\lambda}{h}$

ⓖ $p = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$

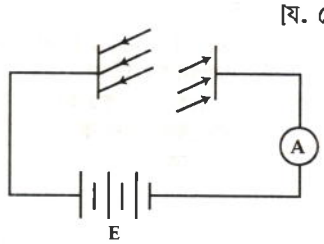
১২। আপেক্ষিক তত্ত্বের ক্ষেত্রে— [ব. বো. ২০২৩; কু. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন)]

(i) চলমান ঘড়ি নিশ্চল ঘড়ি অপেক্ষা দ্রুত চলে
(ii) চলমান অবস্থায় কোনো বস্তুর দৈর্ঘ্য এর নিশ্চল দৈর্ঘ্য অপেক্ষা ছোট
(iii) গতিশীল কোনো বস্তুর ভর এর নিশ্চল ভর অপেক্ষা বেশি

নিচের কোনটি সঠিক ?

ⓚ i ও ii
ⓚ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

নিচের বর্তনীটি লক্ষ কর এবং ১৩নং ও ১৪নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [য. বো. ২০১৬]

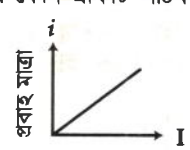


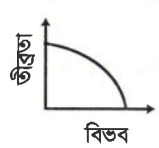
চিত্রে একটি আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার ঘটনা দেখানো হয়েছে।

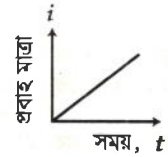
১৩। প্রাথমিক অবস্থায় অ্যামিটারে কোনো পাঠ পাওয়া গেল না। অ্যামিটারে পাঠ পেতে কী করতে হবে ?

ⓚ আলোক রশ্মির তীব্রতা বাড়াতে হবে
ⓚ E-এর বিভব বাড়াতে হবে
ⓖ বিভবের দিক পরিবর্তন করতে হবে
ⓖ আলোক রশ্মির কম্পাঙ্ক বাড়াতে হবে

১৪। অ্যামিটারের পাঠ ধীরে ধীরে বাড়াতে থাকলে নিচের কোন গ্রাফটি সঠিক ?

(i)


(ii)


(iii)


নিচের কোনটি সঠিক ?

ⓚ i ও ii
ⓚ ii ও iii
ⓖ i ও iii
ⓖ i, ii ও iii

১৫। ফটো তড়িৎ প্রক্রিয়ায় আলোর প্রাবল্য বাড়ালে— [চ. বো. ২০১৬]
ক আপতিত ফোটনের সংখ্যা বাড়ে
খ ইলেকট্রনের গতিশক্তি বাড়ে
গ ফোটনের সংখ্যা অপরিবর্তিত থাকে
ঘ নির্গত ইলেকট্রনের সংখ্যা কমে

১৬। কোন কণার বিনিময়ের মাধ্যমে তড়িৎ চৌম্বক বল কার্যকর হয় ? [ব. বো. ২০১৬; KU Admission Test, 2018-19]
ক প্রোটন
খ বোসন
গ ফোটন
ঘ গ্লুয়ন

১৭। ফটো তড়িৎ ক্রিয়া— [ব. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন), ২০১৬]
(i) একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা
(ii) তাপমাত্রা দ্বারা প্রভাবিত হয় না
(iii) বিভিন্ন পদার্থের সূচন কম্পাঙ্ক বিভিন্ন হয়
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

১৮। 1 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একটি তড়িৎ চৌম্বক তরঙ্গের শক্তি কত ? [ব. বো. ২০১৬; JU Admission Test, 2019-20]
ক 2×10^{-15} J
খ 2×10^{-16} J
গ 2×10^{-17} J
ঘ 2×10^{-18} J

১৯। কোনো পৃষ্ঠের সূচন কম্পাঙ্ক 8×10^{14} Hz। ওই পৃষ্ঠে 2400 Å এর আলো আপতিত হলে নির্গত ইলেকট্রনের সর্বাধিক গতিশক্তি হবে— [ঢা. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০১৬]
ক 1·86 J
খ $2{\cdot}98 \times 10^{-19}$ J
গ $8{\cdot}29 \times 10^{-19}$ J
ঘ $13{\cdot}59 \times 10^{-19}$ J

২০। মহাকর্ষীয় বলের পাল্লা কত ? [সি. বো. ২০১৬]
ক 10^{-16} m
খ 10^{-15} m
গ অসীম
ঘ 10^{15} m

নিচের উদ্দীপকের আলোকে ২১নং ও ২২নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [কু. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); ম. বো. ২০২২; দি. বো. ২০১৬]
এক গুচ্ছ এক্স-রশ্মির প্রতিটি ফোটনের কম্পাঙ্ক 3×10^{17} Hz।

২১। উদ্দীপকে উল্লিখিত ফোটনের শক্তি কত ?
ক $1{\cdot}989 \times 10^{-16}$ J
খ $2{\cdot}89 \times 10^{-16}$ J
গ $19{\cdot}89 \times 10^{-16}$ J
ঘ $91{\cdot}98 \times 10^{-16}$ J

২২। উদ্দীপকে উল্লিখিত ফোটনের—
(i) বেগ, 3×10^8 ms^{-1}
(ii) তরঙ্গদৈর্ঘ্য, 10 Å
(iii) ভরবেগ, $6{\cdot}63 \times 10^{-25}$ kg ms^{-1}
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

২৩। λ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একটি ফোটনের শক্তি কোনটি ? [দি. বো. ২০১৯; য. বো. ২০১৭, ২০১৫; Admission Test : BRU 2017-18; JU 2021-22]
ক $hc\lambda$
খ $\frac{hc}{\lambda}$
গ $\frac{\lambda}{hc}$
ঘ $\frac{h\lambda}{c}$

২৪। এক্স-রশ্মি কে আবিষ্কার করেন ? [চ. বো. ২০১৬]
ক বেকেরেল
খ মেরি কুরি
গ রন্‌জেন
ঘ ভন লাউ

২৫। S ও S′ জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে আলোর বেগ যথাক্রমে c ও c'। S কাঠামো S′ কাঠামোর সাপেক্ষে X-অক্ষ বরাবর v বেগে গতিশীল হলে— [ব. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); ঢা. বো. ২০১৫; Medical Admission Test, 2008-09]
ক $c' = c - v$
খ $c' = c + v$
গ $c' = c$
ঘ $v = c + c'$

২৬। আইনস্টাইনের স্থির ভর শক্তি সমীকরণ কোনটি ? [সি. বো. ২০১৫]
ক $E_0 = m_0c^2$
খ $E = h\gamma$
গ $E_0 = mc^2$
ঘ $E = mc^2$

২৭। স্থির কাঠামোর তুলনায় গতিশীল কাঠামোতে ঘড়ি ধীরে চলে—এ ঘটনাকে কী বলে ? [কু. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); চ. বো. ২০১৫; Medical Admission Test, 2008-09]
ক দৈর্ঘ্য সংকোচন
খ ভরের আপেক্ষিকতা
গ কাল দীর্ঘায়ন
ঘ সময় সংকোচন

২৮। এক্স-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 3 Å হলে এর কম্পাঙ্ক কত? [য. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০১৫; Admission Test : JU 2021-22; CU-A 2020-21]
ক 10^{15} Hz
খ 10^{16} Hz
গ 10^{18} Hz
ঘ 10^{21} Hz

২৯। কোন বিজ্ঞানী শক্তির ক্ষুদ্রতম এককের নাম দেন কোয়ান্টা ? [চ. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); রা. বো. ২০১৯; দি. বো. ২০১৫; JU Admission Test, 2014-15]
ক গ্যালিলিও
খ ম্যাক্স প্লাঙ্ক
গ ম্যাক্সওয়েল
ঘ আইনস্টাইন

৩০। কার পরীক্ষায় ইথারের অস্তিত্ব ভুল প্রমাণিত হয় ? [কু. বো. ২০১৫]
ক ইয়ং
খ মাইকেলসন-মর্লি
গ আইনস্টাইন
ঘ গ্যালিলিও

৩১। ফোটনের ক্ষেত্রে— [দি. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); কু. বো. ২০১৫]
(i) ফোটনের স্থির ভর শূন্য
(ii) ফোটনের শক্তি, $E = h\upsilon$
(iii) ফোটনের বেগ $3 \times 10^8\ ms^{-1}$
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ ii ও iii
গ i ও iii
ঘ i, ii ও iii

৩২। কোনো বস্তু আলোর বেগে গতিশীল হলে কোনো স্থির কাঠামোর সাপেক্ষে তার— [রা. বো. ২০২১, ২০১৫; ব. বো. ২০১৯; চ. বো. ২০১৬]
(i) ভর অসীম হবে
(ii) দৈর্ঘ্য অসীম হবে
(iii) সময় অসীম হবে
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৩৩। মেসনের গড় আয়ু 2×10^{-8} সে.। $0.8\ c$ বেগে গতিশীল মেসনের গড় আয়ু হলো– [CUET Admission Test, 2012-13]
ক 1.56×10^{-8} sec.
খ 2×10^{-8} sec.
গ 3.33×10^{-8} sec.
ঘ None

৩৪। এক্স-রে এর একক হলো— [ঢা. বো. ২০২২]
ক ব্যাকেরেল
খ নিউটন
গ রন্‌জেন
ঘ ভোল্ট

৩৫। একটি ধাতুর প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5200 Å। এই ধাতু থেকে ইলেকট্রন নিঃসরণ ঘটাতে হলে নিচের কোন উৎস থেকে আলো ফেলতে হবে ?
ক 50 W অবলোহিত
খ 1 W অবলোহিত
গ 50 W লাল আলো
ঘ 1 W অতি বেগুনি

৩৬। কোনো ধাতব পৃষ্ঠে আপতিত ফোটনের শক্তি কার্য অপেক্ষকের দ্বিগুণ। আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কতগুণ করলে দ্রুততম ফটো ইলেকট্রনের গতি-শক্তি দ্বিগুণ হবে ?
ক $\frac{3}{2}$ গুণ
খ $\frac{2}{3}$ গুণ
গ $\frac{1}{2}$ গুণ
ঘ 2 গুণ

৩৭। আলোক তড়িৎ ক্রিয়া সংক্রান্ত আইনস্টাইনের সমীকরণটি হলো— [DU (প্রযুক্তি) Admission Test, 2020-21 (মান ভিন্ন)]
ক $E_{max} = h\upsilon + W_0$
খ $eV_0 + h\upsilon = W_0$
গ $\frac{1}{2}mv_{max}^2 + W_0 = h\upsilon$
ঘ $E_{max} + h\upsilon = W_0$

৩৮। সূচন কম্পাঙ্কের আলোর জন্য ধাতু থেকে নির্গত ইলেকট্রনের বেগ হচ্ছে— [ম. বো. ২০২৩; কু. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); BUET Admission Test, 2013-14]
ক শূন্য
খ অসীম
গ কম
ঘ বেশি

৩৯। একটি ধাতুর কার্য অপেক্ষক $h\upsilon_0$। এর ওপর υ কম্পাঙ্কের আলো আপতিত হলে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া ঘটবে যদি—
ক $\upsilon \geq \upsilon_0$
খ $\upsilon \geq 2\upsilon_0$
গ $\upsilon < \upsilon_0$
ঘ $\upsilon < \upsilon_0/2$

৪০। সোডিয়ামের সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6800 Å হলে এর কার্য অপেক্ষক কত?
[ঢা. বো. ২০১৭, চ. বো. ২০১৬]
ক 1·83 eV
খ 1·81 eV
গ 1·9 eV
ঘ 1·6 eV

৪১। ইলেকট্রনের বেগ (v) এবং প্রযুক্ত বিভব পার্থক্যের (নিবৃত্তি বিভব V) মধ্যে সম্পর্ক হলো—
[সি. বো. ২০১৫; DU Admission Test, 2021-22]
ক $v=\sqrt{\frac{eV}{m}}$
খ $v=\sqrt{\frac{2eV}{m}}$
গ $v=\frac{eV^2}{m}$
ঘ $v=\frac{1}{2}mV^2$

৪২। কম্পটন ক্রিয়ার বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য আপতিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায়—
[NSTU Admission Test, 2017-18 (মান ভিন্ন)]
ক কমে যায়
খ বেড়ে যায়
গ একই থাকে
ঘ দ্বিগুণ হয়

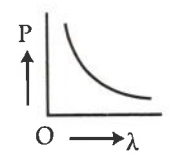
৪৩। আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার বৈশিষ্ট্য হলো—
(i) আলোক তড়িৎ প্রবাহমাত্রা আপতিত আলোর তীব্রতার সমানুপাতিক
(ii) বিভিন্ন ধাতুর জন্য আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক বিভিন্ন হয়
(iii) আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় ইলেকট্রন নিঃসরণ ধাতব পদার্থের উষ্ণতার ওপরে নির্ভর করে
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

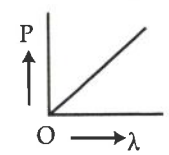
৪৪। কণা তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য হলো—
(i) কেবলমাত্র গতিশীল কণার সঙ্গেই তরঙ্গ জড়িত
(ii) কণা তরঙ্গ তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ
(iii) কণার ভরবেগ বাড়লে তরঙ্গদৈর্ঘ্য হ্রাস পায়
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

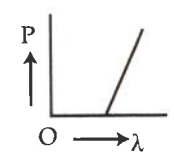
৪৫। একটি ইলেকট্রনের গতিশক্তি 500 eV হলে এর ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ? [দি. বো. ২০১৬; CU Admission Test, 2019-20]
ক 2·55 Å
খ 2 Å
গ 1·5 Å
ঘ 0·55 Å

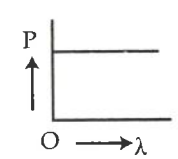
৪৬। এক্সরে-এর বৈশিষ্ট্য হচ্ছে এটি— [দি. বো. ২০১৫]
(i) চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয়
(ii) একটি আড় তরঙ্গ
(iii) সরলরেখায় গমন করে
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৪৭। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ এবং ফোটনের শক্তি E এর মধ্যে সম্পর্ক— [য. বো. ২০১৭; JU Admission Test, 2018-19]
ক $E=\frac{hc}{\lambda^2}$
খ $E=\frac{hc}{\lambda}$
গ $E=\frac{h\lambda}{c}$
ঘ $E=\frac{h\lambda^2}{c}$

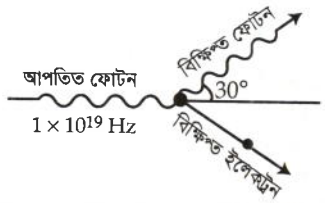
৪৮। ডি-ব্রগলির প্রস্তাব অনুসারে নিচের কোন গ্রাফের সাহায্যে ডি ব্রগলির তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়?
[চ. বো. ২০১৫]
ক 

খ 

গ 

ঘ 

৪৯। নিচের চিত্রটি কম্পটন ক্রিয়া নির্দেশ করে। [দি. বো. ২০১৫]



বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ? ইলেকট্রনের ভর $9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg।

ⓚ $3{\cdot}26 \times 10^{-13}$ m
ⓛ 3×10^{-11} m
ⓜ $3{\cdot}03 \times 10^{-11}$ m
ⓝ $2{\cdot}43 \times 10^{-12}$ m

৫০। একজন মহাকাশচারী তাঁর গতির সাহায্যে 60 Ly দূরত্বকে 48 Ly অপেক্ষা কম দূরত্বে পরিণত করলেন। এজন্য তাঁর গতিবেগ হতে হবে— [রা. বো. ২০১৫]

ⓚ $0{\cdot}6\ c$ অপেক্ষা বেশি
ⓛ $0{\cdot}6\ c$ অপেক্ষা কম
ⓜ $0{\cdot}8\ c$ অপেক্ষা বেশি
ⓝ $0{\cdot}8\ c$ অপেক্ষা কম

৫১। কোন নীতি ব্যবহার করে বস্তুর ভরকে শক্তিতে রূপান্তর করা যায় ?

[Dental Admission Test, 2016-17]

ⓚ কাজ-শক্তি উপপাদ্য
ⓛ আইনস্টানের আপেক্ষিক তত্ত্ব
ⓜ যান্ত্রিকশক্তির সংরক্ষণ নীতি
ⓝ নিউটনের গতিসূত্র

৫২। কোনটি মহাবিশ্বের মৌলিক বলের অন্তর্ভুক্ত নয়?

[Medical Admission Test, 2013-14]

ⓚ মহাকর্ষ বল
ⓛ তড়িৎ চৌম্বক বল
ⓜ নিউক্লীয় দুর্বল বল
ⓝ ঘাত বল

৫৩। ক্যাথোড রশ্মি কী ?

[Medical Admission Test, 2015-16]

ⓚ প্রোটন
ⓛ নিউট্রন
ⓜ ইলেকট্রন
ⓝ বোসন

৫৪। একজন মহাশূন্যচারী 30 বছর বয়সে $2{\cdot}6 \times 10^8$ m/s বেগে ধাবমান মহাকাশযানে চড়ে ছায়াপথ অনুসন্ধানে গেলেন। তিনি 55 বছর পর পৃথিবীতে ফিরে আসলেন। তার বর্তমান বয়স কত?

[Admission Test BUET 2014-15; CoM 2014-15 (মান ভিন্ন); JKKNIU 2019-20 (মান ভিন্ন)]

ⓚ 60 y
ⓛ 58 y
ⓜ 57·44 y
ⓝ 58·2 y
ⓞ 56·58 y

৫৫। একটি নিয়ন টিউবে উচ্চ বিভব দেয়া হলে, বাতিটির ভেতরে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয়। টিউবের ক্যাথোডের দিকে কোন কণা প্রবাহিত হয়?

[BUET Admission Test, 2012-13]

ⓚ ইলেকট্রন
ⓛ প্রোটন
ⓜ ধনাত্মক নিয়ন আধান
ⓝ ঋণাত্মক নিয়ন আয়ন

৫৬। শূন্য ভর এবং E শক্তিবিশিষ্ট কণার ভরবেগ হলো– [BUET Admission Test, 2012-13]

ⓚ Ec
ⓛ Ec^2
ⓜ $\sqrt{Ec}$
ⓝ E/c

৫৭। 600 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একটি ফোটনের ভরবেগ হলো– [Admission Test : BUET 2011-12; JU-A 2021-22]

ⓚ 3×10^{-34} kg-ms^{-1}
ⓛ $2{\cdot}2 \times 10^{-26}$ kg-ms^{-1}
ⓜ $1{\cdot}1 \times 10^{-27}$ kg-ms^{-1}
ⓝ $3{\cdot}1 \times 10^{-28}$ kg-ms^{-1}

৫৮। একটি আলোক রশ্মি পটাশিয়ামের ওপর পতিত হওয়ায় তা থেকে $1{\cdot}6\ eV$ এর সর্বাধিক শক্তির ফটোইলেকট্রন নির্গত হলো। আপতিত আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য বের কর। পটাশিয়ামের কার্যাপেক্ষক $2{\cdot}2\ eV$।

[KUET Admission Test, 2017-18]

ⓚ 3511 Å
ⓛ 3656 Å
ⓜ 3677 Å
ⓝ 2686 Å
ⓞ 3326 Å

৫৯। একটি ধাতব পৃষ্ঠ হতে নিঃসৃত ইলেকট্রনের সর্বাধিক বেগ কত হলে নিবৃত্ত বিভব পার্থক্য 0·96V হবে?

[KUET Admission Test, 2016-17]

ⓚ $8{\cdot}21 \times 10^5$ m/s
ⓛ $5{\cdot}81 \times 10^5$ m/s
ⓜ $5{\cdot}72 \times 10^5$ m/s
ⓝ $5{\cdot}63 \times 10^5$ m/s
ⓞ $4{\cdot}28 \times 10^5$ m/s

৬০। স্থির অবস্থা থেকে 10 kV বিভব পার্থক্যের মধ্যে দিয়ে গেলে একটি ইলেকট্রনের চূড়ান্ত বেগ কত হবে? [RUET Admission Test, 2014-15]

ⓚ $3{\cdot}59 \times 10^7$ ms^{-1}
ⓛ $4{\cdot}93 \times 10^7$ ms^{-1}
ⓜ $5{\cdot}93 \times 10^7$ ms^{-1}
ⓝ $9{\cdot}59 \times 10^7$ ms^{-1}
ⓞ None

৬১। একটি 100 MeV শক্তির ফোটনের কম্পাঙ্ক কত? [Admission Test : RUET 2012-13; JU A 2020-21]

ক 2.41×10^{22} Hz
খ 4.21×10^{22} Hz
গ 6.41×10^{22} Hz
ঘ 8.14×10^{22} Hz

৬২। একটি ধাতুর কার্যাপেক্ষক 6.63 eV। ধাতুটির ক্ষেত্রে ফটো ইলেকট্রন নিঃসরণের সূচন কম্পাঙ্ক কত? প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক 6.63×10^{-34} Js। [Admission Test : DU 2017-18; KU 2014-15; IU 2019-20 (মান ভিন্ন)]

ক 16×10^{14} Hz
খ 16×10^{-14} Hz
গ 1.6×10^{-19} Hz
ঘ 1.6×10^{19} Hz

৬৩। 9.11×10^{-31} kg ভরবিশিষ্ট একটি ইলেকট্রন যদি 2.5×10^{6} m/s বেগে চলে তাহলে এর জন্য ডি ব্রগলি তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে? [DU-A Admission Test, 2016-17; BSMRSTU 2018-19]

ক 2.9×10^{-4} m
খ 2.4×10^{-8} m
গ 2.9×10^{-10} m
ঘ 2.4×10^{-39} m

৬৪। একটি গতিশীল ইলেকট্রনের ভর m_e হলে নিচের কোনটি সঠিক? [DU Admission Test, 2013-14]

ক $m_e > 9.11 \times 10^{-31}$ kg
খ $m_e < 9.11 \times 10^{-31}$ kg
গ $m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg
ঘ $m_e < 9.1 \times 10^{-31}$ kg

৬৫। একটি বস্তু আলোর বেগে ধাবিত হলে তার ভর হবে– [চ. বো. ২০২১, ২০১৬; রা. বো. ২০২১; কু. বো. ২০২১; Admission Test : DU 2014-15; JU 2014-15; RUF_1 2017–18; MBSTU 2015-16; DU (7 College) 2019-20; PUST 2017-18]

ক 0
খ অপরিবর্তিত
গ ∞
ঘ কোনোটিই নয়

৬৬। ইলেকট্রনের সাথে ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিবর্তনকে বলা হয়– [JU Admission Test, 2017-18]

ক ডি ব্রগলির তরঙ্গ
খ কম্পটন প্রভাব
গ হাইজেনবার্গ অনিশ্চয়তা নীতি
ঘ কোয়ান্টাম তত্ত্ব

৬৭। একটি নিউট্রনের ভর 1.67×10^{-27} kg এবং এটি 4×10^{4} ms^{-1} বেগে গতিশীল। এর গতিশক্তি কত? [কু. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); JU Admission Test, 2017-18]

ক 8.35 eV
খ 10.35 eV
গ 6.35 eV
ঘ 12.35 eV

৬৮। একটি ফোটনের শক্তি এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একক কোনটি? [JU Admission Test, 2017-18]

ক MeV ও ms^{-1}
খ J ও m-s
গ MeV ও m
ঘ J ও ms^{-1}

৬৯। এক্স-রশ্মি একটি উচ্চ শক্তির চুম্বকক্ষেত্রে চালিত করলে রশ্মিটি হেলে পড়বে কোনদিকে? [JU Admission Test, 2017-18]

ক উত্তর মেরুর দিকে
খ দক্ষিণ মেরুর দিকে
গ কোনোদিকেই নয়
ঘ কোনোটিই ঠিক নয়

৭০। কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণ ব্যাখ্যায় কোন মতবাদ সফল হয়েছিল? [JU Admission Test, 2017-18]

ক ডি ব্রগলি মতবাদ
খ হাইজেনবার্গ মতবাদ
গ কোয়ান্টাম মতবাদ
ঘ কোনোটিই নয়

৭১। আলোক তড়িৎ ক্রিয়া এর সূত্রটি ব্যবহার করে নিচের কোনটি নির্ণয় করা যায়? [JnU-A Admission Test, 2016-17]

ক বোল্টজম্যান
খ স্টিফেন বোল্টজম্যান ধ্রুবক
গ রিডবার্গ ধ্রুবক
ঘ প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক

৭২। কোয়ান্টাম তত্ত্বের জনক কে? [$RU\text{-}G_2$ Admission Test, 2017-18; CU-A Admission Test, 2017-18]

ক ম্যাক্সওয়েল
খ প্ল্যাঙ্ক
গ প্লান্ট
ঘ হাইগেন

৭৩। নিচের কোন রশ্মি দ্বারা রঞ্জন রশ্মি উৎপন্ন করা হয়? [Admission Test : $RU\text{-}F_1$ 2017-18; JKKNIU 2019-20]

ক ধনাত্মক
খ ক্যাথোড
গ গামা
ঘ আলফা

৭৪। মহাবিশ্বে ইথারের অস্তিত্ব নেই তা কত সালে প্রমাণিত হয়? [RU Admission Test, 2017-18]
ⓚ 1977
ⓚ 1887
ⓖ 1992
ⓖ 2013

৭৫। 0·200 nm ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের নিউট্রনের (ভর $= 1·675 \times 10^{-27}$ kg) গতি শক্তি হবে—
ⓚ 0·204 eV
ⓚ 0·0204 eV
ⓖ 2·04 eV
ⓖ 0·00204 eV

৭৬। 0·5 kms^{-1} বেগে গতিশীল একটি ইলেকট্রনের ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য সমান—
[BSMRSTU Admission Test, 2018-19 (মান ভিন্ন)]
ⓚ $1·5 \times 10^{-6}$ m
ⓚ $1·5 \times 10^{-8}$ m
ⓖ $1·5 \times 10^{-10}$ m
ⓖ $1·5 \times 10^{-12}$ m

৭৭। একটি ইলেকট্রন ও একটি ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য সমান হলে তাদের —— সমান হবে।
ⓚ শক্তি
ⓚ বেগ
ⓖ ভরবেগ
ⓖ কৌণিক ভরবেগ

৭৮। আলোক তড়িৎ ক্রিয়া নিম্নের কোন সূত্রের ওপর নির্ভরশীল ?
ⓚ শক্তির নিত্যতা সূত্র
ⓚ ভরের নিত্যতা সূত্র
ⓖ রৈখিক ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র
ⓖ কৌণিক ভরবেগ সংরক্ষণ সূত্র

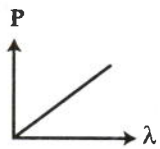
৭৯। একটি ইলেকট্রনের গতিশক্তি 3 গুণ হলে এর সঙ্গে সংশ্লিষ্ট ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত গুণ হবে ?
ⓚ $\frac{1}{3}$
ⓚ $\sqrt{3}$
ⓖ $\frac{1}{\sqrt{3}}$
ⓖ 3

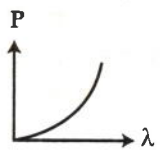
৮০। ফোটনের দ্বারা সংঘর্ষের পর এক ফটো ইলেকট্রন নিঃসরণের সময় প্রায়—
ⓚ 10^{-16} s
ⓚ 10^{-1} s
ⓖ 10^{-4} s
ⓖ 10^{-9} s

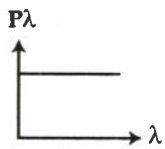
৮১। 25 W ক্ষমতা সম্পন্ন একটি উৎস প্রতি সেকেন্ডে 6000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের যে পরিমাণ ফোটন উৎপন্ন করে তার মান—
ⓚ $7·55 \times 10^{19}$
ⓚ $8·25 \times 10^{16}$
ⓖ $3·48 \times 10^{17}$
ⓖ $2·48 \times 10^{14}$

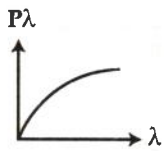
৮২। যদি λ_α, λ_p, λ_e যথাক্রমে একই শক্তির α কণার, প্রোটন কণার এবং ইলেকট্রনের ডি ব্রগলি তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য হয় তবে—
ⓚ $\lambda_p > \lambda_e > \lambda_\alpha$
ⓚ $\lambda_e > \lambda_p > \lambda_\alpha$
ⓖ $\lambda_e = \lambda_p = \lambda_\alpha$
ⓖ $\lambda_\alpha > \lambda_p > \lambda_e$

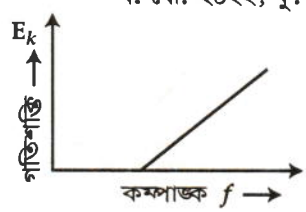
৮৩। দ্রুত গতিসম্পন্ন ইলেকট্রন কোনো ধাতুকে আঘাত করলে, তা থেকে উচ্চ ভেদন ক্ষমতাসম্পন্ন যে এক প্রকার বিকিরণ উৎপন্ন হয় সেটি নিচের কোনটি ?
[Medical Admission Test, 2017-18]
ⓚ বিটা রশ্মি
ⓚ গামা রশ্মি
ⓖ এক্স রশ্মি
ⓖ আলফা রশ্মি

৮৪। ডি ব্রগলির প্রস্তাব অনুসারে নিচের কোন লেখটি সঠিক ? [ঢা. বো. ২০১৯]
ⓚ 

ⓚ 

ⓖ 

ⓖ 

৮৫। নিচে ফটোইলেকট্রন ক্রিয়ার লেখচিত্রের ঢালকে কী দ্বারা প্রকাশ করা যায়? [সি. বো. ২০২২; ব. বো. ২০২২; কু. বো. ২০১৯]


ⓚ নিবৃত্তি বিভব
ⓚ কার্যাপেক্ষক
ⓖ তরঙ্গদৈর্ঘ্য
ⓖ প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক

৮৬। ফটো-ইলেকট্রন নির্গমনের ক্ষেত্রে— [সি. বো. ২০২৩; য. বো. ২০১৯]

i. আপতিত ফোটনের কম্পাঙ্ক সূচন কম্পাঙ্কের চেয়ে বড়
ii. আপতিত ফোটনের শক্তি কার্য অপেক্ষকের চেয়ে বড়
iii. আপতিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চেয়ে বড়

নিচের কোনটি সঠিক?

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

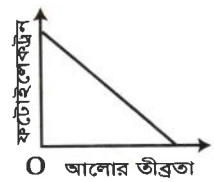
৮৭। 10 কিলোগ্রাম ভরের পদার্থ হতে কী পরিমাণ শক্তি উৎপাদিত হবে ? [কু. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); য. বো. ২০১৯]

ক 4.5×10^{16} J
খ 9×10^{16} J
গ 4.5×10^{17} J
ঘ 9×10^{17} J

৮৮। আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় আপতিত আলোকের তীব্রতা ও ফটোইলেকট্রন নিঃসরণের হারের মধ্যে নিম্নের কোন লেখচিত্রটি সঠিক ? [ব. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); ২০১৯]

ক

খ

গ 

ঘ

নিচের উদ্দীপকটি পড় এবং ৮৯ ও ৯০নং প্রশ্নের উত্তর দাও: [চ. বো. ২০১৯]

একটি ইলেকট্রনের নিশ্চল ভর $m_0 = 9.1 \times 10^{-31}$ kg। ইলেকট্রনটি 0.6 c দ্রুতিতে গতিশীল।

৮৯। উদ্দীপক অনুসারে ইলেকট্রনটির নিশ্চল শক্তি কত?

ক 8.19×10^{-14} J
খ 4.095×10^{-14} J
গ 5.12×10^{-14} J
ঘ 10.23×10^{-14} J

৯০। উদ্দীপক অনুসারে চলমান ভর ও নিশ্চল ভরের অনুপাত কত ? [DU (প্রযুক্তি) Admission Test, 020-21 (মান ভিন্ন)]

ক 0.8 : 1
খ 1.25 : 1
গ 1.56 : 1
ঘ 1.58 : 1

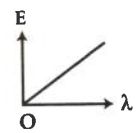
৯১। 1 gm ভরকে সম্পূর্ণরূপে শক্তিতে রূপান্তরিত করলে, শক্তির মোট পরিমাণ কত জুল হবে? [কু. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); ব. বো. ২০১৯; Admission Test : JKKNIU 2018-19; CoM 2012-13; MBSTU 2017-18]

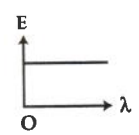
ক $0.001\ c^2$
খ $0.01\ c^2$
গ $0.1\ c^2$
ঘ $1.0\ c^2$

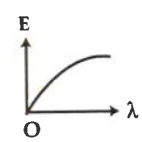
৯২। $0.8c$ বেগে গতিশীল একটি রকেটের অবস্থার দৈর্ঘ্য এর স্থির দৈর্ঘ্যের— [রা. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); য. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন), ২০১৯]

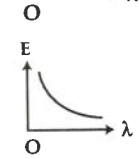
ক 0.45 গুণ
খ 0.6 গুণ
গ 0.8 গুণ
ঘ 1.67 গুণ

৯৩। নিচের কোনটি একটি ফোটন কণার E — λ গ্রাফ? [রা. বো. ২০১৯]

ক 

খ 

গ 

ঘ 

৯৪। 100 m বাহুবিশিষ্ট একটি বর্গাকার মাঠের দৈর্ঘ্য বরাবর একটি নভোযান $0.9c$ বেগে চললে নভোযানের কোনো যাত্রী মাঠটির ক্ষেত্রফল কত পরিমাপ করবে ? [কু. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); ঢা. বো. ২০১৯]

ক $43.59\ m^2$
খ $229.42\ m^2$
গ $4359\ m^2$
ঘ $22942\ m^2$

৯৫। $100\ m^2$ ক্ষেত্রফলের একটি কৃষ্ণ কায়া 1000°C তাপমাত্রায় প্রতি সেকেন্ডে কী পরিমাণ শক্তি বিকিরণ করবে ? $(\sigma = 5.7 \times 10^{-8}\ W/m^2K^{-4})$ [Admission Test : BUET 2014-15; RU 2019-20 (মান ভিন্ন)]

ক 14.97 MW
খ 7.48×10^5 MW
গ 2.85×10^5 W
ঘ 45.6 MW

৯৬। 600 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একটি ফোটনের ভরবেগ হলো— [BUET Admission Test, 2011-12]

ক $3 \times 10^{-34}\ kgms^{-1}$
খ $2.2 \times 10^{-26}\ kgms^{-1}$
গ $1.1 \times 10^{-27}\ kgms^{-1}$
ঘ $3.1 \times 10^{-28}\ kgms^{-1}$

৯৭। দুটি ফোটন পরস্পর বিপরীত দিকে চলছে। একটির আরেকটির সাপেক্ষে আপেক্ষিক বেগ কত? [BUET Admission Test, 2016-07]

ক শূন্য
খ c
গ $\sqrt{2}c$
ঘ $2c$

৯৮। কোনো একটি বস্তুকণার মোট শক্তি এর স্থির অবস্থার 5 গুণ। বস্তু কণাটির দ্রুতি কত ? [Admission Test : KUET 2009-10, BSMRSTU 2017-18]

ক c
খ $\frac{2\sqrt{3}}{5}c$
গ $\frac{\sqrt{6}}{5}c$
ঘ $\frac{4\sqrt{6}}{5}c$
ঙ $\frac{2\sqrt{6}}{5}c$

৯৯। একটি মহাশূন্যযান কত বেগে ভ্রমণ করলে মহাশূন্য 1 দিনে অতিবাহিত হলে পৃথিবীতে 2 দিন অতিবাহিত হবে ? [Admission Test : KUET 2013-14; BSMRSTU 2019-20; RU-C 2020-21 (মান ভিন্ন)]

ক $2.61 \times 10^8\ ms^{-1}$
খ $2.59 \times 10^8\ ms^{-1}$
গ $2.56 \times 10^8\ ms^{-1}$
ঘ $2.50 \times 10^8\ ms^{-1}$
ঙ $2.48 \times 10^8\ ms^{-1}$

১০০। পারমাণবিক বিক্রিয়া হতে উৎপাদিত তড়িৎ শক্তির পরিমাণ 5.8×10^8 MWh। রূপান্তরিত ভরের পরিমাণ কত হবে ? [KUET Admission Test, 2018-19 (মান ভিন্ন)]

ক 22 kg
খ 23 kg
গ 22.4 kg
ঘ 23.2 kg
ঙ 22.6 kg

১০১। পৃথিবীতে একটি রকেটের দৈর্ঘ্য 110 m। উড়ন্ত অবস্থায় রকেটটির দৈর্ঘ্য 108.5 m হলে, রকেটের বেগ হবে— [KUET Admission Test, 2015-16]

ক $4.24 \times 10^7\ ms^{-1}$
খ $4.94 \times 10^8\ cms^{-1}$
গ $4.94 \times 10^7\ ms^{-1}$
ঘ $5.2 \times 10^9\ cm/s$
ঙ $8.13 \times 10^8\ cms^{-1}$

১০২। একটি 10 eV ইলেকট্রনের ডি-ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য হবে— [Admission Test : BUET 2011-12; CU-A 2019-20 (মান ভিন্ন); BSMRSTU 2017-18 (মান ভিন্ন)]

ক 1240 Å
খ 1 Å
গ 3.88 Å
ঘ 0.55 Å

১০৩। কত গতিতে চললে একটি বস্তুর গতিশক্তি এর স্থির ভর শক্তির সমান হবে ? [কু. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); BUET Admission Test, 2011-12]

ক $\sqrt{2}c$
খ $\frac{c}{3}$
গ $\frac{c}{2}$
ঘ $\frac{\sqrt{3}}{2}c$

১০৪। কোন রঙের কাচে আলোর বেগ সবচেয়ে কম ? [Admission Test : BUET 2012-13; BSMRSTU 2019-20]

ক বেগুনি
খ নীল
গ সবুজ
ঘ লাল

১০৫। আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় আপতিত ফোটন—

ক সম্পূর্ণ বিলুপ্ত হয়
খ কম কম্পাঙ্কসহ প্রতিফলিত হয়
গ বেশি কম্পাঙ্কসহ প্রতিফলিত হয়
ঘ অপরিবর্তিত কম্পাঙ্কে প্রতিফলিত হয়

১০৬। যদি হাইড্রোজেন পরমাণুর ভূমিস্তরের শক্তি — 13·6 eV হয় তবে প্রথম উদ্দীপিত He^+ আয়নের শক্তি হবে—

ক — 13·6 eV
খ — 27·2 eV
গ — 54·4 eV
ঘ — 6·8 eV

১০৭। যে ধাতুর কার্য অপেক্ষক W। তার ক্ষেত্রে সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ। কার্য অপেক্ষক 2W হলে সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য—

ক 4λ
খ 2λ
গ $\frac{\lambda}{2}$
ঘ $\frac{\lambda}{4}$

১০৯। একটি ধাতুর কার্য অপেক্ষক 2·0 eV। ওই ধাতুর ওপর 4000Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ফেলা হলো। নিঃসৃত ফটোইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি—

ক 0·5 eV
খ 1·1 eV
গ 1·5 eV
ঘ 2·0 eV

১০৯। A এবং B দুটি ধাতুর কার্য অপেক্ষক যথাক্রমে 4·2 eV এবং 1·9 eV। যদি 3500Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো এদের ওপর ফেলা হয় তাহলে কোনটি থেকে ইলেকট্রন নির্গত হবে ?

ক A
খ B
গ A ও B
ঘ কোনোটিই নয়

১১০। একটি প্রোটনের এবং একটি α-কণার গতিশক্তি সমান। এদের ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অনুপাত কত ?

ক 2 : 1
খ 1 : 2
গ 4 : 1
ঘ 1 : 4

১১১। কোনো তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণের ক্ষেত্রে ফোটনের ভরবেগ $3·3 \times 10^{-29}$ $kgms^{-1}$। সংশ্লিষ্ট তরঙ্গের কম্পাঙ্ক—

ক $3·0 \times 10^3$ Hz
খ $6·0 \times 10^3$ Hz
গ $7·5 \times 10^{12}$ Hz
ঘ $1·5 \times 10^{13}$ Hz

১১২। একটি ধাতুর আলোক তড়িৎ কার্য অপেক্ষক 1 eV। এর ওপর 3000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো আপতিত হলে উৎপন্ন ইলেকট্রনের বেগ—

ক $10\ ms^{-1}$
খ $100\ ms^{-1}$
গ $10^4\ ms^{-1}$
ঘ $10^6\ ms^{-1}$

১১৩। একটি ধাতু পৃষ্ঠের কার্য অপেক্ষক 5·01 eV। 2000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো আপতিত হলে ফটো ইলেকট্রন নির্গত হয়। দ্রুততম ইলেকট্রনকে থামাতে কত বিভব পার্থক্য প্রয়োজন ?

ক 1·2 V
খ 2·4 eV
গ 3·6 V
ঘ 4·8 V

১১৪। একটি গতিশীল ইলেকট্রনের ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ হলে এর শক্তি কত ?

ক $\frac{\lambda}{2m}$
খ $\frac{h^2}{2m\lambda}$
গ $\frac{h^2}{2\lambda^2}$
ঘ $\frac{h^2}{2m\lambda^2}$

১১৫। একটি গতিশীল কণার ভরবেগের সঙ্গে জড়িত ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিবর্তন লেখচিত্রের সাহায্যে দেখানো হলো। কোনটি সঠিক ?

ক
খ
গ
ঘ

১১৬। একটি ইলেকট্রনের গতিশক্তি E হলে এর সঙ্গে জড়িত ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) E-এর ওপর নির্ভর করে—

[CU Admission Test, 2018-19 (মান ভিন্ন)]

ক $\lambda \propto \sqrt{E}$
খ $\lambda \propto E$
গ $\lambda \propto \frac{1}{\sqrt{E}}$
ঘ $\lambda \propto \frac{1}{E^2}$

১১৭। একটি ইলেকট্রন স্রোতের ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য 1 Å হলে নিবৃত্তি বিভব—
ⓚ 12·3 V
ⓛ 123 V
ⓜ 151 V
ⓝ 1505 V

১১৮। প্রত্যেকের গতিবেগ একই হলে কোন কণার ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য সব থেকে দীর্ঘ হবে ?
ⓚ ইলেকট্রন
ⓛ প্রোটন
ⓜ α–কণা
ⓝ অক্সিজেন পরমাণু

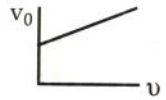
১১৯। কোনো এক্স-রশ্মি নল 10 kV বিভব পার্থক্যে কাজ করলে উৎপন্ন এক্স রশ্মির ন্যূনতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত?
ⓚ 1 Å
ⓛ 1·5 Å
ⓜ 2 Å
ⓝ 2·5 Å

১২০। আলোক তড়িৎ ক্রিয়া প্রমাণ করে যে, আলো—
ⓚ অণুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ
ⓛ তির্যক তরঙ্গ
ⓜ ফোটনের স্রোত
ⓝ কোনোটিই নয়

১২১। ক্যাথোড রশ্মি নলে অ্যানোড ও ক্যাথোডের মধ্যে বিভব পার্থক্য V। উৎপন্ন ইলেকট্রনের গতিশক্তি কার সঙ্গে সমানুপাতিক ?
ⓚ V
ⓛ $\sqrt{V}$
ⓜ V^2
ⓝ $(V)^{3/2}$

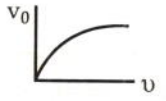
১২২। কুলিজ নলে উৎপন্ন এক্স-রশ্মির ন্যূনতম তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য প্রযুক্ত বিভব পার্থক্যের ওপর নিম্নলিখিত-ভাবে নির্ভর করে—
ⓚ $\lambda \propto V$
ⓛ $\lambda \propto \frac{1}{V}$
ⓜ $\lambda \propto V^2$
ⓝ $\lambda \propto \frac{1}{V^2}$

১২৩। m ভরের একটি কণা E গতিশক্তিতে চলছে। এর সঙ্গে জড়িত ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ?
ⓚ $\sqrt{\frac{h}{2mE}}$
ⓛ $\frac{h}{\sqrt{2mE}}$
ⓜ $\frac{1}{2mE}$
ⓝ $\frac{\sqrt{E}}{2mE}$

১২৪। আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় আপতিত বিকিরণের কম্পাঙ্ক υ-এর সঙ্গে সর্বাধিক গতিশক্তি নিবৃত্তি বিভবের পরিবর্তন কোনটি ?
[সি. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); দি. বো. ২০২৩; ঢা. বো. ২০২২; য. বো. ২০২১; চ. বো. ২০২১; JU-H Admission Test, (সেট-A) 2020-21]
ⓚ 

ⓛ

ⓜ

ⓝ 

১২৫। একটি প্রোটন এবং একটি α-কণাকে একই বিভব পার্থক্যের মধ্য দিয়ে পাঠানো হলো। এদের সঙ্গে জড়িত ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অনুপাত কত ?
ⓚ 1 : 1
ⓛ 1 : 2
ⓜ 2 : 1
ⓝ $2\sqrt{2}$: 1

১২৬। একটি আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6000 Å। এর শক্তি কত ? [JKKNIU Admission Test, 2017-18 (মান ভিন্ন)]
ⓚ 5 eV
ⓛ 2·07 eV
ⓜ 1·07 eV
ⓝ 0·307 eV

১২৭। 2 amu সমান কত ? [ঢা. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); রা. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন), ২০১৯ (মান ভিন্ন); ম. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); সকল বোর্ড ২০১৮; Admission Test : JU 2021-22 (মান ভিন্ন); DU (প্রযুক্তি) 2019-20; CU 2020-21]
ⓚ 931·5 MeV
ⓛ 931·5 eV
ⓜ 1863 eV
ⓝ 1863 MeV

১২৮। তড়িৎ চৌম্বক বলের বাহক কণা কোনটি? [চ. বো. ২০২৪]
ⓚ গ্লুঅন
ⓛ ফোটন
ⓜ বোসন
ⓝ গ্র্যাভিটন

১২৯। কৃষ্ণ বস্তুর শক্তি বিনিময় সংক্রান্ত তত্ত্ব দেন— [চ. বো. ২০২৪]

ক নিউটন
খ ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক
গ রাদারফোর্ড
ঘ নিলস্ বোর

১৩০। এক্সরে উৎপাদনের ক্ষেত্রে ক্যাথোড পাত হিসেবে নিচের কোন ধাতুটি ব্যবহৃত হয়? [সি. বো. ২০২৪]

ক পটাশিয়াম
খ প্লাটিনাম
গ মলিবডেনাম
ঘ অ্যালুমিনিয়াম

১৩১। একটি লেজার উৎসের কম্পাঙ্ক 6×10^{14} Hz এবং নিঃসরিত শক্তির হার 2×10^{-3} W। উৎসটিতে— [কু. বো. ২০২৪]

i. ফোটনের কম্পাঙ্ক বেশি হলে শক্তি কম হয়
ii. নিঃসরিত একটি ফোটনের শক্তি $3{\cdot}97 \times 10^{-19}$ J
iii. ফোটন নিঃসরণের হার $5{\cdot}02 \times 10^{15}$টি

নিচের কোনটি সঠিক?

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

Hints : $E = hf = 6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 6 \times 10^{14}$
$= 3{\cdot}97 \times 10^{-19}$ J

$En = nhf \therefore n = \frac{E_n}{E} = \frac{2 \times 10-3}{3{\cdot}97 \times 10^{-19}}$
$= 5{\cdot}02 \times 10^{18}$ টি

১৩২। ইথারের অস্তিত্ব ভুল প্রমাণিত হয় নিচের কোন পরীক্ষায়? [কু. বো. ২০২৪; ম. বো. ২০২৪]

ক ইয়ং
খ মাইকেলসন–মরলি
গ আইনস্টাইন
ঘ গ্যালিলিও

১৩৩। শূন্য ভর এবং E শক্তিসম্পন্ন কণার ভরবেগ হলো— [ঢা. বো. ২০২৪]

ক EC
খ EC^2
গ $\sqrt{EC}$
ঘ E/C

Hints : $E = hf = h \times \frac{C}{\lambda} \therefore E = PC, \left(\because P = \frac{h}{\lambda}\right)$

$\therefore P = \frac{E}{C}$

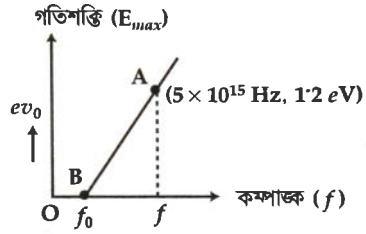
১৩৪। কোন কণার ভর শূন্য? [ম. বো. ২০২৪]

ক ইলেকট্রন
খ নিউট্রন
গ π মেসন
ঘ প্রোটন
ঙ ফোটন

১৩৫। $\frac{C}{\sqrt{3}}$ বেগে চলমান একটি কণার মোট শক্তি হলো— [ঢা. বো. ২০২৪]

ক $0{\cdot}173\, m_0c^2$
খ $\left(\sqrt{3/2}\right) m_0c^2$
গ $\left(\frac{\sqrt{3}-\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\right) m_0c^2$
ঘ $1{\cdot}732\, m_0c^2$

Hints : $E = mc^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}$



উপরের চিত্রটি পর্যবেক্ষণ করে নিচের দুটি প্রশ্নের উত্তর দাও : [ম. বো. ২০২৪]

১৩৬। সূচন কম্পাঙ্ক কত?

ক 5×10^{15} Hz
খ $4{\cdot}7 \times 10^{15}$ Hz
গ $4{\cdot}5 \times 10^{15}$ Hz
ঘ $0{\cdot}4 \times 10^{15}$ Hz

Hints : $hf = K_{max} + hf_0, f_0 = \frac{hf - K_{max}}{h}$

$\tan\theta = \frac{ev_0}{f - f_0}$

১৩৭। উদ্দীপকের ফটোতড়িৎ ক্রিয়ায় ধাতবপৃষ্ঠে 1000Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো আপতিত হলে—

ক ইলেকট্রন নির্গত হবে
খ ইলেকট্রন নির্গত হবে না
গ ইলেকট্রন শুধু মুক্ত হবে
ঘ ইলেকট্রন অধিক গতিপ্রাপ্ত হবে

১৩৮। আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার ক্ষেত্রে ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি বনাম আপতিত ফোটনের কম্পাঙ্কের লেখচিত্রের ঢাল নির্দেশ করে— [সি. বো. ২০২৪]

ক সূচন কম্পাঙ্ক
খ প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক
গ নিবৃত্তি বিভব
ঘ কার্যাপেক্ষক

১৩৯। একটি m_0 স্থির ভরস্পন্দন বস্তু যদি আলোর বেগে ধাবিত হয় তাহলে তার ভর কী হবে? [য. বো. ২০২৪]

ⓚ শূন্য
ⓛ অসীম
ⓜ m_0-এর সমান
ⓝ m_0-এর দ্বিগুণ

১৪০। সূচন কম্পাঙ্কে আপতিত আলোর জন্য ধাতু থেকে নির্গত ইলেকট্রনের বেগ— [ম. বো. ২০২৩]

ⓚ কম
ⓛ বেশি
ⓜ শূন্য
ⓝ অসীম

১৪১। একটি প্রোটনের গতিশক্তি m_0c^2-এর সমান হলে এর ভরবেগ কত? [ম. বো. ২০২৩]

ⓚ $\sqrt{2}\,m_0c$
ⓛ $\sqrt{3}\,m_0c$
ⓜ m_0c
ⓝ $\frac{\sqrt{3}}{2}m_0c$

১৪২। সবল নিউক্লিয় বলের ক্ষেত্রে নিম্নের কোন কণাটি ক্রিয়া করে ? [চ. বো., সি. বো. ২০২৩]

ⓚ গ্রাভিটন
ⓛ ফোটন
ⓜ মেসন
ⓝ গ্লুঅন

১৪৩। ফোটনের দ্বারা সংঘর্ষের পর একটি ফটো ইলেকট্রন নিঃসরণের সময় প্রায়— [ম. বো. ২০২৩]

ⓚ 10^{-3} sec
ⓛ 10^{-4} sec
ⓜ 10^{-1} sec
ⓝ 10^{-9} sec

১৪৪। কোনটি সবল নিউক্লিয় বলের বৈশিষ্ট্য নয়? [ঢা. বো. ২০২৩]

ⓚ এটি শুধু আকর্ষণধর্মী
ⓛ বিনিময় কণা গ্লুঅন
ⓜ এই বল অত্যন্ত তীব্র
ⓝ এই বলের পাল্লা অসীম

১৪৫। আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের সাথে সম্পর্কিত নয় কোনটি? [ঢা. বো. ২০২৩]

ⓚ ফ্যারাডের সূত্র
ⓛ আপেক্ষিকতা
ⓜ আলোক তাড়িৎ ক্রিয়া
ⓝ কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণ

১৪৬। প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবকের সঙ্গে নিচের কোন রাশিটির মাত্রা অভিন্ন? [চ. বো. ২০২৩, ২০২১]

ⓚ রৈখিক ভরবেগ
ⓛ কৌণিক ভরবেগ
ⓜ শক্তি
ⓝ ক্ষমতা

১৪৭। বোসন কণা কোন বলের ক্ষেত্রে ক্ষেত্রকণা হিসেবে কাজ করে? [ঢা. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০২২]

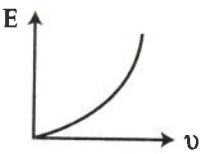
ⓚ মহাকর্ষ বল
ⓛ তাড়িত চৌম্বক বল
ⓜ সবল নিউক্লিয় বল
ⓝ দুর্বল নিউক্লিয় বল

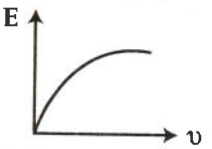
Note : আপেক্ষিক ভরের ক্ষেত্রে বেগ বেশি হলে ভর বেশি হবে, দৈর্ঘ্য হ্রাস পাবে, সময় হ্রাস পাবে।

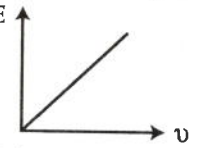
১৪৮। কোনো কণার মোট শক্তি নিশ্চলাবস্থার শক্তির দ্বিগুণ হলে কণাটির বেগ— [কু. বো. ২০২৩]

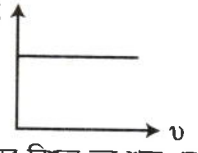
ⓚ $\frac{1}{2}c$
ⓛ $\frac{3}{4}c$
ⓜ $\frac{\sqrt{3}}{2}c$
ⓝ $\frac{2}{\sqrt{3}}c$

১৪৯। ফোটনের শক্তি (E) বনাম কম্পাঙ্কের (υ) লেখচিত্র— [সি. বো. ২০২৪]

ⓚ 

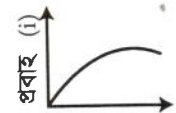
ⓛ 

ⓜ 

ⓝ 

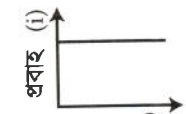
Note : ফোটনের নিশ্চল ভর শূন্য, চার্জ নেই, ভর বেগ আছে, দ্রুতি আছে। ফোটনের ভরবেগ $\frac{h\upsilon}{c}$।
ফোটনের শক্তি $E = h\upsilon$।

১৫০। আপতিত রশ্মির কম্পাঙ্ক স্থির হলে ফটোতড়িতের প্রবাহমাত্রা বনাম আলোর তীব্রতা অনুসারে কোন লেখটি সঠিক? [ব. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০১৯]

ক 

খ

গ

ঘ 

১৫১। একজন নভোচারীর নিকট 10m দৈর্ঘ্যের একটি দন্ড 9·29m অপেক্ষা কম মনে হলো। তার নভোযানের বেগের ক্ষেত্রে নিচের কোনটি সঠিক? [ব. বো. ২০২৩]

ক $v = 0{\cdot}37c$
খ $v < 0{\cdot}37c$
গ $v > 0{\cdot}37c$
ঘ $v \leq 0{\cdot}37c$

১৫২। ফটোইলেকট্রনের গতিশক্তি বৃদ্ধি পায় আপতিত বিকিরণের কোনটি বৃদ্ধি পেলে? [য. বো. ২০২৩]

ক কম্পাঙ্ক
খ তীব্রতা
গ ভর
ঘ বেগ

১৫৩। ইলেকট্রনটির গতিশক্তি কত? [রা. বো. ২০২৩]

ক $5{\cdot}454 \times 10^{-14}$ J
খ $54{\cdot}54 \times 10^{-14}$ J
গ $5{\cdot}454 \times 10^{-13}$ J
ঘ $54{\cdot}54 \times 10^{-13}$ J

১৫৪। নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের আলো আপতিত হলে নিচের কোন ধাতু থেকে সর্বাপেক্ষা কম শক্তির ইলেকট্রন নির্গত হবে? [ব. বো. ২০২৩]

ক পটাশিয়াম
খ অ্যালুমিনিয়াম
গ সোডিয়াম
ঘ সিজিয়াম

১৫৫। একটি ধাতুর কার্য আপেক্ষক $1{\cdot}5 \times 10^{-23}$ J এবং আপতিত আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 570 mm হলে নির্গত ইলেকট্রনের গতিশক্তি কত?
[BUET Admission Test, 2020-21]

ক $3{\cdot}48 \times 10^{-19}$J
খ 10×10^{-19} J
গ $11{\cdot}27 \times 10^{-20}$ J
ঘ None

১৫৬। হলোগ্রাফি সৃষ্টিতে কোন রশ্মি ব্যবহৃত হয়?
[Medical Admission Test, 2023-24]

ক এক্স রশ্মি
খ গামা রশ্মি
গ ক্যাথোড রশ্মি
ঘ লেজার রশ্মি

১৫৭। কোন মৌলিক বলের কারণে নিউট্রিনো ও বিটা কণা নির্গত হয়?
[Medical Admission Test, 2023-24]

ক দুর্বল নিউক্লিয় বল
খ মহাকর্ষ বল
গ তড়িৎ চুম্বকীয় বল
ঘ সবল নিউক্লিয় বল

১৫৮। কোনো কণার গতিশক্তি এর স্থিরাবস্থায় শক্তির দ্বিগুণ। সেক্ষেত্রে কণাটির গতিশীল ভর স্থির ভরের— [JU Admission Test, 2023-24]

ক দ্বিগুণ
খ তিন গুণ
গ চার গুণ
ঘ নয় গুণ

১৫৯। 9×10^{-15} J গতিশক্তি সম্পন্ন একটি ইলেকট্রনের ভর কত kg?
[GST universty Admission Test, 2022-23]

ক $9{\cdot}2 \times 10^{-31}$
খ $9{\cdot}5 \times 10^{-31}$
গ $9{\cdot}8 \times 10^{-31}$
ঘ $10{\cdot}1 \times 10^{-31}$

১৬০। একটি প্রোটন ও ইলেকট্রনের ডি ব্রগলি তরঙ্গ দৈর্ঘ্য সমান হলে—
[RU Admission Test, 2022-23]

ক প্রোটনের গতিশক্তি বেশি
খ ইলেকট্রনের গতিশক্তি বেশি
গ উভয়ের গতিশক্তি সমান
ঘ উভয়ের গতিশক্তি অসীম

১৬১। আলোক তড়িৎ ক্রিয়া আলোর কোন ধর্ম ব্যাখ্যা করে? [Admission Test, BSMRSTU 2017-18; RU 2014-15]

ক কণা
খ তরঙ্গ
গ বিকিরণ
ঘ কোনোটিই নয়

উত্তর :

১। ঘ	২। খ	৩। গ	৪। ঘ	৫। খ	৬। গ	৭। খ	৮। ক	৯। খ	১০। গ
১১। ক	১২। গ	১৩। ঘ	১৪। গ	১৫। ক	১৬। গ	১৭। ঘ	১৮। ক	১৯। খ	২০। গ
২১। ক	২২। ঘ	২৩। খ	২৪। গ	২৫। গ	২৬। ক	২৭। গ	২৮। গ	২৯। খ	৩০। খ
৩১। ঘ	৩২। খ	৩৩। গ	৩৪। গ	৩৫। ঘ	৩৬। খ	৩৭। গ	৩৮। ক	৩৯। ক	৪০। ক
৪১। খ	৪২। খ	৪৩। ক	৪৪। খ	৪৫। ঘ	৪৬। গ	৪৭। খ	৪৮। ক	৪৯। গ	৫০। ক
৫১। খ	৫২। ঘ	৫৩। গ	৫৪। গ	৫৫। গ	৫৬। ঘ	৫৭। গ	৫৮। গ	৫৯। খ	৬০। গ
৬১। ক	৬২। ক	৬৩। গ	৬৪। খ	৬৫। গ	৬৬। খ	৬৭। ক	৬৮। গ	৬৯। গ	৭০। গ
৭১। ঘ	৭২। খ	৭৩। খ	৭৪। খ	৭৫। খ	৭৬। ক	৭৭। ঘ	৭৮। ক	৭৯। গ	৮০। ঘ
৮১। ক	৮২। খ	৮৩। গ	৮৪। গ	৮৫। ঘ	৮৬। ক	৮৭। ঘ	৮৮। ক	৮৯। খ	৯০। খ
৯১। ক	৯২। খ	৯৩। ঘ	৯৪। গ	৯৫। ক	৯৬। গ	৯৭। খ	৯৮। ঙ	৯৯। খ	১০০। ঘ
১০১। গ	১০২। ক	১০৩। ঘ	১০৪। ক	১০৫। ক	১০৬। ক	১০৭। গ	১০৮। খ	১০৯। খ	১১০। ক
১১১। ঘ	১১২। ঘ	১১৩। ক	১১৪। ঘ	১১৫। ঘ	১১৬। গ	১১৭। গ	১১৮। ক	১১৯। ক	১২০। গ
১২১। খ	১২২। খ	১২৩। খ	১২৪। খ	১২৫। ঘ	১২৬। খ	১২৭। ঘ	১২৮। খ	১২৯। খ	১৩০। গ
১৩১। গ	১৩২। খ	১৩৩। ঘ	১৩৪। ঙ	১৩৫। খ	১৩৬। খ	১৩৭। খ	১৩৮। খ	১৩৯। খ	১৪০। গ
১৪১। ঘ	১৪২। গ	১৪৩। ঘ	১৪৪। ঘ	১৪৫। ক	১৪৬। খ	১৪৭। ঘ	১৪৮। গ	১৪৯। গ	১৫০। খ
১৫১। গ	১৫২। ক	১৫৩। ক	১৫৪। ঘ	১৫৫। ক	১৫৬। ঘ	১৫৭। ক	১৫৮। খ	১৫৯। ঘ	১৬০। খ
১৬১। ক									

(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১। একটি যুদ্ধবিমানের চলমান দৈর্ঘ্য 180m এবং চলমান ভর 18000 kg। এটি কোনো স্থির পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে $18 \times 10^7\ ms^{-1}$ বেগে গতিশীল।

(ক) যুদ্ধ বিমানের স্থির দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকে উল্লিখিত যুদ্ধ বিমানের বেগ অর্ধেক করা হলে এর ভর স্থির ভরের দ্বিগুণ হবে কি না? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [ঢা. বো. ২০২১]

২। 50 বছর বয়সে একজন মহাশূন্যচারী মহাশূন্যযানে চড়ে মহাকাশ অভিযানে গেলেন এবং 30 বছর পর পৃথিবীতে ফিরে এলেন।

মহাশূন্যযানের ভর = 720 kg, মহাশূন্যযানের বেগ = $3{\cdot}72 \times 10^5\ ms^{-1}$, আলোর গতি = $3 \times 10^8\ ms^{-1}$।

(ক) পৃথিবীতে মহাশূন্যচারীর বয়স নির্ণয় কর।

(খ) মহাশূন্যযানের মূল ভরের পরিবর্তন কীরূপ হবে? গাণিতিক ব্যাখ্যা দাও। [য. বো. ২০১৭]

৩। 4000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো Na পৃষ্ঠে আপতিত হলে ফটো ইলেকট্রন নিগর্ত হয়। ফটো ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি পাওয়া যায় $0{\cdot}4\ eV$।

(ক) এই ইলেকট্রনকে থামাতে হলে Na পাতে কত মানের নিবৃত্তি বিভব প্রয়োগ করতে হবে ?

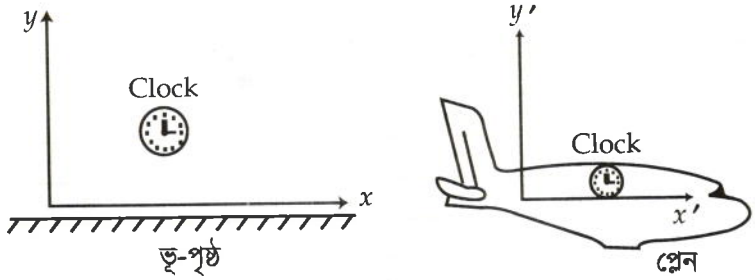
(খ) গাণিতিক যুক্তির সাহায্যে ব্যাখ্যা কর যে, সোডিয়াম পাতের ওপর আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক একটি নির্দিষ্ট মানের চেয়ে কম হলে কোনো ইলেকট্রন নির্গত হবে না। [দি. বো. ২০১৫]

৪। একজন গবেষক আলোর অর্ধেক বেগে গতিশীল করে একটি ইলেকট্রনের ভর পরিমাপ করলেন $1{\cdot}05 \times 10^{-30}$ kg। পরবর্তীতে তিনি শক্তি বৃদ্ধি করে ইলেকট্রনটিকে $2{\cdot}83 \times 10^8\ ms^{-1}$ বেগে নিক্ষেপ করলেন।

(ক) ইলেকট্রনটির নিশ্চল ভর নির্ণয় কর।

(খ) নিক্ষিপ্ত বেগে ইলেকট্রনটির মোট শক্তি, স্থির অবস্থায় শক্তির তিনগুণ পাওয়া সম্ভব কী? গাণিতিকভাবে মতামত দাও। [মাদরাসা বোর্ড ২০১৮]

৫।



(ক) প্লেনের ভর 720 kg। পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল অতিক্রমের পর 3.72×10^5 ms^{-1} বেগে গতিশীল অবস্থায় ভূপৃষ্ঠের বিজ্ঞানী প্লেনটিকে 30 দিন পর্যবেক্ষণ করলেন। বায়ুমণ্ডল অতিক্রমের পর প্লেনের ভর কত বাড়বে ?

(খ) প্লেনের বেগ কত হলে একই ঘটনার সময় ব্যবধান প্লেনে রক্ষিত ঘড়ির চেয়ে ভূপৃষ্ঠে রক্ষিত ঘড়িতে দ্বিগুণ হবে?

৬। গবেষণা কেন্দ্রের তিনজন গবেষকের বয়স যথাক্রমে 30 বছর, 40 বছর এবং 42 বছর। দ্বিতীয় গবেষক 2.4×10^8 ms^{-1} বেগে এবং তৃতীয় গবেষক 1.8×10^8 ms^{-1} বেগে মহাশূন্যযানে চড়ে ছায়াপথ অনুসন্ধানে গেলেন এবং গবেষণা শেষে পৃথিবীর পঞ্জিকা মতে 30 বছর পর পৃথিবীতে ফিরে এলেন। মহাশূন্যযানের দৈর্ঘ্য 100 m।

(ক) দ্বিতীয় গবেষকের সাপেক্ষে মহাশূন্যযানের গতিশীল অবস্থার দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(খ) দ্বিতীয় ও তৃতীয় গবেষক পৃথিবীতে ফিরে আসার পর গবেষক তিনজনের মধ্যে কার বয়স বেশি হবে? গাণিতিক মতামত দাও। [ম. বোর্ড ২০২১]

৭। একজন পর্যবেক্ষক একটি প্রসজ্জা কাঠামো হতে দেখল, 10 kg ভরের এবং 5m দৈর্ঘ্যের একটি বস্তু স্থির অবস্থা থেকে $0.8\ c$ বেগে চলছে। (যেখানে আলোর বেগ, $c = 3 \times 10^8$ ms^{-1})।

(ক) পর্যবেক্ষকের দৃষ্টিতে গতিশীল অবস্থার দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

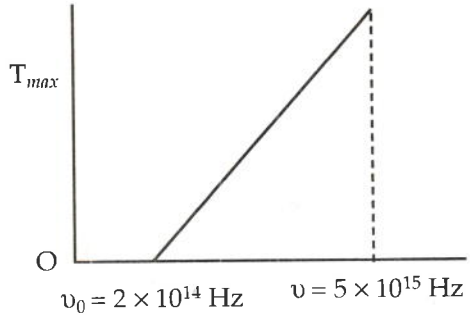
(খ) আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে প্রাপ্ত গতিশক্তি, নিউটনীয় বলবিদ্যা হতে প্রাপ্ত গতিশক্তি থেকে ভিন্ন—গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা দাও। [মাদরাসা বোর্ড ২০১৭]

৮। 30 বছর বয়সী একজন নভোচারী একটি রকেটে চড়ে নতুন গ্রহের অনুসন্ধানে গেল। রকেটটিকে এমন বেগে চালানো হলো যেন তার গতিশীল দৈর্ঘ্য নিশ্চল অবস্থার দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হয়। অনুসন্ধান শেষে উক্ত নভোচারী রকেটের ক্যালেন্ডার অনুযায়ী 30 বছর পর ফিরে আসল।

(ক) রকেটটি কত বেগে চলছিল? নির্ণয় কর।

(খ) আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে পৃথিবীতে ফিরে আসার পর পৃথিবীর ক্যালেন্ডার অনুসারে উক্ত নভোচারীর বয়স একই থাকবে কি না? গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে মন্তব্য কর। [রা. বো. ২০২১]

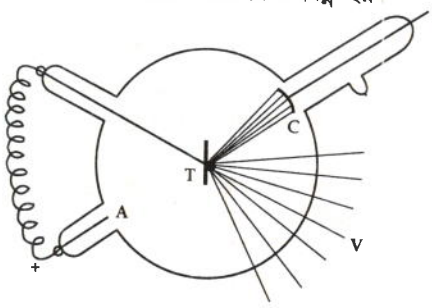
৯। নিচের চিত্রে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন করা হয়েছে।



(ক) কোনো পদার্থের কার্য অপেক্ষক 1.85 eV হলে ওই পদার্থের কম্পাঙ্ক এবং সর্বোচ্চ গতিশক্তি কত হবে ?

(খ) উদ্দীপকের কম্পাঙ্ক υ_0 হতে υ তে পরিবর্তন করলে নিবৃত্তি বিভবের কীরূপ পরিবর্তন হবে ?

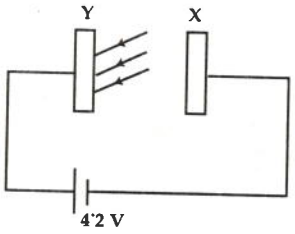
১০। নিচের চিত্রে একটি গ্যাস নল দেখানো হয়েছে। এটি বিশেষ ধরনের গ্যাস নল। এতে C ক্যাথোড, A অ্যানোড। নলে নিম্ন বায়ু চাপে এবং ক্যাথোড ও অ্যানোডের মধ্যে অতি উচ্চ বিভব পার্থক্য প্রয়োগে এক্স-রে উৎপন্ন হয়।



(ক) উদ্দীপকের ক্যাথোড ও অ্যানোডের মধ্যে 7 kV বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করলে স্থির অবস্থা থেকে একটি ইলেকট্রন যে চূড়ান্ত বেগ প্রাপ্ত হবে তার মান নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকে সৃষ্ট এক্স-রের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য যদি 0·25 nm হয় এবং কোনো লক্ষ্যবস্তুকে আঘাত করে 60° কোণে বিক্ষিপ্ত হলো। সেখানে ইলেকট্রনের নিশ্চল ভর $9·1 \times 10^{-31}$ kg এবং প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক $6·63 \times 10^{-34}$ Js। বিক্ষিপ্ত এক্স-রশ্মিটির শক্তি আপতিত রশ্মিটির চেয়ে সামান্য কম—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করে এর সত্যতা যাচাই কর।

১১।



শূন্য মাধ্যমে একই রকমের দুটি ধাতব পাত X ও Y পরস্পর থেকে 4 cm দূরে অবস্থিত। Y পাত থেকে ইলেকট্রন নির্গত হয়ে সরাসরি X পাতের দিকে গতিশীল হয়। Y পাতের কার্য অপেক্ষক 1·85 eV। দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা 4000 Å থেকে 8000 Å।

(ক) উদ্দীপকের উপাত্ত ব্যবহার করে সূচন কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।

(খ) দৃশ্যমান আলোর সাহায্যে Y পাত থেকে নির্গত ইলেকট্রন X পাতে পৌঁছাতে পারবে কি না —বশ্লেষণ কর। [রা. বো. ২০১৬]

১২। হাবু 4×10^{15} Hz কম্পাঙ্কের কোনো বিকিরণ কোনো ধাতব পাতের ওপর আপতিত করেন। তিনি পরীক্ষা করে দেখেন সেক্ষেত্রে সর্বোচ্চ $3·6 \times 10^{-19}$ J শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন নির্গত হয়। লাবু একই কম্পাঙ্কের বিকিরণ অন্য ধাতব পাতে আপতিত করেন। নতুন ধাতব পাতের সর্বোচ্চ শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন শক্তি পূর্বের অর্ধেক।

(ক) হাবু যে ধাতব পাত ব্যবহার করেছিল তার সূচন কম্পাঙ্ক কত ছিল ?

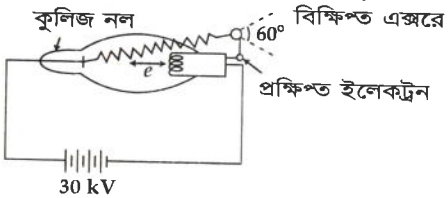
(খ) লাবু পরীক্ষা শেষে বলেন "তার ব্যবহৃত ধাতব পাত থেকে ইলেকট্রন নির্গত হয় নি"—তার মতামতের সাথে তোমার মতামতের মিল বা অমিল বিশ্লেষণ কর।

১৩। কোনো ধাতুর ওপর 2500 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতিবেগুনি রশ্মি ফেলা হলো। ধাতুর কার্য অপেক্ষক 2·3 eV।

(ক) নিঃসৃত ফটো ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ বেগ কত ?

(খ) উদ্দীপকের তথ্য হতে আপতিত ফোটনের কম্পাঙ্ক বনাম গতিশক্তির লেখচিত্র অঙ্কনপূর্বক লেখটি কম্পাঙ্ক অক্ষকে ছেদ করার কারণ ব্যাখ্যা কর। [ব. বো. ২০১৭]

১৪। নিম্নে একটি ব্যবস্থা দেখানো হলো যেখানে কুলিজ নল থেকে উৎপন্ন X-রশ্মি ধাতুর পাশ দিয়ে যাওয়ার সময় 60° কোণে বিক্ষিপ্ত হচ্ছে। এখানে, $m = 9·1 \times 10^{-31}$ kg, $h = 6·63 \times 10^{-34}$ Js.



(ক) কুলিজ নল থেকে নির্গত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(খ) বিক্ষিপ্ত ফোটন ও প্রক্ষিপ্ত ইলেকট্রনের ভরবেগের তুলনা কর। [সি. বো. ২০১৭]

১৫। উদ্দীপকটি পড় এবং নিচের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও।

একটি ধাতুর ওপর 2500 Å এবং 3500 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট দুটি তড়িচ্চৌম্বক তরঙ্গ আলাদাভাবে ফেলা হলো। ফলে দুটা ক্ষেত্রেই ধাতব পৃষ্ঠ হতে ইলেকট্রন নির্গত হলো। ধাতুটির সুচন কম্পাঙ্ক 5.5×10^{14} Hz।

(ক) ধাতুটির কার্য অপেক্ষক নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকে আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য উভয় ক্ষেত্রে নিবৃত্তি বিভবের তুলনামূলক বিশ্লেষণ কর। [সি. বো. ২০১৫]

১৬। ধর 370 আলোক বর্ষ দূরে অবস্থিত প্রাণীর বসবাস উপযোগী একটি গ্রহের সন্ধান পেয়ে নাসার বিজ্ঞানীরা 50 বছর বয়সী একটি কাছিমকে $0.7\ c$ বেগে চলমান নভোযানে করে ওই গ্রহের উদ্দেশ্যে পাঠায়। কাছিমের ভর 30 kg এবং গড় আয়ু 450 বছর। 1 আলোক বর্ষ $= 9.46 \times 10^{15}$ m।

(ক) চলন্ত অবস্থায় কাছিমের শক্তি নির্ণয় কর।

(খ) কাছিমটি জীবিত অবস্থায় ওই গ্রহে পৌঁছাতে সক্ষম হবে কিনা ? যাচাই কর। [য. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); ঢা. বো. ২০১৭]

১৭। পদার্থবিজ্ঞান পরীক্ষাগারে হাসান সাহেব 1 m দৈর্ঘ্যের ধাতব বস্তুর ঘনত্ব নির্ণয় করলেন 19.3×10^3 kg m^{-3}। অন্যদিকে লাবনী বস্তুটির দৈর্ঘ্য বরাবর $0.9\ c$ বেগে গতিশীল কাঠামো হতে বস্তুটির ঘনত্ব নির্ণয় করলেন।

(ক) গতিশীল কাঠামোতে ধাতব বস্তুটির দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(খ) হাসান সাহেব ও লাবনী ধাতব বস্তুটির ঘনত্ব একই পাবে কী ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [ম. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০১৬]

১৮। দস্তার কার্য অপেক্ষক 3.7 eV। দস্তার সূচন কম্পাঙ্ক 9×10^{14} Hz।

(ক) প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক নির্ণয় কর।

(খ) নিচে কয়েকটি আলোক সংবেদী ধাতুর কার্য অপেক্ষক দেওয়া আছে :

Na —— 1.92 eV

K —— 2.15 eV

Mo —— 4.17 eV

যদি প্রত্যেকটি ধাতুকে 300 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক দ্বারা আলোকিত করা হয় তবে তাদের মধ্য হতে কোনটি ফটো-ইলেকট্রন নিঃসরণ করবে না এবং কেন ? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে মতামত দাও।

১৯। 190 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর সাহায্যে কোনো ধাতু থেকে ইলেকট্রন নিঃসরণ ঘটানো হলো। ধাতুর কার্য অপেক্ষক 3 eV।

(ক নিঃসৃত ইলেকট্রনের সর্বাধিক গতিশক্তি কত ?

(খ) নিঃসৃত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিবেগ, ধাতবপৃষ্ঠের সমান্তরালে 6×10^{-5} T প্রাবল্যের চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে ধাতবপৃষ্ঠ থেকে সমকোণে নিঃসৃত সর্বোচ্চ গতিবেগের ইলেকট্রনের গতিপথের ব্যাসার্ধ কত ?

২০। একখণ্ড ধাতুর ওপর 2800 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যর এবং 5.55×10^{14} Hz সূচন কম্পাঙ্কের আলো পতিত হলে ধাতু থেকে ফটোইলেকট্রন নির্গত হয়।

(ক) নির্গত ফটোইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিবেগ নির্ণয় কর।

(খ) ধাতু খণ্ডের ওপর 3800Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো আপতিত হলে ইলেকট্রন নির্গত হবে কি না? গাণিতিক-ভাবে বিশ্লেষণ কর। [ঢা. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); চ. বো. ২০২২; দি. বো. ২০১৯]

২১। 1 m লম্বা একটি ধাতব বস্তুর ঘনত্ব পৃথিবীর পৃষ্ঠে 1.8×10^4 kgm^{-3}। বস্তুটিকে একটি বিশেষ যন্ত্রের মাধ্যমে দৈর্ঘ্য বরাবর $0.9c$ বেগে গতিশীল করা হলো।

(ক) গতিশীল অবস্থায় বস্তুটির দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(খ) গতিশীল বস্তুটির ঘনত্ব কী পরিমাণ বাড়বে বা কমবে গাণিতিকভাবে যাচাই কর। [কু. বো. ২০১৯]

(গ) সংক্ষিপ্ত-উত্তর প্রশ্ন

১। জড় প্রসঙ্গ কাঠামো কী ? [ঢা. বো. ২০২২, ২০১৬; কু. বো. ২০২১; য. বো. ২০২১; ব. বো. ২০২১; সি. বো. ২০২১]

২। আলোক তড়িৎ ক্রিয়া কাকে বলে ? [রা. বো. ২০১৬; কু. বো. ২০১৫]

৩। কাল দীর্ঘায়ন কী ? [দি. বো. ২০২২, ২০১৭; রা. বো. ২০২১; কু. বো. ২০১৯; য. বো. ২০১৬; ব. বো. ২০১৫]

৪। দৈর্ঘ্য সংকোচন কাকে বলে ? [সি. বো. ২০২৩; ম. বো. ২০২৩; কু. বো. ২০২২; চ. বো. ২০২২; য. বো. ২০১৯; চ. বো. ২০১৬]

৫। এক্স-রে কী ? [দি. বো. ২০২৩, ২০১৬]
৬। সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য কাকে বলে ? [ঢা. বো. ২০১৫]
৭। ফটো তড়িৎ ক্রিয়ার সংজ্ঞা দাও। [কু. বো. ২০২২; ব. বো. ২০২২; চ. বো. ২০১৫]
৮। মৌলিক বল কী ? [কু. বো. ২০১৫]
৯। কাল দীর্ঘায়ন কাকে বলে ? [রা. বো. ২০১৫]
১০। অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো কী ? [ঢা. বো. ২০২৩]
১১। আপেক্ষিকতা কী ?
১২। ভরের আপেক্ষিকতা বলতে কী বোঝ ? [চ. বো. ২০২২, ২০২১; ব. বো. ২০২২; ঢা. বো. ২০২১]
১৩। সূচন কম্পাঙ্ক কাকে বলে ? [চ. বো. ২০২৩; ম. বো. ২০২৩; য. বো. ২০২২; ঢা. বো. ২০১৯; কু. বো. ২০১৭]
১৪। নিবৃত্তি বিভব বলতে কী বোঝ ? [ঢা. বো. ২০১৯; রা. বো. ২০১৮; কু. বো. ২০১৮; য. বো. ২০১৮; ব. বো. ২০১৮; চ. বো. ২০১৮]
১৫। ফোটন কাকে বলে ? [ব. বো. ২০১৯]
১৬। এক্স-রশ্মির একক কী ?
১৭। কার্য অপেক্ষক কী ? [ব. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০১৭]
১৮। তরঙ্গ কণা দ্বৈততা কী ?
১৯। ডি ব্রগলি তরঙ্গ কী ? [সি. বো. ২০২২]
২০। গুচ্ছ বেগ কী ?
২১। দশা বেগ কী ?
২২। কম্পটন ক্রিয়া কী ?
২৩। আপেক্ষিকতার সাধারণ তত্ত্ব কী ?
২৪। আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব কাকে বলে ?
২৫। আপেক্ষিকতার প্রথম স্বীকার্য বিবৃত কর। [রা. বো. ২০২২]
২৬। আপেক্ষিকতার দ্বিতীয় স্বীকার্য বিবৃত কর। [য. বো. ২০২২]
২৭। পারমাণবিক ভর একক বলতে কী বোঝ ? [সি. বো. ২০১৭]
২৮। কোমল এক্স-রে কী ?
২৯। কঠিন এক্স-রে কাকে বলে ?
৩০। ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য কী ?
৩১। কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য কী ?

(ঘ) কাঠামোবদ্ধ ও বর্ণনামূলক প্রশ্ন

১। মাইকেলসন-মর্লির পরীক্ষার ফলাফল বর্ণনা কর।
২। আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতার বিশেষ স্বীকার্যগুলো লিখ। [দি. বো. ২০২২]
৩। লরেঞ্জ রূপান্তর সমীকরণগুলি লিখ।
৪। আপেক্ষিকতার তত্ত্ব অনুসারে কাল দীর্ঘায়ন ব্যাখ্যা কর।
৫। আইনস্টাইনের ভর শক্তি সম্পর্কে প্রতিষ্ঠা কর।
৬। কাল দীর্ঘায়নের সমীকরণটি লিখ।
৭। দৈর্ঘ্য সংকোচনের সমীকরণটি লিখ।
৮। প্লাঙ্কের কাল বস্তু বিকিরণ ব্যাখ্যায় চিরায়ত বলবিদ্যার ব্যর্থতা আলোচনা কর।
৯। মৌলিক বল কী ? এই বল কোথায় কোথায় কার্যকর হয় ?
১০। কোনো ধাতুর ফটো তড়িৎ ক্রিয়া তার সূচন কম্পাঙ্কের ওপর নির্ভরশীল।—ব্যাখ্যা কর। [ঢা. বো. ২০১৬]
১১। ইলেকট্রনের তাপীয় নিঃসরণ ও ফটো তড়িৎ নিঃসরণের মধ্যে দুটি পার্থক্য উল্লেখ কর। [চ. বো. ২০১৬]
১২। ঘূর্ণনশীল কাঠামো জড় প্রসঙ্গ কাঠামো নয়—ব্যাখ্যা কর। [ব. বো. ২০১৬]
১৩। এক্স-রে চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয় না—ব্যাখ্যা কর। [সি. বো. ২০১৬]
১৪। ইলেকট্রনের কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য $0.02468\ \mathring{A}$ বলতে কী বুঝায় ? [ঢা. বো. ২০১৫]
১৫। কোনো একটি ধাতুর কার্য অপেক্ষক $2.31\ eV$ বলতে কী বুঝায়—ব্যাখ্যা কর। [চ. বো. ২০১৫]
১৬। ভর শক্তিতে রূপান্তরিত হয়, ব্যাখ্যা কর। [ব. বো. ২০১৫]
১৭। মাইকেলসন–মর্লি পরীক্ষা থেকে কী কী সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায় ?
১৮। আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের স্বীকার্যগুলি ব্যাখ্যা কর।
১৯। লরেঞ্জ রূপান্তর সূত্র যে দুটি স্বীকার্যের ওপর প্রতিষ্ঠিত তা ব্যাখ্যা কর।
২০। লরেঞ্জ রূপান্তর সমীকরণগুলো লিখ।
২১। কোনো ঘড়িকে গতিশীল রাখলে স্থিতিশীল অবস্থার চাইতে ধীরে চলবে—ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৭]

২২। আপেক্ষিক তত্ত্বের সাহায্যে দেখাও যে কোনো বস্তুর বেগ আলোর বেগের সমান হতে পারে না। [কু. বো. ২০২১; য. বো. ২০২১, ২০১৯, ২০১৭; ব. বো. ২০২১; ম. বো. ২০২১]

২৩। স্থির ভরশক্তি ব্যাখ্যা কর।

২৪। মৌলিক বলগুলো কী কী —ব্যাখ্যা কর।

২৫। বলের একীভূতকরণ ব্যাখ্যা কর।

২৬। একটি রকেট কত বেগে চললে এর দৈর্ঘ্য সংকুচিত হয়ে নিশ্চল দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হবে ?

২৭। কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণ ব্যাখ্যায় চিরায়ত পদার্থবিজ্ঞানের ব্যর্থতা পরিলক্ষিত হয়—ব্যাখ্যা কর।

২৮। এক্স-রশ্মি, গামা রশ্মি দ্বারা আলোক তড়িৎ ক্রিয়া ঘটানো সম্ভব কী ? ব্যাখ্যা কর।

২৯। আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় উৎপন্ন ইলেকট্রনের গতিশক্তি আপতিত ফোটনের চেয়ে কম হয় কেন ? ব্যাখ্যা কর।

৩০। কণিকা তরঙ্গ কী তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ ? ব্যাখ্যা কর।

৩১। এক্স-রশ্মির ধর্ম উল্লেখ কর।

৩২। এক্সরে উৎপাদন পদ্ধতি ও এর ধর্ম বর্ণনা কর।

৩৩। তরঙ্গ-কণা দ্বৈততা কাকে বলে ? [সি. বো. ২০২১] গ্রুপ বেগ ও দশা বেগ কী ?

৩৪। হাইসেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি কী ব্যাখ্যা কর।

৩৫। কম্পটন ক্রিয়া কী ? কম্পটন বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের মান কত ?

৩৬। ডি ব্রগলির কণিকা তরঙ্গের ধারণাটি শুধু পারমাণবিক পর্যায়ের কণার ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য—ব্যাখ্যা কর।

৩৭। কম্পটন ক্রিয়ায় বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য সর্বদা আপতিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা বড় হয়—ব্যাখ্যা কর।

৩৮। নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে ইলেকট্রন থাকতে পারে না—অনিশ্চয়তা নীতি দ্বারা ব্যাখ্যা কর।

৩৯। কোনো ধাতুর সূচন কম্পাঙ্ক $6{\cdot}1 \times 10^{14}$ Hz — ব্যাখ্যা কর। [কু. বো. ২০২২; ঢা. বো. ২০১৭]

৪০। একই বেগে গতিসম্পন্ন প্রোটন ও ইলেকট্রনের মধ্যে ইলেকট্রনের ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি কেন ? [ব. বো. ২০২২; চ. বো. ২০১৭]

৪১। সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা বেশি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ধাতব পৃষ্ঠে আপতিত হলে ইলেকট্রন নির্গত হয় না কেন ? [ব. বো. ২০১৭]

৪২। L_0 দৈর্ঘ্যের কোনো বস্তুকে আলোর বেগে মহাশূন্যে পাঠালে এর দৈর্ঘ্যের কীরূপ পরিবর্তন হবে ? [ম. বো. ২০২১; সি. বো. ২০১৭]

৪৩। ফটো তড়িৎ ক্রিয়া ব্যাখ্যায় প্ল্যাঙ্কের তত্ত্বের প্রয়োজন কেন ? ব্যাখ্যা কর। [দি. বো. ২০১৭]

৪৪। দৃশ্যমান আলোক অপেক্ষা এক্স রশ্মির শক্তি বেশি কেন ?

৪৫। সকল কম্পাঙ্কের আলোর জন্য ফটো তড়িৎ ক্রিয়া সম্পন্ন হয় না—ব্যাখ্যা কর। [সি. বো. ২০১৯]

(ঙ) ক্রিয়াকর্ম

আইনস্টাইনের আপেক্ষিক তত্ত্বের উপর একটি প্রতিবেদন রচনা কর এবং এই তত্ত্বের পক্ষে ও বিপক্ষে তোমার মতামত ব্যক্ত কর।

(চ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। ভিন্ন গ্রহের একটি নভোযান $0{\cdot}6\ c$ গতিতে বুয়েট ফুটবল মাঠের দৈর্ঘ্য বরাবর অতিক্রম করে। ফুটবল মাঠটি 110 মিটার লম্বা এবং 50 মিটার প্রশস্ত। নভোযানের ভিন্ন গ্রহবাসীর পরিমাপ অনুযায়ী ফুটবল মাঠটির দৈর্ঘ্য ও প্রস্থ কত হবে ? [উ. 88 m এবং 50 m] [ঢা. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন); BUET Admission Test, 2009-10]

২। 10 a.m.u. সমতুল্য শক্তি eV-তে প্রকাশ কর। [উ. $9{\cdot}34 \times 10^9\ e$V]

৩। একটি রকেট কত বেগে চললে এর দৈর্ঘ্য সংকুচিত হয়ে নিশ্চল দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হবে ? [উ. $2{\cdot}598 \times 10^8\ ms^{-1}$]

৪। একজন মহাশূন্যচারী 40 বছর বয়সে $1{\cdot}8 \times 10^8\ ms^{-1}$ বেগে ধাবমান মহাকাশ যানে চড়ে ছায়াপথ অনুসন্ধানে গেলেন। 10 বছর পর পৃথিবীতে ফিরে আসলেন; তাঁর বর্তমান বয়স কত ? [উ. 48 বছর]

৫। একজন মহাশূন্যচারী 25 বছর বয়সে $1{\cdot}8 \times 10^8\ ms^{-1}$ বেগ গতিশীল একটি মহাশূন্যযানে চড়ে মহাকাশ ভ্রমণে গেলেন। পৃথিবীর হিসেবে তিনি 30 বছর মহাকাশে কাটিয়ে এলেন। তার বয়স কত ? [উ. 49 বছর] [BUET Admission Test, 2008-09]

৬। আলোর অর্ধেক বেগে গতিশীল একটি ইলেকট্রনের ভর কত হবে ? [উ. $\frac{2}{\sqrt{3}} m_0$] [BUET Admission Test, 2009-10]

৭। 3000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতি বেগুনি আলোর প্রতিটি ফোটনের শক্তি eV এককে প্রকাশ কর। [উ. $4{\cdot}1\ e$V]

৮। একটি ফোটনের শক্তি 1·77eV, ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উ. 7023 Å]

৯। একটি ইলেকট্রনের বেগ $3·8 \times 10^6$ ms^{-1} হলে এর গতিশক্তি ইলেকট্রন ভোল্ট এককে প্রকাশ কর।
[$m = 9·1 \times 10^{-31}$ kg, $1\ eV = 1·6 \times 10^{-19}$ J] [উ. 41 eV]

১০। 7kV বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করলে স্থির অবস্থা থেকে একটি ইলেকট্রন যে চূড়ান্ত বেগ প্রাপ্ত হবে তার মান নির্ণয় কর। [উ. $4·96 \times 10^7$ ms^{-1})

১১। কত ভোল্ট বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করলে স্থির অবস্থা থেকে একটি ইলেকট্রন 5×10^7 ms^{-1} চূড়ান্ত বেগ প্রাপ্ত হবে? [উ. 7·1 kV]

১২। 1 g ভরের সমতুল্য শক্তির পরিমাণ (i) জুলে নির্ণয় কর, (ii) MeV-তে নির্ণয় কর, (iii) eV-তে প্রকাশ কর।
[উ. (i) 9×10^{13} J (ii) $5·625 \times 10^{26}$ MeV (iii) $9·34 \times 10^9$ eV]

১৩। ইলেকট্রনের বেগ আলোর বেগের 0·2 গুণ হলে, এর সাথে সংশ্লিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উ. 1·21 Å]

১৪। একটি ইলেকট্রনকে 150 V বিভব পার্থক্যের মধ্য দিয়ে পাঠানো হলে এর সঙ্গে সংশ্লিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত? [উ. 1·004 Å]

১৫। একটি 60 W এর বাল্ব হতে সবুজ আলো বিকীর্ণ হচ্ছে। বাল্বটির তড়িৎ শক্তির মাত্র 2% যদি আলোক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়, তবে প্রতি সেকেন্ডে বাল্বটি হতে কত সংখ্যক ফোটন নির্গত হয় বের কর। (সবুজ আলোর $\lambda = 5550 \times 10^{-10}$ m) [উ. $3·35 \times 10^{18}$ টি] [RUET Admission Test, 2012-13]

১৬। 10 kV বিভব পার্থক্যের মধ্য দিয়ে ইলেকট্রনগুলি ত্বরান্বিত হয়ে টেলিভিশনের পর্দায় আছড়ে পড়ে। নির্গত তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের সর্বোচ্চ কম্পাঙ্ক কত হতে পারে? এই তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের প্রকৃতিই বা কী?
[উ. $2·4 \times 10^{18}$ Hz; X-রশ্মি]

১৭। একটি ইলেকট্রন ও একটি ফোটনের প্রতিটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য 1·00 nm। (i) এদের ভরবেগ ও (ii) শক্তি নির্ণয় কর। [উ. ইলেকট্রন ও ফোটন উভয়ের ভরবেগ = $6·26 \times 10^{-25}$ gms^{-1}; ফোটনের শক্তি = 1·24 KeV এবং ইলেকট্রনের গতিশক্তি = 1·51 eV]

১৮। একটি অতি বেগুনি আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 3×10^{-5} cm; সংশ্লিষ্ট ফোটন কণার শক্তি eV এককে কী হবে ?
[উ. 4·14 eV]

১৯। কত তাপমাত্রায় কোনো গ্যাসের গতিশক্তি 6000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটনের শক্তির সমান হবে ? দেওয়া আছে, $K = 1·3 \times 10^{-23}$ Jk^{-1}, $h = 6·62 \times 10^{-34}$ Js [উ. 16000 K]

২০। 22 eV শক্তিবিশিষ্ট একটি ইলেকট্রনের সঙ্গে একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর ধাক্কা লাগায় পরমাণুটি উচ্চতর শক্তিতে উদ্দীপিত হলো এবং ইলেকট্রনের গতি কমে গেল। পর মুহূর্তে পরমাণু হতে 1216 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি ফোটন বের হলো। ধাক্কা লাগার পর ইলেকট্রনের গতিবেগ কত হলো ? [উ. $2·037 \times 10^6$ ms^{-1}]

২১। একটি এক্স-রশ্মি নল হতে 60 kV-এ চালনা করলে সর্বোচ্চ কত কম্পাঙ্কের এক্স-রশ্মি বর্ণালি উৎপন্ন হবে? [$h = 6·63 \times 10^{-34}$ J–s ও $e = 1·6 \times 10^{-19}$ C] [উ. $1·448 \times 10^{19}$ Hz]

২২। একটি গতিশীল কণার মোট শক্তি এর স্থিরাবস্থার শক্তির 2·5 গুণ হলে বস্তুটির দ্রুতি কত?
[উ. $2·75 \times 10^8$ ms^{-1}]

২৩। একটি বস্তু কণার ভর $9·1 \times 10^{-28}$ kg। এর পুরোটাই শক্তিতে রূপান্তরিত করা হলো। কী পরিমাণ শক্তি পাওয়া যাবে। (আলোর দ্রুতি $c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}) [উ. $8·19 \times 10^{-11}$ J]

২৪। 632·8 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণী আলো He-Ne লেজার উৎপন্ন করে। এর ক্ষমতা 9·42 mW; (i) প্রতিটি ফোটনের শক্তি কত? (ii) লক্ষ্যবস্তুর ওপর প্রতি সেকেন্ডে কত ফোটন আপতিত হয়?
[উত্তর : $3·14 \times 10^{-19}$ J, 3×10^{16}/sec]

২৫। একটি প্রোটন $2·4 \times 10^8$ ms^{-1} বেগে চললে এর গতিশক্তি কত হবে ? সনাতন গতিশক্তির সাথে এই মানের তুলনা কর। (প্রোটনের স্থিরাবস্থার ভর $1·7 \times 10^{-27}$ kg) [উ. $1·02 \times 10^{-10}$ J, 2·082 : 1]

২৬। একটি এক্স-রে নলে সর্বনিম্ন কত ভোল্টেজ প্রয়োগ করলে 1·1Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যে এক্স-রে পাওয়া যাবে ?
[$e = 1·6 \times 10^{-19}$C, $h = 6·63 \times 10^{-34}$ Js] [উ. 11·3 kV]

২৭। টাংস্টেনের আলোক-তড়িৎ নিঃসরণের প্রারম্ভিক তরঙ্গদৈর্ঘ্য 2300 Å। কত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক আপতিত হলে সর্বোচ্চ 1·5 eV শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন নির্গত হবে ?
[$h = 6·63 \times 10^{-34}$ J–s ও $1\ eV = 1·6 \times 10^{-19}$J] [উ. $1·8 \times 10^{-7}$ m]

২৮। $7·5 \times 10^{14}$ Hz কম্পাঙ্কের বিকিরণ কোনো ধাতব পৃষ্ঠে আপতিত হলে সর্বোচ্চ 0·4eV শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন নির্গত হয়। ওই ধাতুর সূচন কম্পাঙ্ক কত ? [উ. $6·535 \times 10^{14}$ Hz]

২৯। কোনো ধাতুর সূচন কম্পাঙ্ক 5000Å। ইলেকট্রন ভোল্টে এর কার্য অপেক্ষক বের কর। ধাতুটিকে যদি 4000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো দ্বারা আলোকিত করা হয়, তবে নিঃসৃত ইলেকট্রনের গতিশক্তি কত ?
[উ. 2·49 eV, 0·62 eV]

৩০। একটি ধাতব পৃষ্ঠ হতে নিঃসৃত ইলেকট্রনের সর্বাধিক বেগ কত হলে নিবৃত্তি বিভব পার্থক্য 0·9 V হবে ?
[$m = 9·1 \times 10^{-31}$ kg ও $e = 1·6 \times 10^{-19}$ C] [উ. $5·625 \times 10^5$ ms^{-1}]

৩১। 5000Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো কোনো ধাতব পৃষ্ঠে আপতিত হলে যে ইলেকট্রন নির্গত হয় তার সর্বোচ্চ গতিশক্তির মান 0·6 eV। ওই ধাতুর কার্য অপেক্ষক নির্ণয় কর। [উ. 1·887 eV]

৩২। কোনো ধাতব পৃষ্ঠে আলোক রশ্মি আপতিত হওয়ায় নিঃসৃত ইলেকট্রন সম্পূর্ণরূপে থামাতে 3 V বিরতি বিভব এর প্রয়োজন হয়। উক্ত ধাতুর আলোক তড়িৎ ক্রিয়া 6×10^{14} Hz কম্পাঙ্কের আলোক রশ্মি দ্বারা সূচিত হয়। আপতিত আলোক রশ্মির কম্পাঙ্ক ও ধাতুর কার্য অপেক্ষক নির্ণয় কর। [$h = 6·63 \times 10^{-34}$ Js, $e = 1·6 \times 10^{-19}$ C, 1 eV = $1·6 \times 10^{-19}$ J] [উ. $1·324 \times 10^{15}$ Hz; 2·49 eV] [BUET Admission Test, 2003-04]

৩৩। কোনো ধাতব পাতের কার্য অপেক্ষক 4 eV। এর ওপর 10^{15} Hz কম্পাঙ্কের আলোকরশ্মি আপতিত হলে উক্ত ধাতব পাত হতে কোনো ইলেকট্রন নিঃসৃত হবে কী ? যদি ইলেকট্রন নিঃসৃত হয় তবে কত গতি নিয়ে ইলেকট্রন নিঃসৃত হতে পারে ? [উ. হ্যাঁ ইলেকট্রন নিঃসৃত হবে; $2·24 \times 10^5$ ms^{-1}] [CUET Admission Test, 2008-09]

৩৪। কোনো একটি 1·8 eV কার্য অপেক্ষকবিশিষ্ট ধাতুতে 400 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট আলো আপতিত হলে:
(ক) নির্গত হওয়া ইলেকট্রনগুলোর নিবৃত্তি বিভব কত হবে ?
(খ) নির্গত ইলেকট্রনগুলোর সর্বোচ্চ গতিবেগ কত ? [উ. (ক) 3·1 eV (খ) $6·7767 \times 10^5$ ms^{-1}]
[BUET Admission Test, 2014-15]

৩৫। একটি ধাতুর কার্য অপেক্ষক 4 eV। সর্বোচ্চ কত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিকিরণ এই ধাতুটি থেকে ফটো ইলেকট্রনের নিঃসরণ ঘটাতে পারবে ? [উ. 3100 Å]

৩৬। আপতিত আলোর দুটি ভিন্ন কম্পাঙ্কের জন্য কোনো ধাতু পৃষ্ঠের নিবৃত্তি বিভবের অনুপাত 1 : 4। ফটো ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ বেগের অনুপাত কত? [উ. 1 : 2]

৩৭। A, B, C ধাতু তিনটির কার্য অপেক্ষক যথাক্রমে 1·96 eV, 2·5 eV এবং 5·1 eV। 4100 Å এর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ফেলা হলে কোন কোন ধাতু থেকে ফটোইলেকট্রন নির্গত হবে?
[উ. A ও B ধাতু দুটি হতে নির্গত হবে]

৩৮। দুটি ধাতব পৃষ্ঠের কার্য অপেক্ষকের অনুপাত 1 : 2। প্রথম ধাতুর ক্ষেত্রে আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6000Å হলে, দ্বিতীয় ধাতুর ক্ষেত্রে তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ? [উ. 3000 Å]

৩৯। কোনো ধাতুর কার্য অপেক্ষক 2 eV। 4150 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ধাতুপৃষ্ঠে আপতিত হলে নিঃসৃত ফটো ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি 1 eV হয়। ওই ধাতুপৃষ্ঠের আলোক তড়িৎ প্রবাহের প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ?
[উ. 6225 Å]

৪০। 10^{-8} Wm^{-2} প্রাবল্যের $36·5 \times 10^{-8}$ m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একটি রশ্মিগুচ্ছের আলোক একটি তলের ওপর লম্বভাবে আপতিত হলো। ওই তলের শোষণ গুণাঙ্ক 0·8 এবং কার্য অপেক্ষক 1·6 eV। (ক) প্রতি বর্গমিটার ক্ষেত্রফলে ইলেকট্রন উৎপন্নের হার, (খ) প্রতি বর্গমিটারে শোষিত শক্তি, (গ) উৎপন্ন ইলেকট্রনের গতিশক্তি নির্ণয় কর।
[উ. (ক) $14·7 \times 10^9$ টি (খ) 2×10^{-9} watt m^{-2} (গ) 1·8 eV]

৪১। দস্তার কার্য অপেক্ষক 3·6 eV। দস্তার প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক 9×10^{14} Hz হলে প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবকের মান নির্ণয় কর। [উ. $6·4 \times 10^{-34}$ Js]

৪২। তামার কার্য অপেক্ষক 4·4 eV। এক খণ্ড তামার ওপরে দৃশ্যমান আলো ফেলা হলে ফটো ইলেকট্রন নিঃসৃত হবে কী ? (দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা 4000 Å থেকে 7500 Å)
[উ. সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা কম, তাই এক্ষেত্রে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া ঘটবে না]

৪৩। নির্ধারিত তরঙ্গের একটি বিকিরণ কোনো ধাতব পৃষ্ঠের ওপর আপতিত হলে নিবৃত্ত বিভবের মান 4·8 V হয়। উক্ত ধাতব পৃষ্ঠে দ্বিগুণ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একটি বিকিরণ আপতিত হলে নিবৃত্ত বিভবের মান 1·6 V পাওয়া যায়। ধাতব পৃষ্ঠটির সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রথমে আপতিত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সাপেক্ষে কত হবে? [উ. 4]

৪৪। সিজিয়ামের কার্য অপেক্ষক 1·9 eV হলে (i) সূচন কম্পাঙ্ক কত? (ii) আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 4000Å হলে নির্গত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি কত? [উত্তর : (i) $4·58 \times 10^{14}$ Hz, (ii) 1·203 eV]

৪৫। কোনো আলোক উৎস থেকে সোডিয়াম ধাতুর ওপর আলো আপতিত হলে নিঃসৃত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি হয় 0·73 eV। সোডিয়ামের কার্য অপেক্ষক 1·82 eV হলে আপতিত ফোটনের শক্তি eV এককে কত? আপতিত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উত্তর : 2·55 eV, 4875Å]

৪৬। একটি ইলেকট্রন ও একটি ফোটনের ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য সমান এবং এর মান $\lambda = 10^{-10}$ m। ইলেকট্রনের গতিশক্তির সঙ্গে ফোটনের গতিশক্তির তুলনা কর। [উ. $K/E = 0.012$]

৪৭। একটি প্রোটন ও একটি ইলেকট্রনের গতিশক্তি সমান। কার ক্ষেত্রে ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি ? [উ. ইলেকট্রনের ক্ষেত্রে]

৪৮। হিলিয়াম পরমাণুর গড় গতিবেগ $1.635 \times 10^3\ ms^{-1}$ হলে পরমাণুটির ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ? [$h = 6.625 \times 10^{-34}$ Js, হিলিয়াম পরমাণুর ভর 6.65×10^{-27} kg] [উ. 6.1×10^{-11} m]

৪৯। কোনো কারণে একটি গতিশীল কণার সঙ্গে সংশ্লিষ্ট ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0.2 Å থেকে 0.4 Å-তে পরিবর্তিত হলো। কণাটির ভরবেগের পরিবর্তন নির্ণয় কর। [উ. $16.6 \times 10^{-24}\ kg\ ms^{-1}$]

৫০। একটি গতিশীল ইলেকট্রনের ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্যে 1Å। ইলেকট্রনটির (i) ভরবেগ দ্বিগুণ হলে, (ii) গতিশক্তি দ্বিগুণ হলে ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে ? [উ. (i) 0.5Å, (ii) 0.707 Å]

৫১। একটি গতিশীল কণার বেগ $0.99\ c$ হলে কণাটির ডি ব্রগলী তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ? [উ. 2.45×10^{-13} m]

৫২। একটি মুক্ত ইলেকট্রনের গতিশক্তি দ্বিগুণ হলে তার ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য কতগুণ হবে ? [উ. $\frac{1}{\sqrt{2}}$ গুণ হবে]

৫৩। 127°C তাপমাত্রার নিউট্রনের ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। দেওয়া আছে, $K = 1.38 \times 10^{-23}\ JK^{-1}$; $h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js; $m_n = 1.66 \times 10^{-27}$ kg [উ. 1.264×10^{-10} m]

৫৪। একটি ইলেকট্রনের গতিশক্তির কত শতাংশ বৃদ্ধি বা হ্রাস হলে ইলেকট্রনটির ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য অর্ধেক হয়ে যাবে? [উ. গতিশক্তি 300% বৃদ্ধি পেতে হবে]

৫৫। 6000Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকরশ্মি একটি ধাতুর ওপর ফেলা হলো। একটি ইলেকট্রনকে ধাতু থেকে নিঃসৃত করতে $1.77\ eV$ শক্তির প্রয়োজন হয়। সবচেয়ে দ্রুতগতি ইলেকট্রনের গতিশক্তি নির্ণয় কর। সূচন কম্পাঙ্ক কত? [উত্তর : $0.30\ eV$, 4.28×10^{14} Hz]

৫৬। 27°C তাপমাত্রা ও 1 বায়ুমণ্ডলীয় চাপে হিলিয়াম গ্যাসের একটি He পরমাণুর ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উ. 0.73 Å]

৫৭। নিউট্রন কণার ভর 1.67×10^{-27} kg এবং গতিশক্তি $0.04\ eV$ হলে এর সাথে সংশ্লিষ্ট ডি ব্রগলি তরঙ্গের দৈর্ঘ্য কত? [উত্তর : 1.435Å]

৫৮। একটি প্রোটনের শক্তি $10^5\ eV$ হলে প্রোটনের গতিবেগ এবং এর সাথে সংশ্লিষ্ট ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উত্তর : $4.47 \times 10^6\ ms^{-1}$, 8.84×10^{-14} m]

৫৯। হাইড্রোজেন পরমাণুতে প্রথম বোর কক্ষে ইলেকট্রনের ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উত্তর : 3.3Å]

৬০। 0.3 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্মি ইলেকট্রন কর্তৃক 60° কোণে বিক্ষিপ্ত হলো। বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উ. 0.3121 Å]

৬১। 0.40 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একটি এক্স-রে ফোটন একটি নিশ্চল ইলেকট্রনকে আঘাত করলে ফোটন 90° কোণে বিক্ষিপ্ত হয়। বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উ. 0.424 Å]

৬২। প্রোটনের কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ? [উ. 1.32×10^{-15} m]

৬৩। একটি ইলেকট্রনের অবস্থানের অনিশ্চয়তা 0.5×10^{-10} m। এর ভরবেগের অনিশ্চয়তা কত ? [উ. $1.33 \times 10^{-23}\ kg\ ms^{-1}$]

৬৪। 0.240×10^{-9} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্মি কোনো ইলেকট্রনের ওপর আপতিত হয়ে 60° কোণে বিক্ষিপ্ত হয়। বিক্ষিপ্ত এক্স-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [$\lambda_c = 0.00243 \times 10^{-9}$ m] [উ. 0.2412 nm]

৬৫। একটি পরমাণবিক নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ 5×10^{-15} m। নিউক্লিয়াসটির ভরবেগের অনিশ্চয়তা নির্ণয় কর। [উ. $1.1 \times 10^{-20}\ kg\ ms^{-1}$]

৬৬। 1 KeV একটি ইলেকট্রনের অবস্থান ও ভরবেগ একই সাথে নির্ণয় করা হলো। যদি অবস্থান 1 Å এর মধ্যে নির্ধারিত হয় তবে ভরবেগের অনিশ্চয়তার হার নির্ণয় কর। [উ. 5.28×10^{-25}]

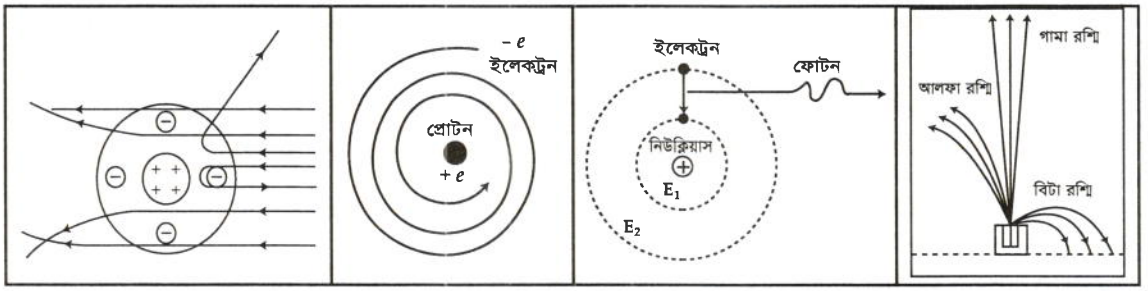
৬৭। 1 keV ইলেকট্রনের অবস্থান ও ভরবেগ একই সঙ্গে নির্ধারণ করা হলো। যদি অবস্থান 1 Å এর মধ্যে নির্ধারিত হয়, তবে ভরবেগের অনিশ্চয়তার শতকরা হার কত ? [উ. 30%]

RMDAC

৯

পরমাণুর মডেল এবং নিউক্লিয়ার পদার্থবিজ্ঞান
ATOMIC MODEL AND NUCLEAR PHYSICS

প্রধান শব্দ (Key Words) : পরমাণু, নিউক্লিয়াস, পরমাণু মডেল, নিউক্লিয়ন, নিউক্লিয়াসের গঠন, তেজস্ক্রিয়তা, কুরি, 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। ঊনবিংশ শতাব্দিতে এই ধারণার বিকাশ হয়েছিল বটে, কিন্তু ইলেকট্রন, প্রোটন, নিউট্রন ইত্যাদি মৌলিক কণার আবিষ্কারের পর ওই ধারণা পরিত্যক্ত হয়। এই মৌলিক কণাগুলোই সমস্ত মৌলের পরমাণু গঠন করে। স্বাভাবিক অবস্থায় যেকোনো 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।

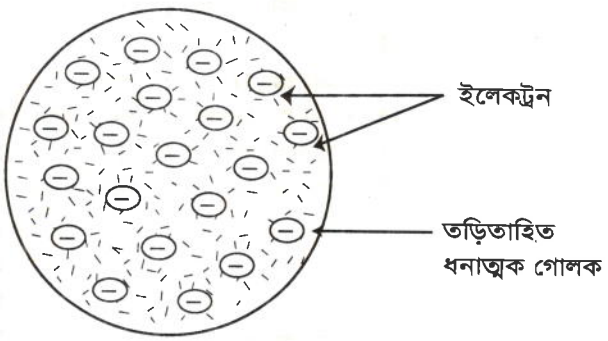
উনবিংশ শতাব্দির শেষে 1897 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী **জে. জে. থমসন** ইলেকট্রন আবিষ্কার করেন। ইলেকট্রন আবিষ্কারের পর পরমাণুর গঠন সম্পর্কে তিনি এক নতুন ধারণা দেন। তাঁর মতে, পরমাণু একটি ধনাত্মক তড়িতাহিত গোলক এবং ইলেকট্রনগুলো এর মধ্যে সর্বত্র ছড়ানো ছিটানো থাকে। একটি পরমাণু সামগ্রিকভাবে নিস্তড়িৎ। কাজেই, কোনো 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 কি না 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।

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।



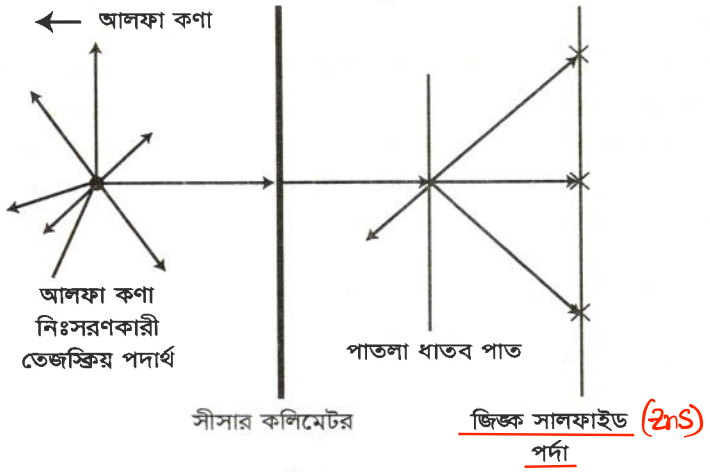
চিত্র ৯·১

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



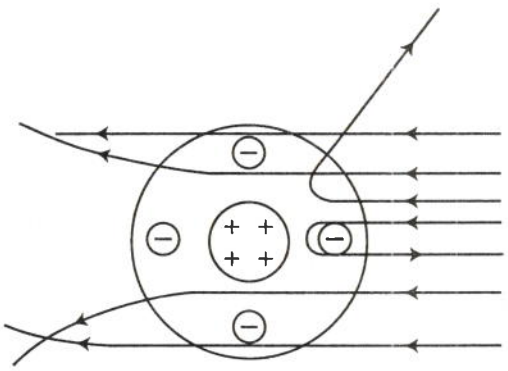
চিত্র ৯·২

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



চিত্র ৯·৩

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।

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

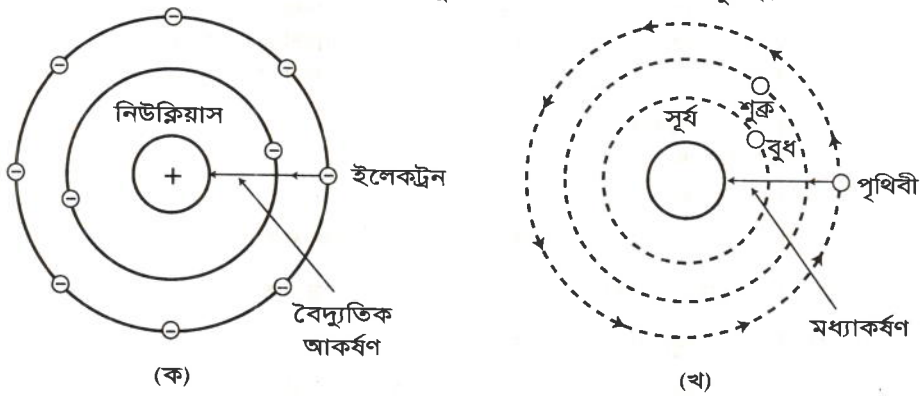
ফিরে আসার সম্ভাবনা নেই বলে ধরে নেয়া যেতে পারে। তাই বলা যায় আলফা কণা সোজাসুজি তার চেয়ে ভারী ও ধনাত্মক চার্জযুক্ত কোনো বিন্দুর সাথে সংঘর্ষে লিপ্ত হয় এবং বিকর্ষিত হয়। তিনি পরমাণুর কেন্দ্রে ভারী ধনাত্মক চার্জযুক্ত বস্তুকে **নিউক্লিয়াস** নামে অভিহিত করেন।

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।

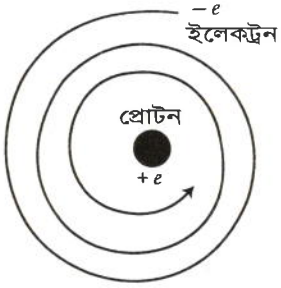
রাদারফোর্ডের এই কল্পিত মডেলের সাথে সৌর জগতের গঠনের সাদৃশ্য রয়েছে বলে এই মডেলকে সৌর মডেল (planetary model) বলে।

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।



চিত্র ৯·৫

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।

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 **নীল্‌স 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,

$$mvr = L = \frac{nh}{2\pi} \quad \text{MAT(01-02)} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.1)$$

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

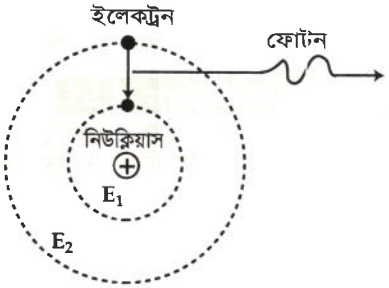
বোরের স্বীকার্য অনুযায়ী ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ হলো

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

খ. দ্বিতীয় স্বীকার্য (শক্তি স্তর সংক্রান্ত) :

পরমাণুস্থ ইলেকট্রনসমূহ ইচ্ছাকৃত যেকোনো 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 কখনো 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 যেকোনো অনুমোদিত কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি ধ্রুব থাকে। এজন্য এই কক্ষপথগুলোকে স্থির বা স্থায়ী কক্ষপথ (stationary or stable orbit) বলা হয়।**

গ. তৃতীয় স্বীকার্য (কম্পাঙ্ক সংক্রান্ত) :



চিত্র ৯·৬

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 $h\upsilon$।

DAT(23-24)

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

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 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 রেখাগুলো 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 কক্ষপথগুলোকে 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, তখন শক্তির বিকিরণ ঘটে। আর যখন নিম্নতর সুবিধাজনক কক্ষপথ হতে উচ্চতর সুবিধাজনক কক্ষপথে লাফ দেয় তখন শক্তির শোষণ ঘটে। এই বিকিরণ বা শোষণের শক্তির পরিমাণ, ওই দুটি কক্ষপথের শক্তির বিয়োগফলের সমান এবং এর মান এক কোয়ান্টা বা $h\upsilon$।

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

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

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

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

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

কম্পাঙ্ক, $\upsilon = ?$

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

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

$$mv^2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{r}$$

বা, $$v = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 mr}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.6)$$

$\therefore$ n-তম কক্ষপথের জন্য, $$v_n = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 mr_n}} \quad \ldots \quad \ldots \quad [9.6(a)]$$

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,

বা, $$r_n = \frac{n^2h^2\epsilon_0}{\pi me^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad [9.6(b)]$$

[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** বা পরমাণুর K-কক্ষ (K-shell) বলা হয়। এই কক্ষের ব্যাসার্ধকে **প্রথম বোর ব্যাসার্ধ** বলা হয় এবং a_0 দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এক্ষেত্রে 9.6(b) সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়,

$r_n = n^2a_0$ ... ... [9.6(d)]

এই সমীকরণে $n = 2, 3, 4.....$ বসালে যথাক্রমে L, M, N ..... কক্ষগুলোর ব্যাসার্ধ পাওয়া যায়। $a_0, 4a_0, 9a_0$ .....ব্যাসার্ধের কক্ষগুলো অনুমোদিত কক্ষ; এদের মাঝে ইলেকট্রনের আর কোনো কক্ষপথ নেই।

হাইড্রোজেন পরমাণুর ব্যাসার্ধ : সমীকরণ 9.6(c)-এ $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js, $\epsilon_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}$ $C^2N^{-1}m^{-2}$, $m = 9{\cdot}1 \times 10^{-19}$ kg এবং $e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C বসিয়ে পাই, $r_1 = \frac{8{\cdot}85 \times 10^{-12} \times (6{\cdot}63 \times 10^{-34})^2}{3{\cdot}14 \times (9 \times 10^{-31}) \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19})^2}$

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

এটি সর্বনিম্ন কক্ষপথের ব্যাসার্ধ যাকে বোরের ব্যাসার্ধ হিসেবে অভিহিত করা হয়।

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

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

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

$= \frac{1}{2} m \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 m r_n} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n}$ $\left[\because v_n = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 m r_n}}\right]$

$= \frac{1}{2} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n}$ ... ... (9.7)

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

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

এই সমীকরণে r_n-এর মান বসিয়ে পাই,

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

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

এখানে $n = 0, 1, 2, ... n$

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,

$E_1 = -\frac{me^4}{8h^2\epsilon_0^2}$ ... ... 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 $E_3 = \frac{1}{9} E_1$, $n = 4$ হলে $E_4 = \frac{1}{16} E_1$ ইত্যাদি।

9.8(b) সমীকরণে মান বসিয়ে পাওয়া যায়,

$$E_1 = -\frac{(9{\cdot}1\times10^{-31}\ \text{kg})\times(1{\cdot}6\times10^{-19}\ \text{C})^4}{8\times(6{\cdot}63\times10^{-34}\ \text{Js})^2\times(8{\cdot}85\times10^{-12}\ \text{C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2})^2}$$

$$= -2{\cdot}17\times10^{-18}\ \text{J} = -13{\cdot}6\ eV$$

ইহা **হাইড্রোজেন পরমাণুর ভূমি অবস্থার শক্তি** নির্দেশ করে।

DAT(23-24)

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 $r_1 = 0{\cdot}53\,\text{Å} = 0{\cdot}53\times10^{-10}$ m এবং অন্যান্য মান বসিয়ে পাওয়া যায়, $v_1 = 2{\cdot}18\times10^6\ \text{ms}^{-1}$। ইলেকট্রনের এই বেগের মান শূন্যস্থানে আলোর বেগ $(3\times10^8\ \text{ms}^{-1})$-এর প্রায় 137 ভাগের 1 ভাগ। অর্থাৎ $\frac{c}{137}$। এই $\frac{c}{137}$ অনুপাতকে সমারফিল্ডের সূক্ষ্ম গঠন ধ্রুবক (Sommerfield fine structure constant) বলা হয়।

জানা দরকার :

১। অনুমোদিত কক্ষগুলোতে 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, $E_n = -\frac{mZ^2e^4}{8\epsilon_0^2 n^2 h^2}$।

ইলেকট্রনকে উন্নীত করতে কৃত কাজ
Work done in raising an electron

যদি একটি ইলেকট্রনকে নিম্নতর শক্তিস্তর (n_1) থেকে উচ্চতর শক্তিস্তরে (n_2)-তে স্থানান্তরিত করতে W পরিমাণ কাজ সম্পাদন করতে হয়, তা হলে $W = E_{n_2} - E_{n_1}$, যেখানে E_{n_1} ও E_{n_2} হচ্ছে যথাক্রমে n_1 ও n_2 কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি।

$$\therefore\quad W = \left[-\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 n_2^2 h^2} - \left(-\frac{me^4}{8\epsilon_0 n_1^2 h^2}\right)\right]$$

$$= \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2}\left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$$

z পরমাণু ক্রমাঙ্কবিশিষ্ট নিউক্লিয়াসের ক্ষেত্রে এর মান,

$$W = \frac{mz^2e^4}{8\epsilon_0^2 h^2}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9{\cdot}9)$$

নির্গত ইলেকট্রনের শক্তি (Energy of released electrons) :

বোরের কম্পাঙ্ক শর্তানুযায়ী আমরা পাই,

$$h\gamma = E_{n_2} - E_{n_1}$$

$$\therefore \quad h\gamma = -\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 n_2^2 h^2} - \left(-\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 n_1^2 h^2}\right) = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^2}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

$$\therefore \quad \gamma = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^3}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

বা, $\frac{c}{\lambda} = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 h^3}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \quad \left(\because \gamma = \frac{c}{\lambda}\right)$

বা, $\frac{1}{\lambda} = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 ch^3}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$

এখানে, $\frac{1}{\lambda}$-কে **তরঙ্গ সংখ্যা** (wave number) বলা হয়। একে $\bar{\gamma}$ দ্বারা সূচিত করা হয়।

$$\therefore \quad \bar{\gamma} = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 ch^3}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9{\cdot}10)$$

$\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 ch^3}$ রাশিটিকে **রিডবার্গ ধ্রুবক** (Rydberg ধ্রুবক), R বলা হয়।

$$\therefore \quad R = \frac{me^4}{8\epsilon_0^2 ch^3}$$

এখন, m, e, ϵ_0, c ও h-এর মান বসিয়ে আমরা পাই,

$$R = 1{\cdot}09 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

সমীকরণ (9.10)-কে লেখা যায়, $\bar{\gamma} = R\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$ ... ... [9·10(a)]

এই সমীকরণকে **রিডবার্গ সমীকরণ** বলা হয়। বর্ণালি রেখার উৎপত্তি ব্যাখ্যা করতে এই সমীকরণটির গুরুত্ব অপরিসীম।

গাণিতিক উদাহরণ ৯.২

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

আমরা জানি,

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

প্রথম কক্ষের ব্যাসার্ধ,

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

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

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

আবার, ভূমি অবস্থার শক্তি,

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

$$\therefore \quad E_1 = -\frac{9{\cdot}11 \times 10^{-31} \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19})^4}{8 \times (6{\cdot}63 \times 10^{-34})^2 \times (8{\cdot}85 \times 10^{-12})^2} = -2{\cdot}17 \times 10^{-18} \text{ J}$$

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

এখানে,

$n = 1$
$\epsilon_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}\,C^2\,N^{-1}\,m^{-2}$
$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ J s
$m = 9{\cdot}11 \times 10^{-31}$ kg
$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C
$r = ?$
$E_1 = ?$

২। একটি নির্দিষ্ট কক্ষে হাইড্রোজেন পরমাণুর শক্তি — 3·4 eV। কক্ষের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। [দেওয়া আছে, $e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C, $m_e = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg, $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ J s, $\epsilon_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}$ C^2 N^{-1} m^{-2}]

আমরা জানি,

$$E_n = \frac{1}{n^2}$$

$$\therefore \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{n_2^2}{n_1^2} \text{ বা, } \frac{-13{\cdot}6}{-3{\cdot}4} = \frac{n_2^2}{1} \qquad [\because \text{ভূমিস্তরে, } n = 1 \text{ এবং } E_1 = -13{\cdot}6\ eV]$$

বা, $n_2^2 = 4$ বা, $n_2 = 2$

পুনরায়, কক্ষের ব্যাসার্ধ, $r_n = \dfrac{\epsilon_0 n^2 h^2}{\pi m e^2} = \dfrac{8{\cdot}85 \times 10^{-12} \times 4 \times (6{\cdot}63 \times 10^{-34})^2}{3{\cdot}14 \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19})^2}$

$$= \frac{8{\cdot}85 \times 4 \times 6{\cdot}63 \times 6{\cdot}63 \times 10^{-80}}{3{\cdot}14 \times 9{\cdot}1 \times 1{\cdot}6 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-69}}$$

$$= 2{\cdot}13 \times 10^{-10} \text{ m} = 2{\cdot}13 \text{ Å}$$

৩। হাইড্রোজেন পরমাণুর দ্বিতীয় কক্ষের ইলেকট্রনের শক্তি নির্ণয় কর। তৃতীয় কক্ষের জন্য ব্যাসার্ধ কত হবে ?

আমরা জানি,

হাইড্রোজেন পরমাণুর n-তম কক্ষের ইলেকট্রনের শক্তি,

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

$\therefore$ দ্বিতীয় কক্ষের শক্তি,

$$E_2 = \frac{-9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19})^4}{8 \times (8{\cdot}85 \times 10^{-12})^2 \times (2)^2 \times (6{\cdot}63 \times 10^{-34})^2}$$

$$= -5{\cdot}41 \times 10^{-19} \text{ J} = -3{\cdot}38\ eV$$

এখানে,

$n = 2$

$m = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg

$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C

$\epsilon_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}$ C^2 N^{-1} m^{-2}

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

৩য় কক্ষ পথে $n = 3$

$$\therefore \quad r_n = \frac{n^2 h^2 \epsilon_0}{\pi m e^2} = \frac{3^2 \times (6{\cdot}63 \times 10^{-34})^2 \times 8{\cdot}85 \times 10^{-12}}{3{\cdot}14 \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19})^2}$$

$$= 4{\cdot}786 \times 10^{-10} \text{ m} = 4{\cdot}786 \text{ Å}$$

৪। একটি উত্তেজিত হাইড্রোজেন পরমাণুর শক্তি —0·85 eV। বোরের তত্ত্ব অনুসারে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ নির্ণয় কর।

বোরের তত্ত্ব থেকে n-তম কক্ষে ইলেকট্রনের শক্তি,

$$E_n = -\frac{13{\cdot}6}{n^2}\ eV$$

$$\therefore \quad 0{\cdot}85 = \frac{13{\cdot}6}{n^2}$$

$$\text{বা, } \quad n = \sqrt{\frac{13{\cdot}6}{0{\cdot}85}} = 4$$

$\therefore$ ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ, $L = \dfrac{nh}{2\pi}$

$$\therefore \quad L = \frac{4 \times 6{\cdot}63 \times 10^{-34}}{2 \times 3{\cdot}14}$$

$$= 4{\cdot}22 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

এখানে,

$E_n = -0{\cdot}85\ eV$

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

৫। হাইড্রোজেনের একটি পরমাণুর ইলেকট্রন $n = 60$ থেকে $n = 56$-এ সংক্রমণের ফলে সৃষ্ট ফোটনের কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। (রিডবার্গ ধ্রুবক, $R = 1{\cdot}0974 \times 10^7\ m^{-1}$)

আমরা জানি,

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_{f2}} - \frac{1}{n_i^2}\right) = 1{\cdot}0974 \times 10^7 \times \left[\frac{1}{(56)^2} - \frac{1}{(60)^2}\right]$$

$$= 1{\cdot}0974 \times 10^7 \times \left(\frac{1}{3136} - \frac{1}{3600}\right)$$

$$= 1{\cdot}0974 \times 10^7 \times \left(\frac{3600 - 3136}{3136 \times 3600}\right)$$

$$= \frac{1{\cdot}0974 \times 10^7 \times 464}{3136 \times 3600} = 394{\cdot}7\ m^{-1}$$

এখানে,
$n_i = 60$
$n_f = 56$
$R = 1{\cdot}0974 \times 10^7\ m^{-1}$

৬। হাইড্রোজেন পরমাণু থেকে নিঃসৃত ফোটনের সর্বোচ্চ তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হতে পারে? এই তরঙ্গদৈর্ঘ্য তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের কোন অঞ্চলে পড়ে। এটি চোখে কি দৃশ্যমান?

রিডবার্গ সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$\bar{\gamma} = R\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$, এখানে $n_1 = 1$, সর্বনিম্ন কম্পাঙ্ক বা সর্বোচ্চ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য $n_2 = 2$

$$\therefore\ \bar{\gamma} = \frac{1}{\lambda} = 1{\cdot}09 \times 10^7\left(1 - \frac{1}{(2)^2}\right) = 1{\cdot}03 \times 10^7 \times \left(1 - \frac{1}{4}\right)$$

$$= 1{\cdot}09 \times 10^7 \times \frac{3}{4} = 0{\cdot}8175 \times 10^7$$

$\lambda = \frac{1}{0{\cdot}8175 \times 10^7} = 1{\cdot}223 \times 10^{-7} = 1223 \times 10^{-10}\ m = 1223\text{Å}$, এটি তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালির অতিবেগুনি অঞ্চলে পড়ে। তাই এটি দৃশ্যমান নয়। কেননা দৃশ্যমানের জন্য তরঙ্গদৈর্ঘ্য 4000Å থেকে 8000Å-এর মধ্যে হওয়া উচিত।

৭। 18 eV শক্তিসম্পন্ন একটি ইলেকট্রনের সঙ্গে একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর ধাক্কা লাগার ফলে পরমাণুটি উচ্চতর শক্তিতে উত্তেজিত (excited) হলো এবং ইলেকট্রনটির গতি কমে গেল। পরমুহূর্তে পরমাণু থেকে 1650 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি ফোটন নিঃসৃত হলো। ধাক্কা লাগার পর ইলেকট্রনটির বেগ কত হলো নির্ণয় কর।

বাহ্যিক ইলেকট্রন থেকে পরমাণুর প্রাপ্ত শক্তি,

$$E_2 - E_1 = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1650 \times 10^{-10}}$$

$$= 1{\cdot}2054 \times 10^{-18}\ J$$

ইলেকট্রনের প্রাথমিক গতিশক্তি,

$$= 18 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ J$$

$$= 2{\cdot}88 \times 10^{-18}\ J$$

এখানে,
ইলেকট্রনের প্রাথমিক গতিশক্তি
$= 18\ eV = 18 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ J$
নিঃসৃত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য,
$\lambda = 1650\ \text{Å} = 1650 \times 10^{-10}\ m$
আলোর বেগ $= 3 \times 10^8\ ms^{-1}$
ইলেকট্রনের ভর $= 9{\cdot}1 \times 10^{-31}\ kg$

$\therefore$ হাইড্রোজেন পরমাণুর সঙ্গে ধাক্কা লাগার পর ইলেকট্রনটির অবশিষ্ট গতিশক্তি $= (2{\cdot}88 - 1{\cdot}2054) \times 10^{-18} = 1{\cdot}67 \times 10^{-18}\ J$

এখন, গতিশক্তি $= \frac{1}{2}mv^2$

$$\therefore\ v = \sqrt{\frac{2 \times \text{গতিশক্তি}}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 1{\cdot}67 \times 10^{-18}}{9{\cdot}1 \times 10^{-31}}}$$

$$= 1{\cdot}92 \times 10^6\ ms^{-1}$$

৮। 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, কক্ষপথগুলোতে 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।

৯। 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,

$$\upsilon_1 = \frac{v_1}{2\pi r_1} = \frac{c}{137 \times 2\pi r_1}$$

$$\therefore \quad \upsilon_1 = \frac{3 \times 10^8\ \text{ms}^{-1}}{137 \times 2 \times 3{\cdot}14 \times 0{\cdot}53 \times 10^{-10}\ \text{m}}$$

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

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, $\upsilon_1 = ?$

কাজ : বোর কক্ষপথগুলোকে স্থায়ী কক্ষপথ বলা হয় কেন ?

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

সম্প্রসারিত 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 পিন্ড রয়েছে। এর নাম **নিউক্লিয়াস** (Nucleus)। একে পরমাণুর শক্তির আধার বলে। পরমাণুর প্রায় সমস্ত ভর নিউক্লিয়াসে কেন্দ্রীভূত। পরমাণুর 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^{-10} m) তুলনায় নিউক্লিয়াসের আকার (ব্যাস প্রায় 10^{-15} m) 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।

MAT(12-13) 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)।

$A = 216$ হলে আমরা পাই, $R = 6r_0 = 7{\cdot}2 \times 10^{-15}$ m

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 ভর সংখ্যার ওপর নির্ভর করে।

আবার, প্রোটনের ভর ≃ নিউট্রনের ভর = m ধরলে,

নিউক্লিয়াসের ভর, $M = Am$, এখানে A = নিউক্লিয়াসের ভরসংখ্যা। ∴ নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব, $\rho_N = \frac{M}{V}$

∴ নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব, $\rho_N = \frac{Am}{\frac{4}{3} \times r_0^3 A} = \frac{3m}{4\pi r_0^3}$ ... ... (9.11)

$m = 1{\cdot}67 \times 10^{-27}$ kg, $r_0 = 1{\cdot}4$ fm $= 1{\cdot}4 \times 10^{-15}$ m ধরলে $\rho_N = 1{\cdot}45 \times 10^{17}$ kgm^{-3} হয়।

সমীকরণ (9.11) এর রাশিমালায় A অনুপস্থিত; সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব সকল মৌলের নিউক্লিয়াসের ক্ষেত্রে সমান। নিউক্লিয়াসের ঘনত্ব পানির ঘনত্বের চেয়ে 10^{14} গুণ বেশি।

গাণিতিক উদাহরণ ৯.৩

১। ${}^{27}_{13}Al$ এর নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ ও ঘনত্ব নির্ণয় কর।

(দেওয়া আছে, $R_0 = 1{\cdot}2 \times 10^{-15}$ m, $m_p = m_n = 1{\cdot}66 \times 10^{-27}$ kg)

আমরা জানি, নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ,

$$R = R_0 A^{\frac{1}{3}} = 1{\cdot}2 \times 10^{-15} \times (27)^{\frac{1}{3}}$$
$$= 3{\cdot}6 \times 10^{-15} \text{ m}$$

এখানে,

$$M = 13\, m_p + 14\, m_n$$
$$= 13\, m_p + 14\, m_p$$
$$= 27\, m_p$$

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

$$\therefore \quad \rho = \frac{3 \times 27 \times 1{\cdot}66 \times 10^{-27}}{4 \times 3{\cdot}14 \times (3{\cdot}6 \times 10^{-15})^3}$$
$$= 2{\cdot}3 \times 10^{17} \text{ kgm}^{-3}$$

২। নিউক্লিয়াসের গড় ব্যাসার্ধ $R = r_0A^{1/3}$, 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,

$$\rho_N = \frac{\text{নিউক্লিয়াসের ভর}}{\text{নিউক্লিয়াসের আয়তন}} = \frac{A \cdot m_p}{\frac{4}{3}\pi (r_0A^{1/3})^3}$$

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

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

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

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

৩। 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,

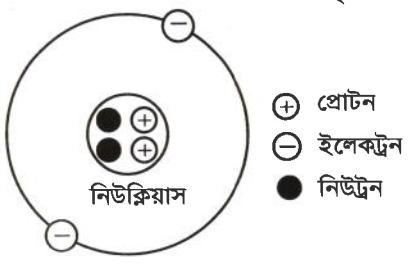
$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_0A_1^{\frac{1}{3}}}{r_0A_2^{\frac{1}{3}}} = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^{\frac{1}{3}} = 27^{\frac{1}{3}} = 3$$

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

নিম্নে প্রোটন-নিউট্রন তত্ত্ব আলোচনা করা হলো।

৯·৬·১ প্রোটন-নিউট্রন তত্ত্ব DAT(02-03)
Proton-neutron throry

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) = 2টি 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 নিউট্রনগুলো 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 অর্থাৎ অত্যন্ত শূন্য পাল্লার নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ 1 fm বা 10^{-15} m এর মধ্যে কার্যকর হয়। 10^{-15} 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। এই বলের অস্তিত্ব জাপানি বিজ্ঞানী ইউকাওয়া মেসন তত্ত্বের সাহায্যে প্রতিষ্ঠা করেন। তার মতে নিউক্লিয়াসের মধ্যে কণাগুলো মেসন নামক একপ্রকার কণার আদান-প্রদানের ফলে নিউক্লিয়াসের মধ্যে একটি তীব্র আকর্ষণ বলের উদ্ভব হয়। তীব্র আকর্ষণের ফলে কণাগুলো নিউক্লিয়াসের মধ্যে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে।

নিউক্লীয় আকর্ষণ বলের প্রকৃতি
Nature of nuclear attractive force

আমরা জানি, পরমাণুর নিউক্লিয়াসে অত্যন্ত স্বল্প পরিসরে প্রোটন এবং নিউট্রনগুলো দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকে। এই সুদৃঢ় বন্ধন প্রোটন ও নিউট্রনের মধ্যে মহাকর্ষ বলের জন্য সম্ভব নয়; কেননা এদের মধ্যে মহাকর্ষ বল অত্যন্ত কম। নিউক্লিয়াসে প্রোটন ও নিউট্রনগুলোর মধ্যে অত্যন্ত প্রবল স্বল্প দূরত্ব সীমা (short range) সম্পন্ন একটি আকর্ষণ বল ক্রিয়া করে। এই বিশেষ ধরনের বলের অস্তিত্ব বিখ্যাত জাপানি বিজ্ঞানি ইউকাওয়া (Yukawa) একটি গাণিতিক তত্ত্ব থেকে আবিষ্কার করেন। তাই এই স্বল্প সীমা নিউক্লীয় বলকে **ইউকাওয়া বল** বলা হয়।

ইউকাওয়ার মত অনুসারে নিউক্লিয়াসের মধ্যে নিউক্লীয় কণাগুলোর পারস্পরিক দূরত্ব অত্যন্ত কম ($r < 2 \times 10^{-15}$ m) হলে কণাগুলো পরস্পরের মধ্যে মেশন (meson) নামক এক প্রকার কণিকা আদান-প্রদান করে। এর ফলে নিউক্লীয় কণাগুলোর মধ্যে একটি প্রবল আকর্ষণ বল ক্রিয়া করে। মেশন তত্ত্ব অনুসারে নিউক্লীয় কণাগুলো একটি কোর (core) দ্বারা গঠিত যাকে ঘিরে থাকে এক প্রকার মেশন মেঘ (meson cloud)। এই π-মেশন বা পিওন (Pions) নিউক্লীয় কণাগুলোর মধ্যে দ্রুত যাতায়াত করে। প্রোটন ও নিউট্রনের মধ্যে মেশন বিনিময়ের ফলে কণাগুলো সুদৃঢ়ভাবে নিউক্লিয়াসে সংবদ্ধ থাকে।

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 বলগুলোর মধ্যে কোনো তফাৎ নেই।

৪। এটি খুবই স্বল্প পাল্লার বল। এই পাল্লা মাত্র 10^{-14} m (প্রায়)। এই বল দ্বারা নিউক্লিয়নগুলো কেবলমাত্র নিকটবর্তী নিউক্লিয়নগুলোর 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 অক্ষুণ্ন 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 কুরি** এবং তাঁর স্ত্রী **মাদাম কুরি** 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 অক্ষুণ্ণ 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 নিউট্রনগুলোকে একত্রে ধরে রাখতে পারে না। কাজেই নিউক্লিয়াস অস্থায়ী হয়ে স্বতঃস্ফূর্তভাবে ভাঙ্গাতে 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) কুরি (Curie) এবং (২) বেকেরেল (Becquerel)।

(১) **কুরি : প্রতি সেকেন্ডে $3·7 \times 10^{10}$ সংখ্যক পরমাণুর ভাঙ্গানকে 1 কুরি বলা হয়।**

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

∴ **1 কুরি, C $= 3·7 \times 10^{10}$ বিয়োজন/সেকেন্ড $= 3·7 \times 10^{10}$ বেকেরেল।**

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

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

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

(২) **তেজস্ক্রিয়তার এস. আই. একক হলো বেকেরেল (Bq)।** MAT(18-19)

কোনো বস্তুর প্রতি সেকেন্ডে একটি পরমাণুর ভাঙ্গানকে 1 বেকেরেল (Bq) বলে। 1 Bq = 1 decay s^{-1} এবং 1 Bq $= 2·7 \times 10^{-11}$ C

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) : যেসব 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 পরমাণুর 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 বিটা রশ্মি বিকিরণ করে স্থায়ী অবস্থায় আসে।

নিম্নে একটি উদাহরণ দেওয়া হলো :

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

$${}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + \beta^{-1} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad [9.11(a)]$$

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—

MAT(24-25) 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 : ${}_{13}Al^{27} + {}_{2}He^{4} \rightarrow {}_{15}P^{30} + {}_{0}n^{1}$ 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। যেসব 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 যেকোনো বিকিরণ, বিদ্যুৎ বা চৌম্বক ক্ষেত্র, বাহ্যিক কোনো বল ইত্যাদি তেজস্ক্রিয়তাকে প্রভাবিত করে না।

৪। তেজস্ক্রিয় পদার্থ থেকে সাধারণত আলফা, বিটা, গামা রশ্মি নিঃসরণ হয়।

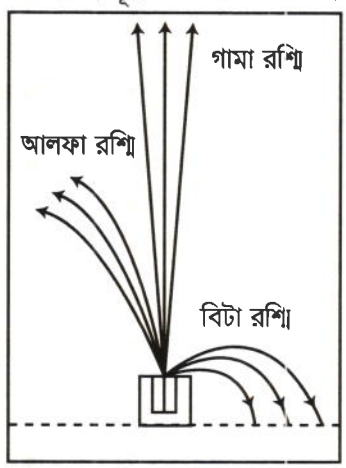
৯·৮ তেজস্ক্রিয় রশ্মির প্রকারভেদ
Kinds of radioactive rays

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)। DAT(17-18),18-19)

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

তিনি একটি সিসার ব্লক বা খণ্ড নেন [চিত্র ৯·৮]। সিসার 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 কণাগুলো 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 সিসা খণ্ডের মাত্র 1×10^{-5} m ভেদ করতে পারে, β-রশ্মি 1×10^{-4} m এবং γ-রশ্মি 0·1 m। MAT(14-15

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,

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

৩। 1 kg ইউরেনিয়াম থেকে নির্গত শক্তি নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

প্রতি কেজি ইউরেনিয়ামের পরমাণুর সংখ্যা, $= \frac{6{\cdot}025 \times 10^{23}}{235 \times 10^{-3}}$

প্রতি ফিশানে নির্গত শক্তির পরিমাণ 200 MeV

কাজেই 1 kg ইউরেনিয়ামের নির্গত শক্তির পরিমাণ,

$$E = \frac{6{\cdot}025 \times 10^{2Z6}}{235} \times 200 \text{ MeV}$$

$$= 5{\cdot}128 \times 10^{26} \text{ MeV}$$

$$= 5{\cdot}128 \times 10^{26} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$= 8{\cdot}2 \times 10^{-13} \text{ J} = \frac{8{\cdot}2 \times 10^{-13}}{3{\cdot}6 \times 10^{6}}$$

$$= 2{\cdot}3 \times 10^{7} \text{ kWh}$$

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

$1 \text{ kWh} = 3{\cdot}6 \times 10^{6} \text{ J}$

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।

*** Upto Infinity

৯·৮·১ তেজস্ক্রিয় রশ্মির ধর্ম MAT(07-08,09-10)
Properties of radioactive rays DAT(17-18)

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 কতগুলো ভারী কণার সমষ্টি। প্রত্যেকটি কণার ভর $6·6 \times 10^{-27}$ kg। এর ভর হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াসের বা প্রোটনের ভরের চার গুণ।
(২) এরা ধন চার্জ বহন করে। চার্জের পরিমাণ $q = +2e = 3·2 \times 10^{-19}$ 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 $1·4 \times 10^{7}$ ms^{-1} হতে $1·9 \times 10^{7}$ 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 $9·1 \times 10^{-31}$ kg।
(৩) এরা ঋণ চার্জ বহন করে। এই চার্জের মান $1·6 \times 10^{-19}$ C।
(৪) বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় বস্তু হতে বিটা রশ্মি প্রচণ্ড বেগে নির্গত হয়। এই বেগ $0·9 \times 10^{8}$ ms^{-1} হতে $2·9 \times 10^{8}$ 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। MAT(20-21) , DAT(23-25)

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।
III. আলফা কণা ধনাত্মক, বিটা কণা ঋণাত্মক, গামা রশ্মি ভরহীন চার্জ নিরপেক্ষ এবং এক্স রশ্মি ভরহীন চার্জ নিরপেক্ষ।
IV. আলফা কণা ধনাত্মক চার্জযুক্ত হিলিয়াম নিউক্লিয়াস, বিটা কণা দ্রুতগতিতে চলমান ইলেকট্রন, গামা রশ্মি ও এক্স রশ্মি তাড়িত চৌম্বক তরঙ্গ।
V. α ও β রশ্মি তড়িৎ চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে বিচ্যুত হয় কিন্তু γ ও X-রশ্মি বিচ্যুত হয় না।

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 সূত্রগুলোর 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 সূত্র : 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। ভাঙানের 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, $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ ... ... (9.12)

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, কেননা সময়ের সাথে পরমাণুর সংখ্যা কমতে থাকে।

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

সমীকরণ (9.12) হতে পাই,

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

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} এবং মাত্রা $[T^{-1}]$

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

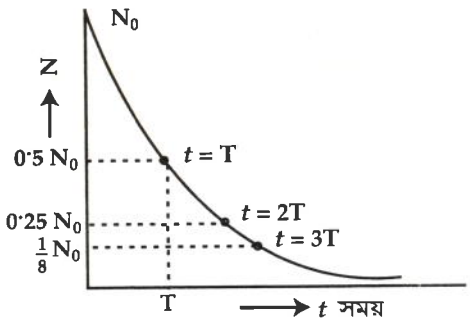
৯·৯·৪ তেজস্ক্রিয় রূপান্তর সূত্র
Radioactive transformation law

কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের ক্ষয় ধ্রুবক λ এবং t সময়ে অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা N হলে তেজস্ক্রিয়তার ক্ষয় সূত্র থেকে পাই [সমীকরণ (9.12)]

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

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

$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.13)$$

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, $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.14)$

$\therefore$ $N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.15)$

এটিই তেজস্ক্রিয় ক্ষয়ের রূপান্তর সূত্র।

এই সূত্রটি **সূচকীয় সূত্র** (Exponential law) মেনে চলে [চিত্র ৯·৯]। এর লেখ অর্থাৎ সময় t-এর সাথে 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,

$$M = M_0 e^{-\lambda t} \quad [\because N \propto M] \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.15a)$$

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

MAT(19-20) যদি অর্ধায়ুকে T বা $T_{\frac{1}{2}}$ দ্বারা সূচিত করা হয়, তা হলে যখন $t = T$, তখন $N = \frac{N_0}{2}$

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

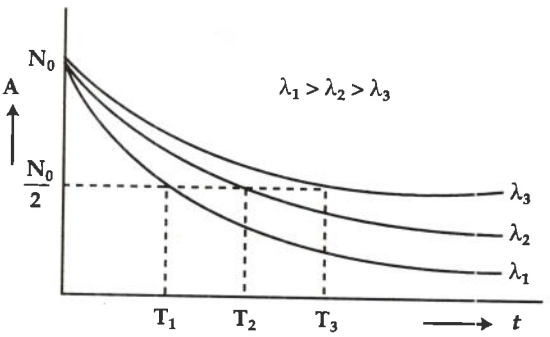
বা, $T = \frac{\log_e 2}{\lambda} = \frac{2{\cdot}303 \times \log_{10} 2}{\lambda}$

$\therefore$ $T = \frac{0{\cdot}693}{\lambda} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.16)$

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। যেসব মৌলের T খুব দীর্ঘ হয় এবং λ খুব ক্ষুদ্র হয় তাদের পরমাণুগুলো 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 যেকোনো মুহূর্তে অবশিষ্ট পরমাণুর সংখ্যা নিম্নোক্ত সূত্রানুসারে নির্ণয় করা যায়,

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

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,

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

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।

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

গাণিতিকভাবে দেখানো যায় যে, গড় আয়ু, $\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{0.693}$ ... ... (9.17)

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

সমীকরণ (9·13)-এ $\lambda = \frac{1}{\tau}$ বসিয়ে পাই,

$$N = N_0 e^{-t}/\tau$$

$$\therefore \quad e^{t/\tau} = \frac{N_0}{N}$$

সুতরাং, $t = \tau$ হলে $e = \frac{N_0}{N}$ বা, $N = \frac{N_0}{e}$। এ থেকে গড় আয়ুর নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেওয়া যায়।

সংজ্ঞা : যে সময় পরে কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের উপস্থিত তেজস্ক্রিয় পরমাণুর সংখ্যা প্রারম্ভিক সংখ্যার $\frac{1}{e}$ বা $\frac{1}{2.718}$ অংশ হয়, তাকে ওই তেজস্ক্রিয় মৌলের গড় আয়ু বলে।

গাণিতিক উদাহরণ ৯.৫

১। রেডনের অর্ধায়ু 3·82 দিন। রেডনের তেজস্ক্রিয় ধ্রুবকের মান কত এবং কত দিন পর রেডনের প্রারম্ভিক মানের $\frac{1}{20}$ অংশ অপরিবর্তিত থাকবে ? [ব. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); ২০০৮; কু. বো. ২০১০, ২০০৩, ২০০০; ঢা. বো. ২০০৯; BRU Admission Test, 2016-17 (মান ভিন্ন)]

এখানে,
$T = 3{\cdot}82\ d$

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

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

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

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, $\frac{1}{20} = e^{-\lambda t}$

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

বা, $0 - \ln 20 = -\lambda t$

বা, $\ln 20 = \lambda t$

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

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

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. ২০০৫; Admission Test : JUST 2016-17; KUET 2014-15 (মান ভিন্ন)]

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

আমরা জানি,

$$\Delta N = N_0 - N \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

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

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

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

সমীকরণ (ii) থেকে পাই,

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

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

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 $= 6 \times 10^{23}$

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

অতএব, প্রতি সেকেন্ডে ভাঙনের সংখ্যা, $\frac{dN}{dt}$ = সক্রিয়তা $= \lambda N = \frac{0.693}{1600 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60} \times \frac{6 \times 10^{23}}{226}$

$= 3.65 \times 10^{10}$ ভাঙন/সেকেন্ডে

৪। U^{238} এর অর্ধায়ু 1.42×10^{17} s, 1 g U^{238} থেকে প্রতি সেকেন্ডে কতগুলো পরমাণু ভেঙ্গে যাবে? (অ্যাভোগেড্রো সংখ্যা, $N_A = 6.02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$) [BUET Admission Test, 2014–15]

আমরা জানি,

$\lambda = \frac{0.693}{T} = \frac{0.693}{1.42 \times 10^{17}}$

$= 4.88 \times 10^{-18}\ s^{-1}$

এখানে,

$T = 1.42 \times 10^{17}$ s

$N_A = 6.02 \times 10^{23}$

$1\ gU^{238} = \frac{6.02 \times 10^{23}}{238} = 2.529 \times 10^{21}$টি পরমাণু

আবার, $-\frac{dN}{dt} = \lambda N = 4.88 \times 10^{-18} \times 2.529 \times 10^{21}$টি

$= 12341.5$টি

৫। একখণ্ড রেডিয়াম 5000 বছর তেজস্ক্রিয় বিকিরণ নিঃসরণ করে এক পঞ্চমাংশে পরিণত হয়। রেডিয়ামের অবক্ষয় ধ্রুবক নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

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

বা, $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$

বা, $\frac{1}{5} = e^{-\lambda t}$

বা, $-\lambda t = \ln\left(\frac{1}{5}\right)$

বা, $\lambda = -\frac{1}{t} \ln\left(\frac{1}{5}\right)$

বা, $\lambda = -\frac{1}{5000} \ln\left(\frac{1}{5}\right)$

$\therefore \lambda = 3.22 \times 10^{-4}\ y^{-1}$

এখানে,

$N = \frac{1}{5} N_0$

$\therefore \frac{N}{N_0} = \frac{1}{5}$

$t = 5000\ y$

$\lambda = ?$

৬। $^{224}_{82}Pb$-এর অর্ধায়ু 26.8 মিনিট। এর কী পরিমাণ ভর থেকে 1 কুরি তেজস্ক্রিয়তা পাওয়া যাবে?

এখানে, $\frac{dN}{dt} = 1$ কুরি $= 3.7 \times 10^{10}$ ভাঙন/সেকেন্ড

ধরা যাক, m গ্রাম ভর থেকে 1 কুরি তেজস্ক্রিয়তা পাওয়া যায়।

224 gm Pb-এ পরমাণু সংখ্যা $= 6.023 \times 10^{23}$

$\therefore$ m " " " " $= \frac{6.023 \times 10^{23}}{224} \times m$

আমরা জানি,

$\lambda = \frac{0.693}{T} = \frac{0.693}{26.8 \times 60} = 4.31 \times 10^{-4} s^{-1}$

আবার,

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

বা, $3.7 \times 10^{10} = \frac{4.31 \times 10^{-4} \times 6.023 \times 10^{23}\ m}{224}$

বা, $m = \frac{3.7 \times 224 \times 10^{10}}{4.31 \times 6.023 \times 10^{19}} = 31.9 \times 10^{-9}$ gm

এখানে,

$T = 26.8$ মিনিট

$= 26.8 \times 60$ সেকেন্ড

$\frac{dN}{dt} = 3.7 \times 10^{10}$ ভাঙন/সেকেন্ড

৭। রেডিয়ামের অর্ধায়ু 1620 বছর। কত সময় পরে 1 g বিশুদ্ধ রেডিয়ামের (i) 10^{-2} g ক্ষয়প্রাপ্ত হবে এবং (ii) 10^{-3} g অবশিষ্ট থাকবে? [Admission Test : KUET 2018-19 (মান ভিন্ন); RUET 2006-07 (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি,

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

(i) এখন $N = (1 - 0.01)\ g = 0.99\ g$, $N_0 = 1\ g$, $T = 1620\ yrs.$

সমীকরণ (1)-এ মান বসিয়ে পাই,

$$\frac{0.99}{1}=\frac{1}{(2)^{t/T}} \text{ বা, } 2^{t/T} = 1.010$$

$$\therefore \quad t/T \log_e 2 = 9.95 \times 10^{-3}$$

$$\therefore \quad t=\frac{9.95 \times 10^{-3} \times T}{\log_e 2}=\frac{9.95 \times 10^{-3} \times 1620}{0.693} = 23.26\ yrs.$$

(ii) এখানে, $N = 10^{-3}\ g = 0.001 = \frac{1}{1000}$, $N_0 = 1\ g$

$$\therefore \quad \frac{N}{N_0} = \frac{1}{1000} = 0.001$$

$$\therefore \quad \frac{1}{1000}=\frac{1}{(2)^{t/T}} \text{ বা, } 2^{t/T} = 10^3$$

$$\therefore \quad \frac{t}{T}\log_e 2 = 3 \log_e 10$$

$$\therefore \quad \frac{t}{T}=\frac{3 \log_e 10}{\log_e 2}=\frac{3 \times 2.3026}{0.693} = 9.968$$

$$\therefore \quad t = 9.968 \times T = 9.968 \times 1620 = 16148\ yrs.$$

৮। 20 sec অর্ধায়ুবিশিষ্ট একটি তেজস্ক্রিয় মৌল প্রাথমিক নিউক্লিয়াসের সংখ্যা 10^6। 10 sec পরে নিউক্লিয়াসের সংখ্যা কত?

আমরা জানি,

$$N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

$$\therefore \quad N = 10^6 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{10^6}{\sqrt{2}} = 7 \times 10^5$$

$\therefore$ নির্ণেয় নিউক্লিয়াসের সংখ্যা $= 7 \times 10^5$

এখানে,
$N_0 = 10^6$
$T = 20\ sec$
$t = 10\ sec$
$N = ?$

৯। $^{210}_{54}P_0$-এর অর্ধায়ু 140 দিন। প্রতি সপ্তাহে এর তেজস্ক্রিয় কার্যকারিতা শতকরা কত হারে হ্রাস পায়?

আমরা জানি,

$$\lambda = \frac{0.693}{T}$$

$$\therefore \quad \lambda = \frac{0.693}{140\ d} = 4.95 \times 10^{-3} d^{-1}$$

এখানে,
$T = 140\ d$
$t = 7\ d$

আবার, $N = N_0 e^{-\lambda t}$

বা, $\frac{N}{N_0} = e^{-(4.95 \times 10^{-3} \times 7)}$

$\therefore \quad N = 0.96594\ N_0$

সুতরাং, তেজস্ক্রিয়তা হ্রাস $= N_0 - N = N_0 - 0.96594\ N_0 = 0.03405\ N_0$

অতএব, শতকরা হ্রাস পায় $= \frac{0.03405\ N_0}{N_0} \times 100\% = 3.4\%$

১০। কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থ 4000 বছরে কমে $\frac{1}{32}$ অংশ হলে এর অর্ধায়ু কত ? [য. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন)]

প্রারম্ভিক পরমাণু সংখ্যা N_0 এবং t সময় ধরে বিঘটন চলার পর অবশিষ্ট অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা N হলে, আমরা পাই,

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{32} = \left(\frac{1}{2}\right)^5 = \frac{1}{2^{t/T}}$$

$\therefore \quad 2^{t/T} = 2^5$ বা, $t/T = 5$

এখানে,

$N = \frac{1}{32} N_0$

t = 4000 বছর

$\therefore \quad t = 5T$, এখানে তেজস্ক্রিয় পদার্থের 5T অর্ধায়ু পরে তেজস্ক্রিয় পদার্থটি কমে $\frac{1}{32}$ অংশ হয়।

$\therefore \quad 5\,T = 4000$ বছর

অতএব, অর্ধায়ু, $T = \frac{4000}{5} = 800$ বছর।

১১। কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু 40 d এবং এক সময় এর পরমাণু সংখ্যা 10^{10}। প্রতি সেকেন্ডে পরমাণুর বিঘটন সংখ্যা নির্ণয় কর।

আমরা জানি, ক্ষয় বা বিঘটন ধ্রুবক,

$$\lambda = \frac{0.693}{T} = \frac{0.693}{40 \times 24 \times 60 \times 60}\ s^{-1}$$

এখানে,

$T = 40\ d = 40 \times 24 \times 60 \times 60\ s$

$N = 10^{10}$

$\therefore$ প্রতি সেকেন্ডে বিঘটনের সংখ্যা = সক্রিয়তা

$$\lambda N = \frac{0.693}{40 \times 24 \times 60 \times 60} \times 10^{10}$$

$$= \frac{0.693 \times 10^{10} \times 10^{-5}}{4 \times 2.4 \times 3.6}$$

$= 2 \times 10^3$ dps (disintegration per second অর্থাৎ প্রতি সেকেন্ডে বিঘটন)

১২। একখণ্ড রেডনের 60% ক্ষয় হতে কত সময় লাগবে ? রেডনের অর্ধায়ু 3.82 দিন।

[চ. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন), ২০০৬; ব. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন), ২০০২; ঢা. বো. ২০১১; রা. বো. ২০১০, ২০০৬; য. বো. ২০০৭, ২০০০; সি. বো. ২০০৮, ২০০৪; কু. বো. ২০০৩; Admission Test : RUET 2008–09, CKRUET 2020-21; JUST 2015-16; SUST 2019-20 (মান ভিন্ন); 2016-17; BUET 2018-19]

আমরা জানি,

$$\text{অর্ধায়ু,} \quad T = \frac{0.693}{\lambda}$$

$$\text{বা,} \quad 3.82 = \frac{0.693}{\lambda}$$

$$\therefore \quad \lambda = \frac{0.693}{3.82} = 0.1814\ d^{-1}$$

এখানে,

$T = 3.82$ দিন

রেডনের 60% ক্ষয় হলে অবশিষ্ট থাকে 40% অর্থাৎ 100% প্রাথমিক পরমাণু সংখ্যার 60% ক্ষয় হলে অবশিষ্ট থাকে 40% । সুতরাং $\frac{N}{N_0} = \frac{40}{100}$

যেখানে N_0 = প্রাথমিক পরমাণু সংখ্যা এবং

N = অবশিষ্ট পরমাণু সংখ্যা

আমরা জানি, $N = N_0 e^{-\lambda t}$

$$\therefore \quad \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \quad \text{বা,} \quad \frac{40}{100} = e^{-0.1814t}$$

$$\text{বা,} \quad \frac{2}{5} = e^{-0.1814t} \quad \text{বা,} \quad \ln\left(\frac{2}{5}\right) = -0.1814t$$

$$\therefore t = \frac{\ln\left(\frac{2}{5}\right)}{-0.1814} = \frac{-0.9163}{-0.1814} = 5.05 \text{ দিন}$$

উত্তর : 5.05 দিন।

১৩। প্রতি গ্রাম ^{226}Ra প্রতি সেকেন্ডে $3{\cdot}5 \times 10^{10}$ আলফা কণা নিঃসরণ করে। রেডিয়ামের অর্ধায়ু কত বছর ?
[রা. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); ম বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন)]

এখানে 1 g রেডিয়াম পরমাণুর সংখ্যা,

$$N = \frac{\text{অ্যাভোগেড্রো সংখ্যা}}{\text{পারমাণবিক ওজন}}$$

$$= \frac{6{\cdot}025 \times 10^{23}}{226} = 2{\cdot}61 \times 10^{21}$$

এখানে $\frac{dN}{dt} = 3{\cdot}5 \times 10^{10}\ s^{-1}$

আবার, $N = N_0 e^{-\lambda t}$

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

বা, $\frac{dN}{dt} = \lambda N$ (—ve চিহ্ন বাদ দিয়ে, কারণ পরমাণুর সংখ্যা হ্রাস পেতে —ve চিহ্ন ব্যবহৃত হয়েছে)

বা, $3{\cdot}5 \times 10^{10} = \lambda \times 2{\cdot}67 \times 10^{21}$

$\therefore \quad \lambda = 1{\cdot}31 \times 10^{-11}\ s^{-1}$

অর্ধায়ু, $T = \frac{0{\cdot}693}{\lambda} = \frac{0{\cdot}693}{1{\cdot}31 \times 10^{-11}}$

$$= 5{\cdot}29 \times 10^{10}\ s = 1677{\cdot}5\ y$$

১৪। পারমাণবিক দুর্ঘটনার ফলে কোনো একটি কক্ষে 20 d অর্ধায়ুসম্পন্ন কিছু পরিমাণ তেজস্ক্রিয় পদার্থ প্রবিষ্ট হলো। পরীক্ষা করে দেখা গেল যে, তেজস্ক্রিয় বিকিরণের মাত্রা স্বাভাবিক মাত্রার চেয়ে 64 গুণ বেশি। কত দিন পরে ঘরটিকে নিরাপদে ব্যবহার করা যাবে ?

এখানে অর্ধায়ু, $T = 20$ d

আমরা জানি,

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

বা, $\lambda = \frac{0{\cdot}693}{T} = \frac{0{\cdot}693}{20}$ /d

মনে করি, তেজস্ক্রিয় পদার্থের প্রারম্ভিক পরিমাণ, N_0 এবং t দিন পরে এর পরিমাণ $= N$

প্রশ্নানুসারে, $N = \frac{N_0}{64}$

আবার, $N = N_0 e^{-\lambda t}$

বা, $\frac{N_0}{64} = N_0 e^{-\lambda t}$

বা, $\frac{1}{64} = e^{-\lambda t}$

বা, $\ln 1 - \ln 64 = -\lambda t$

বা, $0 - \ln 64 = -\lambda t$

বা, $\lambda t = \ln 64$

$\therefore \quad t = \frac{\ln 64}{\lambda} = \frac{4{\cdot}15888}{0{\cdot}693/20}$

$$= \frac{4{\cdot}15888 \times 20}{0{\cdot}693} = 120 \text{ দিন}$$

সুতরাং, 120 দিন পরে ওই কক্ষটি নিরাপদে ব্যবহার করা যাবে।

৯·১২ ভাঙ্গনের হার বা সক্রিয়তা
Rate of disintegration or activity

সময়ের সাপেক্ষে কোনো তেজস্ক্রিয় নমুনার ভাঙ্গনের হারকে তার সক্রিয়তা বলে। কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের সক্রিয়তা বলতে প্রতি সেকেন্ডে ওই পদার্থের বিঘটনের (disintegration) সংখ্যা বোঝায়। একে A দ্বারা সূচিত করা হয়।

আমরা জানি, প্রাথমিক পরমাণু সংখ্যা N_0 এবং যে কোনো সময়ে অপরিবর্তিত পরমাণু সংখ্যা N হলে, N_0 ও N-এর মধ্যে সম্পর্ক হলো—

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

সমীকরণ (i)-কে অবকলন করে পাই,

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} = -\lambda N = A = \text{সক্রিয়তা}$$

সুতরাং, যখন $t = 0$, তখন $\left(\frac{dN}{dt}\right)_0 = -\lambda N_0$

$$\therefore \quad \frac{dN}{dt} = \left(\frac{dN}{dt}\right)_0 e^{-\lambda t} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$$

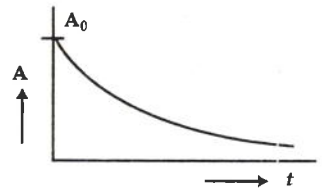
এখন $\frac{dN}{dt} = A$ এবং $\left(\frac{dN}{dt}\right)_0 = A_0$

অতএব, সমীকরণ (ii) কে লেখা যায়,

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.18)$$

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 যেকোনো 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, $R = r_0 A^{\frac{1}{3}}$, $^{16}_{8}O$-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, $$R_2 = R_1 \times \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^{\frac{1}{3}}$$

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

$$= 7 \times 10^{-15}\ \text{m}$$

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

আমরা জানি,

নিউক্লিয়াসের ভর, $M = c_1A$ এবং ব্যাসার্ধ, $R \propto A^{\frac{1}{3}}$

$\therefore$ ব্যাসার্ধ, $R = c_2A^{\frac{1}{3}}$; যেখানে c_1 ও c_2 হলো ধ্রুবক

$$\therefore \quad \text{ঘনত্ব} = \frac{\text{ভর (M)}}{\text{আয়তন}} = \frac{c_1A}{\frac{4}{3}\pi(c_2A^{\frac{1}{3}})^3} = \frac{3}{4\pi} \times \frac{c_1}{c_2^3} = c = \text{ধ্রুবক}$$

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 $T = 2·48 \times 10^5$ yrs.

(i) আমরা জানি,

$$M = M_0e^{-\lambda t}$$

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

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

এখানে,

$M_0 = 3·0$ mg

$t = 62000$ yrs

$T = 2·48 \times 10^5$ yrs

$\therefore \quad M = M_0e^{-0·173}$

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 $4·5 \times 10^9$ 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

$$N = \frac{6·023 \times 10^{23}}{238}$$

$$= 2·53 \times 10^{21}$$

এখানে,

$T = 4·5 \times 10^9$ yrs

$= 4·5 \times 10^9 \times 365 \times 86400$ s

$M_0 = 1$ g

আমরা জানি, তেজস্ক্রিয়তা

$$A = \lambda N = \frac{0·693}{T} \times 2·53 \times 10^{21}$$

$$\therefore \quad A = \frac{0·693 \times 2·53 \times 10^{21}}{4·5 \times 3·65 \times 8·64 \times 10^{15}} = 1·235 \times 10^4 \text{ Bq}$$

(ii) আমরা জানি,

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

বা, $0.01 = 1e^{-\lambda t}$

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

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

এখানে,

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

$N_0 = 1\ g$

$\therefore \quad t = \frac{4.60 \times 1.42 \times 10^{17}}{0.693} = 9.42 \times 10^{17}\ s = 2.987 \times 10^{10}\ yrs.$

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

[কু. বো. ২০০৭; য. বো. ২০০২; রা. বো. ২০০০; Admission Test : DU (প্রযুক্তি) 2020-21; BSMRSTU, RAU 2012-13, 2017-18]

আমরা জানি,

গড় আয়ু, $\tau = \frac{1}{\lambda}$

আবার, অর্ধায়ু, $T = \frac{0.693}{\lambda}$

এখানে,

অর্ধায়ু, $T = 45 \times 10^8$ yrs

গড় আয়ু, $\tau = ?$

$\therefore \quad \tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{0.693} = \frac{45 \times 10^8}{0.693}\ yrs = 64.9 \times 10^8\ yrs$

৬। কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু 1000 বছর। কত বছর পর উহার তেজস্ক্রিয়তা ক্ষয়প্রাপ্ত হয়ে $\frac{1}{10}$ th হবে? ওই তেজস্ক্রিয় পদার্থের গড় আয়ু কত হবে? [ঢা. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন); BUET Admission Test, 2017–18]

আমরা জানি,

$T = \frac{0.693}{\lambda}$

$\therefore \quad \lambda = \frac{0.693}{1000} = 6.93 \times 10^{-4}$

এখানে,

$T = 1000\ y$

$N = \frac{N_0}{10}$

$t = ?$

আবার, $N = N_0 e^{-\lambda t}$

$\frac{N_0}{10} = N_0 e^{-\lambda t}$

$-\lambda t = \ln\left(\frac{1}{10}\right)$

$t = \frac{-\ln\left(\frac{1}{10}\right)}{6.93 \times 10^{-4}} = 3322.62\ y$

৭। তেজস্ক্রিয় Na^{24}-এর অর্ধায়ু 15 ঘণ্টা। কোনো ব্যক্তির শিরায় 1 মাইক্রো কুরি (1 μC) সক্রিয়তাবিশিষ্ট এই তেজস্ক্রিয় নমুনার স্বল্প দ্রবণ ইনজেকশনের মাধ্যমে ঢুকিয়ে দেওয়ার 5 ঘণ্টা পরে ওই ব্যক্তির শরীর থেকে গৃহীত 1 mm রক্তের নমুনার সক্রিয়তা 296 বিঘটন/মিনিট হলে তাঁর শরীরের মোট রক্তের আয়তন কত?

(1 কুরি = 3.7×10^{10} বিঘটন/সেকেন্ড)

দ্রবণ প্রবিষ্ট হওয়ার পূর্বে Na^{24} দ্রবণের সক্রিয়তা,

$A_0 = 1.0 \times 10^{-6} \times 3.7 \times 10^{10}$

$= 3.7 \times 10^4$ বিঘটন/সেকেন্ড

ধরি, রক্তের মোট আয়তন = V মিমি

5 ঘণ্টা পরে ওই দ্রবণের সক্রিয়তা,

A = 1 mm বা, 1 c.c. রক্তের সক্রিয়তা × V

এখানে,

অর্ধায়ু, T = 15 ঘণ্টা

সময়, t = 5 ঘণ্টা

সক্রিয়তা, A_0 = 1.0 মাইক্রো কুরি

$= 1.0 \times 10^{-6}$ কুরি

1 কুরি = 3.7×10^{10} বিঘটন/সেকেন্ড

$\therefore \quad A = 296 \times V$ বিঘটন/মিনিট $= \frac{296}{60} \times V$ বিঘটন/সেকেন্ড

এখন, যেহেতু $\frac{A}{A_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{5}{15}}$

বা, $A = A_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{5}{15}} = 3{\cdot}7 \times 10^4 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{3}}$

$= \frac{3{\cdot}7 \times 10^4}{1{\cdot}2599} = 2{\cdot}9367 \times 10^4$

$\therefore \quad \frac{296}{60} \times V = 2{\cdot}9367 \times 10^4$

বা, $V = \frac{2{\cdot}9367 \times 60}{296} \times 10^4$ c.c $= 5933$ cc $= 5{\cdot}933$ লিটার

৮। একখণ্ড প্রাচীন কাঠে ^{14}C ও ^{12}C-এর অনুপাত বর্তমানকালের জীবিত গাছের কাঠে ওই অনুপাতের $\frac{1}{12}$ অংশ। ^{14}C-এর অর্ধায়ু 5570 বছর। প্রাচীন কাঠটির বয়স নির্ণয় কর।

ধরা যাক, প্রাচীন কাঠটির বয়স t বছর।

আমরা জানি,

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

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

বা, $\frac{1}{12} = e^{-\lambda t}$

বা, $e^{\lambda t} = 12$

বা, $\lambda t = \log_e(12) = 2{\cdot}485$

বা, $t = \frac{2{\cdot}485}{\lambda}$ ... ... (i)

এখানে,

$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{12}$

$T = 5570$ বছর

$t = ?$

আবার, $\lambda = \frac{0{\cdot}693}{T} = \frac{0{\cdot}693}{5570} = 1{\cdot}24 \times 10^{-4}\ y^{-1}$

সমীকরণ (i)-এ মান বসিয়ে পাই, $t = \frac{2{\cdot}485}{1{\cdot}24 \times 10^{-4}}$ y $= 20040$ y

সুতরাং, প্রাচীন কাঠটির বয়স 20040 বছর।

৯। একটি $^{56}_{26}Fe$ নিউক্লিয়াস বিভাজনের ফলে দুটি সমান $^{28}_{13}Al$-এর নিউক্লিয়াসে পরিণত হওয়া সম্ভব কি না—বিশ্লেষণ কর। $m\left(^{56}_{26}Fe\right) = 55{\cdot}93494$ amu, $m\left(^{28}_{13}Al\right) = 27{\cdot}98191$ amu।

যদি ধরা হয় যে বিক্রিয়াটি সম্ভব তাহলে বিক্রিয়াটি হবে,

$^{56}_{26}Fe = {}^{28}_{13}Al + {}^{28}_{13}Al$

$\therefore \quad Q = m_N\left(^{56}_{26}Fe\right) - 2\,m_N\left(^{28}_{13}Al\right)$

$= m\left(^{56}_{26}Fe\right) - 26\,m_e - 2\,m\left(^{28}_{13}Al\right) + 26\,m_e$

$= m\left(^{56}_{26}Fe\right) - 2\,m\left(^{28}_{13}Al\right)$

$= 55{\cdot}93494 - 2 \times 27{\cdot}98191 = -0{\cdot}2888 \times 933\ MeV$

$= -26{\cdot}94\ MeV$

এখন, যেহেতু Q-এর মান ঋণাত্মক, অতএব বিভাজনটি সম্ভব নয়।

১০। একটি 2000MW-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,

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

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,

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

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

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

১১। একটি নিউক্লীয় রিঅ্যাক্টরের ক্ষমতা 3000 kW। প্রতি সেকেন্ডে কতগুলো 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, $3000 \text{ kW} = 3 \times 10^6 \text{ Js}^{-1}$

প্রতি ফিশনে নির্গত শক্তি $= 200 \text{ MeV} = 200 \times 10^6 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \text{ J} = 3{\cdot}2 \times 10^{-11} \text{ J}$

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

১২। 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 $= 1{\cdot}424 \times 10^4$ MW

৯·১৩ কতগুলো প্রয়োজনীয় রাশি ***

Some important terms

RMDAC

নিম্নে কতগুলো প্রয়োজনীয় রাশি আলোচনা করা হলো :

MAT(07-08) **(ক) আইসোটোপ (Isotopes) : যেসব 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।**

MAT(03-04) DAT(03-04) **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 যেসব 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, $\Delta m = ZM_p + NM_n - M$

বা, $\Delta m = ZM_p + (A - Z)M_n - M$ ... ... (9.19)

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, $M_{nuc} = M_{atm} - ZM_e$

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

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

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

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

$\therefore \quad \Delta m = ZM_H + NM_n - M_{atm}$ ... ... [9.19(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
লিথিয়াম ($_3Li^7$)	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, $\Delta m = \frac{E}{c^2}$ [$\because E = \Delta mc^2$]

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 ? [ঢা. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); দি. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন)]

$_1H^2$ 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

$\Delta E = \Delta m \times 931$ [$\because$ 1 a.m.u. = 931 MeV]

= 0·002388 × 931 = 2·23 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, $\text{B. E.} = \Delta mc^2 =$ ভরত্রুটি $\times$ (আলোকের বেগ)^2

বা, $\text{B. E.} = [ZM_p + (A - Z)M_n - M]c^2$ ... ... (9.20)

এটিই হলো নিউক্লীয় বন্ধন শক্তির চূড়ান্ত রাশিমালা।

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

$\therefore$ $\text{B. E.} = \Delta m.c^2 = [ZM_p + NM_n - M]c^2$ ... ... [9.20(a)]

এবং $BE = (ZM_n + NM_n - M_{atm})c^2$ ... ... [9.20(b)]

$\therefore$ সমীকরণ 9.20, 9.20(a), 9.20(b) হলো বন্ধন শক্তির সমীকরণ।

সমীকরণ 9.20, 9.20(a), 9.20(b) সমীকরণের ভরসমূহ একীভূত পারমাণবিক ভর একক (amu) অথবা কিলোগ্রাম (kg) এককে প্রকাশ করা যায়।

আমরা জানি,

$$E = 1\text{ amu} \times c^2 = 931{\cdot}5\text{ MeV} \simeq 931\text{ MeV}$$

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

সমীকরণ 9.20, 9.20(a), 9.20(b) সমীকরণে $1\text{amu} = 931\text{ MeV}/c^2$ বসিয়ে সরাসরি MeV এককে বন্ধন শক্তি নির্ণয় করা যায়।

উদাহারণ : ডিউটেরন নিউক্লিয়াসের ভর-ত্রুটি

$\Delta m = 0{\cdot}002388$ a.m.u.

কিন্তু 1 a.m.u. $= 931$ MeV

$\therefore$ ডিউটেরনের বন্ধন শক্তি

$\text{B.E.} = 0{\cdot}002388 \times 931 = 2{\cdot}23\text{ MeV}$

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

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

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

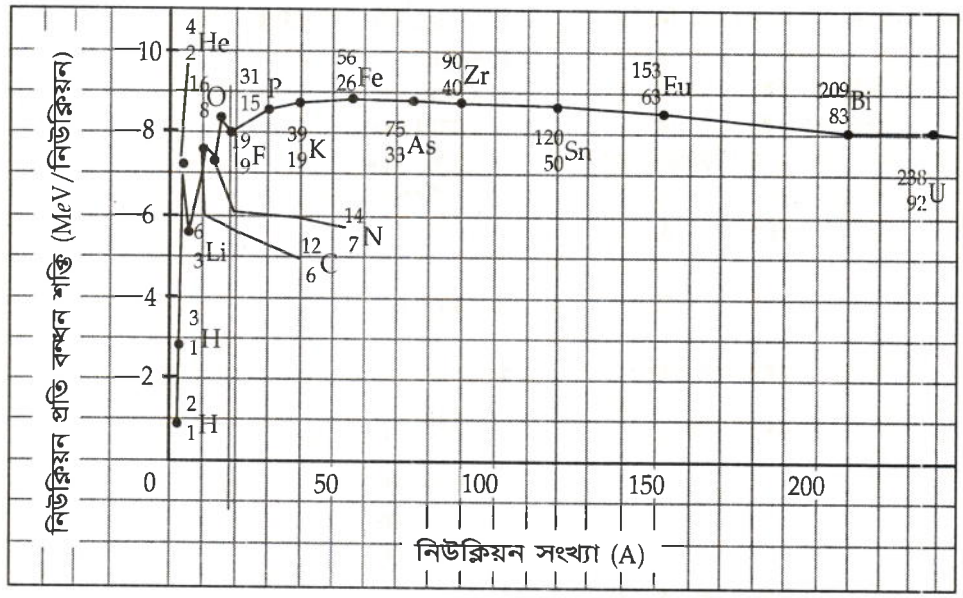
$$\therefore \text{ গড় বন্ধন শক্তি } = \frac{\text{মোট বন্ধন শক্তি}}{\text{মোট নিউক্লিয়ন সংখ্যা}}$$

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

গড় বন্ধন শক্তি একটি গুরুত্বপূর্ণ রাশি। কোনো নিউক্লিয়াসের গড় বন্ধন শক্তি ভর সংখ্যার ওপর নির্ভর করে। ভর 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 সংখ্যা 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 নিউক্লিয়াস যেমন He^4, C^{12} ও O^{16} এর মান তুলনামূলকভাবে বেশি। অতএব, এই নিউক্লিয়াসগুলো আশেপাশের নিউক্লিয়াসগুলোর তুলনায় বেশি স্থায়ী। **তবে Fe নিউক্লীয় বন্ধনশক্তি He, O_2, Au অপেক্ষা সর্বাধিক।**

পর্যায় সারণির (periodic table) মধ্যবর্তী স্থানে অবস্থিত মৌলগুলোর ($50<A<80$) নিউক্লিয়াসগুলো সবচেয়ে সুস্থিত। কেননা এদের নিউক্লিয়াস থেকে একটি নিউক্লিয়ন বিচ্ছিন্ন করতে অনেক বেশি শক্তির প্রয়োজন হয়। লেখচিত্র থেকে দেখা যায় যে এই অঞ্চলের নিউক্লিয়াসগুলোর 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 যে লোহা সর্বাধিক স্থায়ী নিউক্লিয়াসগুলোর অন্যতম।

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 a.m.u এককে এবং বন্ধন শক্তি MeV, eV 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] [ঢা. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন)]

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

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

2টি নিউট্রনের ভর $= 2 \times 1{\cdot}00867 = 2{\cdot}01734$ a.m.u.

$\therefore$ এদের মোট ভর $= 2{\cdot}014556 + 2{\cdot}01734 = 4{\cdot}03190$ a.m.u.

কিন্তু একটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াসের প্রকৃত ভর $= 4{\cdot}00276$ a.m.u.

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

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

$= 27{\cdot}129 \times 10^6$ eV

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

$= 4{\cdot}34 \times 10^{-12}$ J

(iii) হিলিয়াম নিউক্লিয়াসে কণার সংখ্যা A = 4

সুতরাং প্রতি কণার বন্ধন শক্তি $= \frac{\text{বন্ধন শক্তি}}{A} = \frac{27{\cdot}129}{4} = 6{\cdot}782$ MeV

$= 6{\cdot}782 \times 10^6$ eV

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

$= 1{\cdot}085 \times 10^{-12}$ J

২। $_3Li^7$ নিউক্লিয়াসের ভরত্রুটি ও বন্ধন শক্তি নির্ণয় কর। [ম. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন)]

$m_n = 1{\cdot}008665$ amu, $m_p = 1{\cdot}007277$ amu, লিথিয়াম নিউক্লিয়াসের ভর = 7·016005 amu এবং 1 amu = $1{\cdot}66 \times 10^{-27}$ kg.

আমরা জানি,

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

বা, $\Delta m = [\{3 \times 1{\cdot}007277 + (7-3) \times 1{\cdot}008665\} - 7{\cdot}016005]$ amu

$= \{(3{\cdot}021831 + 4{\cdot}03466) - 7{\cdot}016005\}$ amu

$= (7{\cdot}046491 - 7{\cdot}016006)$ amu

$= 0{\cdot}32485$ amu

$= 0{\cdot}32485 \times 1{\cdot}66 \times 10^{-27}$ kg

$\cong 0{\cdot}054 \times 10^{-27}$ kg

এখানে,

$m_n = 1{\cdot}008665$ amu

$m_p = 1{\cdot}007277$ amu

Li-এর ভর, M = 7·016005 amu

1 amu = $1{\cdot}66 \times 10^{-27}$ kg

$c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

$\Delta m = ?$

বন্ধন শক্তি, E = ?

আবার,

বন্ধন শক্তি, $E = \Delta mc^2 = 0{\cdot}054 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2$

$= 4{\cdot}85 \times 10^{-12}$ 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 : $_{11}Na^{24}$

$\therefore$ 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,

$$E_n = (m_N' + m_n - m_N)c^2$$
$$= [(m_N' + Zm_e) + m_n - (m_N + Zm_e)] \times c^2$$
$$= [39·962591 + 1·008665 - 40·962278] \text{ amu} \times c^2$$
$$= 0·008978 \text{ amu} \times c^2 = 0·008978 \times 931 \text{ MeV}$$
$$= 8·358 \text{ MeV}$$

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 = ?

৫। ক্লোরিন ($_{17}Cl^{35}$) পরমাণুর ভর 34·9800 amu। প্রতিটি নিউক্লিয়ন এর গড় বন্ধন শক্তি কত ? (দেওয়া আছে, নিউট্রন ভর, $_0n^1$ = 1·008665 amu এবং প্রোটনের ভর, $_1H^1$ = 1·007825 amu.)

[Admission Test : KUET 2015-16; CU-A 2019-20 (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি, ভরত্রুটি,

$$\Delta m = (A - Z)m_n + Zm_p - M_{nucleus}$$
$$= (35 - 17) \times 1·008665 + 17 \times 1·007825 - 34·9800$$
$$= 0·308995 \text{ amu}$$

এখানে,
$M_{nucleus}$ = 34·9800 amu
$_0n^1$ = 1·008665 amu
$_1H^1$ = 1·007825 amu

∴ বন্ধন শক্তি,

$$E = \Delta m \times 931 \text{ MeV} = 0·308995 \times 931 \text{ MeV}$$
$$= 287·67 \text{ MeV} = 287·67 \times 10^6 \text{ eV}$$
$$= 287·67 \times 10^6 \times 1·6 \times 10^{-19} = 4·61 \times 10^{-11} \text{ J}$$

প্রতি নিউক্লিয়নে গড় বন্ধনশক্তি $= \frac{E}{A} = \frac{4·61 \times 10^{-11}}{35}$ J

$$= 1·32 \times 10^{-12} \text{ J} = 8·25 \times 10^6 \text{ eV} = 8·25 \text{ MeV}$$

৬। একটি স্লথ নিউট্রনের গতিশক্তি 0·08 eV। এই নিউট্রনের বেগ আলোর বেগের কত অংশ? কোন তাপমাত্রায় একটি গ্যাস অণুর গড় গতিশক্তি নিউট্রনেরর শক্তির সমান হবে? (নিউট্রনের ভর = $1·675 \times 10^{-27}$ kg, K = $1·38 \times 10^{-23}$ JK^{-1})

আমরা জানি নিউট্রনের গতিশক্তি,

$$E_k = \frac{1}{2}m_n v^2$$

বা, $$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m_n}} = \sqrt{\frac{2 \times 0·08 \times 1·6 \times 10^{-19}}{1·675 \times 10^{-27}}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 0·08 \times 1·6 \times 10^{-19} \times 10^{27}}{1·675}}$$

$$= 0·39 \times 10^4 = 3·9 \times 10^3 \text{ ms}^{-1}$$

∴ $$\frac{v}{c} = \frac{3·9 \times 10^3}{3 \times 10^8} \times 100\% = 1·30 \times 10^{-3}\% = 0·00130\%$$

এখানে,
E_k = 0·08 eV = 0·08 × 1·6 × 10^{-19}
m_n = $1·675 \times 10^{-27}$ kg
h = $1·38 \times 10^{-23}$ JK^{-1}

এখন একটি গ্যাস অণুর গড় গতিশক্তি,

$$E_k = \frac{3}{2} KT$$

∴ $$T = \frac{2E_k}{3K} = \frac{2 \times 0·08 \times 1·6 \times 10^{-19}}{3 \times 1·38 \times 10^{-23}} = 618·4 \text{ K} = 345·4°C$$

৭। $^{62}_{28}Ni$ এর নিউক্লিয়ন প্রতি বন্ধন শক্তি ও ভরত্রুটি নির্ণয় কর।
(দেওয়া আছে, প্রোটনের ভর m_p = 1·007825 amu, নিউট্রনের ভর, m_n = 1·008665 amu)

আমরা জানি, নিউক্লিয়ন প্রতি বন্ধন শক্তি,

$$\frac{B}{A} = \frac{1}{A}[Zm_p + (A - Z)m_n - m]c^2$$

$$= \frac{1}{62}[28 \times 1{\cdot}007825 + 34 \times 1{\cdot}008665 - 61{\cdot}928345] \times 931\ MeV$$

$$= 8{\cdot}79\ MeV$$

এখানে,
A = 62
Z = 28
প্রোটনের ভর, m_p = 1·007825 amu
নিউট্রনের ভর, m_n = 1·008665 amu
$^{62}_{28}Ni$ পরমাণুর ভর, m = 61·928345 amu

এবং ভরত্রুটি,

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z) - m$$
$$= 28 \times 1{\cdot}007825 + 34 \times 1{\cdot}008665 - 61{\cdot}928345$$
$$= 0{\cdot}585365\ amu$$

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 ?

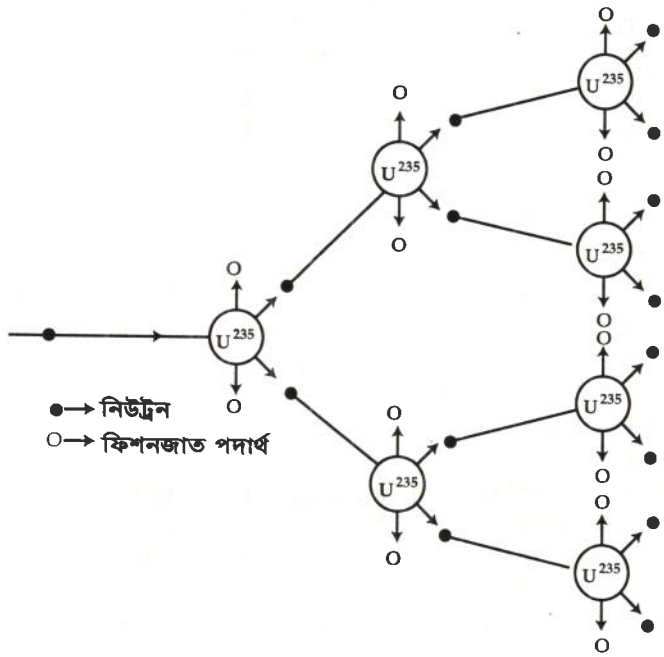
(ক) রাসায়নিক বিক্রিয়ায় পরমাণুর সবচেয়ে বাইরের কক্ষপথের ইলেকট্রন অংশগ্রহণ করে এবং এর ফলে নতুন কোনো পরমাণু উৎপন্ন হয় না। কিন্তু নিউক্লীয় বিক্রিয়ায় পরমাণুর নিউক্লিয়াস পরিবর্তিত হয়ে নতুন মৌলের পরমাণু সৃষ্টি হয়।

(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 উৎস 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 আরও দুটি $^{235}_{92}U$ নিউক্লিয়াসের ফিশন ঘটিয়ে আরও 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 চলতে থাকবে। এই প্রক্রিয়াই হলো 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 এই 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** (^2_1H বা ^2_1D), **ট্রাইটিয়াম বা ট্রাইটন** (^3_1H) ব্যবহার করা হয়। যখন 800 kms^{-1} বেগসম্পন্ন ট্রাইটিয়াম

RMDAC

নিউক্লিয়াস-এর সঙ্গে ডিউটেরিয়াম নিউক্লিয়াসের সংঘর্ষ ঘটে, তখন ফিউশন প্রক্রিয়ায় হিলিয়াম নিউক্লিয়াস গঠিত হয় এবং এর সঙ্গে প্রচণ্ড শক্তি বিমুক্ত হয়।

$$_1^3H + _1^2D \longrightarrow _2^4He + _0^1n + \text{শক্তি} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.21)$$

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। MAT(23-24)

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 = 4·003 amu এবং পজিট্রনের ভর = 0·00055 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।

$$_{92}^{235}U + (\text{তাপীয় নিউট্রন})\ _0n^1 \longrightarrow [_{92}^{236}U]^* \longrightarrow _{56}^{141}Ba + _{36}^{92}Kr$$

$$+ (\text{দ্রুত গতি নিউট্রন})\ 3_0^1n + \text{শক্তি (তাপীয় শক্তি) (200 } MeV) \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.22)$$

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। $_{92}^{235}U$ নিউক্লিয়াসকে নিউট্রন দ্বারা আঘাত করলে শুধু সমীকরণ (9.19) বিক্রিয়াই সংঘটিত হয় না। বহু ধরনের বিক্রিয়া ঘটে। যেমন,

$$_{92}^{235}U + _0n^1 \longrightarrow [_{92}^{236}U]^* \longrightarrow _{54}^{140}Xe + _{38}^{94}Sr + 2_0^1n + \text{শক্তি (200 } MeV) \quad \ldots \quad (9.23)$$

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 **মাইটনার** (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 $20\% = \frac{20}{100} = 0.2$

সুতরাং উৎপাদিত শক্তি,

$$U = \frac{432 \times 10^{10}}{0.2}$$

$$= 216 \times 10^{11}\ J$$

অতএব প্রয়োজনীয় নিউক্লিয়াসের সংখ্যা,

$$n = \frac{216 \times 10^{11}}{3.2 \times 10^{-11}} = 67.5 \times 10^{22}$$

এখানে,

প্রতি দিনে প্রয়োজনীয় শক্তি = 50 MW

$= 50 \times 10^6 \times 24 \times 60 \times 60\ J$

$= 432 \times 10^{10}\ J$

একটি U–235 নিউক্লিয়াস বিভাজনে উৎপাদিত শক্তি $= 200 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}\ J$

$= 3.2 \times 10^{-11}\ J$

অ্যাভোগ্যাড্রো সংখ্যা, $N_A = 6.023 \times 10^{26}$

$\therefore$ U–235 জ্বালানির ভর,

$$m = \frac{235 \times 67.5 \times 10^{22}}{6.023 \times 10^{26}} = 0.263\ kg$$

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 ?

[DU (7 colleges) Admission Test, 2020-21 (মান ভিন্ন)]

(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।

৩। সূর্যের অভ্যন্তরে ফিউশন বিক্রিয়ায় এবং নিউক্লীয় রিঅ্যাক্টরে ফিশন বিক্রিয়ায় শক্তি উৎপন্ন হয়।

(ক) সূর্যের অভ্যন্তরে 2 kg হাইড্রোজেনের ফিউশন বিক্রিয়ায় কত তাপশক্তি পাওয়া যাবে ?

(খ) একটি নিউক্লীয় রিঅ্যাক্টরে 2 kg $_{92}U^{235}$-এর ফিশনের ফলে কত তাপশক্তি উৎপন্ন হবে ?

(ক) ও (খ)-এ প্রাপ্ত তাপশক্তির অনুপাত কত ?

(ক) ফিউশন বিক্রিয়ার সমীকরণ হলো,

$$4\ {}_1H^1 \longrightarrow {}_2He^4 + 2e^0 + 26\ MeV$$

অর্থাৎ 4টি হাইড্রোজেন নিউক্লিয়াসের ফিউশনে 26 MeV শক্তি পাওয়া যায়।

এখন, 2 kg হাইড্রোজেনে নিউক্লিয়াসের সংখ্যা $= 6.023 \times 10^{23} \times 2000$

$\therefore$ উৎপন্ন শক্তি, $E_H = \frac{1}{4} \times 26 \times 6.023 \times 10^{23} \times 2000$

$$= 7.83 \times 10^{27}\ MeV$$

(খ) 1টি $_{92}U^{235}$ নিউক্লিয়াসের ফিশনে 200 MeV শক্তি পাওয়া যায়।

এখন, 2kg $_{92}U^{235}$-এ নিউক্লিয়াসের সংখ্যা $= \frac{6.023 \times 10^{23} \times 2000}{235}$

∴ 2kg $_{92}U^{235}$-এর ফিশনে উৎপন্ন শক্তি,

$$E_U = \frac{200 \times 6.023 \times 10^{23} \times 2000}{235}$$

$$= 1.025 \times 10^{27}\ MeV$$

$$\therefore \quad \frac{E_H}{E_U} = \frac{7.83 \times 10^{27}}{1.025 \times 10^{27}} = 7.64$$

কাজ : $^{235}_{92}U$ এর সাথে $_0n^1$ নিউট্রনের ফিশন বিক্রিয়ায় নির্গত শক্তির পরিমাণ নির্ণয় কর।

[চ. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); ম. বো. ২০২২; রা. বো. ২০১৮; সি. বো. ২০১৮; দি. বো. ২০১৮]

এই বিক্রিয়া নিম্নরূপ :

$$^{235}_{92}U + {}_0n^1 \longrightarrow [^{236}_{92}U]^* \longrightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 3\,{}_0n^1 + \text{শক্তি (200 MeV)}$$

ফিশনের পূর্বে মোট ভর,

$^{235}_{92}U$ এর ভর	=	235.045922 amu
$_0n^1$ এর ভর	=	1.008665 amu
ফিশনের পূর্বে মোট ভর	=	236.054587 amu

ফিশনের পর মোট ভর,

$^{141}_{56}Ba$ এর ভর	=	140.9177 amu
$^{92}_{36}Kr$ এর ভর	=	91.8854 amu
3টি নিউট্রনের ভর	=	3.025995 amu
ফিশনের পর মোট ভর	=	235.829095 amu

ভর ত্রুটি, Δm= 236.054587 amu — 235.829095 amu = 0.225492 amu

নির্গত শক্তি, $E = \Delta mc^2 = 0.225492 \times c^2$

$$= 0.225492 \times 931.5\ \frac{MeV}{c^2} \times c^2$$

$$= 210\ MeV$$

হিসাব কর : 1 kg ইউরেনিয়াম থেকে নির্গত শক্তির পরিমাণ কত ? [ম. বো. ২০২২]

প্রতি kg ইউরেনিয়ামে পরমাণুর সংখ্যা $= \frac{6.023 \times 10^{23}}{235}$

প্রতি ফিশনে নির্গত শক্তির পরিমাণ 200 MeV

সুতরাং 1 kg ইউরেনিয়াম থেকে নির্গত শক্তির পরিমাণ,

$$E = \frac{6.025 \times 10^{26}}{235} \times 200\ MeV$$

$$= 5.128 \times 10^{26}\ MeV$$

$$= 5.128 \times 10^{26} \times 1.6 \times 10^{-13}\ J$$

$$= 8.2 \times 10^{13}\ J = \frac{8.2 \times 10^{13}}{3.6 \times 10^{6}}\ kWh$$

$$= 2.28 \times 10^{7}\ kWh$$

গাণিতিক উদাহরণ ৯.৯

১। নিম্নোক্ত নিউক্লীয় বিক্রিয়ায় নির্গত অজানা নিউক্লিয়াসটি কী, বের কর।

$$_{13}Al^{27} + {}_{2}He^{4} \longrightarrow {}_{15}P^{30} + ?$$

ধরা যাক, অজানা নিউক্লিয়াসটির ভর সংখ্যা A ও পারমাণবিক সংখ্যা Z।
এখন ওপরের নিউক্লীয় সমীকরণের ভর সংখ্যার সংরক্ষণ সূত্র থেকে পাই,

$$27 + 4 = 30 + A$$

বা, $A = 27 + 4 - 30 = 1$

আবার, পারমাণবিক সংখ্যার সংরক্ষণ সূত্র থেকে পাই,

$$13 + 2 = 15 + Z$$

বা, $Z = 13 + 2 - 15 = 0$

এখন, $Z = 0$ ও $A = 1$ হওয়ায় এটি একটি নিউট্রন
সুতরাং, সম্পূর্ণ সমীকরণটি হলো,

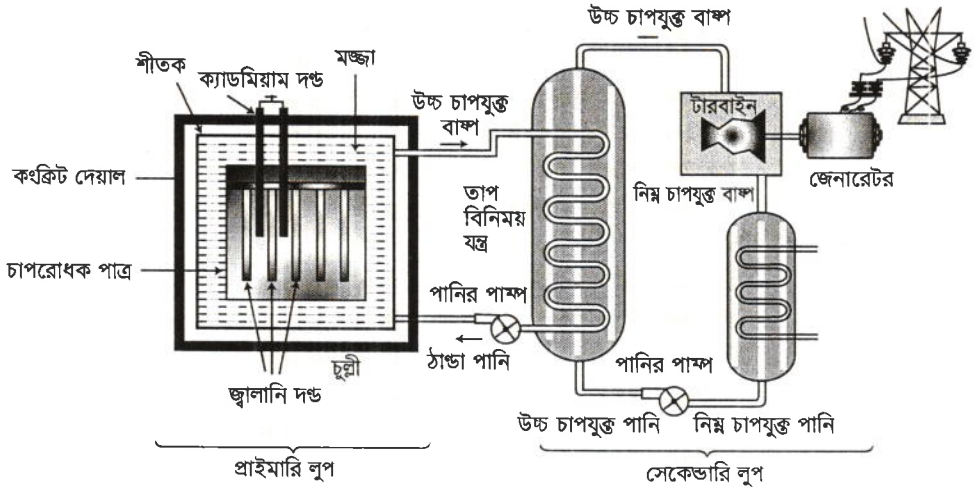
$$_{13}Al^{27} + {}_{2}He^{4} \longrightarrow {}_{15}P^{30} + {}_{0}n^{1}$$

৯·১৯ পারমাণবিক চুল্লি বা নিউক্লীয় চুল্লি
Nuclear reactor

যে যন্ত্রে নিয়ন্ত্রিত চেইন বিক্রিয়া ঘটিয়ে বিপুল পরিমাণ শক্তি পাওয়া যায় তাকে পারমাণবিক চুল্লি বা নিউক্লীয় চুল্লি বলে। মূলত নিউক্লীয় চুল্লিতে তাপ উৎপন্ন হয়। এই তাপকে বাষ্পীয় টারবাইন ঘোরানোর কাজে ব্যবহার করে জেনারেটরের মাধ্যমে বিদ্যুৎ উৎপন্ন করা হয়।

MAT(14-15) পারমাণবিক চুল্লিতে মূলত $^{235}_{92}U$ ব্যবহার করা হয়। প্রকৃতিতে প্রাপ্ত ইউরেনিয়ামের মধ্যে U^{238} ও U^{235} প্রায় 142 : 1 অনুপাতে থাকে। প্রাকৃতিক ইউরেনিয়ামের মধ্য দিয়ে তাপীয় নিউট্রন (Thermal neutron) পাঠালে U^{235}-এর বিভাজন হয়। পক্ষান্তরে U^{238} নিউট্রনকে শোষণ করে। তাই শৃঙ্খল বিক্রিয়া চালু রাখার জন্য প্রাকৃতিক ইউরিনিয়াম নমুনায় U^{235}-এর অনুপাত বাড়ানোর প্রয়োজন হয়। প্রাকৃতিক ইউরেনিয়াম থেকে বৈজ্ঞানিক উপায়ে U^{238} সরালেই U^{235}-এর অনুপাত বেড়ে যায়। এই ধরনের ইউরেনিয়ামকে **সমৃদ্ধ (enriched) ইউরেনিয়াম** বলে।

চিত্র ৯·১৪-এ একটি নিউক্লীয় চুল্লির সংশ্লিষ্ট যন্ত্রাদির নকশা দেখানো হয়েছে। চিত্রে প্রদর্শিত মজ্জা বা কোর (core)-এর মধ্যে জ্বালানি দণ্ড (এক্ষেত্রে ইউরেনিয়াম), মডারেটর, নিয়ন্ত্রক দণ্ড ও শীতলকারক পদার্থ (coolant) বা শীতক থাকে। দ্রুতগতিসম্পন্ন নিউট্রনগুলিকে মন্দীভূত করার জন্য মডারেটর ব্যবহার করা হয়। মডারেটর হিসেবে ভারী



চিত্র ৯·১৪

পানি (heavy water), গ্রাফাইট ইত্যাদি ব্যবহার করা হয়। শৃঙ্খল ক্রিয়া শুরু, বন্ধ বা নিয়ন্ত্রণ করার জন্য নিয়ন্ত্রক দণ্ড ব্যবহার করা হয়। ক্যাডমিয়াম বা বোরন দণ্ড নিয়ন্ত্রক দণ্ড হিসেবে ব্যবহার করা হয়।

MAT(23-24) **কার্যনীতি (Working principle) :** U^{235}-এর জ্বালানি দণ্ড, তাপীয় নিউট্রনের আঘাতে বিভাজিত হয়ে উচ্চ বেগসম্পন্ন গৌণ নিউট্রন উৎপন্ন হয়। গৌণ নিউট্রন উৎপন্ন হওয়ার সাথে সাথে সাধারণত মডারেটর দ্বারা মন্দীভূত হয়ে পরবর্তী নিউক্লীয় বিভাজনের জন্য তৈরি হয়। ভারী পানি নিউট্রনকে শোষণ করে না, তবে নিউট্রনের শক্তি শোষণ করে। প্রয়োজনমতো নিউট্রনকে শোষণ করার কাজে ক্যাডমিয়াম দণ্ডের সেট ব্যবহার করা হয়। ক্যাডমিয়াম দণ্ডগুলি ওপরে নিচে চলাচলের মাধ্যমে নিউট্রনের নিয়ন্ত্রক হিসেবে কাজ করে। মজ্জার অভ্যন্তরস্থ স্থানে উৎপন্ন উচ্চ তাপকে মজ্জার বাহিরে এনে ওই তাপশক্তিকে তাপ বিনিময় যন্ত্রের সাহায্যে কাজে লাগিয়ে পানিকে বাষ্পে পরিণত করা হয়। টারবাইন ঘুরানোর জন্য মাধ্যমে বিদ্যুৎশক্তি উৎপন্ন করা হয়। আবার উচ্চ চাপের অধীনে পানিকে শীতলকারক হিসেবে মজ্জার মধ্যে পাঠানো হয়। এর ফলে মজ্জার তাপমাত্রাও নিয়ন্ত্রণে থাকে। নিরাপত্তাজনিত কোনো কারণে নিউক্লীয় চুল্লি বন্ধ করার জন্য অতিরিক্ত ক্যাডমিয়াম দণ্ডের সেট রাখা হয় যা প্রয়োজনে ব্যবহার করা হয়।

জানার বিষয় : পারমাণবিক চুল্লিতে নিয়ন্ত্রিত চেইন বিক্রিয়া সংঘটিত হয়, অন্য দিকে পারমাণবিক বোমাতে অনিয়ন্ত্রিত চেইন বিক্রিয়া সংঘটিত হয়।

সার-সংক্ষেপ

নিউক্লিয়াস : পরমাণুর সব ধনাত্মক আধান ও ভর তার কেন্দ্রে যে অতি অল্প পরিসর স্থানে কেন্দ্রীভূত তাকে নিউক্লিয়াস বলে। এর ব্যাসার্ধ $r \approx 10^{-15}$ m।

অণু : প্রত্যেক পদার্থ যে অতীব ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা দ্বারা গঠিত তাকে অণু বলে।

পরমাণু : পরমাণু পদার্থের ক্ষুদ্রতম অংশ যা মুক্ত অবস্থায় থাকতে পারে না; কিন্তু কোনো রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করতে পারে।

পরমাণু মডেল : বিভিন্ন বিজ্ঞানী বিভিন্ন সময় পরমাণুর গঠন, প্রকৃতি ও আচরণ প্রকাশের জন্য বিভিন্ন চিত্র কল্পনা করেন। এর নাম পরমাণু মডেল।

থমসনের পরমাণু মডেল : থমসন মডেলের মূল বক্তব্য হলো যে পরমাণু একটি ধনাত্মক তড়িতাহিত গোলক এবং ইলেকট্রনগুলো এর মধ্যে সর্বত্র ছড়ানো রয়েছে।

রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল : রাদারফোর্ড মডেলের মূল বক্তব্য হলো যে পরমাণুর সমস্ত ধন আধান এবং ভর এর কেন্দ্রে অতি অল্প পরিসর স্থানে কেন্দ্রীভূত রয়েছে। এই স্বল্প পরিসর স্থানকে নিউক্লিয়াস বলে। নিউক্লিয়াসের বাইরে ইতস্ততভাবে ইলেকট্রন ছড়িয়ে রয়েছে।

বোরের পরমাণু মডেলের স্বীকার্য—

প্রথম স্বীকার্য : কোনো নির্দিষ্ট কক্ষে আবর্তনকালে ইলেকট্রন-এর কৌণিক ভরবেগ $(h/2\pi)$-এর পূর্ণ সংখ্যার গুণিতক হবে।

দ্বিতীয় স্বীকার্য : পরমাণুর ইলেকট্রনগুলো নির্দিষ্ট বৃত্তাকার কক্ষপথে আবর্তন করে। এসব কক্ষে থাকাকালীন ইলেকট্রনগুলো কখনও শক্তি বিকিরণ করে না।

তৃতীয় স্বীকার্য : যখন কোনো ইলেকট্রন একটি নির্দিষ্ট কক্ষ হতে অন্য একটি কক্ষে স্থানান্তরিত হয় তখনই শক্তির বিকিরণ বা শোষণ ঘটে। বিকিরিত বা শোষিত শক্তির পরিমাণ ওই দুটি কক্ষপথের শক্তির বিয়োগফলের সমান।

প্রোটন : এটি নিউক্লিয়াসে অবস্থিত ধন চার্জযুক্ত কণা। এর চার্জের পরিমাণ $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C এবং ভর $1{\cdot}673 \times 10^{-27}$ kg।

নিউট্রন : এটি নিউক্লিয়াসে অবস্থিত বিদ্যুৎ নিরপেক্ষ কণা। এর ভর $1{\cdot}675 \times 10^{-27}$ kg।

ইলেকট্রন : এটি ঋণচার্জযুক্ত কণা। এর চার্জের পরিমাণ $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$C এবং ভর $9{\cdot}1 \times 10^{-31}$kg।

নিউক্লিয়ন : নিউক্লিয়াসের মধ্যে যে সমস্ত কণা থাকে তাদেরকে নিউক্লিয়ন বলে।

পারমাণবিক সংখ্যা : কোনো পরমাণুর প্রোটন বা ইলেকট্রনের সংখ্যাকে পারমাণবিক সংখ্যা বলে।

পারমাণবিক ভর সংখ্যা : কোনো পরমাণুর প্রোটন ও নিউট্রনের সংখ্যাকে পারমাণবিক ভর সংখ্যা বলে।

পারমাণবিক ভর : কোনো পরমাণুর প্রোটন ও নিউট্রনের সম্মিলিত ভরকে এর পরমাণবিক ভর বলে।

পারমাণবিক ভর একক : একটি পরমাণুর ভর খুবই নগণ্য। তাই পারমাণুর প্রকৃত ভর বিবেচনা না করে ${}_6C^{12}$ মৌলকে প্রমাণ মৌল ধরে এর সাপেক্ষে অন্য সকল মৌলের ভর নির্ণয় করা হয়। এক পরমাণবিক ভর (1 amu) বলতে ${}_6C^{12}$ পরমাণুর ভরের $\frac{1}{12}$ অংশ বুঝায়।

তেজস্ক্রিয়তা : তেজস্ক্রিয় মৌল থেকে স্বতঃস্ফূর্তভাবে তেজস্ক্রিয় রশ্মি নির্গমনের ঘটনাকে তেজস্ক্রিয়তা বলে। তেজস্ক্রিয়তা একটি স্বতঃস্ফূর্ত স্বীয় বিচ্ছিন্নকারী অবিরাম প্রক্রিয়া।

তেজস্ক্রিয় পদার্থ ও তেজস্ক্রিয় রশ্মি : যে সমস্ত পদার্থ হতে স্বতঃস্ফূর্তভাবে তেজস্ক্রিয় কণা ও রশ্মি নির্গত হয় তাদেরকে যথাক্রমে তেজস্ক্রিয় পদার্থ এবং তেজস্ক্রিয় রশ্মি বলে।

তেজস্ক্রিয় মৌল : যেসব মৌল নিজ থেকে অন্য মৌলে রূপান্তরিত হয় তাদেরকে তেজস্ক্রিয় মৌল বলে।

জনক পরমাণু ও জনক দুহিতা : তেজস্ক্রিয় মৌলের যে পরমাণুর বিঘটন ঘটে, তাকে জনক পরমাণু বলা হয়। নিউক্লিয়াস থেকে তেজস্ক্রিয় রশ্মি নির্গত হওয়ার পর যে পরমাণুটি থাকে তাকে দুহিতা পরমাণু বলে।

প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তা : কোনো পদার্থ হতে স্বতঃস্ফূর্তভাবে যে তেজস্ক্রিয়া ঘটে তাকে প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তা বলে।

কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা : কৃত্রিম উপায়ে কোনো মৌলকে তেজস্ক্রিয় মৌলে পরিণত করলে যে তেজস্ক্রিয়া ঘটে তাকে কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা বলে।

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

α-বিঘটনের সূত্র : 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।

β-বিঘটনের সূত্র : কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের পরমাণুর β-বিঘটনের ফলে 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।

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

ভাঙনের হার বা সক্রিয়তা : সময়ের সাপেক্ষে কোনো তেজস্ক্রিয় নমুনার ভাঙনের হারকে তার তেজস্ক্রিয়তা বলে। সক্রিয়তা 1 Bq বলতে বুঝায় প্রতি সেকেন্ডে ওই তেজস্ক্রিয় পদার্থের একটি নিউক্লিয়াসের ভাঙন।

নিউক্লিয়ন : নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে যেসব কণা থাকে তাদেরকে নিউক্লিয়ন বলে।

তেজস্ক্রিয়তা : যে প্রক্রিয়া দ্বারা অস্থায়ী নিউক্লিয়াসবিশিষ্ট পদার্থ স্বতঃস্ফূর্তভাবে অবিরাম এক রহস্যময় কণা এবং রশ্মি নির্গত করে লঘুতর পারমাণবিক ওজনের মৌলে রূপান্তরিত হয়, তাকে তেজস্ক্রিয়তা বলে।

তেজস্ক্রিয় রশ্মি : তেজস্ক্রিয় রশ্মি তিন প্রকার ; যথা—(১) **আলফা রশ্মি** (α-রশ্মি), (২) **বিটা রশ্মি** (β-রশ্মি) এবং (৩) **গামা রশ্মি** (γ-রশ্মি)।

1 কুরি : কোনো বস্তুর প্রতি সেকেন্ডে $3{\cdot}7 \times 10^{10}$ সংখ্যক পরমাণুর ভাঙ্গনকে 1 কুরি বলে।

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

তেজস্ক্রিয়তার ক্ষয়সূত্র : কোনো মুহূর্তে তেজস্ক্রিয় পরমাণুর ভাঙন বা অবক্ষয়ের হার ওই সময়ে উপস্থিত অক্ষত পরমাণু সংখ্যার সমানুপাতিক।

অর্ধায়ু : কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের প্রারম্ভিক অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা অর্ধেক হয়ে যেতে যে সময় লাগে তাকে অর্ধায়ু বলে।

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

আইসোটোপ : যেসব পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা একই, কিন্তু ভর সংখ্যা বা পারমাণবিক ওজন ভিন্ন, তাদেরকে আইসোটোপ বলে।

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

আইসোমার : যে সমস্ত পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা এবং ভর সংখ্যা একই কিন্তু তাদের অভ্যন্তরীণ গঠন ভিন্ন, তাদেরকে আইসোমার বলে।

আইসোটোন : যে সমস্ত পরমাণুতে সমান সংখ্যক নিউট্রন আছে, তাদেরকে আইসোটোন বলে।

নিউক্লীয় বিক্রিয়া : কৃত্রিম উপায়ে পরমাণুর নিউক্লিয়াসের পরিবর্তন ঘটিয়ে নতুন মৌল গঠন করার প্রক্রিয়াকে নিউক্লীয় বিক্রিয়া বলে।

রেডিও বা তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ : কতগুলো আইসোটোপে অল্প সময়ের জন্য কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা দেখা যায়। এদেরকে রেডিও বা তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ বলে।

পারমাণবিক শক্তি : নিউক্লিয়াসের ভাঙন হতে প্রাপ্ত শক্তিকে পারমাণবিক শক্তি বলে।

পারমাণবিক চুল্লি : যে যন্ত্রে চেইন বিক্রিয়া ঘটিয়ে বিপুল পরিমাণ শক্তি পাওয়া যায় তাকে পারমাণবিক চুল্লি বলে।

ফিশন : ভারী পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে বিশ্লিষ্ট করে একাধিক নিউক্লিয়াস তৈরি করার পদ্ধতিকে ফিশন বলে। এই পদ্ধতিতে প্রচণ্ড শক্তি উৎপন্ন হয়।

ফিউশন : যে প্রক্রিয়ায় দুই বা ততোধিক হালকা নিউক্লিয়াস একত্রিত হয়ে একটি ভারী নিউক্লিয়াস গঠন করে এবং অত্যধিক শক্তি নির্গত হয় তাকে ফিউশন বলে।

চেইন বিক্রিয়া : চেইন বিক্রিয়া এমন একটি নিউক্লীয় প্রক্রিয়া যা একবার শুরু হলে তাকে চালাবার জন্য অন্য কোনো অতিরিক্ত শক্তি বা উৎসের প্রয়োজন হয় না।

ভর ত্রুটি : নিউক্লিয়াসের ভর ও তার উপাদানিক কণাগুলোর মুক্ত অবস্থায় মিলিত ভরের পার্থক্যকে ভর ত্রুটি বলে।

বন্ধন শক্তি : কোনো প্রয়োজনীয় সংখ্যক নিউক্লীয় উপাদানগুলোকে একত্রিত করে একটি নিউক্লিয়াস গঠনের জন্য যে পরিমাণ শক্তির প্রয়োজন হয় তাকে নিউক্লিয় বন্ধন শক্তি বলে।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$$E = h\upsilon \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

$$L = mvr \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

$$L = \frac{nh}{2\pi} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

$$v_n = \frac{e}{\sqrt{4\pi\varepsilon_0 m r_n}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

$$r_n = \frac{n^2h^2\varepsilon_0}{\pi m e^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

$$E = -\frac{me^4}{8n^2h^2\epsilon_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

$$E = \frac{me^4}{8h^2{\epsilon_0}^2}\left(\frac{1}{{n_1}^2} - \frac{1}{{n_2}^2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

$$\upsilon = \frac{E}{h} = \frac{me^4}{8h^3{\epsilon_0}^2}\left(\frac{1}{{n_1}^2} - \frac{1}{{n_2}^2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9)$$

$\rho = \frac{3m}{4\pi {R_0}^3}$, ρ = নিউক্লিয়াস-এর ঘনত্ব ... ... (10)

$${}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + \beta^{-1} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (11)$$

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (12)$$

$$A = \frac{dN}{dt} = \lambda N \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (13)$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (14)$$

$$M = M_0 e^{-\lambda t} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (15)$$

$$T = \frac{0{\cdot}693}{\lambda} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (16)$$

$$\Delta m = [ZM_p + (A - Z)m_n] - M \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (17)$$

[Z = প্রোটন সংখ্যা, m_p = প্রোটন ভর, m_n = নিউট্রনের ভর, M = নিউক্লিয়াসের ভর।]

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{0{\cdot}693} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (18)$$

$$\frac{M}{M_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (19)$$

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (20)$$

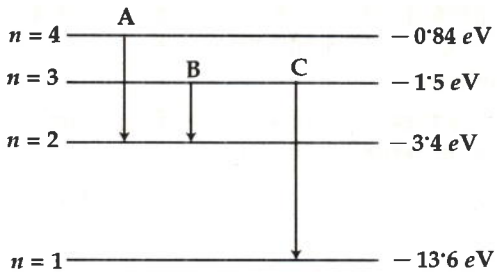
$$M = M_0 e^{-\lambda t} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (21)$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (22)$$

$${}^{235}_{92}U + {}_0n^1 \longrightarrow [{}^{237}_{92}U]^* \longrightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 3{}^1_0n + \text{শক্তি (200 MeV)} \quad \ldots \quad (23)$$

বিশ্লেষণাত্মক ও মূল্যায়নধর্মী গাণিতিক সমস্যাবলির সমাধান

১।



চিত্রে হাইড্রোজেন পরমাণুর শক্তিস্তর দেখানো আছে এবং ইলেকট্রন স্থানান্তরের ক্ষেত্রে A, B এবং C তিনটি ধাপ দেখানো হয়েছে যেন কোনো একটি হতে 6513 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটন কণা নির্গত হয়। [$c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}, $h = 6{\cdot}6 \times 10^{-34}$ Js]

(ক) $n = 2$ শক্তিস্তরে ইলেকট্রনের বেগ নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের প্রদত্ত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটন কণা নিঃসরণের জন্য A, B এবং C-এর মধ্যে কোনটি দায়ী— গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করে তোমার সিদ্ধান্ত দাও। [দি. বো. ২০২২]

(ক) আমরা জানি, n-th কক্ষের ব্যাসার্ধ,

$$r_n = \frac{n^2h^2\epsilon_0}{\pi me^2} \text{ এবং}$$

$$v_n = \frac{nh}{2\pi m r_n}$$

$$n_1 = 2$$

$$\therefore \quad r_2 = \frac{2^2 \times (6{\cdot}6 \times 10^{-34})^2 \times 8{\cdot}85 \times 10^{-12}}{3{\cdot}14 \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19})^2}$$

$$= 2{\cdot}1 \times 10^{-10} \text{ m}$$

এখানে,

$c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

$h = 6{\cdot}6 \times 10^{-34}$ Js

$m = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg

$e = 1{\cdot}6 \times 110^{-19}$ C

$\epsilon_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}$ C^{2}N^{-1}m^{-2}

$n = 2$

সুতরাং, $v_2 = \frac{2 \times 6{\cdot}6 \times 10^{-34}}{2 \times 3{\cdot}14 \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times 2{\cdot}1 \times 10^{-10}} = 1{\cdot}1 \times 10^6$ ms^{-1}

(খ) চিত্র অনুসারে,

$$h\upsilon_C = E_3 - E_1 \text{ বা, } \lambda_C = \frac{hc}{E_3 - E_1}$$

$$h\upsilon_B = E_3 - E_2 \text{ বা, } \lambda_B = \frac{hc}{E_3 - E_2}$$

এবং $h\upsilon_A = E_4 - E_2$ বা, $\lambda_A = \frac{hc}{E_4 - E_2}$

$$\therefore \quad \lambda_C = \frac{6{\cdot}6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{-1{\cdot}5 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19} - (-13{\cdot}6 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19})}$$

$$= \frac{6{\cdot}6 \times 3 \times 10^{-26} \times 10^{19}}{(-1{\cdot}5 + 13{\cdot}6) \times 1{\cdot}6} = 1023 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$= 1023 \text{ Å}$$

এখানে,

$E_1 = -13{\cdot}6\ eV = -13{\cdot}6 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ J

$E_2 = -3{\cdot}4\ eV = -3{\cdot}4 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ J

$E_3 = -1{\cdot}5\ eV = -1{\cdot}5 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ J

$E_4 = -0{\cdot}84\ eV = -0{\cdot}84 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ J

আবার,

$$\lambda_B = \frac{hc}{E_3 - E_2} = \frac{6{\cdot}6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{(-1{\cdot}5 + 3{\cdot}4) \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}$$

$$= \frac{6{\cdot}6 \times 3 \times 10^{-26} \times 10^{19}}{1{\cdot}9 \times 1{\cdot}6}$$

$$= 6513 \times 10^{-10} \text{ m} = 6513 \text{ Å}$$

সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে B ধাপ থেকে 6513 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটন নিঃসরণ ঘটে।

২। একটি পারমাণবিক বিদ্যুৎকেন্দ্রে জ্বালানি হিসেবে বিজ্ঞানীরা U-235 ব্যবহার করে। এক বছর পর প্রতি মোল অর্থাৎ $6{\cdot}02 \times 10^{23}$টি পরমাণু ভেঙে $1{\cdot}02 \times 10^{23}$টি পরমাণু অক্ষত থাকে।

(ক) U-235-এর অর্ধায়ু নির্ণয় কর।

(খ) পরবর্তী এক বছরে ভেঙে যাওয়া পরমাণুর সংখ্যা পূর্ববর্তী এক বছরে ভেঙে যাওয়া পরমাণু সংখ্যার সমান হবে কি না—গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে দেখাও। [য. বো. ২০২২]

(ক) আমরা জানি,

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

বা, $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$

বা, $\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t$

বা, $\lambda = -\frac{\ln\left(\frac{N}{N_0}\right)}{t} = -\frac{\ln\left(\frac{1{\cdot}02 \times 10^{23}}{6{\cdot}02 \times 10^{23}}\right)}{1}$

$$= -\ln(0{\cdot}169) = 1{\cdot}778 \text{ yr}^{-1}$$

আবার, $T = \frac{0{\cdot}693}{\lambda} = \frac{0{\cdot}693}{1{\cdot}778} = 0{\cdot}39$ yr

এখানে,

$N_0 = 6{\cdot}02 \times 10^{23}$

$N = 1{\cdot}02 \times 10^{23}$

$t = 1$ yr

T = ?

(খ) ১ম বছরে ক্ষয়প্রাপ্ত পরমাণুর সংখ্যা,

$$N_0 - N_1 = N' = 6{\cdot}02 \times 10^3 - 1{\cdot}02 \times 10^{23} = 5 \times 10^{23}$$

পরবর্তী এক বছরে ভেঙে যাওয়া পরমাণুর সংখ্যা,

$$N_0 - N_2 = N_0 (1 - e^{-\lambda t})$$

$$= 6{\cdot}02 \times 10^{23} (1 - e^{-1{\cdot}778 \times 2}) = 6{\cdot}02 \times 10^{23} (1 - e^{-3{\cdot}556}) = 5{\cdot}848 \times 10^{23}$$

অর্থাৎ, ১ম বছরে ভেঙে যাওয়া পরমাণুর সংখ্যা পরবর্তী বছরে ভেঙে যাওয়া পরমাণুর সংখ্যার সমান হবে না।

৩। রাজা দুটি তেজস্ক্রিয় মৌল A এবং B নিয়ে কাজ করছিল। মৌলদ্বয়ের অর্ধায়ুর যোগফল 15 বছর। A এর অর্ধায়ু B-এর দ্বিগুণ।

(ক) A মৌলের ক্ষয় ধ্রুবক নির্ণয় কর।

(খ) উভয় মৌলের 60% ক্ষয় হতে ভিন্ন সময় লাগে—গাণিতিক বিশ্লেষণসহ মতামত দাও।

[সি. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); চ. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); ঢা. বো. ২০১৫]

(ক) A ও B মৌলের অর্ধায়ুর যোগফল = 15

A মৌলের অর্ধায়ু B মৌলের অর্ধায়ুর দ্বিগুণ।

B মৌলের অর্ধায়ু = 5 বছর হলে A মৌলের অর্ধায়ু = 10 বছর।

আমরা জানি, A মৌলের ক্ষেত্রে

$$T = \frac{0.693}{\lambda}$$

বা, $\lambda = \frac{0.693}{T} = \frac{0.693}{10} = 0.0693\ y^{-1}$

এখানে,

$T = 10$ বছর

$\lambda = 0.693$

(খ) A মৌলের ক্ষেত্রে,

আমরা জানি,

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t_A}$$

বা, $\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t_A$

বা, $t_A = \frac{-1}{\lambda} \times \ln \frac{N}{N_0}$

$$= -\frac{1}{0.0693} \ln \frac{2}{5} = 13.22y$$

এখানে,

60% ক্ষয় হলে অক্ষত পরমাণু

থাকে 100% — 60% = 40%

অক্ষত পরমাণু $= \frac{N}{N_0} = 40\% = \frac{40}{100} = \frac{2}{5}$

$\lambda = 0.0693\ y^{-1}$

সময়, $t_A = ?$

আবার, B মৌলের ক্ষেত্রে,

$$T = \frac{0.693}{\lambda}$$

বা, $\lambda = \frac{0.693}{5} = 0.1383\ y^{-1}$

আমরা জানি,

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t_B}$$

বা, $\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t_B$

বা, $t_B = \frac{-1}{\lambda} \times \ln \frac{N}{N_0}$

$$= -\frac{1}{0.1383} \times \ln \frac{2}{5} = 6.625y$$

$\therefore \quad t_B = 6.625\ y$

এখানে,

60% ক্ষয় হলে অক্ষত পরমাণু

থাকে 100% — 60% = 40%

অক্ষত পরমাণু $= \frac{N}{N_0} = 40\% = \frac{40}{100} = \frac{2}{5}$

$\lambda = 0.1383\ y^{-1}$

সময়, $t_B = ?$

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, A ও B উভয় মৌলের 60% ক্ষয় হতে সময় ভিন্ন লাগে। এক্ষেত্রে A মৌলের ক্ষয়ের সময় B মৌলের ক্ষয়ের সময়ের দ্বিগুণ।

৪। সুমি একদিন নিউক্লিয়ার ল্যাবে 15 দিন আগে আনা রেডনের দুটি নমুনা নিয়ে কাজ করছিল। নমুনা দুটি যখন কেনা হয় তখন ১ম ও ২য় নমুনায় অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা ছিল যথাক্রমে 10^{12}টি এবং 10^{10}টি। সে জানে রেডনের ক্ষয় ধ্রুবক $0.181\ d^{-1}$। তার ধারণা ছিল গত 15 দিনে দুটি নমুনাতে সমান সংখ্যক পরমাণু ক্ষয়প্রাপ্ত হয়েছে।

(ক) প্রথম নমুনার অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা অর্ধেক হতে কত সময় লাগবে ?

(খ) গাণিতিক যুক্তির মাধ্যমে দেখাও যে, সুমির ধারণা ভুল। [দি. বো. ২০১৫]

(ক) আমরা জানি,

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

বা, $-\lambda t = \ln \frac{N}{N_0}$

বা, $-\lambda t = \ln \frac{5 \times 10^{11}}{10^{12}} = \ln 0.5 = -0.693$

$\therefore \quad t = \frac{0.693}{0.181} = 3.83 \text{ d}$

এখানে,

$N_0 = 10^{12}$

$N = \frac{N_0}{2} = \frac{10^{12}}{2} = 5 \times 10^{11}$

$\lambda = 0.181 \text{ d}^{-1}$

(খ) $t = 15$ d সময় কালে ১ম নমুনাতে ক্ষয়প্রাপ্ত পরমাণুর সংখ্যা

$$N_0 - N_1 = N_0 - N_0 e^{-\lambda t} = N_0 (1 - e^{-\lambda t})$$

$$= 10^{12} (1 - e^{-0.181 \times 15}) = 9.34 \times 10^{11}$$

আবার, ২য় নমুনাতে ক্ষয়প্রাপ্ত পরমাণুর সংখ্যা,

$$N_0 - N_2 = N_0 - N_0 e^{-\lambda t} = N_0 (1 - e^{-\lambda t})$$

$$= 10^{10} (1 - e^{-0.181 \times 15})$$

$$= 9.34 \times 10^{9}$$

যেহেতু, $9.34 \times 10^{11} \neq 9.34 \times 10^{9}$, তাই গত 15 দিনে নমুনা দুটিতে সমান সংখ্যক পরমাণু ক্ষয়প্রাপ্ত হয়নি, অর্থাৎ সুমির ধারণা ভুল।

৫। একখণ্ড রেডিয়ামে 6.023×10^{23} টি অক্ষত পরমাণু ছিল। এক বছর পর দেখা গেল 6.000×10^{23} টি পরমাণু ভেঙে গেল।

(ক) রেডিয়াম মৌলটির অর্ধায়ু বের কর।

(খ) গাণিতিক যুক্তি দিয়ে দেখাও যে পরবর্তী এক বছরে ভেঙে যাওয়া পরমাণুর সংখ্যা পূর্ববর্তী এক বছরে ভেঙে যাওয়া পরমাণু সংখ্যার বেশি হবে না। [দি. বো. ২০১৬]

(ক) আদি পরমাণুর সংখ্যা, $N_0 = 6.023 \times 10^{23}$ টি এবং ভেঙে যাওয়া পরমাণুর সংখ্যা $= 6.000 \times 10^{23}$ টি

আমরা জানি,

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

বা, $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$

বা, $-\lambda t = \ln \frac{N}{N_0} = \ln \left(\frac{0.023 \times 10^{23}}{6.023 \times 10^{23}} \right)$

বা, $\lambda = \frac{-\ln \left(\frac{0.023}{6.023} \right)}{1} = 5.568 \text{ y}^{-1}$

এখানে,

1 বছর পর অক্ষত পরমাণু,

$N = (6.023 \times 10^{23} - 6.000 \times 10^{23})$ টি

$= 0.023 \times 10^{23}$ টি

$t = 1$ y

$\lambda = ?$

আবার আমরা জানি,

$$T = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{0.693}{5.568} = 0.124 \text{ y}$$

(খ) দ্বিতীয় বছরের শুরুতে অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা, $N_0' = 0.023 \times 10^{23}$ টি

এই সময় থেকে 1 বছর পর পরমাণুর সংখ্যা N' হলে

$$N' = N_0' e^{-\lambda t} = 0.023 \times 10^{23} \times e^{-5.568 \times 1} = 8.86 \times 10^{18} \text{ টি}$$

$\therefore$ দ্বিতীয় বছরে ভেঙে যাওয়া পরমাণুর সংখ্যা

$$N_0' - N' = 0.023 \times 10^{23} - 8.86 \times 10^{18} = 2.29 \times 10^{21}$$

$\therefore$ পরবর্তী 1 বছরে ভেঙে যাওয়া পরমাণুর সংখ্যা পূর্ববর্তী এক বছরে ভেঙে যাওয়া পরমাণুর সংখ্যার বেশি হবে না।

৬। হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটি ইলেকট্রন ও একটি প্রোটন থাকে। ইলেকট্রনটি নিউক্লিয়াসকে কেন্দ্র করে 2.186×10^6 ms^{-1} সমদ্রুতিতে ঘুরছে। ইলেকট্রনের ভর 9.1×10^{-31} kg এবং বৃত্তাকার পথের ব্যাসার্ধ 5.3×10^{-11} m। ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ C)

(ক) কেন্দ্রে কুলম্ব বল কত ?

(খ) ঘূর্ণনরত ইলেকট্রনটি পরমাণুর কক্ষপথ থেকে ছিটকে পড়বে কি-না বিশ্লেষণ করে মতামত দাও।

[রা. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি,

$$F_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(-q_e)q_p}{r^2}$$

$$= \frac{9 \times 10^9 \times (-1.6 \times 10^{-19}) \times 1.6 \times 10^{-19}}{(5.3 \times 10^{-11})^2}$$

$$= -8.20 \times 10^{-8}\ \text{N}$$

এখানে,

ইলেকট্রনের আধান,

$q_e = -1.6 \times 10^{-19}$ C

প্রোটনের আধান, $q_p = 1.6 \times 10^{-19}$ C

ইলেকট্রন ও প্রোটনের মধ্যবর্তী দূরত্ব,

$r = 5.3 \times 10^{-11}$ m

$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9\ \text{Nm}^2\text{C}^{-2}$

কুলম্ব বল, $F_e = ?$

(খ) F_c ইলেকট্রনের কেন্দ্রমুখী বল F_c হলে, আমরা পাই,

$$F_c = \frac{mv^2}{r}$$

$$\therefore\ F_c = \frac{9.1 \times 10^{-31} \times (2.186 \times 10^6)^2}{5.3 \times 10^{-11}}$$

$$= 8.20 \times 10^{-8}\ \text{N}$$

এখানে,

ইলেকট্রনের ভর, $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

ইলেকট্রনের বেগ,

$v = 2.186 \times 10^6$ ms^{-1}

বৃত্তাকার পথের ব্যাসার্ধ,

$r = 5.3 \times 10^{-11}$ m

ইলেকট্রন ও প্রোটনের মধ্যকার বল (ক) হতে প্রাপ্ত, $F_e = 8.20 \times 10^{-8}$ N এবং (খ) হতে প্রাপ্ত কেন্দ্রমুখী বল $F_c = 8.20 \times 10^{-8}$ N। অর্থাৎ $F_e = F_c$। সুতরাং ঘূর্ণনরত ইলেকট্রনটি পরমাণুর কক্ষপথ হতে ছিটকে পড়বে না।

৭। হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম কক্ষের ব্যাসার্ধ ও শক্তি যথাক্রমে 0.53 Å এবং − 13.6 eV। 2.46×10^{15} Hz কম্পাঙ্কের ফোটন দ্বারা উক্ত পরমাণুর প্রথম কক্ষের ইলেকট্রনকে আঘাত করা হলো। [প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js]

(ক) উদ্দীপকের পরমাণুর তৃতীয় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।

(খ) আঘাতপ্রাপ্ত ইলেকট্রনটির কী পরিণতি হয়েছিল—গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে মতামত দাও।

[সি. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন), ২০১৬]

(ক) মনে করি, হাইড্রোজেন পরমাণুর তৃতীয় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ $= r_3$

আমরা জানি,

$$r_n = \frac{n^2h^2\epsilon_0}{\pi me^2}$$

$$\therefore\ r_3 = \frac{3^2 \times (6.63 \times 10^{-34})^2 \times 8.854 \times 10^{-12}}{3.14 \times 9.1 \times 10^{-31} \times (1.6 \times 10^{-19})^2}$$

$$= \frac{9 \times 6.63 \times 6.63 \times 8.854 \times 10^{-68} \times 10^{-12} \times 10^{31} \times 10^{38}}{3.14 \times 9.1 \times 1.6 \times 1.6}$$

$$= 4.788 \times 10^{-10}\ \text{m}$$

সুতরাং, তৃতীয় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ, $r_3 = 4.788 \times 10^{-10}$ m

এখানে,

প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js

$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}\ \text{N}^{-1}\text{m}^{-2}\text{C}^2$

ইলেকট্রনের ভর, $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg

ইলেকট্রনের আধান, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C

কোয়ান্টাম সংখ্যা, $n = 3$

(খ) ধরি, ফোটনের শক্তি = E

আমরা জানি,

$$E = h\upsilon = 6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 2{\cdot}46 \times 10^{15}$$
$$= 1{\cdot}631 \times 10^{-18}\ J$$
$$= \frac{1{\cdot}631 \times 10^{-18}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}}\ eV$$
$$= 10{\cdot}2\ eV$$

এখানে,

প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

ফোটনের কম্পাঙ্ক, $\upsilon = 2{\cdot}46 \times 10^{15}$ Hz

১ম কক্ষপথের শক্তি, $E_1 = -13{\cdot}6\ eV$

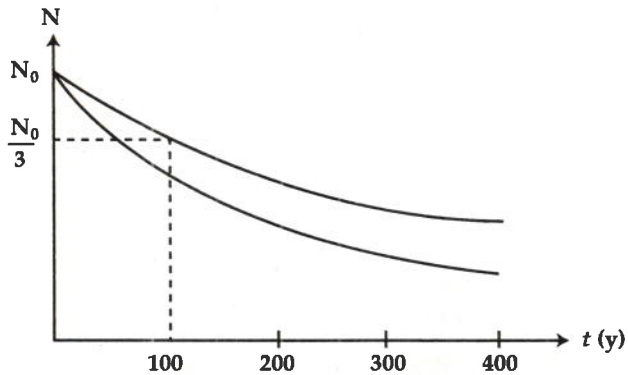
২য় কক্ষপথের শক্তি, $E_2 = -3{\cdot}4\ eV$

এখন, ইলেকট্রন ১ম কক্ষপথ থেকে ২য় কক্ষপথে যেতে প্রয়োজনীয় শক্তি,

$$E_2 - E_1 = -3{\cdot}4\ eV - (-13{\cdot}6\ eV)$$
$$= -3{\cdot}4\ eV + 13{\cdot}6\ eV = 10{\cdot}2\ eV$$

ওপরের বিশ্লেষণ থেকে দেখা যায় যে ফোটন দ্বারা আঘাতপ্রাপ্ত হয়ে ইলেকট্রনটি $10{\cdot}2\ eV$ শক্তি অর্জন করে যা ইলেকট্রনটির ১ম কক্ষপথ থেকে ২য় কক্ষপথে যেতে প্রয়োজনীয় শক্তির সমান। সুতরাং, ইলেকট্রনটি ফোটন দ্বারা আঘাতপ্রাপ্ত হয়ে ২য় কক্ষপথে প্রবেশ করবে।

৮। দুটি তেজস্ক্রিয় পদার্থ X এবং Y এর পরমাণু সংখ্যা বনাম সময় গ্রাফ নিম্নরূপ যেখানে X মৌলটির ক্ষয় ধ্রুবক, $\lambda = 6{\cdot}93 \times 10^{-3}\ y^{-1}$।



(ক) X মৌলটির অর্ধায়ু কত ?

(খ) উদ্দীপক অনুসারে X মৌলটির গড় আয়ু ও Y মৌলটির অর্ধায়ু কী এক হবে ?

[কু. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); ২০১৫]

(ক) আমরা জানি,

$$T = \frac{0{\cdot}693}{\lambda_x}$$
$$= \frac{0{\cdot}693}{6{\cdot}93 \times 10^{-3}\ y^{-1}} = 100\ y$$

এখানে,

X মৌলের ক্ষয় ধ্রুবক, $\lambda_x = 6{\cdot}93 \times 10^{-3}\ y^{-1}$

X মৌলের অর্ধায়ু, T = ?

সুতরাং, X মৌলটির অর্ধায়ু = 100 y

(খ) আমরা জানি, গড় আয়ু,

$$\tau_x = \frac{1}{\lambda_x} = \frac{T}{0{\cdot}693}$$

এখন X মৌলের গড় আয়ু,

$$\tau_x = \frac{1}{\lambda_x} = \frac{0{\cdot}693}{6{\cdot}93 \times 10^{-3}\ y^{-1} \times 0{\cdot}693}$$
$$= \frac{1}{6{\cdot}93 \times 10^{-3}\ y^{-1}} = 144{\cdot}3\ y$$

ধরি, Y মৌলের ক্ষয় ধ্রুবক, λ_y

আমরা জানি,

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

$$\therefore \frac{N_0}{3} = N_0 e^{-\lambda_y \times 100\ y}$$

বা, $\ln\left(\frac{1}{3}\right) = -\lambda_y \times 100\ y$

বা, $-1.0996 = -\lambda_y\ 100\ y$

বা, $\lambda_y = \frac{1.0996}{100}\ y^{-1} = 0.01099\ y^{-1}$

এখানে,

প্রারম্ভিক পরমাণু সংখ্যা $= N_0$

সময়, $t = 100\ y$

100 y পরে অবশিষ্ট পরমাণু সংখ্যা,

$N = \frac{N_0}{3}$

ক্ষয় ধ্রুবক, $\lambda_y = ?$

এখন, Y মৌলের অর্ধায়ু,

$$T_y = \frac{0.693}{\lambda_y} = \frac{0.693}{0.01099\ y^{-1}} = 63.06\ y$$

উপরের গাণিতিক বিশ্লেষণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে X মৌলের গড় আয়ু τ_x, Y মৌলের অর্ধায়ু λ_y অপেক্ষা বেশি। অর্থাৎ X মৌলটির গড় আয়ু এবং Y মৌলটির অর্ধায়ু এক নয়।

৯। ট্রিটিয়ামের অবক্ষয় ধ্রুবক $5.54 \times 10^{-2}\ y^{-1}$।
(ক) নমুনা ট্রিটিয়ামের খণ্ডটির 70% ক্ষয় হতে কত সময় লাগবে ?
(খ) উদ্দীপকের প্রদত্ত তেজস্ক্রিয় মৌলটির অর্ধায়ু অপেক্ষা গড় আয়ু বেশি—সত্যতা যাচাই কর।

[ঢা. বো. ২০২২; চ. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); রা. বো. ২০১৭]

(ক) ট্রিটিয়ামের 70% ক্ষয় হলে অবশিষ্ট থাকে 30%। সুতরাং,

$\frac{N}{N_0} = \frac{30}{70}$ এখানে N_0 = প্রাথমিক পরমাণু সংখ্যা

N = অবশিষ্ট পরমাণু সংখ্যা

এখানে,

অবক্ষয় ধ্রুবক, $\lambda = 5.54 \times 10^{-2}\ y^{-1}$

আমরা জানি,

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

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

বা, $\frac{30}{70} = e^{-5.54 \times 10^{-2} t}$

বা, $\ln\left(\frac{3}{7}\right) = -5.54 \times 10^{-2}\ t$

বা, $t = \frac{\ln\left(\frac{3}{7}\right)}{-5.54 \times 10^{-2}}$

$$= \frac{-0.847}{-5.54 \times 10^{-2}} = 15.29\ y$$

সুতরাং, ট্রিটিয়ামের 70% ক্ষয় হতে 15.29 y লাগবে।

(খ) আমরা জানি, অর্ধায়ু

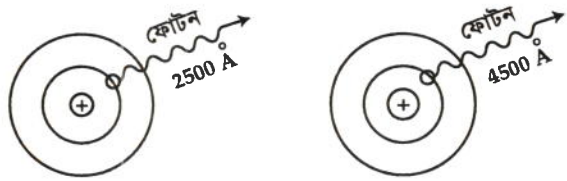
$$T = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{0.693}{5.54 \times 10^{-2}\ y^{-1}}$$

$$= \frac{0.693\ y}{5.54 \times 10^{-2}} = 12.51\ y$$

আবার, গড় আয়ু, $\tau = \frac{T}{0.693} = \frac{12.51}{0.693} = 18.05\ y$

সুতরাং, উদ্দীপকের তেজস্ক্রিয় মৌলটির অর্ধায়ু অপেক্ষা গড় আয়ু বেশি। (প্রমাণিত)

১০।



[$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js, $\epsilon_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$, $e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C, $m = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg, পরমাণুর ভূমি অবস্থার শক্তি = 13·6 eV]

(ক) প্রথম চিত্রে ইলেকট্রনটি যে কক্ষপথে অবস্থিত তার ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।

(খ) কোন চিত্রে ইলেকট্রনের কক্ষচ্যুতি ঘটবে ? গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে মন্তব্য কর। [ঢা. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি, ইলেকট্রনের কক্ষপথের ব্যাসার্ধ,

$$r_n = \frac{n^2h^2\epsilon_0}{\pi me^2}$$

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

$$= \frac{1^2 \times 6{\cdot}63 \times 6{\cdot}63 \times 8{\cdot}85 \times 10^{-68} \times 10^{-12} \times 10^{38} \times 10^{31}}{3{\cdot}14 \times 9{\cdot}1 \times 1{\cdot}6 \times 1{\cdot}6}$$

$$= \frac{6{\cdot}63 \times 6{\cdot}61 \times 8{\cdot}85 \times 10^{-11}}{3{\cdot}14 \times 9{\cdot}1 \times 1{\cdot}6 \times 1{\cdot}6}$$

$$= 5{\cdot}32 \times 10^{-11}\ \text{m} = 0{\cdot}532\ \text{Å}$$

এখানে,

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

$m_e = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg

$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C

$\epsilon_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$

$E_0 = 13{\cdot}6\ eV$

$n = 1$

(খ) ১ম চিত্রের ফোটনের শক্তি,

$$E_1 = h\upsilon_1 = \frac{hc}{\lambda_1} = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2500 \times 10^{-10}}$$

$$= 7{\cdot}956 \times 10^{-19}\ \text{J} = \frac{7{\cdot}956 \times 10^{-19}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}}$$

$$= 4{\cdot}97\ eV$$

এখানে,

প্রথম চিত্রে ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য

$\lambda_1 = 2500\ \text{Å} = 2500 \times 10^{-10}$ m

দ্বিতীয় চিত্রে ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য

$\lambda_2 = 4500\ \text{Å} = 4500 \times 10^{-10}$ m

$c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$

এবং ২য় চিত্রের ফোটনের শক্তি,

$$E_2 = h\upsilon_2 = \frac{hc}{\lambda_2} = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{4500 \times 10^{-10}}$$

$$= 4{\cdot}42 \times 10^{-19}\ \text{J} = \frac{4{\cdot}42 \times 10^{-19}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}}\ eV = 2{\cdot}76\ eV$$

নিম্ন কক্ষ থেকে ইলেকট্রন চ্যুতির জন্য সর্বনিম্ন 13·6 eV শক্তি প্রয়োজন; কিন্তু কোনো চিত্রেই ফোটনের ওই পরিমাণ শক্তি নেই। সুতরাং, ইলেকট্রন নির্গত হবে না।

১১। A ও B দুটি তেজস্ক্রিয় মৌল। এদের অর্ধায়ু যথাক্রমে 6 দিন ও 9 দিন।

(ক) B মৌলের গড় আয়ু নির্ণয় কর।

(খ) উভয় মৌলের 60% ক্ষয় হতে কোন মৌলটির অধিক সময় লাগবে ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[চ. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি, B মৌলের গড় আয়ু

$$\tau_B = \frac{T_B}{0{\cdot}693}$$

$$\therefore \quad \tau_B = \frac{9\ \text{d}}{0{\cdot}693} = 12{\cdot}99\ \text{d}$$

এখানে,

A মৌলের অর্ধায়ু, $T_A = 6$ দিন $= 6$ d

B মৌলের গড় আয়ু, $T_B = 9$ দিন $= 9$ d

(খ) 60% ক্ষয় হলে প্রাথমিক পরমাণু সংখ্যার 40% অবশিষ্ট থাকে।

সুতরাং, $\frac{N}{N_0}=\frac{40}{100}$

এখানে,
$N_0 = 100$
$N = 40$

আমরা জানি,

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

এখন, A মৌলের ক্ষয় ধ্রুবক,

$$\lambda_A=\frac{0.693}{T_A}=\frac{0.693}{6}=0.1155\ (d^{-1})$$

এবং B মৌলের ক্ষয় ধ্রুবক,

$$\lambda_B=\frac{0.693}{T_B}=\frac{0.693}{9}=0.077\ (d^{-1})$$

A মৌলের 60% ক্ষয় হতে সময় লাগবে,

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right)=-\lambda_A t_A$$

বা, $\ln\left(\frac{4}{10}\right)=-0.1155\,t_A$

বা, $t_A=\frac{\ln\left(\frac{4}{10}\right)}{-0.1155}=\frac{-0.916}{-0.1155}=7.93\ d$

এবং $t_B=\frac{\ln\left(\frac{4}{10}\right)}{-0.077}=\frac{-0.916}{-0.077}=11.9\ d$

সুতরাং, B মৌলের 60% ক্ষয় হতে অধিক সময় লাগবে।

১২। $_{92}U^{235} + {}_0n^1 \longrightarrow [{}_{92}U^{236}]^* \longrightarrow {}_{56}Ba^{141} + {}_{36}Kr^{92}$ + নিউট্রন + শক্তি

এখানে, $_{92}U^{235} = 236.0526$ amu, $_{56}Ba^{141} = 140.9139$ amu, $_{36}Kr^{92} = 91.8973$ amu ও $_0n^1 = 1.0087$ amu, $T_{\frac{1}{2}} = 450 \times 10^8$ y

(ক) উদ্দীপকের বিক্রিয়ায় কতটি নিউট্রন নির্গত হবে ?

(খ) ওপরের বিক্রিয়ায় নির্গত শক্তির পরিমাণ কত ? [চ. বো. ২০১৭]

(ক) ধরা যাক নিউক্লিয়াসটির ভর সংখ্যা A এবং পারমাণবিক সংখ্যা Z। ভর সংখ্যার সংরক্ষণ সূত্রানুসারে, আমরা পাই,

$235 + 1 = 141 + 92 + A$

বা, $236 = 233 + A$

$\therefore A = 236 - 233 = 3$

আবার, পারমাণবিক সংখ্যার সংরক্ষণ সূত্রানুসারে,

$92 + 0 = 56 + 36 + Z$

বা, $92 = 92 + Z$

$\therefore Z = 92 - 92 = 0$

যেহেতু $A = 3$ এবং $Z = 0$; সুতরাং নিউট্রন সংখ্যা $= 3$

সুতরাং উপরের বিক্রিয়ায় 3টি নিউট্রন নির্গত হবে।

(খ) নিউক্লীয় বিক্রিয়ার ঘটনায় ভরের যেটুকু হ্রাস হয়, ভর শক্তির তুল্যতা নীতি অনুসারে তা শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। ওপরের সমীকরণে দেখানো বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে,

প্রাথমিক ভর = 1টি ইউরেনিয়ামের ভর + 1টি নিউট্রনের ভর

= 236.0526 amu + 1.0087 amu

= 237.0613 amu

চূড়ান্ত ভর = 1টি বেরিয়ামের ভর + 1টি ক্রিপটনের ভর + 3টি নিউটনের ভর
= 140·9139 amu + 91·8973 amu + 3 × 1·0087 amu
= 235·8373 amu

সুতরাং ভর হ্রাস = 237·0613 − 235·8373 = 1·224 amu

সুতরাং এই সংযোজনে মুক্ত শক্তি = 1·224 × 934 MeV = 1143 MeV [∵ 1 amu = 934 MeV]

১৩। কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের বিভিন্ন সময়ে অক্ষত পরমাণু সংখ্যা নিচের ছকে দেয়া হলো :

সময় (d)	0	8	t'	24
অক্ষত পরমাণু সংখ্যা, N	N_0	$\frac{N_0}{2}$	$\frac{N_0}{3}$	$\frac{N_0}{8}$

(ক) উদ্দীপকের তেজস্ক্রিয় বস্তুটির অবক্ষয় ধ্রুবক নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের t' এর মান তেজস্ক্রিয় বস্তুটির গড় আয়ু অপেক্ষা বেশি হবে কি-না—গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে উত্তরের সপক্ষে যুক্তি দাও। [মাদরাসা বোর্ড, ২০১৮; কু. বো. ২০১৭]

(ক) আমরা জানি, অবক্ষয় ধ্রুবক,

$$\lambda = \frac{0·693}{T}$$

$$\therefore \lambda = \frac{0·693}{8} = 0·0866\ (d^{-1})$$

এখানে,
অর্ধায়ু, T = 8 দিন

সুতরাং তেজস্ক্রিয় বস্তুটির অবক্ষয় ধ্রুবক 0·0866 (d^{-1})

(খ) আমরা জানি,

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

বা, $\frac{N_0}{3} = N_0 e^{-\lambda t'}$

এখানে,
t' সময়ে অক্ষত পরমাণু সংখ্যা = $\frac{N_0}{3}$

বা, $\ln\left(\frac{1}{3}\right) = -\lambda t'$

$$\therefore t' = \frac{-\ln\left(\frac{1}{3}\right)}{\lambda} = \frac{-(-1·0987)}{0·0866} = \frac{1·0987}{0·0866} = 12·69\ d$$

আবার, গড় আয়ু, $\tau = \frac{T}{0·693} = \frac{8}{0·693} = 11·54\ d$

$\therefore$ $t' > \tau$; অর্থাৎ উদ্দীপকের t' তেজস্ক্রিয় বস্তুটির গড় আয়ু τ অপেক্ষা বেশি।

১৪। 2010 সালে 20g ভরের দুটি তেজস্ক্রিয় পদার্থ ছিল, যার একটির গড় আয়ু 12·5 বছর। 2020 সালে অন্যটির 8g অবশিষ্ট থাকে।

(ক) প্রথম পদার্থটির অর্ধায়ু নির্ণয় কর।

(খ) 2030 সালে উভয় পদার্থ সমপরিমাণে অবশিষ্ট থাকবে কি না—যাচাই কর।

[সি. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); ঢা. বো. ২০২২; রা. বো. ২০২২]

(ক) আমরা জানি গড় আয়ু,

$$\tau = \frac{T}{0·693}$$

বা, $T = 0·693 \times \tau$
$= 0·633 \times 12·5 = 8·66$ বছর

এখানে,
τ = 12·5 বছর
T = অর্ধায়ু = ?

(খ) প্রশ্নানুসারে, $T_1 = 8·66$ yr.

আবার, $\frac{M}{M_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_2}}$

বা, $\frac{8}{20} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{10}{T_2}}$

এখানে,
M_0 = প্রাথমিক ভর = 20 g
M = অবশিষ্ট ভর = 8 g
t = 2020 − 2010 = 10 বছর

বা, $\frac{2}{5} = (0{\cdot}5)^{\frac{10}{T_2}}$

বা, $\ln(0{\cdot}4) = \frac{10}{T_2} \times \ln 0{\cdot}5$

বা, $T_2 = \frac{10\ln(0{\cdot}5)}{\ln(0{\cdot}4)}$

$= \frac{10 \times (-0{\cdot}693)}{-0{\cdot}916} = 7565$ বছর

এখন, $M_0 = 20\,gm$

20 বছর পরে প্রথমটির ভর M হলে আমরা পাই,

$$\frac{M}{M_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

১ম পদার্থটির 20 বছর পরে অবশিষ্ট থাকে,

$$M_1 = M_0 \times (0{\cdot}5)^{\frac{20}{T_1}} = M_0\,(0{\cdot}5)^{\frac{20}{8{\cdot}66}} = 20 \times (0{\cdot}5)^{2{\cdot}31} = 4\,g$$

২য় পদার্থটির 20 বছর পরে অবশিষ্ট থাকবে,

$$M_2 = M_0 \times (0{\cdot}5)^{\frac{20}{7{\cdot}565}} = 20 \times (0{\cdot}5)^{2{\cdot}64} = 3{\cdot}2\,g$$

এখানে, $M_1 > M_2$, সুতরাং 20 বছর পর অর্থাৎ 2030 সালে উভয় পদার্থ সমপরিমাণে অবশিষ্ট থাকবে না।

১৫। হাইড্রোজেন পরমাণুর অনুমোদিত দ্বিতীয় কোয়ান্টাম কক্ষ হতে প্রথম কোয়ান্টাম কক্ষে ইলেকট্রন যাওয়ার জন্য ফোটন নির্গত হয়।

[$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$C, $m = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg, $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js, $\epsilon_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$]

(ক) হাইড্রোজেন পরমাণুর দ্বিতীয় বোর কক্ষের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের হইড্রোজেন পরমাণুর দ্বিতীয় কক্ষপথ থেকে প্রথম কক্ষপথে ইলেকট্রন যাওয়ার ফলে নিঃসৃত বিকিরণ কি চোখে দেখা যাবে ? গাণিতিকভাবে যাচাই কর।

[ম. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); চ. বো. ২০১৯; মাদরাসা বোর্ড, ২০১৭ (মান ভিন্ন)]

(ক) আমরা জানি, বোর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ

$$r_n = \frac{n^2h^2\epsilon_0}{\pi me^2}$$

∴ দ্বিতীয় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ,

$$\therefore\ r_2 = \frac{2^2 \times (6{\cdot}63 \times 10^{-34})^2 \times 8{\cdot}85 \times 10^{-12}}{3{\cdot}14 \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19})^2}$$

$$= \frac{4 \times 6{\cdot}63 \times 6{\cdot}63 \times 8{\cdot}85 \times 10^{-68} \times 10^{-12}}{3{\cdot}14 \times 9{\cdot}1 \times (1{\cdot}6)^2 \times 10^{-31} \times 10^{-38}}$$

$$= 2{\cdot}18 \times 10^{-10}\,m = 2{\cdot}18\,\text{Å}$$

এখানে,

$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C

$m = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg

$\epsilon_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

(খ) আবার, দ্বিতীয় কক্ষপথের শক্তি,

$$E_2 = -\frac{me^4}{8\epsilon_0^2n^2h^2}$$

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

$$= -\frac{9{\cdot}1 \times 6{\cdot}55 \times 10^{-31} \times 10^{-76}}{8 \times 8{\cdot}85 \times 8{\cdot}85 \times 4 \times 6{\cdot}63 \times 6{\cdot}63 \times 10^{-24} \times 10^{-68}}$$

$$= -5{\cdot}41 \times 10^{-19}\,J = -3{\cdot}38\,eV$$

এখন, $E = E_2 - E_1 = -3{\cdot}38 + 13{\cdot}6$

$= 10{\cdot}22\ eV = 10{\cdot}22 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ J$

$= 16{\cdot}35 \times 10^{-19}\ J$

দ্বিতীয় কক্ষপথ হতে প্রথম কক্ষপথে আগমনের জন্য নিঃসৃত শক্তি,

$$E = h\upsilon = h\frac{c}{\lambda}$$

বা, $\lambda = \frac{hc}{E}$, সুতরাং নিঃসৃত বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য

$$\therefore \quad \lambda = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{10{\cdot}22 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}$$

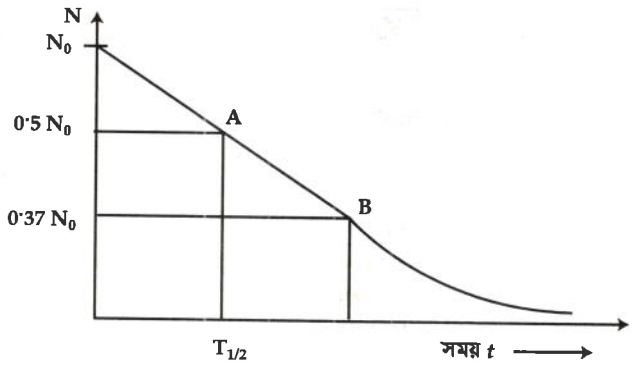
$$= \frac{6{\cdot}63 \times 3 \times 10^{-34} \times 10^8 \times 10^{19}}{10{\cdot}22 \times 1{\cdot}6}$$

$$= 1216{\cdot}4 \times 10^{-10} = 1216{\cdot}4\ \text{Å}$$

আমরা জানি, দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিস্তৃতি 7000 Å থেকে 4000 Å পর্যন্ত।

এখানে, নিঃসৃত বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 1216·4 Å যা দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা কম। সুতরাং নিঃসৃত বিকিরণ চোখে দেখা যাবে না।

১৬।



ওপরের চিত্রে সময়ের সাপেক্ষে অক্ষত তেজস্ক্রিয় পরমাণুর পরিবর্তন দেখানো হলো।

(ক) উদ্দীপকের তেজস্ক্রিয় পদার্থের অবক্ষয় ধ্রুবক $4{\cdot}02 \times 10^{-4}\ yr^{-1}$ হলে কত সময় পরে উক্ত পরমাণু আদি পরমাণুর এক-পঞ্চমাংশ হবে ?

(খ) উদ্দীপকের তেজস্ক্রিয় পদার্থটির গড় আয়ুর সমান সময়ের পর তার অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা B বিন্দুতে হবে কি না ? গাণিতিক বিশ্লেষণে দেখাও। [য. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি,

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

$$\therefore \quad \frac{1}{5}N_0 = N_0 e^{-\lambda t}$$

এখানে,

$\lambda = 4{\cdot}02 \times 10^{-4}\ yr^{-1}$

$N = \frac{1}{5}N_0$

বা, $\ln\left(\frac{\frac{1}{5}N_0}{N_0}\right) = -\lambda t = -4{\cdot}02 \times 10^{-4}\ t$

বা, $\ln(0{\cdot}20) = -4{\cdot}02 \times 10^{-4}\ t$

$$\therefore \quad t = -\frac{\ln(0{\cdot}20)}{4{\cdot}02 \times 10^{-4}} = \frac{-1{\cdot}609}{-4{\cdot}02 \times 10^{-4}}$$

$$= \frac{1{\cdot}609 \times 10^4}{4{\cdot}02} = 4002\ \text{yr.}$$

সুতরাং 4002 বছর পরে আদি পরমাণুর এক-পঞ্চমাংশ হবে।

(খ) গড় আয়ু $\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{4.02 \times 10^{-4}} = \frac{10 \times 10^3}{4.02}$

$= 2.4876 \times 10^3$ yr. $\simeq 2.488 \times 10^3$ yr.

উদ্দীপকের তেজস্ক্রিয় পদার্থের গড় আয়ু 2.488×10^3 yr.

এখন B বিন্দুতে অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা = $0.37\ N_0$। এই সংখ্যায় পৌঁছতে সময় লাগে t_1।

আমরা পাই,

$N = N_0 e^{-\lambda t}$ বা, $0.37\ N_0 = N_0 e^{-\lambda t}$

বা, $\ln(0.37) = -\lambda t$

বা, $t = -\frac{\ln(0.37)}{\lambda} = \frac{-(-0.994)}{4.02 \times 10^{-4}}$

$\therefore \quad t = \frac{9.94 \times 10^3}{4.02} \simeq 2.473 \times 10^3$ yr.

যা গড় আয়ুর কাছাকাছি। সুতরাং গড় আয়ু 2.488×10^3 বছর পরে অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা B বিন্দুতে হবে।

১৭।

মৌল	ভরসংখ্যা	প্রোটন সংখ্যা	নিউক্লিয়াসের ভর (amu)
Fe	56	26	56
U	235	92	235.0439

স্থির অবস্থায় প্রোটনের ভর = 1.00728 amu, নিউট্রনের ভর = 1.00876 amu, 1 amu ভরের সমতুল্য শক্তি 931 MeV

(ক) ইউরেনিয়ামের ভরত্রুটি নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকে বর্ণিত দুটি মৌলের কোনটি থেকে একটি নিউক্লিয়ন বের করা সহজ হবে? গাণিতিক বিশ্লেষণসহ দেখাও। **[ব. বো. ২০২২]**

(ক) U-এর প্রোটন সংখ্যা = 92

নিউট্রন সংখ্যা = 235 — 92 = 143

92টি প্রোটনের ভর = 92 × 1.00728 amu = 92.6698 amu

143টি নিউট্রনের ভর = 143 × 1.00876 = 144.2527 amu

নিউক্লিয়নগুলোর মোট ভর = 236.9225 amu

U-নিউক্লিয়াসের ভর = 235.0439 amu

সুতরাং, ইউরেনিয়ামের ভরত্রুটি = (236.9225 — 235.0439) amu = 1.8786 amu

(খ) ইউরেনিয়াম মৌলের কম্পন শক্তি,

$E = \Delta m \times 931\ MeV = 1.8786 \times 931 = 1749\ MeV$

Fe-এর প্রোটন সংখ্যা = 26

নিউট্রন সংখ্যা = 56 — 26 = 30

26টি প্রোটনের ভর = 26 × 1.00728 = 26.18928

30টি নিউট্রনের ভর = 30 × 1.00876 = 30.2628 amu

নিউক্লিয়নগুলোর মোট ভর = 26.1898 + 30.2628 = 56.45208 amu

Fe-নিউক্লিয়াসের ভর = 56 amu

$\therefore$ ভর ত্রুটি = (56.45208 — 56) amu = 0.45208 amu

সুতরাং Fe-এর মৌলের বন্ধনশক্তি, E = 0.45208 × 931 = 420.89 MeV

একটি U-নিউক্লিয়ন মুক্ত করতে শক্তির প্রয়োজন $= \frac{1749\ MeV}{235} = 7.44\ MeV$

একটি Fe নিউক্লিয়ন মুক্ত করতে শক্তির প্রয়োজন $= \frac{420.89}{56} = 7.516\ MeV$

যেহেতু, 7.44 MeV, 7.516 MeV অপেক্ষা কম; অতএব, একটি U-নিউক্লিয়ন মুক্ত করা সহজ হবে।

১৮। ধর $_1H^3 + _1H^2 \longrightarrow _2He^4 + _1n^0$। ফিউশন বিক্রিয়ায় নির্গত শক্তি দিয়ে একটি আলফা কণাকে আঘাত করা হলো। দেওয়া আছে :

$_1H^3$-এর ভর = 3·0155 amu

$_1H^2$-এর ভর = 2·0136 amu

$_2He^4$-এর ভর = 4·0015 amu

নিউট্রন (n)-এর = 1·00867 amu

নিউট্রন (p)-এর = 1·00758 amu

(ক) ফিউশন বিক্রিয়াটির ভর ত্রুটি নির্ণয় কর।

(খ) ফিউশন বিক্রিয়ায় নির্গত শক্তি দ্বারা আলফা কণাকে সম্পূর্ণ ভাঙতে পারবে কি না—গাণিতিকভাবে যাচাই কর। [ঢা. বো. ২০২৩]

(ক) এখানে,

$$_1H^3 + _1H^2 \longrightarrow _2He^4 + _0n^1$$

$$3·0155 + 2·0136 \longrightarrow 4·0015 + 1·00867$$

বা, $5·0291 \longrightarrow 5·01017$

সুতরাং ভর ত্রুটি = 5·0291 — 5·01017 = 0·01893 amu

(খ) নির্গত শক্তি = $\Delta m \times c^2 = 0·01893 \times 931 = 17·62$ MeV

এখন, $_2He^4$-এর ২টি নিউট্রন ও ২টি প্রোটন রয়েছে।

২টি নিউট্রনের ভর = $2 \times 1·00867$ = 2·01734 amu

২টি প্রোটনের ভর = $2 \times 1·00758$ = 2·01516 amu

মোট ভর = 4·0325 amu

$_2He^4$ নিউক্লিয়াসের প্রকৃত ভর = 4·0015 amu

∴ ভর ত্রুটি = 0·031 amu

সুতরাং বন্ধনশক্তি = $0·031 \times 931 = 28·861$ MeV

এই শক্তি ফিউশন বিক্রিয়ায় নির্গত শক্তি 17·62 MeV অপেক্ষা বেশি। তাই নির্গত শক্তি দ্বারা আলফা কণাকে সম্পূর্ণ ভাঙতে পারবে না।

১৯। একখণ্ড রেডিয়ামের ভর 5 g। 1 g রেডিয়াম $\left(^{226}_{88}Ra\right)$ হতে প্রতি সেকেন্ডে প্রায় $3·7 \times 10^{10}$ টি পরমাণু ভেঙে যায়। একজন শিক্ষার্থী হিসাব করে বলল 600 বছর পরেও 2 g রেডিয়াম অবশিষ্ট থাকবে।

(ক) রেডিয়ামের অর্ধায়ু নির্ণয় কর।

(খ) শিক্ষার্থীর বক্তব্য সঠিক কি না—গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা দাও। [রা. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, অর্ধায়ু,

$$T = \frac{0·693}{\lambda}$$

$^{226}_{88}$ Ra-এর আণবিক ভর 266

এখানে,

$m = 5\,g$

$\frac{dN}{dt} = 3·7 \times 10^{10}$ সংখ্যক পরমাণু

∴ 226 g Ra^{266}-এ পরমাণুর সংখ্যা = $6·02 \times 10^{23}$

∴ 1 g " " " N = $\frac{6·02 \times 10^{23}}{226}$

এখানে, $\frac{dN}{dt} = \lambda N = 3·7 \times 10^{10}$

বা, $\lambda = \frac{3·7 \times 10^{10}}{N}$

বা, $\lambda = \frac{3·7 \times 10^{10}}{\frac{6·02 \times 10^{23}}{226}} = \frac{3·7 \times 226 \times 10^{10} \times 10^{-23}}{6·02}$

$= 138·9 \times 10^{-13} = 1·389 \times 10^{-11}$

$$\therefore \quad T = \frac{0.693}{1.389 \times 10^{-11}} = \frac{0.693}{1.389} \times 10^{11} = 0.5 \times 10^{11} \text{ s}$$

$$= \frac{0.5 \times 10^{11}}{60 \times 60 \times 24 \times 365} \text{ yr}$$

$$= \frac{500 \times 10^{8}}{3.6 \times 24 \times 3.65 \times 10^{3} \times 10^{2}}$$

$$= \frac{500 \times 10^{8} \times 10^{-5}}{3.6 \times 14 \times 3.65} = \frac{500 \times 10^{3}}{3.6 \times 24 \times 3.65}$$

$$= 1.585 \times 10^{3} \text{ yr}$$

(খ) এখানে, $N = N_0 e^{-\lambda t}$

বা, $2 = 5e^{-1.389 \times 10^{-11} \times t}$

বা, $\ln\left(\frac{2}{5}\right) = -1.389 \times 10^{-11}\, t$

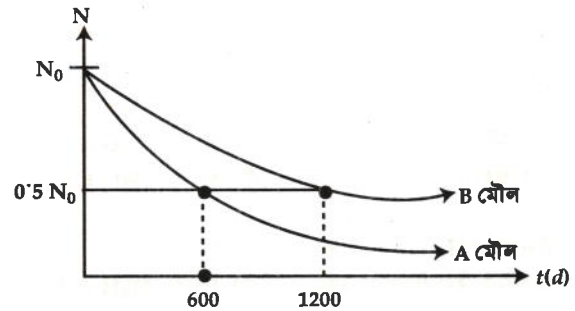
বা, $t = -\frac{\ln(2/5)}{1.389 \times 10^{-11}} = \frac{0.916 \times 10^{11}}{1.389} = 0.6595 \times 10^{11} \text{ s}$

$$= \frac{0.6595 \times 10^{11}}{3600 \times 24 \times 365} = \frac{0.6595 \times 10^{11} \times 10^{-7}}{3.6 \times 0.24 \times 3.65}$$

$$= \frac{0.6595 \times 10^{4}}{3.6 \times 0.24 \times 3.65} = 2091 \text{ yr}$$

সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে, 2 g রেডিয়াম অবশিষ্ট থাকতে সময় লাগবে 2091 বছর, যা শিক্ষার্থীর হিসাব অপেক্ষা অনেক বেশি। অতএব শিক্ষার্থীর বক্তব্য সঠিক নয়।

২০।



(ক) উদ্দীপকের A মৌলের গড় আয়ু নির্ণয় কর।

(খ) A মৌলের 60% ক্ষয় হতে যে সময় লাগে, B মৌলের 30% ক্ষয় হতে একই সময় লাগবে কি না— গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [কু. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, গড় আয়ু,

$$\tau = \frac{T}{0.693} \quad \text{এবং } T = \frac{0.693}{\lambda}$$

এখন,

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

বা, $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$

বা, $\frac{0.5\, N_0}{N_0} = e^{-\lambda \times 600 \text{ d}}$

বা, $\ln(0.5) = -600\, \lambda$

বা, $\lambda = -\frac{\ln(0.5)}{600} = \frac{0.693}{600} = 1.155 \times 10^{-3} \text{ d}^{-1}$

$$\therefore \quad T = \frac{0.693}{\lambda} = \frac{0.693}{1.155 \times 10^{-3}} = \frac{0.693 \times 10^{3}}{1.155}$$

এখন, $\tau = \frac{T}{0.693} = \frac{0.693 \times 10^3}{0.693 \times 1.155}$

$= \frac{10^3}{1.155} = 865.8$ d

(খ) A মৌলের 60% ক্ষয় হলে অবশিষ্ট থাকে 40% এবং B মৌলের 30% ক্ষয় অবশিষ্ট থাকে 70%।

এখন, $\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$

বা, $\frac{0.40\ N_0}{N_0} = e^{-\lambda t}$

বা, $\ln(0.4) = -\lambda t = -1.155 \times 10^{-3} t$ [$\because$ A মৌলের, $\lambda = 1.155 \times 10^{-3}$]

বা, $t = -\frac{\ln(0.4)}{1.155 \times 10^{-3}} = \frac{0.9163}{1.155 \times 10^{-3}}$

$= \frac{0.9163 \times 10^3}{1.155} = 793$ d

এবং B মৌলের 30% ক্ষয় হতে সময় লাগে, $\ln(0.7) = -\lambda t$ ... (1)

এখন, B মৌলের $0.5\ N_0$ হয় 1200 d-তে

$\therefore \frac{0.5\ N_0}{N_0} = e^{-\lambda \times 1200\ d}$ বা, $\ln(0.5) = -1200\ \lambda_2$

$\therefore$ B মৌলের অর্ধায়ু $\lambda_2 = -\frac{\ln(0.5)}{1200} = \frac{0.693}{1200} = 0.578 \times 10^{-3}$

সমীকরণ (1) থেকে পাই,

$\ln(0.7) = -0.578 \times 10^{-3}$ t

বা, $t = -\frac{\ln(0.7)}{0.578 \times 10^{-3}}$

$= \frac{0.3567 \times 10^3}{0.578} = 617$ d

সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে, A মৌলের 60% ক্ষয় হতে যে সময় লাগে B মৌলের 30% ক্ষয় হতে কম সময় লাগে।

২১। Y তেজস্ক্রিয় মৌলটির অর্ধায়ু 3.82 দিন। ল্যাব পর্যবেক্ষণে জানা গেল 17.74 দিন পর মৌলটির $\frac{24}{25}$ অংশ ক্ষয় হয়।

(ক) উদ্দীপকে মৌলটির 65% ক্ষয় হতে কত সময় লাগবে?

(খ) উদ্দীপকের পর্যবেক্ষণটি সঠিক ছিল কি না—গাণিতিকভাবে যাচাই কর। [য. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি,

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

বা, $\frac{0.35\ N_0}{N_0} = e^{-\lambda t}$

এখানে,

মৌলটির 65% ক্ষয় হলে অবশিষ্ট থাকে,

$N = 100\% - 65\% = 35\% = 0.35\ N_0$

$T = 3.82$ দিন

আবার, $\lambda = \frac{0.693}{T} = \frac{0.693}{3.82} = 0.1814$

বা, $0.35 = e^{-0.1814\ t}$

বা, $\ln(0.35) = -0.1814\ t$

বা, $t = -\frac{\ln(0.35)}{0.1814} = -\frac{-10.5}{0.1814} = \frac{10.5}{0.1814} = 5.757$ days

(খ) এখানে 17.74 দিন পর মৌলটির $\frac{24}{25}$ অংশ ক্ষয় হয়, অবশিষ্ট থাকে, $N = \left(1 - \frac{24}{25}\right) = \frac{1}{25}$

বা, $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{25}$

আবার, $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{(2)^{\frac{t}{T}}}$ বা, $\frac{1}{25} = \frac{1}{(2)^{\frac{t}{3 \cdot 82}}}$

বা, $(2)^{\frac{t}{3 \cdot 82}} = \frac{1}{0 \cdot 04} = 25$

বা, $\frac{t}{3 \cdot 82} \ln(2) = \ln(25)$

বা, $t = \frac{\ln(25)}{\ln(2)} \times 3 \cdot 82 = \frac{3 \cdot 22 \times 3 \cdot 82}{0 \cdot 693} = 17 \cdot 69$ দিন

যা 17·74 দিনের চেয়ে কম।

সুতরাং পর্যবেক্ষণটি সঠিক ছিল না।

২২। ইউরেনিয়ামের অর্ধায়ু 700 মিলিয়ন বছর। নিউট্রন ও ইউরেনিয়ামের সংঘর্ষে তেজস্ক্রিয় শক্তি নির্গত হয়। এখানে ভরগুলো $^{235}_{92}U = 235 \cdot 0439$ amu, $^{141}_{56}Ba = 140 \cdot 9139$ amu; $^{92}_{36}K_P = 91 \cdot 8973$ amu ও $^{1}_{0}n = 1 \cdot 0087$ amu হয়। [1 amu = $1 \cdot 6604 \times 10^{-27}$ kg] [চ. বো. ২০২৩]

(ক) ইউরেনিয়ামের 40% ক্ষয় হতে কত সময় লাগবে?

(খ) উদ্দীপকের বিক্রিয়ায় নির্গত শক্তির পরিমাণ 200 MeV-এর অধিক হবে কি না—তোমার উত্তর গাণিতিক বিশ্লেষণে দাও। ৪

(ক) আমরা জানি,

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{(2)t/T}$$

বা, $\frac{0 \cdot 6 N_0}{N_0} = \frac{1}{(2)t/T}$

বা, $0 \cdot 6 = \frac{1}{2^{\left(\frac{t}{T}\right)}}$

বা, $2^{\left(\frac{t}{T}\right)} = \frac{1}{0 \cdot 6}$

বা, $\frac{t}{T} \ln(2) = \ln\left(\frac{1}{6}\right) = \ln(1 \cdot 667)$

বা, $t = \frac{\ln(1 \cdot 607)}{\ln(2)} \times T = \frac{0 \cdot 511}{0 \cdot 693} \times 700 \times 10^6$

$= 0 \cdot 737 \times 7 \times 10^8 = 5 \cdot 16 \times 10^8$ yr.

এখানে,

$N = 60\% N_0 = 0 \cdot 6 N_0$

অর্ধায়ু, $T = 700$ মিলিয়ন বছর

$= 700 \times 10^6$ বছর

(খ) এখানে, $^{235}_{92}U + {}_0n^1 \rightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr +$ শক্তি

এখন ভরত্রুটি,

$\Delta m = {}^{235}_{92}U + {}_0n^1 - {}^{141}_{56}Ba - {}^{92}_{36}Kr$

$= 235 \cdot 0439 + 1 \cdot 0087 - 140 \cdot 9139 - 91 \cdot 8973$

$= 236 \cdot 0526 - 232 \cdot 8112$

$= 3 \cdot 2414$ amu

$= 3 \cdot 2414 \times 1 \cdot 6604 \times 10^{-27}$

$= 5 \cdot 38 \times 10^{-27}$ kg

∴ নির্গত শক্তি,

$E = \Delta mc^2 = 5 \cdot 38 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2 = 4 \cdot 84 \times 10^{-10}$ J

$= \frac{9 \cdot 84 \times 10^{-10}}{1 \cdot 6 \times 10^{-19}} = 3 \cdot 027 \times 10^9$ eV

$= 3027$ MeV

এই শক্তি 200 MeV অপেক্ষা অনেক বেশি।

২৩। X তেজস্ক্রিয় মৌলটির অর্ধায়ু 3·82 দিন। ল্যাব পর্যবেক্ষণে জানা গেল 17·74 দিন পরে মৌলটির অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা প্রারম্ভিক মানের $\frac{1}{25}$ অংশ।

(ক) উদ্দীপকে মৌলটির 85% ক্ষয় হতে কত সময় লাগবে?

(খ) উদ্দীপক মতে পর্যবেক্ষণটি সঠিক ছিল কি না— গাণিতিকভাবে যাচাই কর। [ব. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি, অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা,

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

85% ক্ষয় হলে অবশিষ্ট থাকে $(100 - 85)\% = 15\%$

$\therefore \frac{15N_0}{100} = N_0 e^{-\lambda t}$

বা, $\ln\left(\frac{15}{100}\right) = -\lambda t$

বা, $t = \frac{\ln\left(\frac{3}{20}\right)}{-\lambda} = \frac{1·897}{0·181} = 10·48$ d

এখানে,
$T = 3·82$ d
$\therefore \lambda = \frac{0·693}{3·82} = 0·181\ d^{-1}$

(খ) এখানে, $N = \frac{1}{25}N_0$

আবার, $N = N_0 e^{-\lambda t}$

বা, $\frac{1}{25}N_0 = N_0 e^{-\lambda t}$

বা, $\ln\left(\frac{1}{25}\right) = -\lambda t$

$\therefore t = \frac{\ln\left(\frac{1}{25}\right)}{\lambda} = \frac{3·21887}{0·1814} = 17·74$ d

সুতরাং পর্যবেক্ষণটি সঠিক ছিল।

২৪। সুমি গবেষণাগার A, B ও C তিনটি তেজস্ক্রিয় পদার্থের নমুনা নিয়ে পরীক্ষা করছিল। কোনো এক মুহূর্তে A ও B পদার্থের ভাঙনের হার যথাক্রমে 500 S^{-1} ও 400 S^{-1} এবং 5 s পর যথাক্রমে 400 S^{-1} ও 300 S^{-1} পর্যবেক্ষণ করল। C নমুনার গায়ে অর্ধায়ু 36 *d* লেখা ছিল।

(ক) C মৌলের তেজস্ক্রিয় ক্ষয় ধ্রুবক নির্ণয় কর।

(খ) A ও B মৌলের তেজস্ক্রিয়তা সমান কি না—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [সি. বো. ২০২৩]

(ক) আমরা জানি,

$T = \frac{0·693}{\lambda}$

$\therefore \lambda = \frac{0·693}{T} = \frac{0·693}{36} = 0·01925\ d^{-1}$

দেওয়া আছে,
$T = 36d$
$\lambda = ?$

(খ) A মৌলের ক্ষেত্রে দেওয়া আছে,

ভাঙনের হার, $R_0 = 500\ s^{-1}$ এবং $R_1 = 400\ s^{-1}$

আমরা জানি,

$R_1 = R_0 e^{-\lambda t}$

বা, $400 = 500\ e^{-\lambda \times 5}$

বা, $\frac{4}{5} = e^{-5\lambda}$

$\therefore -5\lambda = \ln\frac{4}{5}$

$-5\lambda = -0·223$

$\therefore \lambda = \frac{0·223}{5} = 0·045\ s^{-1}$

এখানে,
$t = 5$ sec

আবার, B মৌলের ক্ষেত্রে,

$\therefore \quad R_2 = R_0 e^{-\lambda t}$

$300 = 400\, e^{-\lambda' \times 5}$

$\frac{3}{4} = e^{-5 \times \lambda}$

$\therefore \quad -5\lambda' = \ln \frac{3}{4}$

$-5\lambda' = -0.2876$

$\therefore \quad \lambda' = \frac{0.287}{5} = 0.057\ s^{-1}$

এখানে,
$R_0 = 400\ s^{-1}$
$R_2 = 300\ s^{-1}$
$t = 5\ sec$

এখন $\lambda \neq \lambda'$ অর্থাৎ A মৌলের ভাঙনের হার এবং B মৌলের ভাঙনের হার সমান না। কাজেই A ও B মৌলের তেজস্ক্রিয়তা সমান না।

২৫। X এবং Y দুটি তেজস্ক্রিয় পদার্থ। X পদার্থটির 1g থেকে প্রতি সেকেন্ডে 3.5×10^{10} সংখ্যক α কণা নিঃসৃত হয়। X-এর পারমাণবিক ভর 226g। 4000 বছর পরে Y পদার্থটির $\frac{1}{32}$ অংশ অবশিষ্ট থাকে।

(ক) Y পদার্থটির ক্ষয় ধ্রুবক নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থটি অধিকতর স্থায়ী হবে? যাচাই কর। [ম. বো. ২০২৩]

(ক) প্রারম্ভিক পরমাণু সংখ্যা N_0 এবং t সময় ধরে বিঘটন চলার পর অবশিষ্ট অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা N হলে, আমরা পাই,

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{32} = \left(\frac{1}{2}\right)^5 = \frac{1}{2^{t/T}}$$

এখানে,
$N = \frac{1}{32} N_0$
$t = 4000\ yr$

$\therefore \quad 2^{t/T} = 2^5$ বা, $t/T = 5$

বা, $t = 5T$

বা, $5T = 4000\ yr$

$\therefore \quad T = \frac{4000}{5}\ yr = 800\ yr$

আবার, অর্ধায়ু, $\lambda = \frac{0.693}{T} = \frac{0.693}{800}\ yr^{-1}$

$= 0.866 \times 10^{-3}\ yr^{-1}$

(খ) এখানে X মৌলের পারমাণবিক ভর 226 g। সুতরাং 226 g-এ মৌলটির পরমাণু সংখ্যা $= 6 \times 10^{23}$

$\therefore \quad 1$ g মৌলে পরমাণু সংখ্যা $N = \frac{6 \times 10^{23}}{226}$

এখন প্রতি সেকেন্ডে X মৌলের ভাঙন সংখ্যা, $\frac{dN}{dt}$ = সক্রিয়তা $= \lambda N = 3.5 \times 10^{10}$ সংখ্যক

অতএব,

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N = 3.5 \times 10^{10}$$

বা, $\lambda = -\frac{3.5 \times 10^{10}}{\frac{6 \times 10^{23}}{226}} = -\frac{3.5 \times 226 \times 10^{10}}{6 \times 10^{23}} = -1.318 \times 10^{-11}$

এখন, $T = \frac{0.693}{1.318 \times 10^{-11}} = \frac{0.693 \times 10^{11}}{1.318}$

$= 5.26 \times 10^{10}\ s = 1668\ yr$

'ক' অংশ থেকে X মৌলের অর্ধায়ু পাই 800 বছর

এখানে Y মৌলের অর্ধায়ু 1668 বছর। সুতরাং Y মৌলটি অধিকতর স্থায়ী হবে।

২৬। এক খণ্ড রেডিয়ামে $6{\cdot}023 \times 10^{23}$টি অক্ষত পরমাণু ছিল। এক বছর পর দেখা গেল $6{\cdot}0 \times 10^{23}$ টি পরমাণু ভেঙে গেছে।

(ক) রেডিয়ামের গড় আয়ু বের কর।

(খ) পরবর্তী এক বছরে ভেঙে যাওয়া পরমাণু সংখ্যা এবং পূর্ববর্তী এক বছরে ভেঙে যাওয়া পরমাণু সংখ্যা সমান হবে কি না—গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০২৪]

(ক) মৌলটির ক্ষয় ধ্রুবক λ হলে, আমরা জানি

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

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

$$-\lambda t = \ln\frac{N}{N_0} = \ln\frac{0{\cdot}023 \times 10^{23}}{6{\cdot}023 \times 10^{23}}$$

$$\therefore -\lambda \times 1 = \ln\frac{0{\cdot}023 \times 10^{23}}{6{\cdot}023 \times 10^{23}}$$

$$-\lambda = -5{\cdot}5678$$

$$\therefore \lambda = 5{\cdot}5678\ y^{-1}$$

এখানে,

প্রারম্ভিক পরমাণুর সংখ্যা, $N_0 = 6{\cdot}023 \times 10^{23}$

$t = 1$ y

ভেঙ্গে জাওয়া পরমাণুর সংখ্যা, $N' = 6{\cdot}0 \times 10^{23}$

অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা,

$$N = N0 - N'$$
$$= 6{\cdot}023 \times 10^{23} - 6{\cdot}0 \times 10^{23}$$
$$= 0{\cdot}23 \times 10^{23}$$

গড় আয়ু, $\tau = ?$

গড় আয়ু, $\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{5{\cdot}5678} = 179{\cdot}604 \times 10^{-3}\ y = 0{\cdot}179\ y$

(খ) পূর্ববর্তী এক বছরের ক্ষেত্রে,

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$
$$= 0{\cdot}23 \times 10^{23} \times e^{-5{\cdot}5678 \times 1}$$
$$= 8{\cdot}7834 \times 10^{18}\ \text{টি}$$

$$\therefore \Delta N = N_0 - N = 0{\cdot}23 \times 10^{23} - 8{\cdot}7834 \times 10^{18}$$
$$= 2{\cdot}291 \times 10^{21}$$
$$= 0{\cdot}02291 \times 10^{23}\ \text{টি}$$

এখানে,

প্রারম্ভিক অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা,

$N_0 = 0{\cdot}23 \times 10^{23}$

$t = 1$ y

অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা, $N = ?$

ভেঙ্গে যাওয়া পরমাণুর সংখ্যা,

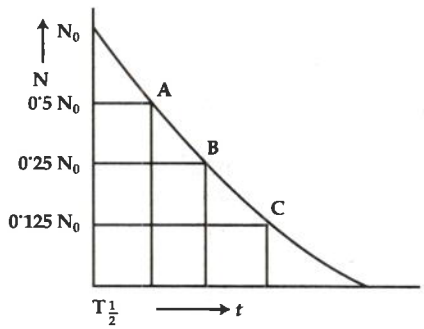
$\Delta N = N_0 - N = ?$

প্রথম বছরে ভেঙ্গে যাওয়া পরমাণুর সংখ্যা,

$N' = 6{\cdot}0 \times 10^{23}$ (উদ্দীপক মতে)

অর্থাৎ, $\Delta N < N'$, সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, প্রথম বছরে ভেঙ্গে যাওয়া পরমাণুর সংখ্যা $N' = 6{\cdot}0 \times 10^{23}$ এবং পরবর্তী এক বছর ভেঙ্গে যাওয়া পরমাণুর সংখ্যা $\Delta N = 0{\cdot}0229 \times 10^{23}$, যা পূর্ববর্তী বছরের চেয়ে বেশি নয়।

২৭।



উদ্দীপকের চিত্রে একটি তেজস্ক্রিয় X-পরমাণুর তেজস্ক্রিয় ক্ষয়ের চিত্র দেখানো হয়েছে। যার গড় আয়ু $2{\cdot}488 \times 10^2$ বছর।

(ক) মৌলটির $0{\cdot}25\ N_0$ পরিমাণ ক্ষয় হতে কত সময় লাগবে?

(খ) মৌলটির C বিন্দুতে ক্ষয় হয়ে পৌঁছতে যে সময় লাগে তা 'A' বিন্দুতে ক্ষয় হওয়া সময়ের ৩ গুণ হবে কি না— বিশ্লেষণের মাধ্যমে মতামত দাও। [রা. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি, গড় আয়ু,

$$\tau = \frac{\text{অর্ধায়ু}\left(T_{\frac{1}{2}}\right)}{0{\cdot}693}$$

$$\therefore T_{\frac{1}{2}} = \tau \times 0{\cdot}693 = 2{\cdot}488 \times 10^3 \times 0{\cdot}693\ y$$

এখানে,

গড় আয়ু, $\tau = 2{\cdot}488 \times 10^3$ বছর

আবার, $\lambda = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{2{\cdot}488 \times 10^3} = 401{\cdot}93 \times 10^{-6}\ y^{-1}$

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

$0{\cdot}25\ N_0 = N_0 e^{-401{\cdot}93 \times 10^{-6} \times t}$

$\therefore\ 0{\cdot}25 = e^{-401{\cdot}93 \times 10^{-6} \times t}$

$\ln 0{\cdot}25 = -401{\cdot}93 \times 10^{-6}$

$-1{\cdot}3863 = -401{\cdot}93 \times 10^{-6} \times t$

$\therefore\ t = \frac{1{\cdot}3863}{401{\cdot}93 \times 10^{-6}} = 3{\cdot}45 \times 10^3\ y$

(খ) মৌলটির C বিন্দুতে ক্ষয় হয়ে পৌঁছাবার সময় t_1 হলে—

আমরা জানি,

$N = N_0 e^{-\lambda t_1}$

$0{\cdot}125\ N_0 = N_0 e^{-\lambda t_1}$

$\therefore\ \ln(0{\cdot}125) = -401{\cdot}93 \times 10^{-6} \times t_1$

$\therefore\ t_1 = \frac{-2{\cdot}0794}{-401{\cdot}93 \times 10^{-6}} = 5{\cdot}17 \times 10^3\ y$

C বিন্দুতে,

$N = 0{\cdot}125\ N_0$

$\lambda = 401{\cdot}93 \times 10^{-6}\ y^{-1}$

আবার A বিন্দুতে ক্ষয় হয়ে পৌঁছাবার সময় t_2 হলে,

$N = N_0 e^{-\lambda t_2}$

$\therefore\ 0{\cdot}5\ N_0 = N_0 e^{-401{\cdot}93 \times 10^{-6} \times t_2}$

$\therefore\ \ln 0{\cdot}5 = -401{\cdot}93 \times 10^{-6}\ t_2$

$\therefore\ t_2 = \frac{-0{\cdot}6932}{-401{\cdot}93 \times 10^{-6}} = 1{\cdot}72 \times 10^3\ y$

এখানে,

$N = 0{\cdot}5\ N_0$

$\lambda = 401{\cdot}93 \times 10^{-6}\ y^{-1}$

দেখা যায় যে,

$\frac{t_2}{t_1} = \frac{1{\cdot}72 \times 10^3}{5{\cdot}17 \times 10^3}$

$\therefore\ t_1 = \frac{5{\cdot}17 \times 10^3}{1{\cdot}72 \times 10^3} \times t_2$

$t_1 = 3 \times t_2$

কাজেই মৌলটির C বিন্দুতে ক্ষয় হয়ে পৌঁছাতে প্রয়োজনীয় সময় A বিন্দুতে ক্ষয় হয়ে পৌঁছাতে সময়ের তিন গুণ হবে।

২৮। সামিয়া ও স্নেহা প্রত্যেকে আলাদাভাবে যথাক্রমে 22 MeV ও 25MeV শক্তি প্রয়োগ করে হিলিয়াম নিউক্লিয়াস ভেঙে প্রোটন ও নিউট্রনে পরিণত করার চেষ্টা করল। প্রোটনের ভর m_p = 1·00758 amu, নিউট্রনের ভর m_n = 1·00894 amu এবং হিলিয়াম নিউক্লিয়াসের ভর 4·00389 amu।

(ক) হিলিয়ামের ভরত্রুটি বের কর।

(খ) সামিয়া অথবা স্নেহা হিলিয়াম নিউক্লিয়াস ভাঙতে সক্ষম হবে কি না—গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর।

[কু. বো. ২০২৪]

(ক) বিলিয়ামের ভর-ত্রুটি,

$\Delta M = Zm_p + Nm_n - A(Z, N)$

$= (2 \times 1{\cdot}00758 + 2 \times 1{\cdot}00894 - 4{\cdot}00389)$ amu

$= 2{\cdot}01516 + 2{\cdot}01788 - 4{\cdot}00389$

$= (4{\cdot}03304 - 4{\cdot}00389)$ amu

$= 0{\cdot}02915$ amu

দেওয়া আছে,

$m_p = 1{\cdot}00758$ amu

$m_n = 1{\cdot}00894$ amu

$^4_2He = 4{\cdot}00389$ amu

আমরা জানি, He-এর ক্ষেত্রে,

$Z = 2$

$N = 2$

(খ) হিলিয়ামের বায়িডিং এনারজি (বন্ধন শক্তি),

$E_B = \Delta Mc^2 = \Delta M \times 931{\cdot}5$ MeV

$= 0{\cdot}0295 \times 931{\cdot}5 = 27{\cdot}153225$ MeV

যেহেতু সামিয়া এবং স্নেহা উভয়ে আলাদাভাবে যথাক্রমে 22MeV এবং 25MeV শক্তি প্রয়োগ করেছে। যা হিলিয়ামের বন্ধন শক্তি অপেক্ষা কম শক্তি ব্যবহার করেছে তাই তাদের কেউই হিলিয়াম নিউক্লিয়াস ভাঙ্গাতে সক্ষম হবে না।

২৮। একটি H_2 পরমাণুর ইলেকট্রন $-1{\cdot}5\ eV$ শক্তি অবস্থা হতে $-3{\cdot}4\ eV$ শক্তি অবস্থায় আসে। [ভূমি অবস্থার শক্তি $-13{\cdot}6\ eV$, $c = 3 \times 10^8\ ms^{-1}$, $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ JS, দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা 4×10^{-7} m হতে 8×10^{-7} m]

(ক) ইলেকট্রনটি প্রাথমিক অবস্থায় কত নম্বর কক্ষপথে ছিল? নির্ণয় কর।

(খ) ইলেকট্রন নিঃসৃত বিকিরণ দৃশ্যমান আলো হবে কী? গাণিতিক বিশ্লেষণ কর। [য. বো. ২০২৪]

(ক) H_2-এর n-তম স্তরের শক্তি E_n হলে আমরা জানি,

$$E_n = \frac{E_1}{n^2}$$

আবার কক্ষপথ সংখ্যা n হলে,

$$\text{বা, } n = \sqrt{\frac{E_1}{E_2}} = \left(\frac{-13{\cdot}6}{-1{\cdot}5}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= (9{\cdot}0667)^{\frac{1}{2}} = 3{\cdot}011 \approx 3$$

$\therefore$ ইলেকট্রন তৃতীয় শক্তিস্তরে ছিল।

এখানে,

E_1 = ভূমি স্তরের শক্তি $= -13{\cdot}6\ eV$

দেওয়া আছে,

$E_n = -1{\cdot}5\ eV$

$n = ?$

(খ) আমরা জানি, নিঃসৃত আলোর শক্তি,

$$h\upsilon = E_2 - E_1$$

$$\therefore \upsilon = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

$$\upsilon = \frac{1{\cdot}9 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\ J}{6{\cdot}63 \times 10^{-34}\ Js} = 3{\cdot}04 \times 10^{15}\ Hz$$

$$\therefore \lambda = \frac{C}{\upsilon} = \frac{3 \times 10^8\ ms^{-1}}{3{\cdot}04 \times 10^{15}/s} = 0{\cdot}987 \times 10^{-7}\ m$$

এখানে,

$E_2 = -3{\cdot}4\ eV$

$E_1 = 1{\cdot}5\ eV$

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-3}$ Js

$|E_2 - E_1| = (-3{\cdot}4 + 1{\cdot}5)\ eV$

$= 1{\cdot}9\ eV$

$= 1{\cdot}9 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ J

যেহেতু এই তরঙ্গদৈর্ঘ্য দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা অনেক ছোট তাই নিঃসৃত আলো দৃশ্যমান হবে না।

২৯। হাইড্রোজেন পরমাণুর তৃতীয় কক্ষপথ হতে একটি ইলেকট্রন উত্তেজিত অবস্থায় শক্তি বিকিরণ করে দ্বিতীয় কক্ষপথে আসে। ইলেকট্রনের ভর $9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg, ইলেকট্রনের চার্জ $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C। প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক $6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js, আলোর দ্রুতি $3 \times 10^8\ ms^{-1}$ এবং $\epsilon_0 = 8{\cdot}854 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$।

(ক) পরমাণুর তৃতীয় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।

(খ) ইলেকট্রনটি শক্তির যে বিকিরণ নিঃসরণ করে তা চোখে দেখা যাবে কি? গাণিতিভাবে বিশ্লেষণ কর।

[চ. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি, পরমাণুর ৩য় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ,

$$r_3 = \frac{n^2h^2\epsilon_0}{\pi me^2}$$

$$= \frac{9 \times (6{\cdot}63 \times 10^{-34})^2 \times 8{\cdot}854 \times 10^{-12}}{\pi \times 9{\cdot}11 \times 10^{-31} \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19})^2}$$

$$= 4{\cdot}78 \times 10^{-10}\ m = 4{\cdot}78\text{Å}$$

এখানে,

$n = 3$

$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js

$\epsilon_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-1}$

$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C

$r_3 = ?$

$m = 9{\cdot}11 \times 10^{-31}$ kg

(খ) আমরা জানি, রিডবার্গের সমীকরণ,

$$\bar{V} = R_H\left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right]$$

$$\text{বা, } \bar{V} = 1{\cdot}097 \times 10^7\left[\frac{1}{4} - \frac{1}{9}\right]$$

$$= 1{\cdot}5236 \times 10^6\ m^{-1}$$

এখানে, রিডবার্গ ধ্রুবক,

$R_H = 1{\cdot}097 \times 10^7\ m^{-1}$

$n_1 = 2$

$n_2 = 3$

$\lambda = ?$

আবার,

$$\lambda = \frac{1}{\bar{V}} = \frac{1}{1{\cdot}5236 \times 10^6\ m^{-1}}$$

$$= 656{\cdot}33 \times 10^{-9} = 569{\cdot}33\ nm$$

যেহেতু দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সীমা 380 nm — 780 nm

কাজেই বিকিরিত শক্তির বিকিরণ চোখে দেখা সম্ভব।

৩০। রেডিয়ামের অর্ধায়ু 1620 বছর এবং এর প্রারম্ভিক পরিমাণ 1×10^{-3} kg।

(ক) রেডিয়ামের গড় আয়ু নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের রেডিয়ামের প্রথম 2 mg ক্ষয় হতে যে সময় লাগে পরবর্তী 2 mg ক্ষয় হতে একই সময় লাগবে কি না— গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [চ. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি, গড় আয়ু,

$$\tau = \frac{T_{\frac{1}{2}}}{0{\cdot}693}$$

$$\therefore \quad \tau = \frac{1620}{0{\cdot}693} = 2{\cdot}338 \times 10^3\ y$$

এখানে, অর্ধায়ু,

$T_{\frac{1}{2}} = 1620\ y$

গড় আয়ু, $\tau = ?$

(খ) আমরা জানি,

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

এখানে, $\lambda = \frac{0{\cdot}693}{T_{1/2}} = \frac{0{\cdot}693}{1620}\ y^{-1}$

$$= 4{\cdot}278 \times 10^{-4}\ y^{-1}$$

এখানে পরমাণুর সংখ্যা ভরের সমানুপাতিক এই ধারণা থেকে পরমাণুর সংখ্যার পরিবর্তে ভর নিয়ে আমরা লিখতে পার,

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

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

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

$$\ln \frac{M_0}{M} = \lambda t$$

এখানে,

প্রারম্ভিক পরমাণুর ভর, $M_0 = 1\ gm$

t সময় 2 gm ক্ষয় হলে, অবশিষ্ট থাকে,

$M = (1\ gm - 2 \times 10^{-3}\ gm)$

$= 9{\cdot}98 \times 10^{-1}\ mg = 0{\cdot}998\ gm$

$$\therefore \quad t = \frac{\ln \frac{M_0}{M}}{4{\cdot}278 \times 10^{-4}} = \frac{\ln \frac{1}{0{\cdot}998}}{4{\cdot}278 \times 10^{-4}} = 4{\cdot}679\ y$$

পরবর্তী 2 mg ক্ষয় হতে t' সময় লাগলে,

$$M' = M'_0 e^{-\lambda t'}$$

$$\frac{M'}{M'_0} = e^{-\lambda t'}$$

$$\frac{0{\cdot}996}{0{\cdot}998} = e^{-\lambda t'}$$

$$\therefore \quad \ln \frac{0{\cdot}996}{0{\cdot}998} = -\lambda t'$$

$$-2{\cdot}006 \times 10^{-3} = -4{\cdot}278 \times 10^{-4}\ t'$$

$$\therefore \quad t' = 4{\cdot}689\ y$$

এখানে,

প্রারম্ভিক অবস্থার ভর,

$M_0' = 0{\cdot}998\ gm$

t' সময় পর অক্ষত পরমাণুর ভর,

$M' = (0{\cdot}998 - 0{\cdot}002)\ gm$

$= 0{\cdot}996\ gm$

এখানে, $t = t'$, অর্থাৎ প্রথম 2 mg ক্ষয় হতে যে সময় লাগবে পরবর্তী 2mg ক্ষয় হতে একই সময় লাগবে।

৩১। দুজন ছাত্রের এক গবেষণায় কোনো স্থানেরর তেজস্ক্রিয়তা পাওয়া গেল 10 millicuric। কিন্তু মানুষের জন্য সহনীয় মাত্রা 5 μ curic। ওই স্থানের তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু 20 বছর। একজন ছাত্র মন্তব্য করলো "আমাদের জীবদ্দশায় এই স্থান মানব বসতির উপযোগী হবে না।" (মানুষের গড় আয়ু ৭৫ বছর)

(ক) ওই স্থানের তেজস্ক্রিয় পদার্থের অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা নির্ণয় কর।

(খ) ছাত্রের মন্তব্য সঠিক কি না—গাণিতিক যুক্তির মাধ্যমে যাচাই কর। [ব বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি, তেজস্ক্রিয়তার হার,

$$R = R_0 e^{-\lambda t} \quad \ldots \quad (i)$$

এখানে, ক্ষয় ধ্রুবক

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}}} = \frac{0.693}{20} = 0.03465\ y^{-1}$$

$$\therefore \quad R = 10 \times 10^{-3}\ e^{-0.03465 \times 75}$$
$$= 10 \times 10^{-3} \times 0.0744$$
$$= 0.744 \times 10^{-3} \text{ milli curie}$$
$$= 744 \times 10^{3}\ \mu\text{-curie}$$

এখানে,

আদি অবস্থার তেজস্ক্রিয়তা,

$R_0 = 10$ milli curie

$= 10 \times 10^{-3}$ curie

অর্ধায়ু,

$T_{\frac{1}{2}} = 20$ y

সময়, $t = 75$ y

(খ) আমরা জানি,

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

$$\therefore \quad \frac{N}{N_0} = e^{-0.3465 \times 75}$$

$$N = N_0 \times e^{-0.03465 \times 75}$$
$$= N_0 \times 0.0744 \times 100\%$$

$$N = N_0 \times 7.44\%$$

এখানে,

$\lambda = 0.3465\ y^{-1}$

$t = 75$ y

$N = t$ সময় পর অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা

N_0 = আদি অবস্থায় পরমাণুর সংখ্যা

'খ' থেকে দেখা যায়, 75 বছর পর তেজস্ক্রিয়তার হার 5 μC থেকে অনেক বেশি। যেহেতু মানুষের গড় আয়ু 75 y এবং এই 75 y-এ ওই স্থানে অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা আদি অবস্থার পরমাণুর সংখ্যায় 7.44% অর্থাৎ ওই স্থানে তেজস্ক্রিয়তা বিদ্যমান। তাই আমাদের জীবদ্দশায় মানব বসতির উপযোগী হবে না।

৩২। প্রয়োজনীয় নিরাপত্তা ব্যবস্থায় পরীক্ষা করার জন্য 50 gm তেজস্ক্রিয় পদার্থ উন্মুক্তভাবে রেখে দেওয়া হলো। 10 দিন পরে দেখা গেল যে 8.1 gm অবশিষ্ট আছে। মৌলটির গড় আয়ু 5.48 দিন।

(ক) মৌলটির ক্ষয়ধ্রুবক কত?

(খ) পরীক্ষাগারে 10 দিনের পরিবর্তে 18 দিন মৌলটি রেখে দিলে কোনো অংশ অবশিষ্ট থাকবে কি না—গাণিতিক বিশ্লেষণসহ ব্যাখ্যা কর। [সি. বো. ২০২৪]

(ক) তেজস্ক্রিয়তার ক্ষয় সূত্র থেকে আমরা জানি,

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

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

$$\lambda = \frac{1}{t} \ln\left(\frac{N_0}{N}\right)$$
$$= \frac{1}{10} \ln\left(\frac{N_0}{0.162\ N_0}\right)$$
$$= 0.182\ d^{-1}$$

এখানে,

$t = 10$ d

$N_0 = 50$ gm

(খ) আবার তেজস্ক্রিয়তার ভাঙ্গনের ধারণা অনুযায়ী,

$$M = M_0 e^{-\lambda t}$$
$$= 50 \times e^{-0.182 \times 18}$$
$$= 1.889\ gm$$

18 দিন পর মৌলটির 1.889 gm অবশিষ্ট থাকবে।

∴ মৌলটি সম্পূর্ণ নিঃশেষ হতে অসীম সময় প্রয়োজন হবে।

এখানে,

$M_0 = 50$ gm

$\lambda = 0.182\ d^{-1}$

$t = 18$ d

$M = ?$

৩৩। $2{\cdot}918 \times 10^{15}$ Hz কম্পাঙ্কের ফোটন দ্বারা একটি পরমাণুর প্রথম কক্ষের ইলেকট্রনকে আঘাত করা হলো। পরমাণুটির প্রথম কক্ষের ব্যাসার্ধ $0{\cdot}53$ Å এবং শক্তি $-13{\cdot}6$ eV। [$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js]

(ক) উদ্দীপকের পরমাণুর প্রথম কক্ষপথে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের বেগ নির্ণয় কর।

(খ) ইলেকট্রনকে আঘাত করার ফলে তার কক্ষপথের পরিবর্তন হবে কি না—গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে মতামত দাও। [দি. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি, পরমাণর n-তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ,

$$r_n = \frac{n^2h^2\epsilon_0}{\pi me^2}$$

$$\therefore\ r_1 = \frac{(1)^2 \times (6{\cdot}634 \times 10^{-34})^2 \times 8{\cdot}85 \times 10^{-12}}{3{\cdot}14 \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19})^2} = 5{\cdot}31 \times 10^{-11}\ \text{m}$$

আবার ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের বেগ v_n হলে,

$$v_n = \frac{e}{\sqrt{4\pi\epsilon_0 m r_n}}$$

$$= \frac{1{\cdot}6 \times 10^{-19}}{\sqrt{4 \times 3{\cdot}14 \times 8{\cdot}85 \times 10^{-12} \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times 5{\cdot}31 \times 10^{-11}}}$$

$$= 2{\cdot}18 \times 10^{-6}\ \text{ms}^{-1} = 2{\cdot}18\ \mu\text{ms}^{-1}$$

এখানে,
ইলেকট্রনের চার্জ,
$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C
ইলেকট্রনের ভর,
$m = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg
প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক,
$h = 6{\cdot}634 \times 10^{-34}$ Js
$n = 1$
$\epsilon_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$
$V_n = ?$

(খ) আমরা জানি, আপতিত ফোটনের শক্তি,

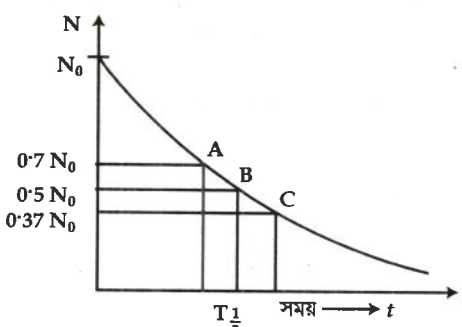
$$E = h\upsilon$$
$$= 6{\cdot}634 \times 10^{-34} \times 2{\cdot}918 \times 10^{15}$$
$$= 1{\cdot}93 \times 10^{-18}\ \text{J}$$
$$= 12{\cdot}09\ eV$$

এখানে,
প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক,
$h = 6{\cdot}634 \times 10^{-34}$ Js
কম্পাঙ্ক,
$\upsilon = 2{\cdot}918 \times 10^{15}$ Hz

উদ্দীপক মতে ভূমি অবস্থার শক্তি $= -13{\cdot}6$ eV (এখানে $-ve$ চিহ্নের অর্থ হলো ইলেকট্রন পরমাণুতে আবদ্ধ। বা অসীমের দিকে ইরেকট্রনকে সরাতে কাজ করতে হবে।)

কক্ষচ্যুতি ঘটানোর ক্ষেত্রে আপতিত ফোটনের শক্তি ভূমিশক্তির চেয়ে বেশি হতে হবে। কিন্তু উদ্দীপক অনুযায়ী ভূমিশক্তির মান $-13{\cdot}6$ eV, যা প্রাপ্ত শক্তি অপেক্ষা কম। তাই ইলেকট্রনের আঘাত করার ফলে কক্ষপথের কোনো পরিবর্তন হবে না।

৩৪।



উপরের লেখচিত্রে সময়ের সাথে অক্ষত তেজস্ক্রিয় পরমাণুর পরিবর্তন দেখানো হয়েছে। তেজস্ক্রিয় পদার্থটি অবক্ষয় ধ্রুবক $4{\cdot}02 \times 10^{-4}\ Y^{-1}$।

(ক) উদ্দীপকের তেজস্ক্রিয় পদার্থটি A বিন্দুতে পৌঁছতে কত সময় লাগবে?

(খ) উদ্দীপকের তেজস্ক্রিয় পদার্থটির গড় আয়ুর পর তার অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা C বিন্দুতে হবে কি না—গাণিতিক বিশ্লেষণে যাচাই কর। [ম. বো. ২০২৪]

(ক) আমরা জানি,

$$N = N_0e^{-\lambda t}$$
$$0{\cdot}7\ N_0 = N_0e^{-4{\cdot}02 \times 10^{-4} \times t}$$
$$\therefore\ 0{\cdot}7 = e^{-4{\cdot}02 \times 10^{-4} \times t}$$
$$-0{\cdot}35667 = -4{\cdot}02 \times 10^{-4}t$$
$$t = \frac{0{\cdot}35667}{4{\cdot}02 \times 10^{-4}} = 0{\cdot}0887 \times 10^4 = 887{\cdot}3\ \text{y}$$

এখানে,
$\lambda = 4{\cdot}02 \times 10^{-4}\ y^{-1}$
$N = 0{\cdot}7\ N_0$
$t = ?$

(খ) গড় আয়ু, $\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{4{\cdot}02 \times 10^{-4}\ y^{-1}}$

$= 0{\cdot}249 \times 10^4$ year $= 2490$ year

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

$= N_0 e^{-4{\cdot}02} \times 10^{-4} \times 2490 = 0{\cdot}368\ N_0$

$\equiv 0{\cdot}37\ N_0 = C$ বিন্দুতে অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা

এখানে,

$t = \tau = 2490$ y

$N = ?$

সুতরাং আমরা বলতে পারি, তেজস্ক্রিয় পদার্থটি তার গড় আয়ুর পর অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা C বিন্দুতে হবে।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। 1897 সালে বিজ্ঞানী থমসন কিসমিস পুডিং মডেল বা ইলেকট্রনের ধারণা আবিষ্কার করেন। একে তরমুজ মডেলও বলে।

২। রাদারফোর্ড তার আলফা কণিকা বিক্ষেপণ পরীক্ষা সম্পাদন করেন 1911 সালে।

৩। তেজস্ক্রিয় পদার্থ থেকে নির্গত ধনাত্মক চার্জযুক্ত এক প্রকার ভারী কণাই হলো আলফা কণা। এর ভর $6{\cdot}694 \times 10^{-27}$ kg। ইহা ইলেকট্রন অপেক্ষা প্রায় 7000 গুণ ভারী। রাদারফোর্ডের পরীক্ষায় তেজস্ক্রিয় পলোনিয়াম হতে নির্গত আলফা কণার গতিশক্তি $7{\cdot}68$ MeV। এই পরীক্ষায় ব্যবহৃত স্বর্ণপাতের পুরুত্ব ছিল 6×10^7 m। আলফা কণার ভর হিলিয়ামের ভরের সমান।

৪। 1913 সালে বিজ্ঞানী বোর তার পরমাণু মডেলের প্রস্তাব করেন। বোরের প্রথম কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের মোট শক্তির মান $-13{\cdot}6$ eV।

৫। হাইড্রোজেনের পরমাণুর ব্যাসার্ধ $0{\cdot}53 \times 10^{-10}$ m বা $0{\cdot}53$ Å

৬। গামা রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় কম। ইহা সীসার পাতে কয়েক সেন্টিমিটার ভেদ করে যেতে পারে। এর অপবর্তন, ব্যতিচার ও প্রতিফলন ঘটে। ইহা তড়িৎক্ষেত্র এবং চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিচ্যুত হয় না।

৭। বিটা রশ্মি অতি উচ্চ দ্রুতিসম্পন্ন ইলেকট্রনের প্রবাহ। নিউক্লীয় ফিশন বিক্রিয়া একটি চেইন বিক্রিয়া।

৮। ক্যাথোড রশ্মি তেজস্ক্রিয় পদার্থ থেকে নির্গত হয় না।

৯। ইউরেনিয়ামের অর্ধায়ু 45×10^8 কোটি বছর। তেজস্ক্রিয়তার একক বেকেরেল।

১০। আলফা রশ্মির চার্জের পরিমাণ একটি প্রোটনের চার্জের 2 গুণ। এর আয়নায়ন ক্ষমতা ওই রশ্মির 1000 গুণ। ইহা তড়িৎ ক্ষেত্র r ও চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিচ্যুত হয়।

১১। তেজস্ক্রিয়তার সৃষ্টি হয় নিউক্লিয়াসের ভাঙনের ফলেই। এটি স্বতঃস্ফূর্ত স্বীয় বিচ্ছিন্নকারী অবিরাম প্রক্রিয়া।

১২। গড় আয়ু এবং ক্ষয় ধ্রুবকের মধ্যে সম্পর্ক হলো $T = 1/\lambda$।

১৩। নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ $1{\cdot}2 \times 10^{-15}$ cm থেকে $1{\cdot}5 \times 10^{-15}$ cm এর মধ্যে হয়। বোর পরমাণু মডেলের কৌণিক ভরবেগ $L = \frac{nh}{}$, ১ম বোর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ $0{\cdot}53$ Å। ইউরেনিয়াম ও উচ্চ শক্তির নিউট্রনের বিক্রিয়ায় 200 MeV শক্তি নির্গত হয়।

১৪। 1 কুরি সমান $3{\cdot}7 \times 10^{10}$ বেকেরেল।

১৫। বোর পরমাণু মডেল অনুসারে H-পরমাণুর ২য় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ ১ম কক্ষপথের ব্যাসার্ধের চারগুণ।

১৬। পরমাণুগুলোর ভর সংখ্যা সমান কিন্তু প্রোটন সংখ্যা ভিন্ন হলে, তাকে আইসোবার বলে। ${}_1H^2$ এর নাম ডিউটেরিয়াম।

১৭। ইলেকট্রন উচ্চ শক্তিস্তর থেকে নিম্ন শক্তিস্তরে গেলে—(i) শক্তির বিকিরণ ঘটে। (ii) শক্তির পরিবর্তন ঘটে।

১৮। নিউক্লীয় বলের বৈশিষ্ট্য হলো—আকর্ষণ ধর্মী, চার্জ নিরপেক্ষ, স্বল্প পাল্লা।

১৯। বিটা রশ্মির ধর্ম হলো কণাধর্মী।

২০। 1 amu ভরের সমতুল্য শক্তি = 934 MeV।

২১। আলফা কণা বিক্ষেপণ পরীক্ষায় ব্যবহৃত প্রতিপ্রভ পর্দা হলো জিঙ্ক সালফাইডের পর্দা।

২২। বিভিন্ন কক্ষপথের জন্য মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা বিভিন্ন।

২৩। ${}^2_1H + {}^2_1H \longrightarrow {}^3_2H + {}^1_0X +$ শক্তি $\longrightarrow$ X কণাটি হলো নিউট্রন।

২৪। দুটি up এবং একটি down কোয়ার্ক মিলে তৈরি হয় প্রোটন।

২৫। ফিশান বিক্রিয়ায় ভর শক্তির নিত্যতার সূত্র মেনে চলে না।

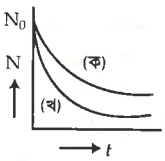
২৬। প্রতি ফিউশনে E_1 এবং প্রতি ফিশানে E_2 শক্তি নির্গত হলে, E_1 এবং E_2 এর মধ্যে সম্পর্ক হলো $E_1 > E_2$।

২৭। নিউক্লিয়াসের ভর সংখ্যার সাথে ব্যাসার্ধের সম্পর্ক হলো $R = r_0 A^{1/3}$।

২৮। ক্ষয় ধ্রুবক λ এর মাত্রা অর্ধ জীবনের মাত্রার সমতুল্য নয়।

২৯। তেজস্ক্রিয়তার ভাঙনের সমীকরণ $N = N_0 e^{-\lambda t}$ এবং এর লেখচিত্র হলো—

৩০। পাশের (ক) লেখচিত্রটি অধিক আয়ুসম্পন্ন তেজস্ক্রিয় পদার্থ নির্দেশ করছে।



৩১। হাইড্রোজেনের ভূমি অবস্থার শক্তি —136 eV হলে উহার দ্বিতীয় কক্ষের শক্তি —3·4 eV।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। বোরের স্বীকার্য অনুসারে অনুমোদিত কক্ষপথে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ কত?
[রা. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); ব. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০২২, ২০১৫; ঢা. বো. ২০১৭; চ. বো. ২০১৭; কু. বো. ২০১৬; দি. বো. ২০১৫; Admission Test : DU (7 College) 2019-20; BSMRSTU 2016-17; JU 2017-18]

ক $L = \frac{nh}{2\pi}$

খ $L = \frac{2\pi n}{h}$

গ $L = \frac{2\pi}{hn}$

ঘ $L = \frac{2h}{\pi}$

২। আলফা কণা বিক্ষেপণ পরীক্ষা কে করেন ?
[Admission Test : RUET 2010–11; RU 2017-18]

ক থমসন
খ বোর
গ রাদারফোর্ড
ঘ কুরি

৩। হাইড্রোজেন পরমাণুর ভূমি স্তরের শক্তি কত ?
[চ. বো. ২০১৬; Admission Test : RUET 2010-11; JU 2017-18; SAU 2016-17; JU 2019-20]

ক — 13·6 eV
খ — 13·6 J
গ — 13·6 N
ঘ 13·6 J

৪। হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম বোর কক্ষে ইলেকট্রনের মোট শক্তি — 13·6 eV হলে, দ্বিতীয় বোর কক্ষে মোট শক্তি কত হবে ?
[দি. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০১৯; Admission Test : DU 2019-20, 2017-18; SUST 2019-20; SAU 2018-19; BSMRSTU 2018-19; SAU 2018-19]

ক — 1·5 eV
খ — 3·4 eV
গ — 4·5 eV
ঘ — 40·8 eV

৫। যখন একটি পরমাণুর নিউক্লিয়াস থেকে একটি বিটা কণা নির্গত হয় তখন—

ক পারমাণবিক সংখ্যা এক কমে যায়
খ ভর সংখ্যা এক কমে যায়
গ পরমাণবিক সংখ্যা এক বেড়ে যায়
ঘ পারমাণবিক সংখ্যা দুই কমে যায়

৬। তেজস্ক্রিয়তার বৈশিষ্ট্য—

(i) এটি একটি স্বতঃস্ফূর্ত এবং আকস্মিক ঘটনা
(ii) তেজস্ক্রিয় পরমাণুর অবক্ষয়ের হার ওই সময়ে উপস্থিত অক্ষত পরমাণুর ব্যস্তানুপাতিক
(iii) তেজস্ক্রিয় অবক্ষয় অবিরাম চলতে থাকবে যতক্ষণ পর্যন্ত এটি একটি স্থায়ী মৌলে পরিণত না হয়

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

৭। কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ু ও গড় আয়ুর মধ্যে সম্পর্ক হলো— [সকল বোর্ড ২০১৮; Admission Test : DU 2017-18; KU 2017-18; BHEC 2016-17]

ক এরা সমানুপাতিক
খ এরা ব্যস্তানুপাতিক
গ এরা বর্গের সমানুপাতিক
ঘ সমান

৮। A, B ও C তিনটি তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ু যথাক্রমে T_A, T_B ও T_C এবং তাদের ক্ষয় ধ্রুবক যথাক্রমে λ_A, λ_B ও λ_C [এখানে $\lambda_A > \lambda_B > \lambda_C$] নিচের কোন সম্পর্কটি সঠিক ?
[সকল বোর্ড ২০১৮]

ক $T_B > T_A > T_C$
খ $T_C > T_A > T_B$
গ $T_C > T_B > T_A$
ঘ $T_A > T_B > T_C$