

লাল - সরুজে  
দাগানো  
**TEXT BOOK**



পদার্থ বিজ্ঞান  
২য় পত্র

*New Edition*



**উমেষ**

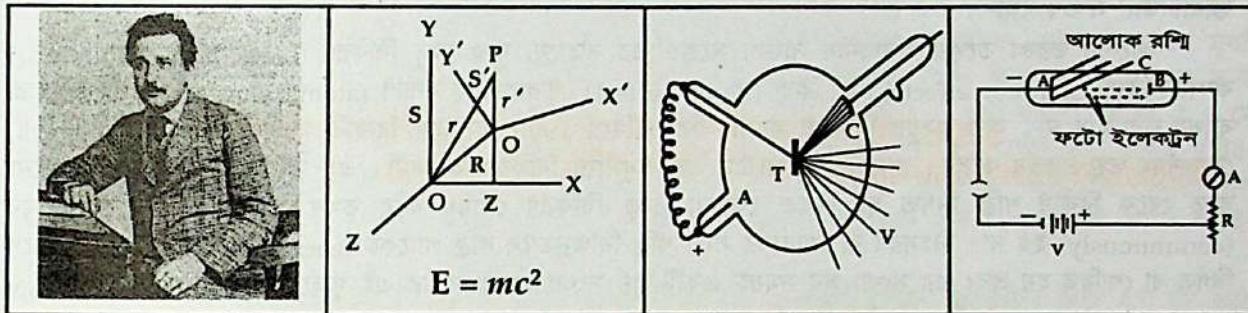
মেডিকেল এন্ড ডেন্টাল এডমিশন কেয়ার

b

## আধুনিক পদাৰ্থবিজ্ঞানেৰ সূচনা

### INTRODUCTION OF MODERN PHYSICS

**প্ৰধান শব্দ (Key Words) :** প্ৰসংজা কাঠামো, জড় কাঠামো, অজড় কাঠামো, আপেক্ষিকতা, গ্যালিলিওৰ বৃপ্তিৰণ, লৱেজেৰ বৃপ্তিৰণ সূত্ৰ, দৈৰ্ঘ্য সংকোচন, সময় সম্প্ৰসাৱণ বা কাল দীৰ্ঘায়ন, ভৱেৱ আপেক্ষিকতা, ভৱ-শক্তি সম্পর্ক, মৌলিক বল, প্ৰযোজক-এৰ কোয়ান্টাম তত্ত্ব, এজৱে, এজৱে-এৰ একক, আলোক তত্ত্ব ক্ৰিয়া, নিয়ন্ত্ৰিত বিভিব, সূচন কম্পনক, কাৰ্য অপেক্ষক, ডি ব্ৰগলি তৱজা, কম্পটন ক্ৰিয়া, হাইসেন্সবাৰ্গেৰ অনিচ্ছয়তা সূত্ৰ।



#### সূচনা

#### Introduction

আজ যদি বিশ্বেৰ যে কোনো দেশেৰ বিজ্ঞানমনস্ক কোনো ব্যক্তিকে জিজ্ঞেস কৰা হয়, “বিশ্ব শতাব্দীৰ সবচেয়ে বিখ্যাত বিজ্ঞানী কে ?” স্বাভাৱিক উভৰ পাওয়া যাবে “আলবাৰ্ট আইনস্টাইন।” খুব কমসংখ্যক বিজ্ঞানীই আইনস্টাইনেৰ মতো তাঁৰ মৌলিক কাজেৰ সংখ্যা, বৈচিত্ৰ্য এবং অপৰিসীম গুৰুত্ব বিবেচনায় এত বিখ্যাত হতে পেৱেছেন। আইনস্টাইন তাঁৰ বহু বৈচিত্ৰ্যময় বৈজ্ঞানিক আবিষ্কাৱেৰ মধ্যে সবচেয়ে বেশি পৱিচিত তাঁৰ আপেক্ষিক তত্ত্বেৰ জন্য। আপেক্ষিক তত্ত্বেৰ মধ্যে আপেক্ষিকতাৰ বিশেষ তত্ত্বেৰ জন্য তিনি সমধিক পৱিচিত। 1905 সালে যখন তাঁৰ বয়স মাত্ৰ 26 বছৰ তখন তিনি আপেক্ষিকতাৰ বিশেষ তত্ত্ব প্ৰকাশ কৰেন। আমাদেৱ মৌলিক চিন্তা-চেতনা বা বিশ্বাসেৰ অনেক কিছুৱই পৱিবৰ্তন সাধন কৰেছে এই আপেক্ষিকতাৰ বিশেষ তত্ত্ব। পারমাণবিক বিজ্ঞানেৰ কৰ্ম বিকাশেৰ ক্ষেত্ৰে আপেক্ষিক তত্ত্বেৰ ভূমিকা অপৰিসীম। এই অধ্যায়ে আমোৱা দেখাৰ যে স্থান (Space), কাল (Time), দৈৰ্ঘ্য (Length) কোনোটাই পৱিম রাশি বা নিৰপেক্ষ নয়। এগুলো পৱিবৰ্তনশীল। চিৱায়ত বলবিজ্ঞানে (Classical Mechanics) তৰ এবং শক্তি স্বাধীন হলেও আপেক্ষিকতাৰ বিশেষ তত্ত্ব অনুসাৱে দেখা যায় এৱা সমতুল্য (Equivalent)। এই তত্ত্ব থেকে দেখা যায় যে ভৱসম্পন্ন কোনো বস্তুই আলোৰ বেগ বা তাৰ বেশি বেগে চলতে পাৱে না, তা বত বলই বস্তুৰ ওপৰ প্ৰয়োগ কৰা হোক না কেন।

#### এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীৱা—

- আধুনিক পদাৰ্থবিজ্ঞানেৰ ধাৰণা ব্যাখ্যা কৰতে পাৱবে।
- জড় কাঠামো ও অজড় কাঠামো ব্যাখ্যা কৰতে পাৱবে।
- মাইকেলসন-মেলিৰ পৱিক্ষাক ফলাফল বিশ্লেষণ কৰতে পাৱবে।
- আইনস্টাইনেৰ আপেক্ষিকতা তত্ত্ব ব্যাখ্যা কৰতে পাৱবে।
- গ্যালিলিওৰ বৃপ্তিৰণ ও লৱেজ বৃপ্তিৰণ ব্যাখ্যা কৰতে পাৱবে।
- আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসাৱে সময় সম্প্ৰসাৱণ, দৈৰ্ঘ্য সংকোচন এবং তৰ বৃদ্ধি বৰ্ণনা কৰতে পাৱবে।
- তৰ শক্তিৰ সম্পর্ক ব্যাখ্যা কৰতে পাৱবে।
- মৌলিক চাৰটি বল ব্যাখ্যা কৰতে পাৱবে।
- মহাকাশ অমণে আপেক্ষিকতা তত্ত্বেৰ সময় সম্প্ৰসাৱণ ও দৈৰ্ঘ্য সংকোচনেৰ নিয়ম ব্যবহাৰ কৰতে পাৱবে।
- প্ৰযোজকৰণ কৰাৰ বস্তুৰ বিকিৱণ ব্যাখ্যা কৰতে পাৱবে।
- এক-ৱেৱ উৎপাদন প্ৰক্ৰিয়া বৰ্ণনা কৰতে পাৱবে।
- আইনস্টাইনেৰ ফটোইলেক্ট্ৰিক ক্ৰিয়া বৰ্ণনা ও ব্যাখ্যা কৰতে পাৱবে।
- ডি ব্ৰগলিৰ বস্তু তৱজোৱা ধাৰণা ব্যাখ্যা কৰতে পাৱবে।
- কম্পটন ক্ৰিয়া ব্যাখ্যা কৰতে পাৱবে।
- হাইজেনবাৰ্গেৰ অনিচ্ছয়তাৰ নীতি ব্যাখ্যা কৰতে পাৱবে।

### ৮.১ আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের ধারণা

#### Concept of modern physics

আলোর থক্তি সমর্কে 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-চূম্বকীয় তত্ত্ব (electromagnetic theory) প্রদান করেন। 1887 খ্রিস্টাব্দে জার্মান পদার্থবিজ্ঞানী হেনরিখ হার্টজ (Henrich Herts) পরীক্ষামূলকভাবে তড়িৎ-চূম্বকীয় তত্ত্ব সূপ্তিগতিতে করেন। ওই সময় তিনি তড়িৎ-চূম্বকীয় তরঙ্গ নিয়ে পরীক্ষা-নিরীক্ষার কালে আকস্মিকভাবে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া আবিষ্কার করেন। কিন্তু আলোক তড়িৎ ক্রিয়া তড়িৎ-চূম্বকীয় 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 প্ল্যান্ক (Max Planck) কোয়ান্টাম তত্ত্ব প্রবর্তন করেন। প্ল্যান্কের 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,  $E = h\nu$ । এখানে  $\nu$  হচ্ছে তার কম্পাক্ষ এবং  $h$  হচ্ছে একটি ধ্রুবক যা প্ল্যান্কের ধ্রুবক (Planck's constant) নামে পরিচিত।

প্ল্যান্কের 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 কোয়ান্টামূপে নির্গত বা শোষিত হয় তা নয়, কোনো স্থানের (space) মধ্য দিয়ে প্রবাহের সময়ও কোয়ান্টাম হিসেবে গণ্য করতে হয়।

(খ) কোনো ধাতুর ওপর আলো পড়লে আপত্তিত ফোটনের সাথে ইলেকট্রনের স্থিতিস্থাপক সংঘাত ঘটে অর্ধাংশ একেত্রে ইলেক্ট্রনগুলি হয় আপত্তিত 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 ইলেক্ট্রন (photo-electron) নির্গত হয়।

তড়িৎ-চূম্বকীয় বিকিরণকে ফোটন কণার মোত 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 ঘটনাগুলোকে ব্যাখ্যা করতে পারে। তাই আধুনিক বিজ্ঞানে বিকিরণ কখনও তরঙ্গুপে, আবার কখনও কণার স্নোতরূপে আচরণ করে এবং এরা পরস্পরের পরিপূরক। একেই তরঙ্গ কণিকা দ্বি-তত্ত্ব (Wave-particle dual theory) বলা হয়।

1924 খ্রিস্টাব্দে ফরাসি বিজ্ঞানী লুইস ডি ব্ৰগলি (Louis de Broglie) দেখান যে একটি কণার স্নোতও তরঙ্গের মতো আচরণ করতে পারে। সুতরাং, ম্যাক্স প্ল্যান্কের 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)

পারিসার্থিক 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 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 স্থিতি বা চলমান অবস্থা নির্দেশ করা যায়। দূরের বা কাছের কোনো বিন্দুর সাপেক্ষে হি- 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 কোণকে মূলবিন্দু (origin) ধরে দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং উচ্চতা বরাবর নির্দিষ্ট পরিমাণ স্থান, ক্ষেত্র বা ক্ষেত্র দিয়ে পরিমাপ করে ফ্যানের অবস্থান নির্দিষ্ট করা যায়। মনে করা যাক ঘরের দৈর্ঘ্য বরাবর ৩ m, প্রস্থ বরাবর ২ m এবং উচ্চতা বরাবর ৩ m মেঘে ফ্যানটি নির্দিষ্ট করা হলো। এক্ষেত্রে ফ্যানের স্থানাঙ্ক (৩, ২, ৩)। তবে এটি ওই মূলবিন্দুর সাপেক্ষে। আবার ঘরের বা বাইরের কোনো বিন্দুকে মূলবিন্দু (origin) করলে স্থানাঙ্ক পরিবর্তিত হবে। সবচেয়ে সহজ এবং পরিচিত প্রসঙ্গ কাঠামো হলো কার্টেজীয় 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

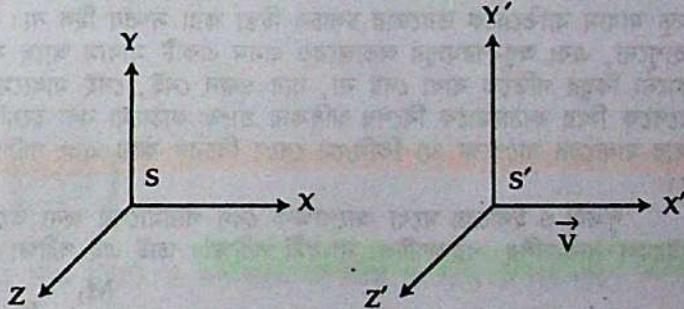
### Inertial frame of reference

পরস্পরের সাপেক্ষে ধূব বেগে গতিশীল যে সব প্রসঙ্গ কাঠামোতে জড়তার সূত্র এবং নিউটনের গতিসূত্র প্রযোজ্য হয় তাকে জড় কাঠামো বা জড় প্রসঙ্গ কাঠামো বা জড়তার কাঠামো বলে। একে অভ্যন্তরীণ কাঠামো বা গ্যালিলি কাঠামো বা নিউটনীয় প্রসঙ্গ কাঠামো বলা হয়। তৃপ্তির তুলনায় সমবেগে গতিশীল সকল বস্তুর সাথে যুক্ত কাঠামোতে নিউটনের জড়তার সূত্র প্রযোজ্য হলে এরাও প্রযোজ্যকে একটি জড়তার কাঠামো। কিন্তু ঘূর্ণযামান বস্তু জড় কাঠামো নয়। বস্তুর গতির ত্বাস/বৃদ্ধি ঘটানোর জন্য মন্দন/ত্বরণ সৃষ্টি হয় বলে অর্থাৎ সমবেগে চলে না বলে এটি জড় কাঠামো নয়। অর্থাৎ তৃপ্তির তুলনায় সমবেগসম্পন্ন হলে কাঠামোটি জড় কাঠামো। জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে নিউটনের দ্বিতীয় ও তৃতীয় গতিসূত্র সঠিকভাবে প্রয়োগ হয়। ৮.১ টিতে জড় প্রসঙ্গ কাঠামো দেখান হলো।

এই ধরনের কাঠামোতে ত্বরণ,

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

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



চিত্র ৮.১ : জড় প্রসঙ্গ কাঠামো।

## ৮.২.২ অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো

### Non-inertial frame of reference

যে সকল প্রসঙ্গ কাঠামো পরস্পরের সাথে ধূব বেগে গতিশীল নয় এবং যে কাঠামোতে জড়তার সূত্র এবং নিউটনের গতির সূত্র প্রযোজ্য হয় না তাকে অজড় কাঠামো বলে। ঘূর্ণযামান এবং অসমবেগে চলমান প্রসঙ্গ কাঠামো অজড় কাঠামো। এই ধরনের কাঠামোতে কানিনিক বল দ্বারা ত্বরণ হটে।

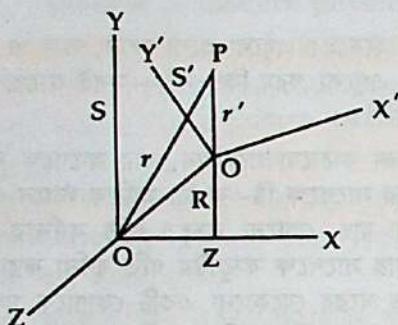
**উদাহরণ :** সমবেগে চলমান একটি বাসের ভেতরে একটি ফুটবল রয়েছে। বাসটি ব্রেক করলে মনে হবে সামনের দিকে ফুটবলটির ত্বরণ হচ্ছে। ফুটবলটির ওপর কোনো বাহ্যিক বল ক্রিয়া করেনি; কিন্তু আমরা ফুটবলটিকে বাসের ভেতরে একটি ত্বরিত প্রসঙ্গ কাঠামো হতে দেখি বলে মনে হয় এখানে একটি বাহ্যিক বল ক্রিয়া করছে।

ধরা যাক প্রসঙ্গ কাঠামো  $S'$  জড় প্রসঙ্গ কাঠামো  $S$  এর সাপেক্ষে  $\vec{a}_0$  ত্বরণে গতিশীল [চিত্র ৮.২]। তাহলে কণা

A, প্রকৃতপক্ষে যে সকল 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।

$$\vec{F}' = m\vec{a}' = m(\vec{a} - \vec{a}_0) = m\vec{a} - m\vec{a}_0$$

এখনে  $m\vec{a} = \vec{F}$ , জড় কাঠামো  $S$  এ কণাটির ওপর ক্রিয়াশীল বল। সুতরাং,  $\vec{F}' = \vec{F} - m\vec{a}_0$



চিত্র ৮.২ : অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো।

$$\text{ধরি, } m\vec{a}_0 = \vec{F}_0$$

$$\text{অতএব, } \vec{F}' = \vec{F} - \vec{F}_0$$

$$\text{যদি } \vec{F} = 0, \text{ তবে } \vec{F}' = -\vec{F}_0$$

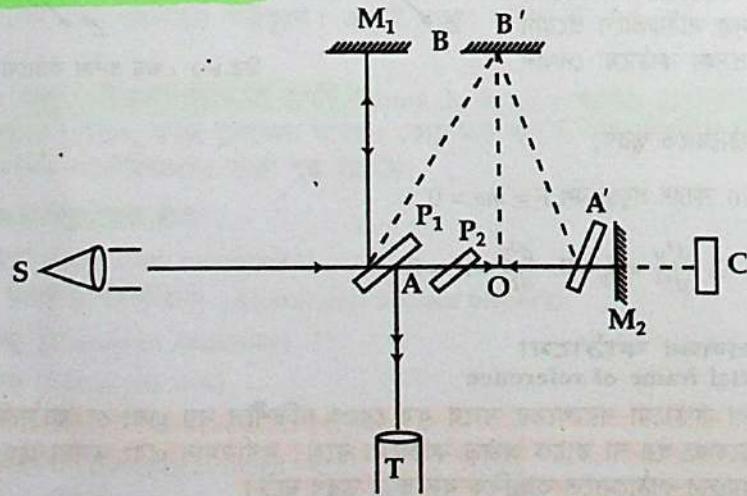
অর্থাৎ,  $S$  কাঠামোতে কণাটির ওপর কোনো বল ক্রিয়াশীল না হলেও  $\vec{F}_0 = m\vec{a}_0$  কাননিক বল  $S'$  কাঠামো সাপেক্ষে কণাটি ক্রিয়াশীল রয়েছে। সুতরাং  $S'$  কাঠামো অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো।

### ৮.৩ মাইকেলসন-মর্লির পরীক্ষা

*Michelson-Morley experiment*

1861 খ্রিস্টাব্দে ম্যাজিওয়েলের সমীকরণগুলি আবিষ্কারের পর দেখা গেল বিদ্যুৎ-চূম্বকীয় তরঙ্গ শূন্য স্থানে আলোর বেগে প্রবাহিত হয়। পরে হার্জ তাঁর পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেন যে, আলো বিদ্যুৎ চূম্বকীয় 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 পরিপর্বিক ইথার মাধ্যমকে কোনোরূপ আলোড়িত করে না।

পৃথিবী ও ইথারের মধ্যে আপেক্ষিক বেগ পরিমাপের জন্য অনেক বিজ্ঞানী অনেক পরীক্ষা-নিরীক্ষা করেন; কিন্তু মাইকেলসন-মর্লির পরীক্ষাটি 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 যন্ত্র S একটি একটি রঙবিশিষ্ট আলোক রশ্মি যা হতে গেলের মাধ্যমে সমান্তরাল হয়ে একটি রশ্মি  $45^{\circ}$  কোণে হেলান একটি অর্ধবৃহৎ কাঁচের প্লেট  $P_1$ -এর উপর আপত্তি হয়। এই আপত্তির রশ্মি A বিন্দুতে সমকোণে দুই অংশে বিভক্ত হয়। একটি অংশ  $P_1$ -এর উপরিতল হতে প্রতিফলিত হয়ে আড়াআড়িভাবে  $M_1$ , দর্শণে আপত্তি হয় এবং পুনরায় প্রতিফলিত হয়ে একই পথে দূরবীণ T-তে ফিরে আসে। অপর রশ্মিটি  $P_1$  প্লেটের তেতর দিয়ে প্রতিসরিত হয়ে লম্বিকভাবে  $M_2$  দর্শণে আপত্তি হয়ে পুনরায় প্রতিফলিত হয়ে প্রথম রশ্মির সাথে মিলিত হয়। এই আলোক রশ্মিদ্বয় প্রায় সমান পথ অতিক্রম করে।  $M_1$  ও  $M_2$  দর্শণের সম্মুখ ভাগ তালোভাবে রূপার প্রলেপযুক্ত করা হয় যাতে পৌনঃপুনিক প্রতিফলন না ঘটে এবং দর্শণদ্বয়কে সমকোণে সাজানো হয়।

$P_1$  প্লেট হতে উভয় দর্শণের 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 দূরবীণ 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  $t_1 = \frac{d}{c-v}$ ।

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

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

$$\begin{aligned} t &= t_1 + t_2 = \frac{d}{(c-v)} + \frac{d}{(c+v)} = \frac{d(c+v) + d(c-v)}{c^2 - v^2} \\ &= \frac{dc + dv + dc - dv}{c^2 - v^2} \\ &= \frac{2dc}{c^2 - v^2} = \frac{2d}{c \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)} = \frac{2d}{c} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1} \end{aligned}$$

পৃথিবী ও যন্ত্র গতিশীল থাকার কারণে A হতে রশ্মিটি B অবস্থানে আপত্তি না হয়ে B' অবস্থানে আপত্তি হবে।

$$\text{অতএব } AB'A' = AB' + B'A' = 2AB'$$

$$\text{আবার } AB'^2 = AO^2 + OB'^2$$

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

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

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 সূক্ষ্ম হয়। যদি যন্ত্রটি স্থির থাকে বলে ধরা হয় তবে  $\frac{v^2}{c^2}$  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  $v \ll c$  হয় তবে বাইনোমিয়াল (Binomial) তত্ত্ব দ্বারা সম্প্রসারিত কৱলে পাই

$$\begin{aligned}\Delta t &= \frac{2d}{c} \left[ \left( 1 + \frac{v^2}{c^2} \right) - \left( 1 - \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} \right) \right] \\ &= \frac{2d}{c} \cdot \frac{v^2}{2c^2} = \frac{dv^2}{c^3}\end{aligned}$$

এই  $\Delta t$  সময়ে আলো কর্তৃক অতিক্রান্ত দূৰত্ব  $= \Delta t \times$  আলোৰ বেগ,  $c = \frac{dv^2}{c^3} \times c = \frac{dv^2}{c^2}$ । এই দূৰত্ব হতে এটিই বুবতে পাৱা যায় যে AC আলোৰ পথ AB আলোৰ পথ হতে বেশি। যন্ত্ৰটি গতিশীল থাকাৰ কাৱণেই এই পথ পার্থক্যেৰ সৃষ্টি হয়। যদি মাইকেলসন ব্যতিচার মাপক যন্ত্রের দুই বাহুৰ বিনিময় কৱা হয় অৰ্ধাং পুৱো যন্ত্ৰটিকে  $90^\circ$  কোণে ঘূৱালো হয় তবে প্ৰথম বাহুটি দ্বিতীয় বাহুৰ স্থানে এবং দ্বিতীয় বাহুটি প্ৰথম বাহুৰ স্থানে আসে। এই অবস্থায় মোট পথ পার্থক্য হয়  $\frac{2dv^2}{c^2}$ । এই পথ পার্থক্যেৰ কাৱণে দূৰবিনে ব্যতিচার নকশাৰ কিছু অপসারণ হয়। মনে কৱি সেই অপসারণেৰ পৱিমাণ n।

যেহেতু এক তরঙ্গাবৈৰ্য  $\lambda$ -এৰ সমান পথ পার্থক্যে নকশাৰ অপসারণ হয় 1 ব্যতিচার

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

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

মাইকেলসন ও মৰ্লি দূৰত্ব 'd'-কে বাড়িয়ে 11 m ধৰেছিলেন।

পৃথিবীৰ কক্ষগতেৰ বেগ,  $v = 30 \text{ km-s}^{-1}$  বা  $3 \times 10^6 \text{ cms}^{-1}$

আলোৰ বেগ,  $c = 3 \times 10^{10} \text{ cms}^{-1}$

এবং ব্যবহৃত আলোৰ তরঙ্গাবৈৰ্য  $\lambda = 6 \times 10^{-5} \text{ cms}^{-1}$  হলে উক্ত সমীকৱণ অনুসাৱে ব্যতিচার নকশাৰ অপসারণেৰ পৱিমাণ দাঢ়ায়,

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

### ৮.৩.১ পৱীক্ষার ফলাফল বিশ্লেষণ Analysis of the experimental result

এই পৱীক্ষায় ব্যতিচার নকশাৰ অপসারণ ব্যতিচার রেখাৰ বিস্তৃতিৰ 25 ভাগেৰ এক ভাগ যা মাইকেলসনেৰ সূচৰে যন্ত্রে মাপা সত্ত্ব হয়। এই অপসারণেৰ পৱিমাণ এতই সামান্য যে তাকে নগণ্য ধৰা যায়। অৰ্ধাং মাইকেলসনেৰ মতে ব্যতিচার রেখাগুলিৰ কোনো অপসারণ হয়নি। এটি হতে তিনি এই সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে, স্থিতিশীল ইথাৱে প্ৰকল্পেৰ ফলাফল ভুল বা পৃথিবী ও ইথাৱেৰ মধ্যে কোনো আপেক্ষিক বেগ নেই।

এই পৱীক্ষাটি পৃথিবীৰ গভীৰে, উপৱে, বছৱেৰ বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন স্থানে, এমনকি লেজাৰ রশি ব্যবহাৰ কৱেও একই ফলাফল পাওয়া যায়। ফলে ইথাৱে প্ৰাবাহ তত্ত্বটি ভুল প্ৰমাণিত হয়েছে। এই সমস্ত ফলাফল বিবেচনা কৱে আইনস্টাইন তাৰ দ্বিতীয় শীকাৰ্যে বলেছিলেন শূন্য স্থানে আলোৰ বেগ বিশুজ্জীবনভাৱে ধৰ্ব।

বিজ্ঞানী মাইকেলসন এবং বিজ্ঞানী মৰ্লি ইথাৱেৰ অস্তিত্ব প্ৰমাণেৰ জন্যে পৱীক্ষা সম্পাদন কৱেন এবং তাদেৱ পৱীক্ষা হতে নিয়মিতিৰ সিদ্ধান্তে আসা যায়—

(ক) ইথাৱে বলতে এই মহাবিশ্বে কিছু নেই।

(খ) গ্যালিলিয় বৃপ্তান্তৰ সঠিক নয়।

(গ) আলোকেৰ বেগ একটি ধৰ্ব রশি। এটি উৎস অথবা পৰ্যবেক্ষণ বা মাধ্যমেৰ গতিৰ ওপৰ নিৰ্ভৰ কৱে না।

জানাৰ বিষয় : ইথাৱে বলতে এ মহাবিশ্বে কিছুই নেই একথা বলেছেন বিজ্ঞানী মাইকেলসন ও মৰ্লি।

## 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 বিশ্বের প্রত্যেকটি অন্য কোনো কিছুর সাপেক্ষে বিবেচিত হয়। অর্থাৎ কোনো বিশ্বের অন্য কোনো কিছুর সাপেক্ষে বিবেচিত হবার নামই আপেক্ষিকতা। আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব অনুসারে পরম গতি নির্ধারিত, সব গতিই আপেক্ষিক।

**আপেক্ষিক তত্ত্ব মূলত দৃভাগে বিত্ত, 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 উর্ধ্ব বা নিম্নগতিশীল (ত্বরিত) বস্তুসমূহ বা সিস্টেম (System) নিয়ে আলোচনা করেছে। যেমন সূর্য, চন্দ্র, নক্ষত্র, ধূমকেতু, উকাপিণ্ড 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 সমগ্রিতে সঞ্চারণশীল (অত্যুরিত) বা অসঞ্চারণশীল (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 গ্যালিলিয় 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 যে কোনো ভৌত সূত্রের রূপ বা অবস্থা একই থাকবে।

**উদাহরণ :** সমগ্রিসম্পন্ন 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।

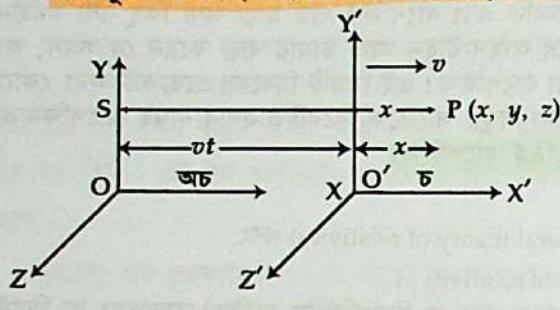
**ব্যাখ্যা :** এই স্বীকার্যের পরিপ্রেক্ষিতে ইথারের অস্তিত্ব স্বীকার করা কোনো মতেই সম্ভব হয় না। তাছাড়া ইথার মাধ্যমের ওজন বা সান্দুল কিছুই নির্ণয় করা যায় না। আইনস্টাইনের মতে আলোক পরিবাহী ইথারের প্রবর্তন অনাবশ্যিক। মাইকেলসন-মর্লির পরীক্ষা এবং পরবর্তী যুগে বহু পরীক্ষা-নিরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণিত হয়েছে 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 পথক কাঠামোয় ঘটে, তবে স্বাভাবিকভাবেই দুটি কাঠামোর জন্যে দুই প্রকারের সেট স্থানাঙ্ক পাওয়া যাবে। উক্ত ঘটনার জন্যে দুই সেট স্থানাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করার নিমিস্তে যে সমীকরণ পাওয়া যায়, তাকেই গ্যালিলিওর রূপান্তর সমীকরণ বলে।

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



চিত্র ৮.৪

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

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

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

পূর্বে সকল কাঠামোতে সময় অভিন্ন বলে,

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

সূতরাং, 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) সময়ের সাপেক্ষে ব্যবকলন করে অচ ও চ কাঠামোর জন্য বেগের রূপান্তর সমীকরণ পাওয়া যায়,

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

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

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

সমীকরণ (8.5), (8.6) ও (8.7) হলো বেগ রূপান্তরের সমীকরণ। গ্যালিলিয় রূপান্তর ও বেগে রূপান্তর উভয়ই আপেক্ষিকতার বিশেষ 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 তিনি রূপ হয়। এটি আপেক্ষিকতার প্রথম স্বীকার্যের পরিপন্থী।

২। পুনঃ আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের দ্বিতীয় স্বীকার্য অনুসারে অচ ও চ উভয় কাঠামোতে আলোর বেগ একই হবে। কিন্তু গ্যালিলিয় রূপান্তরণে তিনি রূপ হয়।

মনে করি ডৃ-পৃষ্ঠে 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,

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

$$\dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (8.2)$$

$$\dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (8.3)$$

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

সূতরাং, 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) সময়ের সাপেক্ষে ব্যবকলন করে অচ ও চ কাঠামোর জন্য বেগের রূপান্তর সমীকরণ পাওয়া যায়,

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

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

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

সমীকরণ (8.5), (8.6) ও (8.7) হলো বেগ রূপান্তরের সমীকরণ। গ্যালিলিয় রূপান্তর ও বেগে রূপান্তর উভয়ই আপেক্ষিকতার বিশেষ 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 তিনি রূপ হয়। এটি আপেক্ষিকতার প্রথম স্বীকার্যের পরিপন্থী।

২। পুনঃ আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের দ্বিতীয় স্বীকার্য অনুসারে অচ ও চ উভয় কাঠামোতে আলোর বেগ একই হবে। কিন্তু গ্যালিলিয় রূপান্তরণে তিনি রূপ হয়।

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

## ৮.৬ লরেন্জ-এর রূপান্তর Lorentz's transformation

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

ଲାରେଞ୍ଜ-ଏର ରୂପାନ୍ତର ସୂତ୍ର ବା ସମୀକରଣ ନିମ୍ନଲିଖିତ ଦୁଟି ଶୀକାର୍ଯ୍ୟର ଓପରୁ ପ୍ରତିଷ୍ଠିତ ।

**শীকার্য (১) :** পদাৰ্থবিদ্যার সূত্ৰগুলো সকল অভ্যন্তরীণ কাঠামোয় অভিন্ন থাকে; তবে কাঠামোগুলোকে পৱল্পৱেৱ  
সাপেক্ষে সমৰেগে গতিশীল থাকতে হবে।

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

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

ধরা যাক দুটি কাঠামো S এবং S'-এ দুজন পর্যবেক্ষক A এবং A' রয়েছে। S কাঠামো সাপেক্ষে কাঠামো S' ধনাত্ত্বক X অঙ্ক বরাবর  $v$  সমবেগে গতিশীল [চিত্র ৪.৫]। 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 সৃষ্টি তরঙ্গামুখ সময়ের পরিবর্তনের সঙ্গে বার্ধিত গোলীয় আকারে প্রসারিত হতে থাকবে।  $t$  সময় পরে স্থির কাঠামো S-এর পর্যবেক্ষক

A দেখবে যে তরঙ্গমুখ P বিলতে পৌছেছে। A পর্যবেক্ষকের নিকট P বিলুর দূরত্ব হবে,

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

$$\text{আবার, } x^2 + y^2 + z^2 = r^2 \quad [\text{চিত্র } ৮.৫ \text{ থেকে}]$$

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

S' কাঠামোর পর্যবেক্ষকের কাছে P বিল্ডুর দূরত্ব হবে,

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

S' কাঠামোর সাপেক্ষে,

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2 = c^2 t^2 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (8.11)$$

এখন আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের ১ম স্বীকার্য অনুসারে উভয় কাঠামোয় পদাৰ্থবিজ্ঞানের সমীকৱণগুলো অতিম্ম  
হবে।

$$\text{अर्थात् } x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2 t'^2 \quad \dots \quad \dots \quad (8.12)$$

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

অতএব. সমীকরণ (8.12) থেকে,

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

‘ଏବାନ ଏ ଏବାନ ଏ’ର ବ୍ୟାକ୍ତିର ସମୀକ୍ରଣ ନିଶ୍ଚାକ୍ତଭାବେ ଲେଖା ଯାଏ

$$x' = k(x - vt) \quad \dots \quad (3.14)$$

এখানে  $k$  ধ্রুক। সমীকরণ (8.14) এর যৌক্তিকতা হলো এই যে ষড়মাত্রার বেগ ( $v \ll c$ )-এর জন্য রূপান্তর অবশ্যই গ্যালিলিয় রূপান্তরের রূপ নেবে।

অনুরপভাবে ধরা যায়,

$$t' = g(t - bx) \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (8.15)$$

এখানে  $a$  ও  $b$  উভয়ই ধৰ।

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

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

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

সমীকৰণ (8.16)-এর বামপক্ষ = ডানপক্ষ হওয়ার শর্ত হলো অনুরূপ রাশিৰ সহগগুলো সমান হবে।

অর্ধাঃ

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

সমীকৰণ (8.17) সমাধান করে, আমরা পাই,

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

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

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

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

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

সূতৰাঃ  $S'$  কাঠামোৰ স্থানাঙ্গগুলো  $S$  কাঠামোৰ স্থানাঙ্গেৰ সাপেক্ষে লেখা যায়,

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

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

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

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

**এই সমীকৰণগুলোই লরেঞ্জ-এর রূপান্তর সমীকৰণ নামে পরিচিত।** 1930 সালে এইচ এ লরেঞ্জ এৰ চৌম্বক তত্ত্বেৰ মধ্য দিয়ে এই সমীকৰণগুলি প্রতিষ্ঠিত হয়েছিল বলে এদেৱকে লরেঞ্জ রূপান্তর বলা হয়।

পুনঃ যদি কাঠামোৰ আপেক্ষিক বেগ  $v$  আলোকেৰ বেগেৰ তুলনায় খুবই ছোট হয়, অর্ধাঃ  $v \ll c$ , তাহলে সমীকৰণ (8.20) এবং (8.23) নিম্নৰূপে রূপান্তৰ হবে

$$\begin{aligned} x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \\ &= x - vt \quad [\because v^2/c^2 \ll 1] \end{aligned}$$

$$\text{এবং } t' = t - vx/c^2$$

এগুলো গ্যালিলিওৰ রূপান্তৰ সমীকৰণ মাত্ৰ। সূতৰাঃ ওপৱেৱ আলোচনা থেকে এটা স্পষ্ট যে আপেক্ষিক বেগ আলোকেৰ বেগেৰ মানেৱ কাছাকাছি না হলো আপেক্ষিকতাৰ বিশেষ তত্ত্ব হতে প্ৰাপ্ত ফলাফল পৱিমাপযোগ্য হবে না। সেক্ষেত্ৰে সনাতন ধাৰণাই বলবৎ ধাৰকবে। যখন বস্তুৰ দ্রুতি আলোৰ দ্রুতিৰ কাছাকাছি তথনই লরেঞ্জ রূপান্তৰ প্ৰয়োগ কৰা হয়।

### ৮.৬.১ বিপৰীত লরেঞ্জ রূপান্তৰ Inverse Lorentz transformation

আমৰা যদি  $S'$  কাঠামোৰ পৱিমাপকে  $S$  কাঠামোৰ পৱিমাপে রূপান্তৰিত কৰতে চাই তাহলে  $v$  এৰ স্থলে  $-v$  বসাতে হবে এবং  $x', y', z', t'$  এবং  $x, y, z, t$  কে পৱিমাপ বিনিয় কৰতে হবে। এভাবে যে রূপান্তৰ পাওয়া যায় তা হলো বিপৰীত লরেঞ্জ রূপান্তৰ।

বিপরীত লৱেঞ্জ রূপান্তর সমীকৰণগুলো হলো,

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

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

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

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

**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**

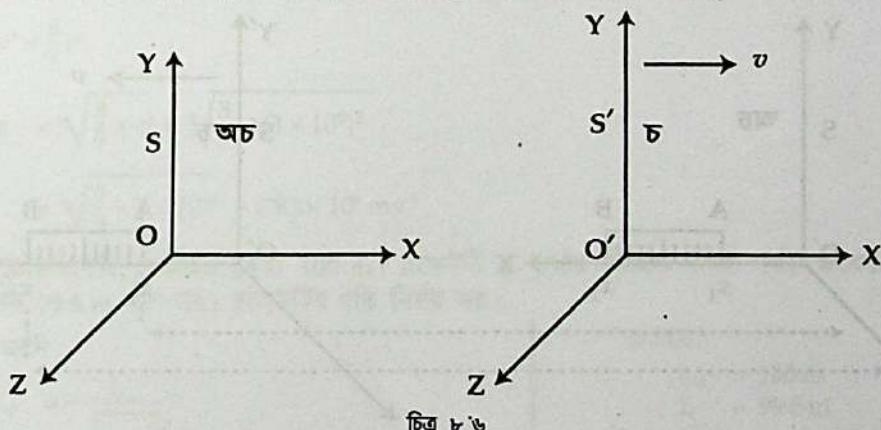
**৮.৭.১ আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসারে সময় প্রসারণ**

**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 মহাশূন্যানে একটি ঘটনা  $t_0$  সময় ধরে পর্যবেক্ষণ করলেন। তৃপৃষ্ঠ 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  $x'$  বিলুতে 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 লৱেঞ্জ-এর বিপরীত রূপান্তর সমীকৰণ অনুসারে (Lorentz's inverse transformation)

$$t_1 = \frac{t'_1 + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad [8.24]$$

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

$$t_2 = \frac{t'_2 + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad [8.25]$$

সুতরাং এই পর্যবেক্ষকের কাছে ঘটনার সময় কাল

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

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

**সিন্ধুভূমি :** গতিশীল অবস্থায় থাকা ষড় নিশ্চল অবস্থায় থাকা ষড়ির চেয়ে ধীরে চলে। অর্থাৎ গতিশীল অবস্থায়

থাকা ঘড়ির সময় খিল অবস্থায় থাকা ঘড়ির চেয়ে  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  পরিমাণ বৃদ্ধি পাবে।

৪.৭.২ আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসারে দৈর্ঘ্য সংকোচন

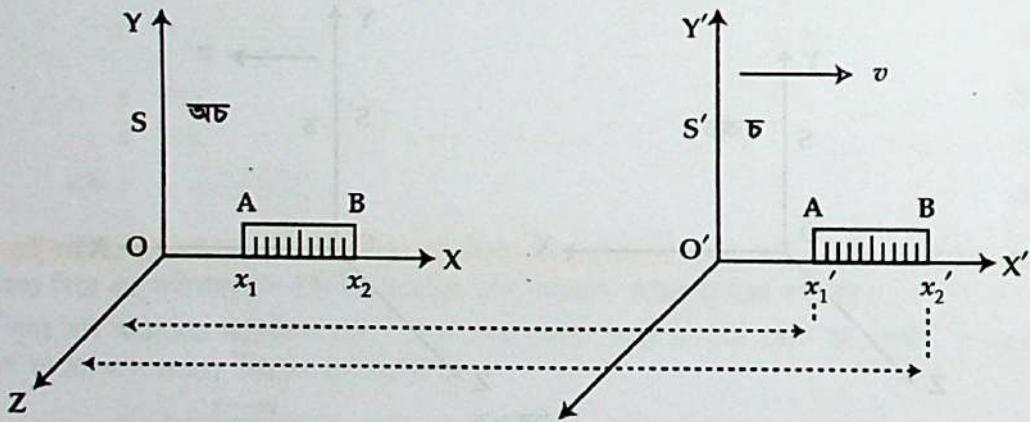
## **Length contraction according to the theory of relativity**

ଚିରାୟତ ବଲବିଦ୍ୟା ଅନୁସାରେ ବମ୍ବୁର ସାପେକ୍ଷେ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷକରେ ବେଗ ବା ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷକରେ ସାପେକ୍ଷେ ବମ୍ବୁର ବେଗ ଯାଇ ହୋକୁ  
ନା କେନ୍ତି, ସକଳ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷକରେ ନିକଟ ବମ୍ବୁର ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଏକଇ ଥାକେ । କିନ୍ତୁ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ଵ ଅନୁସାରେ ବମ୍ବୁ ଓ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷକରେ  
ମଧ୍ୟେ ଆପେକ୍ଷିକ ବେଗ ଥାକିଲେ ବମ୍ବୁର ଦୈର୍ଘ୍ୟ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷକରେ କାହିଁ କମ ବଲେ ମନେ ହୁଏ । ଏକେ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସଂକୋଚନ ବଲେ ।

ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷକର ସାପେକ୍ଷ କୋନୋ ବ୍ସ୍ତୁର ଗତିଶୀଳ ଅବସ୍ଥାର ଦୈର୍ଘ୍ୟ, ଓ ଏ ବ୍ସ୍ତୁର ସିଧିର ଅବସ୍ଥାର ଦୈର୍ଘ୍ୟର ଚେଯେ ଛୋଟ ହ୍ୟ ଏବଂ ଏଇ ପ୍ରତାବକେ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସଂକୋଚନ ବଲେ ।

**দৈর্ঘ্য সংজ্ঞাচালন 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 সৃচিত করি এবং S' গতিশীল কাঠামো। একে চ দিয়ে সৃচিত করি। স্থির অবস্থায় AB দণ্ড বিবেচনা করি।

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



ੴ ੮.੭

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

অতএব লরেঞ্জ-এর বিপরীত রূপান্তর সমীকরণ অনুসারে

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

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

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

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

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

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

সমীকৰণ (8.31) হতে প্ৰমাণিত হয় যে,  $L_0 > L$  অৰ্থাৎ কোনো দণ্ডের গতিশীল দৈৰ্ঘ্য দণ্ডটিৰ নিচল অবস্থাৱ দৈৰ্ঘ্যেৰ চেয়ে ছোট হবে। এই ঘটনাকে বলা হয় লোৱেন্ট ফিটজেৱাল্ড সংকোচন (Lorentz-Fitz Gerald contraction)।

অতএব  $S$  কাঠামোৱ কোনো পৰ্যবেক্ষকেৰ নিকট  $S'$  কাঠামোতে দণ্ডেৰ দৈৰ্ঘ্য  $\sqrt{1 - v^2/c^2}$  পৰিমাণ ছোট মনে হবে।

### গাণিতিক উদাহৰণ ৮.১

১। একটি কাল্লনিক ট্ৰেন কত দৃতিতে চললে এৱ চলমান দৈৰ্ঘ্য নিচল দৈৰ্ঘ্যেৰ এক-ভৃতীয়াংশ হবে ?

[কু. বো. ২০১১; য. বো. ২০০৮, ২০০১]

আমৱাৰা জানি,

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

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

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

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

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

$$\text{বা, } v^2 = \frac{8}{9} c^2$$

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

$$= \sqrt{\frac{8}{9} \times 9 \times 10^{16}} = 2.83 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

২। ভৃগুষ্ঠেৰ একটি রকেটেৰ দৈৰ্ঘ্য 100 m। রকেটটি ভৃ-পৃষ্ঠেৰ কোনো স্থিৰ পৰ্যবেক্ষকেৰ সাপেক্ষে চলতে থাকলে এৱ দৈৰ্ঘ্য 99.5 m মনে হয়। রকেটটিৰ গতি নিৰ্ণয় কৰ।

[ৱা. বো. ২০০১]

আমৱাৰা জানি,

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

$$\therefore 100 = \frac{99.5}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\text{বা, } 100 \times 100 = \frac{99.5 \times 99.5}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\text{বা, } 1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{99.5 \times 99.5}{100 \times 100} = 0.990025$$

$$\text{বা, } \frac{v^2}{c^2} = 1 - 0.990025 = 9.975 \times 10^{-3}$$

$$\text{বা, } \frac{v}{c} = 0.0998$$

$$\therefore v = 0.0998 c = 0.0998 \times 3 \times 10^8 = 29.96 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$$

এখানে,

$$\text{কাল্লনিক ট্ৰেনেৰ প্ৰকৃত দৈৰ্ঘ্য} = L_0$$

$$\text{কাল্লনিক ট্ৰেনেৰ চলমান দৈৰ্ঘ্য} = L$$

$$\frac{L}{L_0} = \frac{1}{3}$$

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

$$v = ?$$

এখানে,

$$L_0 = 100 \text{ m}$$

$$L = 99.5 \text{ m}$$

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

৩। একজন মহাশূন্যচারী 25 বছর বয়সে  $2.6 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$  বেগে গতিশীল একটি মহাশূন্যযানে চড়ে ভ্রমণে বের হলেন। 40 বছর পর (ভৃগুষ্ঠের সময় গণনায়) তিনি পৃথিবীতে ফিরে এলেন। মহাশূন্যচারীর কাছে তাঁর বয়স তখন কত হবে?

আমরা জানি,

$$\begin{aligned} t &= \frac{t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \\ \text{বা, } t_0 &= t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \\ \therefore t_0 &= 40 \times \sqrt{1 - \frac{(2.6 \times 10^8)^2}{(3 \times 10^8)^2}} \\ &= 40 \times \sqrt{0.24} = 40 \times 0.499 \\ &= 19.955 = 20 \text{ y} \end{aligned}$$

∴ মহাশূন্যচারীর বয়স হবে,  $25 \text{ y} + 20 \text{ y} = 45 \text{ y}$

৪। একটি মহাশূন্যযান কত দ্রুত ভ্রমণ করলে মহাশূন্যে 1 দিন অতিবাহিত হলে পৃথিবীতে 2 দিন অতিবাহিত হওয়ার সমান হবে? [KUET Admission Test, 2005-06; RUET Admission Test, 2012-13]

আমরা জানি,

$$\begin{aligned} t &= \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{বা, } 2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ \text{বা, } \frac{1}{2} &= \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \\ \therefore \frac{1}{4} &= 1 - \frac{v^2}{c^2} \\ \frac{v^2}{c^2} &= \frac{3}{4} \\ \therefore v &= \frac{\sqrt{3}}{2} c = 0.866 \times 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} = 2.598 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} \end{aligned}$$

৫। একজন লোকের তর 99 kg। কত বেগের উড়ন্ট রকেটে ধাকাকালীন মাটিতে অবস্থিত একজন পর্যবেক্ষকের নিকট তার তর 100 kg হবে? [CUET Admission Test, 2003-04]

আমরা জানি,

$$\begin{aligned} m &= \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \\ \text{বা, } 1 - \frac{v^2}{c^2} &= \frac{m_0^2}{m^2} \\ \text{বা, } \frac{m^2 - m_0^2}{m^2} &= \frac{v^2}{c^2} \\ \text{বা, } v^2 &= \left( \frac{m^2 - m_0^2}{m^2} \right) \times c^2 \\ &= \left( \frac{100^2 - 99^2}{100^2} \right) \times 9 \times 10^{16} \\ \therefore v &= 4.23 \times 10^7 \text{ ms}^{-1} \end{aligned}$$

### ৮.৭.৩ তর বৃদ্ধি (আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসারে)

*Increase of mass (according to the theory of relativity)*

নিউটনীয় বলবিদ্যায় আমরা জেনেছি বস্তুর তর ধূব রাশি। স্থান, কাল ও গতির পরিবর্তনের ওপর এটি নির্ভরশীল নয়। কিন্তু আইনস্টাইনের আপেক্ষিক তত্ত্বের মতে দৈর্ঘ্য ও সময়ের মতো বস্তুর তরও গতিশীলতার ওপর নির্ভরশীল। আপেক্ষিক তত্ত্বানুসারে বস্তুর বেগের সাথে তর বৃদ্ধি পায়। এ ঘটনাকে ডারের আপেক্ষিকতা বলে।

এখানে,

ভৃগুষ্ঠ হতে পরিমাপ্য সময় ব্যবধান

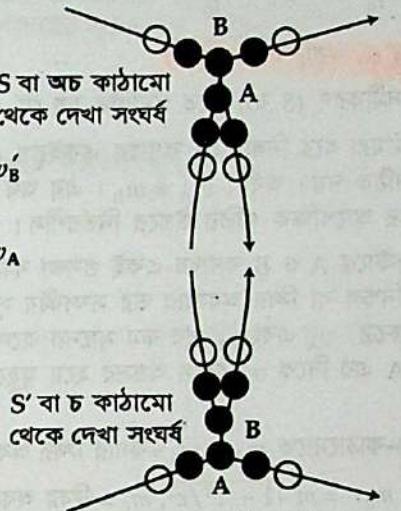
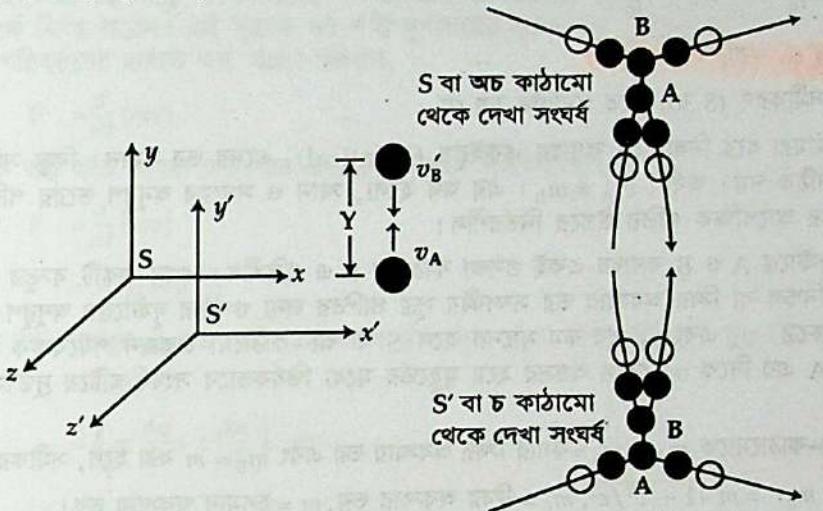
$$t = 40 \text{ বছর}$$

মহাশূন্যযানের দ্রুতি,  $v = 2.6 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

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

মহাশূন্যে মহাশূন্যচারীর বয়স বৃদ্ধি,  $t_0 = ?$

**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 নিষ্কেপ করা হলো [চিত্র ৮.৮]। এখানে  $v_A = v_B'$ । সূতরাং,  $S'$  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। নিষ্কেপের মুহূর্তে কণা দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব  $y$  হলে উভয় পর্যবেক্ষক দেখবেন যে সংঘর্ষটি  $\frac{1}{2}y$  দূরে সংঘটিত হচ্ছে। সূতরাং অচ-কাঠামোতে  $A$ -এর মোট যাতায়াতের সময়

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

এবং চ-কাঠামোতে  $B$ -এর যাতায়াতের সময় একই থাকবে অর্ধাঙ্গ

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

অচ-কাঠামোতে ভরবেগ সংরক্ষিত হলো,

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

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 অব্রণকাল  $t$  হলো,

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

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

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

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

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

এবং সমীকরণ (8.32) হতে পাই

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

∴ ভৱেগের সংৰক্ষণ সমীকৰণ (8.34)-এ  $v_A$  ও  $v_B$ -এর মান বসিয়ে পাই,

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

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

সুতৰাং, সমীকৰণ (8.36) হতে প্ৰমাণিত হয় যে,

শুলভে আমৰা ধৰে নিলাম যে কণাদ্বয় একইবৃপ্তি (identical), এদের ভৱ সমান। কিন্তু সমীকৰণ (8.36) থেকে দেখা যায়, তা সঠিক নয়। অৰ্থাৎ  $m_A \neq m_B$ । এৰ অৰ্থ হলো, স্থান ও সময়ের অনুৰূপ ভৱের পৰিমাপও পৰ্যবেক্ষক ও পৰ্যবেক্ষণীয় বস্তুৰ আপেক্ষিক গতিৰ উপৰে নিৰ্ভৰশীল।

উপৰেৰ দৃষ্টান্তে A ও B কণাদ্বয় একই প্ৰসঙ্গ কাঠামো S-এ গতিশীল। এখন একটি বস্তুৰ গতিশীল অবস্থায় ভৱ এবং ওই বস্তুৰ নিচল বা স্থিৰ অবস্থায় ভৱ সম্পৰ্কীয় সূত্ৰ প্ৰাপ্তিৰ জন্য ওপৱেৰ দৃষ্টান্তেৰ অনুৰূপ দৃষ্টান্ত বিবেচনা কৰা যেতে পাৰে। এক্ষেত্ৰে  $v_A$  এবং  $v_B$ ’ খুব কম মানেৰ হলৈ S বা অচ-কাঠামো একজন পৰ্যবেক্ষক দেখবেন যে A স্থিৰ রয়েছে এবং B, A এৰ দিকে  $v$  বেগে অংসৰ হয়ে মুহূৰ্তেৰ মধ্যে তিৰ্যকভাৱে সংঘৰ্ষ ঘটিয়ে দ্রুত সামনেৰ দিকে অংসৰ হচ্ছে।

∴ S (অচ)-কাঠামোতে  $m_A = m_0$  = কণাৰ স্থিৰ অবস্থায় ভৱ এবং  $m_B = m$  ধৰা হলৈ, সমীকৰণ (8.36) হতে পাই,

$$m_0 = m \sqrt{1 - v^2/c^2}, m_0 = স্থিৰ অবস্থায় ভৱ, m = চলমান অবস্থায় ভৱ।$$

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

$$\text{এখনে } \beta^2 = v^2/c^2$$

আবাৰ, গতিশীল S' বা চ-কাঠামোৰ একজন পৰ্যবেক্ষক বিপৰীত ক্ৰিয়া লক্ষ কৰবেন। তিনি দেখবেন, B স্থিৰ রয়েছে এবং A বস্তুটি B এৰ দিকে  $v$  বেগে অংসৰ হয়ে মুহূৰ্তেৰ মধ্যে তিৰ্যক স্তৱে সংঘৰ্ষ ঘটিয়ে সামনেৰ দিকে এগিয়ে চলেছে। S এবং S' কাঠামো থেকে সংঘৰ্ষ ক্ৰিয়াটি পৰ্যবেক্ষণ কৱলে কীৰূপ দেখা যাবে, তা চিত্ৰ ৮.৯-এ দেখানো হয়েছে।

উপৰোক্ত সমীকৰণ (8.37) হতে প্ৰমাণিত হয় যে গতিশীল কোনো বস্তুৰ ভৱ ওই বস্তুৰ নিচল ভৱেৰ চেয়ে বেশি। অৰ্থাৎ বেগেৰ সাথে বস্তুৰ ভৱবৃত্তি ঘটে।

**কাৰ্জ :** আপেক্ষিক তন্ত্ৰেৰ সাহায্যে দেখাও যে, কোনো বস্তুৰ বেগ আলোৰ বেগেৰ সমান হতে পাৰে না।

[চ. বো. ২০১৯]

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

$v = c$  হলৈ,  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{c^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - 1}} = \frac{m_0}{0} = \infty$  হয়, বা অসম্ভব। তাই বস্তুৰ বেগ আলোৰ বেগেৰ

সমান বা বেশি হতে পাৰে না।

### গাণিতিক উদাহৰণ ৮.২

১। একটি ইলেকট্ৰন  $0.99c$  দ্রুতিতে গতিশীল হলৈ এৰ চলমান ভৱ কত?

[সি. বো. ২০১১; য. বো. ২০০৮, ২০০৭, ২০০৮]

আমৰা জানি,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{9.1 \times 10^{-31}}{\sqrt{1 - \frac{(0.99)^2 c^2}{c^2}}}$$

$$= \frac{9.1 \times 10^{-31}}{\sqrt{1 - 0.9801}} = \frac{9.1 \times 10^{-31}}{0.1410}$$

$$= 6.45 \times 10^{-30} \text{ kg}$$

এখনে,

$$m_0 = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$v = 0.99c$$

$$m = ?$$

### 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 বৃপ্তান্তের সূত্রও বলে। নিউটনের দ্বিতীয় গতি সূত্র হতে আমরা জানি ভরবেগের পরিবর্তনের হারকে বল বলে। অতএব,

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

আপেক্ষিক তত্ত্ব হতে আমরা জানি ভর এবং বেগ উভয়ই পরিবর্তনশীল।

$$\begin{aligned} \therefore F &= \frac{d}{dt} (mv) \\ &= m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (8.39) \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \therefore dE_k &= F \cdot dx \\ &= \left( m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt} \right) \cdot dx \\ &= m \cdot \frac{dv}{dt} \cdot dx + v \cdot \frac{dm}{dt} \cdot dx \\ &= mv \cdot dv + v^2 dm \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (8.40) \\ &\quad \left[ \because \frac{dx}{dt} = v \right] \end{aligned}$$

এখন ভর ও বেগের সম্পর্ক হতে পাই,

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

উভয় পার্শ্বকে বর্ণ করে পাই,

$$\begin{aligned} m^2 &= \frac{m_0^2}{1 - v^2/c^2} \\ \text{বা, } m^2 &= \frac{m_0^2 c^2}{c^2 - v^2} \\ \text{বা, } m^2 c^2 &- m^2 v^2 = m_0^2 c^2 \\ \text{বা, } m^2 c^2 &= m_0^2 c^2 + m^2 v^2 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (8.42) \end{aligned}$$

উভয় পার্শ্বকে অন্তরীকরণ বা অবকলন করে পাই,

$$2m \cdot dm \cdot c^2 = 2m \cdot dm \cdot v^2 + 2v \cdot dv \cdot m^2 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (8.43)$$

এখন সমীকরণ (8.40) এবং (8.43) হতে পাই,

$$\begin{aligned} dm \cdot c^2 &= dE_k \\ \text{বা, } dE_k &= dm \cdot c^2 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (8.44) \end{aligned}$$

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

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

$$\text{বা, } E_k = c^2 \int_{m_0}^m dm$$

$$\begin{aligned}
 \text{বা, } E_k &= c^2 \left[ m \right]_{m_0}^m \\
 \text{বা, } E_k &= c^2 [m - m_0] \\
 \text{বা, } E_k &= mc^2 - m_0c^2 \quad \dots \quad (8.45)
 \end{aligned}$$

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

$$E = \text{গতিশক্তি} + \text{স্থির ভর শক্তি}$$

$$\text{বা, } E = E_k + m_0c^2$$

$$\text{বা, } E = mc^2 - m_0c^2 + m_0c^2$$

$$\text{বা, } E = mc^2 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (8.46)$$

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  $^{12}\text{C}$  মৌলকে প্রমাণ মৌল ধরে এর সাহায্যে অন্য সকল মৌলের ভর নির্ণয় করা হয়।

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

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

নিউটন, প্রোটন প্রত্যেক কণার ভর amu এককে প্রকাশ করা যায়। এই এককে প্রোটন ও নিউটনের ভর যথাক্রমে  $1.007277 \text{ amu}$  ও  $1.008665 \text{ amu}$

$$\begin{aligned}
 1 \text{ amu ভরের সমতূল্য শক্তি} &= \frac{1.66377 \times 10^{-27} \times (2.998 \times 10^8)^2}{1.6022 \times 10^{-19}} \\
 &= 933.3 \times 10^6 \text{ eV} \\
 &\approx 933 \text{ MeV}
 \end{aligned}$$

### গাণিতিক উদাহরণ ৮.৩

১। একটি ইলেক্ট্রনের নিচল ভর  $9.028 \times 10^{-31} \text{ kg}$ । এর শক্তি সমতূল নির্ণয় কর। ইলেক্ট্রন ভোল্ট (eV)-এ মান কত হবে?

[ঢ. বো. ২০১১; কু. বো. ২০০৩; রাব. বো. ২০০১]

$$\text{ধরি সমতূল শক্তি} = E$$

আমরা পাই,

$$E = m_0c^2$$

এখানে,

$$\begin{aligned}
 m_0 &= 9.028 \times 10^{-31} \text{ kg} \\
 c &= 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 &= 8.125 \times 10^{-14} \text{ J} = \frac{8.125 \times 10^{-14}}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ eV}
 \end{aligned}$$

$$= 5.078 \times 10^5 \text{ eV} = 0.5078 \text{ MeV}$$

২। একটি ইলেক্ট্রন (নিচল ভর  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ) আলোর দ্রুতির 90% দ্রুতিতে চলছে। আইনস্টাইনের আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে ইলেক্ট্রনের গতিশক্তি নির্ণয় কর। [BUET Admission Test, 2017-18]

আমরা জানি,

$$\begin{aligned} m &= \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \\ &= \frac{9.1 \times 10^{-31}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.9c}{c}\right)^2}} \\ &= 2.09 \times 10^{-30} \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{গতিশক্তি, } E_k = (m - m_0)c^2$$

$$\begin{aligned} &= (2.09 \times 10^{-30} - 9.1 \times 10^{-31}) \times (3 \times 10^8)^2 \\ &= 1.062 \times 10^{-13} \text{ J} \end{aligned}$$

৩। (ক)  $1.6 \times 10^6 \text{ eV}$  গতিশক্তিসম্পন্ন ইলেক্ট্রনের ভর কত?

[রা. বো. ২০০২]

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

[রা. বো. ২০১০; ঢ. বো. ২০০৬; সি. বো. ২০০৬]

(ক) আমরা জানি,

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

$$\therefore 1.6 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} = (m - 9.1 \times 10^{-31}) (3 \times 10^8)^2$$

$$\text{বা, } 37.54 \times 10^{-31} = m$$

$$\therefore m = 37.54 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

(খ) আমরা জানি,

$$(i) E = mc^2$$

$$\begin{aligned} &= 12 \times 1.66057 \times 10^{-27} \times (3 \times 10^8)^2 \\ &= 179.34 \times 10^{-11} \text{ J} = 17.934 \times 10^{-10} \text{ J} \\ &= \frac{17.934 \times 10^{-10}}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ eV} = 11.2 \times 10^9 \text{ eV} \end{aligned}$$

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

$$\therefore E = \frac{11.2 \times 10^9}{10^6} = 11.2 \times 10^3 \text{ MeV}$$

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

[ঢ. বো. ২০১১; চ. বো. ২০১০, ২০০২; ঘ. বো. ২০০৯; দি. বো. ২০০৯; সি. বো. ২০০৮;

রা. বো. ২০০৬; ব. বো. ২০০৮; কু. বো. ২০০৩, ২০০০]

$$\text{প্রশ্নানুসারে, } mc^2 = 2m_0c^2$$

$$\text{বা, } \frac{m}{m_0} = 2$$

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

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

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

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

$$\therefore \frac{v}{c} = 0.866 \quad \text{বা, } v = 0.866 \times 3 \times 10^8 = 2.598 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} E_k &= 1.6 \times 10^6 \text{ eV} \\ &= 1.6 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} \\ c &= 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} \\ m_0 &= 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \\ m &=? \end{aligned}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} m &= 12 \text{ a. m. u.} \\ &= 12 \times 1.66057 \times 10^{-27} \text{ kg} \\ c &= 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} \\ 1 \text{ eV} &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

## 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 ধারিয়ে দিল। বইটিকে গতিশীল বা ফুটবলটি ধারাবার 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। যে সকল বল মূল বা অক্ত্রিম অর্থাত্ অন্য কোনো বল থেকে উৎপন্ন হয় না বরং অন্যান্য বল এ সকল বলের প্রকাশ তাকে মৌলিক বল বলে।

### মৌলিক বলের ধরন

#### Kinds of Fundamental forces

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

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

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

২। **তড়িৎ-চূম্বকীয় বল** : দুটি আহিত বা চার্জিত বস্তুর মধ্যে এবং দুটি চূম্বক 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 ঘনিষ্ঠত্বাবে সম্পর্কিত। বস্তুত আপেক্ষিক গতিতে পরিভ্রমণের দুটি আহিত কণার মধ্যে ক্রিয়াশীল বলই হচ্ছে তড়িৎ-চূম্বকীয় 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 তরঙ্গ, চার্জহীন কণার পারস্পরিক বিনিময়ের দ্বারা এই বল কার্যকর হয়। স্থিতিস্থাপক বল, আণবিক গঠন, রাসায়নিক বিক্রিয়া ইত্যাদিতে তড়িৎ-চূম্বকীয় 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 আবশ্য 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 ভেজে যাওয়ার কথা। কিন্তু বাস্তবে অনেক নিউক্লিয়াসই স্থায়ী; কারণ নিউক্লিয়াসে বিদ্যমান নিউক্লীয় বল নিউক্লিয়াসকে ভাঙ্গত 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 নিরূপকে।

৪। **দূর্বল নিউক্লীয় বল** : যে অল্প পাত্তার ও অল্প মানের বল নিউক্লিয়াসের মৌলিক কণাগুলোর মধ্যে ক্রিয়া করে নিউক্লিয়াসে অস্থিতিশীলতার উভয় ঘটায় তাকে দূর্বল নিউক্লীয় বল বলে। প্রকৃতিতে বেশ কিছু মৌলিক পদার্থ (elements) রয়েছে যাদের নিউক্লিয়াস স্বতঃস্ফূর্তভাবে ভেজে যায় (যেমন ইউরেনিয়াম, থোরিয়াম ইত্যাদি)। এই সমস্ত নিউক্লিয়াসকে বলা হয় তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াস। তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াস থেকে তিন ধরনের রশ্মি বা কণা নির্ণয় হয় যাদেরকে বলা হয় আলফা-রশ্মি ( $\alpha$ -rays), বিটা-রশ্মি ( $\beta$ -rays) এবং গামা-রশ্মি ( $\gamma$ -rays)।

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

যা  $\beta$ -কণার সঙ্গেই নির্গত হয়। এই কণাকে বলা হয় নিউট্রিনো (neutrino)। এই  $\beta$ -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 ভাঙ্গান প্রক্রিয়া সংঘটিত হয় এবং নিউক্লিয়াস হতে  $\beta$  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 পাছা (range) খুবই স্বচ্ছ পাছাবিশিষ্ট (short range)। এগুলো নিউক্লিয়াসের পৃষ্ঠার বাইরে ক্রিয়াশীল হয় না। পক্ষান্তরে মহাকর্ষ এবং তড়িৎ-চুম্বকীয় বলের পাছা 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
পাছা	অসীম	অসীম	$10^{-15} \text{ m}$	$10^{-16} \text{ m}$
আপেক্ষিক সবলতা	১	$10^{39}$	$10^{41}$	$10^{30}$

### 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 সমত্ত্ব 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 আভাবিক। জেমস 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 সম্পর্কিত প্রচেষ্টায় দুর্বল নিউক্লীয় বল এবং তড়িৎ-চুম্বকীয় বলের মধ্যে মাত্র কয়েক বছর আগে সম্পর্ক স্থাপিত হয়েছে।

সূতরাং 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 একান্তিক 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 কৌতুহলী দিক মহাকাশ ভ্রমণে ঘটে থাকে। প্রচুর দূরত্ব অন্তর্ভুক্তির কারণে এমনকি আমাদের সৌরজগতের বাইরের নিকটতম তারায় গমন করতেও অনেক সময় লাগবে। **আলফা সেটোরাই** (Alpha Centauri) আমাদের গ্যালাক্সির নিকটতম তারা যা  $4\cdot3$  আলোকবর্ষ দূরে অবস্থিত। অর্ধাং এই তারায় আলো পৌছাতে পৃথিবীতে অবস্থিত ব্যক্তি কর্তৃক পরিমাপকৃত সময়  $4\cdot3$  বছর। ধরি একটি রকেট পৃথিবীর সাপেক্ষে  $0\cdot95c$  বেগে আলফা সেটোরাই-এর দিকে গমন করল। এখানে দুটি বিষয় জড়িত রয়েছে একটি হলো পৃথিবী থেকে গমন এবং অপরটি আলফা সেটোরাই-এ আগমন। গমনের ঠিক পূর্ব মুহূর্তে পৃথিবী মহাকাশযানের বাইরে এবং গন্তব্যে পৌছার ঠিক পর মুহূর্তে আলফা সেটোরাই মহাকাশযানের বাইরে। সূতরাং মহাকাশযানীর নিকট দুটো ঘটনা একই স্থানে সংঘটিত হয়, অর্ধাং মহাকাশযানের বাইরে।

পৃথিবীতে অবস্থিত ব্যক্তির কাছে ঘটনা দুটো ভিন্ন ভিন্ন স্থানে সংঘটিত হয়। সূতরাং এরূপ ব্যক্তি কর্তৃক পরিমাপকৃত দীর্ঘায়িত সময় ব্যবধান  $\Delta t$  যেখানে

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

কাল দীর্ঘায়ন স্থানুসারে মহাকাশযানী কর্তৃক তাদের ঘড়িতে পরিমাপকৃত আসল সময় ব্যবধান হবে

$$\Delta t_0 = \Delta t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 4\cdot5 \times \sqrt{1 - \left(\frac{0\cdot95c}{c}\right)^2}$$

$$= 1\cdot4 \text{ বছর}$$

সুতোং, যখন মহাকাশযাত্রী আলফা সেন্টোরাইতে পৌছবে তখন তাৰ বয়স বাড়বে  $1.4$  বছৰ। কিন্তু পৃথিবীৰ পৰ্যবেক্ষক কৰ্ত্তক নিৰ্ণীত  $4.5$  বছৰ নয়।

আবাৰ ধৰা যাক একটি দণ্ড দ্রুত্যান রকেটেৰ মধ্যে আছে। রকেট যখন আলোৰ বেগেৰ কাছাকাছি বেগ নিয়ে গতিশীল থাকে তখন ওই রকেটেৰ মধ্যে যদি দণ্ডটিৰ দৈৰ্ঘ্য পৱিমাপ কৰা হয় তাহলে দেখা যাবে যে, গতিশীল অবস্থায় দণ্ডটিৰ দৈৰ্ঘ্য নিচল অবস্থায় দৈৰ্ঘ্যেৰ চেয়ে ছোট হবে। অৰ্থাৎ পৃথিবীতে দণ্ডটি স্থিৰ অবস্থায় থাকাকালীন দৈৰ্ঘ্য গতিশীল অবস্থায় থাকাকালীন দৈৰ্ঘ্যেৰ চেয়ে বড় হবে। যদি পৰ্যবেক্ষকেৰ সাপেক্ষে গতিশীল কোনো বস্তুৰ দৈৰ্ঘ্য  $L$  হয় এবং যদি ওই পৰ্যবেক্ষকেৰ সাপেক্ষে নিচল অবস্থায় একই বস্তুৰ দৈৰ্ঘ্য  $L_0$  হয় তাহলে  $L$  সব সময়  $L_0$  অপেক্ষা ছোট হবে। এখনে  $L_0$  কে বলা হয় যথোপযুক্ত বা প্ৰকৃত দৈৰ্ঘ্য (proper length) যা নিচেৰ সমীকৰণ দ্বাৰা সম্পৰ্কিত।

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

এখনে  $v$  = রকেটেৰ বেগ  
 $c$  = আলোৰ বেগ

**হিসাব কৰ :** একজন মহাশূন্যচাৰী  $40$  বছৰ বয়সে  $2.4 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$  বেগে গতিশীল মহাশূন্যানে চড়ে ছায়াপথ অনুসন্ধানে গেলেন এবং  $50$  বছৰ পৰ ফিৰে এলেন। মহাশূন্যচাৰীৰ বয়স তখন কত হবে ?

**হিসাব কৰ :** একটি রকেট কত বেগে চললে এৰ দৈৰ্ঘ্য সংকুচিত হয়ে নিচল দৈৰ্ঘ্যেৰ অৰ্দেক হবে ?

### ৮.১১ প্ল্যাঙ্ক-এৰ কৃষ্ণ বস্তুৰ বিকিৰণ

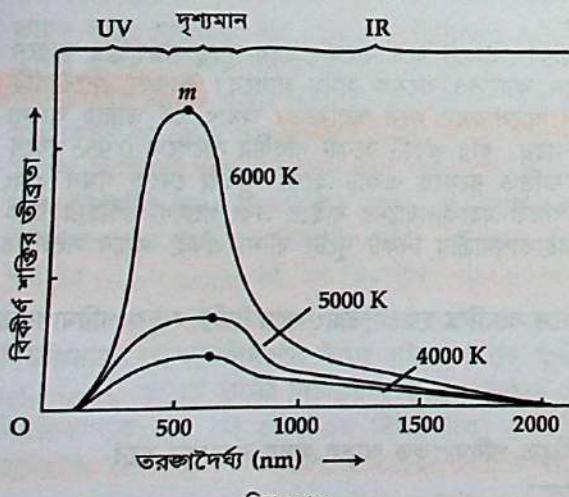
#### Planck's black body radiation

আমোৱা জানি তাপমাত্ৰার কাৰণে কোনো বস্তু থেকে বিকিৰণ নিঃসৃত হয়। তাপ বিকিৰণেৰ বৈশিষ্ট্য বস্তুৰ ধৰ্ম ও তাপমাত্ৰার উপর নিৰ্ভৰ কৰে। একটি আদৰ্শ কৃষ্ণ বস্তু সকল তরঙ্গদৈৰ্ঘ্যেৰ তাপশক্তি শোষণ কৰতে পাৰে। আবাৰ যথাযথ তাপমাত্ৰায় উভন্ত কৰলে সকল তরঙ্গদৈৰ্ঘ্যেৰ তাপশক্তি বিকিৰণ কৰতে পাৰে।  $a$  দিয়ে যদি বস্তুটিতে আপত্তি বিকিৰণেৰ শোষিত অংশ,  $r$  দিয়ে প্ৰতিফলিত অংশ এবং  $t$  দিয়ে যদি সঞ্চালিত অংশ বোৰায় তাহলে সাধাৰণ বস্তুৰ বেলায়  $a + r + t = 1$  হয়। কিন্তু আদৰ্শ কৃষ্ণ বস্তুৰ বেলায় কোনো বিকিৰণ প্ৰতিফলিত ও সঞ্চালিত হয় না। এক্ষেত্ৰে  $r = 0$  এবং  $t = 0$  এবং  $a = 1$  হয়। কালো বস্তুৰ শোষণ ক্ষমতা  $1$  অৰ্থাৎ কৃষ্ণ বা কালো বস্তু আপত্তি বিকিৰণেৰ সম্পূৰ্ণটাই শোষণ কৰে। এটিই কৃষ্ণ ও বাস্তব বিকিৰণেৰ প্ৰধান পাৰ্থক্য। চিত্ৰ ৮.১০-এ তিনটি তাপমাত্ৰার জন্য একটি কৃষ্ণ বস্তুৰ বিকিৰণেৰ বিকীৰ্ণ শক্তি বনাম তরঙ্গদৈৰ্ঘ্যেৰ লেখচিত্ৰ দেখান হৈছে। লেখচিত্ৰ হতে দেখা যায় যে,

(১) তাপমাত্ৰা বৃদ্ধি পেলে কৃষ্ণ বস্তু হতে মোট বিকীৰ্ণ শক্তি বৃদ্ধি পায় এবং

(২) যে তরঙ্গদৈৰ্ঘ্যে সৰ্বোচ্চ পৱিমাণ শক্তি বিকীৰ্ণ হয় তা তাপমাত্ৰা বৃদ্ধিৰ সাথে হ্রাস পায়।

নিম্ন তাপমাত্ৰায় তাপ সকল বিকিৰণেৰ তরঙ্গদৈৰ্ঘ্য অবলোহিত (Infrared) অঞ্চলে থাকে বলে এই বিকিৰণ চোখে দেখা যায় না। বস্তুৰ তাপমাত্ৰা বৃদ্ধি পেলে লাল রং এৰ আভা ক্রমশ সাদা রং ধাৰণ কৰে। তাপ বিকিৰণেৰ উপৰ পৱীক্ষা-নিৰীক্ষায় দেখা যায় যে, তরঙ্গদৈৰ্ঘ্যেৰ বণ্টন বৰ্ণালিৰ অবলোহিত রেখা অপৰ্যুপ হতে অতিবেগুনি রেখা অপৰ্যুপ পৰ্যন্ত বিস্তৃত হয়। কৃষ্ণ কায়াৰ তাপমাত্ৰা বৃদ্ধিৰ সাথে কৃষ্ণকায়া কৰ্ত্তক নিঃসৃত মোট শক্তি বৃদ্ধি পায়। কিন্তু যে তরঙ্গদৈৰ্ঘ্যে সৰ্বোচ্চ পৱিমাণ শক্তি বিকীৰ্ণ হয় তা তাপমাত্ৰা বৃদ্ধিৰ সাথে হ্রাস পায়। চিৱায়ত পদাৰ্থবিজ্ঞানেৰ তত্ত্ব বা সূত্ৰ দ্বাৰা কৃষ্ণ বস্তুৰ বৰ্ণালিৰ সকল পৱিসৱেৰ শক্তি বণ্টন ব্যাখ্যা কৰা যায় না। কৃষ্ণ বস্তুৰ ব্যাখ্যা প্ৰদান কৰাৰ জন্য ১৯০০ খ্রিস্টাব্দে জাৰ্মানিৰ বিখ্যাত পদাৰ্থবিদ প্ল্যাঙ্ক (Planck) কৃষ্ণ বস্তুৰ বিকিৰণেৰ মতবাদ প্রতিষ্ঠা কৰেন। এই মতবাদ প্রতিষ্ঠা লাভেৰ পৰ পদাৰ্থবিজ্ঞানে এক যুগান্তকাৰী অধ্যায় সৃষ্টি হয়। ডিয়েন-এৰ শক্তি বণ্টন সূত্ৰেৰ সাহায্যে ক্ষুদ্ৰ তরঙ্গদৈৰ্ঘ্যেৰ বিকিৰণেৰ শক্তি বণ্টন সূত্ৰে নিৰ্ণয় কৰা যায়। আবাৰ র্যালে-জিন্স-এৰ শক্তি বণ্টন সূত্ৰেৰ সাহায্যে দীৰ্ঘ তরঙ্গদৈৰ্ঘ্যেৰ বিকিৰণেৰ শক্তি বণ্টন ব্যাখ্যা কৰা যায়। কিন্তু আদৰ্শ কৃষ্ণ



চিত্ৰ ৮.১০

কৰে। সুতোং উপৱোল্লেখিত সূত্ৰ দৃষ্টি দ্বাৰা কৃষ্ণ বস্তুৰ বৰ্ণালিৰ সকল পৱিসৱেৰ শক্তি বণ্টন ব্যাখ্যা কৰা যায় না। কৃষ্ণ বস্তুৰ বৰ্ণালিৰ সকল পৱিসৱেৰ শক্তি বণ্টন ব্যাখ্যাৰ জন্য বিজ্ঞানী প্ল্যাঙ্ক একটি তত্ত্ব প্রতিষ্ঠা কৰেন। প্ল্যাঙ্ক-এৰ প্রতিষ্ঠিত এই তত্ত্বকে কোয়ান্টাম তত্ত্ব বা তেজকণাবাদ বলে।

### ৮.১১.১ প্ল্যাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব

#### Planck's quantum theory

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

$$E = hv \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (8.47)$$

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

এখানে  $n = 0, 1, 2, \dots$ , ইত্যাদি। এটাই প্ল্যাঙ্ক-এর বিকিরণ সূত্র। প্ল্যাঙ্ক-এর ধ্রুবক  $h = 6.63 \times 10^{-34}$  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 যে কোনো বিকিরণ অসংখ্য কোয়ান্টাম সমষ্টি। আলোর এই কণা বা প্যাকেট বা কোয়ান্টামকে ফোটন বলে। একটি ফোটনের শক্তি,  $E = hv$ .

#### ফোটনের ধর্মাবলি

ফোটন কণার প্রধান ধর্মগুলি হলো—

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

২। প্রতিটি ফোটন কণা আলোর বেগে চলে। এই বেগের কোনো ত্বাস-বৃন্দি নেই।

৩। একটি ফোটন কণার শক্তি  $E = hv$ , এখানে  $v$  = বিকিরণের কম্পাক্ষ,  $h$  = 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,  $p = \frac{hv}{c}$

৭।  $E$  ও  $P$  যথাক্রমে ফোটনের শক্তি ও ভরবেগ হলে এবং  $v$  ও  $\lambda$  যথাক্রমে একই আলোর ফোটনের কম্পাক্ষ ও তরঙ্গাদৈর্ঘ্য হলে,  $E = hv = \frac{hc}{\lambda}$

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

**কাজ :** “কৃক বস্তুর বিকিরণ ব্যাখ্যায় চিরায়ত পদার্থবিজ্ঞানের ব্যাখ্যা পরিলক্ষিত হয়।”—উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।

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

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

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

#### গানিতিক উদাহরণ ৮.৪

১। একটি ধাতব প্রেটের ওপর প্রতি সেকেন্ডে কতগুলি ফোটন আপত্তি হলে প্রেটটির ওপর  $10^{-4}$  N বল প্রযুক্ত হবে? বিকিরণের তরঙ্গাদৈর্ঘ্য  $5 \times 10^{-7}$  m।

আমরা জানি, ফোটনের ভরবেগ,

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

যদি প্রতি সেকেন্ডে  $n$  সংখ্যক ফোটন ধাতু পৃষ্ঠে আপত্তি হয়

তবে প্রতি সেকেন্ডে ভরবেগের পরিবর্তন,  $np = \frac{n h}{\lambda}$

এখানে,

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

$$F = 10^{-4} \text{ N}$$

$$h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$n = ?$$

$$\therefore \text{প্রযুক্তি বল} = \text{ভৱেগের পরিবর্তনের হার} = \frac{n h}{\lambda}$$

$$\therefore \frac{n h}{\lambda} = 10^{-4}$$

$$\therefore n = \frac{\lambda \times 10^{-4}}{h} = \frac{5 \times 10^{-7} \times 10^{-4}}{6.62 \times 10^{-34}} = 7.55 \times 10^{22}$$

$$\therefore \text{নির্ণয় ফোটন সংখ্যা} = 7.55 \times 10^{22}$$

২। একটি ফোটনের শক্তি একটি ইলেকট্রনের স্থির অবস্থার শক্তির সমান। ওই ফোটনের (i) কম্পাঙ্গক  
(ii) তরঙ্গাবৈধ্য এবং (iii) ভৱেগ নির্ণয় কর।

ইলেকট্রনের স্থিরাবস্থার শক্তি,

$$E = m_0 c^2$$

$$\therefore E = 9.1 \times 10^{-31} \times (3 \times 10^8)^2 = 8.19 \times 10^{-14} \text{ J}$$

$$(i) \text{ ফোটনের কম্পাঙ্গক, } v = \frac{E}{h} = \frac{8.19 \times 10^{-14}}{6.62 \times 10^{-34}} = 1.237 \times 10^{20} \text{ Hz}$$

$$(ii) \text{ ফোটনের তরঙ্গাবৈধ্য, } \lambda = \frac{c}{v} = \frac{3 \times 10^8}{1.237 \times 10^{20}} = 2.425 \times 10^{-12} \text{ m}$$

$$(iii) \text{ ফোটনের ভৱেগ, } p = \frac{E}{c} = \frac{8.19 \times 10^{-14}}{3 \times 10^8} = 2.73 \times 10^{-22} \text{ kg ms}^{-1}$$

৩। মানুষ  $10^{-10} \text{ Wm}^{-2}$  ন্যূনতম মানের আলোর তীব্রতা সহ্য করতে পারে। চোখের তারার ক্ষেত্রফল  $0.4 \text{ cm}^2$  এবং আলোকের কম্পাঙ্গক  $6 \times 10^{14} \text{ Hz}$  হলে, আমাদের চোখে প্রতি সেকেন্ডে কতগুলো ফোটন প্রবেশ করবে?

আমরা জানি, একটি ফোটনের শক্তি

$$= h\nu = 6.63 \times 10^{-34} \times 6 \times 10^{14} \text{ J}$$

$$= 39.72 \times 10^{-20} \text{ J}$$

চোখে প্রবিষ্ট মোট শক্তি

$$= 10^{-10} \times 0.4 \times 10^{-4} = 4 \times 10^{-15} \text{ Js}^{-1}$$

$\therefore$  প্রতি সেকেন্ডে প্রবিষ্ট ফোটন সংখ্যা,

$$n = \frac{4 \times 10^{-15}}{39.72 \times 10^{-20}} = 0.1 \times 10^5 = 10^4 \text{ টি}$$

৪। পারদের বাল্ক  $140 \text{ nm}$  তরঙ্গাবৈধ্যের একটি ফোটন শুধু নিয়ে পরবর্তীতে দুটি ফোটন নিঃসরণ করে। একটি ফোটনের তরঙ্গাবৈধ্য  $180.5 \text{ nm}$  হলে অপর ফোটনটির তরঙ্গাবৈধ্য কত?

এখানে,

$$\text{তীব্রতা, } I = 10^{-10} \text{ Wm}^{-2}$$

$$\nu = 6 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

চোখের তারার ক্ষেত্রফল,

$$a = 0.4 \text{ cm}^2 = 0.4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

আমরা জানি,

$$h\nu = h\nu_1 + h\nu_2$$

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

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

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

$$\therefore \frac{1}{\lambda_2} = \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_1} = 1.6 \times 10^6 (\text{nm}^{-1})$$

$$\therefore \lambda_2 = 623.95 \text{ nm}$$

[BUET Admission Test, 2016-17]

### ৮.১২ এক্স-রে বা রঞ্জন রশি

#### X-rays or Röntgen rays

শরীরের কোনো অঙ্গ যেমন হাত, পা তেজো 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 আমরা বিস্তারিত আলোচনা করব।

DAT: 19-20

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

**সংজ্ঞা :** দ্রুতগতিসম্পন্ন ইলেক্ট্রন কোনো ধাতুকে আঘাত করলে তা থেকে উচ্চ তেজন ক্ষমতাসম্পন্ন এক প্রকার বিকিরণ উৎপন্ন হয়। এই বিকিরণকে এক্স-রে বলে। MAT: 17-18

এক্স-রের প্রকৃতি : বিভিন্ন বিজ্ঞানী বিভিন্ন পরীক্ষার সাহায্যে এক্স-রে বা রঞ্জন রশির প্রকৃতি নির্ণয় করেন। এক্স-রে চার্জযুক্ত কণা দ্বারা গঠিত নয়। এরা দৃশ্যমান আলোকের বিদ্যুৎ-চূম্বকীয় তরঙ্গ। এই তরঙ্গ আড় তরঙ্গ, লম্বিক তরঙ্গ নয়। দৃশ্যমান আলোকের তরঙ্গাদৈর্ঘ্য অপেক্ষা তাদের তরঙ্গাদৈর্ঘ্য 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-রশির তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের সীমা  $0.01 \text{ \AA}$  থেকে  $10 \text{ \AA}$  এর মধ্যে। যে সমস্ত এক্স-রশির তরঙ্গাদৈর্ঘ্য  $10 \text{ \AA}$  এর কাছাকাছি, ওই ধরনের এক্স-রশিকে কোমল এক্স-রে বলে। এই রশির ফোটনের শক্তি KeV রেঞ্জের। এর তরঙ্গাদৈর্ঘ্য বেশি কিন্তু তেজন ক্ষমতা অত্যন্ত কম। তবে চিকিৎসাবিজ্ঞানে কোমল এক্স-রের ব্যবহার প্রচুর।

(২) কঠিন এক্স-রে (Hard X-rays) : নলের তেজের গ্যাসের চাপ কম হলে অধিক বিত্তব পার্থক্য প্রয়োগে এক্স-রশি উৎপন্ন হয়। এই এক্স-রশিকে কঠিন এক্স-রে বলে। কঠিন এক্স-রের তরঙ্গাদৈর্ঘ্য  $0.01 \text{ \AA}$  মানের কাছাকাছি। এই রশির ফোটনের শক্তি MeV রেঞ্জের হয়। এই রশির তরঙ্গাদৈর্ঘ্য কম কিন্তু তেজন 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 রনজেন বলা হয়। এক রনজেন বলতে আমরা সেই পরিমাণ এক্স-রে বিকিরণ বুঝি যা সাধারণ চাপ এবং তাপমাত্রায়  $1 \times 10^{-3} \text{ m}$  বাযুতে  $3.33 \times 10^{-10} \text{ C}$  চার্জের সমান চার্জ উৎপন্ন করতে পারে।

জানার বিষয় : I. কোমল এক্স-রে এর তরঙ্গাদৈর্ঘ্য বেশি, তেজনক্ষমতা অত্যন্ত কম।

II. কঠিন এক্স-রে এর তরঙ্গাদৈর্ঘ্য কম, তেজনক্ষমতা অত্যন্ত বেশি।

### ৮.১২.১ এক্স-রে উৎপাদন

#### Production of X-rays

আমরা জানি যে, ক্যাথোড রশি দ্রুতগতিসম্পন্ন ইলেক্ট্রন ছাড়া আর কিছুই নয়। দ্রুতগতিসম্পন্ন ইলেক্ট্রন 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);

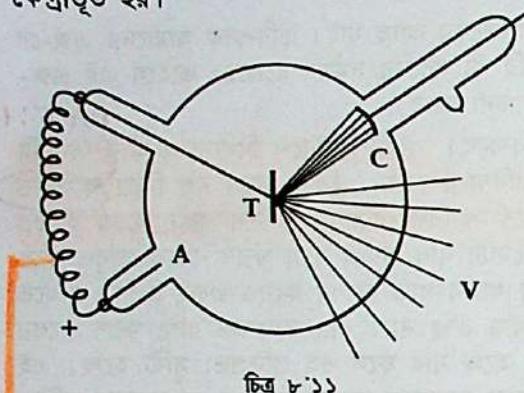
(২) কুলীজ নল পদ্ধতি (Coolidge tube method) ও

(৩) বিট্যাট্রন 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 রশি একটি বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হয়।



চিত্র ৮.১১

ক্যাথোডের ঠিক সম্মুখে উচ্চ গলনাঙ্ক এবং উচ্চ পারমাণবিক ওজনবিশিষ্ট ধাতু যেমন টাঁস্টেন, প্লাটিনাম বা মলিবডেনাম-এর তৈরি একটি বিন্দুৎসুর T আছে। এর নাম অ্যান্টি-ক্যাথোড (Anti-cathode) বা টারগেট (Target)। এটি ক্যাথোড অক্ষের সাথে  $45^{\circ}$  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 পার্দক্য, 30,000 V হতে 50,000 V হলে ক্যাথোড হতে ইলেক্ট্রন তীব্র বেগে ধাবিত হয়ে টারগেট বা লক্ষ্যবস্তুর ওপর পড়বে এবং তা হতে এক্স-রে

উৎপন্ন হবে। বায়ুর চাপ কম রখার কারণ হলো যে, ইলেক্ট্রনগুলো ক্যাথোড থেকে অ্যানোডে যাওয়ার সময়  $eV$  শক্তি লাভ করে। ইলেক্ট্রন লক্ষ্যবস্তুকে আঘাতের ফলে গতিশক্তির কিছু অংশ তাপশক্তি হিসেবে লক্ষ্যবস্তু শোষণ করে এবং অবশিষ্ট অংশ এক্স-রশিতে পরিণত হয়। ক্যাথোড ও অ্যানোডের মধ্যে প্রযুক্ত ডোল্টেজ এবং সূক্ষ্ম এক্স-রের সর্বোচ্চ কম্পাঙ্ক (বা ন্যূনতম তরঙ্গাদৈর্ঘ্য)-এর মধ্যে নিম্নোক্ত সম্পর্ক দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

$$eV = h\nu_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}} \quad [\because V = \frac{c}{\lambda}]$$

এখানে,  $c$  = আলোর বেগ এবং  $h$  = প্রাঙ্গক ধ্রুবক।

$$\text{বা, } \lambda_{min} = \frac{ch}{eV} \quad \dots \dots \dots \quad (8.48)$$

এটিই হলো উৎপন্ন এক্স-রশির তরঙ্গাদৈর্ঘ্য।

এক্স-রে উৎপাদনের জন্য বর্তমানে কিনেট্রন, বিট্রন প্রভৃতি অনেক আধুনিক যন্ত্র আবিষ্কৃত হয়েছে। তবে সব যদ্রে মূলনীতি একই।

### গাণিতিক উদাহরণ ৮.৫

১। সর্বনিম্ন  $0.6 \text{ \AA}$  তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের এক্স রশি উৎপাদনের জন্য এক্স রশি নলের ক্যাথোড ও অ্যানোডের মধ্যে বিভেদ পার্দক্যের সর্বনিম্ন মান কত হওয়া প্রয়োজন বের কর।

আমরা জানি,

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

$$\text{বা, } V = \frac{hc}{e\lambda_{min}}$$

$$\therefore V = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1.6 \times 10^{-19} \times 0.6 \times 10^{-10}} = \frac{6.63 \times 3 \times 10^3}{1.6 \times 0.6} \\ = 2 \times 10^4 \text{ Volt} = 20 \text{ kV}$$

২। এক্স-রশি নলে প্রযুক্ত বিভব পার্দক্য  $6 \text{ kV}$  হলে প্রবাহমাত্রা  $2 \text{ mA}$  হয়। (i) লক্ষ্যবস্তুতে প্রতি সেকেন্ডে আপত্তিত ইলেক্ট্রন সংখ্যা (ii) আপত্তি ইলেক্ট্রনের বেগ এবং (iii) নলে উৎপন্ন ক্ষমতা নির্ণয় কর।

(i) ধরা যাক, প্রতি সেকেন্ডে  $n$  সংখ্যক ইলেক্ট্রন লক্ষ্যবস্তুতে

আঘাত করে। তাহলে,

$$\cdot I = ne$$

$$\text{বা, } n = \frac{I}{e}$$

$$\therefore n = \frac{2 \times 10^{-3}}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.25 \times 10^{16}/\text{sec}$$

এখানে,

$$\lambda_{min} = 0.6 \text{ \AA} = 0.6 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

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

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$V = ?$$

এখানে,

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

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

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$n = ?$$

(ii) ইলেকট্রনের গতিশক্তি,

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

$$\text{বা, } v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 6 \times 10^3}{9.1 \times 10^{-31}}} \\ = 4.68 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$$

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

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

৩। 40 keV গতিশক্তিসম্পন্ন একটি ইলেকট্রনের দ্বাত যদি একটি মলিবডেনাম  $M_0$  (Molybdenum), লক্ষ্যবস্তুর ওপর আপত্তি হয়, তবে নির্গত X-রশ্মির কাট অফ (cut off) তরঙ্গাদৈর্ঘ্য কত হবে?

আমরা জানি,

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{k_0} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{4 \times 10^4 \times 1.6 \times 10^{-19}} \\ = \frac{6.63 \times 3 \times 10^{-26}}{4 \times 1.6 \times 10^{-15}} \\ = 3.11 \times 10^{-11} \text{ m} \\ = 0.0311 \text{ nm}$$

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

আমরা জানি,

ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিবেগ,

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2eV}{m}} \\ \therefore v_{max} = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 25 \times 10^3}{9.1 \times 10^{-31}}} \\ = 9.38 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$$

নির্গত এক্স-রশ্মির সর্বোচ্চ কম্পাঙ্গ  $v_{max}$  হলে আমরা পাই,

$$hv_{max} = eV \times \frac{6}{100} \\ \therefore v_{max} = \frac{eV}{h} \times \frac{6}{100} \\ = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 25 \times 10^3 \times 6}{6.63 \times 10^{-34} \times 100} \\ = 3.62 \times 10^{17} \text{ Hz}$$

এখানে,

$$m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg} \\ v = ?$$

এখানে,

$$\text{K.E., } k_0 = 40 \text{ keV} \\ = 4.0 \times 10^4 \text{ eV} \\ = 4 \times 10^4 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} \\ c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} \\ h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

**অনুসন্ধানমূলক কাজ :** উক গতিশক্তিসম্পন্ন ইলেক্ট্রন ধাতুর ওপর আপত্তি হলে ওই ধাতু থেকে এক্স-রশ্মি নির্গত হয়। আপত্তি ইলেক্ট্রনটির কী ঘটে?

উক গতিশক্তির ইলেক্ট্রন ধাতুর ওপর আপত্তি হলে ওই শক্তি এক্স-রশ্মিতে বৃপ্তান্তরিত হয়। কেননা ধাতুটি এক্স-রশ্মি নলের অ্যানোড তড়িৎধার হওয়ায় ইলেক্ট্রনটি সাথে সাথে ধাতু কর্তৃক শোষিত হয়।

## ৮.১২.২ এক্স-রের ধর্ম

## Properties of X-rays

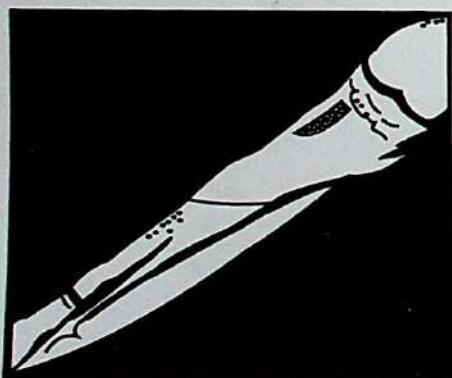
- বিভিন্ন পরীক্ষা-নিরীক্ষার সাহায্যে এক্স-রের নিম্নলিখিত ধর্মসমূহ আবিষ্কৃত হয়েছে—
- (১) এক্স-রে সরলরেখায় গমন করে।
  - (২) এক্স-রে অদৃশ্য। সাধারণ আলোক রেটিনায় পড়লে দৃষ্টির অনুভূতি জন্মায় কিন্তু এদের ক্ষেত্রে এমন হয় না।
  - (৩) এটি বিদ্যুৎ-চূম্বকীয় আড় তরঙ্গ।
  - (৪) এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য সাধারণ আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা ছোট। সাধারণ আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য  $10^{-7}$  m বা  $1000 \text{ \AA}$ ; কিন্তু এদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য  $10^{-10}$  m বা,  $1 \text{ \AA}$ ।
  - (৫) আলোকের সমবেগে অর্ধাং  $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$  বেগে এটি গমন করে।
  - (৬) এর ডেন 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 আপত্তি হলে তা হতে ইলেকট্রন নির্গত হয়।
  - (১২) সাধারণ আলোকের ন্যায় এর প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, অপবর্তন এবং ব্যবর্তন ঘটে।
  - (১৩) এটি জীবস্তু কোষকে ধ্বংস করতে পারে।
  - (১৪) এর প্রভাবে জীব কোষের জিনের (genes) চারিত্রিক গুণাবলির পরিবর্তন ঘটে ✓ DAT: 18-19
  - (১৫) চামড়ার ওপর অনেকক্ষণ ধরে এটি আপত্তি হলে শরীরের ক্ষতিসাধন করে। তখন এটি রক্তের শ্বেত-কণিকা ধ্বংস করে।
  - (১৬) X-রশ্মির তীব্রতা ব্যুত্তানুপাতিক সূত্র মেনে চলে।

## ৮.১২.৩ এক্স-রের ব্যবহার

## Uses of X-rays

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

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



চিত্র ৮.১২

নির্ণয়ের জন্য, ঢালাইয়ের কোনো খুঁত নির্ধারণের জন্য এবং ঢালাইয়ের ত্রুটি নির্ণয়ের জন্য আজকাল চামড়া শিরে এক্স-রে ব্যবহৃত হচ্ছে।

(২) পোলিশ ক্ষেত্রে (In detective departments) : কোনো কাঠের বাঁক বা চামড়ার খলের মধ্যে লুকানো বিসেফারক, আগ্নেয়াস্ত্র বা নির্বিন্দ দ্রব্য থাকলে এক্স-রে এর সাহায্যে তা নির্ণয় করা যায়। তা ছাড়া কোনো দুর্ভুতিকারীর 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 পার্শ্বক্য নির্ণয়ের জন্য, বিনুকের মধ্যে মুক্তার অবস্থান নির্ণয়ের জন্য আমেরিকা, ইংল্যান্ড এবং অন্যান্য উন্নত দেশসমূহে লজেস, টফি, কেক প্রভৃতি খাদ্য তৈরির পর এক্স-রে এর সাহায্যে তা পরীক্ষা করা হয়। অনেক সময় অবাঙ্গিত দ্রব্য এই সমস্ত খাদ্যদ্রব্যের মধ্যে মিশ্রিত হয়ে খাদ্যদ্রব্য বিষাক্ত করে ফেলে। এক্স-রে এই বিপদ দূর করতে সাহায্য করে ব্যবসায়ের সুনাম অক্ষুণ্ণ রাখে।

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

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

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

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

### ৮.১৩ ফটো তড়িৎ ক্রিয়া

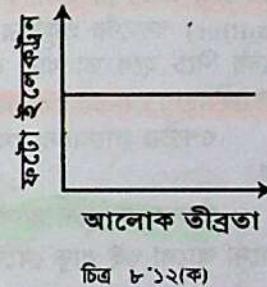
#### Photo electric effect

দুপুরের প্রথম 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 আপত্তিত হলে ওই পদার্থ হতে ইলেকট্রন নির্গত হয়। এই ঘটনাকে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া বা ফটো ইলেকট্রিক ইফেক্ট বলে। আলোক রশি যতক্ষণ পর্যন্ত ধাতব পদার্থে আপত্তিত হয়, ততক্ষণই ইলেকট্রন নির্গত হয়। ধাতব পদার্থ হতে নির্গত ইলেকট্রনকে বলা হয় ফটো-ইলেকট্রন (Photo-electron) বা আলোক ইলেকট্রন।  
সোডিয়াম, পটাশিয়াম, সিজিয়াম, লিথিয়াম, বুবিডিয়াম প্রভৃতি ক্ষারধর্মী পদার্থের ওপর দৃশ্যমান আলোক আপত্তিত হলে  
 অধিক পরিমাণে ফটো ইলেকট্রন নির্গত হয়। অর্থাৎ ক্ষারধর্মী পদার্থের আলোক তড়িৎ সংবেদনশীলতা বেশি। তবে এক্স-রশি বা গামা-রশির প্রভাবে সব ধাতব পদার্থে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া পরিলক্ষিত হয়।

আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়।

ধাতব পদার্থের ওপর উপযুক্ত কম্পাঙ্ক বা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক আপত্তিত 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।



#### ৮.১৩.১ আলোক তড়িৎ ক্রিয়া আবিষ্কার Discovery of photo electric effect

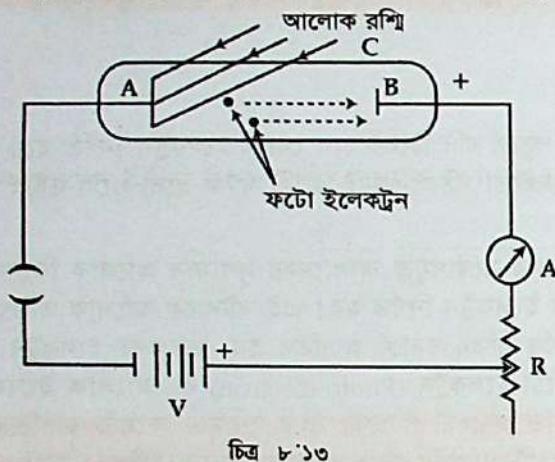
1873 খ্রিস্টাব্দে ডেভিউট. স্মিথ (W. Smith) নামক একজন টেলিফোন অপারেটর আলোক তড়িৎ ক্রিয়া আবিষ্কার করেন। ট্রাল আটলাটিক ক্যাবল-এর বৈদ্যুতিক রোধ পরিমাপের যত্নে তিনি সেলিনিয়াম রোধক ব্যবহার করেন। পরীক্ষাকালে তিনি লক্ষ করেন যে সূর্যের আলোক রোধকের ওপর আপত্তিত হওয়ায় বর্তনীর বিদ্যুৎ প্রবাহ অনেকাংশে বৃদ্ধি পায়। 1887 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী হার্জ (Hertz) লক্ষ করেন যে, দুটি বিদ্যুৎস্বারের মধ্যবর্তী ফাঁকে বা ঝণ বিদ্যুৎস্বারে অতি বেগুনি রশি আপত্তিত হলে এদের মধ্যে স্ফুলিঙ্গ (sparking) চলতে থাকে। 1888 খ্রিস্টাব্দে হল্ডওয়াচ (Hallwachs) এবং তাঁর সঙ্গীরা গবেষণার সময় লক্ষ করেন যে অতি বেগুনি রশি ধনাত্মক আধানযুক্ত পাতের ওপর আপত্তিত হলে তা দ্রুত অচার্জিত হয়ে পড়ে এবং ঝণাত্মক আধানযুক্ত পাতের ওপর আপত্তিত হলে এই ক্রিয়া সংঘটিত হয় না। 1899 খ্রিস্টাব্দে জে. জে. থম্সন এবং 1900 খ্রিস্টাব্দে লিনার্ড প্রমাণ করেন যে, আলোকের প্রভাবে ধাতব পাত হতে নির্গত কণাগুলো ইলেকট্রন ছাড়া আর কিছুই নয়।

#### ৮.১৩.২ পরীক্ষণ : আলোক তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন Experiment : Demonstration of photo electric effect

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

এই পরীক্ষায় C একটি বায়ুশূন্য কোয়ার্ট্স (Quartz) নল। নলের মধ্যে দস্তার তৈরি দুটি পাত রয়েছে। একটি ক্যাথোড প্লেট A, অপরটি অ্যানোড প্লেট B। A পাতের ওপর সোডিয়াম, পটাশিয়াম, লিথিয়াম ইত্যাদি ক্ষারকীয় পদার্থের প্লেপ থাকে। উক্ত পরীক্ষায় A পাতের ওপর লিথিয়াম ডাই-অক্সাইড ( $\text{Li}_2\text{O}$ )-এর একটি প্লেপ আছে। A পাতকে

ব্যটারির ঋণপাত এবং B পাতকে একটি অ্যামিটার ও পরিবর্তনশীল রোধ R-এর মাধ্যমে ব্যটারির ধনপাতের সাথে যুক্ত করা হয় [চিত্র ৮.১৩]। R-এর মান কম-বেশি করে পাত দুটির মধ্যে বিভব পার্থক্য নিয়ন্ত্রণ করা হয়।



এখন A-কে ধন বিভবে ও B-কে ঋণ বিভবে রাখি। A-এর ওপর আলোক আপত্তি হলে নির্গত ইলেক্ট্রন A দ্বারা আকৃষ্ট হবে এবং প্রবাহমাত্রা হ্রাস পাবে। A-এর ধন বিভব বৃদ্ধি করলে প্রবাহমাত্রা কমতে থাকবে এবং একটি নির্দিষ্ট বিভবে প্রবাহমাত্রা শূন্য হবে। এই বিভবকে নিরুত্তি বিভব (Stopping Potential) বলে। নিরুত্তি বিভব আপত্তি আলোকের প্রাবল্যের ওপর নির্ভর করে না। কিন্তু আপত্তি আলোকের কম্পাঙ্কের ওপর নির্ভর করে। এছাড়া নিঃসারক (emitter) পদার্থের প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেছে যে আপত্তি আলোকের কম্পাঙ্ক একটি মানের নিচে হলে তা ধাতু হতে ইলেক্ট্রন নির্গত করতে সক্ষম হয় না। এই কম্পাঙ্ককে প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক বা সূচন কম্পাঙ্ক (Threshold frequency) বলে।

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

**প্রারম্ভ বা সূচন কম্পাঙ্ক :** প্রত্যেক ধাতুর ক্ষেত্রে একটি ন্যূনতম কম্পাঙ্ক আছে যার চেয়ে কম কম্পাঙ্কবিশিষ্ট কোনো আলো ওই ধাতু থেকে ইলেক্ট্রন নির্গত করতে পারে না। ওই ন্যূনতম কম্পাঙ্ককে ওই ধাতুর প্রারম্ভ বা সূচন কম্পাঙ্ক বলে। সূচন কম্পাঙ্ক,  $V_0 = \frac{W_0}{h}$ , এখানে  $W_0$  = কার্য অপেক্ষক,  $h$  = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক।

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

**কার্য অপেক্ষক :** কোনো ধাতব পৃষ্ঠ হতে শূন্য বেগসম্পন্ন ইলেক্ট্রন নির্গত করতে যতটুকু শক্তির প্রয়োজন তাকে ওই ধাতুর কার্য অপেক্ষক বলে। কার্য অপেক্ষক,  $W = hU$ , এখানে  $h$  = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক,  $U$  = 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 আপত্তি হওয়ার সঙ্গে সঙ্গেই ইলেক্ট্রন নির্গত হয়। আলোক রশ্মির আপত্তি ও ইলেক্ট্রন নিঃসরণের মধ্যে সময়ের ব্যবধান  $10^{-9}$  s বা তারও কম।
- (২) প্রত্যেক ধাতু হতে আলোক ইলেক্ট্রন নির্গমনের জন্য আপত্তি রশ্মির একটি ন্যূনতম কম্পাঙ্ক থাকে যার নাম প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক।
- (৩) বিভিন্ন ধাতুর ক্ষেত্রে প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক বিভিন্ন।
- (৪) আলোক ইলেক্ট্রনের বেগ কোনো নির্দিষ্ট শীর্ষ মানের মধ্যে হতে পারে।
- (৫) আলোক ইলেক্ট্রনের সর্বোচ্চ গতিবেগ আপত্তি রশ্মির কম্পাঙ্কের সমানুপাতিক।
- (৬) আলোক ইলেক্ট্রন নির্গমনের হার আপত্তি 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 আপত্তি হলে ফোটনটি বিলুপ্ত হয় এবং সম্পূর্ণ শক্তি ইলেক্ট্রন শোষণ করে ধাতু থেকে নির্গত হয়। কিন্তু এক্স-রশ্মি বা গামা রশ্মির ফোটনের শক্তি খুবই বেশি বা ইলেক্ট্রন সম্পূর্ণ শোষণ করতে পারে না এবং ফোটনও বিলুপ্ত হয় না। এ ঘটনাটি আলোক তড়িৎ ক্রিয়া নয়, কম্পটন ক্রিয়া।

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

প্রাবল্য বৃদ্ধি পেলে তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়। আবার প্রাবল্য স্থির রেখে বিভব পার্থক্য বৃদ্ধি করলে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পাবে; তবে একটি নির্দিষ্ট বিভব পার্থক্য প্রয়োগে তড়িৎ প্রবাহ স্থির মানে পৌছাবে। এরপর বিভব পার্থক্য বৃদ্ধি করলেও প্রবাহ-মাত্রা অপরিবর্তিত থাকবে।

### 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 মেলে চলে।

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

**২য় সূত্র :** প্রতিটি আলোক ইলেকট্রন নির্গমনের ক্ষেত্রে আপত্তি আলোক রশ্মির একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম কম্পাক্ষ রয়েছে যার নাম প্রারম্ভ কম্পাক্ষ।

**৩য় সূত্র :** আপত্তি আলোকের কম্পাক্ষ প্রারম্ভ কম্পাক্ষ অপেক্ষা অধিক হলে আলোক তড়িৎ প্রবাহ মাত্রা আপত্তি আলোকের প্রাবল্যের সমানুপাতিক অর্থাৎ  $i \propto I$ .

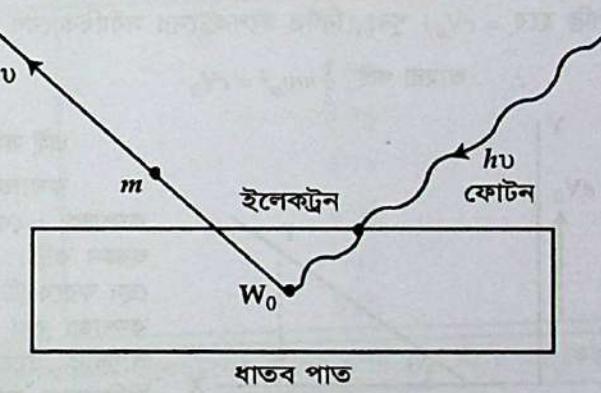
এখানে  $i$  = তড়িৎ প্রবাহমাত্রা এবং  $I$  = আলোকের প্রাবল্য।

**৪র্থ সূত্র :** আলোক ইলেকট্রনের গতিবেগ তথা গতিশক্তি আপত্তি আলোকের প্রাবল্যের ওপর নির্ভর করে না, বরং আপত্তি আলোকের কম্পাক্ষ 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 প্র্যাঙ্গের কোয়ান্টাম তত্ত্ব প্রয়োগ করেন। কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুসারে যে কোনো বিকিরণ অসংখ্য ফোটনের সমষ্টি অর্থাৎ বিকিরণ ফোটনের একটি ঝীক বা ঘরনা। একে ফোটন হাইপোথেসিস (hypothesis) বলে। যদি  $v$  ফোটনের কম্পাক্ষ হয়, তবে প্রতিটি ফোটনের শক্তি হবে  $= hv$ , এখানে  $h$  হলো প্র্যাঙ্গের ধূবক। মনে করি  $hv$  শক্তিবিশিষ্ট একটি ফোটন কোনো একটি ধাতব পাতের পরমাণুর ওপর আপত্তি হলো [চিত্র ৮.১৪]। ফোটনের সাথে পরমাণুর একটি সংঘাত হবে এবং এই সংঘাত একটি স্পিতিস্থাপক সংঘাত হবে। এই সংঘাতের ফলে পরমাণুস্থ একটি ইলেকট্রন ফোটনের সমুদয় শক্তি প্রহণ করবে এবং কোনো শক্তি স্থানান্তরিত হবে না। এখন ইলেকট্রনটি নিউক্লিয়াসের সঙ্গে আবন্ধ থাকায় এই শক্তির কিছু অংশ ( $W$ ) ইলেকট্রনকে নিউক্লিয়াসের



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 নিয়ততা সূত্র হতে পাই,

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

$$\text{বা, } \frac{1}{2}mv^2 = hv - W$$

... ... ... (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

$$\frac{1}{2}mv_m^2 = hv - W_0$$

... ... ... (8.50)

ন্যূনতম বন্ধনশক্তি  $W_0$ -কে বলা হয় কার্য অপেক্ষক (Work function)।  $W_0$  বিভিন্ন পদাৰ্থের 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,  $hv = W_0$ । সূতরাং কার্য অপেক্ষকের নিম্নলিখিত সংজ্ঞা দেয়া যায়।

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

কোনো ধাতুর কার্য অপেক্ষক  $2.31 \text{ eV}$  বলতে বুঝায় ওই ধাতব পৃষ্ঠ হতে শূন্য বেগসম্পন্ন ইলেকট্রন নির্গত করতে  $2.31 \text{ eV}$  শক্তির ফোটনের প্রয়োজন হয়।

**হিসাব :** কোনো পদার্থের কার্য অপেক্ষক  $1.85 \text{ eV}$  হলে ওই পদার্থের সূচন কম্পাঙ্গ কত?

Hints :  $W_0 = h\nu_0$

$$\text{বা, } \nu_0 = \frac{W_0}{h} = \frac{1.85 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} = 4.46 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

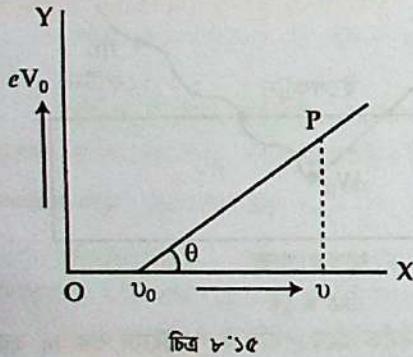
**কাজ :** আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় উৎপন্ন ইলেকট্রনের গতিশক্তি আপত্তি ফোটনের চেয়ে কম হয় কেন?

আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় উৎপন্ন ইলেকট্রনের গতিশক্তি আপত্তি ফোটনের চেয়ে কম হওয়ার সম্ভাবনা যুবই প্রবল, এর কারণ হলো ইলেকট্রনগুলো অবস্থান 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 নিরুত্তি বিভব =  $V_0$ । তা হলে আলোক ইলেকট্রনের সর্বাধিক শক্তি হবে =  $eV_0$ । পুনঃ, নির্গত ইলেকট্রনের সর্বাধিক বেগ  $v_m$  হলে, সর্বাধিক গতিশক্তি =  $\frac{1}{2}mv_m^2$

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



এই সমীকরণকে ইলেকট্রনের সর্বাধিক গতিশক্তির সমীকরণ বলে।

কম্পাঙ্গ বৃন্দির সাথে সাথে  $eV_0$  বৃন্দি পায়। এখন বিকিরণের কম্পাঙ্গ  $v$ -কে  $X$ -অক্ষে এবং  $eV_0$ -কে  $Y$ -অক্ষে বসিয়ে একটি লেখচিত্র অঙ্কন করি।  $eV_0 - v$  লেখচিত্র একটি সরলরেখা হবে যা  $X$ -অক্ষকে  $v_0$ -তে ছেদ করবে [চিত্র ৮.১৫]। এক্ষেত্রে  $v_0$  কম্পাঙ্গকে সূচন কম্পাঙ্গ বা প্রারম্ভ কম্পাঙ্গ বলা হয়। এই সূচন কম্পাঙ্গের কোনো বিকিরকের তল হতে আলোক ইলেকট্রনের নির্গমন শুরু হবে। উল্লেখ থাকে যে বিভিন্ন বিকিরকের সূচন কম্পাঙ্গ বিভিন্ন হবে। সরলরেখাটির ওপর যে কোনো একটি বিলু নিই। মনে করি এটি P। ধরি সরলরেখাটি  $X$ -অক্ষের সাথে  $\theta$  কোণ উৎপন্ন করে।

$$\therefore \text{আমরা পাই, } \tan \theta = \frac{eV_0}{v - v_0} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (8.52)$$

কিন্তু  $\tan \theta = \text{সরলরেখাটির ঢাল} = h = \text{ধ্রুব সংখ্যা}$

$$\therefore h = \frac{eV_0}{v - v_0} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (8.53)$$

$$\text{বা, } eV_0 = h(v - v_0) \quad \dots \quad \dots \quad \dots$$

$$\text{বা, } \frac{1}{2}mv_m^2 = h(v - v_0) \quad [\text{সমীকরণ (8.51) ব্যবহার করে}]$$

$$\text{বা, } \frac{1}{2}mv_m^2 = hv - hv_0$$

$$\text{বা, } \frac{1}{2}mv_m^2 = hv - W_0 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (8.54)$$

এই সমীকরণকে আইনস্টাইনের ফটো তড়িৎ ক্রিয়ার সমীকরণ বলে।

এখানে,  $hv_0 = W_0$  = 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 সমীকৰণের সাহায্যে আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার বিভিন্ন বৈশিষ্ট্যের ব্যাখ্যা [ফটোইলেকট্রিক ক্রিয়ায় প্রাপ্ত ফলাফল] নিম্নে প্রদত্ত হলো :

(ক) এই তত্ত্ব অনুসারে যে কোনো বিকিৰণ অসংখ্য ফোটনের সমষ্টি যাদের প্রত্যেকের শক্তি হলো  $h\nu$ । সূতৰাং আলোকের তীব্রতা বৃদ্ধিৰ সঙ্গে সঙ্গে ফোটনের সংখ্যা বৃদ্ধি পায় এবং আলোক তড়িৎ প্রবাহ বৃদ্ধি পায়। কিন্তু আলোকের কম্পাঙ্গক অপৱিবৰ্তিত থাকলে ফোটনের শক্তি বৃদ্ধি পায় না বরং ফোটনের বেগ এবং গতিশক্তি অপৱিবৰ্তিত থাকে। সূতৰাং কোয়ান্টাম তত্ত্ব পরীক্ষালভ ফলের সাথে সমতিপূর্ণ।

(খ) আমরা জানি  $W_0 = h\nu_0$  একটি ধূৰ সংখ্যা। সূতৰাং আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ সমীকৰণ হতে দেখা যায় যে, ইলেক্ট্রনের গতিশক্তি আপত্তি আলোকের কম্পাঙ্গকের সমান্বাতিক।

(গ) এই তত্ত্ব অনুযায়ী এক একক ফোটন ও এক একক ইলেক্ট্রনের মধ্যে সংৰোধ হলে ইলেক্ট্রন এর গৃহীত শক্তিৰ ভাগ অন্যান্য ইলেক্ট্রনকে দেয় না। সূতৰাং এই সংৰোধে শক্তি সংৰক্ষিত থাকে অর্থাৎ এটি একটি স্থিতিস্থাপক সংৰোধ। পুনঃ, স্থিতিস্থাপক সংৰোধে শক্তিৰ তাৎক্ষণিক হস্তান্তর ঘটে। সূতৰাং আলোক রশ্মিৰ আপত্তন ও ইলেক্ট্রন নির্গমন একই সঙ্গে ঘটে।

(ঘ) আলোকের কম্পাঙ্গক  $U$ -এর মান ক্রমশ হ্রাস পেতে থাকলে ইলেক্ট্রনের বেগ হ্রাস পায় এবং একটি ন্যূনতম কম্পাঙ্গক  $U_0$ -এর জন্য বেগ শূন্য হয়। ফলে এর নিচের কম্পাঙ্গকে কোনো আলোক ইলেক্ট্রন নির্গত হয় না। অতএব প্রত্যেক ধাতব বস্তুৰ জন্য একটি ন্যূনতম কম্পাঙ্গক থাকে যাকে প্রারম্ভ বা সূচন কম্পাঙ্গক বলে। একে  $U_0$  দ্বাৰা সূচিত কৰা হয়। সূতৰাং কোয়ান্টাম তত্ত্ব আলোক তড়িৎ ক্রিয়া বিশদভাবে ব্যাখ্যা কৰা সক্ষম।

সারণি ৮.২

ধাতু	কার্য অপেক্ষক, $W_0$ (eV)
সিজিয়াম (Cesium)	2.14
পটাসিয়াম (Potassium)	2.30
সোডিয়াম (Sodium)	2.75
বৃপ্তা (Silver)	4.74
তামা (Copper)	4.94
সোনা (Gold)	5.31
প্লাটিনাম (Platinum)	5.65

কাজ : আপত্তি আলোকের তরঙ্গাদৈর্ঘ্য হ্রাস পেলে নির্গত আলোক ইলেক্ট্রনের বেগের উপর ইহা কী প্রভাব ফেলবে?

আইনস্টাইনের আলোক-তড়িৎ সমীকৰণ থেকে পাওয়া যায় যে,

$$\text{আলোক ইলেক্ট্রনের গতিশক্তি} = \frac{1}{2} mv^2 = h\nu - U_0 = \frac{hc}{\lambda} - U_0$$

তাই আপত্তি আলোকের তরঙ্গাদৈর্ঘ্য হ্রাস পেলে নিঃসৃত আলোক ইলেক্ট্রনের বেগ বৃদ্ধি পাবে।

কাজ : ইলেক্ট্রন দিয়ে ফোটন ও ফোটন দিয়ে ইলেক্ট্রন উৎপন্ন সম্ভব কিনা ?

উপযুক্ত বেগের ইলেক্ট্রন টাৰ্গেটে আঘাত কৰে এক্স-রশ্মি ফোটন উৎপন্ন কৰে। আবার উপযুক্ত কম্পাঙ্গকের ফোটন কোনো পদাৰ্থে আপত্তি হয়ে আলোক তড়িৎ ইলেক্ট্রন নিৎসৃত কৰে।

হিসাব : সোডিয়াম ধাতুৰ উপর  $6800 \text{ \AA}$  তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের কমলা রঙের আলোক রশ্মি ফেললে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া সৃষ্টি হবে কী? সোডিয়াম ধাতুৰ কার্য অপেক্ষক  $2.3 \text{ eV}$ ।

কার্য অপেক্ষক  $W_0$  এবং প্রারম্ভ তরঙ্গাদৈর্ঘ্য  $\lambda_0$  হলে,

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

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

অতএব সোডিয়ামেৰ প্রারম্ভ তরঙ্গাদৈর্ঘ্য  $5405 \text{ \AA}$ । যেহেতু আপত্তি আলোৰ তরঙ্গাদৈর্ঘ্য  $6800 \text{ \AA}$ , প্রারম্ভ তরঙ্গাদৈর্ঘ্য অপেক্ষা বেশি তাই আপত্তি আলো সোডিয়াম ধাতুতে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া প্ৰদৰ্শন কৰবে না।

**কাজ :** এক রশি উৎপাদন এবং আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার সাহায্যে ইলেকট্রন উৎপাদন পরস্পর বিপরীত ক্রিয়া—ব্যাখ্যা কর।

উচ্চ গতিসম্পন্ন ইলেকট্রন যখন ধাতব লক্ষ্যবস্তুর ওপর আপত্তি হয় তখন এক রশি উৎপন্ন হয়। পক্ষান্তরে আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় আলোক সংবেদী ধাতব পৃষ্ঠে উপযুক্ত কম্পাঙ্কের আলো আপত্তি হলে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়। সুতরাং, এক রশি 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।

### গাণিতিক উদাহরণ ৮.৬

১।  $6630 \times 10^{-10} \text{ m}$  তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটনের শক্তি নির্ণয় কর। [চ. বো. ২০১৭, ২০১০, ২০০৬, ২০০১; দি. বো. ২০০৯; ঢ. বো. ২০০৮, ২০০৮; কু. বো. ২০০৮, ২০০৬; ব. বো. ২০০৬]

আমরা জানি,  $E = h\nu$

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

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

$$\text{বা, } E = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{6630 \times 10^{-10}} = 3.0 \times 10^{-19} \text{ J}$$

এখানে,

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

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

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

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

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

$$\text{সুতরাং, } n = \frac{\text{মোট শোষিত শক্তি}}{\text{প্রতিটি ফোটনের শক্তি}}$$

$$= \frac{1.5 \times 10^{-3} \text{ J}}{6.4 \times 10^{-15} \text{ J}} = 2.3 \times 10^{11}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} \text{ফোটনের শক্তি} &= 40,000 \text{ eV} \\ &= 40,000 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= 6.4 \times 10^{-15} \text{ J} \\ \text{মোট শোষিত শক্তি} &= 1.5 \times 10^{-3} \text{ J} \end{aligned}$$

লোকটি  $2.3 \times 10^{11}$  সংখ্যক ফোটনের শক্তি শোষণ করেছেন।

৩।  $10 \text{ kilo volt}$  বিড়ব পার্শ্বক প্রয়োগ করলে স্থির অবস্থা থেকে একটি ইলেকট্রন যে ছূঢ়ান্ত বেগ প্রাপ্ত হবে তার মান নির্ণয় কর। [ঢ. বো. ২০০১]

আমরা জানি,

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

$$\text{বা, } v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 10000}{9.1 \times 10^{-31}}} = 59.29 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} V &= 10 \text{ kilo volt} \\ &= 10000 \text{ volt} \\ e &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \\ m &= 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \end{aligned}$$

৪। সোডিয়ামের সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য  $6800 \text{ \AA}$ । এর কার্য অপেক্ষক নির্ণয় কর।

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

আমরা জানি, কার্য অপেক্ষক,

$$\begin{aligned} W &= h\nu_0 = \frac{hc}{\lambda_0} \\ &= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{6800 \times 10^{-10}} \\ &= 2.925 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &\approx 2.93 \times 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= 6800 \text{ \AA} \\ &= 6800 \times 10^{-10} \text{ m} \\ c &= 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} \\ h &= 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js} \end{aligned}$$

৫। কোনো ধাতুর ওপর  $2500 \text{ \AA}$  তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অভিবেগনি রশ্মি কেলা হলো। ধাতুর কার্য অপেক্ষক  $2.3 \text{ eV}$  হলে নিঃসৃত ফটো ইলেক্ট্রনের সর্বোচ্চ বেগ কত হবে? [য. বো. ২০১৬; কু. বো. ২০১০; রা. বো. ২০০৭, ২০০৫; ব. বো. ২০০৬]

আমরা জানি,

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

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

$$\text{বা, } \frac{1}{2} \times 9.1 \times 10^{-31} \times v^2$$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2500 \times 10^{-10}} - 2.3 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$\text{বা, } 4.55 \times 10^{-31} v^2 = 7.956 \times 10^{-19} - 3.68 \times 10^{-19}$$

$$\text{বা, } v^2 = \frac{4.276 \times 10^{-19}}{4.55 \times 10^{-31}}$$

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

৬।  $2400 \text{ \AA}$  তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো একটি ধাতব পৃষ্ঠে আপত্তি হলে নিঃসৃত ইলেক্ট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি নির্ণয় কর। ধাতব পৃষ্ঠের কার্যাপেক্ষক  $3.3 \text{ eV}$ ।

আমরা জানি,

$$h\nu = K_{max} + \phi$$

$$K_{max} = h\nu - \phi = \frac{hc}{\lambda} - \phi$$

$$= \left( \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2400 \times 10^{-10}} - 3.3 \times 1.6 \times 10^{-19} \right) \text{ J}$$

$$= \frac{1.88 \times 1.6 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ eV} = 1.88 \text{ eV}$$

৭। Ag ও Au-এর সূচন কম্পাঙ্ক যথাক্রমে  $6.033 \times 10^{14} \text{ Hz}$  ও  $4.416 \times 10^{14} \text{ Hz}$  এবং এদের নিরুৎসি বিভব যথাক্রমে  $2.25 \text{ V}$  এবং  $1.58 \text{ V}$ । প্ল্যান্কের প্রকক এবং উভয়ের কার্যাপেক্ষক নির্ণয় কর।

[BUET Admission Test, 2015–16]

আমরা জানি,

$$h\nu = eV_{Ag} + h\nu_{0Ag} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (i)$$

$$h\nu = eV_{Au} + h\nu_{0Au} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (ii)$$

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

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

$$= \frac{1.6 \times 10^{-19} (2.25 - 1.58)}{10^{14} (6.033 - 4.416)}$$

$$= 6.63 \times 10^{-34} \text{ J-s}$$

$$\text{আবার, } W_0(\text{Ag}) = h\nu_{01} = 6.63 \times 10^{-34} \times 6.033 \times 10^{14} = 4 \times 10^{-19} \text{ J} = \frac{4 \times 10^{-19} \text{ eV}}{1.6 \times 10^{-19}} = 2.5 \text{ eV}$$

$$\therefore W_0(\text{Au}) = h\nu_{02} = 6.63 \times 10^{-34} \times 4.416 \times 10^{14}$$

$$= 2.93 \times 10^{-19} \text{ J} = 1.83 \text{ eV}$$

এখানে,

$$\lambda = 2500 \text{ \AA}$$

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

$$W_0 = 2.3 \text{ eV}$$

$$= 2.3 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

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

এখানে,

$$\lambda = 2400 \text{ \AA} = 2400 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$\phi = 3.3 \text{ eV} = 3.3 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

### 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 পুনরুৎস্থারে, সৌর ব্যাটারিতে, ফটোমিটি 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।

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 নিঃস্ত হতে দেখি। আবার রাতের বেলা টর্চলাইটের আলো কোথাও ফেললে দেখা যায় যে, আলোর স্নেত যতদূর ছড়িয়ে পড়ে ততদূর আলোকিত হয়। এই বিকিরণ এবং আলোক নিঃসরণ আপাতদৃষ্টিতে মনে হয় নিরবচ্ছিন্ন ঘটনা। ম্যাজ্ঞ 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 গুছ গুছ আকারে প্যাকেট বা কোয়ান্টাম হিসেবে নিঃস্ত হয়।

কোয়ান্টাম তত্ত্ব হতে প্রমাণিত হয়েছে যে বিকিরণ বা শক্তির দৈত ধর্ম রয়েছে—একটি কণা ধর্ম, অপরটি তরঙ্গ ধর্ম। এ মতবাদ আবিষ্কৃত হওয়ার তেইশ বছরের মধ্যে কোনো বিজ্ঞানীর মাথায় আসে নি যে শক্তির ন্যায় পদার্থের দুইটি ধর্ম থাকতে পারে অর্থাৎ পদার্থের 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, নিউটন, ইলেক্ট্রন প্রভৃতি ভিন্ন ভিন্ন কণার সময়ে গঠিত নিশ্চয়ই কোনো যথোপযোগী পরিস্থিতির মধ্যে তরঙ্গ প্রকৃতি প্রদর্শন করবে। এক কথায় বলা যায়—পদার্থেরও ঠিক তরঙ্গের মতো দৈত 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 তরঙ্গাদৈর্ঘ্যকে ডি ব্রগলি তরঙ্গাদৈর্ঘ্য (de Broglie's wavelength) বলে।

**ব্যাখ্যা :** ডি ব্রগলি বস্তু তরঙ্গের তরঙ্গাদৈর্ঘ্যকে ডি ব্রগলি তরঙ্গাদৈর্ঘ্য বলে।

প্ল্যাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুসারে একটি ফোটনের শক্তি,

$$E = h\nu \quad \dots \dots \dots \quad (8.55)$$

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

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

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

∴ সমীকরণ (8.55) এবং (8.56) হতে পাই

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

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

মনে করি ফোটনের ভরবেগ =  $p$

∴  $p = \text{ফোটনের ভর} \times \text{ফোটনের বেগ}$

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

$$= \frac{h\nu}{c} \quad \dots \dots \dots \quad (8.58)$$

$$\text{পুনঃ, } c = \lambda\nu$$

$$\dots \dots \dots \quad (8.59)$$

$$\text{বা, } \lambda = \frac{c}{\nu}$$

$$\dots \dots \dots \quad (8.60)$$

∴ সমীকরণ (8.58) এবং (8.59) হতে পাই,

$$p = \frac{hv}{c} = \frac{hv}{\lambda v} = \frac{h}{\lambda} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (8.61)$$

$$\text{বা, } \lambda = \frac{h}{p} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (8.62)$$

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

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

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

এখানে,  $m$  = পদার্থ কণিকার ভর,

$v$  = পদার্থ কণিকার বেগ

এবং  $mv$  = পদার্থ কণিকার ভরবেগ।

৮.১৬ চিত্রে কোনো বস্তুর ভরবেগ এবং দ্য ব্রগলি তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের ব্যস্থানুপাতে পরিবর্তন দেখানো হয়েছে।

এটিই বিখ্যাত ডি ব্রগলি সমীকরণ, এটি হারা পদার্থ কণিকার তরঙ্গ ধর্ম প্রকাশিত হয়েছে। উক্ত সমীকরণ হতে গতিশীল কণার তরঙ্গাদৈর্ঘ্য 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, তরঙ্গাদৈর্ঘ্য তত ক্ষুদ্রতর হবে।

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

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

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

অনুসন্ধান কর : কণিকা-তরঙ্গ কী তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ ?

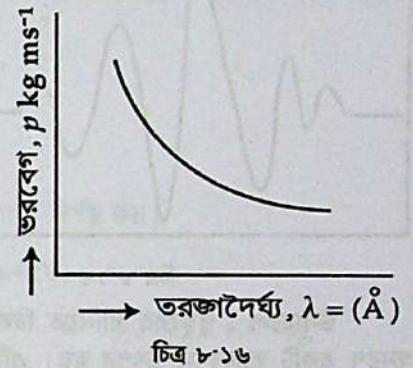
কণিকা-তরঙ্গ চুম্বকীয় তরঙ্গ নয়; কারণ ত্বরণসম্পন্ন আধান থেকে তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের উৎপত্তি হয়। কিন্তু কণিকা-তরঙ্গের সঙ্গে তড়িৎগ্রাস্ত আধানের কোনো সম্পর্ক নেই।

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

### ৮.১৪.১ তরঙ্গ-কণা দ্বৈততা

#### Wave-particle duality

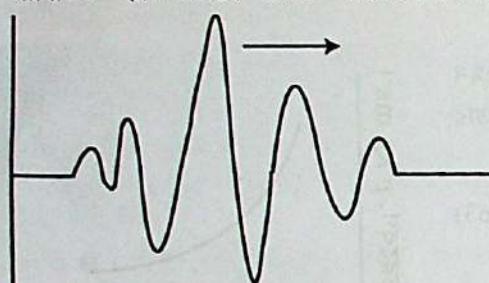
তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণকে ফোটন কণার স্মৃতি হিসেবে ধরে নিলে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া, কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণ, পারমাণবিক বর্ণালি ইত্যাদির ব্যাখ্যা পাওয়া যায়; তবে এই তত্ত্ব দিয়ে ব্যতিচার, অপবর্তন, সমবর্তন ইত্যাদি আলোকীয় ঘটনাবলি বিশ্লেষণ করা যায় না। অপরদিকে, বিকিরণের তরঙ্গাত্মক সঠিকভাবেই ব্যতিচার, অপবর্তন, সমবর্তন ইত্যাদি ঘটনাগুলিকে ব্যাখ্যা করতে পারে। তাই আধুনিক মতে, পরীক্ষা তেজে বিকিরণ কথনও তরঙ্গের মতো, আবার কথনও কণার স্মৃতের মতো আচরণ করে। অর্থাৎ বিকিরণের দুটি রূপ রয়েছে—তরঙ্গরূপ ও কণারূপ। সূতরাং তরঙ্গাত্মক এবং কণাত্মক পরস্পর বিরোধী তো নয়ই, বরং একই মূল্যায় এপিট-ওপিটের মতোই পরস্পরের পরিপূরক। একেই তরঙ্গ কণিকা দ্বৈততা বলে।



তরঙ্গ-কণা হৈততা হলো এমন একটি ধাৰণা যাতে উল্লেখ কৰা হয় যে, সকল শক্তি তরঙ্গ-সদৃশ এবং কণা-সদৃশ উভয় ধৰ্ম প্ৰদৰ্শন কৰে। ইহাই তরঙ্গ-কণা হৈততা।

দশা বেগ (Phase velocity) : তরঙ্গেৰ দশা সময়েৰ সাথে যে হাবে পৰিবৰ্তিত হয় তাকে দশা বেগ বলা হয়। দশা বেগ কণাৰ বেগ এমনকি আলোৰ বেগ অপেক্ষা বেশি।

গুচ্ছ বেগ (Group velocity) : ভিন্ন কম্পাঙ্কেৰ একাধিক সাইন ধৰ্মী তরঙ্গেৰ উপৰিপাত হলে তরঙ্গ রূপটি পৰিবৰ্তিত হয়। এভাবে ক্রমশ পৰিবৰ্তনশীল কম্পাঙ্কেৰ বহু সংখ্যক সাইন ধৰ্মী তরঙ্গেৰ উপৰিপাতেৰ ফলে যে লক্ষি তরঙ্গ গঠিত হয়, তাৰ সাধাৰণ রূপটি দেখানো হলো [চিত্ৰ ৮.১৭]। একেই তরঙ্গ গুচ্ছ বা সমষ্টি বলে এবং তরঙ্গ-গুচ্ছেৰ বেগকে গুচ্ছ বেগ বা সমষ্টি বেগ (Group velocity) বলা হয়।



চিত্ৰ ৮.১৭

এই গুচ্ছবেগ  $v_g = \frac{d\omega}{dk}$ । এখানে  $\omega$  = তরঙ্গেৰ কৌণিক বেগ এবং  $k$  = তরঙ্গেৰ ধৰ্মক। গাণিতিক গণনাৰ মাধ্যমে দেখানো যায় যে গুচ্ছবেগ  $v_g = v$ । অৰ্থাৎ গুচ্ছবেগ কণাৰ বেগেৰ সমান।

উদাহৰণ : পুকুৱেৰ পানিতে চিল ছুড়লে অৱ কয়েকটি মাত্ৰ তরঙ্গ শীৰ্ষ ও তরঙ্গ পাদ নিয়ে চিত্ৰ ৮.১৭-এৰ অনুৰূপ একটি তরঙ্গগুচ্ছ উৎপন্ন হয়। এটি পানি তলেৰ ওপৰ দিয়ে বৃত্তেৰ আকাৰে বিস্তাৱ লাভ কৰে। এই তরঙ্গগুচ্ছেৰ বেগ কণাৰ বেগেৰ সমান।

**হিসাব কৰ :** একটি ইলেকট্ৰনেৰ ডি ব্ৰগলি তরঙ্গ দৈৰ্ঘ্য  $2 \times 10^{-12} \text{ m}$  হলে এৱ গতিশক্তি কত হবে ?

ডি ব্ৰগলি বস্তু কণাৰ তরঙ্গ-সদৃশ্য বৈশিষ্ট্য থেকে জানি  $p$  তরবেগেৰ কোনো কণাৰ সাথে সংশ্লিষ্ট তরঙ্গেৰ তরঙ্গদৈৰ্ঘ্য  $\lambda$  হলে,

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h}{p} \\ \therefore p &= \frac{h}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{2 \times 10^{-12}} \\ \text{আবাৰ, } E &= \frac{p^2}{2m} = \frac{\left(\frac{6.63 \times 10^{-34}}{2 \times 10^{-12}}\right)^2}{2 \times 9.1 \times 10^{-31}} \\ &= 6.04 \times 10^{-14} \text{ J}\end{aligned}$$

**অনুসম্ভালযুক্ত কাজ :** ডি ব্ৰগলিৰ কণিকা তরঙ্গেৰ ধাৰণাটি শুধুমাত্ৰ পাৰমাণবিক পৰ্যায়েৰ কণাৰ ক্ষেত্ৰেই প্ৰযোজ্য —ব্যাখ্যা কৰ।

দৈনন্দিন জীবনে আমৱা যে সকল বস্তু দেখি, তাৰেৰ ক্ষেত্ৰে ডি ব্ৰগলি প্ৰকল্পেৰ কোনো ব্যবহাৱিক গুৱাতু নেই। নিচেৰ উদাহৰণ থেকে এটি স্পষ্ট হবে।

মনে কৰি একটি ইলেকট্ৰনেৰ বেগ  $10^7 \text{ ms}^{-1}$ । তাহলে ইলেকট্ৰনটিৰ ডি ব্ৰগলি তরঙ্গদৈৰ্ঘ্য হবে,  $\lambda = \frac{h}{mv}$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}}{(9.1 \times 10^{-31}) \times 10^7} = 0.73 \text{ Å}।$$

এই তরঙ্গদৈৰ্ঘ্য এক্স-ৱাণিজ তরঙ্গদৈৰ্ঘ্যেৰ সমতুল।

এখন মনে কৰি একটি গতিশীল বস্তুৰ ভৱ 20 gm এবং বেগ  $20 \text{ ms}^{-1}$ । তাহলে বস্তুটিৰ ডি ব্ৰগলি তরঙ্গদৈৰ্ঘ্য হবে,  $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{0.02 \times 20} = 1.65 \times 10^{-33} \text{ m}$ । এই মান এতই ক্ষুদ্ৰ যে তা পৰিমাপেৰ কোনো ব্যবস্থা নেই এবং এত ক্ষুদ্ৰ তরঙ্গেৰ কোনো বাস্তব অস্তিত্ব নেই। সুতৰাং, ডি ব্ৰগলি কণিকা-তরঙ্গ শুধুমাত্ৰ পাৰমাণবিক পৰ্যায়েৰ কণাৰ ক্ষেত্ৰেই গুৱাতু পূৰ্ণ।

## গাণিতিক উদাহরণ ৮.৭

১। 60 V বিভব পার্শ্বক্ষের মধ্য দিয়ে ত্বরিত কোনো ইলেক্ট্রনের (ক) ডি ব্রগলি তরঙ্গাদৈর্ঘ্য ও (খ) ভরবেগ নির্ণয় কর।

(ক) আমরা জানি,

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

$$\therefore \lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 9.1 \times 10^{-31} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 60}}$$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}}{4.18 \times 10^{-24}} = 1.586 \text{ \AA}$$

$$(খ) \text{ ভরবেগ}, p = \frac{h}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{1.586 \times 10^{-10}} \text{ kgms}^{-1} = 4.18 \times 10^{-24} \text{ kgms}^{-1}$$

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

আমরা জানি,

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

$$\text{বা, } \lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{1.673 \times 10^{-27} \times \left( \frac{3 \times 10^8}{20} \right)}$$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 20}{1.673 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^8} = 2.64 \times 10^{-14} \text{ m}$$

৩। একটি প্রোটন ও একটি ইলেক্ট্রনের ডি ব্রগলি তরঙ্গাদৈর্ঘ্য সমান। কারণ গতিশক্তি বেশি ?

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

এবং ইলেক্ট্রনের গতিশক্তি,  $K_e = \frac{1}{2}mv^2$

বা,  $mv^2 = 2K_e$

বা,  $m^2v^2 = 2mK_e$

বা,  $mv = \sqrt{2mK_e} = p$

$\therefore \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mK_e}}$

বা,  $mK_e = \frac{h^2}{2\lambda^2}$

একই তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের জন্য  $mK_e = ধ্রুবক$ , অর্থাৎ  $K_e \propto \frac{1}{m}$ । ইলেক্ট্রন ও প্রোটনের গতিশক্তি যথাক্রমে  $K_e$  এবং  $K_p$  হলে

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

অর্থাৎ ইলেক্ট্রনের গতিশক্তি বেশি।

৪। 1 g ভরের একটি কণা  $2000 \text{ ms}^{-1}$  বেগে গতিশীল। কণাটির সাথে সংপ্রিম তরঙ্গের তরঙ্গাদৈর্ঘ্য হিসাব কর।

আমরা জানি,

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

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}}{10^{-3} \times 2000}$$

$$= 3.315 \times 10^{-34} \text{ m}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} \text{বিভব পার্শ্বক্ষ}, V &= 60 \text{ V} \\ \text{ইলেক্ট্রনের চার্জ}, e &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \\ \text{ধ্রুবক}, h &= 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js} \\ \text{ইলেক্ট্রনের ভর}, m &= 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \\ \lambda &=? \\ p &=? \end{aligned}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} m &= 1.673 \times 10^{-27} \text{ kg} \\ h &= 6.63 \times 10^{-34} \text{ J-s} \\ v &= \frac{c}{20} = \frac{3 \times 10^8}{20} \end{aligned}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} m &= 1 \text{ g} = 10^{-3} \text{ kg} \\ v &= 2000 \text{ ms}^{-1} \\ h &= 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js} \\ \lambda &=? \end{aligned}$$

৫। ১ eV গতিশক্তিবিশিষ্ট একটি ইলেক্ট্রনের সাথে সংপৰ্কিত ডি-ব্ৰগলি তরঙ্গাদৈর্ঘ্য নিৰ্ণয় কৰ।

আমৱা জানি,

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2 m K}}$$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 9.1 \times 10^{-31} \times 1.6 \times 10^{-19}}}$$

$$= 1.23 \times 10^{-9} \text{ m} = 1.23 \text{ nm}$$

৬। কত বিতৰ পাৰ্থক্যেৰ মধ্য দিয়ে একটি ইলেক্ট্রনকে তুলাধিত কৰলে ইলেক্ট্রনটিৰ ডি-ব্ৰগলি তরঙ্গাদৈর্ঘ্য  $0.4 \text{ \AA}$  হবে?

আমৱা জানি,

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

$$\text{এবং } \frac{1}{2} mv^2 = eV \text{ বা, } m^2 v^2 = 2meV$$

$$\therefore mv = \sqrt{2meV}$$

$$\therefore \lambda = \frac{h}{\sqrt{2 meV}} \text{ বা, } \lambda^2 = \frac{h^2}{2 meV}$$

$$\therefore V = \frac{h^2}{2 me \lambda^2} = \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 \frac{1}{2 me} = \left(\frac{6.63 \times 10^{-34}}{0.4 \times 10^{-10}}\right)^2 \times \frac{1}{2 \times 9.1 \times 10^{-31} \times 1.6 \times 10^{-19}}$$

$$= \frac{6.63 \times 6.63 \times 10^{-68}}{0.4 \times 0.4 \times 10^{-20} \times 10^{-31} \times 2 \times 9.1 \times 1.6 \times 10^{-19}} = \frac{6.63 \times 6.63 \times 10^{-68} \times 10^{70}}{0.4 \times 0.4 \times 9.1 \times 1.6 \times 2}$$

$$= 9.43 \times 10^2$$

$$= 943 \text{ V}$$

৭। নিউটনেৰ গতিশক্তিৰ মান কত হলে এৱে সংজো জড়িত ডি-ব্ৰগলি তরঙ্গাদৈর্ঘ্যেৰ মান  $1.20 \times 10^{-10} \text{ m}$  হবে?

$$(m_n = 1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}, h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js})$$

আমৱা জানি,

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 m_n K}} \text{ বা, } \lambda^2 = \frac{h^2}{2 m_n K}$$

$$\text{বা, } K = \frac{h^2}{2 m_n \lambda^2} = \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2 \frac{1}{2 m_n}$$

$$\therefore K = \frac{(6.63 \times 10^{-34})^2}{(1.20 \times 10^{-10})^2} \times \frac{1}{2 \times 1.675 \times 10^{-27}}$$

$$= \frac{6.63 \times 6.63 \times 10^{-68} \times 10^{20} \times 10^{27}}{1.20 \times 1.20 \times 2 \times 1.675}$$

$$= 9.11 \times 10^{-21} \text{ J}$$

৮। একটি প্ৰোটন ও একটি  $\alpha$ -কণাৰ গতিশক্তি সমান। এদেৱে ডি-ব্ৰগলি তরঙ্গাদৈর্ঘ্যেৰ অনুপাত কত?

আমৱা জানি,

$$E = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{m^2 v^2}{2m}$$

$$\text{বা, } mv = \sqrt{2mE}$$

এবং ডি-ব্ৰগলি তরঙ্গাদৈর্ঘ্য,

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$$

এখানে,

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J}$$

$$m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$K = 1.6 \times 10^{-19}$$

এখানে,

$$\lambda = 0.4 \text{ \AA} = 0.4 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$me = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

এখানে,

$$\lambda = 1.20 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$m_n = 1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$\text{K.E, K = ?}$$

যেহেতু প্রোটন ও  $\alpha$ -কণার গতিশক্তি সমান সূতরাং,

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$$

$m_1$  = প্রোটনের ভর এবং  $\lambda_1$  = প্রোটনের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট তরঙ্গাদৈর্ঘ্য

$$= \sqrt{\frac{4}{1}} = \frac{2}{1}$$

এবং  $m_2 = \alpha$ -কণার ভর এবং  $\lambda_2 = \alpha$ -কণার সঙ্গে সংশ্লিষ্ট তরঙ্গাদৈর্ঘ্য

$\therefore \lambda_1 : \lambda_2 = 2 : 1$ ; সূতরাং দেখা যাচ্ছে যে প্রোটনের সাথে সংশ্লিষ্ট তরঙ্গাদৈর্ঘ্য  $\alpha$ -কণার তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের চেয়ে বেশি।

**অনুসন্ধানমূলক কাজ :** আলোক তরঙ্গ এবং কণিকা তরঙ্গের মধ্যে পার্থক্য কী?

শূন্য মাধ্যমে আলোক তরঙ্গের বেগ ধ্রুবক রাশি; কিন্তু শূন্য মাধ্যমে কণিকা তরঙ্গের বেগ তার তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের ওপর নির্ভরশীল।

**অনুসন্ধানমূলক কাজ :** কোন ফোটনটি বেশি শক্তিশালী—বেগুনি না লাল?

শক্তি ও কম্পাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক হলো :  $E = h\nu$ । এখন যেহেতু বেগুনি আলোর কম্পাঙ্ক লাল আলোর কম্পাঙ্কের চেয়ে বেশি, সূতরাং বেগুনি আলোর ফোটন লাল আলোর ফোটন অপেক্ষা বেশি শক্তিশালী।

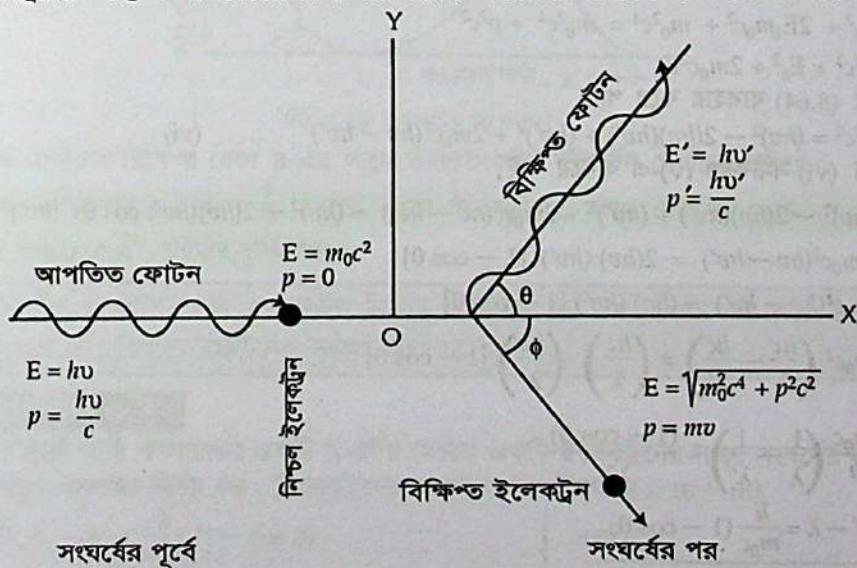
### ৮.১৫ কম্পটন ক্রিয়া

Compton effect

আলোকের তেজকণা প্রতিষ্ঠিত হবার পর বিজ্ঞানী কম্পটন (Compton) 1925 খ্রিস্টাব্দে প্রস্তাব করেন যে, কোনো একটি শক্তিশালী ফোটনের সাথে পদার্থের কণিকা ইলেক্ট্রনের সংঘর্ষ ঘটলে ফোটনটি ইলেক্ট্রনকে 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) আপত্তি ফোটনের (incident photon) চেয়ে কম হয়। অর্থাৎ বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গাদৈর্ঘ্য আপত্তি ফোটনের তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের চেয়ে বেশি হবে। তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের এই পরিবর্তনকে কম্পটন প্রভাব বা কম্পটন ক্রিয়া বলে।

সংজ্ঞা : উচ্চ শক্তিসম্পন্ন ফোটন যখন কোনো লক্ষ্যবস্তুর (যেমন ইলেক্ট্রনের) সাথে সংঘর্ষে লিপ্ত হয়ে বিক্ষিপ্ত হয় তখন বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গাদৈর্ঘ্য আপত্তি ফোটনের তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের চেয়ে বেশি হয়। এই ঘটনাকে কম্পটন ক্রিয়া বা কম্পটন প্রভাব বলে।

বিজ্ঞানী কম্পটন পদার্থের এক্স-রশ্বির বিক্ষেপণ প্রক্রিয়াকে ফোটনের সাথে ইলেক্ট্রনের সংঘর্ষ করনা করে ফোটনের ও ইলেক্ট্রনের শক্তি ও গতিবেগের নিয়ম প্রয়োগের মাধ্যমে ফোটনের কম্পন হার বা তরঙ্গাদৈর্ঘ্য



চিত্র ৮.১৮ : কম্পটন ক্রিয়া।

পরিবর্তন গণনা করেন। কার্বন, অ্যালুমিনিয়াম প্রভৃতি হালকা মেলিক পদার্থের ইলেক্ট্রন দ্বারা একবর্ণী এক্স-রশ্বি বিক্ষিপ্ত হলে বিক্ষিপ্ত রশ্বির ভেতর আপত্তি তরঙ্গাদৈর্ঘ্য ছাড়াও কিছু পরিবর্তিত তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্বি পাওয়া যায়। এই পরিবর্তিত তরঙ্গাদৈর্ঘ্যগুলি প্রাথমিক এক্স-রশ্বির তরঙ্গাদৈর্ঘ্য অপেক্ষা দীর্ঘতর হয়। কম্পটন ক্রিয়া চিত্র ৮.১৮-এ দেখান হলো।

সংঘৰ্ষে ফোটনের হাৰানো শক্তি ইলেকট্রনের গতিশক্তিৰ সমান হবে। বিক্ষিপ্ত ফোটনের শক্তি ফোটনের চেয়ে কম হবে। অৰ্ধাং বিক্ষিপ্ত ফোটনের কম্পাঙ্ক  $v'$  আপত্তি ফোটনের কম্পাঙ্ক  $v$  অপেক্ষা কম হবে ( $v > v'$ )। সুতৰাং ইলেকট্রনের অৰ্জিত গতিশক্তিৰ পৱিমাণ হবে,

$$hv - hv' = E_k \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (8.64)$$

এখানে  $h$  = প্লাজ্যোৰ ধূবক,  $E_k$  = ইলেকট্রনের গতিশক্তি।

আপেক্ষিকতাৰ ভৱশক্তি সম্পর্ক থেকে পাই, একটি কণাৰ মোটশক্তি

$$E = E_k + m_0 c^2 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (i) \text{ [সমীকৰণ 8.45 দ্বন্দ্ব]} \quad \dots$$

$$\text{এবং } E = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2}^* \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (ii)$$

ফোটন ও ইলেকট্রনেৰ সংঘৰ্ষে সংঘৰ্ষেৰ পূৰ্বে এবং পৱে সংঘৰ্ষেৰ অভিমুখে এবং উল্লম্ব দিকে ভৱবেগ সংৰক্ষিত থাকে।

অতএব, ফোটনেৰ আদি অভিমুখে, আদি ভৱবেগ = চূড়ান্ত ভৱবেগ

অৰ্ধাং উল্লম্ব দিকে, ফোটনেৰ আদি ভৱবেগ + ইলেকট্রনেৰ আদি ভৱবেগ = ফোটনেৰ চূড়ান্ত ভৱবেগ + ইলেকট্রনেৰ চূড়ান্ত ভৱবেগ

$$\therefore \frac{hv}{c} + 0 = \frac{hv'}{c} \cos \theta + p \cos \phi \quad \dots \quad \dots \quad (iii)$$

উল্লম্ব দিকে (বিক্ষিপ্ত ফোটন যে তলে অবস্থিত তাৰ উল্লম্ব দিকে) আদি ভৱবেগ = চূড়ান্ত ভৱবেগ

অৰ্ধাং উল্লম্ব দিকে, ফোটনেৰ আদি ভৱবেগ + ইলেকট্রনেৰ আদি ভৱবেগ = ফোটনেৰ চূড়ান্ত ভৱবেগ + ইলেকট্রনেৰ চূড়ান্ত ভৱবেগ

$$\therefore 0 + 0 = \frac{hv'}{c} \sin \theta - p \sin \phi \quad \dots \quad \dots \quad (iv)$$

[এখানে  $\phi$  কোণেৰ মান ঝণাত্মক]

এখন সমীকৰণ (iii) ও (iv)-কে  $c$  দ্বাৰা গুণ কৰে পাই,

$$pc \cos \phi = hv - hv' \cos \theta \text{ এবং } pc \sin \phi = hv' \sin \theta$$

উভয় সমীকৰণ বৰ্গ কৰে এবং যোগ কৰে পাই,

$$p^2 c^2 = (hv)^2 - 2(hv)(hv') \cos \theta + (hv')^2 \quad \dots \quad \dots \quad (v)$$

আবাৰ, সমীকৰণ (i) ও (ii) থেকে পাই,

$$E_k + m_0 c^2 = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2}$$

$$\text{বা, } (E_k + m_0 c^2)^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$$

$$\text{বা, } E_k^2 + 2E_k m_0 c^2 + m_0^2 c^4 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$$

$$\text{বা, } p^2 c^2 = E_k^2 + 2m_0 c^2 E_k$$

সমীকৰণ (8.64) ব্যবহাৰ কৰে পাই,

$$p^2 c^2 = (hv)^2 - 2(hv)(hv') + (hv')^2 + 2m_0 c^2(hv - hv') \quad \dots \quad (vi)$$

সমীকৰণ (vi) সমীকৰণ (v)-এ বসিয়ে পাই,

$$(hv)^2 - 2(hv)(hv') + (hv')^2 + 2m_0 c^2(hv - hv') = (hv)^2 - 2(hv)(hv') \cos \theta + (hv')^2$$

$$\text{বা, } 2m_0 c^2(hv - hv') = 2(hv)(hv') [1 - \cos \theta]$$

$$\text{বা, } m_0 c^2(hv - hv') = (hv)(hv') [1 - \cos \theta]$$

$$\text{বা, } m_0 c^2 \left( \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda'} \right) = \left( \frac{hc}{\lambda} \right) \left( \frac{hc}{\lambda'} \right) [1 - \cos \theta]$$

$$\text{বা, } \frac{m_0 c}{h} \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'} \right) = \frac{(1 - \cos \theta)}{\lambda \lambda'}$$

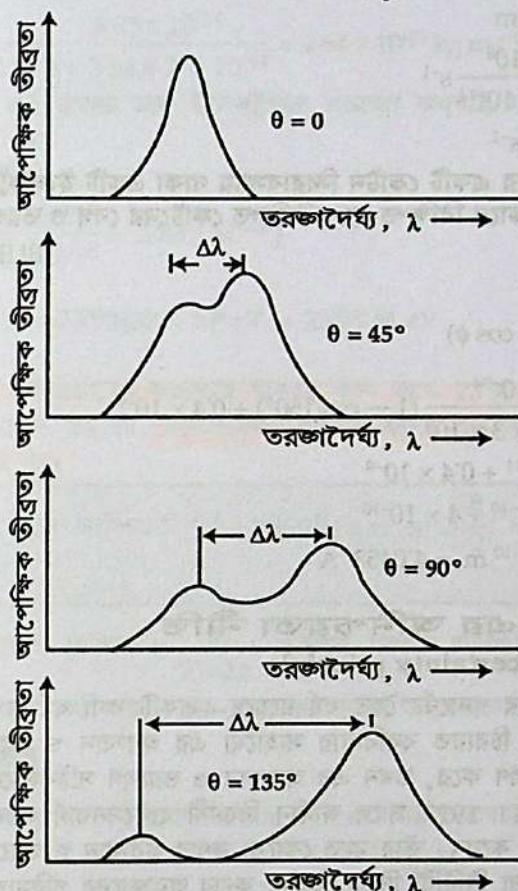
$$\text{বা, } \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta) \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (8.65)$$

\*  $E = mc^2$ ,  $p = mv$  এবং  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$

$$\therefore E^2 - p^2 c^2 = m^2 c^4 - m^2 v^2 c^2 = \frac{m_0^2 c^4}{(1 - v^2/c^2)} - \frac{m_0^2 v^2 c^2}{(1 - v^2/c^2)} = \frac{m_0^2 c^4 \times c^2}{(c^2 - v^2)} - \frac{m_0^2 v^2 c^4}{(c^2 - v^2)} = \frac{m_0^2 c^4}{(c^2 - v^2)} \{c^2 - v^2\} = m_0^2 c^4$$

$$\text{বা, } E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2 \quad \therefore E = \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2}$$

কম্পটন এই সমীকরণ প্রতিপাদন করেন। তরঙ্গাবৈর্যের এই পরিবর্তনকে কম্পটন প্রক্রিয়া (compton effect) বলা হয়। (8.65) সমীকরণের  $\frac{h}{m_0c}$  কে কম্পটন তরঙ্গাবৈর্য বলা হয়।  $h$ ,  $m_0$  ও  $c$ -এর মান বসিয়ে কম্পটন তরঙ্গাবৈর্যের মান পাওয়া যায়  $0.02468 \text{ \AA}$  বা  $0.02468 \times 10^{-10} \text{ m}$ । সমীকরণ (8.64) থেকে দেখা যায় যে সর্বাধিক তরঙ্গাবৈর্যের পরিবর্তন ঘটে যখন  $\phi = 180^\circ$  হয়। সে অবস্থায় তরঙ্গাবৈর্যের পরিবর্তন হবে  $\frac{h}{m_0c}$  এর দ্বিগুণ।



চিত্র ৮.১৯ : কম্পটন বিক্ষেপণ।

চিত্র ৮.১৯-এ ফোটনের বিক্ষিপ্ত কোণ  $\theta$  এর সাথে তরঙ্গাবৈর্যের পরিবর্তন দেখানো হয়েছে।

ইলেক্ট্রনের তরঙ্গাবৈর্য  $0.02468 \text{ \AA}$  বলতে বুঝায় ইলেক্ট্রনের সাথে কোনো ফোটনের সংমর্শ হলে এর তরঙ্গাবৈর্য সর্বোচ্চ  $0.02468 \text{ \AA}$  পরিমাণ বৃদ্ধি পায়।

**অনুসন্ধান কর :** কম্পটন তরঙ্গাবৈর্য কী? কম্পটন প্রক্রিয়া বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গাবৈর্য সর্বদা আপত্তি ফোটনের তরঙ্গাবৈর্য অপেক্ষা বড় হয়। বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গাবৈর্য কত হবে?

### গাণিতিক উদাহরণ ৮.৮

১।  $3 \times 10^{19}$  হার্জ আদি কম্পাঙ্কের একটি X-রশ্মি ফোটন একটি ইলেক্ট্রনের সাথে সংমর্শের কলে  $90^\circ$  কোণে বিক্ষিপ্ত হয়। এর নতুন কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। [ইলেক্ট্রনের কম্পটন তরঙ্গাবৈর্য  $8 \times 10^{-12} \text{ m}$ ]

$$\text{আমরা জানি, } \lambda' - \lambda_0 = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos \phi)$$

$$\text{বা, } \lambda' = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos \phi) + \lambda_0$$

$$\text{আবার, } \frac{h}{m_0c} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^8} \\ = 2.43 \times 10^{-12} \text{ m}$$

এখানে,

$$v_0 = 3 \times 10^{19} \text{ s}^{-1}$$

$$\phi = 90^\circ$$

$$\lambda_0 = \frac{c}{v_0}$$

$$\therefore \lambda' = 2.43 \times 10^{-12} (1 - \cos 90^\circ) + \frac{c}{v_0}$$

$$= 2.43 \times 10^{-12} + \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^{19}}$$

$$\therefore \lambda' = 2.43 \times 10^{-12} + 0.1 \times 10^{-10}$$

$$= 1.24 \times 10^{-11} \text{ m}$$

$$\text{এবং } v' = \frac{c}{\lambda'} = \frac{3 \times 10^8}{1.24 \times 10^{-11}} \text{ s}^{-1}$$

$$= 2.42 \times 10^{19} \text{ s}^{-1}$$

২।  $0.40 \text{ nm}$  তরঙ্গাবৈৰ্যের একটি ফোটন স্থিরাবস্থায় থাকা একটি ইলেকট্রনের সাথে সংঘর্ষের পর ফোটনটি পূর্বের গতিপথের সাপেক্ষে  $150^\circ$  কোণে বিক্ষিক্ত হয়। বিক্ষিক্ত ফোটনের বেগ ও তরঙ্গাবৈৰ্য নির্ণয় কর।

[BUET Admission Test, 2017-18]

আমরা জানি,

$$\lambda_1 - \lambda_0 = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \phi)$$

$$\lambda_1 = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^8} (1 - \cos 150^\circ) + 0.4 \times 10^{-9}$$

$$= 0.453 \times 10^{-11} + 0.4 \times 10^{-9}$$

$$= 0.0453 \times 10^{-10} + 4 \times 10^{-10}$$

$$= 4.0453 \times 10^{-10} \text{ m} = 4.0453 \text{ Å}$$

### ৮.১৬ হাইসেনবার্গ-এর অনিচ্ছয়তা 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 তরঙ্গাধর্মী বস্তুর অবস্থান ও ভরবেগ নির্ণয়ের অনিচ্ছয়তার ধারণা পোষণ করেন। তাঁর মতে কোনো কণার অবস্থান ও ভরবেগ একই সাথে সঠিকভাবে নির্ণয় করা সত্যিই অসম্ভব। অর্থাৎ কোনো নির্দিষ্ট দিকে কোনো কণার অবস্থানের পরিমাপ যতই নির্ভুল হবে তার ভরবেগের পরিমাপের তুলের মাত্রা ততই বেশি হবে। আবার ভরবেগের পরিমাপ যতই নির্ভুল হবে, অবস্থানের পরিমাপ ততই অনিচ্ছিত হবে। একেই হাইসেনবার্গ-এর অনিচ্ছয়তা সূত্র বলা হয়। সূত্রটি নিম্নে বিবৃত হলো :

“কোনো কণার অবস্থান এবং ভরবেগ যুগপৎ সঠিকভাবে পরিমাপ করা যায় না।” নিম্নের গাণিতিক সম্পর্ক দ্বারা অনিচ্ছয়তা নীতি প্রকাশ করা যায়। কোনো নির্দিষ্ট দিকে কোনো নির্দিষ্ট সময়ে কোনো কণার অবস্থানের অনিচ্ছয়তা  $\Delta x$  এবং ভরবেগের অনিচ্ছয়তা  $\Delta p$  হলে, অনিচ্ছয়তার নীতি অনুসারে,  $\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$ । পরবর্তীকালে এই নীতির গাণিতিক প্রকাশকে সংশোধন করে লেখা হয়,

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}; \text{ এখানে } \frac{h}{2\pi} = \hbar \text{ প্রাঙ্গের ত্রাসকৃত ধ্রুবক} = 1.055 \times 10^{-34} \text{ Js}। \text{ উল্লেখ্য প্রাঙ্গের ধ্রুবক } h \text{ এর মান}$$

বুই ক্ষুদ্র হওয়ায়  $h$ ,  $\hbar$  বা  $\frac{h}{2\pi}$  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, অনিচ্ছয়তার পরিমাণসময়ের গুণফল  $\frac{\hbar}{2}$  এর চেয়ে বৃহত্তর বা সমান। কোনো বস্তুর শক্তি ও সময়ের ক্ষেত্রেও এ সম্পর্ক প্রযোজ্য। সময় শক্তি অনিচ্ছয়তা হলো

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$$

কৌণিক অবস্থান ও কৌণিক ভরবেগের ক্ষেত্রেও এই নীতি প্রযোজ্য। সেক্ষেত্রে  $\Delta L \cdot \Delta \phi \geq \frac{\hbar}{2}$

**কাজ :** অনিচ্যতা নীতি থেকে তুমি কীভাবে দেখাবে যে নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে ইলেক্ট্রন থাকতে পারে না।

পরমাণুর নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ  $10^{-14}$  m পাওয়া। সুতরাং ইলেক্ট্রন নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে আবশ্য থাকতে হলে এর অবস্থানের অনিচ্যতা অবশ্যই  $2 \times 10^{-14}$  m এর অধিক হবে না।

এখন  $\Delta x$  এবং  $\Delta p$  যথাক্রমে অবস্থান ও ভরবেগের অনিচ্যতা হলে,

$$\Delta x \cdot \Delta p = \frac{\hbar}{2}$$

$$\text{বা, } \Delta p = \frac{\hbar}{2 \times 2\pi \times \Delta x} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{4 \times 3.14 \times 2 \times 10^{-14}} = 2.64 \times 10^{-21} \text{ kg ms}^{-1}$$

এখন ভরবেগ অনিচ্যতা এই মানের হলে ইলেক্ট্রনের ভরবেগ অবশ্যই ন্যূনতম পক্ষে এই মানের সমতুল্য হবে, অর্থাৎ  $p = 2.64 \times 10^{-21}$  kg ms<sup>-1</sup>

তাহলে ইলেক্ট্রনের গতিশক্তি,

$$\begin{aligned} E &= \frac{p^2}{2m} = \frac{(2.64 \times 10^{-21})^2}{2 \times 9.1 \times 10^{-31}} = 3.83 \times 10^{-12} \text{ J} \\ &= \frac{3.83 \times 10^{-12}}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ eV} = 23.93437 \times 10^6 \text{ eV} = 23.93 \text{ M eV} \end{aligned}$$

এর অর্থ হলো, ইলেক্ট্রন নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে থাকতে হলে একে 23.93 MeV শক্তির অধিকারী হতে হবে। কিন্তু পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে দেখা যায় যে, ইলেক্ট্রনের শক্তি 4 MeV এর অধিক হয় না। সুতরাং নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে ইলেক্ট্রন থাকতে পারে না।

**নিজে কর :** আমরা জানি হাইসেনবার্গের অনিচ্যতা নীতি অনুযায়ী  $\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$ ; যদি  $\Delta x$  এর মান শূন্য হয় তবে  $\Delta p$  এর মান কীরূপ হবে ?

যেহেতু  $\Delta x$  ও  $\Delta p$  এর গুণফল-এর মান  $\geq \frac{\hbar}{2 \times 2\pi}$ , কাজেই একটির অনিচ্যতা শূন্য হলে অপরটির অনিচ্যতা অসীম হবে। তাই এক্ষেত্রে অবস্থানের অনিচ্যতা শূন্য হলে ভরবেগের অনিচ্যতা সর্বাধিক বা অসীম হবে।

### গানিতিক উদাহরণ ৮.৯

১। একটি ইলেক্ট্রনের অবস্থানের অনিচ্যতা  $0.4 \times 10^{-10}$  m। এর ভরবেগের অনিচ্যতা কত ?

আমরা জানি,

$$\Delta p \cdot \Delta x = \frac{\hbar}{2} = \frac{h}{2 \times 2\pi}$$

$$\text{বা, } \Delta p = \frac{h}{4\pi \times \Delta x} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{4 \times 3.14 \times 0.4 \times 10^{-10}}$$

$$\therefore \Delta p = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{5.024 \times 10^{-10}} = 1.32 \times 10^{-24} \text{ kg ms}^{-1}$$

এখানে,

$$\Delta x = 0.4 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$\Delta p = ?$$

২। একটি মাইক্রোকোপের সাহায্যে পরমাণুর মধ্যকার ইলেক্ট্রনের অবস্থান  $0.25 \text{ \AA}$  দূরত্বের মধ্যে নির্ণয় করার সময় ইলেক্ট্রনের ভরবেগ নিরূপণে অনিচ্যতা কত ?

আমরা জানি,

$$\Delta x \cdot \Delta p = \frac{\hbar}{2} = \frac{h}{2 \times 2\pi}$$

$$\text{বা, } \Delta p = \frac{1}{\Delta x} \times \frac{h}{2\pi \times 2} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{4 \times 3.14 \times 0.25 \times 10^{-10}}$$

$$\therefore \Delta p = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{3.14 \times 10^{-10}}$$

$$= 2.11 \times 10^{-24} \text{ kg ms}^{-1}$$

এখানে,

ইলেক্ট্রনের অবস্থানের অনিচ্যতা,

$$\Delta x = 0.25 \text{ \AA} = 0.25 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$\text{প্রাঙ্গের ধ্রুবক, } h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

ইলেক্ট্রনের ভরবেগের অনিচ্যতা,  $\Delta p = ?$

## প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

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

$$L = L_0 \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (2)$$

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (3)$$

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (4)$$

$$E = mc^2 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (5)$$

$$E = h\nu \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (6)$$

$$\frac{1}{2}mv_{max}^2 = h\nu - W_0 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (7)$$

$$E = h \frac{c}{\lambda} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (8)$$

$$v = \sqrt{\frac{2eV}{\lambda}} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (9)$$

$$\frac{1}{2}mv_{max}^2 = eV \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10)$$

$$\Delta\lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos\phi) \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (11)$$

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}, \quad \hbar = \frac{h}{2\pi} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (12)$$

## বিশ্লেষণাত্মক ও মূল্যায়নধর্মী গাণিতিক সমস্যাবলির সমাধান

১। বিজ্ঞানী আইনস্টাইন পটাসিয়াম ধাতু নিয়ে কটো ইলেকট্রিক পরীক্ষা চালানোর সময় দেখতে পান ওই ধাতু পৃষ্ঠ হতে ইলেক্ট্রন নিঃসরণের জন্য সর্বোচ্চ  $4400\text{\AA}$  তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর প্রয়োজন। পরীক্ষণের সময় ধাতব পাতের ওপর  $1500\text{\AA}$  তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অভিবেগনি রশ্মি আপত্তি হলো।

(ক) ধাতব পটাসিয়ামের পাত হতে নিঃসৃত ইলেক্ট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি কত?

(খ) পটাসিয়াম ধাতব পাত থেকে ইলেক্ট্রন নিঃসরণ হতে কীরূপ সময় প্রয়োজন, তা ব্যাখ্যা কর।

(ক) এখানে সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য,  $\lambda_0 = 4400\text{\AA} = 4400 \times 10^{-10}\text{ m}$

$$\text{সূচন কম্পাঙ্ক}, v_0 = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{3 \times 10^8}{4400 \times 10^{-10}} = 6.82 \times 10^{14}\text{ Hz}$$

$$\text{আপত্তি তরঙ্গদৈর্ঘ্য}, \lambda = 1500\text{\AA} = 1500 \times 10^{-10}\text{ m}$$

$$\therefore \text{আপত্তি বিকিরণের কম্পাঙ্ক}, v = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{1500 \times 10^{-10}} = 2 \times 10^{15}\text{ Hz}$$

$$\text{আবার}, h\nu = h\nu_0 + K_{max}$$

$$\text{বা, } K_{max} = h\nu - h\nu_0 = h(v - v_0) \\ = 6.63 \times 10^{-34} \times (2 \times 10^{15} - 6.82 \times 10^{14}) \\ = 8.74 \times 10^{-19}\text{ J}$$

$$\therefore K_{max} = \frac{8.74 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}}\text{ eV} = 5.46\text{ eV}$$

এখানে,

$$K_{max} = \text{নিঃসৃত ইলেক্ট্রনের} \\ \text{সর্বোচ্চ গতিশক্তি}$$

(খ) কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুযায়ী, একটি ফোটনের সাথে কেবলমাত্র একটি ইলেক্ট্রনই সংঘর্ষে লিপ্ত হয় এবং ইলেক্ট্রনটি তার গৃহীত শক্তি অন্যান্য ইলেক্ট্রনকে দেয় না। সূতরাং এই সংঘর্ষে শক্তি সংরক্ষিত থাকে এবং একে প্রতিস্থাপক সংঘর্ষ বলে। স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষে শক্তির তাৎক্ষণিক স্থানান্তর হয় বলে আলোক রশ্মির আপত্তন ও ইলেক্ট্রন নির্গমন এই দুইয়ের মাঝে কোনো কালাবিলম্ব ঘটে না।

সূতরাং পটাসিয়ামের ধাতব পাতটিতে আলোক রশ্মি আপত্তি হওয়ার সাথে সাথে ইলেক্ট্রন নিঃসৃত হবে।

২। মহাকাশে ধৃহ-নক্ষত্রের ওপৰ গবেষণা চালাবার জন্য পৃথিবী থেকে একটি মহাকাশযানে কয়েকজন জ্যোতির্বিজ্ঞানী  $0.8c$  বেগে চলছিল। ওই সময়ে মহাকাশযানে কোনো নভোচারী বায়ুস্তরের উচ্চতা প্রকৃত উচ্চতা থেকে ভিন্ন অনুমান করলেন।

(ক) মহাকাশযানটি ভূমি থেকে  $10 \text{ km}$  উচ্চতায় থাকলে নভোচারীর নিকট এই বায়ুস্তরের উচ্চতা কত মনে হবে?

(খ) মহাকাশযানে অবস্থানকারী নভোচারীর কাছে বায়ুর স্তরের উচ্চতা যত বলে মনে হবে তা প্রকৃত উচ্চতার চেয়ে বেশি হওয়া সম্ভব কি না যাচাই কর।

(ক) এখানে মহাকাশযানের বেগ,  $v = 0.8c$

ভূমি থেকে মহাকাশযানের প্রকৃত উচ্চতা,  $l_0 = 10000 \text{ m}$

নভোচারীর কাছে এই উচ্চতা,  $l = ?$

আলোর বেগ =  $c$  ধরি

আমরা জানি,

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\text{বা, } l = 10000 \sqrt{1 - \left(\frac{0.8c}{c}\right)^2}$$

$$= 10000 \times 0.6 = 6000 \text{ m}$$

নভোচারীর নিকট এই উচ্চতা  $6000 \text{ m}$  মনে হবে।

(খ) ধরা যাক বায়ুস্তরের প্রকৃত উচ্চতা =  $l_0$

নভোচারীর কাছে আপাত উচ্চতা =  $l$

নভোচারীর বেগ  $v$  হলে,

আমরা জানি,

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\text{বা, } \frac{l}{l_0} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

এখন  $\frac{l}{l_0}$  বাস্তব সংখ্যা হতে হলে  $\frac{v^2}{c^2}$  এর মান 1 অপেক্ষা ছোট হতে হবে।

$\therefore \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$  এর মান 1 অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হবে। সেক্ষেত্রে  $\frac{l}{l_0} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} < 1$  হবে।

$$\therefore \frac{l}{l_0} < 1$$

$$\therefore l < l_0$$

সূতরাং নভোচারীর নিকট মনে হওয়া বায়ুস্তরের উচ্চতা  $<$  বায়ুস্তরের প্রকৃত উচ্চতা।

কাজেই নভোচারীর নিকট বায়ুস্তরের উচ্চতা যত বলে মনে হবে তা প্রকৃত উচ্চতার চেয়ে বেশি হওয়া সম্ভব নয়।

৩। ফটো তড়িৎ ক্রিয়া পরীক্ষণে দেখা গেল পটাশিয়াম ধাতুর উপর  $4400 \text{ \AA}$  তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের আলো আপত্তি হলে শুধুমাত্র ইলেক্ট্রন নির্গত হয় কিন্তু গতিশীল হয় না। যদি  $1500 \text{ \AA}$  তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের আলো আপত্তি হয় তবে ইলেক্ট্রন নিঃসরিত হয় এবং গতিশীল হয়। [চ. বো. ২০১৫]

(ক) পটাশিয়ামের কার্য অপেক্ষক নির্ণয় কর।

(খ) উদ্বীগকে নিঃসরিত ইলেক্ট্রনের গতিশীল হওয়া না হওয়ার কারণ কী? গাণিতিক উল্লেখসহ মতামত দাও।

(ক) আমরা জানি,

$$\begin{aligned} W_0 &= \frac{hc}{\lambda_0} = 6.63 \times 10^{-34} \times \frac{3 \times 10^8}{4400 \times 10^{-10}} \\ &= 4.52 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= \frac{4.52 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ eV} = 2.825 \text{ eV} \end{aligned}$$

এখানে,

$$\lambda_0 = 4400 \text{ \AA} = 4400 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$\text{কার্য অপেক্ষক, } W_0 = ?$$

(খ) ইলেকট্রনসমূহ কক্ষপথে নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তি নিয়ে ঘূরে। এদেরকে কক্ষপথ হতে বিচ্যুত করতে হলে ন্যূনতম মানের শক্তির প্রয়োজন হয়। এই শক্তি পাওয়া যেতে পারে ফোটন হতে। ফোটনের শক্তি এর কম্পাঙ্গের সমানুপাতিক এবং তরঙ্গাবৈদ্যৰ ব্যস্তানুপাতিক। সেজন্য ইলেকট্রন অবমুক্ত করতে হলে ফোটনের তরঙ্গাবৈদ্যৰ একটি সর্বোচ্চ মানের চেয়ে বেশি হতে পারে না। এই মানকে সূচন তরঙ্গাবৈদ্যৰ বলে। উদ্দীপকে সূচন তরঙ্গাবৈদ্যৰ  $4400 \text{ \AA}$ । এর চেয়ে কম তরঙ্গাবৈদ্যৰ ফোটন আপত্তিত হলে অবমুক্ত ইলেকট্রন গতিশক্তিপ্রাপ্ত হবে এবং ওই শক্তির পরিমাণ হলো,

$$\begin{aligned} E &= \frac{hc}{\lambda} \\ &= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1500 \times 10^{-10}} = 13.26 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= \frac{13.26 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ eV} = 8.2875 \text{ eV} \end{aligned}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} \lambda &= 1500 \text{ \AA} = 1500 \times 10^{-10} \text{ m} \\ E &=? \end{aligned}$$

(ক) থেকে প্রাপ্ত  $W_0 = 2.825 \text{ eV}$

$E > W_0$ , এ কারণে ধাতব পাত থেকে ইলেকট্রন মুক্ত হয় এবং উচ্চ গতিশক্তি প্রাপ্ত হয়। এক্ষেত্রে সর্বোচ্চ গতিশক্তি

$$\begin{aligned} K_{max} &= 8.2875 \text{ eV} - 2.825 \text{ eV} \\ &= 5.4625 \text{ eV} \end{aligned}$$

অর্ধাং আপত্তিত আলোকের তরঙ্গাবৈদ্যৰ কম বা কম্পাঙ্গ বেশি হওয়ায় আপত্তিত আলোকের গতিশক্তি পটাশিয়ামের কার্য অপেক্ষকের চেয়ে অনেক বেশি। ফলে ধাতু হতে উচ্চ গতিশক্তির ইলেকট্রন নির্গত হয়।

৮।  $0.2500 \text{ nm}$  তরঙ্গাবৈদ্যৰ এক্স-রশ্মি কোনো লক্ষ্যবস্তুকে আঘাত হেনে  $60^\circ$  কোণে বিক্ষিপ্ত হলো। ইলেকট্রনের নিচল ভর  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ,  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$ ।

(ক) বিক্ষিপ্ত এক্স-রশ্মির তরঙ্গাবৈদ্য নির্ণয় কর।

(খ) এক্স-রশ্মির পরিবর্তে  $2500 \text{ \AA}$  এবং  $3500 \text{ \AA}$  তরঙ্গাবৈদ্যবিশিষ্ট দুটি তড়িৎচূম্বক তরঙ্গ আলাদাভাবে কোনো ধাতব পৃষ্ঠে পতিত হওয়ায় ইলেকট্রন নির্গত হলো। ধাতুটির সূচন কম্পাঙ্গ  $5.5 \times 10^{14} \text{ Hz}$  হলে উভয় ক্ষেত্রে নির্মুক্তি বিভবের তুলনামূলক গাণিতিক বিশ্লেষণ কর।

(ক) আমরা জানি,

$$\begin{aligned} \lambda' - \lambda &= \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \phi) \\ \lambda' &= \lambda + \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \phi) \\ &= 0.2500 \times 10^{-9} + \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^8} (1 - \cos 60^\circ) \\ &= 0.251214 \times 10^{-9} \text{ m} = 0.251214 \text{ nm} \end{aligned}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} \lambda &= 0.2500 \text{ nm} \\ &= 0.2500 \times 10^{-9} \text{ m} \\ \lambda' &=? \end{aligned}$$

(খ) ১য় ক্ষেত্রে তরঙ্গাবৈদ্য,  $\lambda_1 = 2500 \text{ \AA} = 2500 \times 10^{-10} \text{ m}$

২য় ক্ষেত্রে তরঙ্গাবৈদ্য,  $\lambda_2 = 3500 \text{ \AA} = 3500 \times 10^{-10} \text{ m}$

আমরা জানি,

$$E = K_{max} + W_0$$

$$\text{ধাতুর সূচন কম্পাঙ্গ}, v_0 = 5.5 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$\frac{hc}{\lambda_1} = eV_0 + hv_0$$

$$\text{বা, } V_0 = \frac{hc}{e\lambda_1} - \frac{hv_0}{e} = \frac{h}{e} \left( \frac{c}{\lambda_1} - v_0 \right)$$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}}{1.6 \times 10^{-19}} \left[ \frac{3 \times 10^8}{2500 \times 10^{-10}} - 5.5 \times 10^{14} \right] = 2.69 \text{ volt}$$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে

$$\begin{aligned} V_0' &= \frac{hc}{e\lambda_2} - \frac{hv_0}{e} = \frac{h}{e} \left( \frac{c}{\lambda_2} - v_0 \right) \\ &= \frac{6.63 \times 10^{-34}}{1.6 \times 10^{-19}} \left[ \frac{3 \times 10^8}{3500 \times 10^{-10}} - 5.5 \times 10^{14} \right] = 1.27 \text{ volt} \end{aligned}$$

$\therefore V_0 : V_0' = 2.69 : 1.27$  এক্ষেত্রে  $2500 \text{ \AA}$  তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য নিরুৎসি বিভবের মান বেশি হবে।

৬। 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—উদ্বীপকে প্রদত্ত তথ্যের আলোকে বিশ্লেষণ কর। [ব. বো. ২০১৫]

(ক) আমরা জানি,

$$\begin{aligned} L &= L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \\ &= 10 \times \sqrt{1 - \left( \frac{0.5c}{c} \right)^2} = 8.66 \text{ m} \end{aligned}$$

(খ) নিউটনীয় বলবিদ্যা হতে প্রাপ্ত গতিশক্তি,

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2} mv^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 20 \times (0.5 \times 3 \times 10^8)^2 \\ &= 2.25 \times 10^{17} \text{ J} \end{aligned}$$

আপেক্ষিক তত্ত্ব থেকে প্রাপ্ত গতিশক্তি,

$$\begin{aligned} E' &= (m - m_0)c^2 = \left( \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 \right) c^2 \\ &= \left( \frac{20}{\sqrt{1 - \left( \frac{0.5c}{c} \right)^2}} - 20 \right) \times (3 \times 10^8)^2 = 2.7846 \times 10^{17} \text{ J} \end{aligned}$$

যেহেতু  $2.25 \times 10^{17} \text{ J} \neq 2.7846 \times 10^{17} \text{ J}$  অর্থাৎ  $E \neq E'$

সুতরাং নিউটনীয় বলবিদ্যা হতে প্রাপ্ত গতিশক্তি ও আপেক্ষিক তত্ত্ব থেকে প্রাপ্ত গতিশক্তি এক নয়।

৬। ধর 370 আলোক বর্ষ দূরে অবস্থিত প্রাণীর বসরাস উপর্যোগী একটি গ্রহের সম্মান 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  $= 9.46 \times 10^{15} \text{ m}$ ।

(ক) চলন্ত অবস্থায় কাছিমের শক্তি নির্ণয় কর।

(খ) কাছিমটি জীবিত অবস্থায় ওই গ্রহে পৌছাতে সক্ষম হবে কিনা? যাচাই কর। [ঢ. বো. ২০১৭]

(ক) চলন্ত অবস্থায় কাছিমের শক্তি  $= E_R$

আমরা জানি,

চলন্ত অবস্থায় ভর  $m$  হলে,

$$\begin{aligned} m &= \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{30}{\sqrt{1 - \left( \frac{0.7c}{c} \right)^2}} \\ &= 42 \text{ kg} \end{aligned}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} m &= 20 \text{ kg} \\ L_0 &= 10 \text{ m} \\ v &= 0.5 c \\ \text{চলমান দৈর্ঘ্য } L &=? \end{aligned}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} v &= 0.5 c = 0.5 \times 3 \times 10^8 \text{ m} \\ E &=? \end{aligned}$$

এখানে,

উদ্বীপক হতে কাছিমের স্থির ভর,

$$m_0 = 30 \text{ kg}$$

আলোর বেগ,  $v = 0.7 c = 0.7 \times 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

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

চলন্ত অবস্থায় কাছিমের শক্তি,  $E_R = ?$

∴ চলন্ত অবস্থায় কাছিমের মোট শক্তি,

$$\begin{aligned} E_R &= mc^2 = 42 \times (0.7 \times 3 \times 10^8)^2 \\ &= 185.22 \times 10^{16} \text{ J} \end{aligned}$$

(খ) আমরা জানি,

$$s = vt$$

$$\therefore t = \frac{s}{v} = \frac{3.5 \times 10^{18}}{0.7 \times 3 \times 10^8}$$

$$\text{বা, } t = 1.667 \times 10^{10} \text{ s}$$

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

$$\therefore t_0 = t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 1.667 \times 10^{10} \times \sqrt{0.51} = 1.19 \times 10^{10} \text{ s} = 377.5 \text{ y}$$

যাত্রার পূর্বে কাছিমের বয়স  $t' = 50 \text{ y}$

কাছিমের বর্তমান বয়স  $= 377.5 \text{ y} + 50 \text{ y} = 427.5 \text{ y}$

কাছিমের গড় আয়ু  $= 450 \text{ y}$

যেহেতু কাছিমের গড় আয়ু কাছিমের বর্তমান বয়সের চেয়ে বেশি সেহেতু কাছিমটি জীবিত অবস্থায় ওই ধরে পৌছাতে সক্ষম হবে।

৭। করিম তার বন্ধু রহিমের সাথে আপেক্ষিক তত্ত্বের বিভিন্ন বিষয় নিয়ে আলোচনা করল। করিম বলল একজন মহাশূন্যচারী 30 বছর বয়সে  $2.5 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$  বেগে একটি রকেটে চড়ে নতুন শহরে 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 ক্রিয়ে আসলে আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে তার বয়স পৃথিবীর ক্যালেভার অনুযায়ী একই হবে কি-না—ব্যাখ্যা কর।

[রা. বো. ২০১৭]

(ক) আমরা জানি,

$$\begin{aligned} L &= L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \\ &= 80 \sqrt{1 - \frac{(2.5 \times 10^8)^2}{(3 \times 10^8)^2}} = 44.22 \text{ m} \end{aligned}$$

(খ) আমরা জানি,

$$\begin{aligned} t &= \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ \therefore t_0 &= t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \\ &= 50 \sqrt{1 - \frac{(2.5 \times 10^8)^2}{(3 \times 10^8)^2}} = 27.64 \text{ y} \end{aligned}$$

এই অনুসন্ধান শেষে পৃথিবীতে নভোচারীর বয়স,  $t_0 = (30 + 27.64) \text{ y} = 57.64 \text{ y}$

পৃথিবীর হিসাব অনুযায়ী বয়স  $t = (30 + 50) \text{ y} = 80 \text{ y}$

যেহেতু  $t_0 \neq t$ , সেহেতু আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে বয়স এবং পৃথিবীর ক্যালেভার অনুযায়ী বয়স একই হবে না।

এখানে,

$$1 \text{ আলোক বর্ষ} = 9.46 \times 10^{15} \text{ m}$$

$$\therefore 370 \text{ আলোক বর্ষ},$$

$$s = 370 \times 9.46 \times 10^{15}$$

$$= 3.5 \times 10^{18} \text{ m}$$

নভোচারীর বেগ,

$$v = 0.7 c = 0.7 \times 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$\text{নিচল সময়} = t$$

$$\text{গতিশীল সময়} = t_0$$

এখানে,

$$\text{গতিশীল রকেটের দৈর্ঘ্য} = L$$

$$\text{রকেটের বেগ}, v = 2.5 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

$$\text{রকেটের নিচল দৈর্ঘ্য}, L_0 = 80 \text{ m}$$

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

এখানে,

পৃথিবী থেকে নির্ণিত সময় ব্যবধান,

$$t = 50 \text{ y}$$

$$\text{রকেটের দূর্তি}, v = 2.5 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

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

$$\text{রকেটে নভোচারীর বয়স বৃদ্ধি}, t_0 = ?$$

৮। একটি তড়িৎ ক্ষরণ নলে X-ray উৎপাদনের জন্য  $12.4 \text{ kV}$  এবং আরেকবার  $24.8 \text{ kV}$  বিভব পার্শ্বক্ষ সরবরাহ করা হলো। এই যন্ত্রে ইলেক্ট্রনের গতিশক্তির  $0.3\%$  X-ray উৎপাদন করে।

(ক) ১ম ক্ষেত্রে ইলেক্ট্রনের সর্বোচ্চ বেগ নির্ণয় কর।

(খ) উদ্ধীপকে উৎপাদিত দুই ধরনের X-ray এর ক্ষেত্রে কোনটির তেদনযোগ্যতা বেশি হবে? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে দেখাও। [ক্. বো. ২০১৭]

(ক) আমরা জানি, ইলেক্ট্রনের সর্বোচ্চ বেগ  $v_{max}$ ,

$$\frac{1}{2}mv_{max}^2 = eV_0$$

$$\text{বা, } v_{max} = \sqrt{\frac{2eV_0}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 12.4 \times 10^3}{9.11 \times 10^{-31}}} \\ = 6.6 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$$

(খ) আমরা জানি,

২য় ক্ষেত্রে,

$$K'_{max} = eV_{01} \\ = 1.6 \times 10^{-19} \times 24.8 \times 10^3 \\ = 3.968 \times 10^{-15} \text{ J}$$

১ম ক্ষেত্রে,

$$K_{max} = eV_0 = 1.6 \times 10^{-19} \times 12.4 \times 10^3 \\ = 1.985 \times 10^{-15} \text{ J}$$

দেখা যাচ্ছে  $K'_{max} > K_{max}$ ; অতএব ২য় ক্ষেত্রের X-ray এর তেদনক্ষমতা বেশি হবে।

৯। ভৃগুঠে একটি রকেটের দৈর্ঘ্য  $10 \text{ m}$  এবং ভর  $5000 \text{ kg}$ । এটি ভৃগুঠের কোনো স্থির পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে  $3 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$  বেগে চলতে শুরু করল।

(ক) উদ্ধীপকের আলোকে রকেটের চলমান দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(খ) উদ্ধীপকের রকেটের বেগ হিঁগুণ করা হলে এর ভরের কীরুপ পরিবর্তন হবে—গাণিতিক বিশ্লেষণসহ ব্যাখ্যা কর। [দি. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি,

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

$$\therefore L = 10 \times \sqrt{1 - \left( \frac{3 \times 10^7}{3 \times 10^8} \right)^2} \\ = 10 \times \sqrt{1 - 0.01} = 10 \times 0.995 \\ = 9.95 \text{ m}$$

(খ) আমরা জানি,

$$m_1 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ = \frac{5000}{\sqrt{1 - \left( \frac{3 \times 10^7}{3 \times 10^8} \right)^2}} = \frac{5000}{0.995} \\ \approx 5025 \text{ kg}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} 1\text{ম ক্ষেত্র} \\ \text{বিভব পার্শ্বক্ষ}, V_0 &= 12.4 \text{ kV} \\ &= 12.4 \times 10^3 \text{ V} \\ \text{ইলেক্ট্রনের ভর}, m &= 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg} \\ \text{ইলেক্ট্রনের চার্জ}, e &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \end{aligned}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} 2\text{য ক্ষেত্র} \\ \text{বিভব পার্শ্বক্ষ}, V_{01} &= 24.8 \text{ kV} \\ &= 24.8 \times 10^3 \text{ V} \\ \text{ইলেক্ট্রনের ভর}, m &= 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg} \\ \text{ইলেক্ট্রনের চার্জ}, e &= 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \end{aligned}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} \text{রকেটের স্থির দৈর্ঘ্য}, L_0 &= 10 \text{ m} \\ \text{রকেটের বেগ}, v &= 3 \times 10^7 \text{ ms}^{-1} \\ \text{আলোর বেগ}, c &= 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} \\ \text{রকেটের চলমান দৈর্ঘ্য}, L &=? \end{aligned}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} \text{রকেটের স্থির ভর}, m_0 &= 5000 \text{ kg} \\ \text{প্রথম ক্ষেত্রে রকেটের বেগ}, \\ v &= 3 \times 10^7 \text{ ms}^{-1} \\ \text{একেত্রে চলমান ভর}, m_1 &=? \end{aligned}$$

এখন,

$$m_2 = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{5000}{\sqrt{1 - \left(\frac{6 \times 10^7}{3 \times 10^8}\right)^2}}$$

$$= \frac{5000}{0.9798} = 5103 \text{ kg}$$

গাণিতিক বিশ্লেষণ থেকে দেখা যায় যে রকেটের বেগ দিগুণ করলে রকেটের ভর  $(5103 - 5025) \text{ kg} = 78 \text{ kg}$  বৃদ্ধি পায়।

১০। পদাৰ্থবিজ্ঞান পৱীক্ষাগারে হাসান সাহেব  $1 \text{ m}$  দৈৰ্ঘ্যের ধাতব বস্তুৰ ঘনত্ব নিৰ্ণয় কৰলেন  $19.3 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ । অন্যদিকে লাবনী বস্তুটিৰ দৈৰ্ঘ্য বৰাবৰ  $0.9 c$  বেগে গতিশীল কাঠামো হতে বস্তুটিৰ ঘনত্ব নিৰ্ণয় কৰলেন।

(ক) গতিশীল কাঠামোতে ধাতব বস্তুটিৰ দৈৰ্ঘ্য নিৰ্ণয় কৰ।

(খ) হাসান সাহেব ও লাবনী ধাতব বস্তুটিৰ ঘনত্ব একই পাবে কী? গাণিতিকভাৱে বিশ্লেষণ কৰ।

[সি. বো. ২০১৬]

(ক) আমৰা জানি,

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

$$\therefore L = 1 \times \sqrt{1 - \left(\frac{0.9 c}{c}\right)^2}$$

$$= 1 \times \sqrt{1 - 0.81} = \sqrt{0.19} = 0.436 \text{ m}$$

সূতৰাঙ় গতিশীল কাঠামোতে বস্তুটিৰ দৈৰ্ঘ্য  $0.436 \text{ m}$

$$(খ) স্থিৰ ঘনত্ব, \rho_0 = \frac{M_0}{L_0^3}$$

এবং গতিশীল কাঠামো হতে ঘনত্ব, \rho = \frac{M}{L^3}

$$\therefore \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{\frac{M}{L^3}}{\frac{M_0}{L_0^3}} = \frac{ML_0^3}{M_0L^3} = \left(\frac{M}{M_0}\right) \times \left(\frac{L_0}{L}\right)^3$$

$$\text{আবার, } M = \frac{M_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\text{বা, } \frac{M}{M_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

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

$$\text{সূতৰাঙ়, } \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \times \frac{1}{\left(\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}\right)^2} = \frac{1}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}$$

$$= \frac{1}{\left\{1 - \left(\frac{0.9 c}{c}\right)^2\right\}} = \frac{1}{(1 - 0.81)} = \frac{1}{(0.19)^2} = \frac{1}{0.036}$$

$$\therefore \rho = \frac{\rho_0}{0.036} = \frac{19.3 \times 10^3}{0.036} = 536 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$

অর্ধাৎ গতিশীল কাঠামো থেকে বস্তুটিৰ ঘনত্ব বেশি হবে।

সূতৰাঙ়, হাসান সাহেব ও লাবনী বস্তুৰ ঘনত্ব একই পাবে না। লাবনী ঘনত্ব পাবে  $536 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ ।

এখনে,

দ্বিতীয় ক্ষেত্ৰে রকেটেৰ বেগ,

$$v_2 = 2v_1 = 2 \times 3 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$$

$$= 6 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$$

দ্বিতীয় ক্ষেত্ৰে ভৰ,  $m_2 = ?$

এখনে,

$$\text{দৈৰ্ঘ্য, } L_0 = 1 \text{ m}$$

$$\text{ঘনত্ব, } \rho_0 = 19.3 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\text{বেগ, } v = 0.9 c$$

$$\text{দৈৰ্ঘ্য, } L = ?$$

এখনে,

$$\rho_0 = 19.3 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$

$$v = 0.9 c$$

১১। একটি ইলেক্ট্রনের গতিশক্তি  $100 \text{ eV}$ ।

(ক) ইলেক্ট্রনটির ডি-ব্ৰগলি তরঙ্গাদৈৰ্ঘ্য কত?

(খ) কত বিভব পার্থক্যের মধ্য দিয়ে একটি ইলেক্ট্রনকে তুলাৰিত কৰা হলে ইলেক্ট্রনটির ডি-ব্ৰগলি তরঙ্গাদৈৰ্ঘ্য

$0.6 \text{ \AA}$  হবে। (দেওয়া আছে,  $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ,  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$ ,  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

(ক) ইলেক্ট্রনটির গতিশক্তি,

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

$$\text{বা, } m^2 v^2 = 2mE$$

$$\text{বা, } mv = \sqrt{2mE}$$

ইলেক্ট্রনটির ডি-ব্ৰগলি তরঙ্গাদৈৰ্ঘ্য,

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE}}$$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}}{\sqrt{2 \times 9.1 \times 10^{-31} \times 100 \times 1.6 \times 10^{-19}}}$$

$$= 1.23 \times 10^{-10} \text{ m} = 1.23 \text{ \AA}$$

(খ) আমরা জানি,  $\lambda' = \frac{h}{mv}$

$$\text{এবং } \frac{1}{2} mv^2 = eV$$

$$\therefore mv = \sqrt{2meV}$$

$$\therefore \lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$$

$$\text{বা, } \lambda^2 = \frac{h^2}{2meV} \quad \text{বা, } V = \frac{h^2}{\lambda^2 \cdot 2me}$$

$$\text{বা, } V = \left( \frac{h}{\lambda} \right)^2 \times \frac{1}{2me}$$

$$\therefore V = \left( \frac{6.63 \times 10^{-34}}{0.6 \times 10^{-10}} \right)^2 \times \frac{1}{2 \times 9.1 \times 10^{-31} \times 1.6 \times 10^{-19}}$$

$$= 419 \text{ V}$$

সুতৰাৎ, ইলেক্ট্রনটিকে  $419 \text{ V}$  বিভব পার্থক্যের মধ্য দিয়ে তুলাৰিত কৰা হলে ইলেক্ট্রনের ডি-ব্ৰগলি তরঙ্গাদৈৰ্ঘ্য  $0.6 \text{ \AA}$  হবে।

১২। কোনো ধাতব পদাৰ্থ হতে ইলেক্ট্রন নিঃসরণের জন্য এর ওপৱ  $2500 \text{ \AA}$  তরঙ্গাদৈৰ্ঘ্যের আলো কেলা হলো। ধাতুটিৰ কাৰ্য অপেক্ষক  $2.3 \text{ eV}$ । প্ল্যান্কেৰ ধৰণ  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$ ।

(ক) উদ্ধীপকে নিঃসৃত ফটো ইলেক্ট্রনের সৰ্বোচ্চ গতিবেগ কত হবে বেৱ কৰ।

(খ) উদ্ধীপকে বৰ্ণিত ধাতুৰ ওপৱ  $5897 \text{ \AA}$  তরঙ্গাদৈৰ্ঘ্যের আলো পতিত হলে ইলেক্ট্রন মুক্ত হবে কী? গাণিতিকভাৱে বিশ্লেষণ কৰে মতামত দাও।

(ক) ইলেক্ট্রনের সৰ্বোচ্চ বেগ  $v_{max}$  হলো,

আমরা জানি,

$$\frac{1}{2} mv_{max}^2 = h\nu - W_0 = \frac{hc}{\lambda} - W_0$$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2500 \times 10^{-10}} - 2.3 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$= \frac{6.63 \times 3 \times 10^{-34} \times 10^8 \times 10^7}{2.5} - 2.3 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$= 7.956 \times 10^{-19} - 3.68 \times 10^{-19}$$

$$= 4.276 \times 10^{-19} \text{ J}$$

এখনে,

$$E = 100 \text{ eV} = 100 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$\lambda' = 0.6 \text{ \AA}$$

ষ. বো. ২০১৬।

এখনে,

$$\text{কাৰ্য অপেক্ষক, } W_0 = 2.3 \text{ eV}$$

$$= 2.3 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{তরঙ্গাদৈৰ্ঘ্য, } \lambda = 2500 \text{ \AA}$$

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

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

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

$$m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$\therefore v_{max} = \sqrt{\frac{4.276 \times 2 \times 10^{-19}}{9.1 \times 10^{-31}}} \\ = 9.69 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$$

(খ) আবার,

$$E = hv = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\therefore E = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{5897 \times 10^{-10}}$$

$$= \frac{6.63 \times 3 \times 10^{-19}}{5.897} = 3.3729 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$= \frac{3.3729 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ eV} = 2.11 \text{ eV}$$

$\therefore E < W_0$ , অর্থাৎ আপত্তি আলোর শক্তি ধাতব পদার্থের কার্য অপেক্ষক অপেক্ষা কম বিধায় ধাতব পদার্থ হতে কোনো ইলেক্ট্রন নির্গত হবে না।

১৩। একটি বায়ুশূন্য নলে উভ্যত ক্যাথোড থেকে নির্গত ইলেক্ট্রনসমূহ অ্যানোড ও ক্যাথোডের মধ্যে প্রযুক্ত 500 V বিভব পার্থক্যের মধ্যে দিয়ে গমন করছে।

(ক) ইলেক্ট্রনগুলো কত বেগে অ্যানোডে আঘাত করবে ?

(খ) যদি অ্যানোডে বিভব 8 MV হয় তাহলে একই সূত্র ব্যবহার করে ইলেক্ট্রনের বেগ নির্ণয় কর। বেগের মান কী তুল ? কোন সূত্র ব্যবহার করে বেগ নির্ণয় করা যাবে ?

(ক) ধরা যাক, ইলেক্ট্রন  $v$  বেগে অ্যানোডে আঘাত করছে।

আমরা জানি, ইলেক্ট্রনের গতিশক্তি,

$$E = \frac{1}{2} m_e v^2 = eV$$

$$\text{বা, } v = \sqrt{\frac{2eV}{m_e}}$$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 500}{9.1 \times 10^{-31}}} \\ = 1.326 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$$

(খ) ধরা যাক, এক্ষেত্রে বেগ  $v'$ 

$$\text{অতএব, } v' = \sqrt{\frac{2eV'}{m_e}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 8 \times 10^6}{9.1 \times 10^{-31}}} \\ = 1.677 \times 10^9 \text{ ms}^{-1}$$

$$\therefore v' > c \quad (c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})$$

স্পষ্টতই এটি ভুল। কেননা কোনো বস্তুই আলোর বেগের চেয়ে বেশি বেগে গতিশীল হতে পারে না। উপরের ব্যবহৃত সূত্র  $\frac{1}{2} mv^2$  প্রযোজ্য হয় যখন  $\frac{v}{c} \ll 1$  হয়।  $\frac{v}{c}$  এর মান 1 এর সঙ্গে তুলনীয় হলে আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতা সূত্র ব্যবহার করতে হয়।

এখানে,

$$\lambda = 5897 \text{ Å} = 5897 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$E = ?$$

এখানে,

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$V = 500 \text{ V}$$

এখানে,

$$V' = 8 \text{ MV}$$

$$= 8 \times 10^6 \text{ V}$$

১৪। দস্তাব কাৰ্য অপেক্ষক  $3.7 \text{ eV}$ । দস্তাব সূচন কম্পাঙ্ক  $9 \times 10^{14} \text{ Hz}$ ।

(ক) প্ল্যাজ্মের শ্রবক নিৰ্ণয় কৰ।

(খ) নিচে কৱয়েকটি আলোক সংবেদী ধাতুৰ কাৰ্য অপেক্ষক দেওয়া আছে :

$$\text{Na} \quad — \quad 1.92 \text{ eV}$$

$$\text{K} \quad — \quad 2.15 \text{ eV}$$

$$\text{Mo} \quad — \quad 4.17 \text{ eV}$$

যদি প্রত্যেকটি ধাতুকে  $300 \text{ nm}$  তরঙ্গাবৈৰ্দ্ধেৰ আলোক হাৰা আলোকিত কৰা হয় তবে তাদেৱ মধ্য হতে কোনটি ফটো-ইলেকট্ৰন নিঃসৱণ কৰবে না এবং কেন ? গাপতিক বিশ্লেষণেৰ মাধ্যমে ঘতাঘত দাও।

(ক) আমৰা জানি, কাৰ্য অপেক্ষক

$$\varphi_0 = h\nu$$

$$\text{বা, } h = \frac{\varphi_0}{\nu}$$

$$\therefore h = \frac{3.7 \times 1.6 \times 10^{-19}}{9 \times 10^{14}} = 6.6 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

অতএব, প্ল্যাজ্মের শ্রবক  $6.6 \times 10^{-34} \text{ Js}$

(খ) আপত্তি বিক্ৰিণেৰ ফোটনেৰ শক্তি,

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

$$\therefore E = \frac{6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{300 \times 10^{-9}} = 6.4 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$= \frac{6.4 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 4.12 \text{ eV}$$

এই শক্তিৰ পৱিমাণ  $M_0$ -এৰ কাৰ্য অপেক্ষক অপেক্ষা কম। সুতৰাং,  $M_0$  থেকে কোনো ফটো ইলেকট্ৰন নিঃসারিত হবে না।

১৫। একটি লেজাৰ  $5.8 \times 10^{14} \text{ Hz}$  কম্পাঙ্কেৰ একবৰ্ণী আলোকৰশ্মি উৎপন্ন কৰে যাৰ ক্ষমতা  $8 \times 10^{-3} \text{ W}$ ।

(ক) আলোকৰশ্মিৰ একটি ফোটনেৰ শক্তি কত ?

(খ) উৎস থেকে প্ৰতি সেকেন্ডে গড়ে কতগুলো ফোটন নিৰ্গত হয় বেৱ কৰ।

(ক) আমৰা জানি, প্ৰতিটি ফোটনেৰ শক্তি,

$$E = h\nu$$

$$\therefore E = 6.63 \times 10^{-34} \times 5.8 \times 10^{14}$$

$$= 3.845 \times 10^{-19} \text{ J}$$

(খ) ধৰা যাক প্ৰতি সেকেন্ডে  $N$  সংখ্যক ফোটন নিৰ্গত হয়।

এখন ক্ষমতা,  $P = NE$

$$\text{বা, } N = \frac{P}{E}$$

$$\therefore N = \frac{8 \times 10^{-3}}{3.845 \times 10^{-19}} = 2.08 \times 10^{16}$$

সুতৰাং, উৎস থেকে গড়ে প্ৰতি সেকেন্ডে  $2.08 \times 10^{16}$  টি ফোটন নিৰ্গত হয়।

এখনে,

$$\varphi_0 = 3.7 \text{ eV} = 3.7 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\nu = 9 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

এখনে,

$$h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

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

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

এখনে,

$$\nu = 5.8 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

এখনে,

$$P = 8 \times 10^{-3} \text{ W}$$

$$E = 3.845 \times 10^{-19} \text{ J}$$

১৬। 300 K তাপমাত্রায় তাপীয় নিউটনের মূল গড় বৰ্গ বেগের সংশ্লিষ্ট ডি ব্ৰগলি তৱজ্জ্বাদৈৰ্ঘ্য নিৰ্ণয় কৰ। তুমি কী এটি অবেক্ষণ (detect) কৰতে পাৰবে? ( $m_n = 1.676 \times 10^{-27} \text{ kg}$ )

আমৱা জানি,

$$c_{rms} = \sqrt{\frac{3KT}{m_n}}$$

$$\therefore c_{rms} = \sqrt{\frac{3 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300}{1.676 \times 10^{-27}}}$$

$$= 2.72 \times 10^3 \text{ ms}^{-1}$$

এখন, ডি-ব্ৰগলি তৱজ্জ্বাদৈৰ্ঘ্য,

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

$$\therefore \lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{1.676 \times 10^{-27} \times 2.72 \times 10^3}$$

$$= 1.453 \times 10^{-10} \text{ m} = 1.453 \text{ \AA}$$

এই তৱজ্জ্বাদৈৰ্ঘ্য তড়িচূম্বকীয় বৰ্ণালিৰ X-ৱশি অঞ্চলেৰ অন্তৰ্ভুক্ত। সূতৰাং কেলাসেৰ মধ্য দিয়ে নিউটনেৰ অপৰ্বতন দ্বাৰা অবেক্ষণ কৰা যাবে।

১৭। একটি ইলেক্ট্ৰন  $6.5 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$  বেগে গতিশীল।

(ক) ইলেক্ট্ৰনটিৰ সাথে জড়িত ডি ব্ৰগলি তৱজ্জ্বাদৈৰ্ঘ্য কত হবে?

(খ) একটি কণা একটি ইলেক্ট্ৰনেৰ 3 গুণ বেগে গতিশীল। কণাটিৰ এবং ইলেক্ট্ৰনেৰ ডি ব্ৰগলি তৱজ্জ্বাদৈৰ্ঘ্যেৰ অনুপাত  $1.813 \times 10^{-4}$ । কণাটিৰ ভৱ নিৰ্ণয় কৰে কণাটি শনাক্ত কৰা যাবে কী?

(ক) আমৱা জানি,

$$p = mv = 9.11 \times 10^{-31} \times 6.5 \times 10^6$$

$$= 5.9 \times 10^{-24} \text{ kgms}^{-1}$$

আবাৰ, ডি ব্ৰগলি তৱজ্জ্বাদৈৰ্ঘ্য,

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

$$\therefore \lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{5.9 \times 10^{-24}}$$

$$= 1.124 \times 10^{-10} \text{ m}$$

(খ) ধৰা যাক, কণাটিৰ ভৱ =  $m$ , কণাটি  $v$  বেগে গতিশীল হলে ডি ব্ৰগলি তৱজ্জ্বাদৈৰ্ঘ্য,

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

$$\therefore m = \frac{h}{\lambda v} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \quad \quad (i)$$

এবং ইলেক্ট্ৰনেৰ ভৱ,

$$m_e = \frac{h}{\lambda_e v_e} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \quad \quad (ii)$$

প্ৰয়ানুসাৰে,  $\frac{v}{v_e} = 3$  এবং  $\frac{\lambda}{\lambda_e} = 1.813 \times 10^{-4}$

সমীকৰণ (i) কে সমীকৰণ (ii) দ্বাৰা ভাগ কৰে পাই,

$$\frac{m}{m_e} = \frac{\lambda_e v_e}{\lambda v} = \left( \frac{\lambda_e}{\lambda} \right) \left( \frac{v_e}{v} \right)$$

এখনে,

$$m_n = 1.676 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$K = 1.38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$$

$$T = 300 \text{ K}$$

$$\therefore m = m_e \left( \frac{\lambda_r}{\lambda} \right) \left( \frac{v_r}{v} \right)$$

$$= \frac{9.11 \times 10^{-31}}{1.813 \times 10^{-4}} \times \frac{1}{3} = 1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

এই ভর নিউটনের ভর। সূতরাং কণাটি নিউটন।

১৮। একটি ধাতু থেকে আলোক তড়িৎ নিঃসরণের প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য  $3800 \text{ \AA}$ । ওই ধাতুর ওপর  $2600 \text{ \AA}$  তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অভিবেগনি আলো ফেলা হলো।

(ক) ওই ধাতুর কার্য অপেক্ষক নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের ধাতুর কার্য অপেক্ষক যদি  $4.4 \text{ eV}$  হয় তবে ওই ধাতুর ওপর দৃশ্যমান আলো ফেলা হলে কটো ইলেক্ট্রন নিঃস্ত হবে কী? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে মতামত দাও।

(ক) আমরা জানি, ধাতুর কার্য অপেক্ষক,

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

$$\therefore W_0 = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{3800 \times 10^{-10}}$$

$$= 5.23 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$= \frac{5.23 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 3.27 \text{ eV}$$

এখানে,

প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$$\lambda_0 = 3800 \text{ \AA} = 3800 \times 10^{-10} \text{ m}$$

আপত্তি বেগনি আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$$\lambda = 2600 \text{ \AA} = 2600 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

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

$$W_0 = 4.4 \text{ eV} = 4.4 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

(খ) দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্শ্ব  $4000 \text{ \AA}$  থেকে  $7500 \text{ \AA}$ ।

এখন, সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য  $\lambda_0$  হলে কার্য অপেক্ষক,

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

$$\therefore \lambda_0 = \frac{hc}{W_0} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{4.4 \times 1.6 \times 10^{-19}}$$

$$= 2.82 \times 10^{-7} \text{ m} = 2820 \times 10^{-10} \text{ m} = 2820 \text{ \AA}$$

স্পষ্টত এই তরঙ্গদৈর্ঘ্য দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা অনেক কম। তাই এক্ষেত্রে আলোক তড়িৎ নিঃসরণ ঘটবে না।

১৯।  $4000 \text{ \AA}$  তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো Na পৃষ্ঠে আপত্তি হলে কটো ইলেক্ট্রন নিগত হয়। কটো ইলেক্ট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি পাওয়া যায়  $0.4 \text{ eV}$ ।

(ক) এই ইলেক্ট্রনকে ধামাতে হলে Na পাতে কত মানের নিবৃত্তি বিভব প্রয়োগ করতে হবে?

(খ) গাণিতিক যুক্তির সাহায্যে ব্যাখ্যা কর যে, সোডিয়াম পাতের ওপর আপত্তি আলোর কম্পাঙ্ক একটি নির্দিষ্ট মানের চেয়ে কম হলে কোনো ইলেক্ট্রন নির্গত হবে না। [দি. বো. ২০১৫]

(ক) আমরা জানি,

$$eV_0 = K_{max}$$

$$\therefore eV_0 = E - \phi$$

$$V_0 = \frac{K_{max}}{e}$$

$$\therefore V_0 = \frac{0.4 \times 1.6 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 0.4 \text{ V}$$

এখানে,

$$K_{max} = 0.4 \text{ eV} = 0.4 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$V_0 = ?$$

(খ) সোডিয়াম পাতের ওপৰ আপত্তি আলোৰ কম্পাঙ্গ সোডিয়াম সূচন কম্পাঙ্গেৰ চেয়ে কম হলে কোনো ইলেক্ট্ৰন নিৰ্গত হবে না।

আমৰা জানি,

$$\begin{aligned} K_{max} &= hv - hv_0 \\ \therefore hv_0 &= hv - K_{max} \\ v_0 &= \frac{c}{\lambda} - \frac{K_{max}}{h} \\ &= \frac{3 \times 10^8}{4000 \times 10^{-10}} - \frac{0.4 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.6 \times 10^{-34}} \\ &= 7.5 \times 10^{14} - 0.965 \times 10^{14} \\ &= 6.535 \times 10^{14} \text{ Hz} \end{aligned}$$

এখনে,

$$\lambda = 4000 \text{ Å} = 4000 \times 10^{-10} \text{ m}$$

অৰ্ধাৎ আপত্তি আলোৰ কম্পাঙ্গ  $6.535 \times 10^{14}$  Hz এৰ কম হলে কোনো ইলেক্ট্ৰন নিৰ্গত হবে না।

২০। দৃঢ় ইলেক্ট্ৰন যথাক্ষমে  $0.866 c$  এবং  $0.99 c$  বেগে গতিশীল। ইলেক্ট্ৰনেৰ নিচল ভৱ  $9.1 \times 10^{-31}$  kg।

(ক) প্ৰথম ইলেক্ট্ৰনেৰ গতিশীল ভৱ নিৰ্ণয় কৰ।

(খ) প্ৰথম ইলেক্ট্ৰনেৰ আপেক্ষিকতাৱ গতিশক্তি দ্বিতীয় ইলেক্ট্ৰনেৰ চেয়ে কম—গাণিতিক বিশ্লেষণেৰ মাধ্যমে প্ৰমাণ কৰ। [চ. ৰো. ২০১৭]

(ক) ধৰা যাক, প্ৰথম ইলেক্ট্ৰনেৰ গতিশীল ভৱ  $= m_1$

আমৰা জানি,

$$\begin{aligned} m_1 &= \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ \therefore m_1 &= \frac{9.1 \times 10^{-31}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.866 c}{c}\right)^2}} \\ &= \frac{9.1 \times 10^{-31}}{0.5} \\ &= 18.2 \times 10^{-31} \text{ kg} \end{aligned}$$

সূত্ৰাং নিৰ্ণয় গতিশীল ভৱ  $18.2 \times 10^{-31}$  kg

(খ) ধৰা যাক,

প্ৰথম ইলেক্ট্ৰনেৰ আপেক্ষিকতাৱ গতিশক্তি  $E_1$  এবং

দ্বিতীয় ইলেক্ট্ৰনেৰ আপেক্ষিকতাৱ গতিশক্তি  $E_2$ ।

আমৰা জানি,

$$\begin{aligned} E_1 &= \frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}}} \times v_1^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 18.2 \times 10^{-31} \times (0.866 c)^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 18.2 \times 10^{-31} \times (0.866 \times 3 \times 10^8)^2 \\ &= 9.1 \times 10^{-31} \times 6.7496 \times 10^{16} \\ &= 61.4 \times 10^{-15} \text{ J} \end{aligned}$$

$$\text{এবং } E_2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}} \times (0.99 c)^2 \\ = \frac{1}{2} \frac{9.1 \times 10^{-31}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.99 c}{c}\right)^2}} \times (0.99 \times 3 \times 10^8)^2 \\ = \frac{1}{2} \times 64.5 \times 8.82 \times 10^{-15} = 284.4 \times 10^{-15} \text{ J}$$

$\therefore E_2 > E_1$ , অৰ্থাৎ প্ৰথম ইলেকট্ৰনের আপেক্ষিকতাৰ গতিশক্তি দ্বিতীয় ইলেকট্ৰনেৰ আপেক্ষিকতাৰ গতিশক্তিৰ চেয়ে কম।

২১। 190 nm তরঙ্গাবৈৰ্যেৰ আলোৰ সাহায্যে কোনো ধাতু থেকে ইলেকট্ৰন নিঃসৱণ ঘটানো হলো। ধাতুৰ কাৰ্য অপেক্ষক  $3 \text{ eV}$ ।

(ক) নিঃসৃত ইলেকট্ৰনেৰ সৰ্বাধিক গতিশক্তি কত?

(খ) নিঃসৃত ইলেকট্ৰনেৰ সৰ্বোচ্চ গতিবেগ, ধাতবপৃষ্ঠেৰ সমান্তৰাল  $6 \times 10^{-5} \text{ T}$  প্ৰাবল্যেৰ চৌম্বক ক্ষেত্ৰ প্ৰয়োগ কৰলে ধাতবপৃষ্ঠ থেকে সমকোণে নিঃসৃত সৰ্বোচ্চ গতিবেগেৰ ইলেকট্ৰনেৰ গতিপথেৰ ব্যাসাৰ্ধ কত?

(ক) আমুৱা জানি, ইলেকট্ৰনেৰ সৰ্বাধিক গতিশক্তি,

$$\frac{1}{2} m v_{max}^2 = \frac{h_c}{\lambda} - W_0 \\ = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{190 \times 10^{-9}} - 3 \times 1.6 \times 10^{-19} \\ = 10.47 \times 10^{-19} - 4.8 \times 10^{-19} \\ = 5.67 \times 10^{-19} \text{ J}$$

এখনে,

$$\lambda = 190 \text{ nm} = 190 \times 10^{-9} \text{ m} \\ W_0 = 3 \text{ eV} = 3 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} \\ B = 6 \times 10^{-5} \text{ T}$$

$$(খ) এখন, v_{max} = \sqrt{\frac{2 \times 5.67 \times 10^{-19}}{9.1 \times 10^{-31}}} = 1.11 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$$

যদি ইলেকট্ৰনেৰ ঘূৰ্ণন গতিৰ ব্যাসাৰ্ধ  $r$  হয় তবে,

$$\frac{mv_{max}^2}{r} = Bev_{max} \\ \text{বা, } r = \frac{mv_{max}}{Be} \\ \therefore r = \frac{9.1 \times 10^{-31} \times 1.11 \times 10^6}{6 \times 10^{-5} \times 1.6 \times 10^{-19}} \\ = \frac{9.1 \times 1.11 \times 10^{-1}}{6 \times 1.6} = 0.105 \text{ m}$$

২২। আলম সিজিয়াম ধাতুৰ পাতে  $4 \times 10^{-7} \text{ m}$  তরঙ্গাবৈৰ্যেৰ আলো আপত্তি কৰে ফটো তড়িৎ ক্ৰিয়াৰ পৱীক্ষণ পৱিচালনা কৰছে। সে নিবৃত্তি বিভৱেৰ মান পেল  $2 \text{ V}$ , পৱৰ্তীতে সে  $6.8 \times 10^{-7} \text{ m}$  তরঙ্গাবৈৰ্যেৰ লাল আলো ব্যবহাৰ কৰে। ইলেকট্ৰনেৰ ভৱ  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ । [কু. ৰো. ২০১৬]

(ক) ফটো ইলেকট্ৰনেৰ সৰ্বোচ্চ গতিবেগ নিৰ্ণয় কৰ।

(খ) লাল আলো ব্যবহাৰ কৰলে ফটো তড়িৎ প্ৰবাহ ঘটবে কিনা ব্যাখ্যা কৰ।

(ক) আমুৱা জানি,

$$\frac{1}{2} m v_{max}^2 = eV_0 \\ v_{max}^2 = \frac{eV_0 \times 2}{m} = \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 2 \times 2}{9.1 \times 10^{-31}}$$

$$\text{বা, } v_{max}^2 = 7.0329 \times 10^{11} \text{ m}^2 \text{s}^{-2}$$

$$\text{বা, } v_{max} = 8.386 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$$

এখনে,

$$\text{নিবৃত্তি বিভৱ, } V_0 = 2 \text{ V} \\ \text{ইলেকট্ৰন ভৱ, } m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \\ \text{ইলেকট্ৰনেৰ সৰ্বোচ্চ বেগ, } v_{max} = ?$$

(খ) আমরা জানি,

আপত্তি ফোটনের শক্তি,

$$E = h \frac{c}{\lambda} = 6.63 \times 10^{-34} \times \frac{3 \times 10^8}{4 \times 10^{-7}} \\ = 4.973 \times 10^{-19} \text{ J}$$

কার্য অপেক্ষক,

$$W = E - eV_0 \\ = 4.973 \times 10^{-19} - 1.6 \times 10^{-19} \times 2 \\ = 1.773 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{লাল বর্ণের ফোটনের শক্তি}, E_r = h \frac{c}{\lambda} = 6.63 \times 10^{-34} \frac{3 \times 10^8}{6.8 \times 10^{-7}} \\ = 2.925 \times 10^{-19} \text{ J}$$

যেহেতু  $E_r > W$ , সূতৰাং লাল আলো ব্যবহার করলে ফটো তড়িৎ প্রবাহ ঘটবে।

২৩। ফটো তড়িৎ উদ্দীপকের পর্যবেক্ষণের জন্য মিথিলা পটাসিয়াম ধাতুর ওপর উপযুক্ত কম্পাঙ্গের একটি আলো আপত্তি করল। পটাসিয়াম পৃষ্ঠা হতে যে ইলেক্ট্রন নির্গত হলো তার গতিশক্তি  $1.4 \text{ eV}$ । পটাসিয়ামের কার্যাপেক্ষক হলো  $2.0 \text{ eV}$ । নাবিলা  $10 \text{ kV}$  বিভব পার্কেয়ের একটি ইলেক্ট্রনকে গতিশীল করল।

(ক) উদ্দীপকের পটাসিয়ামের ওপর আপত্তি আলোর তরঙ্গাদৈর্ঘ্য কত ছিল?

(খ) উদ্দীপকের উভয় ইলেক্ট্রনের গতিবেগ একই ছিল কী? —গাণিতিক বিশ্লেষণ এবং তোমার মতামত দাও।

[ব. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি,

$$K_{max} = hv - W_0 \\ \therefore hv = K_{max} + W_0 \\ \text{বা, } h \frac{c}{\lambda} = 1.4 \times 1.6 \times 10^{-19} + 2 \times 1.6 \times 10^{-19} \\ \frac{hc}{\lambda} = 5.44 \times 10^{-19} \\ \therefore \lambda = \frac{hc}{5.44 \times 10^{-19}} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{5.44 \times 10^{-19}} \\ = 3.656 \times 10^{-7} \text{ m}$$

(খ) মিথিলার ইলেক্ট্রনের গতিশক্তি,  $K_{max} = 1.4 \text{ eV} = 1.4 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$

নাবিলার ইলেক্ট্রনের বিভব পার্ক,  $V_0 = 10 \text{ kV} = 10 \times 10^3 \text{ V}$

মিথিলার ইলেক্ট্রনের গতিবেগ  $v_m$  এবং নাবিলার ইলেক্ট্রনের গতিবেগ  $v_n$  হলে এবং ইলেক্ট্রনের ভর,  $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ , ইলেক্ট্রনের চার্জ,  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ coul}$

$$\therefore K_{max} = \frac{1}{2} mv_m^2$$

$$v_m = \sqrt{\frac{2K_{max}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.4 \times 1.6 \times 10^{-19}}{9.1 \times 10^{-31}}} \\ = 701.64 \times 10^3 \text{ ms}^{-1}$$

নাবিলার ক্ষেত্রে,

$$K_{max} = eV_0 = \frac{1}{2} mv_n^2 = eV_0$$

$$v_n = \sqrt{\frac{2eV_0}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 10 \times 10^3}{9.1 \times 10^{-31}}} \\ = 59.3 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$$

অতএব উদ্দীপকের উভয় ইলেক্ট্রনের গতিবেগ একই ছিল না,  $v_n > v_m$ ।

এখানে,

আপত্তি ফোটনের তরঙ্গাদৈর্ঘ্য,

$$\lambda = 4 \times 10^{-7} \text{ m}$$

নিরুৎসি বিভব,  $V_0 = 2 \text{ V}$

প্লাঙ্কের ধূবক,  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$

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

লাল আলোর তরঙ্গাদৈর্ঘ্য,

$$\lambda_r = 6.8 \times 10^{-7} \text{ m}$$

২৪। (ক) একটি  $100 \text{ MeV}$  কোটনেৱেৰ কম্পাক্ষ এবং তরঙ্গাবৈৰ্য্য নিৰ্ণয় কৰ।

(খ)  $2 \text{ kg}$  ভৱেৱ একটি কণা  $100 \text{ ms}^{-1}$  বেগে গতিশীল। কণাটিৱ সাথে সংশ্লিষ্ট তরঙ্গেৱ তরঙ্গাবৈৰ্য্য কত?

(ক) আমৰা জানি,

$$\begin{aligned} E &= h\nu \\ \therefore \nu &= \frac{E}{h} = \frac{100 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} \\ &= 2.41 \times 10^{22} \text{ Hz} \end{aligned}$$

আবার,

$$\begin{aligned} c &= \nu\lambda \\ \therefore \lambda &= \frac{c}{\nu} = \frac{3 \times 10^8}{2.41 \times 10^{22}} = 1.24 \times 10^{-14} \text{ m} \end{aligned}$$

(খ) আমৰা জানি,

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{2 \times 100} = 3.315 \times 10^{-36} \text{ m}$$

২৫। কোনো পৱনাগুৱ দুটি ইলেক্ট্ৰনেৱ বেগ যথাক্রমে  $0.90c$  এবং  $0.99c$ । এখানে  $c$  হলো আলোৱ বেগ এবং ইলেক্ট্ৰনেৱ মিথিৱ ভৱ  $9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ।

(ক) মিতীয় ইলেক্ট্ৰনটিৱ গতিশীল তর নিৰ্ণয় কৰ।

(খ) উজ্জীপকেৱ কোন ইলেক্ট্ৰনেৱ আপেক্ষিক গতিশক্তি বেশি হবে? গাণিতিকভাৱে যাচাইপূৰ্বক মন্তব্য কৰ।

[ব. বো. ২০১১]

(ক) ২য় ইলেক্ট্ৰনটিৱ বেগ,  $v_2 = 0.99c$

আমৰা জানি, আপেক্ষিক ভৱ,

$$\begin{aligned} m_2 &= \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}} \\ \therefore m_2 &= \frac{9.1 \times 10^{-31}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.99c}{c}\right)^2}} \\ &= \frac{9.1 \times 10^{-31}}{0.141} = 64.54 \times 10^{-31} \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\text{খ}) \quad m_1 &= \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}}} = \frac{9.1 \times 10^{-31}}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.9c}{c}\right)^2}} \\ &= \frac{9.1 \times 10^{-31}}{0.436} \\ &= 20.87 \times 10^{-31} \text{ kg} \end{aligned}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} m_0 &= 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \\ v_1 &= 0.90c \\ v_2 &= 0.99c \\ c &= 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} \end{aligned}$$

এখন, ১ম ইলেক্ট্ৰনেৱ আপেক্ষিক গতিশক্তি,

$$\begin{aligned} E_1 &= (m_1 - m_0)c^2 = (20.87 - 9.1) \times 10^{-31} \times (3 \times 10^8)^2 \\ &= 11.77 \times 9 \times 10^{-31} \times 10^{16} = 105.9 \times 10^{-15} \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{এবং } E_2 &= (m_2 - m_0)c^2 = (64.54 - 9.1) \times 10^{-31} \times 9 \times 10^{16} \\ &= 498.96 \times 10^{-15} \text{ J} \end{aligned}$$

সূতৰাঙ,  $E_2 > E_1$  অৰ্থাৎ ২য় ইলেক্ট্ৰনেৱ আপেক্ষিক গতিশক্তি ১ম ইলেক্ট্ৰনেৱ আপেক্ষিক গতিশক্তিৰ চেয়ে বেশি।

২৬। একখন্দ ধাতুর ওপর  $2800\text{ \AA}$  তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের এবং  $5.55 \times 10^{14}\text{ Hz}$  সূচন কম্পাঙ্কের আলো পতিত হলে ধাতু থেকে ফটোইলেক্ট্রন নির্গত হয়।

- (ক) নির্গত ফটোইলেক্ট্রনের সর্বোচ্চ গতিবেগ নির্ণয় কর।  
 (খ) ধাতু খণ্ডের ওপর  $3800\text{ \AA}$  তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের আলো আপত্তি হলে ইলেক্ট্রন নির্গত হবে কি না? গাণিতিক-তাবে বিশ্লেষণ কর।

[দি. বো. ২০১৯]

- (ক) আমরা জানি, কার্য অপেক্ষক,

$$\begin{aligned} W_0 &= h\nu_0 \\ &= 6.63 \times 10^{-34} \times 5.55 \times 10^{14} \\ &= 3.68 \times 10^{-19} \text{ J} \\ &= \frac{3.68 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} \text{ eV} \\ &= 2.3 \text{ eV} \end{aligned}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} \lambda &= 2800\text{ \AA} = 2800 \times 10^{-10} \text{ m} \\ \nu_0 &= 5.55 \times 10^{14} \text{ Hz} \\ h &= 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js} \end{aligned}$$

এখন, সর্বোচ্চ গতিবেগ,

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}mv_{max}^2 &= h\nu - W_0 = \frac{hc}{\lambda} - W_0 = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2800 \times 10^{-10}} - 3.68 \times 10^{-19} \\ \text{বা, } \frac{1}{2}mv_{max}^2 &= 7.10 \times 10^{-19} - 3.68 \times 10^{-19} = 3.42 \times 10^{-19} \\ \text{বা, } v_{max}^2 &= \frac{2 \times 3.42 \times 10^{-19}}{9.1 \times 10^{-31}} = 75 \times 10^{10} \\ \therefore v_{max} &= \sqrt{75 \times 10^{10}} = 8.66 \times 10^5 \text{ ms}^{-1} \end{aligned}$$

(খ) এখানে,  $\lambda = 3800\text{ \AA} = 3800 \times 10^{-10} \text{ m}$ 

প্রারম্ভ তরঙ্গাদৈর্ঘ্য,

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= \frac{c}{\nu_0} = \frac{3 \times 10^8}{5.55 \times 10^{14}} = \frac{3 \times 10^8 \times 10^{-14}}{5.55} \\ &= 5405 \times 10^{-10} \text{ m} \\ &= 5405 \text{ \AA} \end{aligned}$$

যেহেতু আপত্তি আলোর তরঙ্গাদৈর্ঘ্য  $3800\text{ \AA}$  প্রারম্ভ তরঙ্গাদৈর্ঘ্য  $5405\text{ \AA}$ -এর চেয়ে কম, সূতরাং ধাতু থেকে ফটোইলেক্ট্রন নির্গত হবে।

২৭। কাহিম পদার্থবিজ্ঞানের একজন ছাত্র। তিনি পর্যায়ক্রমে  $4 \times 10^{-7} \text{ m}$  ও  $7.8 \times 10^{-7} \text{ m}$  তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের আলোক রশ্মি ব্যবহার করে ফটোইলেক্ট্রন নির্গমন পরীক্ষা সম্পন্ন করলেন। তার পরীক্ষায় ব্যবহৃত ধাতুর কার্য অপেক্ষক  $2.3 \text{ eV}$ । [দেওয়া আছে,  $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ ,  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$ ,  $c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ ]

- (ক) ব্যবহৃত ধাতুর ক্ষেত্রে সূচন কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।  
 (খ) উচ্চিপকে বর্ণিত উভয় ক্ষেত্রে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া সংবচ্চিত হবে কি না? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে তোমার মতান্তর দাও।

[রা. বো. ২০১৯]

- (ক) আমরা জানি, সূচন কম্পাঙ্ক,

$$\begin{aligned} \nu_0 &= \frac{W_0}{h} \\ \therefore \nu_0 &= \frac{2.3 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}} \\ &= 5.55 \times 10^{14} \text{ Hz} \end{aligned}$$

এখানে,

$$\begin{aligned} W_0 &= 2.3 \text{ eV} = 2.3 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} \\ h &= 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \\ c &= 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} \\ \lambda_1 &= 4 \times 10^{-7} \text{ m} \\ \lambda_2 &= 7.8 \times 10^{-7} \text{ m} \end{aligned}$$

(খ) আবার, প্রারম্ভ তরঙ্গাদৈর্ঘ্য,

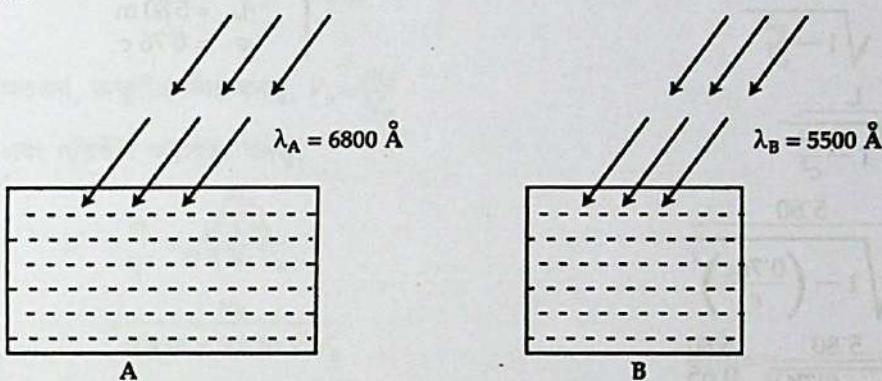
$$\lambda_0 = \frac{hc}{W_0}$$

$$\therefore \lambda_0 = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2.1 \times 1.6 \times 10^{-19}}$$

$$= 5.40 \times 10^{-7} \text{ m}$$

এই তরঙ্গাদৈর্ঘ্য  $4 \times 10^{-7} \text{ m}$  এর চেয়ে বেশি এবং  $7.8 \times 10^{-7} \text{ m}$  তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের চেয়ে কম। এখানে, ১ম ক্ষেত্রে তরঙ্গাদৈর্ঘ্যে প্রারম্ভ তরঙ্গাদৈর্ঘ্য অপেক্ষা কম, সূতরাং এই তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের জন্য আলোক তড়িৎ ক্রিয়া সংঘটিত হবে। কিন্তু ২য় ক্ষেত্রে তরঙ্গাদৈর্ঘ্য প্রারম্ভ তরঙ্গের চেয়ে বেশি হওয়ায় আলোক তড়িৎ ক্রিয়া সংঘটিত হবে না।

২৮।



চিত্রে A ও B দুটি ধাতব পাত। পাত দুটির কার্য অপেক্ষক  $W_A$  এবং  $W_B$  যথাক্রমে  $2.1 \text{ eV}$  এবং  $2.0 \text{ eV}$ । আলোক উৎস থেকে যথাক্রমে  $6800 \text{ \AA}$  এবং  $5500 \text{ \AA}$  তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের আলোকরশ্মি আগতিত হয়।

(ক) B ধাতব পাতের সূচন কম্পাঙ্গক কত?

(খ) উদ্দীপকে A ও B উভয় পাতে ফটোতড়িৎ ক্রিয়া সংঘটিত হবে কি না—গাণিতিকভাবে মতান্তর দাও।

[য. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি,

$W = h\nu_0$ , এখানে  $\nu_0$  সূচন কম্পাঙ্গক  
সূতরাং B পাতের সূচন কম্পাঙ্গক,

$$W_B = h\nu_{0B}$$

$$\text{বা, } \nu_{0B} = \frac{W_B}{h} = \frac{2.0 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.63 \times 10^{-34}}$$

$$= 4.83 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

(খ) A পাতের কার্যঅপেক্ষক,  $W_A$ । অতএব, প্রারম্ভ তরঙ্গাদৈর্ঘ্য,

$$\lambda_A = \frac{hc}{W_A}$$

$$\therefore \lambda_A = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2.1 \times 1.6 \times 10^{-19}}$$

$$= 5.92 \times 10^{-7} \text{ m} = 5920 \text{ \AA}$$

এখানে, আগতিত আলোর তরঙ্গাদৈর্ঘ্য  $6800 \text{ \AA}$  যা প্রারম্ভ তরঙ্গাদৈর্ঘ্য অপেক্ষা বেশি। তাই, এক্ষেত্রে ফটো তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন করবে না।

B পাতের ক্ষেত্রে প্রারম্ভ তরঙ্গাদৈর্ঘ্য,

$$\lambda_B = \frac{hc}{W_B} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2.0 \times 1.6 \times 10^{-19}}$$

$$= 6.216 \times 10^{-7} \text{ m} = 6216 \text{ \AA}$$

এখানে,

$$W_A = 2.1 \text{ eV} = 2.1 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$W_B = 2.0 \text{ eV} = 2.0 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\lambda_A = 6800 \text{ \AA} = 6800 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$\lambda_B = 5500 \text{ \AA} = 5500 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

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

এক্ষেত্রে আপত্তি আলোর তরঙ্গাদৈর্ঘ্য,  $\lambda_B = 5500 \text{ \AA}$  যা প্রারম্ভ তরঙ্গাদৈর্ঘ্য অপেক্ষা কম, তাই আপত্তি আলো তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন করবে।

২৯। তোমার বন্ধু একটি অতি দ্রুত গতিসম্পন্ন কাল্পনিক গাড়িতে  $0.76c$  গতিতে তোমার পাশ দিয়ে চলে গেল। গাড়িটি  $5.80 \text{ m}$  লম্বা বলে তোমার কাছে মনে হলো।

(ক) স্থির অবস্থায় গাড়িটির দৈর্ঘ্য কত হবে?

(খ) তোমার ঘড়িতে  $20 \text{ sec}$  সময় অতিবাহিত হলে তোমার বন্ধুর ঘড়িতে অতিবাহিত সময় বেশি না কম হবে? গাণিতিকভাবে যাচাই কর।

(ক)  $L$  গতিশীল অবস্থায় বস্তুর দৈর্ঘ্য এবং  $L_0$  স্থির অবস্থায় বস্তুটির দৈর্ঘ্য।

আমরা জানি,

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

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

$$= \frac{5.80}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.76c}{c}\right)^2}}$$

$$= \frac{5.80}{\sqrt{1 - (0.76)^2}} = \frac{5.80}{0.65}$$

$$= 8.92 \text{ m}$$

(খ) আবার, আমরা জানি,

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

$$\text{বা, } t_0 = t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 20 \times \sqrt{1 - \left(\frac{0.76c}{c}\right)^2} = 20 \times 0.65 = 13 \text{ sec}$$

অতএব, বন্ধুর ঘড়িতে অতিবাহিত সময় কম হবে।

৩০।  $1 \text{ m}$  লম্বা একটি ধাতব বস্তুর ঘনত্ব পৃথিবীর পৃষ্ঠে  $1.8 \times 10^4 \text{ kgm}^{-3}$ । 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।

(ক) আমরা জানি, দৈর্ঘ্য সংকোচন,

$$\begin{aligned} L &= L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \\ \therefore L &= 1 \times \sqrt{1 - \left(\frac{0.9c}{c}\right)^2} \\ &= 1 \times \sqrt{1 - (0.9)^2} \\ &= \sqrt{0.19} = 0.436 \text{ m} \end{aligned}$$

(খ) ধরি বস্তুটির দৈর্ঘ্য  $L_0$ , প্রস্থ,  $b$  এবং উচ্চতা  $c$ ।

অতএব, বস্তুটির স্থির আয়তন,  $V_0 = L_0 \times b \times c = 1 \times b \times c$

বস্তুটি দৈর্ঘ্য বরাবর গতিশীল হওয়ায় এর  $L$ -এর দৈর্ঘ্য পরিবর্তন হবে।

$\therefore$  গতিশীল অবস্থায় বস্তুটির আয়তন,

$$V' = L \times b \times c = 0.436 \times b \times c$$

এখনে,

$$L = 5.80 \text{ m}$$

$$v = 0.76c$$

এখনে,

$$t = 20 \text{ s}$$

$$t_0 = ?$$

এখনে,

$$v = 0.9c$$

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

$$\rho_0 = 1.8 \times 10^4 \text{ kgm}^{-3}$$

$$L_0 = 1 \text{ m}$$

অতএব, আয়তনের পরিবর্তনের অনুপাত,

$$\frac{V_0}{V'} = \frac{1 \times b \times c}{0.436 \times b \times c} = \frac{1}{0.436}$$

$$\text{বা, } \frac{V'}{V_0} = 0.436$$

$$\text{বা, } V' = 0.436 V_0$$

এখন, বস্তুটির ভরের পরিবর্তন হবে,

$$m' = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{0.436}$$

$$\text{অতএব, বস্তুটির স্থির ঘনত্ব, } \rho_0 = \frac{m_0}{V_0}$$

এবং গতিশীল অবস্থায় ঘনত্ব,

$$\begin{aligned} \rho' &= \frac{m'}{V'} = \frac{\frac{m_0}{0.436}}{0.436 V_0} \\ &= \frac{m_0}{0.436 \times 0.436 \times V_0} \\ &= \frac{\rho_0}{(0.436)^2} = \frac{1.8 \times 10^4}{0.19} \\ &= 9.47 \times 10^4 \text{ kg m}^{-3} \end{aligned}$$

এখনে,  $\rho' > \rho$ ; অর্থাৎ গতিশীল বস্তুটির ঘনত্ব বাঢ়বে।

### সার-সংক্ষেপ

- প্রসঙ্গ কাঠামো : বস্তুর অবস্থান বা গতি বর্ণনার জন্য যে প্রসঙ্গ স্থানাঙ্ক নির্দেশ ক্ষেত্রস্থা গ্রহণ করা হয় তাকে প্রসঙ্গ কাঠামো বলে।
- জড় কাঠামো : যে সব প্রসঙ্গ কাঠামোতে জড়তার সূত্র এবং নিউটনের গতির প্রথম সূত্র প্রযোজ্য হয় তাকে জড় কাঠামো বা জড়তার কাঠামো বলে।
- অজড় কাঠামো : যে কাঠামোতে জড়তার সূত্র এবং নিউটনের গতির প্রথম সূত্র প্রযোজ্য হয় না, তাকে অজড় 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।

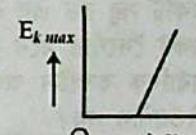
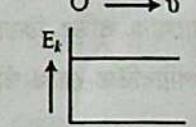
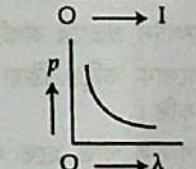
### আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের

- মৌলিক স্বীকার্যসমূহ :
  - (i) সব জড় কাঠামোতে পদার্থবিজ্ঞানের সূত্রসমূহ অভিন্ন থাকে।
  - (ii) শূন্যস্থানে সব পর্যবেক্ষকের নিকট আলোর বেগ সর্বদা সমান থাকে।
- লরেঞ্জের বৃপ্তান্তের সূত্র :
  - যে বৃপ্তান্তের সূত্রে বিদ্যুৎ চৰকীয় সমীকরণ বিভিন্ন কাঠামোতে অভিন্ন থাকে, তাকে লরেঞ্জের বৃপ্তান্তের 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।

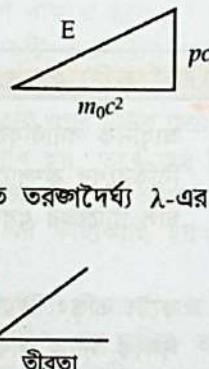
- তরেৱ আপেক্ষিকতা** : দৈৰ্ঘ্য ও সময়েৱ মত বস্তুৰ ভৱণ গতিশীলতাৰ ওপৰ নিৰ্ভৱশীল; আপেক্ষিক তত্ত্বানুসাৱে বস্তুৰ ভৱণ বেগেৰ সাথে বৃদ্ধি পায়।
- জ্ব.-শক্তি সমৰ্পক** : আপেক্ষিকতাৰ বিশেষ তত্ত্বেৱ সাহায্যে আইনস্টাইন বস্তুৰ ভৱণ ও শক্তিৰ মধ্যে নিম্নৰূপ সমৰ্পক প্ৰতিষ্ঠা কৱেন :
- $$E = mc^2, \text{ এখানে } E = \text{শক্তি}; m = \text{বস্তুৰ ভৱণ এবং } c = \text{আলোৰ বেগ}।$$
- মৌলিক বল** : যে বল মূল বা অকৃত্ৰিম তাকে মৌলিক বল বলে। মৌলিক বল চাৰ ধৰনেৱ। যথা—(১) মহাকৰ্ষ বল, (২) তড়িৎ-চৌম্বকীয় বল, (৩) সৱল নিউক্লীয় বল এবং (৪) দুৰ্বল নিউক্লীয় বল।
- এক্স-ৱে** : দৃশ্যমান আলোকেৱ মতোই এক্স-ৱে বিদ্যুৎ-চৌম্বকীয় তৱজা। কিন্তু এৱা অদৃশ্য রশ্মি। এৱা তৱজা দৈৰ্ঘ্য আলোকেৱ তৱজা দৈৰ্ঘ্য অপেক্ষা কম।
- এক্স-ৱেৰ একটক** : এৱা এককেৱ নাম রন্জেন বলতে আমৱা সেই পৱিমাণ এক্স-ৱে বিকিৱণ বুঝি যা সাধাৱণ চাপ এবং তাপমাত্ৰায়  $1 \text{ mm}$  বায়ুতে  $3.33 \times 10^{-10} \text{ C}$  চাৰ্জেৱ সমান চাৰ্জ উৎপন্ন কৱতে পাৱে।
- গ্যাঙ্ক-এৱা কোয়ান্টাম তত্ত্ব** : কোনো বস্তু হতে শক্তিৰ বিকিৱণ বা বিভিন্ন বস্তুৰ মধ্যে শক্তিৰ বিনিময় নিৱৰচিন্নভাৱে ঘটে না। তেজশক্তি বিচ্ছিন্নভাৱে খণ্ড খণ্ড আকাৱে এক একটি প্যাকেটে নিৰ্গত বা শোষিত হয়।
- নৱেজ বৃপ্তান্তৰ সূত্ৰেৱ স্বীকাৰ্যসমূহ**
- স্বীকাৰ্য-১** : পদাৰ্থবিদ্যাৰ সূত্ৰগুলো সকল অভ্যন্তৱীণ কাঠামোয় অভিন্ন থাকে; তবে কাঠামোগুলোকে পৱল্পৱেৱ সাপেক্ষে সমবেগে গতিশীল থাকতে হবে।
- স্বীকাৰ্য-২** : শূন্যস্থানে আলোৱ বেগ সৰ্বদা শুব থাকে, এটি একটি অভ্যন্তৱীণ কাঠামো হতে অন্যটিতে বৃপ্তান্তিৰ হলেও মান অপৱিবৰ্তিত থাকে এবং আলোৱ এই বেগ  $c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ । এ মান দৰ্শকেৱ স্থিতি বা গতিশীলতাৰ ওপৰ নিৰ্ভৱ কৱে না।
- কোমল এক্স-ৱে** : গ্যাস নলেৱ ভেতৱে গ্যাসেৱ চাপ যদি অপেক্ষাকৃত বেশি হয়, তবে কম বিভব পাৰ্থক্যেও এক্স রশ্মি উৎপন্ন কৱা যায়। এই ধৰনেৱ এক্স রশ্মিকে কোমল এক্স-ৱে বলে। কোমল এক্স রশ্মিৰ তৱজা দৈৰ্ঘ্য প্রায়  $10 \text{ A}$  এৱা কাছাকাছি হয়। এৱা তেদেন ক্ষমতা অত্যন্ত কম।
- কঠিন এক্স-ৱে** : নলেৱ ভেতৱে গ্যাসেৱ চাপ কম হলে অধিক বিভব পাৰ্থক্য প্ৰয়োগে এক্স রশ্মি উৎপন্ন হয়। এই এক্স রশ্মিকে কঠিন এক্স-ৱে বলে। কঠিন এক্স রশ্মিৰ তৱজা-দৈৰ্ঘ্য প্রায়  $0.01 \text{ A}$  মানেৱ হয়। এই রশ্মিৰ তেদেন ক্ষমতা খুবই বেশি।
- ফটো ইলেকট্ৰন** : আলোক রশ্মিৰ আপতনেৱ ফলে ধাতব পদাৰ্থ হতে নিৰ্গত ইলেকট্ৰনকে ফটো ইলেকট্ৰন বলে।
- আলোক তড়িৎ** : ধাতব পদাৰ্থ হতে নিৰ্গত ইলেকট্ৰন প্ৰবাহিত হওয়াৱ ফলে যে বিদ্যুৎ উৎপন্ন হয় তাকে আলোক তড়িৎ বলা হয়।
- আলোক তড়িৎ প্ৰবাহ** : নিৰ্গত ইলেকট্ৰন প্ৰবাহেৱ ফলে যে বিদ্যুৎ প্ৰবাহ উৎপন্ন হয় তাকে আলোক তড়িৎ প্ৰবাহ বলে।
- আলোক তড়িৎ নিৰ্গমনেৱ সূত্ৰাবলি :**
- ১ম সূত্ৰ : আলোক তড়িৎ নিৰ্গমন একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা।
  - ২য় সূত্ৰ : প্ৰতিটি ফটো ইলেকট্ৰন নিৰ্গমনেৱ ক্ষেত্ৰে আপত্তিত আলোক রশ্মিৰ একটি নিৰ্দিষ্ট ন্যূনতম কম্পাঙ্গক রয়েছে যাৱ নাম প্ৰাৰম্ভ কম্পাঙ্গক বা সূচন কম্পাঙ্গক।
  - ৩য় সূত্ৰ : আপত্তিত আলোকেৱ কম্পাঙ্গক প্ৰাৰম্ভ কম্পাঙ্গক অপেক্ষা অধিক হলে আলোক তড়িৎ প্ৰবাহমাত্ৰা আপত্তিত আলোকেৱ প্ৰাৰম্ভেৱ সমান্বাপ্তিক।
  - ৪ৰ্থ সূত্ৰ : আলোক ইলেকট্ৰনেৱ গতিবেগ তথা গতিশক্তি আপত্তিত আলোকেৱ প্ৰাৰম্ভেৱ ওপৰ নিৰ্ভৱ কৱে না; বৱং আপত্তিত আলোকেৱ কম্পাঙ্গক এবং নিঃসারক-এৱা প্ৰকৃতিৰ ওপৰ নিৰ্ভৱ কৱে।
- তৱজা কণা হৈততা** : সকল শক্তি তৱজা সদৃশ এবং কণা সদৃশ উভয় ধৰ্ম প্ৰদৰ্শন কৱে। ইহাই তৱজা কণা হৈততা।
- আলোক তড়িৎ ক্ৰিয়া** : আলোকেৱ প্ৰভাৱে ধাতব হতে ইলেকট্ৰনেৱ নিৰ্গমনেৱ প্ৰক্ৰিয়াকে আলোক তড়িৎ নিৰ্গমন ও এ ক্ৰিয়াকে আলোক তড়িৎ ক্ৰিয়া বলে।

নিরুত্তি বিভব	: আলোক তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন যত্নে যে ধাতব পাতের ওপর আলোক রশ্মি আপত্তি করে আলোক তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করা হয়, ওই পাত ন্যূনতম যে ধনাত্মক বিভবে রাখলে আলোক তড়িৎ প্রবাহ সম্পূর্ণ বন্ধ হয়ে যায়, ওই বিভবকে নিরুত্তি বিভব বলে।
সূচন কম্পাঙ্ক	: প্রতিটি আলোক ইলেকট্রন নির্গমনের ক্ষেত্রে আপত্তি 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 মুক্ত থাকে। এই তরঙ্গকে ডি ব্রগলি তরঙ্গ বলে।
কম্পটন ক্রিয়া	: হালকা পদার্থের ইলেকট্রন দ্বারা এক্স-রশ্মি বিক্ষিপ্ত হলে বিক্ষিপ্ত রশ্মির তেজর আপত্তি তরঙ্গাদৈর্ঘ্য ছাড়াও কিছু পরিবর্তিত তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্মি পাওয়া যায়। এই পরিবর্তিত তরঙ্গাদৈর্ঘ্যগুলো প্রাথমিক রশ্মির তরঙ্গাদৈর্ঘ্য অপেক্ষা দীর্ঘতর হয়। এই ঘটনাকে কম্পটন ক্রিয়া বলে।
হাইসেনবার্গের অনিচ্যতা সূত্র	: যদি কোনো কণার কোনো নির্দিষ্ট সময়ে অবস্থানের অনিচ্যতা $\Delta x$ এবং ভরবেগের অনিচ্যতা $\Delta p$ হয়, তবে এদের গুণফল প্র্যাঙ্গের ধ্রুবকের সমান বা বড় হবে। একেই হাইসেনবার্গের অনিচ্যতা সূত্র বলে।

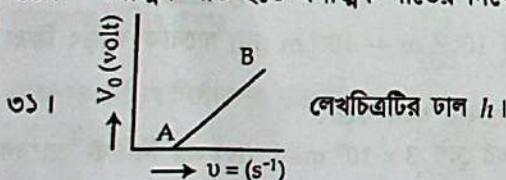
### বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উভয়ের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

- ১। আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের অন্যতম মুক্তা আইনস্টাইন এবং ম্যাজ্য প্র্যাঙ্গক।
  - ২। বিকিরণের কম্পাঙ্কের সাথে সর্বাধিক গতিশক্তির পরিবর্তনের লেখচিত্রের ঢাল প্র্যাঙ্গের 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 তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের পরিবর্তনের লেখচিত্র হলো—
- 
- 
- ৫। এক্স-রে (i) তড়িৎ চৌম্বক তরঙ্গ (ii) এর তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের সীমা  $10^{-12} \text{ m} - 10^{-9} \text{ m}$  (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  $E = h\nu$ , (iii) এর বেগ  $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ , (iv) এর নির্দিষ্ট ভরবেগ আছে। এর ভরবেগ,  $P = \frac{h\nu}{c}$ .
  - 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। প্র্যাঙ্গের তত্ত্ব অনুসারে কালো বস্তু হতে—(i) শক্তির বিকিরণ বিচ্ছিন্নতাবে 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।

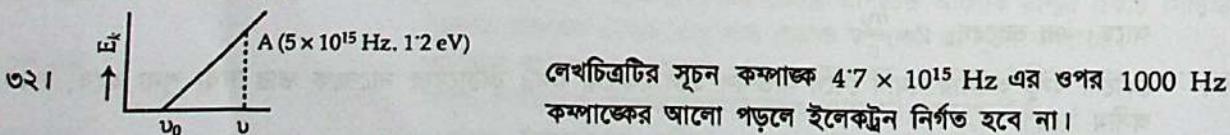
- ১৩।  $\frac{c}{\sqrt{2}}$  বেগে চলমান কোনো কণার তরবেগ  $m_0 c$ । ফোটনের ক্ষেত্রে  $E = m_0 c^2$  প্রযোজ্য নয়।
- ১৪। ঘূর্ণায়মান প্রসঙ্গ কাঠামো—অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো।
- ১৫। আপেক্ষিকতা জনিত বস্তুর গতিশক্তি নিচল শক্তির তিনগুণ হতে হলে বস্তুর বেগ  $0.97 c$  হবে।
- ১৬। S ও S' জড় প্রসঙ্গ কাঠামোতে আলোর বেগ যথাক্রমে  $c$  ও  $c'$ । S' কাঠামো S কাঠামোর সাপেক্ষে  $x$  অক্ষ বরাবর  $v$  বেগে গতিশীল হলে :  $c' = c$  হয়।
- ১৭। নিয়ন্ত্রিত বিড়ব V ও ইলেক্ট্রনের বেগ v এর মধ্যে সম্পর্ক হলো :  $v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$
- ১৮। আলোর তরঙ্গাবৈর্য  $\lambda$  এবং ফোটনের শক্তি  $\vec{E}$  এর মধ্যে সম্পর্ক হলো :  $E = \frac{hc}{\lambda}$ । আইনস্টাইনের স্থির ভরশক্তি সূত্র হলো,  $E_0 = m_0 c^2$  এবং ভরশক্তি সমীকরণ হলো  $E = mc^2$ .
- ১৯। আলোক বৰ্ষ দূরত্বের একক।  $E = hv$  সূত্র প্রদান করেন ম্যাজ্জ প্র্যাঙ্ক। ম্যাজ্জ প্র্যাঙ্ক শক্তির ক্ষেত্রে এককের নাম দেন কোয়াটা।
- ২০। গতিশীল ঘড়ি নিচল 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 কোয়াটাম তত্ত্বের ব্যাখ্যা প্রদান করা যায়।
- ২৩। নিয়ন্ত্রিত বিড়ব এবং ইলেক্ট্রনের সর্বোচ্চ বেগের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করা যায়  $eV_0 = \frac{1}{2} m V_{max}^2$  সমীকরণের সাহায্যে।
- ২৪।  $E = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}$  সম্পর্কীয় লেখচিত্র হলো—
- ২৫। একটি সুরু রড এর দৈর্ঘ্যের লম্ব বরাবর আলোর বেগ চললে গতিশীল অবস্থায় একে একই দৈর্ঘ্যের মনে হবে।
- ২৬। সর্বাধিক কম্পটন অংশ আপত্তিত তরঙ্গাবৈর্য  $\lambda$  এর জন্য প্রযোজ্য  $\Delta\lambda_{max}$  আপত্তিত তরঙ্গাবৈর্য  $\lambda$ -এর ওপর নির্ভরশীল নয়।
- ২৭। আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার সমীকরণ হলো  $\frac{1}{2} m V_{max}^2 + W_0 = hv$  এবং কম্পাক্ষ  $W_0$  অপরিবর্তিত রেখে তীব্রতা-প্রবাহের লেখচিত্র হবে।



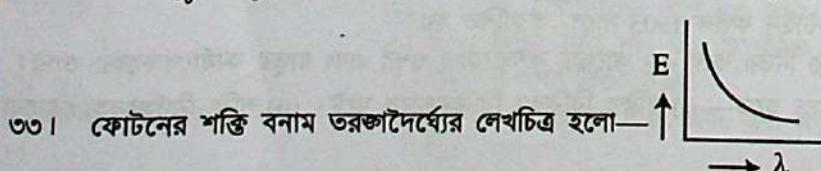
- ২৮। কম্পটন প্রভাবে অপরিবর্তিত ফোটনের তরঙ্গাবৈর্য, বিক্ষিপ্ত হবার পর তরঙ্গাবৈর্য—বৃদ্ধি পায়।
- ২৯। আলোক তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন করে—(i) ইলেক্ট্রন তরঙ্গ প্রকৃতি (ii) আলোর তরঙ্গ প্রকৃতি (iii) আলোর কণা প্রকৃতি।
- ৩০। ঝণাত্মক পাত হতে ধনাত্মক পাতের দিকে একটি ইলেক্ট্রন ত্বরিত করলে ইলেক্ট্রনের গতিশক্তি হবে  $4eV$ ।



লেখচিত্রিত ঢাল h।



লেখচিত্রিত সূচন কম্পাক্ষ  $4.7 \times 10^{15} \text{ Hz}$  এর ওপর  $1000 \text{ Hz}$  কম্পাক্ষের আলো গড়লে ইলেক্ট্রন নির্গত হবে না।



- ৩৩। ফোটনের শক্তি বনাম তরঙ্গাবৈর্যের লেখচিত্র হলো—

- ৩৪। হাইড্রোজেনের ভূমি অবস্থার শক্তি  $-136 eV$  হলে উহার দ্বিতীয় কক্ষের শক্তি  $-3.4 eV$ ।

## অনুশীলনী

## (ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

- ১।  $1\text{ eV}$  সমান কত জুল ? [জ. বো. ২০১৭] ১। হাইসেনবার্গের অনিচ্ছতা নীতি হলো— [জ. বো. ২০১৬]
- (ক)  $6.7 \times 10^{-34} \text{ J}$
  - (খ)  $1.9 \times 10^{-31} \text{ J}$
  - (গ)  $1.6 \times 10^{-31} \text{ J}$
  - (ঘ)  $1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$
- ২। একটি ইলেক্ট্রন  $0.99 c$  দ্রুতিতে গতিশীল হলে এর চলমান ভর কত ?
- (ক)  $5.46 \times 10^{-30} \text{ kg}$
  - (খ)  $6.45 \times 10^{-30} \text{ kg}$
  - (গ)  $6.45 \times 10^{-31} \text{ kg}$
  - (ঘ)  $5.46 \times 10^{-31} \text{ kg}$
- ৩। একটি রাকেট কত দ্রুতিতে চললে এর দৈর্ঘ্য আদি দৈর্ঘ্যের এক-চতুর্থাংশ হবে ?
- [সকল বোর্ড ২০১৮]
- (ক)  $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
  - (খ)  $2.99 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
  - (গ)  $2.90 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
  - (ঘ)  $2.92 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
- ৪। ফোটনের ধর্ম— [দি. বো. ২০১৬]
- (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 তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের সমীকরণ কোনটি ?
- [ব. বো. ২০১৭; জ. বো. ২০১৬]
- (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 ইলেক্ট্রন নির্গত হবে না ? [জ. বো. ২০১৬]
- (ক) সিজিয়াম
  - (খ) পটাসিয়াম
  - (গ) অ্যালুমিনিয়াম
  - (ঘ) সোডিয়াম
- ৭।  $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{2\pi}$
- (ii)  $\Delta p \Delta E \geq \frac{h}{2\pi}$
- (iii)  $\Delta E \Delta t \geq \frac{h}{2\pi}$
- নিচের কোনটি সঠিক ?
- (ক) i ও ii
  - (খ) i ও iii
  - (গ) ii ও iii
  - (ঘ) i, ii ও iii
- ৮। কোনটি বিকিরণ কোয়ান্টা ? [জ. বো. ২০১৬]
- (ক) ফোটন
  - (খ) প্রোটন
  - (গ) নিউট্রন
  - (ঘ) ইলেক্ট্রন
- ৯।  $h$  কী নামে পরিচিত ? [রা. বো. ২০১৬]
- (ক) ডিরাক ধ্রুবক
  - (খ) প্র্যাঙ্ক ধ্রুবক
  - (গ) কম্পটন ধ্রুবক
  - (ঘ) ডি-ব্রগলি ধ্রুবক
- ১০। ফোটনের তরঙ্গাদৈর্ঘ্য  $6630 \text{ \AA}$  হলে শক্তি কত ?
- [জ. বো. ২০১৭; রা. বো. ২০১৬;  
Jn U-A Admission Test, 2016-17;  
CU Admission Test, 2017-18]
- (ক)  $1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$
  - (খ)  $2 \times 10^{-10} \text{ J}$
  - (গ)  $3 \times 10^{-19} \text{ J}$
  - (ঘ)  $9.1 \times 10^{-31} \text{ J}$
- ১১। ফোটনের ভরবেগ— [কু. বো. ২০১৭, ২০১৬]
- (ক)  $p = \frac{h}{\lambda}$
  - (খ)  $p = \frac{hc}{\lambda}$
  - (গ)  $p = \frac{\lambda}{h}$
  - (ঘ)  $p = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$
- ১২। আপেক্ষিক তত্ত্বের ক্ষেত্রে—
- (i) চলমান ঘড়ি নিচল ঘড়ি অপেক্ষা মূল চলে
  - (ii) চলমান অবস্থায় কোনো বস্তুর দৈর্ঘ্য এর নিচল দৈর্ঘ্য অপেক্ষা ছোট
  - (iii) গতিশীল কোনো বস্তুর ভর এর নিচল ভর অপেক্ষা বেশি