পদার্থবিজ্ঞান

দ্বিতীয় পত্র

একাদশ–দ্বাদশ শ্রেণি

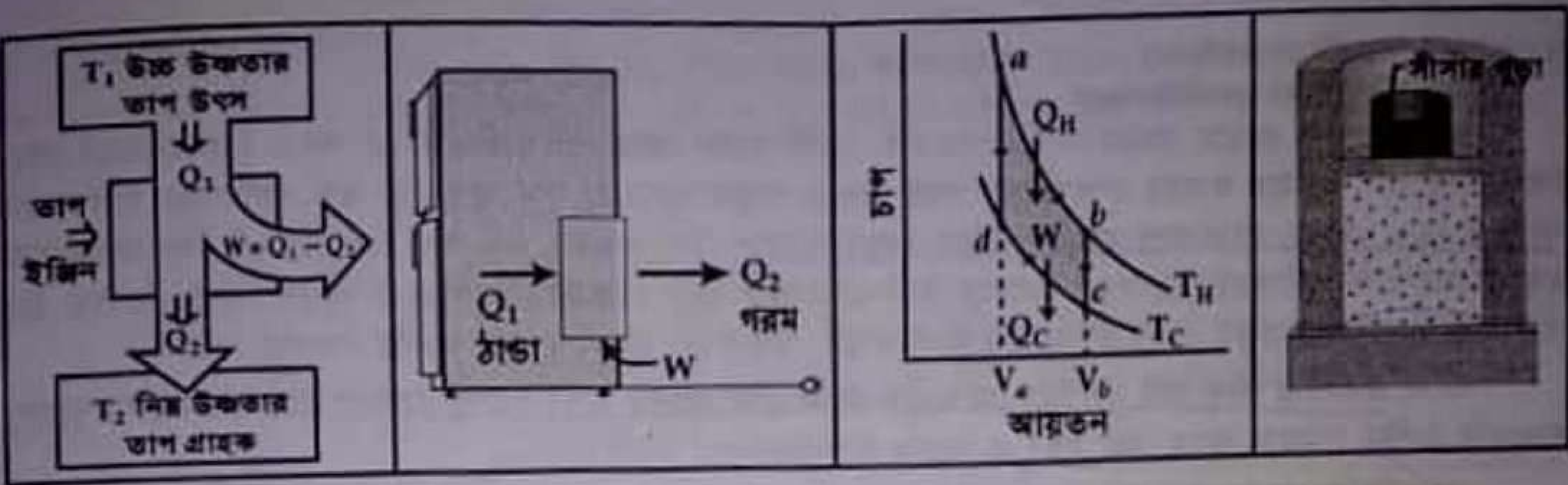
ড. আমির হোসেন খান
প্রফেসর মোহাম্মদ ইসহাক
ড. মো. নজরুল ইসলাম

আইডিয়াল বুকস ঢাকা
জাতীয় শিক্ষাক্রম ও পাঠ্যপুস্তক বোর্ড কর্তৃক অনুমোদিত

১

তাপগতিবিদ্যা
THERMODYNAMICS

প্রধান শব্দ (Key Words) : তাপীয় সমতা, তাপমাত্রা, তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র, তাপীয় সিস্টেম, অভ্যন্তরীণ শক্তি, তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র, প্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া, অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া, কার্নো-চক্র, তাপ ইঞ্জিন, রেফ্রিজারেটর বা হিমায়ক, কার্যকৃত সহগ, ইঞ্জিনের দক্ষতা, এনট্রপি।



সূচনা
Introduction

তাপ ও তাপমাত্রা পদার্থবিজ্ঞানের একটি গুরুত্বপূর্ণ বিষয়। পদার্থের ভৌতিক অবস্থা প্রকাশে তাপমাত্রার ভূমিকা বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। আমরা জানি যে কোনো পদার্থ অসংখ্য অণুর সমন্বয়ে গঠিত হয়। এই অণুগুলোর গতিশক্তি রয়েছে। তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে গতিশক্তি বৃদ্ধি পায় এবং কমালে গতিশক্তি হ্রাস পায়। তাপমাত্রা একটি পরিমাপযোগ্য রাশি। এ অধ্যায়ে আমরা তাপমাত্রা, তাপমাত্রা পরিমাপের নীতি, তাপীয় সমতা, তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র, তাপীয় সিস্টেম, অভ্যন্তরীণ শক্তি, তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র, প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়া, কার্নোর চক্র, তাপ ইঞ্জিন, রেফ্রিজারেটর আলোচনা করব।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- তাপমাত্রা পরিমাপের নীতি ব্যবহার করে তাপীয় সমতা এবং তাপমাত্রার ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র, তাপীয় সিস্টেমের ধারণা এবং অভ্যন্তরীণ শক্তির ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- কোনো সিস্টেমের তাপ, তার অভ্যন্তরীণ শক্তি এবং সম্পন্ন কাজের মধ্যে সম্পর্ক বিশ্লেষণ করতে পারবে।
- তাপগতিবিদ্যার দ্বিতীয় সূত্র এবং প্রত্যাবর্তী ও অপ্রত্যাবর্তী প্রক্রিয়ার পার্থক্য ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- কার্নো চক্রের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- তাপ ইঞ্জিনের মূলনীতি এবং রেফ্রিজারেটরের কার্যক্রমের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- ইঞ্জিনের দক্ষতা, এনট্রপি এবং বিশৃঙ্খলা ব্যাখ্যা করতে পারবে।

১·১ তাপমাত্রা পরিমাপের নীতি
Principle of measurement of temperature

মনে কর তোমার পড়ার ঘরে একটি কাঠের তৈরি ক্রিকেট বল এবং একটি লোহার বল রাখা আছে। তুমি যদি দুটি বল একই সময়ে স্পর্শ কর তাহলে তোমার নিকট মনে হবে লোহার বলটি বেশি ঠাণ্ডা। যদিও বাস্তবে দুটি বলের তাপমাত্রা বা তাপমাত্রা এক। তাই কেবল স্পর্শ দ্বারা উষ্ণতা সম্পর্কে সঠিক ধারণা এবং পরিমাণ নির্ণয় করা যায় না। তাপমাত্রা বা উষ্ণতা হলো বস্তুর তাপীয় অবস্থা যা তাপ নির্ধারণ করে এবং বস্তুটিকে অন্য বস্তুর তাপীয় সংস্পর্শে রাখলে তাপ দেবে না তাপ নেবে তাও নির্ধারণ করে। তাই তাপমাত্রা পরিমাপের জন্য পদার্থের একটি বিশেষ ধর্মের প্রতি লক্ষ রাখা হয় এবং যে সকল পদার্থের এই সকল ধর্ম আছে তা তাপমাত্রা পরিমাপক যন্ত্রে ব্যবহার করা হয়। বস্তুত এই মূলনীতি তাপমাত্রা পরিমাপে ব্যবহার করা হয়। নিম্নে এ সম্পর্কে বিস্তারিত বর্ণনা করা হলো।

আমরা জানি, কোনো বস্তু কত গরম অথবা কত ঠাণ্ডা তা স্পর্শ করে সরাসরি বুঝা যায় না, অনুভব করা যায় মাত্র। এই কারণে তাপমাত্রার তারতম্যভেদে পদার্থের যে বিশেষ কোনো ধর্ম নিয়মিতভাবে পরিবর্তিত হয় এবং যে ধর্মের পরিবর্তন লক্ষ করে সহজ ও সূক্ষ্মভাবে তাপমাত্রা নিরূপণ করা যায় সেই পদার্থ বস্তুর তাপমাত্রা পরিমাপে ব্যবহৃত হয়। সুতরাং বলা যায়, যে যন্ত্র দ্বারা বস্তুর তাপমাত্রা নির্ভুলভাবে পরিমাপ করা যায় তাকে থার্মোমিটার (Thermometer) বলে।

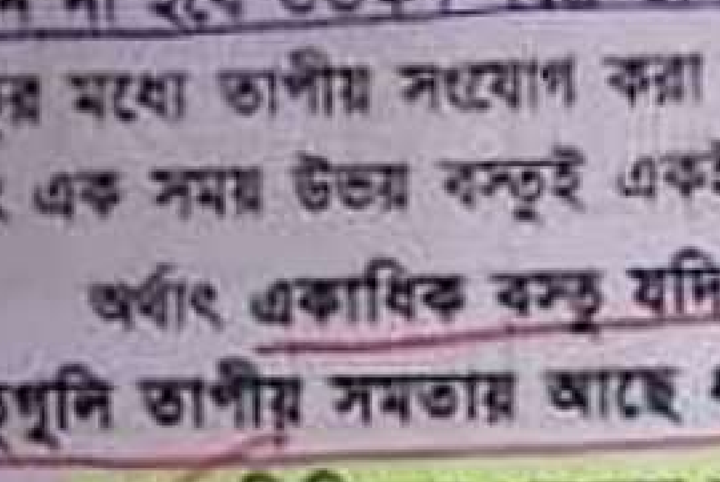
তাপমাত্রার পরিবর্তনে পদার্থের যে বিশেষ বিশেষ ধর্ম নিয়মিতভাবে পরিবর্তিত হয় এবং যে ধর্মের পরিবর্তন লক্ষ করে সহজে ও সঠিকভাবে তাপমাত্রা নির্ণয় করা যায় তাকে উষ্ণতামিতি ধর্ম (Thermometric properties) বলে এবং যে সকল পদার্থের উষ্ণতামিতি ধর্ম ব্যবহার করে থার্মোমিটার তৈরি করা হয় তাদেরকে উষ্ণতামিতি পদার্থ (Thermometric substances) বলে। সাধারণত উষ্ণতামিতি পদার্থের বা তার ধর্মের নাম অনুসারে থার্মোমিটারের নামকরণ করা হয়। যেমন পারদ থার্মোমিটার, রোধ থার্মোমিটার ইত্যাদি। থার্মোমিটার প্রস্তুতকালে এই উষ্ণতামিতি ধর্ম এবং উষ্ণতামিতি পদার্থের উপর নির্ভর করে তাপমাত্রা পরিমাপ করা হয়। যেমন পারদ থার্মোমিটারে $\boxed{\text{পারদের প্রসারণ}}$ হলো উষ্ণতামিতিক ধর্ম এবং পারদ হলো উষ্ণতামিতিক পদার্থ। এই নীতি ব্যবহার করে তাপীয় সমতা ও তাপমাত্রার ধারণা ব্যাখ্যা করা হলো।

১.১.১ তাপীয় সমতা
Thermal equilibrium

একটি উত্তপ্ত লোহার বলকে কক্ষ তাপমাত্রার একটি স্থানে রেখে দাও। কী দেখতে পাবে ? দেখা যাবে যে, উত্তপ্ত বস্তু তাপ হারাতে থাকবে এবং যতক্ষণ পর্যন্ত উত্তপ্ত বস্তুর তাপমাত্রা কক্ষ তাপমাত্রা তথা পরিপার্শ্বের তাপমাত্রার সমান না হবে ততক্ষণ পর্যন্ত তাপ হারানো প্রক্রিয়া চলতে থাকবে। অনুরূপ ঘটনা লক্ষ করা যায় যদি দুটি ভিন্ন তাপমাত্রার বস্তুর মধ্যে তাপীয় সংযোগ করা হয়। এক্ষেত্রে উচ্চ তাপমাত্রার বস্তু হতে নিম্ন তাপমাত্রার বস্তুতে তাপ প্রবাহিত হয় এবং এক সময় উভয় বস্তুই একই তাপমাত্রায় উপনীত হয়। তখন বলা হয় বস্তু দুটি **তাপীয় সমতায় আছে।**

অর্থাৎ **একাধিক বস্তু যদি তাপীয়ভাবে সংযুক্ত থাকে এবং তাদের মধ্যে তাপের কোনো আদান প্রদান না ঘটলে বস্তুগুলি তাপীয় সমতায় আছে ধরা হয়।** এ সংক্রান্ত তাপগতিবিদ্যার সূত্রটি হলো—

তাপগতিবিদ্যার শূন্যতম সূত্র (Zeroth law of thermodynamics) : **দুটি বস্তু যদি তৃতীয় কোনো বস্তুর সাথে তাপীয় সাম্যাবস্থায় থাকে তবে প্রথমোক্ত বস্তু দুটি পরস্পরের সাথে তাপীয় সাম্যাবস্থায় থাকবে। একে তাপগতিবিদ্যার শূন্যতম সূত্র বলা হয়।** নামকরণ → ফাউলার



চিত্র ১'১

ব্যাখ্যা : দুটি বস্তু সাম্যাবস্থায় আছে, তা নির্ধারণের জন্য তৃতীয় একটি বস্তু ব্যবহার করা হয়। ধরা যাক P ও Q দুটি বস্তু একটি কুপরিবাহী দেওয়াল দিয়ে পৃথক করা অবস্থায় তৃতীয় একটি বস্তু R-এর সংস্পর্শে রাখা হলো [চিত্র ১'১]। কিছুক্ষণ পরে দেখা যাবে P ও Q উভয়ই তৃতীয় বস্তু R-এর সাথে তাপীয় সাম্যাবস্থায় পৌঁছবে। এখন কুপরিবাহী দেওয়ালটি সরিয়ে নিলেও P ও Q-এর তাপমাত্রায় কোনো পরিবর্তন হবে না। এ থেকে বুঝা যাচ্ছে যে দেওয়াল সরানোর আগেই P ও Q পরস্পর তাপীয় সাম্যাবস্থায় পৌঁছেছে। এই উদাহরণ থেকেই উপরের সূত্র প্রমাণিত হয়। তাপগতিবিদ্যার শূন্যতম সূত্র থেকে সরাসরি সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায় যে, **প্রতিটি বস্তুর এমন একটি ধর্ম আছে যা অন্য একটি বস্তুর সঙ্গে সমান হলে বস্তু দুটি পরস্পর তাপীয় সাম্যে থাকবে। এই ধর্মটিই হলো তাপমাত্রা।** এই সূত্রের উপর ভিত্তি করেই $\boxed{\text{থার্মোমিটার}}$ তৈরি করা হয়েছে।

১.১.২ তাপমাত্রার ধারণা
Concept of temperature

গরম বা ঠান্ডার অনুভূতি আমাদের সকলেরই রয়েছে। সুতরাং কোনো একটি বস্তু কী পরিমাণ গরম বা ঠান্ডা তার পরিমাপকে আপাতভাবে ওই বস্তুর তাপমাত্রা বলে। অর্থাৎ আপাতভাবে বলা যায় **তাপমাত্রা বলতে বস্তুর উত্তাপের পরিমাণ** (degree of heat) **বুঝায়।** মনে কর দুটি বস্তু রয়েছে। একটি বস্তু A এবং অপরটি B। যদি স্পর্শ করলে A বস্তু B বস্তু অপেক্ষা বেশি গরম অনুভূত হয়, তবে আমরা বলতে পারি বস্তু A-এর তাপমাত্রা বেশি এবং বস্তু B-এর তাপমাত্রা কম। নিখুঁতভাবে তাপমাত্রার নিম্নলিখিত সংজ্ঞা দেয়া যেতে পারে :

তাপমাত্রা বস্তুর একটি তাপীয় অবস্থা যা ওই বস্তু হতে অন্য বস্তুতে $\boxed{\text{তাপের প্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করে}}$ এবং তাপ প্রবাহের অভিমুখ নির্ধারণ করে।

উষ্ণতা তথা তাপমাত্রা পরিমাপের যন্ত্র নির্মাণে আমাদের এমন পদার্থের প্রয়োজন হয় তাপমাত্রা পরিবর্তনে যার কোনো না কোনো ধর্মের ব্যাপক পরিবর্তন ঘটে। উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, প্লাটিনাম রোধ থার্মোমিটারে প্লাটিনামের রোধ ব্যবহার করে এবং তড়িৎ রোধের উষ্ণতামিতি ধর্মের প্রতি লক্ষ রেখে তাপমাত্রা পরিমাপ করা হয়। আবার থার্মোকাপল নামক থার্মোমিটারে দুটি ধাতব পদার্থের যুগল ব্যবহার করে তাপীয় তড়িচ্চালক শক্তির ধর্ম কাজে লাগিয়ে তাপমাত্রা পরিমাপ করা হয়। আবার $\boxed{\text{বিকিরণ পাইরোমিটারে}}$ উত্তপ্ত বস্তুর বিকিরণ ধর্ম কাজে লাগিয়ে 500°C এর উর্ধ্বের তাপমাত্রা পরিমাপ করা হয়।

১.১.৩ তাপমাত্রা পরিমাপের বিভিন্ন স্কেলের মধ্যে সম্পর্ক

তাপমাত্রা পরিমাপের জন্য বিভিন্ন তাপমান যন্ত্রে বিভিন্ন স্কেল ব্যবহার করা হতো। বিভিন্ন স্কেলে প্রতি ডিগ্রি তাপমাত্রার মান সমান নয়। একটি স্কেলের সাথে অন্যটির পুরাপুরি মিল নেই। এই অসুবিধা দূর করার জন্য আন্তর্জাতিক ওজন ও পরিমাপ কমিটি 1927 সালে তাপমাত্রার একটি ব্যবহারিক স্কেল অনুমোদন করেন। এর নাম আন্তর্জাতিক তাপমাত্রা স্কেল। তাপমাত্রার বিভিন্ন স্কেল হলো **সেলসিয়াস** (Celsius), **ফারেনহাইট** (Fahrenheit) এবং **কেলভিন** (Kelvin) স্কেল। এদের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক নিম্নরূপ :

$$\boxed{\frac{C}{5}=\frac{F-32}{9}=\frac{K-273}{5}}$$

ত্রুটিপূর্ণ থার্মোমিটারের ক্ষেত্রে বরফ বিন্দু M, স্টিম বিন্দু B, তাপমাত্রা S। আবার সেলসিয়াস, ফারেনহাইট এবং কেলভিন স্কেলের প্রকৃত তাপমাত্রা যথাক্রমে C, F এবং K হলে নিম্নের সমীকরণ এই সকল রাশির মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক স্থাপন করে।

$$\frac{C}{100}=\frac{K-273.15}{100}=\frac{F-32}{180}=\frac{S-M}{B-M}$$

তাপমাত্রার স্কেল নির্ধারণের সময় পদার্থের উষ্ণতামিতি ধর্ম কাজে লাগানো হয়। যদি বরফ বিন্দু ও স্টিম বিন্দুর তাপমাত্রা যথাক্রমে θ_{ice} এবং θ_{steam} এবং এই দুই তাপমাত্রায় উপরোক্ত কোনো একটি ধর্মের মান যথাক্রমে X_{ice} এবং X_{steam} এবং অন্য কোনো তাপমাত্রায় θ-তে ওই ধর্মের মান যদি X_θ হয় এবং মৌলিক ব্যবধানকে Nটি সমান ভাগে বিভক্ত করা হয়, তাহলে ঐ তাপমাত্রায় θ এর মান হবে

$$\frac{\theta-\theta_{ice}}{\theta_{steam}-\theta_{ice}}=\frac{X_\theta-X_{ice}}{X_{steam}-X_{ice}}$$

$\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9} = \frac{K-273}{5}$

বা, $$\frac{\theta-\theta_{ice}}{N}=\frac{X_\theta-X_{ice}}{X_{steam}-X_{ice}}$$

সেলসিয়াস স্কেলে $\theta_{ice}=0°C$, $\theta_{steam}=100°C$ এবং $N=\theta_{steam}-\theta_{ice}=100°C$, সেক্ষেত্রে উপরোক্ত সমীকরণ অনুযায়ী,

$$\frac{\theta-0°C}{100°C}=\frac{X_\theta-X_{ice}}{X_{steam}-X_{ice}}$$

বা, $$\theta=\frac{X_\theta-X_{ice}}{X_{steam}-X_{ice}}\times 100°C$$

রোধ থার্মোমিটার : রোধ থার্মোমিটারের ক্ষেত্রে উষ্ণতামিতি ধর্ম X, পরিবাহকের রোধ R এবং R_θ, R_0, R_{100} যথাক্রমে 0°C, 0°C, 100°C তাপমাত্রায় রোধ হলে,

সেলসিয়াস স্কেলে তাপমাত্রা

$$\theta=\frac{R_\theta-R_0}{R_{100}-R_0}\times 100°C$$

অনুরূপভাবে, ফারেনহাইট স্কেলে তাপমাত্রা

$$\frac{\theta-32°F}{180°F}=\frac{X_\theta-X_{ice}}{X_{steam}-X_{ice}}$$

বা, $$\theta=\frac{X_\theta-X_{ice}}{X_{steam}-X_{ice}}\times(180°F+32°F)$$

১.১.৪ স্থির বিন্দু ব্যবহার করে স্কেল নির্ধারণ সংক্রান্ত কয়েকটি রাশি

ধরা যাক কোনো থার্মোমিটারে ব্যবহৃত উষ্ণতামিতি পদার্থের উষ্ণতামিতিক ধর্মের মান X যার মান তাপমাত্রা T এর সাথে সুষমভাবে পরিবর্তিত হয়। তাহলে তাপীয় সাম্যাবস্থায় $T \propto X$

বা, $T=aX$, এখানে a একটি ধ্রুবক।

কোনো থার্মোমিটারে একটি স্থির বিন্দুর তাপমাত্রা T_p-তে কোনো উষ্ণতামিতি পদার্থের উষ্ণতামিতি ধর্মের মান X_p হলে উপরোক্ত সমীকরণে $a=\frac{T_p}{X_p}$ হয়।

সেক্ষেত্রে, $$T=aX$$
$$=\frac{T_p}{X_p}X=T_p\frac{X}{X_p}$$

ত্রৈধ বিন্দু (Triple point) : একটি নির্দিষ্ট চাপে যে তাপমাত্রায় কোনো পদার্থ কঠিন, তরল ও বায়বীয় রূপে সাম্যাবস্থায় থাকে তাকে ওই পদার্থের ত্রৈধবিন্দু বলে।

পানির ত্রৈধ বিন্দু (Triple point of water) : 4·58 mm পারদ স্তম্ভ চাপে যে তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ বরফ, পানি ও জলীয় বাষ্প একটি তাপীয় সাম্যাবস্থায় থাকে তাকে পানির ত্রৈধ বিন্দু বলে। পানির ত্রৈধ বিন্দু $T_{tr} = 273{\cdot}16$ K.

কেলভিন (Kelvin) : তাপমাত্রা বা তাপমাত্রা পরিবর্তনের এস. আই. একক হচ্ছে $\boxed{\text{কেলভিন}}$। পানির ত্রৈধবিন্দুর তাপমাত্রার $\frac{1}{273{\cdot}16}$ অংশকে এক কেলভিন (1 K) বলে।

তাপমাত্রার তাপগতীয় স্কেল বা পরম স্কেল (Thermodynamic scale or Absolute scale of temperature) : পানির ত্রৈধ বিন্দুর তাপমাত্রাকে 273·16 K এবং ওই তাপমাত্রার $\frac{1}{273{\cdot}16}$ অংশকে এক কেলভিন ধরে তাপমাত্রার যে স্কেল গণনা করা হয় তাকে তাপগতীয় স্কেল বলে। এই স্কেল পদার্থের প্রকৃতি বা ধর্মের উপর নির্ভরশীল নয়, কেবলমাত্র তাপমাত্রার ওপর নির্ভরশীল, তাই একে তাপমাত্রার পরম স্কেলও বলে।

তাপমাত্রার আন্তর্জাতিক স্কেল (International scale of temperature) : পানির ত্রৈধ বিন্দুর তাপমাত্রাকে 273·16 K এবং ওই তাপমাত্রার $\frac{1}{273{\cdot}16}$ অংশকে এক কেলভিন ধরে এবং আরো কতগুলো সহজলভ্য স্থির বিন্দু নির্ধারণ করে আন্তর্জাতিক ওজন ও পরিমাপ সংস্থা তাপমাত্রা পরিমাপের যে ব্যবহারিক স্কেল অনুমোদন করেছেন তাকে তাপমাত্রার আন্তর্জাতিক স্কেল বলে।

কয়েকটি পদার্থের তাপমাত্রার আন্তর্জাতিক স্কেলের জন্য নির্ধারিত স্থির বিন্দু

পদার্থ	অবস্থা	তাপমাত্রা (K)
পানি	ত্রৈধবিন্দু	273·16
পারদ	ত্রৈধবিন্দু	234·3156
আর্গন	ত্রৈধবিন্দু	83·8058
R অক্সিজেন	ত্রৈধবিন্দু	54·3584
নিয়ন	ত্রৈধবিন্দু	24·5561
তামা	হিমাঙ্ক	1357·77
সোনা	হিমাঙ্ক	1337·33
রূপা	হিমাঙ্ক	1234·93
অ্যালুমিনিয়াম	হিমাঙ্ক	933·473
দস্তা	হিমাঙ্ক	692·677
টিন	হিমাঙ্ক	505·078

গাণিতিক উদাহরণ

1. এমন একটি তাপমাত্রা বের কর যার মান সেলসিয়াস এবং ফারেনহাইট স্কেলে একই হয়।

মনে করি নির্ণেয় তাপমাত্রা $= x$

∴ আমরা পাই, $\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9}$ ... ... (i)

এখানে, $C = F = x$

∴ সমীকরণ (i) হতে আমরা পাই, $\frac{x}{5} = \frac{x-32}{9}$

বা, $9x = 5x - 160$

বা, $9x - 5x = -160$

বা, $4x = -160$

∴ $x = \frac{-160}{4} = -40°$

উঃ $-40°$C এবং $-40°$F

২। কোন তাপমাত্রা সেলসিয়াস ও ফারেনহাইট স্কেলে 40° পার্থক্য হয় ?

মনে করি সেলসিয়াস স্কেলে পাঠ $= x$

$\therefore$ ফারেনহাইট স্কেলে পাঠ $= x \pm 40$

$\therefore$ আমরা জানি, $\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9}$ ... ... (i)

$\therefore \frac{x}{5} = \frac{x \pm 40 - 32}{9}$

বা, $9x = 5x \pm 200 - 160$

বা, $4x = \pm 200 - 160$

বা, $4x = 40$

বা, $x = \frac{40}{4} = 10^\circ C$

বা, $4x = -200 - 160^\circ = -360^\circ$

$\therefore x = -\frac{360}{4} = -90^\circ C$

কিন্তু যখন $C = x = 10^\circ$, তখন সমীকরণ (i) অনুসারে, $\frac{10}{5} = \frac{F-32}{9}$

$\therefore \quad F = 9 \times \frac{10}{5} + 32 = 50^\circ$

এবং যখন $x = C = -90^\circ$, তখন $-\frac{90}{5} = \frac{F-32}{9}$

$\therefore \quad F = -\frac{90}{5} \times 9 + 32 = -130^\circ$

৩। একটি প্লাটিনাম রোধ থার্মোমিটার $0^\circ C$ তাপমাত্রায় $2{\cdot}57$ ও'ম এবং $100^\circ C$ তাপমাত্রায় $3{\cdot}53$ ও'ম পাঠ দেয়। $33{\cdot}3^\circ C$ তাপমাত্রায় যন্ত্রটি কত পাঠ দিবে ?

আমরা জানি,

$$\theta = \frac{R_t - R_0}{R_{100} - R_0} \times 100 \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

এখানে, $\theta = 33{\cdot}3^\circ C$
$R_0 = 2{\cdot}57$ ও'ম
$R_{100} = 3{\cdot}53$ ও'ম

বা, $33{\cdot}3 = \frac{R_t - 2{\cdot}57}{3{\cdot}53 - 2{\cdot}57} \times 100$

বা, $R_t = 2{\cdot}889$ ও'ম

১'২ তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র
First law of thermodynamics

১.২.১ ধারণা
Concept

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র আলোচনা করার আগে আমাদের জানা দরকার তাপগতিবিদ্যা কী ? আমরা জানি কাজ করার সামর্থ্যকে শক্তি বলে। বিভিন্ন প্রকার শক্তির সাথে আমরা পরিচিত। যেমন **যান্ত্রিক শক্তি, তাপশক্তি, শব্দ শক্তি** ইত্যাদি। এসব শক্তির মধ্যে পারস্পরিক রূপান্তর ঘটে। সব রূপান্তরের মধ্যেই দেখা যায় যে, সব রকম শক্তি অতি সহজেই তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। বিজ্ঞানী **কাউন্ট রামফোর্ড, হ্যামফ্রে ডেভী এবং জেমস্ প্রেসকট জুল** পরীক্ষা-নিরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ করেন যে, কাজ তথা যান্ত্রিক শক্তি হতে তাপ উৎপন্ন হয় এবং তাপ গতিরই একটি রূপ। তাদের এই মতবাদ হতেই বস্তুত তাপগতিবিদ্যার সূত্রপাত। পদার্থবিজ্ঞানের যে শাখা তাপ ও যান্ত্রিক শক্তির পারস্পর রূপান্তর ও সম্পর্ক নিয়ে আলোচনা করে তাকে তাপগতিবিদ্যা (Thermodynamics) বলে।

তাপগতিবিদ্যার সূত্রাবলি আলোচনার পূর্বে তাপগতি সম্পর্কীয় কয়েকটি রাশির সংজ্ঞা আমাদের জানা প্রয়োজন।

(ক) তাপগতীয় ব্যবস্থা বা সিস্টেম (Thermodynamic system) : তাপগতীয় ব্যবস্থা বা সিস্টেম বলতে তল বা বেষ্টনী দ্বারা সীমাবদ্ধ কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ বস্তুকে বুঝায় যেখানে তাপগতীয় চলরাশি (চাপ, আয়তন, তাপমাত্রা) পরিমাপ করা যায়। যেমন একটি পিস্টনযুক্ত সিলিন্ডারে অথবা একটি বেলুনে আবদ্ধ গ্যাসকে আমরা তাপগতীয় ব্যবস্থা বা সিস্টেম বলে থাকি। কিন্তু ঢাকনাবিহীন হাড়িতে পানি ফোটানো হলে তাকে সিস্টেম বলা হয় না।

(খ) পরিপার্শ্ব (Surroundings) : একটি ব্যবস্থার আশেপাশের সব কিছুকে বলা হয় পরিপার্শ্ব। যেমন পিস্টন ও সিলিন্ডারের আশেপাশের বায়ু হলো এর পরিপার্শ্ব। অন্যভাবে বলা যায়, কোনো নির্দিষ্ট ব্যবস্থার সাথে শক্তি বিনিময়ে সক্ষম যে কোনো ব্যবস্থাকে ওই ব্যবস্থার পরিপার্শ্ব বলে।

(গ) তাপগতীয় স্থানাঙ্ক (Thermodynamic co-ordinates) : যে সকল রাশির মান কোনো ব্যবস্থার অবস্থা নির্ধারণ করে সেগুলিকে ব্যবস্থার তাপগতীয় স্থানাঙ্ক বলে।

যেমন, সিলিন্ডারে আবদ্ধ গ্যাস হলো ব্যবস্থা এবং গ্যাসের অবস্থার বৈশিষ্ট্য নির্দেশ করে এর চাপ, আয়তন ও পরম তাপমাত্রা। তাই চাপ, আয়তন ও পরম তাপমাত্রাকে তাপগতীয় স্থানাঙ্ক বলে।

(ঘ) সাম্যাবস্থা (Equilibrium) : কোনো বিচ্ছিন্ন ব্যবস্থার চূড়ান্ত অবিচল (steady) অবস্থাকে তাপগতীয় সাম্যাবস্থা বলে। সাম্যাবস্থায় ব্যবস্থার সকল বিন্দুতে তাপগতীয় স্থানাঙ্ক অর্থাৎ চাপ, আয়তন, তাপমাত্রার মান সমান।

(ঙ) তাপগতীয় প্রক্রিয়া (Therodynamic process) : কোনো ব্যবস্থার তাপগতীয় স্থানাঙ্কসমূহের যে কোনো পরিবর্তনকে তাপগতীয় প্রক্রিয়া বলা হয়।

(চ) অভ্যন্তরীণ শক্তি (Internal energy) : কোন সিস্টেমের মধ্যে যে শক্তি অন্তর্নিহিত বা সুপ্ত অবস্থায় থাকে যা পরিবেশ পরিস্থিতিতে বহিঃপ্রকাশ ঘটায় তাকে অভ্যন্তরীণ শক্তি বলে। সিস্টেমে তাপ প্রয়োগ করলে অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পায়। আর তাপ প্রয়োগ না করলে অভ্যন্তরীণ শক্তি ধ্রুব থাকে।

বিজ্ঞানী জুল সর্বপ্রথম কাজ ও তাপের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করেন এবং সম্পর্কটি সূত্রাকারে প্রকাশ করেন। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র ব্যবহার করে সিস্টেমে সম্পাদিত কাজ, অভ্যন্তরীণ শক্তি নির্ণয় করা যায়। একে জুলের মতবাদ বলে।

dW dU

সূত্র : যখন কাজ সম্পূর্ণভাবে তাপে বা তাপ সম্পূর্ণভাবে কাজে রূপান্তরিত হয় তখন কাজ ও তাপ পরস্পরের সমানুপাতিক হয়।

ব্যাখ্যা : যদি W পরিমাণ কাজ সম্পূর্ণরূপে তাপে পরিণত হওয়ায় Q পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হয়, তবে তাপ গতিবিদ্যার প্রথম সূত্রানুসারে, $\boxed{W \propto Q}$

বা, $\boxed{W = JQ}$ ... ... (1.1)

এখানে J একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। একে তাপের যান্ত্রিক সমতা (mechanical equivalent of heat) বা জুল তুল্যাঙ্ক (Joule's equivalent) বলে।

R

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র শক্তির নিত্যতা সূত্রের একটি বিশেষ রূপ। বিজ্ঞানী ক্লসিয়াস (Clausius) এই সূত্রকে সাধারণভাবে প্রকাশ করেন। তাঁর মতে তাপশক্তি অন্য কোনো শক্তিতে রূপান্তরিত হলে কিংবা অন্য কোনো শক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হলে সিস্টেমের মোট শক্তির পরিমাণ একই থাকে। একে ক্লসিয়াসের মতবাদ বলে। বিজ্ঞানী ক্লসিয়াস নিম্নলিখিত উপায়ে তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রকে বিবৃত করেন।

সূত্র : যখন কোনো ব্যবস্থায় (system) তাপ সরবরাহ করা হয় বা ব্যবস্থা কর্তৃক তাপ গৃহীত হয়, তখন এর কিছু অংশ অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি করতে অর্থাৎ তাপমাত্রা বৃদ্ধি করতে এবং অবশিষ্ট অংশ বাহ্যিক কাজ সম্পাদনে ব্যয় হয়। অর্থাৎ, প্রদত্ত তাপ = অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি + বাহ্যিক কাজ।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : জলপ্রপাতের পানি ওপর হতে নিচে পড়লে নিচের পানির উষ্ণতা ওপরের পানির তুলনায় সামান্য বেশি হয়—ব্যাখ্যা কর।

ওপরের পানির স্থিতিশক্তি নিচে থাকা পানির তুলনায় বেশি। ওপর হতে পানি নিচে পড়ার সময় পানির এই স্থিতিশক্তি গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হতে থাকে। ভূ-পৃষ্ঠ স্পর্শ করার মুহূর্তে পানির গতিশক্তি কিছুটা তাপশক্তি ও শব্দশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এই তাপশক্তি অর্জনের জন্যই নিচের পানির উষ্ণতা সামান্য বৃদ্ধি পায়।

১.২.২ তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের তাৎপর্য
Significance of the first law of thermodynamics

R

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের নিম্নলিখিত তাৎপর্য রয়েছে :

(১) এটি তাপ ও কাজের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করে।

(২) এই সূত্র অনুযায়ী নির্দিষ্ট পরিমাণ কাজ পেতে হলে নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপের প্রয়োজন অথবা নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ পেতে হলে নির্দিষ্ট পরিমাণ কাজ সম্পাদন করা প্রয়োজন।

(৩) কোনো কিছু ব্যয় না করে কাজ বা শক্তি পাওয়া অসম্ভব।

(৪) কাজ ও তাপ একে অপরের সমতুল্য।

(৫) এটি শক্তির সংরক্ষণ সূত্র ছাড়া আর কিছুই নয়। যে কোনো ব্যবস্থায় সম্পন্ন কাজ ও অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তনের সমষ্টি সর্বদা প্রযুক্ত তাপের সমান।

(৬) এমন কোনো যন্ত্রের উদ্ভাবন হয়নি যা জ্বালানি বা শক্তি ব্যতিরেকে কাজ করতে সক্ষম অর্থাৎ অনন্ত গতিযুক্ত যন্ত্র (perpetual motion machine) উদ্ভাবন সম্ভব নয় বা শক্তি ব্যয় না করে কোনো কাজ পাওয়া সম্ভব নয়।

১.২.৩ তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ব্যাখ্যা
Explanation of the first law of thermodynamics

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র ব্যবহার করে তাপ, অভ্যন্তরীণ শক্তি এবং কাজের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করা যায়। এছাড়া বিভিন্ন তাপীয় পদ্ধতিতে কাজের পরিমাণ জানা যায়। সিস্টেমটি তাপ গ্রহণ করছে না তাপ হারাচ্ছে এ সম্পর্কেও ধারণা পাওয়া যায়। নিম্নের ব্যাখ্যাগুলি লক্ষ কর :

কোনো সংস্থা dQ তাপ শোষণ করার জন্য এর অন্তর্নিহিত শক্তির পরিবর্তন du এবং কৃত কাজ dW হলে ব্যবকলনীয় সমীকরণের সাহায্যে তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রকে লেখা যায়—

$$\boxed{dQ = du + dW} \qquad \ldots \qquad (1.2)$$

তাপগতিবিদ্যার ১ম সূত্র

এই সমীকরণটি শক্তির নিত্যতার সূত্রেরই একটি বিশেষ রূপ। সমীকরণ (1.2) হলো তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের গাণিতিক রূপ। এটি সকল বস্তুর ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য।

সমীকরণ (1.2)-এ dQ, du এবং dW রাশিগুলি নিম্নের শর্ত সাপেক্ষে ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক হতে পারে।

শর্তসমূহ :

(i) dQ ধনাত্মক হবে যদি সিস্টেমে তাপ সরবরাহ করা হয় বা সিস্টেম তাপ গ্রহণ করে এবং ঋণাত্মক হবে যদি সিস্টেম তাপ হারায় বা সিস্টেম হতে তাপ পরিপার্শ্বে গমন করে।

(ii) সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পেলে du ধনাত্মক এবং শক্তি হ্রাস পেলে du ঋণাত্মক হবে।

*** (iii) সিস্টেমের দ্বারা পরিপার্শ্বের উপর কাজ সম্পাদিত হলে dW ধনাত্মক এবং পরিপার্শ্ব সিস্টেমের উপর কাজ করলে dW ঋণাত্মক হবে।

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র শক্তির নিত্যতা সূত্রের একটি বিশেষ রূপ

বিজ্ঞানী ক্লসিয়াসের মতে, কোনো সিস্টেমে তাপশক্তি অন্য কোনো শক্তিতে রূপান্তরিত হলে বা অন্য কোনো শক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হলে সিস্টেমের মোট শক্তির পরিমাণ একই হবে। অর্থাৎ, তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রটি শক্তির নিত্যতা সূত্রের একটি বিশেষ রূপ।

যখন কোনো সিস্টেমে তাপ প্রয়োগ করা হয়, তখন তার কিছু অংশ বস্তুর অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি করে এবং বাকি অংশে পরিবেশের উপর বাহ্যিক কার্য সম্পাদন করে। অর্থাৎ, শক্তির কোনো অপচয় হয় না। এক্ষেত্রে $\Delta Q = \Delta u + \Delta W$

১.২.৪ তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ব্যবহার
Applications of the First Law of Thermodynamics

(১) **সমোষ্ণ প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রে তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ব্যবহার (Use of the first law of thermodynamics in isothermal process) :**

যে প্রক্রিয়ায় কোনো সিস্টেমের তাপমাত্রা স্থির থাকে কিন্তু চাপ ও আয়তন পরিবর্তিত হয় তাকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়া বলে। এই প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের অন্তস্থ শক্তির কোনো পরিবর্তন হয় না।

তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রকে গাণিতিকভাবে লেখা যায়,

$$dQ = du + dW$$

সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় তাপমাত্রা স্থির থাকে, ফলে অন্তর্নিহিত বা অন্তস্থ শক্তি অপরিবর্তিত থাকে।

সুতরাং $du = 0$

অতএব, সমীকরণ (1.2)-কে লেখা যায়,

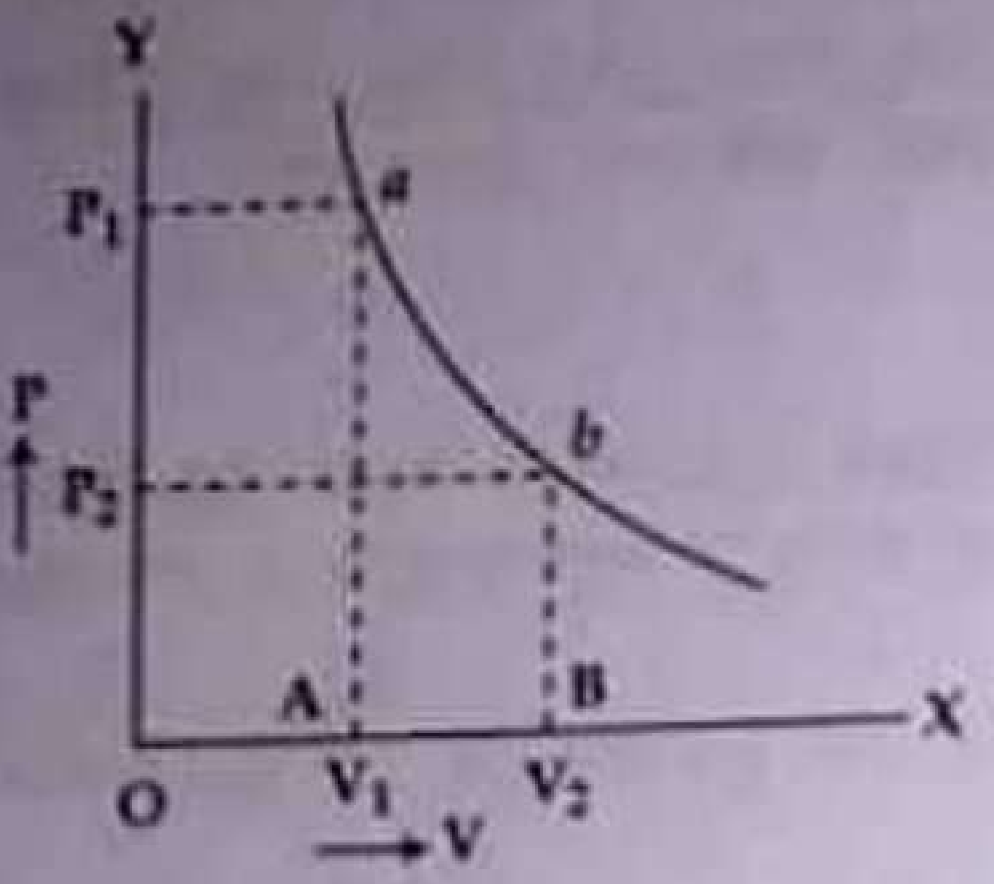
$$dQ = 0 + dW = dW \quad \ldots \qquad (1.3)$$

অর্থাৎ, সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় সিস্টেম বা ব্যবস্থা কর্তৃক সম্পাদিত কাজ সিস্টেমে সরবরাহকৃত বা গৃহীত তাপশক্তির সমান। সমীকরণ (1.3) সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের গাণিতিক রূপ।

সমোষ্ণ প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রে, n মোল

গ্যাসের জন্য, $PV = nRT$

বা, $P = \frac{nRT}{V}$



চিত্র : ১.২

কোনো গ্যাসের আয়তন V_1 থেকে V_2-তে পরিবর্তনের জন্য কাজ,

$$W = \int_{V_1}^{V_2} PdV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRTdV}{V} = nRT\int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

$$= nRT\left[\ln V\right]_{V_1}^{V_2} = nRT\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

যেহেতু সমোষ্ণ পরিবর্তনের ক্ষেত্রে অভ্যন্তরীণ শক্তির পরিবর্তন $\Delta u = 0$, কাজেই $dW = dQ$

বা, $W = Q = nRT\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

এই কাজ নির্দেশক চিত্র ১.২-এ $aABb$ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফলের সমান।

কাজ: কোনো ব্যবস্থা ধ্রুব আয়তনে 500 J তাপ বর্জন করে। ব্যবস্থাটির অন্তস্থ শক্তির পরিবর্তন নির্ণয় কর। ফলাফল ব্যাখ্যা কর।

$dQ = du + dW = du + PdV$ বা, $du = dQ - PdV$

$\therefore du = -500\,J + 0$ [$\because dQ = -500\,J$ এবং $dV = 0$]

$= -500\,J$ [অন্তস্থ শক্তি ঋণাত্মক হওয়ার অর্থ সিস্টেমের অন্তস্থ শক্তি হ্রাস পায়]

(২) রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রে তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ব্যবহার (Use of the first law of thermodynamics in adiabatic process) :

যে প্রক্রিয়ায় কোনো সিস্টেমের তাপ ধ্রুব থাকে কিন্তু চাপ ও আয়তন পরিবর্তিত হয় তাকে রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া বলে। রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় তাপের আদান-প্রদান হয় না। তাই কোনো গ্যাসের রুদ্ধতাপীয় প্রসারণের ক্ষেত্রে, $dQ = 0$। সুতরাং

সমীকরণ (1.2) হতে পাই,

$dQ = 0 = du + dW$

বা, $du = -dW$ $\boxed{dw = -du}$ ... ... (1.4)

বা, $dW = -du$

রুদ্ধতাপীয় প্রসারণের সময় সিস্টেম কর্তৃক সম্পাদিত কাজ সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি দ্বারা সম্পাদিত হয় বলে সিস্টেমের অভ্যন্তরীণ শক্তি তথা তাপমাত্রা হ্রাস পায় অর্থাৎ সিস্টেম শীতল হয়। পক্ষান্তরে রুদ্ধতাপীয় সংকোচনে সিস্টেম উষ্ণ হয়। এক্ষেত্রে বাইরে থেকে শক্তি সরবরাহ করে কাজ সম্পন্ন করতে হয়।

কোনো গ্যাসের প্রাথমিক অন্তর্নিহিত শক্তি u_1 এবং চূড়ান্ত অন্তর্নিহিত শক্তি u_2 হলে, সমীকরণ (1.4)-কে লেখা যায়,

$du = u_2 - u_1 = -dW$ ... ... (1.5)

$\therefore u_2 < u_1$

অর্থাৎ রুদ্ধতাপীয় প্রসারণের সময় বাহ্যিক কাজ করার জন্য অন্তর্নিহিত শক্তি হ্রাস পায়, ফলে তাপমাত্রাও হ্রাস পায়।

অনুরূপভাবে, রুদ্ধতাপীয় সংকোচন বা সংক্ষেপণের ক্ষেত্রেও $dQ = 0$ হয়। সংকোচনের ক্ষেত্রে সিস্টেমের উপর কাজ করা হয় বলে W ঋণাত্মক। সুতরাং সমীকরণ (1.4) হতে পাই,

$du = -(-dW) = dW$ ... ... (1.6)

বা, $u_2 - u_1 = dW$, এখানে u_1 ও u_2 যথাক্রমে সিস্টেমের প্রাথমিক ও চূড়ান্ত অন্তর্নিহিত শক্তি।

$\therefore u_2 > u_1$

অর্থাৎ রুদ্ধতাপীয় সংকোচনের সময় গ্যাসের অভ্যন্তরীণ শক্তি বৃদ্ধি পায়, ফলে গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়।

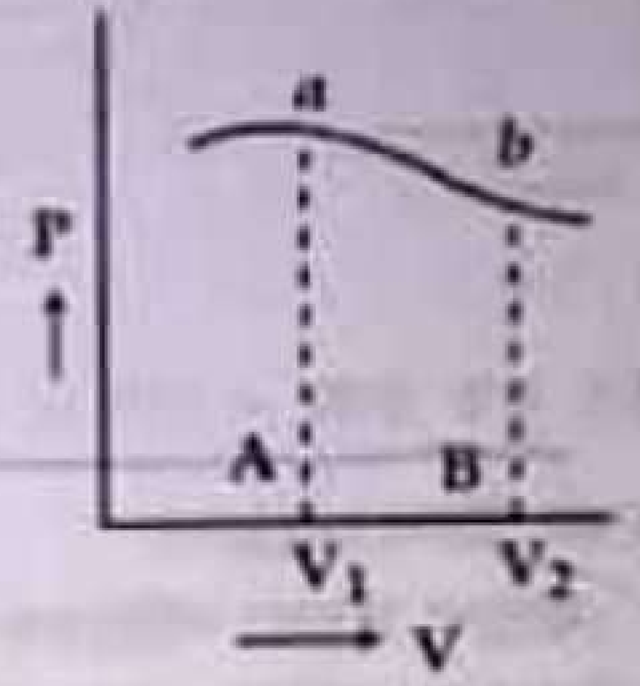
সমীকরণ (1.4) ও (1.6) রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের গাণিতিক রূপ।

যেহেতু রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় সিস্টেমে তাপের কোনো আদান প্রদান হয় না তাই $dQ = 0$। অতএব তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র থেকে পাই,

$$0 = du + dW$$

$$\therefore \quad dW = -du$$

প্রারম্ভিক অবস্থায় যদি কোনো গ্যাসের চাপ, আয়তন ও তাপমাত্রা যথাক্রমে P_1, V_1 ও T_1 এবং চূড়ান্ত অবস্থায় এদের মান P_2, V_2 ও T_2 হয় তাহলে প্রারম্ভিক থেকে চূড়ান্ত অবস্থায় যেতে কৃত কাজ,



চিত্র : ১.৩

$$W = \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের ক্ষেত্রে PV^{γ} = ধ্রুবক

$$\therefore \quad P = \frac{\text{ধ্রুবক}}{V^{\gamma}} = \frac{K}{V^{\gamma}}$$

সুতরাং $W = \int_{V_1}^{V_2} \frac{K}{V^{\gamma}} dV = K \int_{V_1}^{V_2} V^{-\gamma} dV = K\left[\frac{V^{-\gamma+1}}{-\gamma+1}\right]_{V_1}^{V_2}$

$$= K\left[\frac{V^{1-\gamma}}{-\gamma+1}\right]_{V_1}^{V_2} = \frac{K}{1-\gamma}\left[V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma}\right] = \frac{1}{1-\gamma}\left[KV_2^{1-\gamma} - KV_1^{1-\gamma}\right]$$

$$[\because P_1V_1^{\gamma} = P_2V_2^{\gamma} = K]$$

$$= \frac{1}{1-\gamma}\left[P_2V_2^{\gamma}V_2^{1-\gamma} - P_1V_1^{\gamma}V_1^{1-\gamma}\right]$$

$$= \frac{1}{1-\gamma}\left[P_2V_2 - P_1V_1\right] = \frac{1}{\gamma-1}\left[P_1V_1 - P_2V_2\right]$$

$$= \frac{1}{\gamma-1}\left[RT_1 - RT_2\right] \quad [\because PV = RT]$$

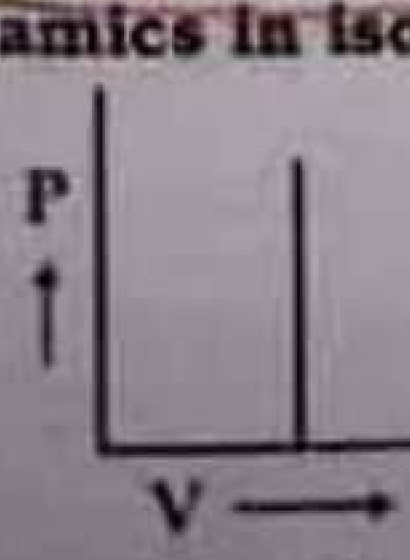
$$W = \frac{R}{\gamma-1}\left[T_1 - T_2\right]$$

এই কাজ নির্দেশক চিত্র ১.৩-এর $aABb$ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফলের সমান।

কাজ : রুদ্ধতাপীয় প্রসারণের সময় সিস্টেমের অন্তস্থ শক্তি হ্রাস পায়। কিন্তু রুদ্ধতাপীয় সংকোচনের সময় সিস্টেমের উষ্ণতা বৃদ্ধি পায় কেন ?

রুদ্ধতাপীয় প্রসারণের সময় সিস্টেম কর্তৃক সম্পাদিত কাজ সিস্টেমের অন্তস্থ শক্তি দ্বারা সম্পাদিত হয় বলে সিস্টেমের অন্তস্থ শক্তি হ্রাস পায়। অর্থাৎ সিস্টেম শীতল হয়। পক্ষান্তরে রুদ্ধতাপীয় সংকোচনের সময় বাইরে থেকে শক্তি সরবরাহ করে সিস্টেমের ওপর কাজ সম্পাদিত হয় বলে সিস্টেমের অন্তস্থ শক্তি বৃদ্ধি পায়, ফলে সিস্টেমের তাপমাত্রাও বৃদ্ধি পায়।

(৩) ধ্রুব আয়তন প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রে তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ব্যবহার (Use of the first law of thermodynamics in isochoric system) :

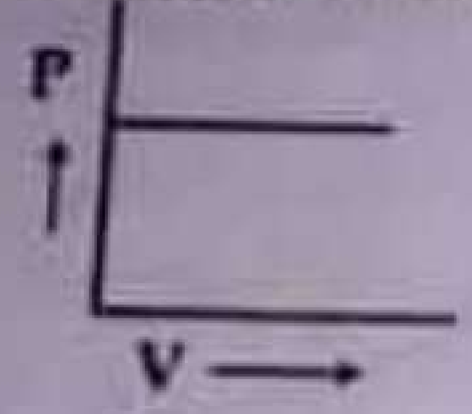


চিত্র : ১.৪

যে প্রক্রিয়ায় কোনো সিস্টেমের আয়তন ধ্রুব থাকে তাকে ধ্রুব আয়তন প্রক্রিয়া বলে। এই প্রক্রিয়ায় তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র অনুযায়ী, $dV = 0$; অতএব কাজের পরিমাণ, $dW = PdV = 0$. অর্থাৎ সমআয়তন প্রক্রিয়ায় তাপগতির প্রথম সূত্রে অর্থাৎ $dQ = du + PdV$ সমীকরণে $PdV = 0$ বসিয়ে পাই, $dQ = du$. সমআয়তন প্রক্রিয়ায় $P - V$ লেখচিত্র ১.৪।

অর্থাৎ এই প্রক্রিয়ায় অন্তস্থ শক্তির বৃদ্ধি সরবরাহকৃত তাপশক্তির সমান।

(৪) সমচাপ প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রে তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রের ব্যবহার (Use of the first law of thermodynamics in isobaric system) :



চিত্র : ১'৫

যে প্রক্রিয়ায় কোনো সিস্টেমের চাপ ধ্রুব থাকে তাকে ধ্রুব চাপ প্রক্রিয়া বলে। সমচাপ বা স্থির চাপে গ্যাসের আয়তন V_1 থেকে V_2 তে পরিবর্তিত হলে গ্যাস কর্তৃক মোট কৃত কাজ,

$$W = \int dW = \int_{V_1}^{V_2} PdV$$

$$= P\int_{V_1}^{V_2} dV = P[V_2 - V_1] = P\Delta V$$

অর্থাৎ কৃত কাজ = চাপ × আয়তনের পরিবর্তন। সমচাপ প্রক্রিয়ায় $P - V$ লেখচিত্র ১'৫।

গাণিতিক উদাহরণ

১। কোনো সংস্থা পরিবেশ থেকে 800 J তাপশক্তি শোষণ করায় এর অন্তস্থ শক্তি 500 J বৃদ্ধি পেল। সংস্থা কর্তৃক পরিবেশের উপর সম্পাদিত কাজের পরিমাণ নির্ণয় কর। [কু. বো. ২০০৫]

আমরা জানি,

$$\Delta Q = \Delta u + \Delta W$$
$$\therefore \Delta W = \Delta Q - \Delta u$$
$$= 800\text{ J} - 500\text{ J} = 300\text{ J}$$

এখানে,
$\Delta u = 500$ J
$\Delta Q = 800$ J
$\Delta W = ?$

২। পিস্টনযুক্ত একটি সিলিন্ডারে কিছু গ্যাস আবদ্ধ আছে। গ্যাসের চাপ 400 Pa-এ স্থির রেখে সিস্টেমে ধীরে ধীরে 800 J তাপশক্তি সরবরাহ করায় 1200 J কাজ সম্পাদিত হয়। গ্যাসের আয়তন এবং অন্তস্থ শক্তির পরিবর্তন নির্ণয় কর। [কু. বো. ২০০৯; চ. বো. ২০০১]

আমরা পাই, $\Delta W = P(V_2 - V_1)$

$$\therefore 1200 = 400(V_2 - V_1)$$
$$\therefore (V_2 - V_1) = \frac{1200}{400} = 3\text{ m}^3$$

আবার, $\Delta Q = \Delta u + \Delta W$

$$\therefore 800 = \Delta u + 1200$$
$$\therefore \Delta u = 800 - 1200 = -400\text{ J}$$

এখানে,
$P = 400$ Pa
$\Delta W = 1200$ J
$\Delta V = (V_2 - V_1) = ?$
$\Delta u = ?$
$\Delta Q = 800$ J

৩। 25°C তাপমাত্রা ও $1 \times 10^5\text{ Nm}^{-2}$ চাপে একটি আদর্শ গ্যাসের আয়তন $0{\cdot}05\text{m}^3$। স্থির চাপে গ্যাসটি উত্তপ্ত করায় এর আয়তন $0{\cdot}06\text{m}^3$ হলো। (ক) বাহ্যিক সম্পাদিত কাজ ও (খ) গ্যাসের নতুন তাপমাত্রা নির্ণয় কর।

(ক) আমরা জানি,
বাহ্যিক সম্পাদিত কাজ, $W = P\Delta V$
বা, $W = 1 \times 10^5 \times 0{\cdot}01$
$= 1000\text{J}$

এখানে,
চাপ, $P = 1 \times 10^5\text{ Nm}^{-2}$
আয়তন পরিবর্তন, $\Delta V = (0{\cdot}06 - 0{\cdot}05)\text{ m}^3 = 0{\cdot}01\text{ m}^3$

(খ) আমরা জানি,

$$\boxed{\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}}$$

বা, $T_2 = \frac{V_2 T_1}{V_1}$

$$\therefore T_2 = \frac{0{\cdot}06 \times 298}{0{\cdot}05} = 357{\cdot}6\text{ K}$$

এখানে,
আদি আয়তন, $V_1 = 0{\cdot}05\text{ m}^3$
চূড়ান্ত আয়তন, $V_2 = 0{\cdot}06\text{ m}^3$
আদি তাপমাত্রা, $T_1 = 25°\text{C} = (273 + 25)\text{ K} = 298\text{ K}$
নতুন তাপমাত্রা, $T_2 = ?$

৪। একটি সীসার গুলি কত বেগে একটি অনমনীয় লক্ষ্যবস্তুকে আঘাত করলে গুলির তাপমাত্রা 1'12°C বৃদ্ধি পাবে ? ধরে লও যে, আঘাতে উৎপন্ন তাপ শুধু গুলি দ্বারা শোষিত হয়েছে। [সীসার আপেক্ষিক তাপ = $30\text{ cal kg}^{-1}\text{°C}^{-1}$ এবং $J = 0{\cdot}2\text{ J cal}^{-1}$]

মনে করি, গুলির ভর = m kg এবং নির্ণেয় বেগ = $v\text{ ms}^{-1}$

কৃত কাজ, $W = \frac{1}{2}mv^2$ এবং উৎপন্ন তাপ, $H = ms t = m \times 30 \times 1{\cdot}12$ cal

আমরা জানি, $W = JH$

$$\frac{1}{2}mv^2 = 4{\cdot}2 \times m \times 30 \times 1{\cdot}12$$

$$\therefore v = \sqrt{2 \times 4{\cdot}2 \times 30 \times 1{\cdot}12} = 16{\cdot}8\text{ ms}^{-1}$$

৫। একখণ্ড বরফ ওপর থেকে ভূমিতে পতিত হলো। এতে পতন শক্তির 50% তাপে রূপান্তরিত হওয়ায় বরফ খণ্ডটির এক চতুর্থাংশ গলে গেল। বরফ খণ্ডটি কত উচ্চতা হতে পতিত হয়েছিল নির্ণয় কর।

[বরফ গলনের সুপ্ত তাপ = 80000 cal kg^{-1} এবং তাপের যান্ত্রিক সমতা = 4.2 J cal^{-1}]

ধরি, বরফ খণ্ডটির ভর = m kg এবং নির্ণেয় উচ্চতা = h m

তাহলে পতনে কৃত কাজ = mgh

তাপ উৎপন্নে ব্যয়িত পতন শক্তি, $W = \frac{1}{2}mgh$ $[\because 50\% = \frac{1}{2}]$

উৎপন্ন তাপ, $H = \frac{W}{J} = \frac{mgh}{2J}$

আবার বরফ খণ্ডটির এক-চতুর্থাংশে গলতে প্রয়োজনীয় তাপ = $H = \frac{m}{4} \times L$

কিন্তু উৎপন্ন তাপেই বরফ খণ্ডটি গলেছে

$$\therefore \frac{mgh}{2J} = \frac{m}{4} \times L$$

$$\text{বা, } h = \frac{JL}{2g} = \frac{4.2 \times 80000}{2 \times 9.80} \text{ m}$$

$$= 17.14 \text{ km}$$

১.৩ তাপীয় সিস্টেম
Thermal system

মনে কর, তাপ প্রয়োগে একটি গ্যাস ভর্তি সিলিন্ডারের সাথে যুক্ত একটি পিস্টনকে গতিশীল করা হলো। এক্ষেত্রে সিলিন্ডারযুক্ত পিস্টন একটি তাপীয় সিস্টেম। আর এর আশপাশের অন্য সকল বস্তু পরিবেশ বলে বিবেচিত হয়। দেখা যায় যে, তাপগতীয় ঘটনা বা সিস্টেমকে বর্ণনার জন্য তাপগতীয় স্থানাঙ্ক (thermodynamic co-ordinate) বা কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ রাশি যেমন চাপ (P), আয়তন (V) এবং তাপমাত্রা (T) এর প্রয়োজন হয়। **কোনো আবেষ্টনী দ্বারা আবদ্ধ কোনো নির্দিষ্ট পরিমাণ বস্তুকে তাপীয় ব্যবস্থা বা সিস্টেম হিসেবে ধরা হয়।** অন্যভাবে বলা যায়, **পরীক্ষা-নিরীক্ষার সময় আমরা জড় জগতের যে নির্দিষ্ট তাপীয় অংশ বিবেচনা করি তাকে তাপীয় সিস্টেম বলে।**

প্রত্যেক তাপীয় সিস্টেমের একটা নির্দিষ্ট আয়তন, ভর ও অন্তস্থ শক্তি থাকবে। তাপীয় সিস্টেম বিভিন্ন ধরনের হয়। যেমন—(১) উন্মুক্ত সিস্টেম (২) বদ্ধ সিস্টেম (৩) বিচ্ছিন্ন সিস্টেম।

উন্মুক্ত সিস্টেম পরিবেশের সাথে ভর ও শক্তি উভয়ই বিনিময় করতে পারে।

বদ্ধ সিস্টেম পরিবেশের সাথে শুধু শক্তি বিনিময় করতে পারে কিন্তু ভর বিনিময় করতে পারে না।

বিচ্ছিন্ন সিস্টেম পরিবেশ দ্বারা মোটেও প্রভাবিত হয় না। অর্থাৎ এক্ষেত্রে ভর ও শক্তি কিছুই বিনিময় করে না।

তাপীয় সিস্টেমে বিভিন্ন প্রকার তাপগতীয় পরিবর্তন
Different thermodynamical changes in thermal system

তাপগতিবিদ্যায় বিভিন্ন প্রকারের পরিবর্তন ঘটে। এই পরিবর্তন মোট চার প্রকারের; যথা—

(১) **সমোষ্ণ পরিবর্তন** (Isothermal change)

(২) **রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তন** (Adiabatic change)

(৩) **সমআয়তন পরিবর্তন** (Isochronic change) এবং

(৪) **সমচাপ পরিবর্তন** (Isobaric change)

এখানে আমরা সমোষ্ণ পরিবর্তন এবং রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তন আলোচনা করবো।

১.৩.১ সমোষ্ণ পরিবর্তন
Isothermal change

এটি একটি পরীক্ষিত ঘটনা যে, কোনো গ্যাসে চাপ প্রয়োগ করে হঠাৎ সংকুচিত করলে কিছু তাপ উৎপন্ন হয়। ফলে গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়। কিন্তু উৎপন্ন তাপকে তৎক্ষণাৎ অপসারণ করে ধীরে ধীরে চাপ বৃদ্ধি করলে তাপমাত্রার কোনো পরিবর্তন ঘটবে না।

আবার গ্যাসকে হঠাৎ প্রসারিত করলে তা বাহ্যিক চাপের বিরুদ্ধে কাজ করার সময় কিছু পরিমাণ তাপ হারাবে। ফলে এর তাপমাত্রা হ্রাস পাবে। কিন্তু গ্যাসকে যদি ধীরে ধীরে প্রসারিত করা হয় এবং বাইরে থেকে প্রয়োজনীয় তাপ সরবরাহ করা হয়, তবে গ্যাসের তাপমাত্রা স্থির থাকবে। এরূপ পরিবর্তনকে **সমোষ্ণ পরিবর্তন** বলা হয়। তাহলে দেখা যাচ্ছে

যে, সমোষ্ণ পরিবর্তনে গ্যাসে কখনও তাপ সরবরাহ করে আবার কখনও গ্যাস হতে তাপ অপসারণ করে এর তাপমাত্রা সর্বদা স্থির রাখা যায়।

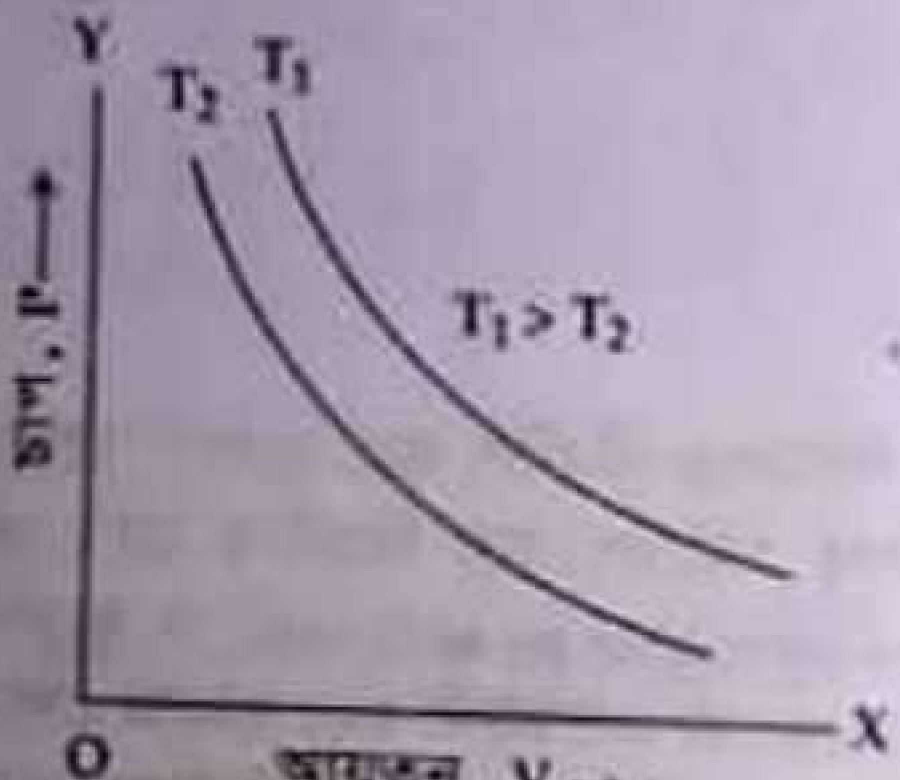
অর্থাৎ যে পরিবর্তনে কোনো গ্যাসের চাপের ও আয়তনের পরিবর্তন হয়, কিন্তু তাপমাত্রা স্থির থাকে সেই পরিবর্তনকে সমোষ্ণ পরিবর্তন (isothermal change) বলে এবং যে পদ্ধতিতে এই পরিবর্তন সংঘটিত হয় তাকে সমোষ্ণ প্রক্রিয়া (isothermal process) বলে।

সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় গ্যাসের চাপ ও আয়তনের সম্পর্ক বয়েলের সূত্র মেনে চলে। অর্থাৎ $P \propto \frac{1}{V}$

বা $PV =$ ধ্রুবক, এখানে P ও V যথাক্রমে চাপ ও আয়তন।

পরিকল্পিত কাজ : সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় গ্যাসের চাপ ও আয়তনের সম্পর্ক বয়েলের সূত্র মেনে চলে। অর্থাৎ $P \propto \frac{1}{V}$ লেখচিত্রে সম্পর্কটি দেখাও এবং ব্যাখ্যা কর।

স্থির তাপমাত্রায় কোনো আদর্শ গ্যাসের আয়তন V-কে X-অক্ষ বরাবর এবং চাপ P-কে Y-অক্ষ বরাবর স্থাপন করে লেখচিত্র অঙ্কন করলে লেখটি আয়তাকার পরাবৃত্ত হবে [চিত্র ১.৬]। ভিন্ন তাপমাত্রায় একই আকৃতির ভিন্ন লেখ পাওয়া যায়। এই লেখগুলিকে সমোষ্ণ (Isothermal) লেখ বলা হয়।



চিত্র ১.৬

সমোষ্ণ পরিবর্তনের শর্তসমূহ (Conditions for isothermal change)

(১) গ্যাসকে একটি সুপরিবাহী পাত্রে রাখতে হবে।

(২) পাত্রের চতুষ্পার্শ্বস্থ মাধ্যমের তাপগ্রাহীতা বা তাপধারণ ক্ষমতা উচ্চ হতে হবে।

(৩) চাপের পরিবর্তন ধীরে ধীরে সংঘটিত করতে হবে।

(৪) প্রয়োজনীয় তাপ গ্রহণ বা বর্জনের দ্বারা তাপমাত্রা স্থির থাকবে।

সমোষ্ণ পরিবর্তনের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of isothermal change)

(১) তাপমাত্রা স্থির রেখে কোনো গ্যাসের চাপ ও আয়তনের পরিবর্তনকে সমোষ্ণ পরিবর্তন বলে।
(২) এই পরিবর্তনে প্রয়োজনমতো তাপ সরবরাহ অথবা গ্রহণ করতে হয়।
R (৩) এটি একটি ধীর প্রক্রিয়া।
(৪) এই পরিবর্তনে পাত্রটি তাপের সুপরিবাহী হওয়া প্রয়োজন।
(৫) এই পরিবর্তনে পাত্রের চতুষ্পার্শ্বস্থ মাধ্যমের তাপগ্রাহীতা উচ্চ হতে হয়।
(৬) সমোষ্ণ পরিবর্তন বয়েল-এর সূত্র মেনে চলে অর্থাৎ $PV =$ ধ্রুবক।
(৭) সমোষ্ণ লেখ অপেক্ষাকৃত কম খাড়া।

কাজ : গ্যাস প্রসারণে সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় কৃত কাজ সমচাপ প্রক্রিয়ায় কৃত কাজ অপেক্ষা বৃহত্তর—ব্যাখ্যা কর।

কোনো সিস্টেমে গ্যাসের ক্ষুদ্র প্রসারণ dV এবং স্থির চাপ P হলে সমচাপ প্রক্রিয়ায় গ্যাস কর্তৃক কৃত মোট কাজ $dW = PdV =$ চাপ $\times$ আয়তনের পরিবর্তন। তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র হতে আমরা জানি, $dQ = du + dW$, অর্থাৎ সমচাপ প্রক্রিয়ায় সরবরাহকৃত তাপশক্তি সিস্টেমের অন্তঃস্থ শক্তি পরিবর্তনে এবং বহিস্থ কাজ সম্পাদনে ব্যয় হয়। কিন্তু সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় সিস্টেমের তাপমাত্রা স্থির থাকে বলে অন্তঃস্থ শক্তির কোনো পরিবর্তন হয় না।

$\therefore$ সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় $du = 0$; সুতরাং তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্রানুযায়ী $dQ = 0 + dW = dW$। অর্থাৎ সরবরাহকৃত তাপশক্তি সম্পূর্ণরূপে কাজ সম্পাদনে ব্যয় হয়। তাই সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় কৃত কাজ সমচাপ প্রক্রিয়ায় কৃত কাজ অপেক্ষা বেশি।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি সিলিন্ডারে 300 K তাপমাত্রায় এবং 4 বায়ুমণ্ডলীয় চাপে 10 লিটার গ্যাস আবদ্ধ আছে। সমোষ্ণ প্রক্রিয়ায় চাপ দ্বিগুণ করা হলে সিলিন্ডারে গ্যাসের আয়তন কত হবে?

আমরা জানি,

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

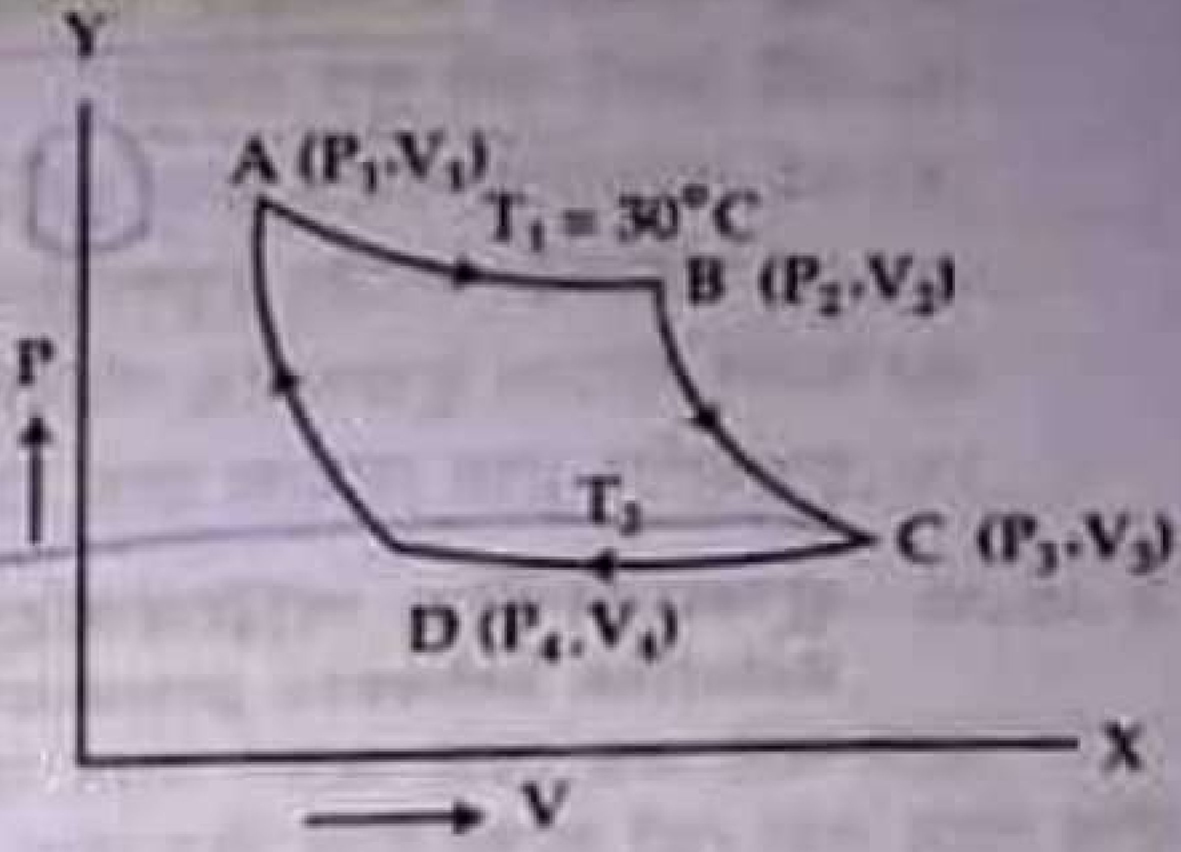
$$\therefore \quad V_2 = \frac{P_1V_1}{P_2} = \frac{4 \times 10}{8} = 5\ \text{L}$$

এখানে,

প্রাথমিক চাপ, $P_1 = 4\ \text{atm}$
প্রাথমিক আয়তন, $V_1 = 10\ \text{L}$
পরিবর্তিত চাপ, $P_2 = 2 \times 4 = 8\ \text{atm}$
$V_2 = ?$

২। কার্নো ইঞ্জিনের প্রতি স্তরে সংকোচন ও প্রসারণের অনুপাত 1 : 2। এতে কার্যনির্বাহক বস্তু হিসেবে 3 mol দ্বিপারমাণবিক গ্যাস ব্যবহার করা হলো। ($\gamma = 1.41$)

চক্রটির লেখ অনুযায়ী A হতে B বিন্দুতে আনতে কৃত কাজ হিসাব কর।



কার্নো চক্রের P—V লেখটিতে A হতে B বিন্দুতে গ্যাসটি সমোষ্ণভাবে প্রসারিত হয়। এক্ষেত্রে A বিন্দুতে গ্যাসটির চাপ ও আয়তন যথাক্রমে P_1, V_1 এবং B বিন্দুতে গ্যাসটির চাপ ও আয়তন যথাক্রমে P_2, V_2। এক্ষেত্রে গ্যাস T_1 তাপমাত্রায় উৎস হতে তাপ শোষণ করে এবং তাপ সবটুকু কাজে পরিণত করে। প্রশ্নমতে $V_1 = V$ হলে $V_2 = 2V$।

আমরা জানি, $PV = nRT$

$$P = \frac{nRT}{V}$$

$\therefore$ কৃত কাজ, $W = \int P dV$

বা, $$W = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT_1}{V} dV$$

$$= nRT_1 \left[\ln V\right]_{V_1}^{V_2} = nRT_1 \ln (V_2 - V_1) = nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

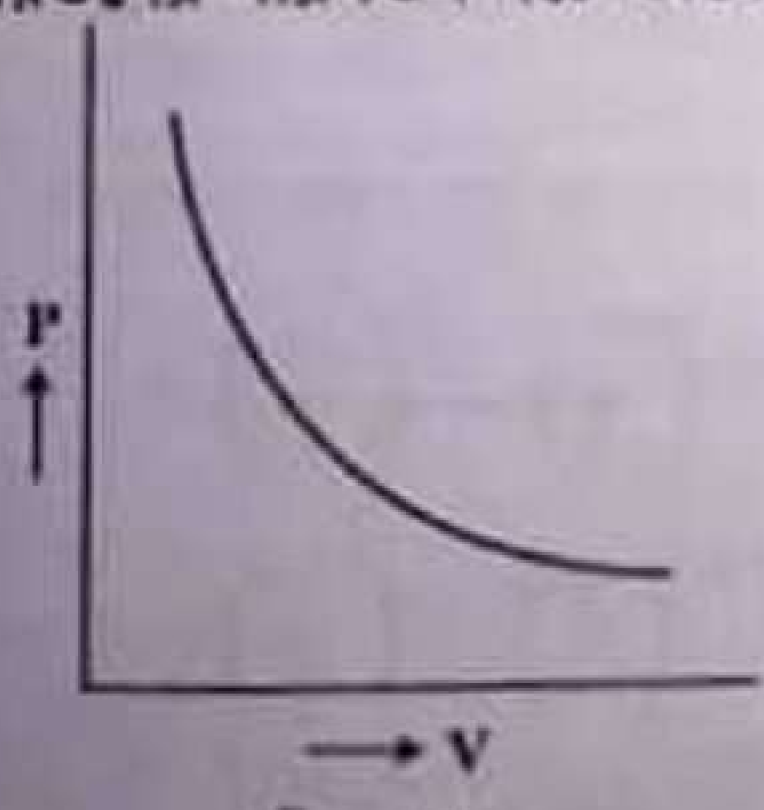
$$= 3 \times 8.31 \times (30 + 273) \ln \frac{2V}{V}$$

$$= 7553.8 \ln 2 = 5236 \text{ J}$$

১.৩.২ রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তন
Adiabatic change

কোনো গ্যাসকে হঠাৎ চাপ দিয়ে সঙ্কুচিত করলে কিছু পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হয়। যদি এই উৎপন্ন তাপ অপসারণ করা না হয়, তবে গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে। আবার কোনো গ্যাসকে হঠাৎ প্রসারিত হতে দিলে গ্যাসটি কিছু পরিমাণ তাপ হারাবে এবং বাইরে থেকে যদি সমপরিমাণ তাপ সরবরাহ করা না হয়, তবে গ্যাসের তাপমাত্রা হ্রাস পাবে। সুতরাং এই পরিবর্তনে তাপমাত্রা কখনও স্থির থাকে না। আরও উল্লেখ থাকে যে, এই ক্ষেত্রে গ্যাস তাপ গ্রহণ বা বর্জন করে না বটে, তবে গ্যাসের অন্তর্নিহিত শক্তি স্থির থাকে না— অন্তর্নিহিত শক্তির হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে। এরূপ পরিবর্তনকে রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তন বলা হয়। 'a' অর্থ 'না', 'dia' অর্থ 'বরাবর' এবং 'bates' অর্থ 'তাপ'। এক কথায় 'adiabatic'— অর্থ 'heat not passing through' অর্থাৎ তাপ সিস্টেমে প্রবেশ করে না বা সিস্টেম তাপ ত্যাগ করে না। রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের ক্ষেত্রে $PV^\gamma =$ ধ্রুবক সমীকরণ এবং $TV^{\gamma-1} =$ ধ্রুবক সমীকরণ প্রযোজ্য।

যে প্রক্রিয়ায় সিস্টেম তাপ গ্রহণ করে না কিংবা তাপ বর্জন করে না তাকে রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া বলে। যে পরিবর্তনে কোনো তাপ বাহির হতে সরবরাহ করা হয় না বা গ্যাস হতে অপসারণ করা হয় না অথচ গ্যাসের চাপ এবং আয়তনের পরিবর্তন ঘটে তাকে রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তন বলা হয়।



চিত্র ১.৭

অথবা, যে প্রক্রিয়ায় গ্যাসের চাপ ও আয়তন পরিবর্তনকালে তাপের পরিমাণ পরিবর্তন হয় না অর্থাৎ সিস্টেম (প্রক্রিয়াধীন গ্যাস) তাপ গ্রহণ বা বর্জন করে না, কিন্তু তাপমাত্রার পরিবর্তন ঘটে তাকে রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া বলে। এ পরিবর্তনকে রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তন বলে।

গ্যাসের রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের ক্ষেত্রে বয়েলের সূত্র প্রযোজ্য নয়। এক্ষেত্রে গ্যাসের চাপ ও আয়তনের মধ্যে সম্পর্ক হচ্ছে, $PV^\gamma =$ ধ্রুবক এবং তাপমাত্রা ও আয়তনের সম্পর্ক হলো $TV^{\gamma-1}$ ধ্রুবক। রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের ক্ষেত্রে P এবং V-এর লেখকে রুদ্ধতাপীয় লেখ (adiabatic curve) বলে। চিত্র ১.৭-এ একটি রুদ্ধতাপীয় লেখ দেখানো হয়েছে। রুদ্ধতাপীয় লেখ সমোষ্ণ লেখ-এর তুলনায় বেশি খাড়া হয়।

রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের শর্তসমূহ (Conditions for adiabatic change)

রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের জন্য নিম্নলিখিত শর্তসমূহ প্রয়োজন :

(ক) গ্যাসকে একটি কুপরিবাহী পাত্রে রাখতে হবে।

(খ) গ্যাসের চতুষ্পার্শ্বস্থ মাধ্যমের তাপগ্রাহীতা কম হতে হবে।

(গ) চাপ পরিবর্তন খুব দ্রুত সংঘটিত করতে হবে যাতে বাইরের সাথে তাপ আদান-প্রদানের কোনো সুযোগ না থাকে।

রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of adiabatic change)

(১) মোট তাপের পরিমাণ স্থির রেখে কোনো গ্যাসের চাপ ও আয়তনের পরিবর্তনকে রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তন বলে।
(২) এই পরিবর্তনে তাপমাত্রার পরিবর্তন ঘটে।
(৩) এটি একটি অতি দ্রুত প্রক্রিয়া।
(৪) এই পরিবর্তনে পাত্রটি তাপ কুপরিবাহী হওয়া প্রয়োজন।
(৫) এই পরিবর্তনে পাত্রের চতুস্পার্শ্বস্থ মাধ্যমের তাপগ্রাহীতা নিম্ন হতে হয়।
(৬) আদর্শ গ্যাসের রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের সমীকরণ হলো, PV^{γ} = ধ্রুবক।
(৭) রুদ্ধতাপীয় লেখ সমোষ্ণ লেখ হতে অধিক খাড়া।

১.৩.৩ রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনে চাপ ও আয়তনের মধ্যে সম্পর্ক
Relation between pressure and volume of a gas in adiabatic change

মনে করি এক মোল আদর্শ গ্যাস আছে। এই গ্যাসে dQ পরিমাণ তাপ প্রয়োগ করি। এতে গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে এবং সেই সঙ্গে গ্যাস কিছু কাজ করবে অর্থাৎ প্রদত্ত তাপ দুই ভাবে ব্যয়িত হবে।

ধরি আয়তনের পরিবর্তন dV এবং তাপমাত্রার পরিবর্তন dT.

∴ তাপগতিবিদ্যার প্রথম সূত্র হতে পাই,

$$dQ = C_V dT + PdV \qquad \ldots \quad (1.7)$$

এখানে, C_V = স্থির আয়তনে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ এবং PdV = নির্দিষ্ট চাপে গ্যাসের প্রসারণের জন্য কৃত কাজের পরিমাণ।

আমরা জানি, রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় বাইরের সাথে গ্যাসের তাপের কোনো আদান প্রদান ঘটে না।

অতএব, $dQ = 0$

∴ সমীকরণ (1.7) হতে পাই,

$$C_V dT + PdV = 0 \qquad \ldots \quad (1.8)$$

পুনঃ, আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে, $PV = RT$, এখানে R মোলার গ্যাস ধ্রুবক।

উক্ত সমীকরণকে ব্যবকলন করে পাই,

$$PdV + VdP = RdT$$

বা, $dT = \dfrac{PdV + VdP}{R}$

∴ সমীকরণ (1.8) হতে পাই,

$$C_V\left(\frac{PdV + VdP}{R}\right) + PdV = 0$$

বা, $C_V PdV + C_V VdP + RPdV = 0$

বা, $C_V PdV + C_V VdP + (C_P - C_V)PdV = 0 \qquad [\because R = C_P - C_V]$

বা, $C_V PdV + C_V VdP + C_P PdV - C_V PdV = 0$

বা, $C_V VdP + C_P PdV = 0$

বা, $VdP + \dfrac{C_P}{C_V} PdV = 0$ [C_V দ্বারা ভাগ করে]

বা, $VdP + \gamma PdV = 0 \qquad \left[\because \dfrac{C_P}{C_V} = \gamma\right]$

বা, $\dfrac{dP}{P} + \gamma\dfrac{dV}{V} = 0$ [PV দ্বারা ভাগ করে]

এখন সমাকলন করে পাই,

$\log_e P + \gamma \log_e V$ = ধ্রুবক = $\log_e K$, এখানে K = ধ্রুবক।

বা, $\log_e P + \log_e V^{\gamma} = \log_e K$

বা, $\log_e PV^{\gamma} = \log_e K$

∴ $PV^{\gamma} = K$ = ধ্রুবক

এটিই হলো চাপ ও আয়তনের মধ্যে সম্পর্ক। $\qquad \ldots \quad (1.9)$

যদি আদি চাপ ও আয়তন যথাক্রমে P_1 ও V_1 এবং চূড়ান্ত চাপ ও আয়তন যথাক্রমে P_2 ও V_2 হয়, তাহলে

$$P_1V_1^{\gamma} = P_2V_2^{\gamma} = \text{ধ্রুবক} \qquad \ldots \quad (1.10)$$

১.৩.৪ রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনে আয়তন ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক
Relation between volume and temperature in adiabatic change

আমরা জানি, আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে, $PV = RT$

$\therefore P = \frac{RT}{V}$

পুনঃ, আমরা পাই, $PV^\gamma =$ ধ্রুবক।

উক্ত সমীকরণে P-এর মান বসিয়ে পাই,

$\frac{RT}{V} \times V^\gamma =$ ধ্রুবক বা, $RTV^{\gamma-1} =$ ধ্রুবক

বা, $T \times V^{\gamma-1} =$ ধ্রুবক [$\because R =$ ধ্রুবক]

এটিই হলো রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় আয়তন ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক।

$TP^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = K$

$TV^{\gamma-1} = K$

১.৩.৫ রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনে আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে চাপ ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক
Relation between pressure and temperature in adiabatic process

আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে এক মোল গ্যাসের জন্য আমরা জানি,

$PV = RT$

বা, $V = \frac{RT}{P}$

রুদ্ধতাপীয় পরিবর্তনের ক্ষেত্রে $PV^\gamma =$ ধ্রুবক।

V-এর মান বসিয়ে পাই,

$P\left(\frac{RT}{P}\right)^\gamma =$ ধ্রুবক

বা, $P \times R^\gamma \times T^\gamma \times P^{-\gamma} =$ ধ্রুবক

বা, $P^{1-\gamma} \times T^\gamma = \frac{\text{ধ্রুবক}}{R^\gamma}$

বা, $T^\gamma P^{1-\gamma} =$ ধ্রুবক

এই সমীকরণের উভয় পাশে γ মূল দিয়ে ভাগ করে পাই,

$\therefore TP^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} =$ ধ্রুবক

ইহাই রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় চাপ ও তাপমাত্রার মধ্যে সম্পর্ক।

R $\begin{cases} \text{এক পারমানবিক গ্যাস } \gamma = 1.67 \\ \text{দ্বি } \gamma = 1.40 \\ \text{বহু } \gamma = 1.33 \end{cases}$

হিসাব : রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়ায় ($\gamma = 1.4$) দ্বি-পরমাণু গ্যাসের চাপ 0.5% বৃদ্ধি করা হলে গ্যাসের আয়তন কত কমবে ?

$P_1V_1^\gamma = PV^\gamma$ সূত্র ব্যবহার করে পাই,

$$\left(\frac{V_1}{V}\right)^\gamma = \left(\frac{P}{P_1}\right)$$

$$\left(\frac{V_1}{V}\right) = \left(\frac{P}{P_1}\right)^{1/\gamma}$$

বা, $V_1 = V \times \left(\frac{P}{P_1}\right)^{1/\gamma}$

বা, $V_1 = V \times \left(\frac{P}{P + 0.5\% \times P}\right)^{1/\gamma}$

বা, $V_1 = V \times \left(\frac{P}{P(1 + 0.5\%)}\right)^{1/\gamma}$

$\therefore V_1 = V \times .9964413 = V \times .9964$

$\therefore$ আয়তন কমার পরিমাণ $= \frac{V_1 - V}{V} \times 100\%$

$= \frac{V \times .9964 - V}{V} \times 100\%$

$= 0.35\%$

কাজ : রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় গ্যাসকে সংনমিত করলে এর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়—এর কারণ কী ?

রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় গ্যাসকে সংনমিত করলে তাপমাত্রা বেড়ে যায় এবং প্রসারিত করলে তাপমাত্রা কমে যায়। অর্থাৎ রুদ্ধতাপীয় গ্যাস কোনো তাপ গ্রহণ বা বর্জন না করলেও গ্যাসের অন্তস্থ শক্তি স্থির থাকে না। যখন গ্যাসকে সংনমিত করা হয় তখন গ্যাসের ওপর কাজ সম্পাদিত হয়। এতে গ্যাসের শক্তি বৃদ্ধি পায়। অর্থাৎ গ্যাসের অন্তস্থ শক্তির বৃদ্ধি ঘটে। কারণ এক্ষেত্রে গ্যাস তাপ বর্জন করতে পারে না। তাই এ রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়ায় গ্যাসকে সংনমিত করলে এর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়।

গাণিতিক উদাহরণ

১। 25°C তাপমাত্রায় ও বায়ুমণ্ডলীয় চাপে আবদ্ধ শুষ্ক বায়ুকে হঠাৎ বা রুদ্ধতাপে সংনমিত করে আয়তন অর্ধেক করা হলো। চূড়ান্ত (ক) তাপমাত্রা (খ) চাপ নির্ণয় কর। [$\gamma = 1.4$]

[চ. বো. ২০১০; ঢা. বো. ২০০৮; ব. বো. ২০০৪]

এখানে,

$T_1 = 25°C = (25 + 273)\ K = 298\ K$

$V_1 = 2V_2$

$\gamma = 1.4$

$P_1 = 1$ বায়ুমণ্ডলীয় চাপ

মনে করি চূড়ান্ত তাপমাত্রা $= T_2 K$ ও চাপ $= P_2$

আমরা পাই, $T_1V_1^{\gamma-1} = T_2V_2^{\gamma-1}$ ... (i)

$P_1V_1^{\gamma} = P_2V_2^{\gamma}$ ... (ii)

(ক) সমীকরণ (i) হতে পাই,

$$T_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} \times T_1 = 2^{1.4-1} \times 298\ K$$
$$= 393.18\ K = (393.18 - 273)°C$$
$$= 120.18°C$$

(খ) $P_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma} \times P_1$

$= 2^{1.4} \times 1$ বায়ুমণ্ডলীয় চাপ

$= 2.64$ বায়ুমণ্ডলীয় চাপ

২। বায়ুকে রুদ্ধতাপে প্রসারিত করে এর আয়তন তিনগুণ করা হলো। যদি প্রাথমিক চাপ 1 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ হয় তাহলে চূড়ান্ত চাপ কত হবে ? [$\gamma = 1.4$]

[রা. বো. ২০০৯; ব. বো. ২০০৫; ঢা. বো. ২০০৪]

এখানে,

প্রাথমিক চাপ = 1 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ, $P_1 = 0.76$ m পারদ

স্তম্ভের চাপ $= 0.76\ m \times (13.6 \times 10^3\ kgm^{-3}) \times 9.8\ ms^{-2}$

$= 1.013 \times 10^5\ Nm^{-2}$

প্রাথমিক আয়তন $= V_1$

চূড়ান্ত আয়তন, $V_2 = 3V_1$

$\gamma = 1.4$

চূড়ান্ত চাপ, $P_2 = ?$

আমরা জানি,

$$P_1V_1^{\gamma} = P_2V_2^{\gamma}$$
$$\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

বা, $\left(\frac{3V_1}{V_1}\right)^{\gamma} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)$

$\therefore (3)^{1.4} = \frac{1.013 \times 10^5}{P_2}$

বা, $P_2 = \frac{1.013 \times 10^5}{(3)^{1.4}}$

$= 2.176 \times 10^4\ Nm^{-2}$

৩। একটি কার্নো ইঞ্জিনের লেখচিত্র P – V নিম্নরূপ :

Y

A (P_1V_1)

এখানে,

A (P_1V_1)

এখানে,

(i) স্থির চাপে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ C_P :

স্থির চাপে 1 mole গ্যাসের তাপমাত্রা 1K বৃদ্ধি করতে যে তাপের প্রয়োজন তাকে স্থির চাপে মোলার আপেক্ষিক তাপ বলে। একে C_P দ্বারা প্রকাশ করা হয়। চাপ স্থির রেখে m মোল গ্যাসের তাপমাত্রা ΔT বাড়াতে যদি ΔQ তাপের প্রয়োজন হয়, তবে সংজ্ঞানুসারে,

$$\boxed{C_P = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}} \quad \ldots \quad (1.12)$$

(ii) স্থির আয়তনে গ্যাসের মোলার আপেক্ষিক তাপ, C_V :

স্থির আয়তনে 1 mole গ্যাসের তাপমাত্রা 1K বৃদ্ধি করতে যে তাপের প্রয়োজন তাকে স্থির আয়তনে মোলার আপেক্ষিক তাপ বলে। একে C_V দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

আয়তন স্থির রেখে m মোল গ্যাসের তাপমাত্রা ΔT বাড়াতে যদি ΔQ তাপের প্রয়োজন হয়, তবে সংজ্ঞানুসারে,

$$\boxed{C_V = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}} \quad \ldots \quad (1.13)$$

পরীক্ষায় দেখা গেছে C_P-এর মান C_V অপেক্ষা বেশি হয়। এর ভৌত কারণ পরবর্তী অনুচ্ছেদে আলোচনা করা হলো।

$C_P - C_V = R$

১.৪.১ C_P এবং C_V-এর পার্থক্যের ভৌত ব্যাখ্যা

Physical explanation of the difference between C_P and C_V

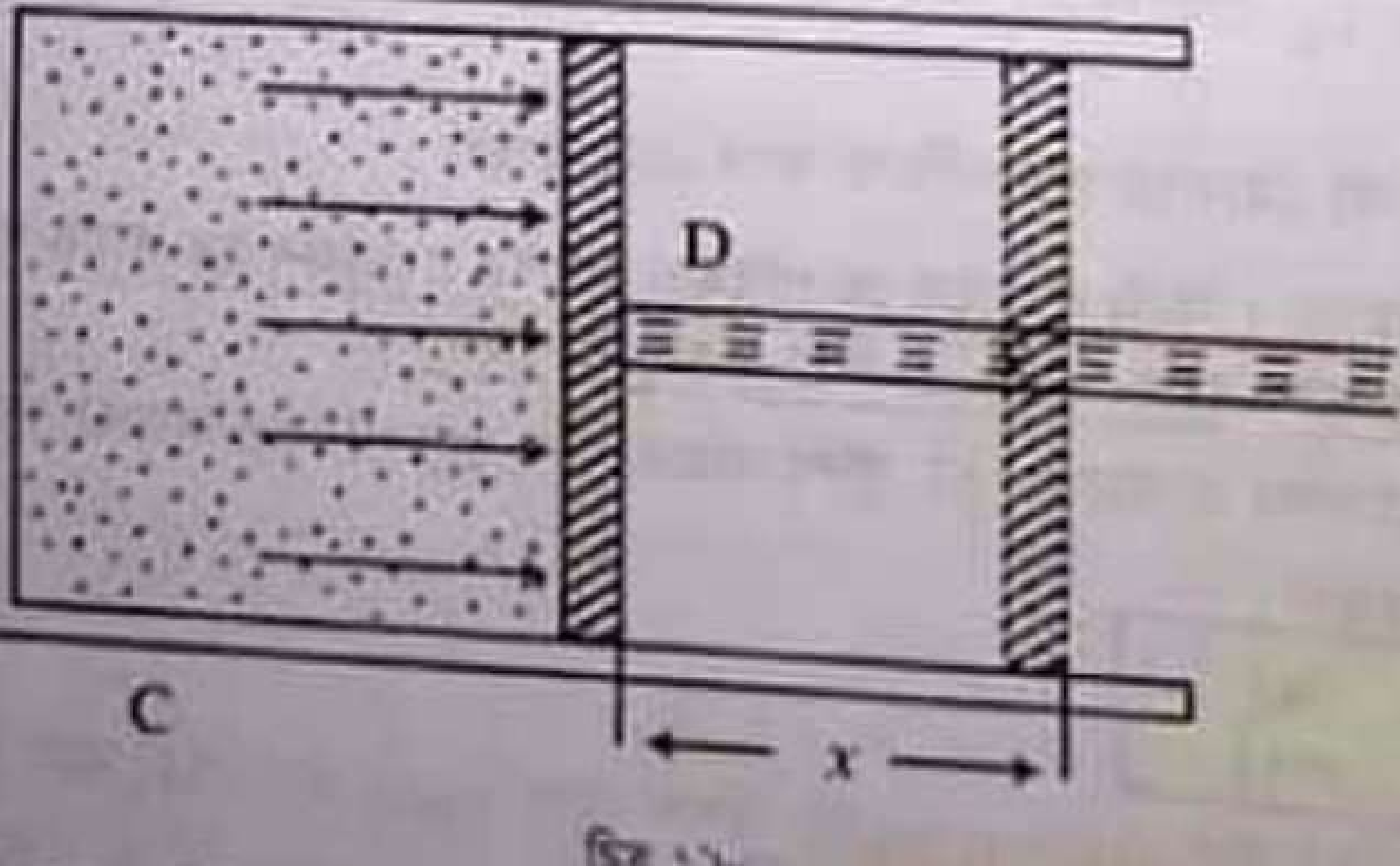
একটি নির্দিষ্ট ভরের কোনো গ্যাসের আয়তন স্থির রেখে তাকে উত্তপ্ত করতে থাকলে তার চাপ ও তাপমাত্রা উভয়ই বৃদ্ধি পায়। কিন্তু আয়তন স্থির থাকায় ঐ গ্যাস বাহ্যিক কোনো কাজ করে না। ফলে সম্পূর্ণ তাপ গ্যাসের চাপ ও তাপমাত্রা পরিবর্তনেই ব্যয় হয়। আবার চাপ স্থির রেখে গ্যাসটিকে উত্তপ্ত করতে থাকলে তার আয়তন ও তাপমাত্রা উভয়ই বৃদ্ধি পায়। ফলে প্রযুক্ত তাপ একদিকে গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে এবং অপরদিকে বাহ্যিক চাপের বিরুদ্ধে গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধি করে কিছু কাজ সম্পন্ন করে। সুতরাং স্থির আয়তনে 1 মোল গ্যাসের তাপমাত্রা 1K পর্যন্ত বৃদ্ধি করতে যে তাপের প্রয়োজন হবে স্থির চাপে ঐ গ্যাসের তাপমাত্রা 1K বৃদ্ধি করতে তা অপেক্ষা কিছু বেশি তাপের প্রয়োজন হবে। কেননা দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বাহ্যিক চাপের বিরুদ্ধে কাজ করে আয়তন বৃদ্ধি করতে কিছু অতিরিক্ত তাপ লাগবে। অর্থাৎ $C_P = C_V +$ বাহ্যিক চাপের বিরুদ্ধে কাজের সমতুল তাপ। সুতরাং $\boxed{C_P > C_V}$।

১.৪.২ একটি আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে C_P ও C_V-এর মধ্যে পার্থক্য

Difference between C_P and C_V for an ideal gas

আমরা জানি গ্যাসের দুটি আপেক্ষিক তাপ আছে, একটি C_P এবং অপরটি C_V। এদের মধ্যে পার্থক্য বের করতে হবে।

একটি আদর্শ গ্যাসের দুই আপেক্ষিক তাপের মধ্যে পার্থক্য করতে গিয়ে তাপ কুপরিবাহী পদার্থের একটি আবদ্ধ চোঙ লই। মনে করি চোঙ C। চোঙের মধ্যে একটি হালকা ঘর্ষণ শূন্য ও বায়ু নিরুদ্ধ পিস্টন বিনা বাধায় চলাচল করতে পারে। মনে করি পিস্টনটি D। পিস্টনটিও কুপরিবাহী পদার্থের তৈরি।



চিত্র ১৮

এই আবদ্ধ চোঙে 1 মোল পরিমাণ গ্যাস লই। এখন গ্যাসটির আয়তন স্থির রেখে এর তাপমাত্রা dT পরিমাণ বৃদ্ধি করি। যদি স্থির আয়তনে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ C_V হয়, তবে গ্যাস কর্তৃক গৃহীত তাপ

= ভর × আপেক্ষিক তাপ × তাপমাত্রার পার্থক্য

$= 1 \times C_V \times dT$

$= C_V\, dT$

গ্যাসের তাপমাত্রা বৃদ্ধির পরিমাণ এক কেলভিন হলে গ্যাস কর্তৃক গৃহীত তাপ

$= C_V \times 1$

$= C_V$ জুল (J)

মনে করি স্থির চাপে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ C_P অর্থাৎ স্থির চাপে 1 মোল গ্যাসের তাপমাত্রা 1 ডিগ্রি বাড়াতে C_P পরিমাণ তাপের প্রয়োজন হবে। গ্যাসে সরবরাহকৃত এই তাপ দুই ভাগে ব্যয়িত হবে। এর একটি অংশ C_V গ্যাসের তাপমাত্রা বাড়াবে এবং অপর অংশে বাহ্যিক চাপ P-এর বিরুদ্ধে গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধিতে কাজ করবে। ধরি চাপের বিরুদ্ধে গ্যাসের আয়তন বৃদ্ধির ফলে পিস্টনটি x পরিমাণ দূরত্ব বাইরে সরে গেল। অতএব কাজের পরিমাণ

= বল × সরণ

= চাপ × ক্ষেত্রফল × সরণ [∵ বল = চাপ × আয়তন]

$= P \times A \times x$; এখানে A = পিস্টন বা চোঙের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল

∴ কাজ $= P.dV$ জুল (J); এখানে dV = গ্যাসের প্রসারিত আয়তন $= A.\ x.$

অতএব,

$C_P = C_V +$ কাজের পরিমাণ

বা, $C_P = C_V + P.dV$ ... ... (1.14)

আমরা জানি আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে

$PV = RT$ ... ... (1.15)

যদি চাপ স্থির থাকে, তবে সমীকরণ (1.15)-কে ব্যবকলন করে পাই,

$P\,dV + V \times 0 = R\,dT + T \times 0$

বা, $P\,dV = R\,dT = R$ [∵ তাপমাত্রা বৃদ্ধি $dT = 1$ K]

∴ সমীকরণ (1.14) হতে পাই,

$C_P = C_V + R$

বা, $\boxed{C_P - C_V = R}$ ... ... (1.16)

অর্থাৎ গ্যাসের দুই আপেক্ষিক তাপের পার্থক্য বা অন্তরফল গ্যাস ধ্রুবক R-এর সমান।

যেহেতু R ধনাত্মক, সুতরাং $C_P > C_V$ । R-এর মান 8'314 J K^{-1} mol^{-1} বসিয়ে সমীকরণ (1.16) হতে পাওয়া যায়, $C_P - C_V = 8'314$ J K^{-1} mol

সমীকরণ (1.16) থেকে পাই, $\frac{C_P}{C_V} - 1 = \frac{R}{C_V}$

বা, $\gamma - 1 = \frac{R}{C_V}$

বা, $\boxed{C_V = \frac{R}{\gamma - 1}}$ $C_V = \frac{R}{\gamma-1}$ ... ... [1.16(a)]

১.৪.৩ γ-এর মানের ভিন্নতা ও গুরুত্ব

Variation in the value of γ and its importance

আমরা জানি,

$$\boxed{\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{\text{স্থির চাপে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ}}{\text{স্থির আয়তনে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ}}}$$

এক পারমাণবিক গ্যাসের ক্ষেত্রে

$\boxed{C_V = \frac{3}{2}R}$ এবং

$C_P = C_V + R = \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{\frac{5}{2}R}{\frac{3}{2}R} = 1'67$$

দ্বিপারমাণবিক গ্যাসের ক্ষেত্রে

$C_V = \frac{5}{2}R$ এবং

$C_P = C_V + R = \frac{5}{2}R + R = \frac{7}{2}R$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{\frac{7}{2}R}{\frac{5}{2}R} = \frac{7}{5}R = 1{\cdot}40$$

বহুপারমাণবিক গ্যাসের ক্ষেত্রে

$C_V = 3R$ এবং

$C_P = 3R + R = 4R$

$$\therefore\ \gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{4R}{3R} = \frac{4}{3} = 1{\cdot}33$$

পরীক্ষালব্ধ ফলাফল হতে দেখা যায় সকল এক পরমাণুক গ্যাসের ক্ষেত্রে [যেমন He, Ne, Ar] γ-এর মান 1·67। সকল দ্বিপরমাণুক গ্যাসের ক্ষেত্রে [যেমন H_2, O_2, N_2, Cl_2] γ-এর মান 1·40 এবং সকল ত্রিপরমাণুক গ্যাসের ক্ষেত্রে [যেমন CO_2, C_2H_6, NH_3] γ-এর মান 1·33। অতএব একই প্রকার আণবিক গঠনের জন্য γ-এর মান নির্দিষ্ট এবং বিভিন্ন গঠনের গ্যাসের জন্য γ-এর মান ভিন্ন ভিন্ন হয়।

γ-এর গুরুত্ব :

(ক) কোনো গ্যাসের γ-এর মান জানা থাকলে ওই গ্যাসের আণবিক বিন্যাস জানা যায় অর্থাৎ ওই গ্যাসের প্রতিটি অণুর মধ্যে কয়টি পরমাণু আছে তা জানা যায়।

(খ) গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দের বেগ γ-এর মানের উপর নির্ভর করে। তাই শব্দের বেগ নির্ণয়ের জন্য এর প্রয়োজন হয়।

(গ) গ্যাসের রুদ্ধতাপ প্রক্রিয়া পর্যালোচনার জন্য γ-এর মান জানা দরকার।

গাণিতিক উদাহরণ

১। বহুপারমাণবিক গ্যাসের জন্য স্থির আয়তনে ও স্থির চাপে মোলার আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় কর।

[$\gamma = 1{\cdot}33$, $R = 8{\cdot}31\ J\ mol^{-1}K^{-1}$]

আমরা জানি,

$$C_P - C_V = R \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (i)$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

$$\therefore\ C_P = \gamma C_V$$

সমীকরণ (i)-এ C_P এর মান বসিয়ে পাই,

$$C_V(\gamma - 1) = R$$

$$C_V = \frac{R}{\gamma - 1} = \frac{8{\cdot}31}{1{\cdot}33 - 1} = 25{\cdot}18\ J\ mol^{-1}K^{-1}$$

আবার, $C_P = C_V + R$

$= 25{\cdot}18 + 8{\cdot}31 = 33{\cdot}49\ J\ mol^{-1}K^{-1}$

১.৪.৪ রুদ্ধতাপীয় রেখা (লেখ) সমোষ্ণ রেখা (লেখ)-এর চেয়ে অধিকতর খাড়া

Adiabatic curve is steeper than isothermal curve

P—V লেখচিত্রের সাহায্যে সমোষ্ণ ও রুদ্ধতাপীয় প্রক্রিয়া নির্দেশ করা যায় [চিত্র ১·৯]। লেখচিত্রের কোনো বিন্দুতে স্পর্শক টানলে ওই বিন্দুতে ঢাল বা নতি হবে $\frac{dP}{dV}$। দেখা যায় যে, যেকোনো বিন্দুতে রুদ্ধতাপ রেখার ঢাল সমোষ্ণ রেখার ঢালের γ গুণ হয়।

কোন বস্তুকে চার্জিত করার উপায় ৩টি। ঘর্ষণ, পারবহণ, আবেশ
ধাপ ৩ টি। নিকটে আনা, স্পর্শ করা, অপসারণ করা।

- মনে রাখতে হবে–

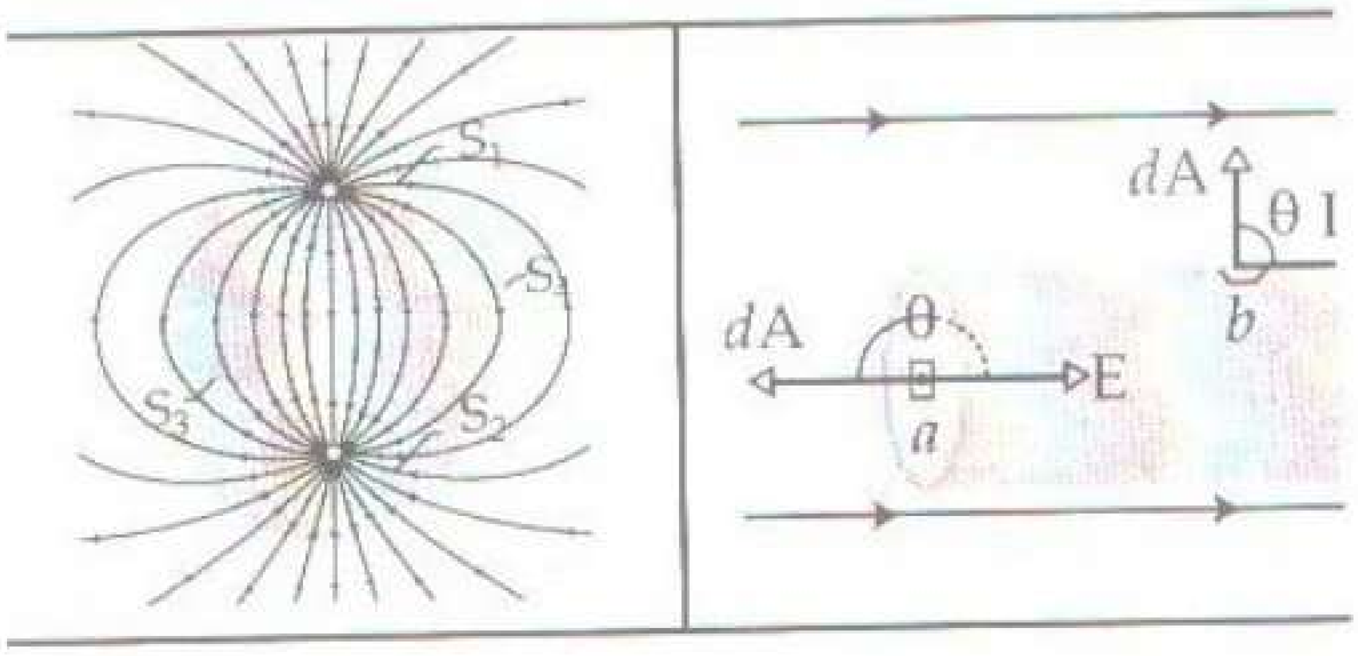
পরিবাহী- মানবদেহ, মাটি, এসিড মিশ্রিত পানি, এসিড, সবজি, ধাতু (Cu Fe, Ag, Au) গ্রাফাইট, কোক, কার্বন।
অপরিবাহীঃ কাচ, রেশম, রাবার, ইবোনাইট, অভ্র, পোর্সেলিন, মোম, গন্ধক শুকনো কাঠ, রজন, কাগজ।
অর্ধপরিবাহীঃ

তোমার → তুলা, পরশ → পাথর, আমায় → অ্যালকোহল, কাঁদায় → কেরোসিন

জার্মান → Ge, শিল্পীরা → Si, ফুচকা → P, আনায় → Al, আগে → আর্সেনাইড, Ga

একটি ইলেকট্রন বা প্রোটনের চার্জই প্রকৃতিতে ন্যূনতম মানের চার্জ।
কুলম্ব চার্জ = 6.24×10^{18} সংখ্যক ইলেকট্রনের চার্জ।
"সমধর্মী আধান পরস্পরকে বিকর্ষণ, বিপরীতধর্মী আধান পরস্পরকে আকর্ষণ করে"– স্থির তড়িৎ এর ১ম সূত্র।

২
স্থির তড়িৎ
ELECTROSTATICS



সূচনা
Introduction

লক্ষ করলে, বিশেষ করে শীতকালে আমরা দেখতে পাই যে, চিরুনি দিয়ে মাথা আচড়াবার পর ছোট ছোট কাগজের টুকরার উপর ধরলে চিরুনি কাগজের টুকরাকে আকর্ষণ করে। এ ঘটনা আমাদের অনেকেরই জানা। গ্রিক দার্শনিক **থেলিস** (Thales : 640-548 B.C.) সর্বপ্রথম পর্যবেক্ষণ করেন যে সোলেমানী পাথর বা পাইন গাছের শক্ত আঠা দিয়ে রেশমি কাপড়কে ঘষলে এগুলো ছোট ছোট কাগজের টুকরাকে আকর্ষণ করে। **উইলিয়াম গিলবার্ট** (William Gilbert : 1540–1603) এ সম্বন্ধে বিস্তারিত অনুসন্ধান করেন এবং অনেক পদার্থের মধ্যে এই গুণাগুণ লক্ষ করেন। ড. গিলবার্ট পরবর্তীতে লক্ষ করেন যে ঘর্ষণের ফলে প্রত্যেক বস্তু অন্য বস্তুকে কম-বেশি আকর্ষণ করে যা **তড়িতাহিতকরণ ধর্ম** নামে পরিচিত।

আম্বার → গ্রিক ভাষায় ইলেকট্রন → ইলেকট্রিসিটি বা তড়িৎ

এ অধ্যায় আমরা কুলম্বের সূত্র, ক্ষেত্র তত্ত্ব, তড়িৎ ক্ষেত্র, তড়িৎ বিভব, তড়িৎ দ্বিমেরু, তড়িৎ মেরুর জন্য তড়িৎ প্রাবল্য, চার্জের সংরক্ষণশীলতা ও কোয়ান্টায়ন, ডাই ইলেক... করব।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- কুলম্বের সূত্রকে ক্ষেত্র তত্ত্বের আলোকে ব্যাখ্যা করতে...
- একটি বিন্দু চার্জের জন্য তড়িৎ বল, তড়িৎ ক্ষেত্র, তা... করতে পারবে।
- সমবিভব তল, তড়িৎ দ্বিমেরু, চার্জের কোয়ান্টায়ন এব... করতে পারবে।
- একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য ক্ষেত্র প্রাবল্য এবং তড়িৎ বি...
- ধারকের শ্রেণি ও সমান্তরাল সংযোগ ব্যাখ্যা করতে পা...
- ধারকের তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় করতে পারবে।
- ধারক ও ধারকত্ব ব্যাখ্যা, ধারকের শক্তি পরিমাপসহ দে...
- কুলম্বের সূত্র হতে গাউসের সূত্র প্রতিপাদন করতে প...
- গাউসের সূত্র ব্যবহার করে বিভিন্ন ক্ষেত্রে তড়িৎ ক্ষেত্র...
- কুলম্বের সূত্রের সীমাবদ্ধতা ব্যাখ্যা করতে পারবে।

বৈদ্যুতিক বলরেখার বৈশিষ্ট্যাবলিঃ

- এটি খোলা বক্ররেখা, কেননা, পরিবাহীর মধ্যে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবার পূর্বে ব... রেখা থাকে না।
- রেখাগুলো ধন চার্জ হতে উৎপন্ন হয় ঋণ চার্জে শেষ হয়
- ইহা ধন চার্জগ্রস্থ তল হতে অভিলম্বভাবে বের হয় এবং ঋণ চার্জ গ্রস্থ ত... অভিলম্বভাবে শেষ হয়।
- দুইটি বলরেখা পরস্পরকে ছেদ করে না
- প্রত্যেক বলরেখায় দুই প্রান্তে বিপরীত চার্জ থাকে
- বলরেখাগুলো পরস্পরের উপর পার্শ্বচাপ প্রয়োগ করে।
- পরস্পরকে পার্শ্বদিকে বিকর্ষণ করে এবং দৈর্ঘ্য অভিমুখে আকর্ষণ করে।
- বলরেখাগুলো স্থিতিস্থাপক সূতার ন্যায় আচরণ করে অর্থাৎ এরা দৈর্ঘ্য বরা... সংকুচিত হয় এবং পার্শ্বদিকে প্রসারিত হয়।
- বৈদ্যুতিক বলরেখাগুলো বাস্তব অস্তিত্ব নেই

২·১ কুলম্বের সূত্র ও ক্ষেত্র তত্ত্ব
Coulomb's Law and Field Theory

কুলম্বের সূত্র
Coulomb's law

আমরা জানি একটি চার্জ অপর একটি চার্জকে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ করে। দুটি চার্জের মধ্যকার এই আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলের মান তিনটি শর্তের উপর নির্ভর করে; যথা—

(i) চার্জ দুটির পরিমাণ
(ii) চার্জ দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব এবং
(iii) চার্জ দুটির মধ্যবর্তী মাধ্যম।

M – 13-14

এই শর্তগুলোকে ভিত্তি করে বিখ্যাত ফরাসি বিজ্ঞানী **কুলম্ব** (Coulomb) 1787 খ্রিস্টাব্দে দুটি বিন্দু চার্জের মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের একটি সূত্র আবিষ্কার করেন। এটি **কুলম্বের সূত্র** নামে পরিচিত। সূত্রটি বিবৃত করার আগে বিন্দু চার্জ কি তা জানা দরকার। কারণ কুলম্বের সূত্র কেবলমাত্র বিন্দু চার্জের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। অর্থাৎ যে সকল তড়িতাহিত বস্তুর আকার তাদের অন্তর্বর্তী দূরত্বের তুলনায় নগণ্য কেবলমাত্র তাদের ক্ষেত্রেই এই সূত্র প্রযুক্ত হয়। কুলম্বের সূত্র সরাসরি প্রয়োগ করে দুটি তড়িতাহিত বিস্তৃত বস্তুর পারস্পরিক বল নির্ণয় করা যায় না। দুটি চার্জের পারস্পরিক বলের সাথে চুম্বক এবং মহাকর্ষের অনুরূপ রাশিগুলির সুস্পষ্ট সাদৃশ্য রয়েছে।

বিন্দু চার্জ : আহিত বা চার্জিত বস্তুর আকার যখন খুবই ক্ষুদ্র হয়, তখন ঐ চার্জিত বস্তুর চার্জকে বিন্দু চার্জ বলা হয়। ঐ ধরনের চার্জিত বস্তুগুলো তাদের মধ্যকার দূরত্বের তুলনায় এত ছোট যে ঐগুলোকে গাণিতিক বিন্দু (mathematical point) হিসেবে বিবেচনা করা যায়।

(১৩-১৪) বিন্দু চার্জের সাহায্যে কুলম্বের সূত্র নিম্নরূপে বিবৃত করা যায়—

কুলম্বের সূত্র : কোনো একটি নির্দিষ্ট মাধ্যমে দুটি বিন্দু চার্জের মধ্যে ক্রিয়াশীল আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বলের মান চার্জ দুটির গুণফলের সমানুপাতিক, চার্জ দুটির মধ্যবর্তী দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক এবং এই বল চার্জ দুটির সংযোজক সরলরেখা বরাবর ক্রিয়া করে। ১৭৮৭ সালে ফরাসি বিজ্ঞানী কুলম্ব

ব্যাখ্যা : মনে করি কোনো মাধ্যমে q_1 এবং q_2 দুটি বিন্দু চার্জ পরস্পর হতে r দূরে অবস্থিত [চিত্র ২·১]। এরা যদি পরস্পরের উপরে F পরিমাণ বল প্রয়োগ করে, তাহলে কুলম্বের সূত্র অনুসারে,

চিত্র ২·১

$F \propto q_1 q_2$ যখন r স্থির বা ধ্রুব থাকে

এবং $F \propto \frac{1}{r^2}$ যখন q_1 ও q_2 স্থির বা ধ্রুব থাকে।

যখন r, q_1 ও q_2 সকল রাশিই পরিবর্তনশীল, তখন

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

কুলম্ব = অ্যাম্পিয়ার × সেকেন্ড

বা, $$F = K\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad \ldots \quad (2.1)$$

M- ৭৪-৭৭

এখানে K একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। এর মান চার্জ দুটির মধ্যবর্তী মাধ্যমের প্রকৃতি এবং F, q_1, q_2 ও r এর পরিমাপের এককের উপর নির্ভর করে।

এস. আই. (S. I.) বা এম. কে. এস. (M. K. S.) পদ্ধতিতে

$K = \frac{1}{4\pi\epsilon}$ লেখা যায়। ϵ (Epsilon) হলো চার্জ দুটি যে মাধ্যমে অবস্থিত ঐ মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা বা সংক্ষেপে ভেদ্যতা (permittivity)।

$$\therefore\ F = \frac{1}{4\pi\epsilon}\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.2)$$

শূন্য বা বায়ু মাধ্যমের মধ্যে কুলম্বের সূত্র নিম্নরূপ :

$$F_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.3)$$

এখানে F_0 হলো শূন্য মাধ্যমে ক্রিয়াশীল বল এবং ϵ_0 (Epsilon naught) শূন্যস্থানের ভেদনযোগ্যতা বা ভেদ্যতা। $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ কুলম্ব²/নিউটন-মিটার² $\left(\frac{C^2}{N.m^2}\right)$ এবং $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9$ নিউটন-মিটার²/ কুলম্ব² হয়।

অতএব, সমীকরণ (2.3) হতে পাই,

$$F_0 = 9 \times 10^9 \frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.4)$$

কুলম্বের সূত্রের ভেক্টর রূপ : যেহেতু দুটি চার্জের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল একটি ভেক্টর রাশি, অতএব কুলম্বের সূত্রকে ভেক্টররূপে প্রকাশ করা যায়। ভেক্টরের সাহায্যে সমীকরণ (2.2) লেখা যায়,

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon}\frac{q_1 q_2}{r^2}\hat{n} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.5)$$

যেকোন পদার্থকে ৩টি উপায়ে চার্জিত করা যায়

এখানে $\hat{n}$ হলো চার্জদ্বয়ের সংযোজক সরলরেখা বরাবর একটি একক ভেক্টর। $\hat{n}$ এর দিক $\vec{F}$-এর দিক বরাবর।

এখানে $\hat{n} = \dfrac{\vec{r}}{r}$ ... ... (2.6)

$$\therefore \quad \vec{F} = \hat{n}F = \frac{\vec{r}}{r}F = \frac{1}{4\pi\epsilon}\frac{q_1 q_2}{r^3}\vec{r} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.7)$$

চার্জের একক (Unit of charge) : এস. আই. (S. I.) পদ্ধতিতে চার্জের একক **কুলম্ব**।

সমীকরণ (2.4) অনুসারে 1 কুলম্বের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়।

দুটি সমমানের চার্জ শূন্য মাধ্যমে 1 মিটার দূরে অবস্থান করে পরস্পরের উপর 9×10^9 N বল প্রয়োগ করলে ঐ চার্জ দুটির প্রত্যেককে একক চার্জ বলে এবং এই একক চার্জকে এক কুলম্ব বলে। (০৭ – ০৮)

অর্থাৎ যদি $F_0 = 9 \times 10^9$ N, $q_1 = q_2 = q$ coul এবং $r = 1$ m হয়, তবে $q^2 = 1$ বা, $q = \pm 1$ coul

বলের প্রকৃতি (Nature of force) : সমীকরণ (2.4)-এর ডান পাশের রাশিগুলোর মান জেনে F-এর মান নির্ণয় করা যায়। F-এর নির্ণীত মান যদি **ধন রাশি** হয়, তবে বল হবে **বিকর্ষণমূলক**। কারণ একই জাতীয় দুটি রাশির গুণফল ধন রাশি। আর F-এর নির্ণীত মান যদি **ঋণ রাশি** হয়, তবে বল হবে **আকর্ষণমূলক** কারণ দুটি বিপরীত রাশির গুণফল ঋণ রাশি।

ক্ষেত্র তত্ত্ব
Field Theory

কুলম্বের সূত্র থেকে জানি, দুটি চার্জিত বস্তুর মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল এদের মধ্যে কোনো সংযোগ ছাড়াই ক্রিয়া করে। সুতরাং চৌম্বক বল বা মহাকর্ষ বলের ন্যায় তড়িৎ বল দূর থেকে ক্রিয়াশীল প্রকৃতির। দুটি চার্জিত বস্তুর এরূপ পারস্পরিক ক্রিয়া ব্যাখ্যা করার জন্য ফ্যারাডে তড়িৎক্ষেত্রের ধারণা উপস্থাপন করেন। একে **ক্ষেত্র তত্ত্ব** বলে। এই ধারণা অনুসারে কোনো চার্জিত বস্তুর উপস্থিতিতে একে ঘিরে সমগ্র অঞ্চল একটি বিশেষ ধর্ম অর্জন করে। এই ধর্মের দরুন ঐ অঞ্চলে অন্য কোনো চার্জিত বস্তু আনলে তার উপর তড়িৎ বল ক্রিয়াশীল হয়। কোনো অঞ্চলে একটি চার্জ আনলে এর উপর যদি তড়িৎ বল ক্রিয়া করে, তবে ঐ অঞ্চলে তড়িৎক্ষেত্র রয়েছে ধরা হয়। কাজেই তড়িৎক্ষেত্র তড়িৎ বল সঞ্চালনের মধ্যস্থতার ভূমিকা পালন করে।

এখন কুলম্বের সূত্র অনুসারে যখন দুটি চার্জিত বস্তুর মধ্যবর্তী দূরত্ব অসীম হয়, কেবল তখনই পারস্পরিক তড়িৎ বলের মান শূন্য হতে পারে। সুতরাং তাত্ত্বিকভাবে বলা যায় যে, কোনো চার্জিত বস্তুর স্থির তড়িৎক্ষেত্র অসীম পর্যন্ত বিস্তৃত হয়, যদিও কয়েক মিটার পর এর মান এত ক্ষুদ্র হয় যে তা পরিমাপ করা সম্ভব হয় না।

হিসাব কর : 0·002 kg ভরের একটি শোলা বল 10^{-4} C চার্জে চার্জিত। শোলা বলটিকে অভিকর্ষীয় ক্ষেত্রে স্থির রাখতে কী পরিমাণ তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রয়োজন ?

বস্তুর ওজন ও তড়িৎ বল সমান হলে বস্তু স্থির থাকবে।

আমরা জানি,

$W = mg = 0·002 \times 9·8 = 0·0196$ N

আবার, তড়িৎ বল $F = Eq = W$

$$\therefore \quad E = \frac{W}{q} = \frac{0·0196}{10^{-4}} = \frac{196 \times 10^{-4}}{10^{-4}} = \boxed{196\ \text{NC}^{-1}}$$

এখানে,

$m = 0·002$ kg

$q = 10^{-4}$ C

$g = 9·8\ \text{ms}^{-2}$

$E = ?$

গাণিতিক উদাহরণ

১। লোহার নিউক্লিয়াসে অবস্থানরত দুটি প্রোটনের মধ্যে পারস্পরিক ক্রিয়াশীল বল কত যদি তাদের মধ্যে দূরত্ব 4×10^{-15} m হয় ? [চ. বো. ২০০৮]

মনে করি বল = F

$\therefore$ আমরা পাই,

$$F = 9 \times 10^9 \times \frac{q_1 \times q_2}{d^2} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

সমীকরণ (1) হতে পাই,

$$F = \frac{9 \times 10^9 \times (1·6 \times 10^{-19})^2}{(4 \times 10^{-15})^2} = 14·4 \text{ নিউটন(N)}$$

এখানে,

$q_1 = q_2 = 1·6 \times 10^{-19}$ C

$d = 4 \times 10^{-15}$ m

২। সমভাবে আহিত দুটি পিথ বল বায়ুতে 2·0 mm ব্যবধানে রাখলে পরস্পরকে 4×10^{-5} N বলে বিকর্ষণ করে। প্রত্যেক পিথ বলের আধান নির্ণয় কর। [কু. বো. ২০১১; য. বো. ২০০৮; সি. বো. ২০০৪]

আমরা জানি,

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$\therefore\ 4 \times 10^{-5} = 9 \times 10^9 \times \frac{q^2}{(0\cdot002)^2}$$

বা, $$q^2 = \frac{4 \times 10^{-5} \times (0\cdot002)^2}{9 \times 10^9}$$

বা, $$q^2 = 1\cdot77 \times 10^{-20}$$

$$\therefore\ q = 1\cdot33 \times 10^{-10}\ \text{Coulomb}$$

এখানে,

$F = 4 \times 10^{-5}$ N

$r = 2\cdot0$ mm $= 0\cdot002$ m

$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9$ N-m^2/C^2

$q_1 = q_2 = q = ?$

৩। 2 Å দূরত্বে থাকা অবস্থায় একটি ইলেকট্রন ও একটি প্রোটনের মধ্যে ক্রিয়াশীল স্থির তড়িৎ বলের জন্য তাদের ত্বরণের মান কত হবে ? [দেয়া আছে, $m_e = 9\cdot1 \times 10^{-31}$ kg, $m_p = 1\cdot67 \times 10^{-27}$ kg, $e = 1\cdot6 \times 10^{-19}$ C]

আমরা জানি,

ক্রিয়াশীল তড়িৎ বল,

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{e^2}{r^2}$$

$$\therefore\ F_e = \frac{9 \times 10^9 \times (1\cdot6 \times 10^{-19})^2}{(2 \times 10^{-10})^2} = 5\cdot76 \times 10^{-9}\ \text{N}$$

এখানে,

$r = 2\text{Å} = 2 \times 1 \times 10^{-10}$ m $= 2 \times 10^{-10}$ m

$m_e = 9\cdot1 \times 10^{-31}$ kg

$m_p = 1\cdot67 \times 10^{-27}$ kg

$e = 1\cdot6 \times 10^{-19}$ C

$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9$ Nm^2 C^{-2}

আবার, $F = ma$, বা, $a = \frac{F}{m}$

সুতরাং, ইলেকট্রনের ত্বরণ, $a_e = \frac{F_e}{m_e} = \frac{5\cdot76 \times 10^{-9}}{9\cdot1 \times 10^{-31}} = 6\cdot33 \times 10^{21}$ ms^{-2}

এবং প্রোটনের ত্বরণ, $a_p = \frac{F_e}{m_p} = \frac{5\cdot76 \times 10^{-9}}{1\cdot67 \times 10^{-27}} = 3\cdot45 \times 10^{18}$ ms^{-2}

২.২ বিন্দু চার্জের তড়িৎ বল, তড়িৎ ক্ষেত্র, তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য ও তড়িৎ বিভব

Electric force, Electric field, Electric field intensity and Electric potential due to a point charge

তড়িৎ বল
Electric force

পূর্বের অনুচ্ছেদে বিন্দু চার্জ এবং এর ফলে সৃষ্ট তড়িৎ ক্ষেত্র সম্বন্ধে আমরা জেনেছি। তড়িৎ ক্ষেত্রের যে কোনো বিন্দুতে অবস্থিত চার্জের উপর সর্বদা একটি বল প্রযুক্ত হয়। চার্জটি ধনাত্মক হলে এই বল ঐ বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের অভিমুখে ক্রিয়া করে। পক্ষান্তরে, চার্জটি ঋণাত্মক হলে উক্ত বলের অভিমুখ বিপরীত হয়। চার্জটিকে এই বলের বিপরীতে সরালে কোনো বাহ্যিক কারণকে বলের বিরুদ্ধে কাজ করতে হবে। ফলে চার্জটির স্থিতিশক্তি বৃদ্ধি পাবে। E প্রাবল্যের তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে স্থাপিত $+q$ পরখ চার্জ (test charge) যদি F বল অনুভব করে তাহলে ঐ বিন্দুতে ক্রিয়াশীল তড়িৎ বল

$$F = qE \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (2.8)$$

অর্থাৎ তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে স্থাপিত কোনো আধানের উপর ক্রিয়াশীল বল বা তড়িৎ বল ঐ বিন্দুতে প্রাবল্য এবং স্থাপিত আধানের গুণফলের সমান। ধনাত্মক আধান প্রাবল্যের অভিমুখে বল লাভ করে আর ঋণাত্মক আধান প্রাবল্যের বিপরীত দিকে বল লাভ করে। তড়িৎ বলের একক নিউটন।

➢ বিজ্ঞানী সম্পর্কিত তথ্যসমূহ:

বিজ্ঞানীর নাম	সাল	তথ্য
থেলস	600 খ্রি. পূর্বাব্দ	অ্যাম্বারকে রেশম দিয়ে ঘষলে চার্জ উৎপন্ন হয় + সর্বপ্রথম বিদ্যুতের অস্তিত্ব।
গীলবার্ট	1600 খ্রিস্টাব্দ	শুধু অ্যামবারকে নয় কাচ ইবোনাইট রাবারকে ঘষলেও চার্জ উৎপন্ন হয়।
C.F ডুফে	1733 খ্রিস্টাব্দ	ঘর্ষনের ফলে উৎপন্ন চার্জ বিপরীতধর্মী + চার্জের সূত্র ২টি।
বেঞ্জামিন ফ্রাঙ্কলিন	1747 খ্রিস্টাব্দ	চার্জ ২ প্রকার, ঋণাত্মক ও ধনাত্মক।
স্যার উইলিয়াম ওয়াটসন		বিদ্যুৎ সংক্রান্ত এক পরিবাহী তথ্যের অবতারণা
লরেঞ্জ		বিদ্যুৎ সংক্রান্ত মতবাদ
কুলম্ব		বিন্দু চার্জের জন্য কুলম্ব সূত্র
ফ্যারাডে		বিদ্যুৎ সংক্রান্ত মতবাদ
ম্যাক্সওয়েল		বেতার তরঙ্গের উদ্ভাবন

স্থির তড়িৎ বল এবং মহাকর্ষ বলের

দুটি তড়িৎগ্রস্ত বস্তুর মধ্যে স্থির তড়িৎ বল

বৈসাদৃশ্য নিম্নরূপ :

সাদৃশ্য :

১. দুটি বলই বস্তু দুটির মধ্যবর্তী দূরত্বের

২. দুটি বলই সংরক্ষণশীল বল; অর্থাৎ এই

৩. দুটি বলই শূন্যস্থানে কাজ করে।

৪. দুটি বলই কেন্দ্রীয় বল (Central force বরাবর ক্রিয়া করে।

বৈসাদৃশ্য :

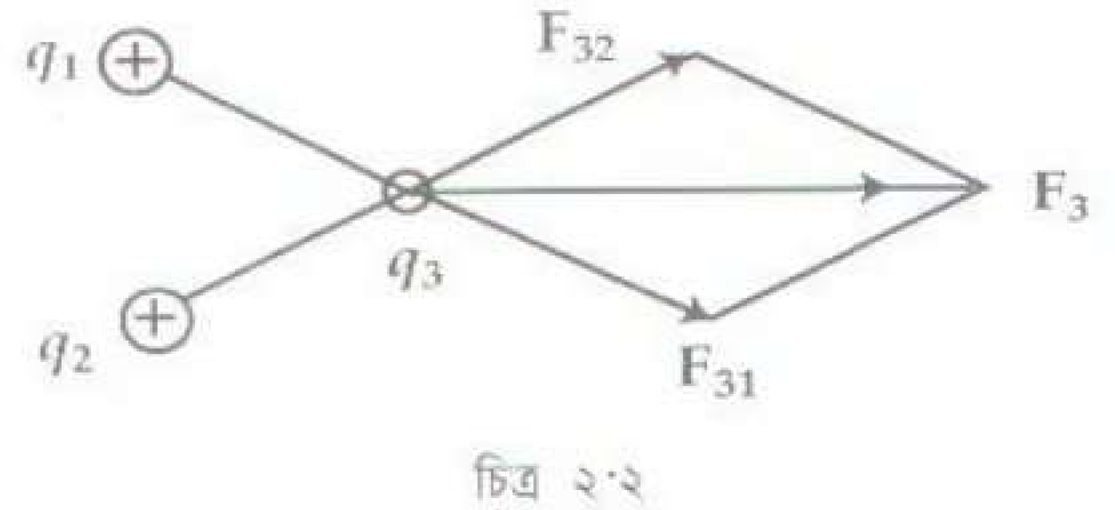
স্থির তড়িৎ বল	
১. এই বল অনেক বেশি শক্তিশালী।	
২. আধানের প্রকৃতি অনুযায়ী এই বল আকর্ষণধর্মী বিকর্ষণধর্মী হতে পারে।	
৩. এই বল সংশ্লিষ্ট মাধ্যমের ওপর নির্ভরশীল।	৩. এই বল সংশ্লিষ্ট মাধ্যমের ওপর নির্ভর করে না।

ধারক আবিষ্কার: লিডেন বিশ্ববিদ্যালয়ের ভ্যান মুসচেন ব্রোয়েক 1746 খ্রিস্টাব্দে ধারক আবিষ্কার করেন।

তড়িৎ বলের উপরিপাতন নীতি
Superposition principle of electric force

ইতোপূর্বে দুটি চার্জের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল আলোচনা করা হয়েছে। এখন একটি চার্জ যদি অনেকগুলো চার্জ দ্বারা পরিবেষ্টিত থাকে কিংবা উক্ত চার্জের আশেপাশে অনেক চার্জ থাকে, তবে ঐ চার্জের উপর ক্রিয়াশীল নীট (resultant) বল বের করতে হয়। এ নীট বল বের করতে হলে প্রত্যেকটি চার্জকে আলাদাভাবে এমনভাবে বিবেচনা করতে হয় যেন অন্য চার্জগুলো অনুপস্থিত রয়েছে। এভাবে প্রত্যেকটি চার্জের জন্য নির্ণেয় বলের ভেক্টর যোগফলই হবে উক্ত চার্জের উপর ক্রিয়াশীল নীট বল। বলের এ স্বাতন্ত্র্য নীতি উপরিপাতন নীতি হিসেবে পরিচিত।

ব্যাখ্যা : ধরা যাক, তিনটি ধনাত্মক চার্জ q_1, q_2 ও q_3 কাছাকাছি অবস্থান করছে [চিত্র ২·২]। এখন আমরা q_3 চার্জের উপর q_1 ও q_2 এর জন্য সৃষ্ট বিকর্ষণ বল বের করব। প্রথমে q_1 চার্জের জন্য q_3-এর উপর ক্রিয়াশীল বল $\vec{F}_{31}$-এর মান ও দিক নির্ণয় করি। এবার q_2 চার্জের জন্য q_3-এর উপর বিকর্ষণ বল $\vec{F}_{32}$-এর মান ও দিক বের করি। এখন q_3-এর উপরে লব্ধি বা নীট বিকর্ষণ বল $\vec{F}_3$ হবে $\vec{F}_{31}$ ও $\vec{F}_{32}$ বলদ্বয়ের ভেক্টর যোগফল। অর্থাৎ, $\vec{F}_3 = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32}$



চিত্র ২·২

লক্ষণীয় যে q_3 এর উপর q_1 এর ক্রিয়াশীল বল বের করার সময় q_2 অনুপস্থিত ধরা হয়েছে। আবার q_3 এর উপর q_2 এর ক্রিয়াশীল বল নির্ণয়ের সময় q_1 অনুপস্থিত ধরা হয়েছে। এ পদ্ধতি অনুসরণ করে যে কোনো সংখ্যক চার্জের জন্য কোনো একটি চার্জের উপর ক্রিয়াশীল নীট বল বের করা যায়।

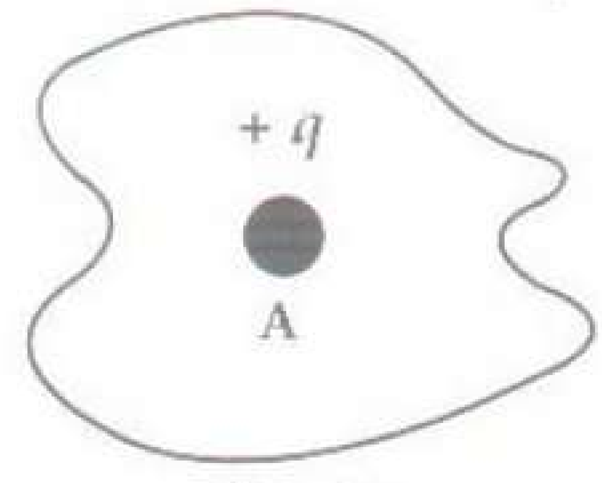
নিজে কর : একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে গতিশীল আহিত কণার উপর চৌম্বকক্ষেত্র বল প্রয়োগ করলে, আহিত কণার শক্তির কোনো পরিবর্তন হবে কী ?

যদিও গতিশীল আহিত কণার উপর চৌম্বকক্ষেত্র বল প্রয়োগ করে, কিন্তু কণার শক্তির কোনো পরিবর্তন হবে না কারণ কার্যকর বল ব্যাসার্ধমুখী (radial) হওয়ায় এটি অকার্যকর বল। বস্তুর উপর কোনো কাজ করা হয় না। সুতরাং কণার শক্তিরও কোনো পরিবর্তন হবে না।

তড়িৎ ক্ষেত্র
Electric field

তড়িৎ ক্ষেত্র আলোচনার পূর্বে পরখ চার্জ (Test charge) কী তা জানা দরকার। অত্যন্ত ক্ষুদ্র মানের কাল্পনিক চার্জ যা অন্য কোনো চার্জের উপর বল প্রয়োগ করে না, অর্থাৎ আশেপাশের চার্জকে প্রভাবিত করে না, তাকে পরখ চার্জ বলে।

একটি বিন্দু চার্জের চতুর্দিকে বিস্তৃত অঞ্চল জুড়ে এর প্রভাব লক্ষ করা যায় [চিত্র ২.৩]। ঐ অঞ্চলে একটি পরখ চার্জ স্থাপন করলে এটি তড়িৎ বল অনুভব করে। পরখ চার্জটি বিন্দু চার্জের কাছে আনলে বলের মান বৃদ্ধি পায়; দূরে সরিয়ে নিলে বল কম অনুভব করে। অনেক দূরে সরিয়ে নিলে বলের মান এত ক্ষুদ্র হয় যে তা পরিমাপ করা সম্ভব হয় না। কুলম্বের সূত্র থেকে আমরা দেখেছি যে এ বলের প্রকৃতি মহাকর্ষীয় বলের অনুরূপ। মহাকর্ষীয় বল ও কুলম্ব বল উভয়ই দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক সূত্র অনুসরণ করে এবং উভয় ধরনের বল অসীম দূরত্ব পর্যন্ত বিস্তৃত; যদিও দূরত্ব অনেক বাড়লে বলের মান অত্যন্ত কম হয় এবং পরিমাপ করা সম্ভব হয় না।



চিত্র ২.৩

এখন একটি বিন্দু চার্জের কাছাকাছি কোথাও একটি পরখ চার্জ আনলে তা বল অনুভব করে। কিন্তু প্রশ্ন জাগে যে চার্জ দুটির মধ্যে কোনো ভৌত সংযোগ নেই অথচ কেন বল অনুভব করে। বিখ্যাত বিজ্ঞানী মাইকেল ফ্যারাডে প্রথম অনুধাবন করেন যে ঐ বিন্দু চার্জের চারদিকে এক ধরনের আলোড়ন সৃষ্টি হয় যার ফলে ঐ অঞ্চলে কোনো পরখ চার্জ স্থাপন করলে বল অনুভব করে। তিনি এই আলোড়নের নাম দেন তড়িৎ ক্ষেত্র। সুতরাং তড়িৎ ক্ষেত্রের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায় :

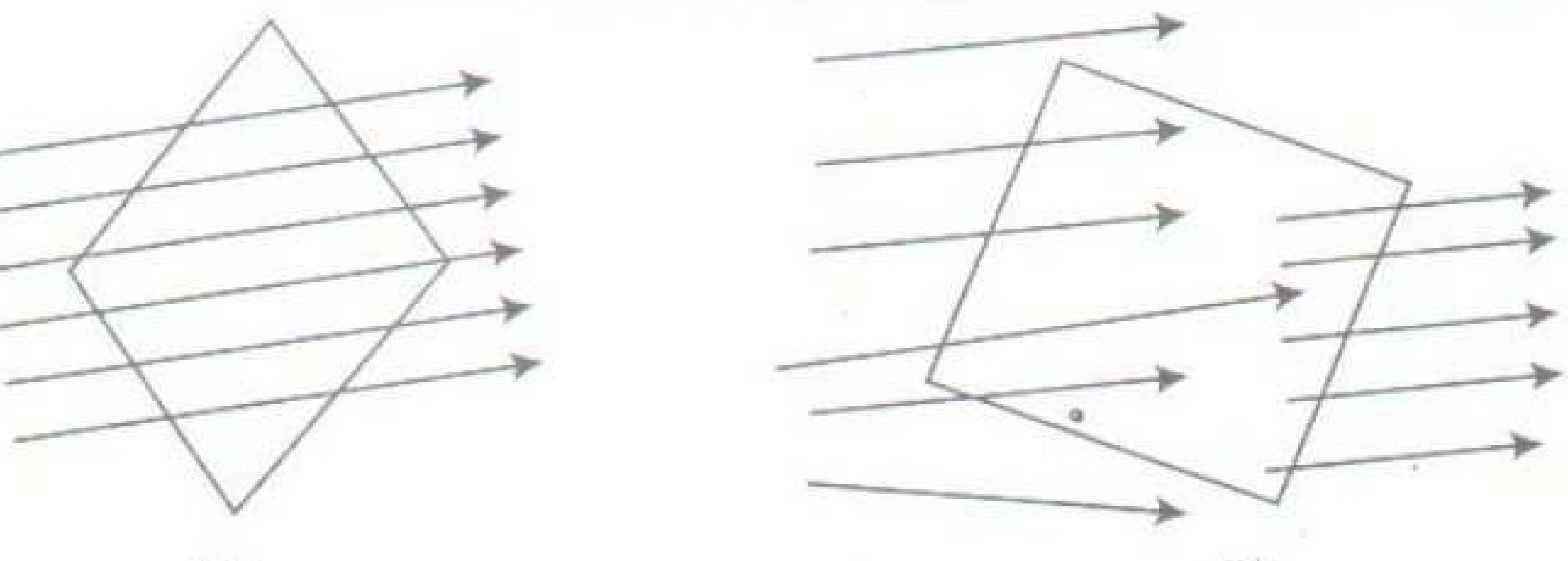
সংজ্ঞা : কোনো একটি চার্জিত বস্তু এর চারদিকে যে অঞ্চল ব্যাপী তার প্রভাব বিস্তার করে সেই অঞ্চলকে ঐ চার্জিত বস্তুর তড়িৎ ক্ষেত্র বলে।

তড়িৎ ক্ষেত্রের একক : এস. আই. (S. I.) পদ্ধতিতে বলের একক নিউটন এবং চার্জের একক কুলম্ব। অতএব, তড়িৎ ক্ষেত্রের একক হবে নিউটন/কুলম্ব (N/C)। এ ছাড়া আরো একটি একক আছে। সেটি হলো ভোল্ট/মিটার (V/m)। বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের নতি বিবেচনা করে লেখা যায় $E = -\frac{dV}{dx}$। অতএব ভোল্ট/মি. এককটি বেশি ব্যবহৃত হয়।

তড়িৎ ফ্লাক্স (Electric flux) : কোনো তল বা পৃষ্ঠের ভেতর দিয়ে যতগুলো তড়িৎ বলরেখা অতিক্রম করে তাকে তড়িৎ ফ্লাক্স বলে। একে φ_E দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

(i) তড়িৎ ক্ষেত্র এবং তলের অভিলম্ব যখন সমান্তরাল অবস্থানে থাকে তখন তড়িৎ ফ্লাক্স সর্বাধিক হয় [চিত্র ২.৪ (ক)]।

(ii) তড়িৎ ক্ষেত্র এবং তলের অভিলম্ব যখন সমকোণে থাকে তখন তড়িৎ ফ্লাক্স শূন্য হয় [চিত্র ২.৪ (খ)]


(ক) (খ)

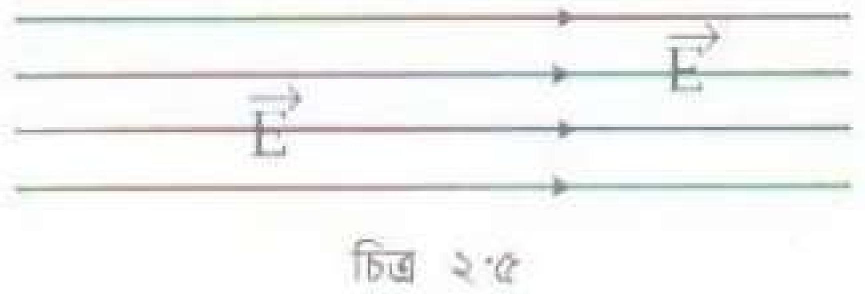
চিত্র ২.৪

একাধিক বিন্দু চার্জের জন্য কোনো বিন্দুতে সৃষ্ট তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় করতে হলে ঐ বিন্দুতে প্রতিটি চার্জের জন্য আলাদাভাবে প্রাবল্য নির্ণয় করতে হয় এবং নীট প্রাবল্য হবে আলাদাভাবে নির্ণীত তড়িৎ প্রাবল্যের ভেক্টর যোগফল। অতএব, N সংখ্যক চার্জ থাকলে এদের জন্য সৃষ্ট মোট তড়িৎ প্রাবল্য হবে

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \ldots\ldots\ldots\ldots + \vec{E}_n = \Sigma\vec{E}_n \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.9)$$

"তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে প্রাবল্য 10 এস. আই. একক।" উক্ত উক্তি দ্বারা বুঝি যে তড়িৎ ক্ষেত্রের ঐ বিন্দুতে 1 কুলম্ব ধন চার্জের উপর 10 নিউটন বল ক্রিয়া করবে।

সুষম তড়িৎ ক্ষেত্র (Uniform electric field) : কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রের মান ও দিক সর্বত্র সমান হলে তাকে সুষম তড়িৎ ক্ষেত্র বলে [চিত্র ২.৫]। সমান ফাঁকবিশিষ্ট সমান্তরাল বল রেখা দ্বারা সুষম তড়িৎ ক্ষেত্র বুঝানো হয়।



চিত্র ২.৫

তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা তড়িৎ প্রাবল্য

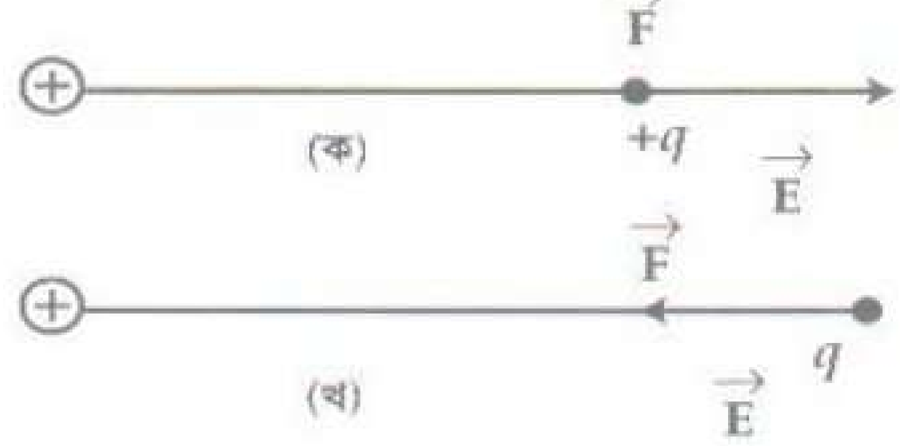
Electric field intensity or Electric intensity

তড়িৎ ক্ষেত্রের সর্বত্র এর প্রভাব সমান নয়। চার্জিত বা আহিত বস্তুর কাছাকাছি তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে একটি পরখ চার্জ যতটুকু বল অনুভব করবে দূরে তার চেয়ে কম বল অনুভব করবে। আবার চার্জিত বস্তুর চার্জের পরিমাণ বেশি হলে ঐ একই বিন্দুতে কম চার্জের বস্তু অপেক্ষা বেশি বল অনুভূত হবে। তড়িৎ ক্ষেত্রের এই সবলতা বা দুর্বলতা একটি তড়িৎ রাশি দ্বারা প্রকাশ করা হয়। একে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা তীক্ষ্ণতা সংক্ষেপে তড়িৎ প্রাবল্য (Electric intensity) বলে। তড়িৎ ক্ষেত্রের একই অবস্থান বিন্দুতে স্থাপিত পরখ চার্জ ও বিন্দু চার্জের মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের মান পরখ চার্জের পরিমাণ অনুসারে ভিন্ন ভিন্ন মানের হয়; কিন্তু একক পরখ চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বল একই মানের হয়। সুতরাং তড়িৎ প্রাবল্যের নিম্নরূপ সংজ্ঞা দেয়া যায়।

সংজ্ঞা : কোনো বিন্দুতে একক আধান বা চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বলকে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য বলা হয়। একে ক্ষেত্র প্রাবল্যও (Field intensity) বলা হয়। তড়িৎ প্রাবল্যের একক নিউটন/কুলম্ব।

তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। এটি ভেক্টর রাশি।

তড়িৎ ক্ষেত্র যেহেতু ভেক্টর রাশি, অতএব এর দিক ও মান রয়েছে। **E-এর দিক হলো একটি ধনাত্মক পরখ চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বলের দিক** [চিত্র ২·৬(ক)], ঋণাত্মক চার্জের ক্ষেত্রে $\vec{E}$-এর দিক $\vec{F}$-এর বিপরীতমুখী হয় [চিত্র ২·৬(খ)]।



চিত্র ২·৬

তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে স্থাপিত পরখ চার্জ q_0-এর উপর ক্রিয়াশীল বল $\vec{F}$ হলে, ঐ বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য হবে,

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.10)$$

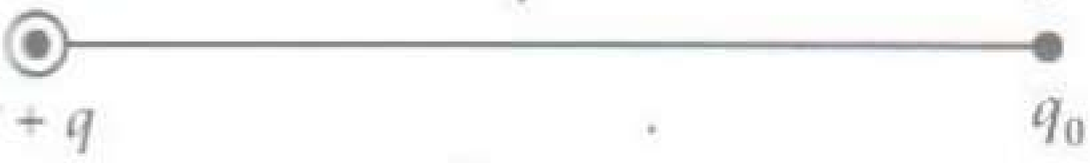
$$\therefore \quad \vec{F} = q_0\vec{E} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.11)$$

সমীকরণ (2.10) তড়িৎ প্রাবল্য এবং তড়িৎ বলের মধ্যে সম্পর্ক নির্দেশ করে।

তড়িৎ ক্ষেত্রে বলের মানকে চার্জের মান দ্বারা ভাগ করলে ভাগফলই হবে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্যের বা তড়িৎ ক্ষেত্রের মান।

বিন্দু আধানের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের রাশিমালা

মনে করি কোনো মাধ্যমে একটি ধনাত্মক আধান $+q$ রয়েছে। ঐ আধান হতে r দূরত্বে অবস্থিত P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে।



চিত্র ২·৭

ধরা যাক P বিন্দুতে একটি পরখ চার্জ q_0 স্থাপন করা হয়েছে [চিত্র ২·৭]। এখন, q_0 পরখ চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বল,

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 k}\frac{qq_0}{r^2}\hat{n} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.12)$$

এখানে k হলো ঐ মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক এবং $\hat{n}$ হলো $\vec{F}$ বরাবর একক ভেক্টর।

এখন, তড়িৎ প্রাবল্যের সংজ্ঞা হতে আমরা জানি, তড়িৎ প্রাবল্য হচ্ছে একক ধনাত্মক চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বল। অর্থাৎ, $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$ $\ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.13)$

সমীকরণ (2.12) ব্যবহার করে আমরা পাই,

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 k}\frac{qq_0}{r^2}\hat{n}\frac{1}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 k}\frac{q}{r^2}\hat{n} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.14)$$

তড়িৎ প্রাবল্যের মান হবে, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 k}\frac{q}{r^2}$ $\ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.15)$

বায়ু বা শূন্য মাধ্যমে, $k = 1$. সুতরাং শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে $+q$ ধনাত্মক চার্জ স্থাপন করলে, r দূরত্বে তড়িৎ প্রাবল্য হবে, $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2}\hat{n}$ ... ... (2.16)

তড়িৎ প্রাবল্যের মান হবে, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2}$ ... ... (2.17)

বি.দ্র. পরখ চার্জের আশেপাশে এক বা একাধিক চার্জই হলো তড়িৎ ক্ষেত্রের উৎস। মনে রাখা দরকার যে সমীকরণ (2.11)-এ পরখ চার্জের আশেপাশের চার্জের জন্য সৃষ্ট ক্ষেত্র বুঝায়, পরখ চার্জের জন্য নয়। পরখ চার্জ এত ক্ষুদ্র যে এর উপস্থিতি ঐ তড়িৎ ক্ষেত্রকে প্রভাবিত বা বিকৃত করে না।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : দুটি বিন্দু আধান কিছু দূরত্বে রয়েছে। এদের মধ্যবর্তী কোনো বিন্দুতে যদি তড়িৎ প্রাবল্যের মান শূন্য হয় তবে আধান দুটি সম্বন্ধে কী সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায় ?

তড়িৎ আধান দুটির মধ্যবর্তী কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের মান শূন্য হলে এই সিদ্ধান্তে আসা যায় যে আধান দুটির প্রকৃতি একই। তা না হলে আধান দুটির মধ্যবর্তী কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য একই অভিমুখে হবে। ফলে তাদের লব্ধি কখনও শূন্য হবে না।

গাণিতিক উদাহরণ

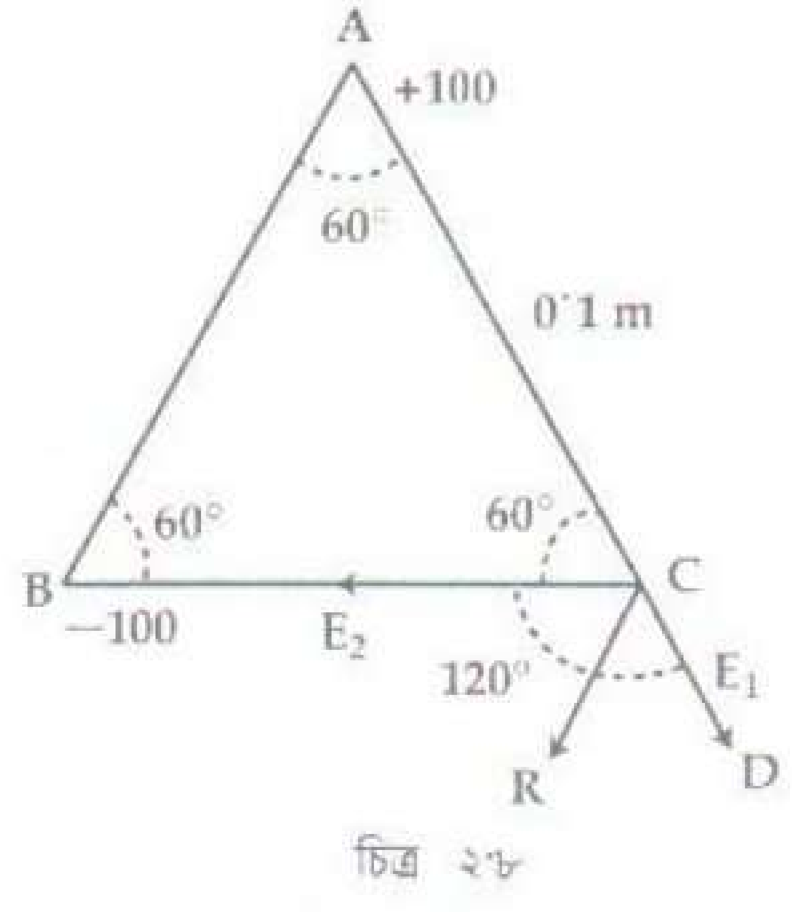
১। 1.6×10^{-9} C (বা, 1.6×10^{-3} μC) চার্জে চার্জিত একটি ক্ষুদ্র গোলক বায়ুতে স্থাপন করা হলো। চার্জিত গোলকের কেন্দ্র হতে 0.15 m (বা, 15 cm) দূরে কোনো বিন্দুতে বৈদ্যুতিক প্রাবল্য বের কর। [কু. বো. ২০১০]

আমরা জানি, বায়ুতে বৈদ্যুতিক প্রাবল্য,

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1.6 \times 10^{-9}}{(0.15)^2} = 640 \text{ NC}^{-1}$$

এখানে,
$q = 1.6 \times 10^{-9}$ C
$r = 0.15$ m
$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9$ N-m²/C²
$E = ?$

২। একটি সমবাহু ত্রিভুজের A, B এবং C তিনটি কৌণিক বিন্দু এবং ত্রিভুজের প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য 0.1 m। ত্রিভুজের A ও B বিন্দুতে +100 C এবং −100 C চার্জ স্থাপন করা হলো। C বিন্দুতে প্রাবল্যের মান ও দিক নির্ণয় কর। [ব. বো. ২০১১]



চিত্র ২৮

ধরি মাধ্যম বায়ু, শর্তানুসারে + 100 C চার্জের দরুন C বিন্দুতে ACD এর দিকে প্রাবল্য

$$E_1 = \frac{9 \times 10^9 \times 100}{(0.1)^2} = 9 \times 10^{13} \text{ N/C}$$

পুনঃ — 100 C চার্জের দরুন ত্রিভুজের C বিন্দুতে CB-এর দিকে প্রাবল্য

$E_2 = \frac{9 \times 10^9 \times 100}{(0.1)^2} = 9 \times 10^{13}$ N/C। প্রাবল্য দুটির মান সমান বলে C বিন্দুতে এদের লব্ধি প্রাবল্য ∠BCD-কে সমদ্বিখণ্ডিত করবে। কিন্তু ∠BCD = 120°। সুতরাং C বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য AB-এর সমান্তরাল হবে।

∴ লব্ধি প্রাবল্য,

$$R = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\alpha}$$

$$= \sqrt{(9 \times 10^{13})^2 + (9 \times 10^{13})^2 + 2 \times 9 \times 10^{13} \times 9 \times 10^{13}\cos 120^\circ}$$

$$= \sqrt{(9 \times 10^{13})^2 + (9 \times 10^{13})^2 + 2 \times 9 \times 10^{13} \times 9 \times 10^{13}\left(-\frac{1}{2}\right)}$$

$$= \sqrt{81 \times 10^{26} + 81 \times 10^{26} - 81 \times 10^{26}} = \sqrt{162 \times 10^{26} - 81 \times 10^{26}}$$

$= \sqrt{81 \times 10^{26}} = 9 \times 10^{13}$ নিউটন/কুলম্ব (N/C)

তড়িৎ বলরেখা ধনাত্মক পরিবাহীর পৃষ্ঠের সাথে লম্বভাবে প্রবেশ করে [M-06-07]

তড়িৎ বিভব
Electric Potential

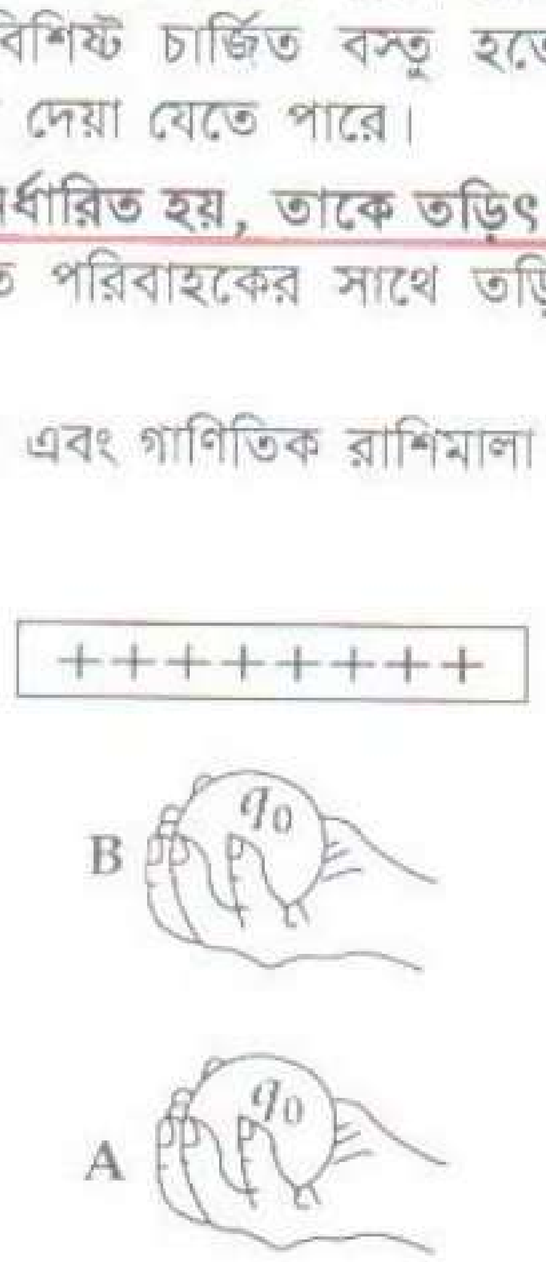
তড়িৎ বিজ্ঞানে বিভব একটি বিশেষ প্রয়োজনীয় ও গুরুত্বপূর্ণ রাশি। দুটি চার্জিত বা আহিত বস্তুকে একটি তড়িৎপরিবাহী তার দ্বারা সংযোগ স্থাপন করলে বস্তু দুটির মধ্যে চার্জের আদান-প্রদান ঘটতে পারে আবার নাও পারে। চার্জের আদান-প্রদান বস্তু দুটির মধ্যে চার্জের পরিমাণের উপর নির্ভর করবে না, বস্তু দুটির মধ্যে বিশেষ এক তড়িৎ অবস্থার উপর নির্ভর করে। এ অবস্থাকে বলা হয় তড়িৎ বিভব। তড়িৎ বিভবের পার্থক্য থাকলেই কেবল চার্জের আদান-প্রদান হবে, অন্যথায় নয়। তড়িৎ বর্তনীতে দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য থাকার কারণেই তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হয়।

দুটি পাত্রের মধ্যে পানির প্রবাহ কিংবা দুটি বস্তুর মধ্যে তাপের আদান-প্রদানের সঙ্গে তড়িৎ বিভবের সাদৃশ্য রয়েছে। একটি বড় ও অন্য একটি ছোট পাত্রের মধ্যে পানি রেখে একটি পাইপ দ্বারা পানির পাত্র দুটির মধ্যে সংযোগ স্থাপন করলে দেখা যাবে যে পানির উচ্চতার পার্থক্য থাকলেই শুধুমাত্র পানির প্রবাহ ঘটবে এবং পানি একই উচ্চতায় না পৌঁছা পর্যন্ত প্রবাহ চলতে থাকবে। অনুরূপ, দুটি বস্তুর মধ্যে তাপীয় সংযোগ দিলে এদের মধ্যে তাপের আদান-প্রদান ঘটবে যতক্ষণ পর্যন্ত বস্তু দুটির তাপমাত্রা সমান না হয় বা তাপ সাম্যাবস্থায় না আসে। উভয় ক্ষেত্রের পাত্রে পানির পরিমাণ বা বস্তুর মধ্যে তাপের পরিমাণের উপর প্রবাহ নির্ভর করে না। তড়িতের ক্ষেত্রেও একই অবস্থা ঘটে। চার্জিত বা আহিত বস্তু দুটির বিভব পার্থক্য থাকলেই শুধুমাত্র চার্জের প্রবাহ ঘটবে। উচ্চ বিভববিশিষ্ট চার্জিত বস্তু হতে নিম্ন বিভবের চার্জিত বস্তুতে চার্জের প্রবাহ সৃষ্টি হবে। সুতরাং তড়িৎ বিভবের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যেতে পারে।

সংজ্ঞা : দুটি চার্জিত বস্তুর মধ্যে চার্জের আদান-প্রদান যে তড়িৎ অবস্থার দ্বারা নির্ধারিত হয়, তাকে তড়িৎ বিভব বলে। অর্থাৎ বিভব হচ্ছে চার্জিত পরিবাহকের বৈদ্যুতিক অবস্থা যা অন্য কোনো চার্জিত পরিবাহকের সাথে তড়িৎগত-ভাবে সংযুক্ত করলে পরিবাহক চার্জ দেবে না নেবে তা নির্ধারণ করে।

এখন আমরা তড়িৎ বিভব শক্তি এবং এ শক্তির সাহায্যে তড়িৎ বিভব ব্যাখ্যা করব এবং গাণিতিক রাশিমালা প্রকাশ করব।

তড়িৎ বিভব শক্তি (Electric potential energy) : ধরা যাক, বিপরীত চার্জে আহিত দুটি পাতের মধ্যে একটি পরখ চার্জ $+q_0$ স্থিতি অবস্থায় রাখা হয়েছে [চিত্র ২·৯]। যেহেতু পাত দুটি আহিত ফলে পরখ চার্জটি তড়িৎ বল দ্বারা নিচের পাতের দিকে আকৃষ্ট হবে। এ বলের বিরুদ্ধে কোনো এক পদ্ধতিতে (ধরা যাক হাত দ্বারা) প্রয়োজনীয় বল প্রয়োগ করে পরখ চার্জকে A অবস্থানে স্থির রাখা হয়েছে। এখন, ধরা যাক পরখ চার্জটিকে A অবস্থান হতে B অবস্থানে নিতে নিম্নমুখী তড়িৎ বলের বিরুদ্ধে হাত বাহ্যিক বল প্রয়োগ করে B অবস্থানে নিয়েছে। পরখ চার্জটিকে A অবস্থান হতে B অবস্থানে নিতে বাহ্যিক বলের দ্বারা কাজ করতে হয়েছে। কাজ-শক্তি নীতি অনুসারে, কৃত কাজ বস্তুর মোট শক্তির পরিবর্তনের সমান হবে। A ও B বিন্দুতে বস্তুটি স্থির অবস্থানে থাকায় এর গতিশক্তির কোনো পরিবর্তন ঘটবে না; শুধুমাত্র স্থিতি বা বিভব শক্তির পরিবর্তন হবে। ক্রিয়াটি বৈদ্যুতিক হওয়ায় সংশ্লিষ্ট স্থিতি বা বিভব শক্তিকে বলা হয় **তড়িৎ বিভব শক্তি।** কাজ-শক্তি নীতি অনুযায়ী এ সম্পাদিত কাজ W_{AB} তড়িৎ বিভব শক্তির পরিবর্তনের সমান হবে। অর্থাৎ



চিত্র ২·৯

$$W_{AB} = E_B - E_A \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.18)$$

এখানে E_B ও E_A যথাক্রমে B ও A বিন্দুতে তড়িৎ বিভব শক্তি (electric potential energy)। এখন তড়িৎ বল সংরক্ষণশীল বল হওয়ায়, পরখ চার্জকে A হতে B বিন্দুতে যে পথেই নেয়া হোক না কেন সম্পাদিত কাজ W_{AB} সকল পথের জন্য একই হবে। চার্জটি A বিন্দু হতে B বিন্দুতে নিতে কৃত কাজের পরিমাণ চার্জের পরিমাণের ওপর নির্ভরশীল; কেননা পরখ চার্জের গতি বাধাদানকারী তড়িৎ বলের মান চার্জের পরিমাণের ওপর নির্ভর করে [যেহেতু $F = Eq_0$]। সুতরাং একক চার্জের ওপর সম্পাদিত কাজ হিসাব করাই শ্রেয়। অতএব একক চার্জের উপর কৃত কাজ

$$\frac{W_{AB}}{q_0} = \frac{E_B - E_A}{q_0} = \frac{E_B}{q_0} - \frac{E_A}{q_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.19)$$

এই একক চার্জের বিভব শক্তিকে তড়িৎ বিভব বা সংক্ষেপে **বিভব** বলে।

$$\therefore \quad \frac{W_{AB}}{q_0} = V_B - V_A \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.20)$$

এখানে V_B ও V_A যথাক্রমে B ও A বিন্দুতে তড়িৎ বিভব।

সুতরাং আমরা তড়িৎ বিভবের নিম্নোক্ত গাণিতিক সংজ্ঞা দিতে পারি।

সংজ্ঞা : তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে স্থাপিত চার্জ q_0-এর বিভব শক্তিকে চার্জ q_0 দ্বারা ভাগ করলে যে মান পাওয়া যায় তাকে ঐ বিন্দুর তড়িৎ বিভব বলে।

এখন ধরা যাক A বিন্দু অসীম দূরত্বে অবস্থিত। অসীম দূরত্বে বিভব $V_A = 0$ ধরা হয়। সুতরাং উপরের সমীকরণে $V_A = 0$ বসিয়ে এবং উপচিহ্নগুলো তুলে নিলে পাওয়া যায়,

$$\frac{W}{q_0} = V$$

বা, $$\boxed{V = \frac{W}{q_0}} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.21)$$

অতএব, সমীকরণ (2.21) থেকে বিভবের আর একটি গাণিতিক সংজ্ঞা দেয়া যায়।

সংজ্ঞা : অসীম দূর হতে একটি একক ধন চার্জকে তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কাজ সাধিত হয় তাকে উক্ত ক্ষেত্রের দরুন ঐ বিন্দুর বিভব বা তড়িৎ বিভব বলে। একে V দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

মনে করি কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভব = V। অতএব বহু দূর হতে একক ধন চার্জকে উক্ত বিন্দুতে আনতে V পরিমাণ কাজ সাধিত হবে। এখন যদি বহু দূর হতে q পরিমাণ চার্জকে ঐ বিন্দুতে আনা হয়, তবে কাজের পরিমাণ হবে,

কাজ = বিভব × চার্জ

অর্থাৎ $W = V \times q$

বা, $$V = \frac{W}{q} = \frac{\text{কাজ}}{\text{চার্জ}} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.22)$$

যেহেতু একক ধন চার্জ স্থানান্তরে কৃত কাজ দ্বারা বিভব পরিমাপ করা হয়, কাজেই কাজের ন্যায় বিভবেরও **অভিমুখ** নেই, কেবল **পরিমাণ** আছে। তাই তড়িৎ বিভব একটি স্কেলার রাশি। ঋণ চার্জ ও একক ধন চার্জের মধ্যকার আকর্ষণই কাজ করবে। সুতরাং **ঋণ চার্জের জন্য বিভব ঋণ রাশি হবে।**

একক : এস. আই. (S. I.) পদ্ধতিতে বিভব শক্তির একক জুল, চার্জের একক কুলম্ব। সুতরাং তড়িৎ বিভবের একক

$$V = \frac{\text{জুল}}{\text{কুলম্ব}} \text{ (Joule/Coulomb)}$$

তড়িৎ বিভবের এই জুল/কুলম্ব একককে **ভোল্ট** বলে। (১৭ – ১৮)

1 ভোল্ট বিভব : অসীম দূরত্ব হতে 1 কুলম্ব ধন চার্জকে তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে যদি 1 জুল কাজ করতে হয় তবে ঐ বিন্দুর বিভবকে 1 ভোল্ট বলে।

নিজে কর : তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য হলে ওই বিন্দুতে তড়িৎ বিভব কী শূন্য হবে ?

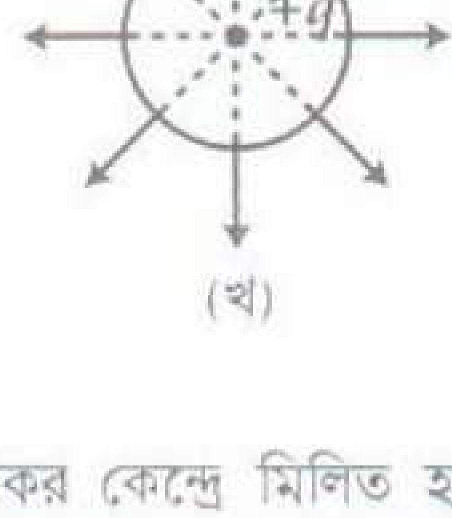
তড়িৎ প্রাবল্য ও বিভবের মধ্যে সম্পর্ক হলো, $E = -\frac{dV}{dr}$। এখন V ধ্রুব হলে $\frac{dV}{dx} = 0$, অর্থাৎ $E = 0$।

সুতরাং E শূন্য হলে V ধ্রুব হবে। যেমন ফাঁপা চার্জিত পরিবাহীর অভ্যন্তরে সর্বত্র V ধ্রুব; কিন্তু E শূন্য। তবে ওই পরিবাহী অচার্জিত হলে V-ও শূন্য হবে। অতএব, তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য হলে তড়িৎ বিভব শূন্য হতেও পারে, আবার নাও হতে পারে।

চার্জগ্রস্ত গোলকের বিভব
Potential of a charged sphere

মনে করি A একটি গোলক [চিত্র ২·১০(ক)]। এর ব্যাসার্ধ = r। গোলকে $+q$ পরিমাণ চার্জ প্রদান করলে তা গোলকের তলে সমভাবে ছড়িয়ে পড়বে। গোলকের তল হতে বলরেখাসমূহ লম্বভাবে সব দিকে সরলরেখায় গমন

(ক)



(খ)

চিত্র ২·১০

করবে। এ রেখাগুলোকে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে তারা গোলকের কেন্দ্রে মিলিত হবে। এখন যদি ধরে নেই যে, $+q$ পরিমাণ চার্জ গোলকের কেন্দ্রে অবস্থিত আছে, তবে একই রকম বলরেখা গোলকের তল দিয়ে চারদিকে বের

হয়ে যাবে [চিত্র ২.১০ (খ)]। অতএব যে-কোনো দিক হতেই বিবেচনা করা হোক না কেন $+q$ পরিমাণ চার্জ গোলকের কেন্দ্রে কেন্দ্রীভূত ধরা যায়। সুতরাং গোলকের পৃষ্ঠে P একটি বিন্দু নিলে ঐ বিন্দুতে তার বিভব হবে,

বায়ু মাধ্যমে $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r}$ এবং প্রাবল্য, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r^2}$

কিন্তু গোলকের পৃষ্ঠের চার্জের তল ঘনত্ব, $\sigma = \frac{q}{A} = \frac{q}{4\pi r^2}$, এখানে, A = গোলকের ক্ষেত্রফল

$\therefore$ প্রাবল্য, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r^2} = \frac{q}{4\pi r^2 \epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon_0 A}$ বা, প্রাবল্য, $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

গোলকের অভ্যন্তরে সর্বত্র বিভব এর পৃষ্ঠের বিভবের সমান। কেননা গোলকের পৃষ্ঠে বিভব V এবং অভ্যন্তরে কোনো বিন্দুতে বিভব V_0 হলে, $V - V_0$ = প্রাবল্য × দূরত্ব = 0, যেহেতু গোলকের অভ্যন্তরে প্রাবল্য শূন্য।

$\therefore$ $V = V_0$ । অতএব গোলকের পৃষ্ঠে বা অভ্যন্তরে বিভব, $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r}$

গোলকের চারপাশের মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক বা ডাই-ইলেকট্রিক ধ্রুবক k হলে, $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 k} \times \frac{q}{r}$

অনুসন্ধানমূলক কাজ : একই ব্যাসার্ধের ফাঁপা ধাতব গোলক ও নিরেট ধাতব গোলক উভয়কে একই তড়িৎ বিভবে চার্জিত করলে কোনটি বেশি চার্জ ধারণ করবে ?

কোনো ধাতব গোলকে চার্জ প্রদান করলে তা বাইরের পৃষ্ঠে ছড়িয়ে পড়ে। তাই ধাতব গোলকের চার্জ ধারকত্ব এর ফাঁপা বা নিরেট হওয়ার ওপর নির্ভর করে না। এ কারণে একই ব্যাসার্ধের ফাঁপা ধাতব গোলক ও নিরেট ধাতব গোলক উভয়কে একই তড়িৎ বিভবে চার্জিত করলে উভয়ে সমানে চার্জ ধারণ করবে।

কাজ : কোনো গোলকের অভ্যন্তরে যে কোনো বিন্দুর বিভব পৃষ্ঠের বিভবের সমান হয় কেন ?

চার্জিত গোলকের অভ্যন্তরে কোনো বলরেখা এবং তড়িৎ প্রাবল্য থাকে না। তাই অসীম হতে গোলকের পৃষ্ঠ পর্যন্ত ধনাত্মক চার্জকে আনতে যে পরিমাণ কাজ করতে হয়, অসীম হতে গোলকের অভ্যন্তরে যে কোনো বিন্দুতে নিতে একই পরিমাণ কাজ করতে হয়। এ কারণেই তড়িৎ বিভবের সংজ্ঞানুসারে, কোনো গোলকের অভ্যন্তরে যে কোনো বিন্দুর বিভব পৃষ্ঠের বিভবের সমান।

গাণিতিক উদাহরণ

১। 10 cm ব্যাসার্ধের একটি গোলকের পরিধিতে 10 C মানের দুটি চার্জ স্থাপন করা হলো। গোলকের কেন্দ্র হতে 8 cm ও 12 cm দূরে তড়িৎ বিভবের মান নির্ণয় কর। [য. বো. ২০১০]

এখানে,

গোলকের ব্যাসার্ধ, R = 10 cm = 0.1 m

মোট চার্জ, $q = 2 \times 10\ C = 20\ C$

গোলকের কেন্দ্র হতে দূরত্ব যথাক্রমে,

$x_1 = 8\ cm = 0.08\ m$

এবং $x_2 = 12\ cm = 0.12\ m$

$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9\ N\text{-}m^2/C^2$

বিভব, $V_1 = ?$ এবং $V_2 = ?$

প্রথম বিন্দুর ক্ষেত্রে,

$x_1 < R$

$\therefore$ প্রথম বিন্দুটি গোলকের ভেতরে অবস্থিত।

সুতরাং এই বিন্দুতে বিভব হবে পৃষ্ঠের বিভবের সমান।

$\therefore$ প্রথম বিন্দুর ক্ষেত্রে বিভব,

$$V_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{R} = 9 \times 10^9 \times \frac{20}{0.1} = 1.8 \times 10^{12}\ V$$

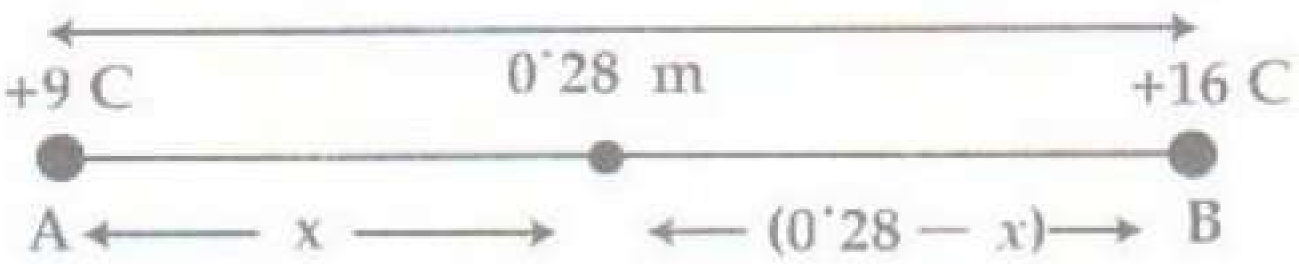
আবার, দ্বিতীয় বিন্দুর ক্ষেত্রে, $x_2 > R$

$\therefore$ দ্বিতীয় বিন্দুতে বিভব,

$V_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{x_2}$ সূত্রানুসারে, $= 9 \times 10^9 \times \frac{20}{0.12} = 1.5 \times 10^{12}\ V$

২। দুটি ক্ষুদ্র গোলক A এবং B-তে যথাক্রমে 9C এবং 16C চার্জ প্রদান করা হলো। যদি বস্তু দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·28m হয়, তবে তাদের সংযোজক সরলরেখার কোন বিন্দুতে উভয় চার্জের জন্য প্রাবল্যের মান সমান হবে ?

[রা. বো. ২০১১; সি. বো. ২০১১]



মনে করি A হতে x m দূরে উভয় চার্জের জন্য প্রাবল্য সমান হবে।

আমরা জানি,

প্রাবল্য, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{r^2}$

+ 9C চার্জের জন্য প্রাবল্য, $E = 9 \times 10^9 \times \frac{9}{x^2}$

আবার, + 16C চার্জের জন্য প্রাবল্য, $E = \frac{9 \times 10^9 \times 16}{(0·28 - x)^2}$

এখানে,
$q_1 = 9\,C$
$q_2 = 16\,C$
$r = 0·28\,m$

$\therefore$ শর্তানুসারে আমরা পাই,

$$9 \times 10^9 \times \frac{9}{x^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 16}{(0·28 - x)^2}$$

বা, $\frac{9}{x^2} = \frac{16}{(0·28 - x)^2}$

বা, $\left(\frac{0·28 - x}{x}\right)^2 = \frac{16}{9} = \left(\frac{4}{3}\right)^2 \quad \therefore \frac{0·28 - x}{x} = \frac{4}{3}$

বা, $4x = 0·84 - 3x$

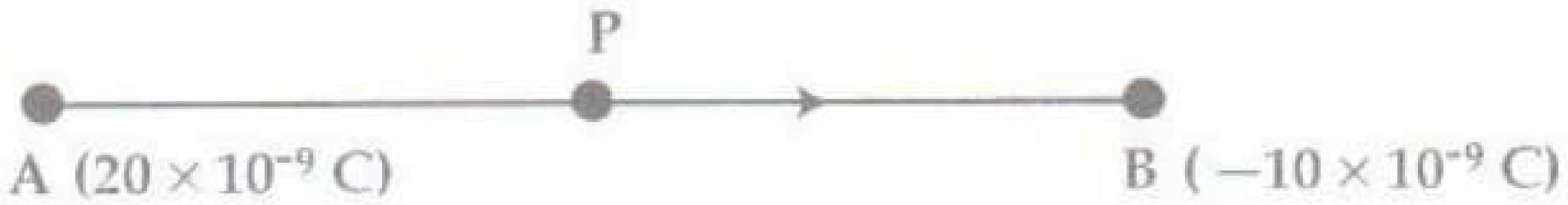
বা, $4x + 3x = 0·84$

বা, $7x = 0·84$

$\therefore \quad x = \frac{0·84}{7} = 0·12\,m$

অতএব A হতে 0·12 m এবং B বিন্দু হতে (0·28 − 0·12) m = 0·16 m দূরত্বে উভয় চার্জের জন্য প্রাবল্যের মান সমান হবে।

৩। $+20 \times 10^{-9}$ C এবং -10×10^{-9} C চার্জবিশিষ্ট দুটি ক্ষুদ্রাকার গোলকের মধ্যবর্তী দূরত্ব 20 cm। আধান দুটির সংযোগরেখার মধ্যবিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য কত হবে ?



ধরা যাক, A বিন্দুতে $+20 \times 10^{-9}$ C এবং B বিন্দুতে -10×10^{-9} C চার্জ স্থাপিত আছে। AB এর মধ্যবিন্দু P তে লব্ধি প্রাবল্য নির্ণয় করতে হবে। এখানে AB = 20 cm = 0·2 m।

$\therefore$ প্রত্যেক আধান থেকে P বিন্দুর দূরত্ব, $r = AP = BP = \frac{AB}{2} = 0·1\,m$

এখন A বিন্দুর আধানের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q_1}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{20 \times 10^{-9}}{(0·1)^2} = 18000\,NC^{-1},\ PB \text{ বরাবর।}$$

আবার, B বিন্দুর আধানের জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{-10 \times 10^{-9}}{(0·1)^2} = -9000\,NC^{-1},\ PB \text{ বরাবর।}$$

− ve চিহ্ন আকর্ষণ তথা অন্তর্মুখী দিক বোঝায়।

যেহেতু E_1 এবং E_2 একই দিকে ক্রিয়া করে,

তাই লব্ধি প্রাবল্য, $E = E_1 + E_2 = (18000 + 9000)\,NC^{-1} = 27000\,NC^{-1}$, PB বরাবর।

বিভব পার্থক্য
Potential difference

তড়িৎ ক্ষেত্রের দুটি বিন্দুর মধ্যে তড়িৎ বিভবের ব্যবধানকে বিভব পার্থক্য বা বিভব বৈষম্য বলে।

অথবা, তড়িৎ ক্ষেত্রের এক বিন্দু হতে অপর বিন্দুতে একটি একক ধন চার্জকে স্থানান্তর করতে যে পরিমাণ কাজ সাধিত হয় তাকে ঐ দুই বিন্দুর মধ্যকার বিভব পার্থক্য বলে।

তড়িৎ ক্ষেত্রের একটি বিন্দু হতে অপর একটি বিন্দুতে একক ধন চার্জকে আনতে যে পরিমাণ কাজ করা হয় তাই ঐ দুই বিন্দুর বিভব পার্থক্যের পরিমাপ। কাজেই দুটি বিন্দুর বিভব যথাক্রমে V_A ও V_B হলে সমীকরণ (2.20) অনুসারে ঐ দুই বিন্দুর বিভব পার্থক্য ও সম্পাদিত কাজের মধ্যে সম্পর্ক হলো—

$$V_B - V_A = \Delta V = \frac{W_{AB}}{q_0} = \frac{W}{q_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.23)$$

$$\therefore \quad W = q_0 \Delta V \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.24)$$

বিভব পার্থক্য ΔV এবং অনেক ক্ষেত্রে শুধুমাত্র V দ্বারাও প্রকাশ করা হয়। এর একক **ভোল্ট**। এক বস্তু হতে অন্য বস্তুতে চার্জ প্রবাহিত হলে বুঝতে হবে যে, বস্তু দুটির মধ্যে বিভব পার্থক্য বা অসম বিভব রয়েছে। না হলে বস্তু দুটির বিভব সম-বিভব।

ইলেকট্রন ভোল্ট (Electron volt) : পারমাণবিক এবং নিউক্লীয় পদার্থবিদ্যায় কাজ বা শক্তির একক জুল ছাড়াও ইলেকট্রন ভোল্ট একক বহুল ব্যবহৃত হয়। তড়িৎ ক্ষেত্রের দুটি বিন্দুর বিভব পার্থক্য যদি 1 V হয় এবং একটি মুক্ত ইলেকট্রন এক বিন্দু হতে অপর বিন্দুতে গতিশীল হলে যে গতিশক্তি অর্জন করে তাকে 1 ইলেকট্রন ভোল্ট বা সংক্ষেপে 1 eV বলে।

$$\therefore 1\,eV = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\,C \times 1V = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\,C \times \frac{1J}{1C} = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}\,J \quad \left[\because 1V = \frac{1J}{1C}\right]$$

পৃথিবীর বিভব : কোনো বস্তুর বিভব পরিমাপের সময় পৃথিবীর বিভব শূন্য ধরে এর সাপেক্ষে ঐ বস্তুর বিভব তুলনা করা হয়। পৃথিবী একটি বিরাট তড়িৎ পরিবাহী বস্তু। কোনো ঋণচার্জে চার্জিত বস্তুকে পরিবাহী দ্বারা পৃথিবীর সঙ্গে যুক্ত করলে বস্তু থেকে ইলেকট্রন পৃথিবী তথা মাটিতে প্রবাহিত হয়ে বস্তুটি চার্জহীন হয়ে পড়ে। আবার ধনচার্জে চার্জিত বস্তুকে পৃথিবীর সাথে সংযুক্ত করলে পৃথিবী হতে ইলেকট্রন বস্তুতে প্রবাহিত হয়ে বস্তুটিকে চার্জহীন করে। প্রতিনিয়ত বিভিন্ন বস্তু হতে পৃথিবী চার্জ গ্রহণ বা বিভিন্ন বস্তুতে চার্জ প্রদান করছে। কিন্তু পৃথিবী একটি বিরাট পরিবাহী বলে এর চার্জের কোনো পরিবর্তন হয় না। ফলে বিভবেরও কোনো পরিবর্তন হয় না। পৃথিবীর বিভব চার্জহীন বস্তুর মতো শূন্য ধরা হয়।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি স্থির তড়িৎ ক্ষেত্রের উৎস থেকে দুটি বিন্দু P ও Q যথাক্রমে 1m ও 2m দূরে অবস্থিত। উৎস থেকে x দূরে তড়িৎ ক্ষেত্রটির প্রাবল্য, $E = \frac{5}{x^3}$। P ও Q বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর।

এখানে,

$E = \frac{5}{x^3}$

P বিন্দুর দূরত্ব, $x_1 = 1$ m

Q বিন্দুর দূরত্ব, $x_2 = 2$ m

$\Delta V = ?$

আমরা জানি,

$$E = -\frac{dV}{dx}$$

$$\therefore \quad \frac{5}{x^3} = -\frac{dV}{dx}$$

বা, $dV = -\frac{5}{x^3}dx$

$$\therefore \quad V_P - V_Q = \int_2^1 -\frac{5}{x^3}dx$$

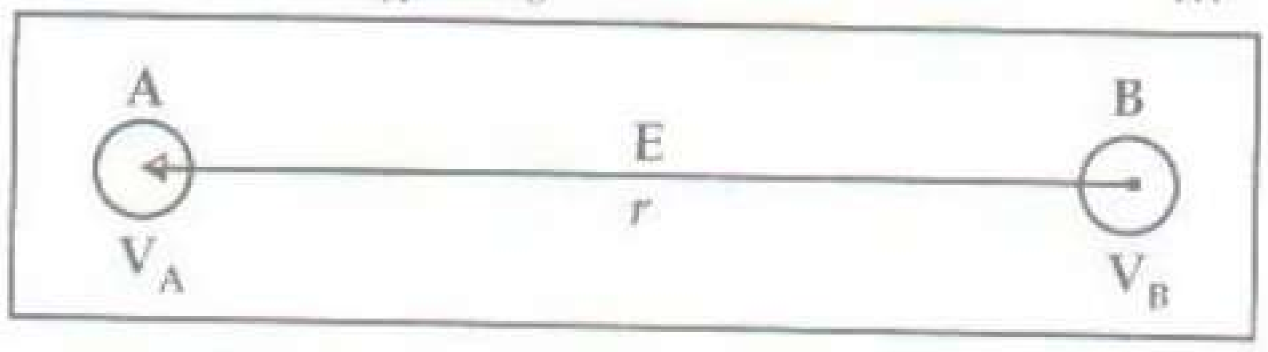
$$= 5\left[\frac{1}{2x^2}\right]_2^1 = \frac{5}{2}\left[\frac{1}{x^2}\right]_2^1$$

$$= \frac{5}{2}\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{4}\right) = \frac{5}{2} \times \frac{1}{4} = \frac{5}{8} \text{ একক}$$

তড়িৎ প্রাবল্য এবং তড়িৎ বিভবের মধ্যে সম্পর্ক
Relation between electric intensity and electric potential

মনে করি A এবং B তড়িৎ ক্ষেত্রের মধ্যস্থিত নিকটবর্তী দুটি বিন্দু [চিত্র ২.১১]। মনে করি A বিন্দুর তড়িৎ বিভব = V_A এবং B বিন্দুর তড়িৎ বিভব = V_B। যদি $V_A > V_B$ হয়, তবে বিভব পার্থক্য

$$= V_A - V_B \quad \ldots \quad (2.25)$$



চিত্র ২.১১

এখন A এবং B বিন্দু নিকটবর্তী হওয়ায় বিন্দু দুটিতে প্রাবল্য একই হবে গণ্য করা যায়। ধরি প্রাবল্য = E

∴ একক ধন চার্জকে B হতে A বিন্দুতে আনতে কাজের পরিমাণ

$$= \text{প্রাবল্য} \times \text{দূরত্ব} = E \times AB \quad \ldots \quad (2.26)$$

কিন্তু একক ধন চার্জকে B হতে A বিন্দুতে আনতে কাজের পরিমাণ উক্ত বিন্দু দুটির বিভব পার্থক্যের সমান।

∴ আমরা পাই, $E \times AB = (V_A - V_B)$ বা, $E = \dfrac{V_A - V_B}{AB}$

যদি A এবং B বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব r হয়, তবে

$$E = \frac{V_A - V_B}{r} = \frac{\text{বিভব পার্থক্য}}{\text{দূরত্ব}} = \frac{V}{r} \quad \ldots \quad (2.27)$$

ক্যালকুলাসের সাহায্যে একে লেখা যায়, $E = -\dfrac{dV}{dr}$।

এখানে ঋণ চিহ্ন নির্দেশ করে যে, বিভব বৃদ্ধির জন্য একটি ধনাত্মক চার্জকে তড়িৎ ক্ষেত্রের বিপরীত দিকে সরণ ঘটাতে হবে।

উপরোক্ত সমীকরণ হতে বলা যায় যে, **বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর তড়িৎ প্রাবল্য ঐ বিন্দুতে দূরত্ব সাপেক্ষে বিভবের পরিবর্তনের হারের সমান।**

উল্লেখ্য : $\dfrac{dV}{dr}$-কে বিভবের নতিমাত্রা (Potential gradient) বলে।

সমীকরণ (2.27) অনুসারে E এর এস. আই. একক ভোল্ট/মিটার (V/m)।

অতএব তড়িৎ প্রাবল্য E-এর দুটি একক রয়েছে। যথা—নিউটন/কুলম্ব (N/C) এবং ভোল্ট/মিটার (V/m)।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি বিন্দুতে তড়িৎ বিভব, $V = -5x + 3y + \sqrt{15}\,z$ হলে ঐ বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য কত ?

আমরা জানি,

$$\vec{E} = E_x\hat{i} + E_y\hat{j} + E_z\hat{k}$$
$$= -\hat{i}\frac{dV}{dk} - \hat{j}\frac{dV}{dy} - \hat{k}\frac{dV}{dz}$$

এখানে,

$V = -5x + 3y + \sqrt{15}\,z$

প্রশ্নানুসারে,

$$E_x = 5,\ E_y = -3,\ E_z = -\sqrt{15}$$

$$\therefore\ E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2 + E_z^2} = \sqrt{25 + 9 + 15}$$
$$= \sqrt{49} = 7 \text{ একক}$$

২। একটি সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রে 50 cm ব্যবধানে অবস্থিত দুটি বিন্দুর বিভব পার্থক্য 200V। তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় কর।
[চ. বো. ২০০৯; সি. বো. ২০০৩]

মনে করি, তড়িৎ প্রাবল্য = E

আমরা জানি,

$$E = \frac{dV}{dr} \quad \text{[ঋণ চিহ্ন পরিহার করে]}$$

$$\therefore\ E = \frac{200\text{V}}{50 \times 10^{-2}\text{ m}} = 400\text{V m}^{-1}$$

এখানে,

বিভব পার্থক্য, $dV = 200$V

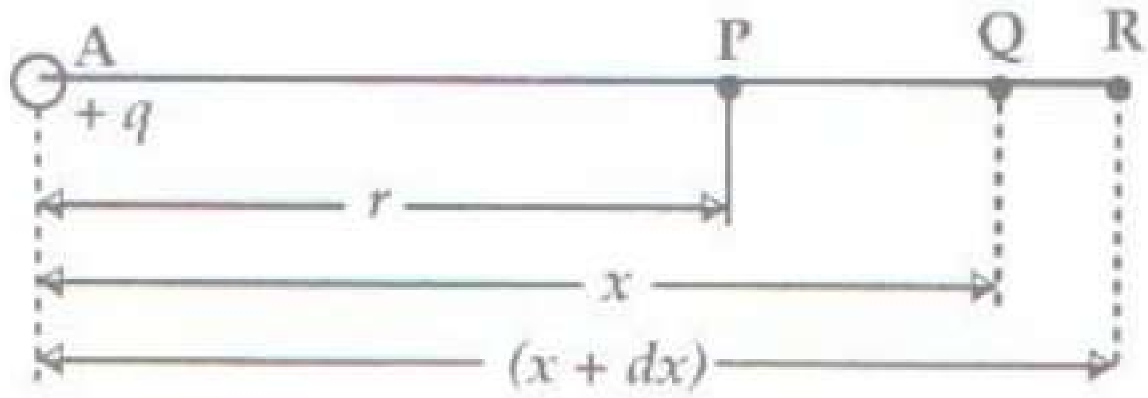
দূরত্ব, $dr = 50\text{ cm} = 50 \times 10^{-2}$ m

বিন্দু চার্জের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভব ও তড়িৎ বলের মধ্যে সম্পর্ক

Relation between Electric Potential at a point in the electric field due to a point charge and Electric force

মনে করি A বায়ু মাধ্যমে একটি বিন্দু [চিত্র ২.১২]। উক্ত বিন্দুতে $+q$ পরিমাণ ধনচার্জ রাখা হয়েছে। এ চার্জের দরুন A হতে r দূরত্বে P বিন্দুতে বিভব নির্ণয় করতে হবে।

AP যোগ করি ও বর্ধিত করি। বর্ধিত রেখার উপর কাছাকাছি দুটি বিন্দু Q ও R নেয়া যাক। মনে করি A হতে Q ও R-এর দূরত্ব যথাক্রমে x ও $(x + dx)$। এখন $+q$ চার্জের দরুন Q বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,



চিত্র ২.১২

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\text{চার্জ}}{\text{দূরত্ব}^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{x^2}$$

কিন্তু Q ও R কাছাকাছি দুটি বিন্দু হেতু dx দূরত্বের সর্বত্র তড়িৎ প্রাবল্য $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{x^2}$ ধরা যায়।

$\therefore$ একক ধন চার্জকে R হতে Q-তে আনতে কাজের পরিমাণ $dW = -$ বল $\times$ সরণ $= -$ প্রাবল্য $\times$ সরণ

বা, $dW = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{x^2}\, dx$ [প্রাবল্য এবং সরণ বিপরীতমুখী হওয়ায় বিয়োগ চিহ্ন হলো।]

সুতরাং একক ধন চার্জকে অসীম দূরত্ব হতে P বিন্দুতে আনতে কাজের পরিমাণ নির্ণয় করতে হলে উপরোক্ত সমীকরণকে $x = r$ ও $x = \infty$ এ সীমার মধ্যে সমাকলন করতে হবে।

$$\therefore \quad \text{মোট কাজের পরিমাণ, } W = \int dW = \int_{x=\infty}^{x=r} -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{x^2}\, dx$$

$$\text{বা, } \quad W = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times q \left[\frac{x^{-2+1}}{-2+1}\right]_{\infty}^{r}$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times q \left[\frac{1}{x}\right]_{\infty}^{r} \quad \left[\because \frac{1}{\infty} = 0\right]$$

$$\therefore \quad W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.28)$$

কিন্তু অসীম দূরত্ব হতে একক ধন চার্জকে P বিন্দুতে আনতে কাজের পরিমাণই হলো P বিন্দুর বিভব, V

$$V = W = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q \times r}{r^2} = F \times r \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.29)$$

তবে চার্জ যদি বায়ু বা শূন্য মাধ্যম ছাড়া অন্য কোনো মাধ্যমে অবস্থিত হয়,

$$\text{সেক্ষেত্রে বিভব, } V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{\epsilon_r \times r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \times \frac{qr}{r^2} = \frac{F \times r}{\epsilon_r} \quad \ldots \quad (2.30)$$

(2.29) এবং (2.30) সমীকরণ হলো তড়িৎ বিভব ও তড়িৎ বলের মধ্যে সম্পর্ক।

এখানে ϵ_r-কে মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বলে।

একাধিক চার্জের জন্য সৃষ্ট মোট বিভব : যদি শূন্য মাধ্যমে A হতে $r_1, r_2, r_3 \ldots \ldots \ldots r_n$ দূরত্বে যথাক্রমে $q_1, q_2, q_3 \ldots \ldots \ldots q_n$ চার্জ থাকে তবে সেগুলোর জন্য A বিন্দুতে মোট বিভব হবে চার্জগুলোর জন্য A বিন্দুতে সৃষ্ট পৃথক পৃথক বিভবের সমষ্টির সমান।

$$\therefore \quad \text{মোট বিভব, } V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \frac{q_3}{r_3} + \ldots \ldots \ldots + \frac{q_n}{r_n}\right)$$

$$\text{বা, } V = 9 \times 10^9 \sum \frac{q}{r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.31)$$

[শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে]

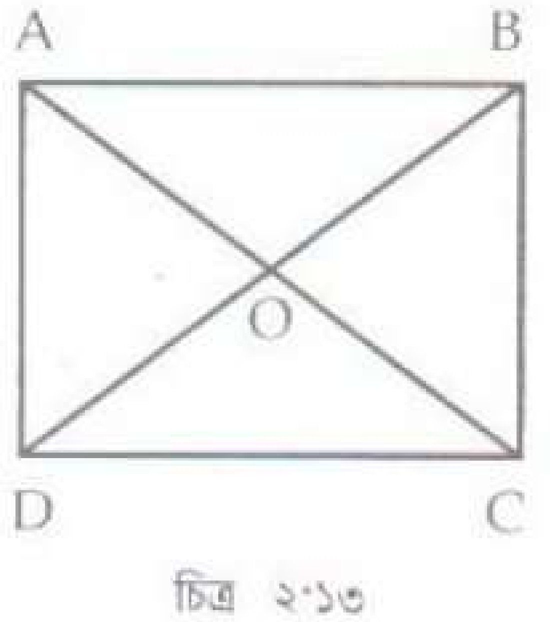
$$\text{এবং } V = 9 \times 10^9 \sum \frac{q}{\epsilon_r r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.32)$$

[শূন্য বা বায়ু মাধ্যম ছাড়া অন্য মাধ্যমে]

গাণিতিক উদাহরণ

১। 2m বাহুবিশিষ্ট একটি বর্গক্ষেত্রের প্রতিটি কোণায় 2×10^{-9}C চার্জ স্থাপন করা হলো। বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রে বিভব নির্ণয় কর।

মনে করি ABCD একটি বর্গক্ষেত্র। এর কর্ণদ্বয় O বিন্দুতে ছেদ করেছে। বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্র O বিন্দুতে বিভব



চিত্র ২·১৩

V = A বিন্দুর বিভব + B বিন্দুর বিভব + C বিন্দুর বিভব + D বিন্দুর বিভব

$$= 9 \times 10^9 \left[\frac{2 \times 10^{-9}}{AO} + \frac{2 \times 10^{-9}}{BO} + \frac{2 \times 10^{-9}}{CO} + \frac{2 \times 10^{-9}}{DO}\right]$$

$$= \frac{9 \times 10^9}{\sqrt{2}} \times 2 \times 10^{-9} = 50{\cdot}91 \text{ volt}$$

এখানে $AC^2 = AD^2 + DC^2 = 2^2 + 2^2 = 4 + 4 = 8$

$\therefore \quad AC = \sqrt{8} = 2\sqrt{2}$

$\therefore \quad AO = BO = CO = DO = AC = \sqrt{2}$

২। কোনো বর্গক্ষেত্রের তিনটি কৌণিক বিন্দুতে যথাক্রমে $+6 \times 10^{-9}$C, -12×10^{-9}C এবং 14×10^{-9}C আধান স্থাপন করা হলো। চতুর্থ কৌণিক বিন্দুতে কত আধান স্থাপন করলে বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রে তড়িৎ বিভব শূন্য হবে? [রা. বো. ২০০৮; ঢা. বো. ২০০২]

ধরি, বর্গক্ষেত্রটির (চিত্র অনুযায়ী) কৌণিক বিন্দুগুলো থেকে কেন্দ্রের দূরত্ব a এবং চতুর্থ বিন্দুর চার্জ q।

আমরা জানি, বর্গক্ষেত্রের কেন্দ্রে বিভব = কেন্দ্র হতে চার কৌণিক বিন্দুতে বিভবের সমষ্টি

অর্থাৎ $V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 0$

$$\therefore \quad 0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{6 \times 10^{-9}}{a} - \frac{12 \times 10^{-9}}{a} + \frac{14 \times 10^{-9}}{a} + \frac{q}{a}\right)$$

বা, $6 \times 10^{-9} - 12 \times 10^{-9} + 14 \times 10^{-9} + q = 0$

বা, $8 \times 10^{-12} + q = 0$

$\therefore \quad q = -8 \times 10^{-12}$C

৩। বায়ুতে অবস্থিত একটি বিন্দু আধানের জন্য একটি বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য এবং তড়িৎ বিভবের মান যথাক্রমে $20 NC^{-1}$ এবং $10 J C^{-1}$। বিন্দু আধানটির মান কত ?

আমরা জানি,

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

$$\text{এবং } E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

এখানে বিভব, $V = 10 JC^{-1}$ এবং তড়িৎ প্রাবল্য, $E = 20 NC^{-1}$

সমীকরণ (1) ও (2)-এ মান বসিয়ে পাই,

$$10 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

$$\text{এবং } 20 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

সমীকরণ (3)-কে বর্গ করে পাই,

$$100 = \frac{q^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

সমীকরণ (5)-কে সমীকরণ (4) দ্বারা ভাগ করে পাই,

$$5 = \frac{\frac{q^2}{(4\pi\epsilon_0)^2 r^2}}{\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \quad \therefore \ q = 5 \times 4\pi\epsilon_0 = \frac{5}{9 \times 10^9} = 5.56 \times 10^{-10}\text{ C}$$

২·৩ সমবিভব তল
Equipotential surface

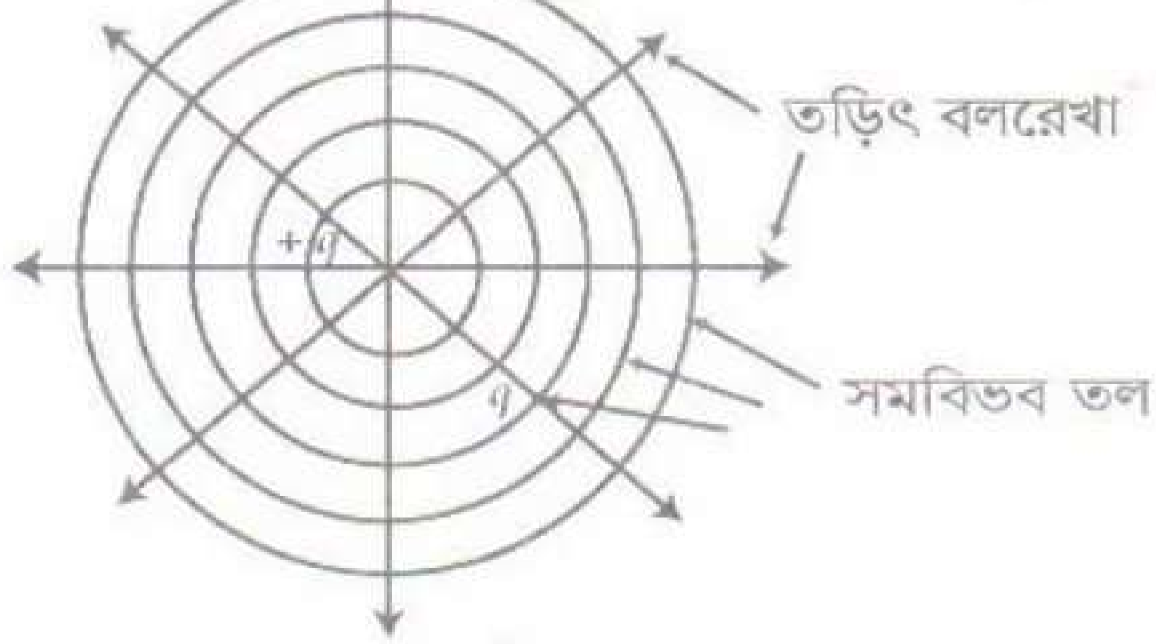
আমরা জেনেছি যে ভূ-পৃষ্ঠের সর্বত্র বিভব সমান (শূন্য) কারণ ভূ-পৃষ্ঠ একটি তড়িৎ পরিবাহী। তড়িৎ পরিবাহীর পৃষ্ঠে বিভব-পার্থক্য থাকা সম্ভব নয় কারণ বিভেদ পার্থক্যের নতিমাত্রা (Gradient) থাকলে পৃষ্ঠে একটি তড়িৎ ক্ষেত্র কাজ করবে এবং পৃষ্ঠের ইলেকট্রনগুলি ঐ তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রভাবে নিজেদের এরূপভাবে পুনর্বণ্টন করবে যাতে তড়িৎ ক্ষেত্র লোপ পায়। পরিবাহীর মোট আধান ধনাত্মক কি ঋণাত্মক হোক কিংবা পরিবাহী তড়িৎবিহীন হোক অথবা কোনো বস্তুর সাপেক্ষে পরিবাহীর প্রকৃত বিভব যাই হোক না কেন, সর্বক্ষেত্রে পৃষ্ঠের বিভব সর্বত্র সমান হবে।

তাই বলা যায় **কোনো তল বা আয়তন যদি এরূপ হয় যে, তার বিভব সর্বত্র সমান, তবে ঐ তল বা আয়তনকে সমবিভব তল বা আয়তন বলে।**

ব্যাখ্যা : একটি বিন্দু চার্জ $+q$ হতে r দূরত্বের যে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভবের রাশিমালা

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r}$$ [সমীকরণ (2.28) অনুসারে]

এখন q ও ϵ_0 ধ্রুব বলে বিন্দু চার্জ হতে যে কোনো দিকে r দূরত্বে বিভব একই হবে। ত্রিমাত্রিক স্থানে r দূরত্বের তল হবে গোলকীয় তল। এই তলের সকল বিন্দুতে বিভব একই হবে; সুতরাং এটি সমবিভব তল। 'r'-এর বিভিন্ন মানের জন্য আমরা অসংখ্য সমবিভব তল অঙ্কন করতে পারি। চিত্র ২·১৪-এ দ্বিমাত্রিক স্থানে বৃত্ত এঁকে বিভিন্ন সমবিভব তল দেখানো হয়েছে।



চিত্র ২·১৪

ঐ বিন্দু চার্জ হতে সমবিভব তলের দূরত্ব যত বেশি হবে বিভবের মান তত কম হবে।

যেহেতু একটি সমবিভব তলের সকল বিন্দুতে বিভব সমান, ফলে ঐ তলের যে কোনো দুই বিন্দুর বিভব পার্থক্য শূন্য। আবার, বিভব পার্থক্য শূন্য হলে কাজও শূন্য হবে। সুতরাং কোনো চার্জকে **সম বিভব তলের এক বিন্দু হতে অন্য বিন্দুতে নিতে কোনো কাজ করতে হয় না।**

সমবিভব তলের যে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা তড়িৎ প্রাবল্য ঐ তলের সাথে লম্বভাবে ক্রিয়া করে।

ক্রিয়াকর্ম : একটি সমবিভব তলের এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে একটি একক ধনাত্মক চার্জ সরালে কৃত কাজ কত হবে—ব্যাখ্যা কর।

সমবিভব তলের যে কোনো দুটি বিন্দুর বিভব সমান। সুতরাং ঐ বিন্দু দুটির বিভব পার্থক্য শূন্য। বিভব পার্থক্যের সংজ্ঞানুযায়ী এক বিন্দু হতে অন্য বিন্দুতে একটি একক ধন চার্জকে সরালে কৃত কাজ উক্ত বিন্দুদ্বয়ের বিভব পার্থক্যের সমান। সুতরাং একটি সমবিভব তলের এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে একটি একক ধনাত্মক চার্জ সরালে বিভব পার্থক্য শূন্য হওয়ায় কৃত কাজের পরিমাণ শূন্য হবে।

সমবিভব তলের বৈশিষ্ট্য :

(i) তড়িতাহিত পরিবাহীর তল সর্বদা সমবিভব তল। এই তলের উপর তড়িৎ আধানগুলি স্থির থাকে।

(ii) তড়িৎ বলরেখা সমবিভব তলকে সমকোণে ছেদ করে।

(iii) সমবিভব তলের উপর কোনো তড়িতাধানকে এক বিন্দু হতে অপর বিন্দুতে স্থানান্তরিত করতে কোনো কাজ হয় না।

(iv) কোনো বস্তুর তল বা আয়তন সমবিভব সম্পন্ন হতে পারে; আবার শূন্য দেশস্থ (in space) কোনো তল বা আয়তনও সমবিভবসম্পন্ন হতে পারে।

২·৪ তড়িৎ দ্বিমেরু
Electric dipole

ধারণা
Concept

দুটি সমশক্তির চৌম্বক মেরু খুব কাছাকাছি স্থাপন করলে চৌম্বক দ্বিমেরু গঠিত হয়। তেমনি সমপরিমাণের দুটি বিপরীতধর্মী তড়িৎ চার্জ খুব কাছাকাছি স্থাপন করা হলে তড়িৎ দ্বিমেরু গঠিত হয়। তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্ব দ্বি-খণ্ডক রেখার যে কোনো বিন্দুতে বিভব শূন্য হওয়ায় এই রেখা বরাবর ধনাত্মক চার্জকে সরাতে সম্পাদিত কাজের পরিমাণ শূন্য হয়। **দুইটি সমপরিমাণ কিন্তু বিপরীতধর্মী বিন্দু চার্জ পরস্পরের খুব কাছাকাছি থাকলে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু গঠিত হয়।**

উদাহরণস্বরূপ বলা যায়, হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটি ধন প্রোটন এবং একটি ঋণ ইলেকট্রন আছে। অতএব ইহা একটি তড়িৎ দ্বিমেরু।

কোনো একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর যেকোনো একটির আধানের পরিমাণ এবং তাদের মধ্যবর্তী দূরত্বের গুণফলকে দ্বিমেরু ভ্রামক বলে। মনে করি একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর যেকোনো একটির আধানের পরিমাণ $= q$ এবং তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব $= 2l$.

$\therefore$ দ্বিমেরু ভ্রামক $p = q \times 2l$।

দ্বিমেরু ভ্রামকের ভেক্টর রূপ হলো $\vec{p} = 2q\vec{l}$। এর অভিমুখ ঋণ চার্জ হতে ধন চার্জের দিকে।

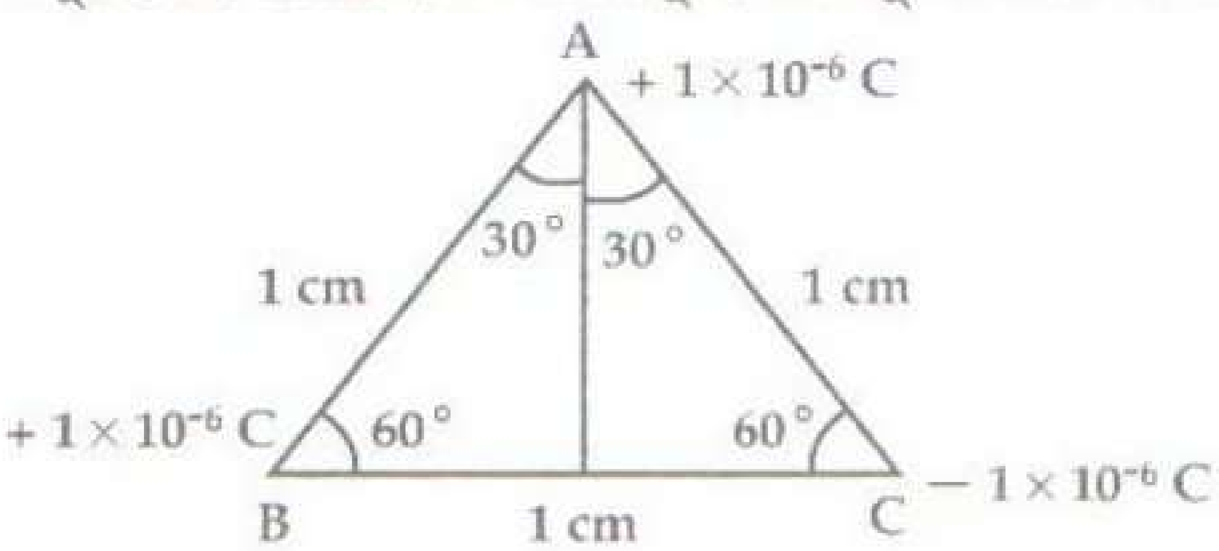
এখন আমরা একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য বিভব এবং প্রাবল্য নির্ণয় করব।

সম্প্রসারিত ক্রিয়াকর্ম : তড়িৎ দ্বিমেরুর তড়িৎ ক্ষেত্রে লম্ব-দ্বিখণ্ডক রেখা বরাবর কোনো ধনাত্মক চার্জকে সরালে কোনো কাজ সম্পাদন করতে হয় না কেন ?

তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্ব-দ্বিখণ্ডক রেখার যে কোনো বিন্দুতে বিভব শূন্য হওয়ায় এই রেখা বরাবর ধনাত্মক চার্জকে সরাতে সম্পাদিত কাজের পরিমাণ শূন্য হয় অর্থাৎ কোনো কাজ করতে হয় না।

গাণিতিক উদাহরণ

১। নিচের চিত্রে একটি সমবাহু ত্রিভুজের তিনটি শীর্ষ বিন্দুতে 1μC, —1μC ও 1μC আধান রয়েছে। প্রতিটি বাহুর দৈর্ঘ্য 1 cm হলে এদের তুল্য দ্বিমেরু ভ্রামকের মান বের কর।



সংস্থাটি দুটি দ্বিমেরু দ্বারা পরস্পরের সাথে 60° কোণে আনত।

ধরা যাক, একটি দ্বিমেরু

$$AC = p_1 = q_1 \times 2l = 1 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-2} = 1 \times 10^{-8}\ \text{C m}$$

এখানে,
$q_1 = 1\ \mu C = 1 \times 10^{-6}$ C
$q_2 = -1\ \mu C = 1 \times 10^{-6}$ C
$q_3 = 1\ \mu C = 1 \times 10^{-6}$ C
$2l = 1\ \text{cm} = 1 \times 10^{-2}$ m

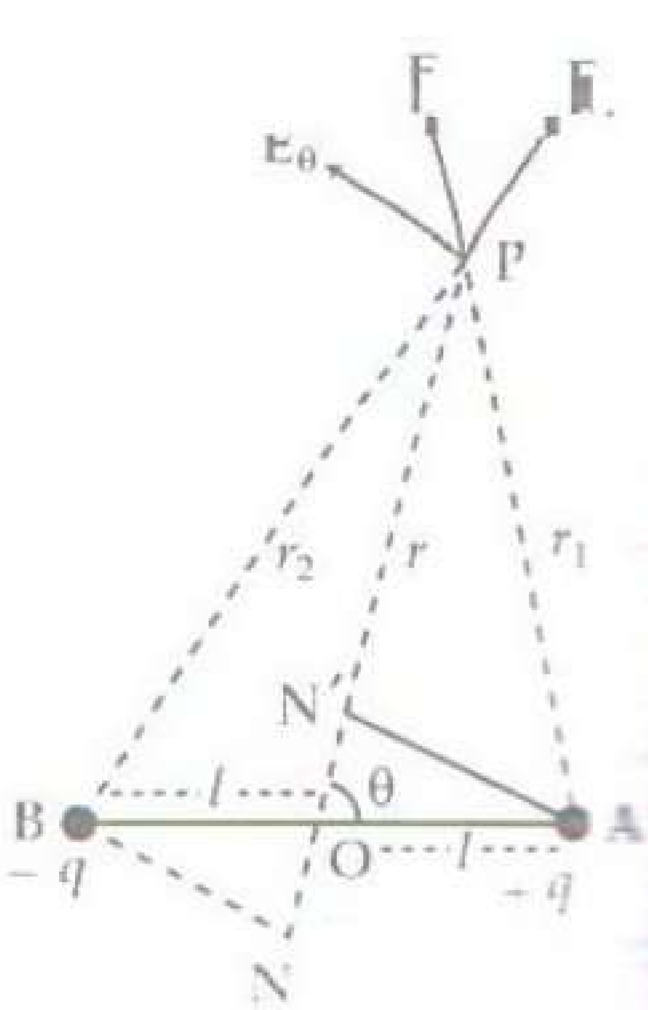
এবং অন্যটি $BC = p_2 = q_2 \times 2l = 1 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-2} = 1 \times 10^{-8}\ \text{C m}$

$\therefore$ লব্ধি দ্বিমেরু ভ্রামক, $p = p_1 \cos 30^\circ + p_2 \cos 30^\circ$

$$= (p_1 + p_2)\cos 30^\circ = (1 \times 10^{-8} + 1 \times 10^{-8}) \times 0{\cdot}866$$
$$= 2 \times 10^{-8} \times 0{\cdot}866 = 1{\cdot}73 \times 10^{-8}\ \text{C m}$$

[illegible]
Electric Potential due to Electric Dipole

[illegible] $2l$ দূরত্বে থেকে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু সৃষ্টি করেছে [চিত্র ২·১৫]। ধরি A ও B-এর মধ্যবিন্দু O। এখন O হতে r দূরত্বে P একটি বিন্দু লই। P বিন্দুতে বিভব নির্ণয় করতে হবে। ধরি $OP = r$, $\angle POA = \theta$, PO এবং PO-এর বর্ধিত অংশের উপর যথাক্রমে AN′ ও BN লম্ব।



চিত্র ২·১৫

$\therefore$ P বিন্দুতে বিভব,

$$V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left\{\frac{q}{AP} + \left(-\frac{q}{BP}\right)\right\}$$
$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q}{AP} - \frac{q}{BP}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.33)$$

কিন্তু $PN = BP = r + l\cos\theta = r_2$ এবং

$PN' = AP = r - l\cos\theta = r_1$

$\therefore$ সমীকরণ (2.33) হতে পাই,

$$V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left\{\frac{q}{r_1} - \frac{q}{r_2}\right\}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left\{\frac{q}{r - l\cos\theta} - \frac{q}{r + l\cos\theta}\right\} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left\{\frac{q(r + l\cos\theta) - q(r - l\cos\theta)}{r^2 - l^2\cos^2\theta}\right\}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left\{\frac{q(r + l\cos\theta - r + l\cos\theta)}{r^2 - l^2\cos^2\theta}\right\} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left\{\frac{q\times 2l\cos\theta}{r^2 - l^2\cos^2\theta}\right\}$$

$r \gg l$ হওয়ায় $l^2\cos^2\theta$-কে উপেক্ষা করা যায়।

$\therefore$ P বিন্দুতে বিভব,

$$V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{q\times 2l\cos\theta}{r^2}$$

বা, $$V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{p\cos\theta}{r^2}$$

এখানে $q\times 2l = p$ = দ্বিমেরু ভ্রামক,

অর্থাৎ P বিন্দুতে বিভব,

$$\boxed{V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{p\cos\theta}{r^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.34)$$

এটাই হলো তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য বিভবের রাশিমালা।

দ্রষ্টব্য : (i) যদি $\theta = 0°$ হয়, অর্থাৎ P বিন্দু তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষ বরাবর স্থাপিত হয়, তবে

$$\boxed{V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{p}{r^2}}$$

(ii) যদি $\theta = 90°$ হয়, অর্থাৎ P বিন্দু তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষের উপর অভিলম্ব হয়, তবে

$$\boxed{V_P = 0}$$

(iii) অন্য কোনো মাধ্যমে,

$$V_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 K}\times\frac{p\cos\theta}{r^2}$$

নিজে কর : তড়িৎ দ্বিমেরুর অক্ষস্থিত কোনো বিন্দুতে এবং অক্ষের দ্বিখণ্ডকের উপর কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভব এবং প্রাবল্য কত হবে ?

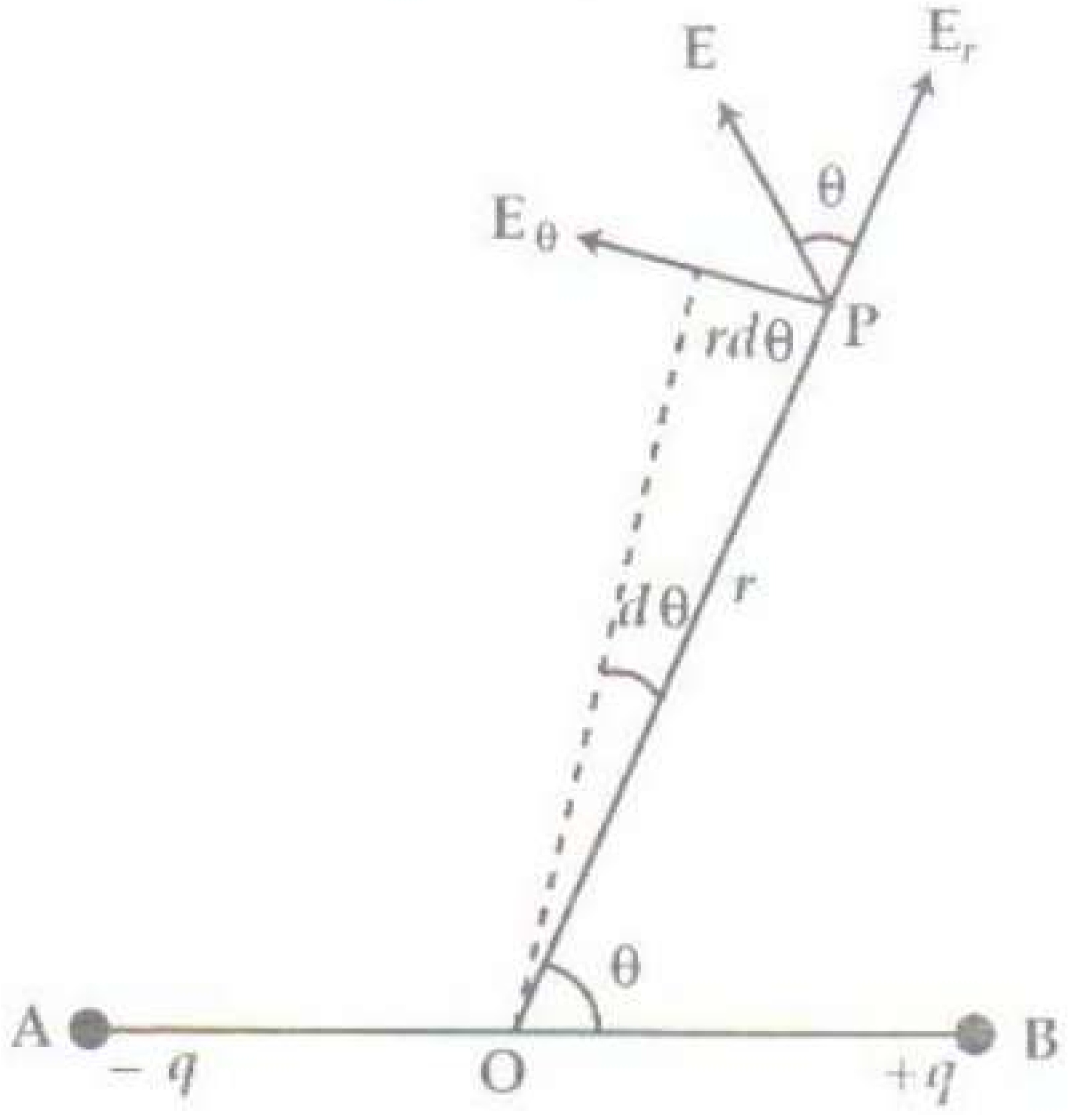
তড়িৎ দ্বিমেরুর কেন্দ্র থেকে x দূরত্বে দ্বিমেরু অক্ষে অবস্থিত কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভব $V_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{M}{x^2}$ এবং তড়িৎ প্রাবল্য $E_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{2M}{x^3}$, দ্বিমেরুর অক্ষের লম্ব দ্বিখণ্ডের উপর কেন্দ্র থেকে x দূরত্বে কোনো বিন্দুতে $V_p = 0$ এবং $E_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{2M}{x^3}$, যখন দ্বি মেরুর ভ্রামক $M = q\times 2l$.

তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য
Electric field intensity due to electric dipole

প্রাবল্য (Intensity) : আমরা জানি, দূরত্ব সাপেক্ষে বিভব পরিবর্তনের হারকে প্রাবল্য বলে এবং প্রাবল্য,

$$E = -\frac{dV}{dr}$$

এখন OP বরাবর বৈদ্যুতিক প্রাবল্যের উপাংশের নাম ব্যাসার্ধমুখী উপাংশ (radial component)। একে E_r দ্বারা সূচিত করা হয় [চিত্র ২·১৬]।



চিত্র ২·১৬

$$\therefore\ E_r = -\frac{d}{dr}\left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{p\cos\theta}{r^2}\right)$$

$$= -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{d}{dr}\left(\frac{p\cos\theta}{r^2}\right) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{2p\cos\theta}{r^3}$$

($\because$ তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য তড়িৎ বিভব $V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{p}{r^2}$)

পুনঃ OP-এর অভিলম্ব বরাবর বৈদ্যুতিক প্রাবল্যের উপাংশের নাম তির্যক উপাংশ (tangential component)। একে E_θ দ্বারা সূচিত করা হয়। পুনঃ অভিলম্ব বরাবর দূরত্ব $r\,d\theta$।

$$\therefore\ E_\theta = -\frac{dV}{rd\theta} = -\frac{1}{r}\cdot\frac{d}{d\theta}\left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{p\cos\theta}{r^2}\right)$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{p\sin\theta}{r^3}$$

মনে করি P বিন্দুতে তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য প্রাবল্য = E। তা হলে E হবে E_r ও E_θ এর লব্ধি।

$$\therefore\ E = \sqrt{E_r^2 + E_\theta^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{2p\cos\theta}{r^3}\right)^2 + \left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{p\sin\theta}{r^3}\right)^2}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{p}{r^3}\sqrt{(4\cos^2\theta + \sin^2\theta)}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{p}{r^3}\sqrt{(1 + 3\cos^2\theta)}$$

এবং E-এর অভিমুখ অর্থাৎ E_r এর সাথে E-এর কৌণিক ব্যবধান φ হলে

$$\tan\varphi = \frac{E_\theta}{E_r} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{p\sin\theta}{r^3} \Big/ \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{2p\cos\theta}{r^3} = \frac{\sin\theta}{2\cos\theta} = \frac{1}{2}\tan\theta$$

বিশেষ ক্ষেত্র (Special case) :

(ক) বিন্দুটি যদি দ্বিমেরুর অক্ষের উপর অবস্থিত হয় তবে $\theta = 0°$ হবে। সেক্ষেত্রে

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{2p}{r^3}$$

(খ) বিন্দুটি যদি দ্বিমেরুর লম্ব সমদ্বিখণ্ডের উপর অবস্থিত হয় তবে $\theta = 90°$ হবে। সেক্ষেত্রে

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\times\frac{p}{r^3}$$

গাণিতিক উদাহরণ

১। শূন্য স্থানে $+4\mu C$ এবং $-4\mu C$ বিন্দু আধান দুটি 10^{-3} m ব্যবধানে থেকে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু গঠন করে। এর দ্বিমেরু ভ্রামক এবং দ্বিমেরুর কেন্দ্র হতে 10 cm দূরে এর অক্ষের ওপর তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।

(i) আমরা জানি, তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক,

$$p = q\times 2l$$

$$\therefore\ p = 4\times10^{-6}\times10^{-3}$$

$$= 4\times10^{-9}\ \text{cm}$$

এখানে,
$+q = 4\mu C = 4\times10^{-6}$ C
$-q = -4\mu C = -4\times10^{-6}$ C
$2l = 10^{-3}$ m
$r = 10$ cm

(ii) আবার, তড়িৎ প্রাবল্য

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{2p}{r^3}$$
$$= \frac{9\times10^9\times2\times4\times10^{-9}}{(0.1)^3}$$
$$= 72\times10^3\ NC^{-1}$$

এখানে,

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9\times10^9\ Nm^2C^{-2}$$

২। একটি তড়িৎ দ্বিমেরু 1×10^{-4} কুলম্ব মানের দুইটি বিপরীত চার্জ দ্বারা গঠিত এবং তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 2 সেমি। দ্বিমেরুটি $1\times10^5\ NC^{-1}$ তড়িৎ ক্ষেত্রে স্থাপিত। দ্বিমেরুটিকে ঘুরিয়ে বিপরীত অভিমুখে স্থাপন করতে কী পরিমাণ কাজ করতে হবে ?

দ্বিমেরুটিকে ঘুরিয়ে বিপরীত অভিমুখে স্থাপন করার অর্থ $\theta = 180^\circ$

এখানে $\theta_0 = 0^\circ$

আমরা জানি কাজের পরিমাণ,

$$W = -PE(\cos\theta - \cos\theta_0) = PE\{\cos(180^\circ) - \cos(0^\circ)\}$$
$$= -PE(-1) + PE$$
$$= PE + PE = 2PE$$

$$\therefore\ W = 2PE = 2\times2ql\times E \quad [\because P = 2ql]$$
$$= 2\times1\times10^{-4}\times2\times10^{-2}\times1\times10^5 \quad [\because 2l = 2\ cm = 2\times10^{-2}\ m]$$
$$= 0{\cdot}4\ J$$

৩। শূন্য স্থানে রাখা একটি তড়িৎ দ্বিমেরু 2 cm ব্যবধানে থাকা 2 μC মানের দুটি সমান ও বিপরীতমুখী তড়িৎ আধান দ্বারা গঠিত। (i) (ক) দ্বিমেরুর অক্ষের উপর এর কেন্দ্র থেকে 50 cm দূরে একটি বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর; (খ) দ্বিমেরুর লম্ব দ্বিখণ্ডকের উপর কেন্দ্র থেকে 50 cm দূরে একটি বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর এবং (ii) তড়িৎ দ্বিমেরুটিকে $2\times10^6\ NC^{-1}$ প্রাবল্যের তড়িৎ ক্ষেত্রে স্থাপন করলে এর উপর কত বল ক্রিয়া করবে ?

(i) আমরা জানি,

তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক,

$$p = q\times2l = 2\times10^{-6}\times2\times10^{-2}$$
$$= 4\times10^{-8}\ C\ m$$

(ক) এখন, দ্বিমেরুর অক্ষের উপর তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{2p}{r^3}$$

$$\therefore\ E_1 = \frac{9\times10^9\times2\times4\times10^{-8}}{(0{\cdot}5)^3}$$
$$= 5{\cdot}76\times10^3\ NC^{-1}$$

এখানে,

$$q = 2\ \mu C = 2\times10^{-6}\ C$$
$$2l = 2\ cm = 2\times10^{-2}\ m$$
$$r = 50\ cm = 0{\cdot}5\ m$$
$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\times10^9\ Nm^2C^{-2}$$

(খ) আবার, লম্ব দ্বিখণ্ডকের উপর তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{p}{r^3}$$

$$\therefore\ E_2 = \frac{9\times10^9\times4\times10^{-8}}{(0{\cdot}5)^3} = 2{\cdot}88\times10^3\ NC^{-1}$$

(ii) তড়িৎ দ্বিমেরুর উপর ক্রিয়াশীল বল

$$F = qE$$
$$\therefore\ F = 2\times10^{-6}\times2\times10^6$$
$$= 4\ N,$$ তড়িৎ ক্ষেত্র বরাবর।

এখানে,

$$E = 2\times10^{-6}\ NC^{-1}$$

৪। + 1μC এবং − 1μC আধান দুটিকে 5 cm ব্যবধানে রেখে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু গঠন করা হলো। এই দ্বিমেরুর অক্ষ বরাবর 15 cm দূরের কোনো একটি বিন্দুতে তড়িৎ বিভব নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক,

$p = q \times 2l$

$\therefore \ p = 1 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-2} = 5 \times 10^{-8}\,\text{C m}$

আবার, দ্বিমেরুর অক্ষ বরাবর কোনো স্থানে তড়িৎ বিভব,

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{p}{r^2}$$

$$\therefore \ V = \frac{9 \times 10^9 \times 5 \times 10^{-8}}{(15 \times 10^{-2})^2} = 2 \times 10^{-5}\ \text{volt}$$

এখানে,

$q_1 = q_2 = +1\mu\text{C} = 1 \times 10^{-6}\,\text{C}$

$2l = 5\,\text{cm} = 0{\cdot}05\,\text{m} = 5 \times 10^{-2}\,\text{m}$

$r = 15\,\text{cm} = 15 \times 10^{-2}\,\text{cm}$

$V = ?$

২.৫ চার্জের কোয়ান্টায়ন এবং সংরক্ষণশীলতা
Quantization and Conservation of charge

চার্জের কোয়ান্টায়ন
Quantization of charge

একটি ইলেকট্রন বা প্রোটনের চার্জই হলো প্রকৃতিতে ন্যূনতম মানের চার্জ। একটি ইলেকট্রনের চার্জকে $(-e)$ এবং একটি প্রোটনের চার্জকে $(+e)$ দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। এর মান $e = 1{\cdot}60218 \times 10^{-19}$ C। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা যায় যে, প্রকৃতিতে কোনো বস্তুর সর্বমোট চার্জ একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম মানের পূর্ণ সংখ্যার গুণিতক। ইলেকট্রনের চার্জই হলো এই নির্দিষ্ট ন্যূনতম মান। সকল চার্জিত বস্তুর মধ্যে বিদ্যমান চার্জই এ ক্ষুদ্রতম চার্জের গুণিতক মাত্র; অর্থাৎ ইলেকট্রনের চার্জের গুণিতক হবে। একে চার্জের কোয়ান্টায়ন বলে। কোনো বস্তুতে যে কোনো মানের চার্জ থাকতে পারে না। ইলেকট্রনের চার্জ e হলে কোনো বস্তুর মোট চার্জ $q = ne$। এখানে n হলো ধনাত্মক বা ঋণাত্মক পূর্ণসংখ্যা। উদাহরণস্বরূপ 1 কুলম্ব চার্জে $6{\cdot}24 \times 10^{18}$ সংখ্যক ইলেকট্রনের চার্জের সমান চার্জ রয়েছে। প্রকৃতিতে e মানের ভগ্নাংশে কোনো চার্জের অস্তিত্ব নেই। যেমন, $2{\cdot}5e$, $-3{\cdot}7e$ ইত্যাদি পরিমাণ চার্জ পাওয়া সম্ভব নয়।

চার্জের সংরক্ষণশীলতা
Conservation of charge

একটি কাচদণ্ডকে রেশমি কাপড় দ্বারা ঘর্ষণ করলে কাচ দণ্ড ধনাত্মক চার্জে আহিত হয় এবং রেশমি কাপড় ঋণাত্মক চার্জে আহিত হয়। এটা মনে করা স্বাভাবিক যে কাচ দণ্ডে এবং রেশমি কাপড়ে যথাক্রমে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক চার্জ সৃষ্টি হয়েছে। আসলে তা নয়। কাচদণ্ড ও রেশমি কাপড়ের সম্মিলিত বা মোট চার্জ একই রয়েছে। শুধুমাত্র কাচদণ্ড থেকে ইলেকট্রন রেশমি কাপড়ে ঘর্ষণের ফলে স্থানান্তরিত হয়েছে; যার ফলে কাচ দণ্ডে ধনাত্মক চার্জ বেশি হওয়ায় ধনাত্মক এবং রেশমি কাপড়ে ইলেকট্রনের আধিক্য হওয়ায় ঋণাত্মক হয়েছে। অর্থাৎ ঘর্ষণের ফলে কোনো নতুন আধানের সৃষ্টি হয় না বরং এক বস্তু থেকে অন্য বস্তুতে আধানের স্থানান্তর ঘটে। এই আলোচনা থেকে স্পষ্ট বোঝা যায় যে, তড়িৎ আধান সৃষ্টি বা উৎপন্ন হয়—এটা বলা প্রকৃতপক্ষে সঠিক নয়। তড়িতাহিতকরণের সময় তড়িতাধান উৎপন্ন হয় না; কেবলমাত্র কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন এক পদার্থ হতে অন্য পদার্থে স্থানান্তরিত হয়। সুতরাং একটি বস্তুকে কোনো আধানে আহিত করলে অন্যত্র অবশ্যই সমপরিমাণ বিপরীত আধানের উদ্ভব হয়। প্রোটন ও ইলেকট্রন আবিষ্কারের বহু পূর্বেই এ তথ্য জানা ছিল যে, বিশ্বের মোট চার্জের পরিমাণ সর্বদা একই থাকে। একটি ধনাত্মক বা ঋণাত্মক চার্জের সৃষ্টি বা ধ্বংস কখনই সম্ভব নয়। **কোনো ভৌত প্রক্রিয়ায় চার্জ এক বস্তু থেকে অন্য বস্তুতে স্থানান্তরিত হতে পারে। নতুন চার্জ যেমন সৃষ্টি হয় না তেমনি কোনো চার্জ ধ্বংসও হয় না। একেই চার্জের নিত্যতা বা সংরক্ষণশীলতা বলে।**

২.৬ অপরিবাহী ও ডাইইলেকট্রিক
Insulator and Dielectric

অপরিবাহী
Insulator

যে সকল পদার্থের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চলতে পারে না, তাদেরকে অপরিবাহী বা অন্তরক পদার্থ বলে। অর্থাৎ অপরিবাহী পদার্থের মধ্য দিয়ে ইলেকট্রন চলাচল করতে পারে না। প্লাস্টিক, রাবার, কাঠ, কাচ ইত্যাদি হলো অপরিবাহী পদার্থ। এই সকল পদার্থের আপেক্ষিক রোধ অনেক বেশি— প্রায় $10^{12}\ \Omega\text{-m}$ ক্রমের। অপরিবাহী পদার্থের মধ্যে মুক্ত

ইলেকট্রন থাকে না। ফলে অপরিবাহী পদার্থের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় না। বৈদ্যুতিক নানা যন্ত্রপাতির হাতল রাবার ও প্লাস্টিকের তৈরি হওয়ায় বৈদ্যুতিক মিস্ত্রিগণ নির্বিঘ্নে এই সকল যন্ত্রপাতি দিয়ে বৈদ্যুতিক লাইনে কাজ করতে পারে। এছাড়া বৈদ্যুতিক তারের উপর অন্তরক পদার্থ থাকায় নিরাপদে বাসা-বাড়িতে ও বিভিন্ন স্থানে ব্যবহার করা যায়। অপরিবাহী পদার্থে যোজন ব্যান্ড থেকে ইলেকট্রন পরিবহন ব্যান্ডে নিতে যথেষ্ট পরিমাণ শক্তির দরকার হয়। কারণ এই দুই ব্যান্ডের মধ্যে শক্তি ফাঁকা 10 eV এর বেশি। ব্যান্ড তত্ত্ব সম্পর্কে ইলেকট্রনিক্স অধ্যায়ে আমরা এ বিষয়ে বিস্তারিত জানব।

ডাইইলেকট্রিক অথবা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক 3
Dielectric

দুটি বিন্দু চার্জের মধ্যবর্তী স্থান শূন্য বা বায়ু মাধ্যম ভিন্ন অন্য কোনো অপরিবাহী বা অন্তরক মাধ্যম হলে বিন্দু চার্জ দুটিকে পরস্পর হতে বিচ্ছিন্ন রাখে। এরূপ মাধ্যমকে **তড়িৎ বিভাজক বা ডাইইলেকট্রিক মাধ্যম** বলে।

ডাই-ইলেকট্রিক বা পরাবৈদ্যুতিক পদার্থের উদাহরণ হলো— কাঁচ, এবোনাইট, রাবার, তৈল, মোম ইত্যাদি। পরিবাহীর সঙ্গে পরাবিদ্যুৎ-এর মূল পার্থক্য হলো পরিবাহীর মতো পরাবিদ্যুৎ-এর মধ্যে সচল মুক্ত ইলেকট্রন থাকে না। পরাবিদ্যুৎকে কিছু অতিরিক্ত আধান দিলে উক্ত আধান পরাবিদ্যুৎ-এর যে অঞ্চলে দেওয়া হয় সেখানেই জমা হয়ে থাকে। প্রশ্ন হলো— পরাবৈদ্যুতিক পদার্থ বহিস্থ তড়িৎ ক্ষেত্রের মধ্যে থাকলে এর মধ্যে লব্ধি ক্ষেত্র প্রাবল্যের মান কি হবে? সাধারণভাবে পরাবিদ্যুৎ-এর মধ্যে যে কোনো বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য বহিস্থ প্রাবল্যের চেয়ে কম হয়; পরিবাহীর মতো পরাবিদ্যুৎ-এর মধ্যে প্রাবল্য শূন্য হয় না।

অন্তরক পদার্থ	পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক	অন্তরক পদার্থ	পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক
বায়ু	1.00059	NaCl	6.12
হাইড্রোজেন	1.000264	কাচ	7–10/5
মোম	2.1 – 2.5	গ্লিসারিন	55
পলিথিন	2.3	পানি	78/80
এবোনাইট	2.69-3.4	বরফ	3
শূন্যস্থান	1		

পূর্বের অনুচ্ছেদে, বিন্দু চার্জ দুটির মধ্যবর্তী মাধ্যম শূন্যস্থান বা বায়ু হলে এদের মধ্যে ক্রিয়াশীল

$$\left[F_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \right] \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots$$

এখানে ϵ_0 = শূন্য মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা

আবার, অন্য যে কোনো মাধ্যমে এ ক্রিয়াশীল বলের মান

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots$$

এখানে ϵ = মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা

সমীকরণ 2.34(i)-কে সমীকরণ 2.34(ii) দ্বারা ভাগ করে পাওয়া যায়,

$$\frac{F_0}{F} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = k = \text{পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক}$$

$$\therefore \quad k = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \frac{F_0}{F} = \text{একই দূরত্বে } \frac{\text{শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে বল}}{\text{অন্য মাধ্যমে বল}} \quad \ldots \quad \ldots$$

k-কে পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বা ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবক বা তড়িৎ মাধ্যমাঙ্ক বলে। অনেক ক্ষেত্রে **আপেক্ষিক ভেদ্যতা** বলা হয়। উপরের আলোচনা থেকে k-এর নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়—

অর্থাৎ **দুটি নির্দিষ্ট বিন্দু চার্জ একই নির্দিষ্ট দূরত্বে থাকলে শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে তাদের মধ্যে ক্রিয় একই দূরত্বে অন্য কোনো মাধ্যমে তাদের মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের অনুপাতকে পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বলে।** দুটি রাশির অনুপাত হেতু k-এর কোনো একক নেই।

বিকল্প সংজ্ঞা : পাত ধারকের ধারকত্বের অনুপাত দ্বারা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক সংজ্ঞায়িত করা যায়।

ধরা যাক, একটি সমান্তরাল পাত ধারকের মধ্যবর্তী স্থানে বায়ু বা শূন্য মাধ্যম রেখে ধারকত্ব পাওয়া গেল C_0 এবং পাত দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব অপরিবর্তিত রেখে পাতদ্বয়ের মাঝে অন্য কোনো অন্তরক মাধ্যম রেখে ধারকত্ব পাওয়া গেল C। এই দুই ধারকত্বের অনুপাতকে পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বা আপেক্ষিক ভেদ্যতা বলে।

অর্থাৎ,

$$k = \frac{C}{C_0} = \frac{\text{অন্তরক পদার্থপূর্ণ ধারকের ধারকত্ব}}{\text{বায়ু বা শূন্য মাধ্যমপূর্ণ ধারকের ধারকত্ব}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.36)$$

উল্লেখ্য, **পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের মান সর্বদাই 1-এর চেয়ে বেশি হয়।**

পরাবৈদ্যুতিক বা ডাই-ইলেকট্রিক ধ্রুবকের তাৎপর্য : পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক পরিমাপের এককের উপর নির্ভর করে না। দুটি বিন্দু চার্জের মধ্যবর্তী স্থানে কোনো মাধ্যমের অন্তর্ভুক্তি ক্রিয়াশীল বলের মান k গুণ হ্রাস করে। পক্ষান্তরে ধারকের মধ্যে এর অন্তর্ভুক্তির ফলে ধারকত্বের মান k গুণ বৃদ্ধি করে।

"কোনো মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক 2·5"—এর অর্থ এই যে, শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে অবস্থিত দুটি বিন্দু চার্জের মধ্যকার বল এবং একই দূরত্বে ঐ মাধ্যমে অবস্থিত ঐ বিন্দু চার্জ দুটির মধ্যকার পারস্পরিক বল অপেক্ষা 2·5 গুণ বেশি। অর্থাৎ শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে এবং ঐ মাধ্যমে সমদূরত্বে অবস্থিত দুটি বিন্দু চার্জের মধ্যকার পারস্পরিক বলের অনুপাত 2·5।

আবার, ধারকত্বের সাহায্যে বলা যায় যে ঐ মাধ্যমপূর্ণ ধারকের ধারকত্ব বায়ু বা শূন্য মাধ্যমপূর্ণ ধারকের চেয়ে 2·5 গুণ বেশি। অর্থাৎ ঐ মাধ্যমপূর্ণ ধারকের ধারকত্ব ও শূন্য বা বায়ু মাধ্যমপূর্ণ ধারকের ধারকত্বের অনুপাত 2·5।

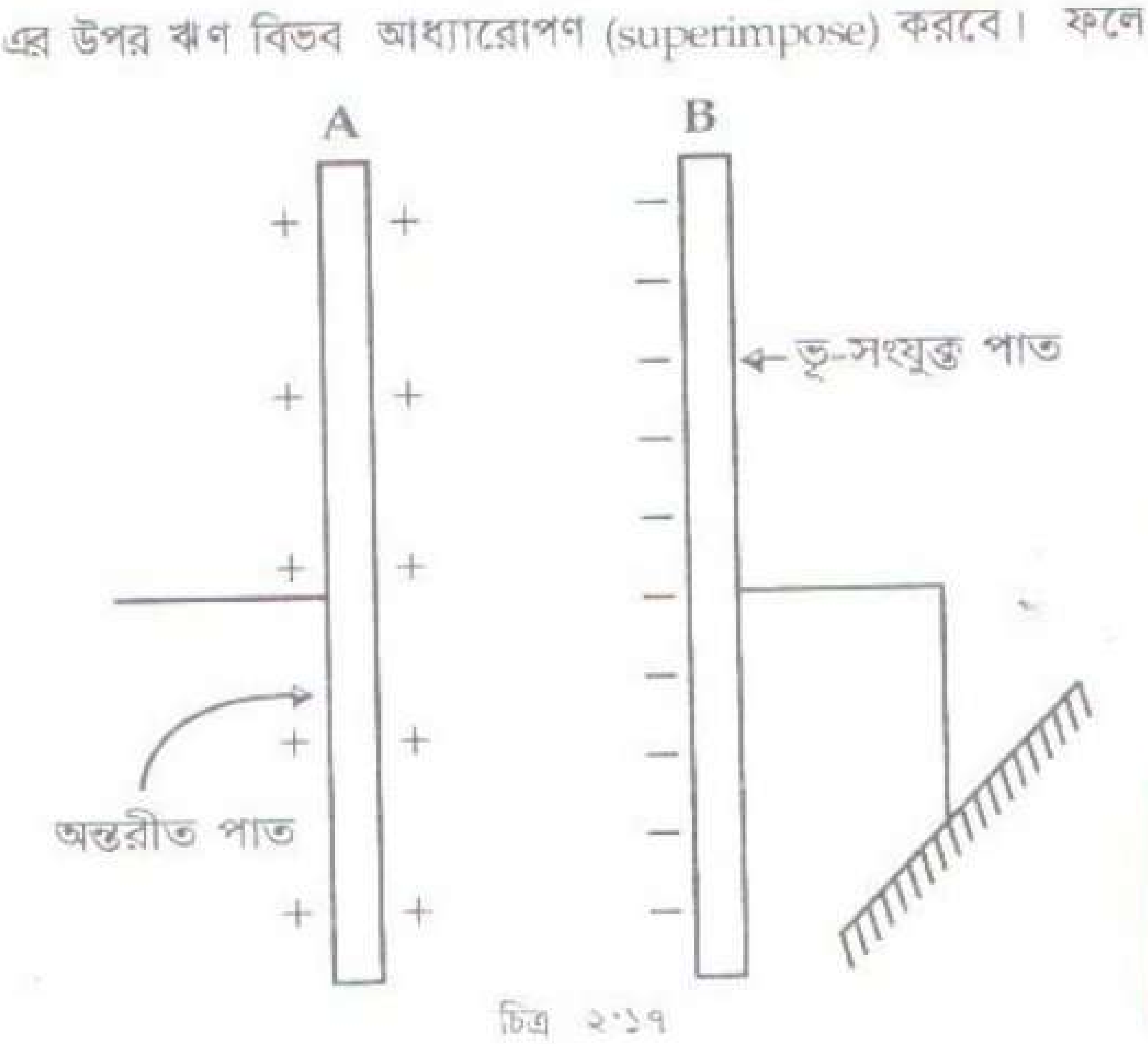
২·৭ ধারক বা তড়িৎ আধার
Capacitor or Condenser

ধারণা
Concept

'ধারক' শব্দের অর্থ 'ধারণকারী'। সাধারণত যে বস্তু চার্জ ধরে রাখতে পারে তাকে ধারক বলে। ধারকের নামকরণের এটিই মূল কারণ। কিন্তু একটি পরিবাহীর চার্জ ধরে রাখার ক্ষমতা অসীম নয়। কেননা কোনো পরিবাহীতে একটি নির্দিষ্ট মাত্রার অতিরিক্ত চার্জ প্রদান করলে তা ক্রমশ চার্জ হারাতে থাকে। কোনো উপায়ে পরিবাহীর বিভব কমিয়ে দিলে তা অতিরিক্ত কিছু চার্জ ধরে রাখার সামর্থ্য অর্জন করে। **এ কারণে স্থির তড়িৎবিদ্যায় ধারক বলতে কোনো বস্তুর ধারকত্ব বৃদ্ধি করার একটি কৃত্রিম ব্যবস্থা বুঝায়।** সাধারণত একটি অন্তরীত ও অপর একটি ভূ-সংযুক্ত পরিবাহীর মধ্যবর্তী স্থানে বায়ু বা অন্য কোনো পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যমে পূর্ণ করে অন্তরীত পরিবাহীর ধারকত্ব বা চার্জ ধারণ ক্ষমতা বৃদ্ধি করা হয়। কাজেই এরূপ একটি যান্ত্রিক ব্যবস্থাকে একত্রে ধারক বলে।

সংজ্ঞা : পরিবাহীতে চার্জ সঞ্চিত রাখার যান্ত্রিক প্রক্রিয়াকে ধারক বলে। অথবা, যে যান্ত্রিক প্রক্রিয়ার সাহায্যে তড়িৎ সংরক্ষণ করে রাখা হয় তাকে ধারক বলে। কাছাকাছি অবস্থানে দুটি পরিবাহী দ্বারা ধারক গঠন করা হয়। পরিবাহীদ্বয়ের মাঝে অন্তরক পদার্থ স্থাপন করে ধারকের ধারকত্ব বৃদ্ধি করা যায়।

ক্রিয়ানীতি : মনে করি A একটি অন্তরীত পরিবাহী। একে একটি তড়িৎ উৎপাদক যন্ত্রের সাথে যুক্ত করে ধন চার্জে চার্জিত করায় এটি ধন বিভব প্রাপ্ত হলো। B অপর একটি চার্জশূন্য বা অচার্জিত ভূ-সংযুক্ত পরিবাহী। একে A-এর নিকট স্থাপন করা হলো [চিত্র ২·১৭]। ফলে আবেশ প্রক্রিয়ায় B-এর নিকটবর্তী প্রান্তে ঋণ চার্জ এবং দূরবর্তী প্রান্তে ধন চার্জ আবিষ্ট হবে। B-কে ভূ-সংযুক্ত করায় পৃথিবী হতে ইলেকট্রন এসে এর ধন চার্জ নিষ্ক্রিয় করবে। B-এর ঋণ চার্জ A-এর উপর ঋণ বিভব আধ্যারোপণ (superimpose) করবে। ফলে A-এর বিভব কিছুটা কমে যাবে। যেহেতু $C = \frac{Q}{V}$, সুতরাং A-এর ধারকত্ব বৃদ্ধি পাবে এবং এটি অতিরিক্ত চার্জ গ্রহণ করতে পারবে। B-কে যতই A-এর সন্নিকটে আনা যাবে, A-এর বিভব ততই কমবে। ফলে এর ধারকত্ব বৃদ্ধি পাবে। অতএব দেখা যাচ্ছে যে, ভূ-সংযুক্ত অচার্জিত পাত B-কে A-এর নিকটে স্থাপন করায় A-এর ধারকত্ব বৃদ্ধি পাবে। এরূপ একটি যান্ত্রিক ব্যবস্থার নাম ধারক। উল্লেখ্য, B পাত ভূ-সংযুক্ত হওয়া একান্ত প্রয়োজনীয় নয়, তবে ভূ-সংযুক্ত হলে ধারকের কার্যকারিতা বৃদ্ধি পায়।



চিত্র ২·১৭

কোনো একটি ধারকের মধ্যবর্তী মাধ্যম বায়ু হলে তাকে বায়ু মাধ্যম ধারক সংক্ষেপে বায়ু ধারক এবং কাচ হলে তাকে কাচ মাধ্যম ধারক সংক্ষেপে কাচ ধারক বলে।

ধারকত্ব
Capacitance

কোনো পাত্রে পানি ঢাললে পানির লেভেল নির্দিষ্ট পরিমাণ বাড়ে। অনুরূপভাবে কোনো পরিবাহীতে কিছু পরিমাণ চার্জ দিলে উহার বিভব নির্দিষ্ট পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। পানির লেভেলের বৃদ্ধি কতটা পানি ঢালা হলো তার সমানুপাতিক হয়; ঠিক তেমনি পরিবাহীর বিভবও এতে যে পরিমাণ চার্জ প্রদান করা হয় সেই অনুপাতে বৃদ্ধি পায়।

ধরা যাক কোনো পরিবাহীতে q পরিমাণ চার্জ দেওয়া হলে উহার বিভব V পরিমাণ বাড়ে। V এর মান পরিবাহীর আকার, আয়তন, পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের প্রকৃতি ও নিকটবর্তী অন্যান্য পরিবাহী সাপেক্ষে উহার অবস্থানের উপর নির্ভর করে। উপরন্তু, নিকটবর্তী পরিবাহীগুলি অন্তরিত অথবা ভূমির সাথে যুক্ত কিনা তার উপরও নির্ভর করে।

উপরোক্ত আলোচনা থেকে লেখা যায়

$$q \propto V$$

বা, $\frac{q}{V}$ = ধ্রুবক = ধারকত্ব

বা, $C = \frac{q}{V}$

এই ধ্রুবকটিকে পরিবাহীটির ধারকত্ব (Capacitance or capacity) বলা হয়। অর্থাৎ কোনো পরিবাহীর ধারকত্ব একক পরিমাণ বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ চার্জের প্রয়োজন হয় তাই ঐ পরিবাহীর ধারকত্ব। এর মান পরিবাহীটির আধানের পরিমাণের উপর নির্ভর করে।

ধারকত্ব = $\frac{\text{আধান}}{\text{বিভব}}$

সাধারণত একটি অন্তরীত ও একটি ভূ-সংযুক্ত পরিবাহীর সমন্বয়ে একটি ধারক তৈরি হয়। এজন্য একটি ধারকের ধারকত্ব বলতে এর অন্তরীত পরিবাহীর ধারকত্ব বুঝায় এবং এর নিম্নলিখিত সংজ্ঞা দেওয়া যায়।

কোনো ধারকের অন্তরীত ও ভূ-সংযুক্ত দুই পরিবাহীর মধ্যে একক বিভব বৈষম্য সৃষ্টি করতে তার অন্তরীত পরিবাহীতে যে পরিমাণ চার্জ প্রদান করতে হবে, একে উক্ত ধারকের ধারকত্ব বলে।

∴ কোনো ধারকের ধারকত্ব = $\frac{\text{অন্তরীত পরিবাহীর চার্জ}}{\text{দুই পরিবাহীর মধ্যে বিভব বৈষম্য}}$ ... ... (2.37)

কোনো ধারকের ধারকত্ব নির্ভর করে তার দুই পরিবাহীর আকার ও আকৃতির উপর এবং পরিবাহী দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব ও মাধ্যমের উপর।

কোনো ধারকের ধারকত্ব 2F বলতে বুঝায়— পাতদ্বয়ের মধ্যে 1 ভোল্ট বিভব পার্থক্য সৃষ্টি করতে অন্তরীত পরিবাহীতে 2 কুলম্ব চার্জ প্রদান করতে হবে। গঠন অনুসারে কয়েক রকমের ধারক আছে। যথা—সমান্তরাল পাত ধারক, গোলকীয় পাত ধারক, চোঙাকৃতি ধারক ইত্যাদি। এখানে আমরা সমান্তরাল পাত ধারকের গঠন ও কার্য পদ্ধতি আলোচনা করব।

পরিবাহীর ধারকত্ব যে যে বিষয়ের উপর নির্ভর করে
Factors on which capacity of a conductor depends

ধারকত্বের সংজ্ঞা অনুসারে, $C = Q/V$। কাজেই নির্দিষ্ট পরিমাণ চার্জের দরুন কোনো পরিবাহীর বিভব যে যে কারণে পরিবর্তিত হয়, সে সব কারণে তার ধারকত্বও পরিবর্তিত হবে। কারণগুলো নিম্নরূপ—

(ক) পরিবাহীর ক্ষেত্রফল : ক্ষেত্রফল যত বৃদ্ধি পায় পরিবাহীর ধারকত্ব তত বেড়ে যায়। গোলাকার পরিবাহীর ক্ষেত্রে আমরা জানি $C = 4\pi\epsilon_0 kr$। সুতরাং ব্যাসার্ধ r বৃদ্ধি পেলে তার ক্ষেত্রফল এবং সাথে সাথে ধারকত্ব C বৃদ্ধি পাবে। এটি সাধারণভাবে সব পরিবাহীর ক্ষেত্রে সত্য।

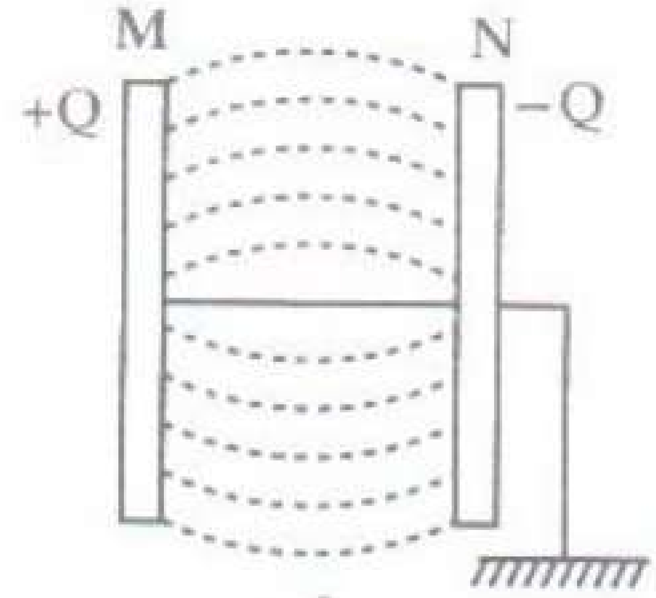
(খ) পরিবাহীর চারপার্শ্বস্থ মাধ্যম : পরিবাহীর চতুর্দিকের মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের উপর তার ধারকত্ব নির্ভর করে। অপেক্ষাকৃত উচ্চ পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকসম্পন্ন মাধ্যমে পরিবাহীর ধারকত্ব বেশি হয় এবং নিম্ন পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকসম্পন্ন মাধ্যমে পরিবাহীর ধারকত্ব কম হয়। একটি পরিবাহীর ধারকত্ব শূন্য স্থানে বা বায়ুতে C_0 এবং k পরা-বৈদ্যুতিক ধ্রুবকসম্পন্ন মাধ্যমে C_k হলে সমীকরণ (2.37) হতে দেখানো যায় যে,

$$k = \frac{C_k}{C_0} = \frac{\text{কোনো মাধ্যমে একটি পরিবাহীর ধারকত্ব}}{\text{শূন্যস্থানে বা বায়ুতে ঐ পরিবাহীর ধারকত্ব}} \quad \dots \quad \dots \quad (2.38)$$

(গ) পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব : সমান্তরাল পাত ধারকের মধ্যবর্তী দূরত্ব বৃদ্ধি পেলে ধারকত্ব কমে এবং দূরত্ব কমলে ধারকত্ব বৃদ্ধি পায়।

(ঘ) অপর কোনো পরিবাহী বা ভূ-সংযুক্ত পরিবাহীর সান্নিধ্য : চার্জগ্রস্ত পরিবাহীর নিকটে অন্য কোনো চার্জশূন্য বা ভূ-সংযুক্ত পরিবাহী থাকলে বৈদ্যুতিক আবেশের দরুন পরীক্ষাধীন পরিবাহীর ধারকত্ব বৃদ্ধি পাবে। কিন্তু পরীক্ষাধীন চার্জগ্রস্ত পরিবাহীর নিকটে সম-জাতীয় চার্জগ্রস্ত বস্তু থাকলে, পরীক্ষাধীন পরিবাহীর ধারকত্ব হ্রাস পাবে এবং বিপরীত জাতীয় চার্জগ্রস্ত বস্তু থাকলে তার ধারকত্ব বৃদ্ধি পাবে।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : ধারকের ধারকত্ব কীভাবে বৃদ্ধি করা যায় ?



চিত্র ২·১৮

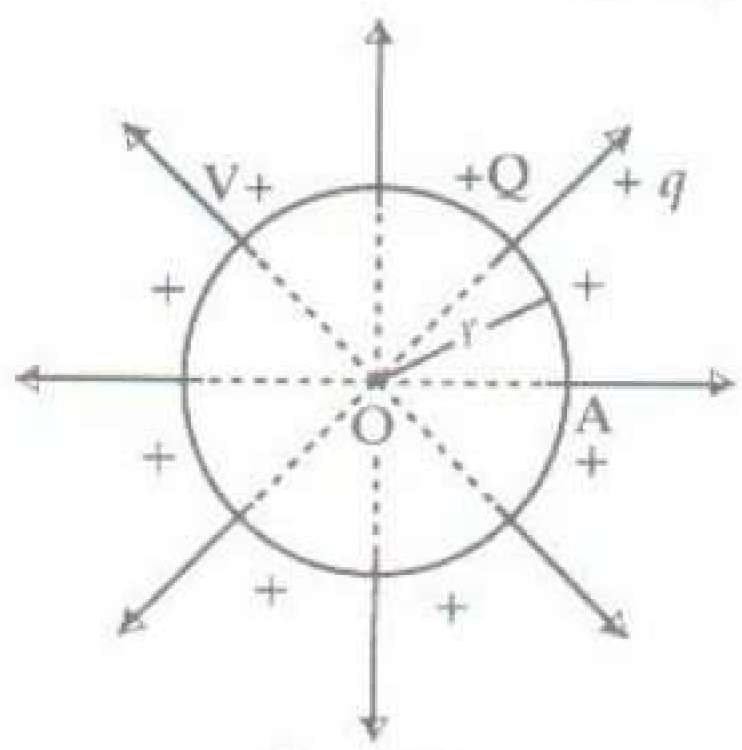
ধারকের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বাড়িয়ে, এর পাতদ্বয়ের মধ্যকার দূরত্ব কমিয়ে, পাতদ্বয়ের মধ্যে বেশি মানের ডাই-ইলেকট্রিক ধ্রুবকের পদার্থ স্থাপন করে এবং পাতদ্বয়ের যেকোনো একটিকে ভূ-সংযুক্ত করে ধারকের ধারকত্ব বৃদ্ধি করা যায়।

গোলাকার পরিবাহীর ধারকত্ব
Capacitance of a spherical conductor

মনে করি শূন্য মাধ্যমে বা বায়ুতে অবস্থিত r (m) ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি গোলাকার পরিবাহী A-এর কেন্দ্র O এবং গোলকটিতে $+Q$ পরিমাণ চার্জ রয়েছে [চিত্র ২·১৯]। ধরি গোলকের ধারকত্ব C এবং পৃষ্ঠের বিভব V। অতএব ধারকত্বের সংজ্ঞা অনুসারে,

$$C=\frac{Q}{V} \text{ অথবা, } V=\frac{Q}{C} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.39)$$

আমরা জানি পরিবাহীতে চার্জ সমভাবে তার পৃষ্ঠের সর্বত্র ছড়িয়ে পড়ে। কাজেই চার্জগ্রস্ত এ গোলকের কেন্দ্র হতে বলরেখাগুলো বের হয়ে আসছে মনে হবে। গোলকের কেন্দ্র O-এ $+Q$ পরিমাণ চার্জ আছে কল্পনা করলেও ঐ চার্জ হতে বলরেখাগুলো একইভাবে নির্গত হবে। এ কারণে চার্জগ্রস্ত গোলাকার পরিবাহীর ক্ষেত্রে সমস্ত চার্জ তার কেন্দ্রে অবস্থিত কল্পনা করা যায়।



চিত্র ২·১৯

∴ গোলাকার পরিবাহীর পৃষ্ঠে বিভব, $V=\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{Q}{r} \quad \ldots \quad (2.40)$

সমীকরণ (2.39) ও (2.40) অনুসারে, $\frac{Q}{C}=\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\times\frac{Q}{r}$

$$\therefore\ C=4\pi\epsilon_0 r \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.41)$$

সুতরাং এ প্রসঙ্গে উল্লেখ করা যায় যে,

(১) k **পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকসম্পন্ন মাধ্যমে গোলকের পৃষ্ঠে বিভব,** $V=\frac{Q}{4\pi\epsilon_0 kr}$

$$\text{কাজেই, } C=\frac{Q}{V}=4\pi\epsilon_0 kr \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.42)$$

এখানে $\epsilon_0 = 8{\cdot}854\times10^{-12}$ কুলম্ব²/ নিউটন-মিটার² ($C^2/N\text{-}m^2$)।

(২) **'কোনো পরিবাহীর ধারকত্ব 1 ফ্যারাড'** বলতে বুঝায় যে, তার বিভব 1 ভোল্ট বৃদ্ধি করতে 1 কুলম্ব চার্জ দিতে হয় এবং পরিবাহীটির ধারকত্ব 9×10^9 m ব্যাসার্ধের একটি গোলাকার পরিবাহীর শূন্য মাধ্যমে বা বায়ুতে ধারকত্বের সমান।

(৩) k এর একক ফ্যারাড/মিটার (F/m)।

কাজ : গোলাকার পরিবাহীর ব্যাসার্ধ বাড়ালে ধারকত্ব বৃদ্ধি পায় কেন ?

আমরা জানি, গোলাকার পরিবাহীর ধারকত্ব $C=4\pi\epsilon_0 r$ বা $C\propto r$। এখানে r = গোলকের ব্যাসার্ধ। চার্জ গোলকের বাইরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে। ব্যাসার্ধ বেশি হলে, গোলকের পৃষ্ঠ পর্যন্ত দূরত্ব বেশি হয়। তাই গোলাকার পরিবাহীর ব্যাসার্ধ বাড়ালে ধারকত্ব বাড়ে।

কর্ম অনুশীলন : একই ব্যাসার্ধের দুটি ধাতব গোলকের একটি ফাঁপা ও একটি নিরেট। এদের একই তড়িৎ বিভবে চার্জিত করলে কোনটিতে বেশি চার্জ থাকবে ?

ফাঁপা ও নিরেট যে কোনো গোলকের ধারকত্ব ($C = 4\pi\epsilon_0 R$) সমান হবে যদি পারিপার্শ্বিক মাধ্যম একই হয়। আবার পারিপার্শ্বিক মাধ্যম বায়ু হলে ধারকত্ব $= 4\pi\epsilon_0 R$, যেখানে R = গোলকের ব্যাসার্ধ। উল্লেখিত গোলক দুটির ব্যাসার্ধ সমান। সুতরাং এদের ধারকত্ব সমান হবে। প্রযুক্ত বিভব V হলে প্রত্যেকটিতে চার্জের পরিমাণ $Q = CV$ হবে। সুতরাং দুটি গোলকেই সমান তড়িৎ আধান বা চার্জ থাকবে।

তড়িৎ ধারকত্ব
Electric capacitance or capacity

আমরা জানি প্রত্যেক বস্তুর তাপ গ্রহণের একটি ক্ষমতা আছে। একে বস্তুর তাপধারণ ক্ষমতা বা তাপগ্রাহীতা বলে।

তেমনি প্রত্যেক বস্তুরই তড়িৎ ধারণের একটি নির্দিষ্ট ক্ষমতা আছে। সাধারণত একে বস্তুর **তড়িৎ ধারকত্ব** বা সংক্ষেপে **ধারকত্ব** (capacitance) বলা হয়।

আমরা জানি, কোনো একটি পরিবাহীতে চার্জের পরিমাণ বাড়ালে তার তড়িৎ বিভব বেড়ে যায়। চার্জ এবং বিভব পরস্পরের সমানুপাতিক।

মনে করি কোনো একটি পরিবাহীতে Q পরিমাণ চার্জ যুক্ত করায় তার বিভব হলো V। অতএব আমরা লিখতে পারি,

$Q \propto V$ বা, Q = ধ্রুবক $\times V$

বা, $Q = CV$ ... ... (2.43)

এখানে, C একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। এই ধ্রুবকই পরিবাহীর ধারকত্ব।

$\therefore$ **চার্জ = ধারকত্ব × বিভব**

এখন ভাষায় ধারকত্বের সংজ্ঞা দিতে গিয়ে ধরি, $V = 1$ (একক)।

$\therefore$ সমীকরণ (2.43) হতে পাই, $Q = C$

অর্থাৎ **কোনো পরিবাহীর বিভব এক একক বৃদ্ধি করতে যে পরিমাণ চার্জের প্রয়োজন হয় তাকে উক্ত পরিবাহীর তড়িৎ ধারকত্ব বলে।** একে C দ্বারা ব্যক্ত করা হয়। **এটি পরিবাহীর আকার, মাধ্যমের প্রকৃতি এবং অন্য বস্তুর সান্নিধ্যের উপর নির্ভর করে।**

কাজ ও বিভব উভয়ই স্কেলার রাশি। তাই ধারকত্বও স্কেলার রাশি।

ধারকত্বের একক
Unit of capacitance

ধারকত্বের এস. আই. বা ব্যবহারিক একক হলো ফ্যারাড (Farad)। বিখ্যাত বিজ্ঞানী মাইকেল ফ্যারাডের নাম অনুসারে এই এককের প্রচলন করা হয়েছে। ফ্যারাড একককে সংক্ষেপে F দ্বারা সূচিত করা হয়।

1 ফ্যারাড : কোনো পরিবাহীর বিভব 1 ভোল্ট বৃদ্ধি করতে যদি 1 কুলম্ব চার্জের প্রয়োজন হয়, তবে তার ধারকত্বকে 1 ফ্যারাড বলে।

আমরা জানি, $C = \frac{Q}{V}$ $\boxed{\therefore\ 1F = \frac{1C}{1V}}$

কিন্তু ব্যবহারিক ক্ষেত্রে ফ্যারাড একক খুবই বড় হওয়ায় ক্ষুদ্র এককও ব্যবহার করা হয়। এসব ক্ষুদ্র এককের নাম **মাইক্রো ফ্যারাড** (μF) এবং **মাইক্রোমাইক্রো ফ্যারাড** বা **পিকো ফ্যারাড** ($\mu\mu F$ or pF)।

$\therefore$ $1F = 10^6\ \mu F = 10^{12}\ \mu\mu F$ বা pF

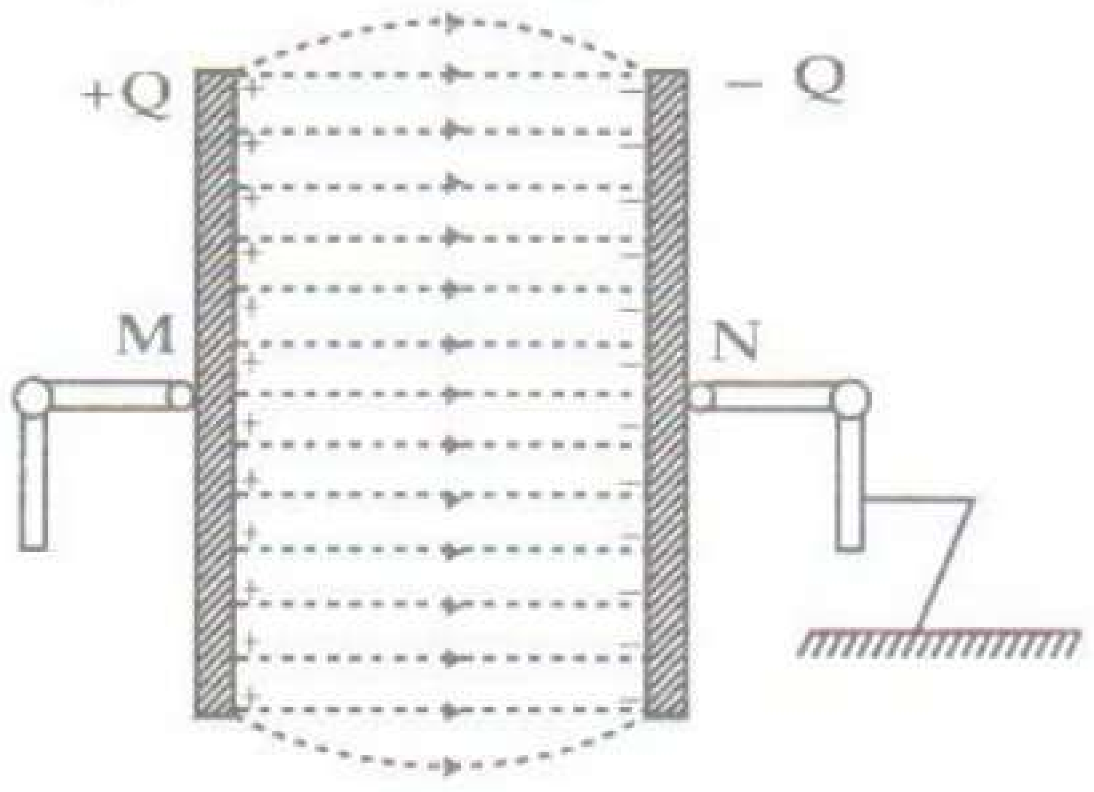
বা, $1\ \mu F = 10^{-6} F$

এবং $1\ \mu\mu F$ বা $1\ pF = 10^{-12} F$।

সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব
Capacitance of parallel plate condenser

বর্ণনা : সমান্তরাল পাত ধারকে দুটি সমান্তরাল ধাতব পাত আছে। এরা যথাক্রমে M ও N [চিত্র ২.২০]। পাত দুটি পরস্পর হতে সামান্য দূরে থাকে এবং এদের মধ্যে বায়ু অথবা অন্য কোনো পরাবৈদ্যুতিক মাধ্যম যেমন প্যারাফিন, গন্ধক, কাচ, ইবোনাইট, অভ্র প্রভৃতি ব্যবহার করা হয়। এ ছাড়া পাত M কুপরিবাহী দণ্ড দ্বারা ভূমি হতে অন্তরীত অবস্থায় এবং পাত N ভূ-সংযুক্ত অবস্থায় থাকে।

কার্যনীতি : মনে করি, ধারকের পাত দুটির প্রত্যেকটির ক্ষেত্রফল A, তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব d এবং মধ্যবর্তী মাধ্যম বায়ু। এখন M পাতে +Q পরিমাণ চার্জ প্রদান করলে, M হতে নির্গত বলরেখাগুলো নিকটবর্তী ভূ-সংযুক্ত পরিবাহী N পাতের উপর পড়বে। এর ফলে বৈদ্যুতিক আবেশ চরম হবে এবং N পাতের ভেতরের পৃষ্ঠের আবিষ্ট ঋণ চার্জ, M পাতের আবেশী ধন চার্জের সমান হবে। পাত দুটি পরস্পরের অতি নিকটে বলে M পাত হতে অভিলম্বভাবে বলরেখাগুলো বের হয়ে মোটামুটি পরস্পরের সমান্তরালে যেয়ে N পাতের উপর পড়বে এবং পাত দুটির মধ্যে তড়িৎ প্রাবল্য সর্বত্র প্রায় সমান হবে। আবার যেহেতু ভূ-সংযুক্ত পাত N-এর বিভব শূন্য, কাজেই M পাতের বিভবকে M ও N-এর মধ্যকার বিভব বৈষম্য গণ্য করা যেতে পারে।



চিত্র ২.২০

ধারকত্বের হিসাব : সমান্তরাল পাতদ্বয়ের পৃষ্ঠের তড়িৎ প্রাবল্য এবং পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানের তড়িৎ প্রাবল্য একই হবে।

আমরা জানি, কোনো পাত্রের পৃষ্ঠে তড়িৎ প্রাবল্য $E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{Q}{A\epsilon}$, এখানে, σ = চার্জ ঘনত্ব, ϵ = মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা।

আমরা জানি, ধারকত্ব, $C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{Ed} = \frac{Q}{Qd/A\epsilon} = \frac{A\epsilon}{d}$ $(\because V = Ed)$

সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব, $C = \frac{A\epsilon}{d}$ ... ... [2.43(a)]

এবং বায়ু বা শূন্য মাধ্যমের জন্য ধারকত্ব, $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$ ... ... [2.43(b)]

কাজ : একটি সমান্তরাল পাত ধারকের পাত দুটি বৃত্তাকার। প্রতিটি পাতের ব্যাস 2 cm এবং তাদের মাঝখানে 1 cm বায়ু স্তরের ব্যবধান আছে। যদি ধারকটিতে 9×10^{-7} coul চার্জ প্রদান করা হয় তবে পাতদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্য কত হবে ?

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} = \frac{\epsilon_0 \pi r^2}{d} = \frac{4\pi\epsilon_0 r^2}{4d}$$
$$= \frac{(1 \times 10^{-2})^2}{9 \times 10^9 \times 4 \times 1 \times 10^{-2}} = 2.8 \times \times 10^{-13}$$

এবং $V = \frac{Q}{C} = \frac{9 \times 10^{-7}}{2.8 \times 10^{-13}} = 3.2 \times 10^6$ volt

এখানে,
$r = \frac{d}{2} = \frac{2}{2} = 1\text{ cm} = 1 \times 10^{-2}\text{ m}$
$d = 1\text{ cm} = 1 \times 10^{-2}\text{ m}$
$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9\text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$
$Q = 9 \times 10^{-7}$ C

অনুসন্ধানমূলক কাজ : একটি ধারকের গায়ে 0.09 μF — 220 V লেখা আছে। এ কথার অর্থ কী ?

লেখাটি থেকে বোঝা যায় যে ওই ধারকের ধারকত্ব 0.09 μF এবং এটি সর্বোচ্চ 220V বিভব পার্থক্যে ব্যবহার করা যেতে পারে। 220V-এর বেশি বিভব পার্থক্যে ধারকটি নষ্ট হয়ে যেতে পারে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের ক্ষেত্রফল 1.4 m^2 এবং বায়ু মাধ্যমে পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0.03 m। এর ধারকত্ব মাইক্রোফ্যারাডে নির্ণয় কর। [চ. বো. ২০১১]

আমরা জানি,

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$
$$= \frac{8.854 \times 10^{-12} \times 1.4}{0.03}$$
$$= 4.13 \times 10^{-10}\text{ F}$$
$$= 4.13 \times 10^{-4}\ \mu\text{F}$$

এখানে,
$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}\text{ m}^{-1}$
$A = 1.4\text{ m}^2$
$d = 0.03$ m

২। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্রত্যেক পাতের ক্ষেত্রফল 1.5×10^6 mm² এবং পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 2 cm। যদি বিভব পার্থক্য 60 V হয়, তবে প্রত্যেক পাতের চার্জ নির্ণয় কর। [ঢা. বো. ২০১০]

$(\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}\ m^{-1})$

মনে করি, ধারকের ধারকত্ব $= C$

আমরা জানি,

$$Q = C \times V \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (1)$$

আবার, $C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$

$$\therefore \quad C = \frac{8.854 \times 10^{-12} \times 1.5}{0.02}$$

সমীকরণ (1)-এ মান বসিয়ে পাই,

$$Q = C \times V = \frac{8.854 \times 10^{-12} \times 1.5 \times 60}{0.02} = 3.98 \times 10^{-8}\ \text{coul}$$

এখানে,

$A = 1.5 \times 10^6\ mm^2 = 1.5\ m^2$
$d = 2\ cm = 0.02\ m$
$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}\ m^{-1}$
$V = 60\ V$
$Q = ?$

৩। একটি তড়িৎ আহিত ধারক তার দ্বিগুণ ধারকত্বসম্পন্ন অপর একটি অনাহিত ধারকের সঙ্গে নিজ আধান বণ্টন করে নিল। এ অবস্থায় উভয় ধারকের মোট শক্তির পরিমাণ নির্ণয় কর।

তড়িৎ আহিত ধারক অনাহিত ধারকের সঙ্গে আধান বণ্টন করে নেওয়ার অর্থ হলো ধারক দুটি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত।

অতএব, তাদের তুল্য ধারকত্ব

$$C + 2C = 3C$$

আমরা জানি,

শক্তি, $E_1 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$

$$\therefore \quad \text{সমবায়ের শক্তি, } E = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{3C} = \frac{1}{3}\cdot\frac{Q^2}{2C} = \boxed{\frac{1}{3}E_1}$$

এখানে, মনে করি

তড়িৎ আহিত ধারকের ধারকত্ব $= C$
এবং আধান $= Q$
অপর ধরকের ধারকত্ব $= 2C$
আধান বণ্টনের আগে আহিত ধারকের শক্তি $= E_1$
উভয় ধারকের মোট শক্তি, $E = ?$

ধারকের শ্রেণি ও সমান্তরাল সংযোগ এবং তুল্য ধারকত্ব
Combination of Series, Parallel Condensers and Equivalent Capacitance

সুবিধামতো ধারকত্ব পাওয়ার জন্য একাধিক ধারক যুক্ত করা হয়। একে **ধারকের সজ্জা** বলে। এটি দুই প্রকারে করা যেতে পারে; যথা—(১) **শ্রেণি বা সিরিজ সমবায়** (Grouping in series) ও (২) **সমান্তরাল সমবায়** (Grouping in parallel)।

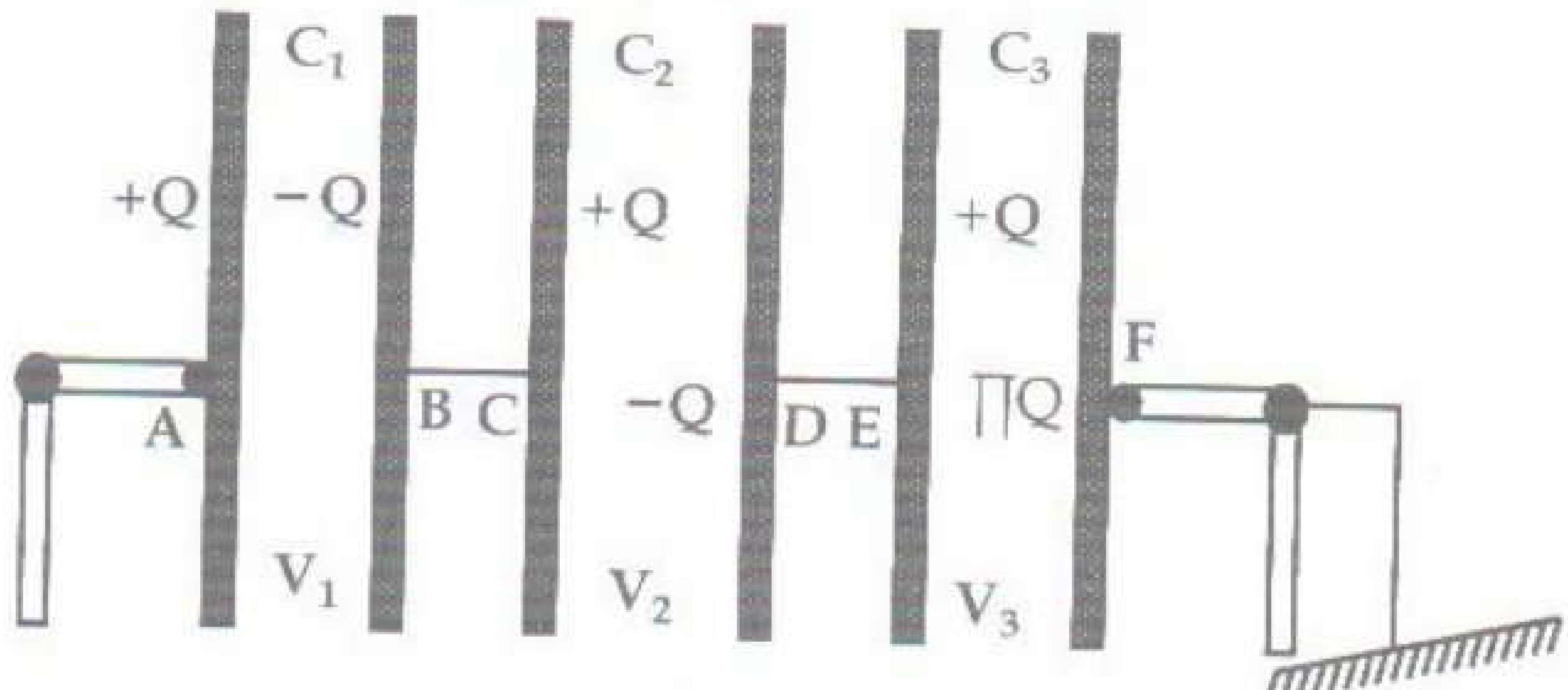
তুল্য ধারকত্ব (Equivalent capacitance) : ধারকের কোনো সমবায়ের পরিবর্তে একটি মাত্র ধারক ব্যবহার করলে যদি ধারকের পাতে চার্জ এবং বিভব পার্থক্য সমবায়ের চার্জ ও বিভব পার্থক্যের সমান থাকে, তবে ঐ ধারকের ধারকত্বকে সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব বলে।

ধারকের শ্রেণি বা সিরিজ বিন্যাস
Combination of Series Capacitors

যখন কতকগুলো ধারককে এমনভাবে যুক্ত করা হয় যাতে প্রথম ধারকের দ্বিতীয় পাত দ্বিতীয় ধারকের প্রথম পাতের সাথে, দ্বিতীয় ধারকের দ্বিতীয় পাত তৃতীয় ধারকের প্রথম পাতের সাথে ইত্যাদি একের পর এক যুক্ত থাকে এবং সর্বশেষ ধারকের শেষ পাত ভূ-সংযুক্ত থাকে তখন একে শ্রেণিবিন্যাস বলে। শ্রেণিবিন্যাসে অন্তর্ভুক্ত শেষ ধারকের শেষ পাত ছাড়া অন্য পাতগুলো পৃথিবী হতে অন্তরীত অবস্থায় থাকে। ২.২১ নং চিত্রে C_1, C_2 ও C_3 ধারকত্বের তিনটি ধারক AB, CD, EF শ্রেণিবিন্যাসে আছে দেখানো হয়েছে।

প্রথম ধারকের প্রথম পাত A-তে Q পরিমাণ ধন চার্জ প্রদান করলে তড়িৎ আবেশের দরুন এর দ্বিতীয় পাত B-তে Q পরিমাণ ঋণ চার্জ এবং দ্বিতীয় ধারকের প্রথম পাত C-তে Q পরিমাণ ধন চার্জ আবিষ্ট হবে। দ্বিতীয় ধারকের প্রথম পাতের ধন চার্জের দরুন তার দ্বিতীয় পাতে Q পরিমাণ ঋণ চার্জ এবং তৃতীয় ধারকের প্রথম পাতে Q পরিমাণ ধন চার্জ আবিষ্ট হবে। এভাবে প্রত্যেক ধারকের প্রথম পাত Q পরিমাণ ধন চার্জ এবং দ্বিতীয় পাত Q পরিমাণ ঋণ চার্জ প্রাপ্ত হবে । প্রথম ধারকের দ্বিতীয় পাত দ্বিতীয় ধারকের প্রথম পাতের সাথে সংযুক্ত বলে তাদের বিভব সমান হবে। একই কারণে দ্বিতীয় ধারকের দ্বিতীয় পাত ও তৃতীয় ধারকের প্রথম পাতের বিভব সমান হবে। ধরা যাক প্রথম, দ্বিতীয় ও তৃতীয়

ধারকের পাতদ্বয়ের মধ্যে বিভব বৈষম্য যথাক্রমে V_1, V_2 ও V_3 এবং সংযোজনের অন্তর্গত প্রথম পাত A এবং শেষ পাত F-এর মধ্যে বিভব বৈষম্য V, তা হলে, $V = V_1 + V_2 + V_3$।



চিত্র ২·২১

এখন, $V_1 = \frac{Q}{C_1}$, $V_2 = \frac{Q}{C_2}$ ও $V_3 = \frac{Q}{C_3}$

$$\therefore \quad V = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} = Q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right) \quad \ldots \quad (2.44)$$

কিন্তু যদি সমগ্র সংযোজনের পরিবর্তে C_s ধারকত্বের কোনো একটি ধারকের প্রথম পাতে Q পরিমাণ ধন চার্জ প্রদান করলে তার অন্তরীত ও ভূ-সংযুক্ত পাত দুটির মধ্যে বিভব বৈষম্য V হয়, তাহলে

$$V = \frac{Q}{C_s} \quad \ldots \quad (2.45)$$

সমীকরণ (2.44) ও (2.45) অনুসারে, $\frac{Q}{C_s} = Q\left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right)$

$$\therefore \quad \frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad \ldots \quad (2.46)$$

C_s-ই হচ্ছে তুল্য ধারকত্ব।

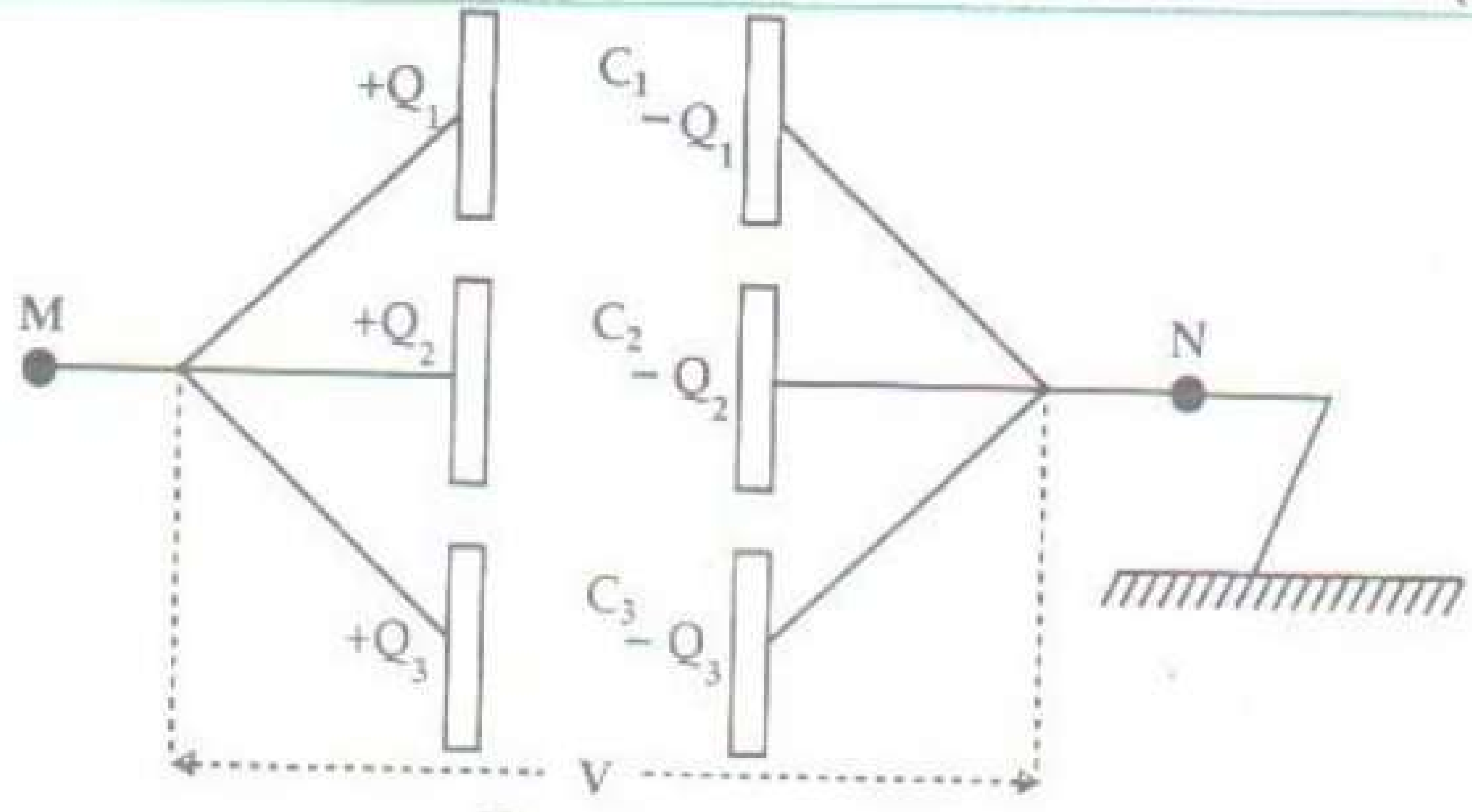
অনুরূপভাবে দেখানো যায় যে, শ্রেণি সংযোজনের অন্তর্গত C_1, C_2, C_3, ... , C_n ধারকত্বের nটি ধারকের তুল্য ধারকত্ব C_s হলে,

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots \ldots + \frac{1}{C_n} = \Sigma\frac{1}{C} \quad \ldots \quad (2.47)$$

সুতরাং শ্রেণি সংযোজনের অন্তর্ভুক্ত ধারকগুলোর ধারকত্বের বিপরীত মানের সমষ্টি তুল্য ধারকত্বের বিপরীত মানের সমান।

ধারকের সমান্তরাল সংযোগ
Combination of Parallel capacitors

যখন কতগুলো ধারককে এমনভাবে যুক্ত করা হয় যাতে প্রত্যেক ধারকের প্রথম পাত এক বিন্দুতে এবং দ্বিতীয় পাত অপর এক বিন্দুতে যুক্ত থাকে তখন একে ধারকের সমান্তরাল সংযোজন বলে।



চিত্র ২·২২

২·২২নং চিত্রে সমান্তরাল সংযোজনের অন্তর্ভুক্ত C_1, C_2 ও C_3 ধারকত্বের তিনটি ধারকের প্রত্যেকের প্রথম পাত M বিন্দুতে এবং দ্বিতীয় পাত ভূ-সংযুক্ত অবস্থায় N বিন্দুতে যুক্ত আছে দেখানো হয়েছে। এ অবস্থায় M বিন্দুতে Q পরিমাণ ধন চার্জ প্রদান করলে প্রত্যেক ধারকের পাত দুটির মধ্যে বিভব বৈষম্য সমান হবে এবং Q চার্জ ধারকত্ব অনুযায়ী ধারকগুলোতে ছড়িয়ে পড়বে।

ধরা যাক, C_1, C_2, C_3 ধারকত্বের ধারক তিনটিতে সঞ্চিত চার্জের পরিমাণ যথাক্রমে Q_1, Q_2 ও Q_3 এবং M ও N-এর মধ্যে বিভব বৈষম্য V।

তাহলে, $Q_1 = C_1V$, $Q_2 = C_2V$, $Q_3 = C_3V$ এবং $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

$$\therefore \quad Q = C_1V + C_2V + C_3V$$
$$= (C_1 + C_2 + C_3)V \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.48)$$

যদি সমগ্র সমান্তরাল সংযোজনের পরিবর্তে C_p ধারকত্বের একটি ধারকের প্রথম ও দ্বিতীয় পাত যথাক্রমে M ও N বিন্দুতে যোগ করে M বিন্দুতে Q পরিমাণ ধন চার্জ প্রদান করলে M ও N বিন্দুর মধ্যে বিভব বৈষম্য V হয়, তাহলে

$$Q = C_pV = (C_1 + C_2 + C_3)V$$
$$\therefore \; C_p = C_1 + C_2 + C_3 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.49)$$

C_p হচ্ছে তুল্য ধারকত্ব।

একইভাবে দেখানো যায় যে, $C_1, C_2, C_3, \ldots\ldots, C_n$ ধারকত্বের nটি ধারকের সমান্তরাল সংযোজনের সমতুল্য তুল্য ধারকত্ব C_p হলে,

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots\cdots + C_n = \Sigma C \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.50)$$

সুতরাং, **সমান্তরাল সংযোজনের অন্তর্ভুক্ত ধারকগুলোর ধারকত্বের সমষ্টি সংযোজনের তুল্য ধারকত্বের সমান।**

যাচাই কর : দেখাও যে, সমান ধারকত্বের দুটি ধারকের সমান্তরাল সমবায়ে থাকাকালীন ধারকত্ব শ্রেণিবদ্ধ সমবায়ে থাকাকালীন সমতুল ধারকত্বের 4 গুণ।

ধরা যাক, প্রত্যেকটি ধারকের ধারকত্ব $= C$

এদের সমান্তরাল সমবায়ে তুল্য ধারকত্ব $C_p = C + C = 2C \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$

আবার শ্রেণি সমবায়ে তুল্য ধারকত্ব $\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C} = \frac{2}{C}$; $C_s = \frac{C}{2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$

(i) ÷ (ii) হতে পাই, $\frac{C_p}{C_s} = 2C \times \frac{2}{C} = 4 \quad \therefore C_p = 4C_s$

গাণিতিক উদাহরণ

১। প্রমাণ কর যে, **সমান ধারত্বের 4টি ধারকের শ্রেণি সমবায়ে থাকাকালীন সমতুল ধারকত্ব তাদের সমান্তরাল সমবায়ে থাকাকালীন সমতুল ধারকত্বের $\frac{1}{16}$ গুণ।** [ঢা. বো. ২০০৪]

সমান্তরাল বিন্যাস।

শ্রেণি সমবায়।

মনে করি, প্রতিটি ধারকের ধারকত্ব C এবং সমান্তরাল সমবায়ে সাজালে তুল্য ধারকত্ব হবে C_p।

$$\therefore \; C_p = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$
$$= C + C + C + C = 4C$$
$$\therefore \; C = \frac{C_p}{4} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

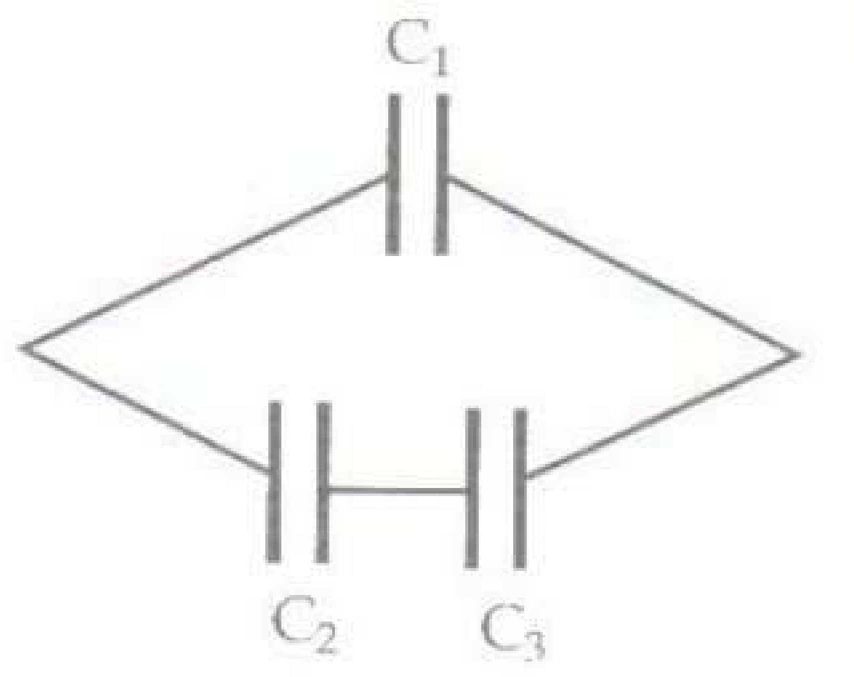
সিরিজ সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব C_s হলে

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C} + \frac{1}{C} + \frac{1}{C} = \frac{4}{C}$$

$$\therefore \; C_s = \frac{C}{4} = \frac{C_p}{4 \times 4} \quad [\text{(i) নং দ্বারা}]$$
$$= \frac{1}{16} C_p \text{ (প্রমাণিত)}$$

২। তিনটি ধারকের ধারকত্ব যথাক্রমে 3, 2 এবং 1 μF। এদের দ্বিতীয় এবং তৃতীয়টিকে শ্রেণি সমবায়ে সাজিয়ে প্রথমটির সাথে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হলো। বর্তনীর তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর।

[কু. বো. ২০০৯; ব. বো. ২০০৪]



মনে করি শ্রেণি সমবায়ে তুল্য ধারকত্ব = C_s

$\therefore$ আমরা পাই, $\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{2} + \frac{1}{1}$

বা, $\frac{1}{C_s} = \frac{1+2}{2} = \frac{3}{2}$ $\therefore$ $C_s = \frac{2}{3}\mu$F

শেষটি সমান্তরাল সংযোজনী; মনে করি এক্ষেত্রে তুল্য ধারকত্ব = C_p

$\therefore$ আমরা পাই, $C_p = C_s + C_1 = \frac{2}{3} + 3$

বা, $C_p = \frac{2+9}{3} = \frac{11}{3}$

$\therefore$ $C_p = 3.66\ \mu$F

ধারকের স্থিতি বা সঞ্চিত শক্তি
Potential energy of a condenser or capacitor

মনে করি কোনো ধারকের একটি পাতকে ভূ-সংলগ্ন করে অপর পাতটি V বিভবে চার্জিত করে ধারকটিকে চার্জিত করা হলো। ধারকটিকে চার্জিত করতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করতে হয়, তাই ধারকে স্থিতিশক্তিরূপে সঞ্চিত থাকে। এক্ষেত্রে একটি পাতকে V বিভবে চার্জিত করতে যে কাজ করতে হয় তাই ধারককে চার্জিত করার জন্যে প্রয়োজনীয় কাজ এবং এটিই হলো ধারকের স্থিতিশক্তি। মনে করি V বিভবে চার্জিত করার নিমিত্তে যখন পাতটিকে একটু একটু করে চার্জযুক্ত করা হয়েছিল তখন কোনো সময় পাতটির বিভব হয়েছিল V। ঐ সময় পাতটিকে আরো dq পরিমাণ চার্জ সরবরাহ করতে সাধিত কাজের পরিমাণ $= V dq = \frac{q}{C} dq$ এবং পাতটিকে যদি মোট Q চার্জ সরবরাহ করা হয়, তবে মোট সাধিত কাজের পরিমাণ

$W = \int_0^Q \frac{q}{C} dq$, এখানে C হলো ধারকের ধারকত্ব।

$$= \frac{1}{C}\left[\frac{q^2}{2}\right]_0^Q = \frac{1}{C}\left[\frac{Q^2}{2}\right] = \frac{1}{2}\cdot\frac{Q^2}{C} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.51)$$

M1 (02-06)

$\therefore$ ধারকের স্থিতিশক্তি

$$P.E. = W = \frac{Q^2}{2C} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.52)$$

$$= \frac{1}{2}Q \times \frac{Q}{C} = \frac{1}{2}QV \quad \left[\because V = \frac{Q}{C}\right] \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.53)$$

$$= \frac{1}{2}CV^2 \quad [\because Q = CV] \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.54)$$

যদি Q কুলম্ব, V ভোল্টে এবং C ফ্যারাডে প্রকাশ করা হয়, তবে স্থিতিশক্তি **জুলে** (J) প্রকাশিত হবে।

চার্জিত ধারকে সঞ্চিত শক্তি পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী তড়িৎ ক্ষেত্রে অবস্থান করে। সমীকরণ (2.52), (2.53) এবং (2.54)-এর প্রত্যেকটি হলো ধারকের স্থিতিশক্তির রাশিমালা।

তড়িৎ ক্ষেত্রের একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তির রাশিমালা

একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তি,

$$u = \frac{W}{\text{আয়তন}} = \frac{W}{Ad} = \frac{\frac{1}{2}CV^2}{Ad} = \frac{\frac{1}{2}C(Ed)^2}{Ad} \quad \left[\because E = \frac{V}{d} \;\therefore V = Ed\right] \quad \ldots \quad (2.55)$$

সমীকরণ [2.43 (b)] ব্যবহার করে আমরা পাই,

$$u = \frac{\frac{1}{2}\left(\frac{\epsilon_0 A}{d}\right) \times (Ed)^2}{Ad} \quad \left[\because \text{শূন্য মাধ্যমের জন্যে}, C = \frac{\epsilon_0 A}{d}\right]$$

$$= \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.56)$$

যদি পাত দুটির মধ্যে বায়ু ছাড়া অন্য কোনো মাধ্যম থাকে যার পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক $\in_r$, তবে একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ হবে,

$$u = \frac{1}{2}\in_r\in_0 E^2 = \frac{1}{2}\in E^2 \qquad [\because \in_r\in_0 = \in] \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.57)$$

ক্রিয়াকর্ম : কোনো ধারককে কী যে কোনো উচ্চ মানের বিভবে আহিত করা সম্ভব—ব্যাখ্যা কর।

কোনো ধারককে যে কোনো উচ্চ মানের বিভবে আহিত করা সম্ভব নয়। বিভবের মান খুব বেশি হলে পারিপার্শ্বিক বায়ুস্তরের আস্তরণ (insulation) ভেঙ্গে যায় এবং ধারক ও বায়ুর মধ্যে তড়িৎ ক্ষরণ ঘটতে থাকে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্রত্যেকটি পাতের ক্ষেত্রফল 0·03 m²। পাত দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব $2{\cdot}0 \times 10^{-3}$ m এবং পাত দুটির মধ্যে বিভব পার্থক্য 150 V হলে, (i) ধারকের ধারকত্ব; (ii) পাত দুটির মধ্যে সঞ্চিত শক্তি এবং (iii) পাত দুটির মধ্যে যে কোনো বিন্দুতে একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তি বের কর।

মনে করি পাত ধারকত্ব $= C$

পাত দুটির মধ্যে সঞ্চিত শক্তি $= U$

এবং পাত দুটির মধ্যে যে কোনো বিন্দুতে একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তি $= u$

দেওয়া আছে,

$A = 0{\cdot}03\ m^2$

$d = 2 \times 10^{-3} m$

$V = 150\ V$

$\in_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}\ F/m$

(i) আমরা জানি,

$$C = \frac{\in_0 A}{d} = \frac{(8{\cdot}85 \times 10^{-12}\ F/m)\ (0{\cdot}03\ m^2)}{2 \times 10^{-3} m}$$

$$= \frac{8{\cdot}85 \times 10^{-12} \times 3 \times 10^{-2}}{2 \times 10^{-3}} F = 13{\cdot}27 \times 10^{-11}\ F$$

(ii) পাত দুটির মধ্যে সঞ্চিত শক্তি

$$U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}(13{\cdot}27 \times 10^{-11}\ F)\ (150)^2 = 14{\cdot}9 \times 10^{-7}\ J$$

(iii) পাত দুটির মধ্যে যে কোনো বিন্দুতে একক আয়তনে সঞ্চিত শক্তি,

$$u = \frac{1}{2}\in_0 E^2 = \frac{1}{2}\in_0\left(\frac{V}{d}\right)^2 \qquad [\because V = Ed]$$

$$= \frac{1}{2}(8{\cdot}85 \times 10^{-12}\ Fm^{-1})\left(\frac{150V}{2 \times 10^{-3}\ m}\right)^2$$

$$= \frac{8{\cdot}85 \times 150 \times 150 \times 10^{-12} \times 10^{6}}{2 \times 2 \times 2} = 2{\cdot}49 \times 10^{-7}\ J\ m^{-3}$$

২। একটি বিচ্ছিন্ন সমান্তরাল পাত ধারকের পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব দ্বিগুণ করা হলে ধারকের সঞ্চিত শক্তির কী পরিবর্তন হবে ?

আমরা জানি,

ধারকের সঞ্চিত শক্তি, $U = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}\frac{\in_0 A}{d}V^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad$ (i)

এবং পরিবর্তিত ক্ষেত্রে শক্তি, $U_1 = \frac{1}{2}C_1V^2 = \frac{1}{2}\frac{\in_0 A}{2d}V^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad$ (ii)

দেওয়া আছে,

$C = \frac{\in_0 A}{d}$

$C_1 = \frac{\in_0 A}{2d}$

$$(ii) \div (i) \quad = \frac{U_1}{U} = \frac{\frac{1}{2}\frac{\in_0 A}{2d}V^2}{U}$$

$$= \frac{\frac{1}{2}\frac{\in_0 A\ V^2}{d} \times \frac{1}{2}}{U} = \frac{U \times \frac{1}{2}}{U} = \frac{1}{2}$$

$$\therefore\ U_1 = \frac{1}{2}U$$

অর্থাৎ ধারকের সঞ্চিত শক্তি পূর্বের শক্তির অর্ধেক হবে।

৩। একটি ধারকের দুই পাতের মধ্যে বিভব পার্থক্য V এবং ধারকের সঞ্চিত শক্তি U। ধারকের বিভব পার্থক্য বৃদ্ধি করে 3V করা হলে সঞ্চিত শক্তি বৃদ্ধি পেয়ে কত হবে ?

আমরা জানি, সঞ্চিত শক্তি,

$$U = \frac{1}{2}CV_1^2$$

$$\therefore \quad U_1 = \frac{1}{2}C(3V)^2$$

$$= 9 \times \frac{1}{2}CV^2 = 9U$$

দেওয়া আছে,

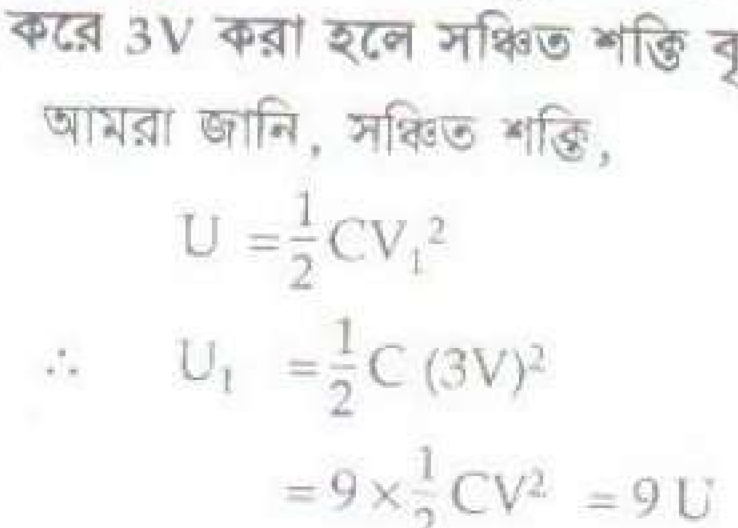
$V_1 = 3V$

সঞ্চিত শক্তি $= U$

পরিবর্তিত সঞ্চিত শক্তি, $U_1 = ?$

ধারকের ব্যবহার
Uses of condenser

(ক) **পরিবর্তনীয় ধারক (Variable condenser)** : ধারকত্ব পরিবর্তন উপযোগী। এটি এক প্রকার বায়ু মাধ্যম সমান্তরাল পাত ধারক। এটি বেতার গ্রাহক যন্ত্রের টিউনের কাজে এবং কোনো কোনো ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতিতে ব্যবহৃত হয়।



এ জাতীয় ধারকে একই অক্ষবিশিষ্ট দুই সারি অর্ধ-বৃত্তাকার অ্যালুমিনিয়ামের পাত B ও C থাকে [চিত্র ২.২৩]। এক সারি B স্থির এবং অন্য সারি C-কে ঘুরানো যায়। পাতগুলো পরস্পর সমান্তরাল এবং এদের পারস্পরিক দূরত্ব সমান। স্থির পাতগুলো পরস্পরের সাথে ... ঘূর্ণনক্ষম পাতগুলো হতে অন্তরীত। পাতগুলোর মধ্যবর্তী বায়ু পরাবিদ্যুতের কাজ করে। ঘূর্ণনক্ষম পাতগুলোকে একটি ...-এর সাথে আটকান থাকে। সুতরাং দণ্ডটি ঘুরালে তার সাথে ... পাতগুলো স্থির পাতগুলোর ফাঁকে ফাঁকে ঢুকে যায় বা বের হয়ে ...। এই ঘূর্ণনে ধারকের কার্যকর ক্ষেত্রফল পরিবর্তনের সাথে ধারকত্ব পরিবর্তিত হয়।

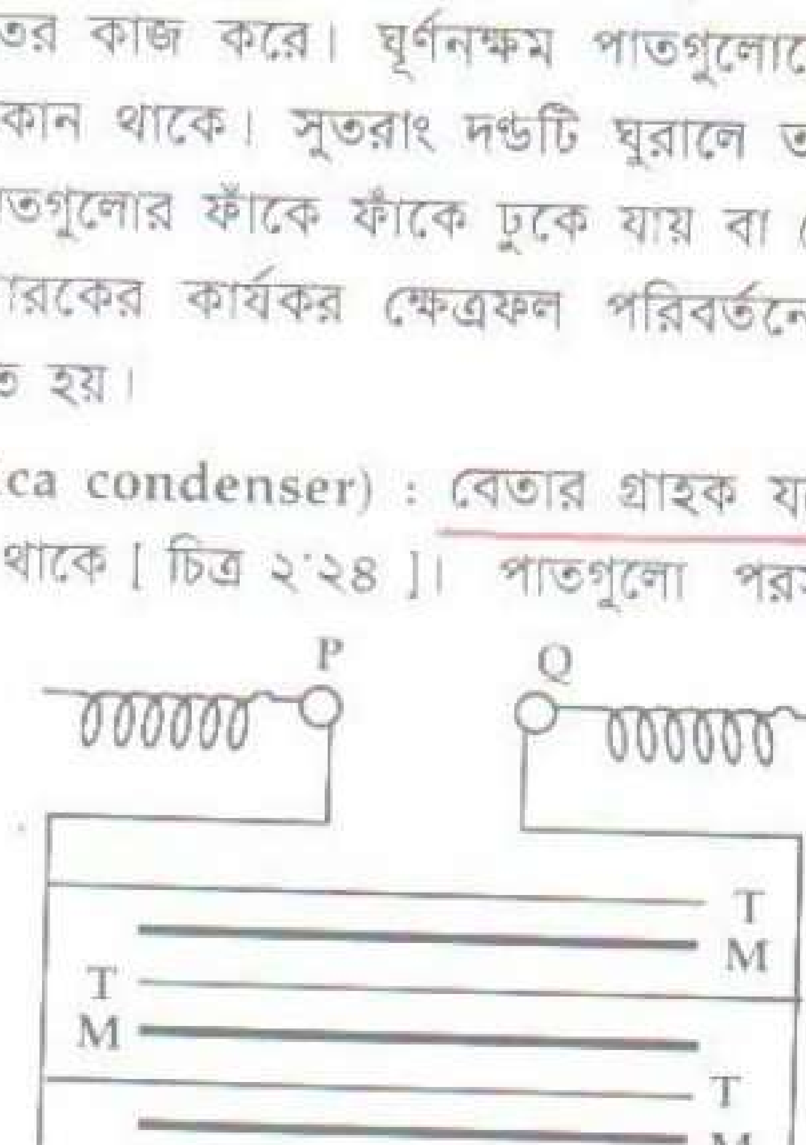
সিরামিক ধারক এদের টিউনিং সার্কিটে, ডিকাপলিং ও সার্কিটে এবং কাপলিং করার জন্য ব্যবহার করা হয়।

অভ্র ধারক: বেতার গ্রাহক যন্ত্রে এধরনের ধারক ব্যবহার করা হয়।

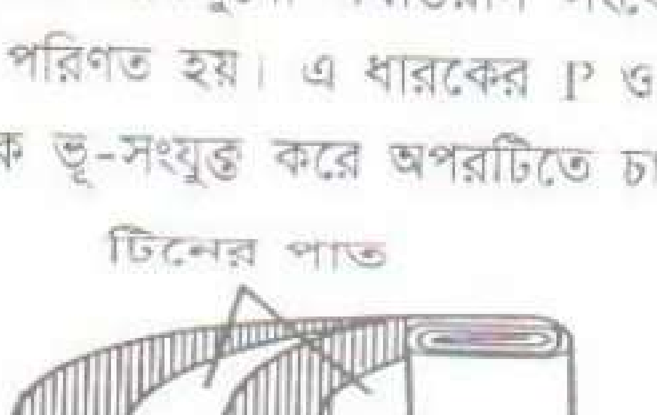
পরিবর্তনীয় বায়ু ধারক: বেতার গ্রাহক যন্ত্রে টিউনিং এর কাজে প্রধানত এধরনের ধারক ব্যবহার করা হয়।

ইলেকট্রোলাইটিক ধারক: কম জায়গায় বেশি তড়িৎ সঞ্চয় করার জন্য ধারক ব্যবহার করা হয়।

(খ) স্থিরমান ধারক বা অভ্র ধারক (Fixed condenser or mica condenser) : বেতার গ্রাহক যন্ত্রে এরূপ ধারক ব্যবহৃত হয়ে থাকে। এ জাতীয় ধারকে কতকগুলো টিনের পাত T থাকে [চিত্র ২.২৪]। পাতগুলো পরস্পর হতে অভ্রের পাত (বা মোমযুক্ত কাগজ) M দ্বারা পৃথক করা থাকে। ধারকে প্রথম, তৃতীয়, পঞ্চম ইত্যাদি বিজোড় সংখ্যক টিনের পাতগুলো পরস্পরের সাথে ধাতব দণ্ড বা পাত দ্বারা যুক্ত করে P বন্ধনীর সাথে এবং দ্বিতীয়, চতুর্থ, ষষ্ঠ ইত্যাদি জোড় সংখ্যক টিনের পাতগুলো পরস্পরের সাথে অপর একটি পাত বা দণ্ড দ্বারা যুক্ত করে বন্ধনী Q-এ সংযোগ করা হয়। এখানে টিনের পাতগুলো ধারকের পাতের ও অভ্রের পাতগুলো পরাবিদ্যুতের কাজ করে এবং ধারকগুলো সমান্তরাল সংযোজনে যুক্ত হয়ে একটি বড় ধারকে পরিণত হয়। এ ধারকের P ও Q বন্ধনী দুটির যে কোনো একটিকে ভূ-সংযুক্ত করে অপরটিতে চার্জ প্রদান করতে হয়।



চিত্র ২.২৪



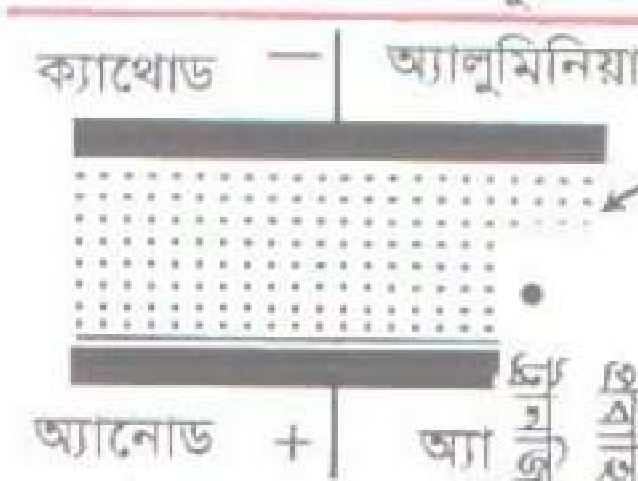
চিত্র ২.২৫

(গ) **কাগজ ধারক (Paper condenser)** : ইলেকট্রনিক বর্তনীতে টিউন সার্কিট বা ট্যাঙ্ক সার্কিট কম্পাঙ্ক নির্ধারণে ব্যবহৃত হয় [চিত্র ২.২৫]। এটি এক প্রকার স্থির মান সমান্তরাল পাত ধারক। টিন বা অ্যালুমিনিয়ামের দুই পাত ধারকের প্লেটের ও প্লেটদ্বয়ের মধ্যে রক্ষিত প্যারাফিন মোমে ভিজানো পাতলা কাগজের ফালি পরাবিদ্যুতের কাজ করে। কাগজের ফালিসহ পাত দুটিকে জড়িয়ে চোঙাকৃতি করা হয়। এটি সহজে তৈরি করা যায় ও খুব কম মূল্যে পাওয়া যায়।

ধারকের ব্যবহারিক গুরুত্ব নয় → তড়িৎ আবেশ পড়বে

 m-04-05

(ঘ) **তড়িৎ-বিশ্লেষক ধারক (Electrolytic condenser) :** বেতার গ্রাহক যন্ত্রে প্রচুর পরিমাণে এই ধারক ব্যবহৃত হয় [চিত্র ২·২৬]। অ্যামোনিয়াম বোরেটের একটি দ্রবণে দুটি অ্যালুমিনিয়াম প্লেট নিমজ্জিত রেখে এই ধারক তৈরি হয়। এর একটি প্লেট অ্যানোড ও আর একটি প্লেট ক্যাথোড-এর কাজ করে। এর ধারকত্ব অনেক বেশি এবং একে অপরিবর্তী প্রবাহ ছাড়া পরিবর্তী প্রবাহে ব্যবহার করা যায় না।



চি

সমতড়িৎ প্রবাহ পাঠালে অ্যানোড প্লেটে অ্যালুমিনিয়াম অক্সাইডের একটি পরাবিদ্যুতের কাজ করে।

ধারকের ব্যবহার:

- স্বল্প স্থানে উচ্চ মাত্রার বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র উৎপন্ন করা যায়
- পরাবৈদ্যুতিক বস্তুর আচরণ জানা যায়
- বিদ্যুৎ সঞ্চিত রেখে প্রয়োজনে ব্যবহার করা যায়
- বৈদ্যুতিক বর্তনীতে স্পার্কিং দূর করা যায়
- অল্প বিদ্যুৎ প্রবাহ পরিমাপ করা যায়
- স্থির বিদ্যুৎ যন্ত্রে "সঞ্চায়ক" হিসেবে ব্যবহার হয়
- স্থির বিভব বৈষম্যে বিদ্যুৎ প্রবাহিত করার কাজে ব্যবহৃত হয়
- D. C বা একমুখী প্রবাহ বন্ধ করার কাজে এবং A. C পরিবর্তী প্রবাহ প্রবাহিত করার কাজে ব্যবহৃত হয়
- ট্রানজিস্টর, টেলিভিশন প্রভৃতিতে ধারকের ভূমিকা গুরুত্বপূর্ণ

এক নজরে ধারকের ব্যবহার
Uses of Capacitor at a glance

১। টেলিগ্রাফ, টেলিফোনে এবং বেতার গ্রাহক যন্ত্রে টিউনিং-এর কাজে ধারক ব্য

২। বৈদ্যুতিক পাখাকে জোরে ঘুরাবার জন্য ধারক ব্যবহৃত হয়।

৩। বিবর্ধক যন্ত্রে কাপলিং কাজে ধারক ব্যবহার করা হয়।

৪। বৈদ্যুতিক বর্তনীতে চার্জিং এবং ডিসচার্জিং এর কাজে ব্যবহৃত হয়।

৫। বৈদ্যুতিক বর্তনীতে ডিসি ব্লকিং হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

৬। ফিলটার সার্কিটে ধারক ব্যবহার করা হয়।

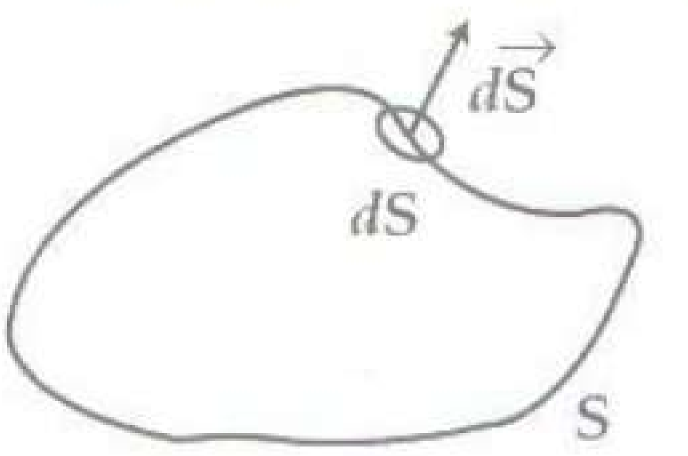
৭। স্পন্দকে ধারক ব্যবহার করা হয়।

৮। এছাড়া চার্জ সঞ্চিত করতে এবং বৈদ্যুতিক নানা কাজে ধারক ব্যবহার করা

২.৮ গাউসের সূত্র
Gauss's Law

জার্মান বিজ্ঞানী কাল **ফ্রেডরিক গাউস** তড়িৎ ফ্লাক্স ও চার্জের মধ্যে একটি গুরুত্বপূর্ণ সূত্র প্রদান করেন। কোনো একটি বন্ধ তলের বিভিন্ন বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয়ের জন্য এ সূত্র ব্যবহৃত হয়। সূত্রটি বিবৃত করার আগে তড়িৎ ফ্লাক্স, ক্ষেত্র ভেক্টর ও গাউসীয় তল কী জানা দরকার।

ক্ষেত্র ভেক্টর (Area Vector) : পদার্থবিজ্ঞানে বিভিন্ন ক্ষেত্রে কোনো পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফলকে একটি ভেক্টর হিসেবে গণ্য করা হয়। ক্ষেত্র ভেক্টরটির দৈর্ঘ্য দ্বারা তলটির ক্ষেত্রফলের মান সূচিত হয় এবং ক্ষেত্র ভেক্টরটির অভিমুখ ধরা হয় তলটির লম্ব বরাবর।



চিত্র ২·২৭

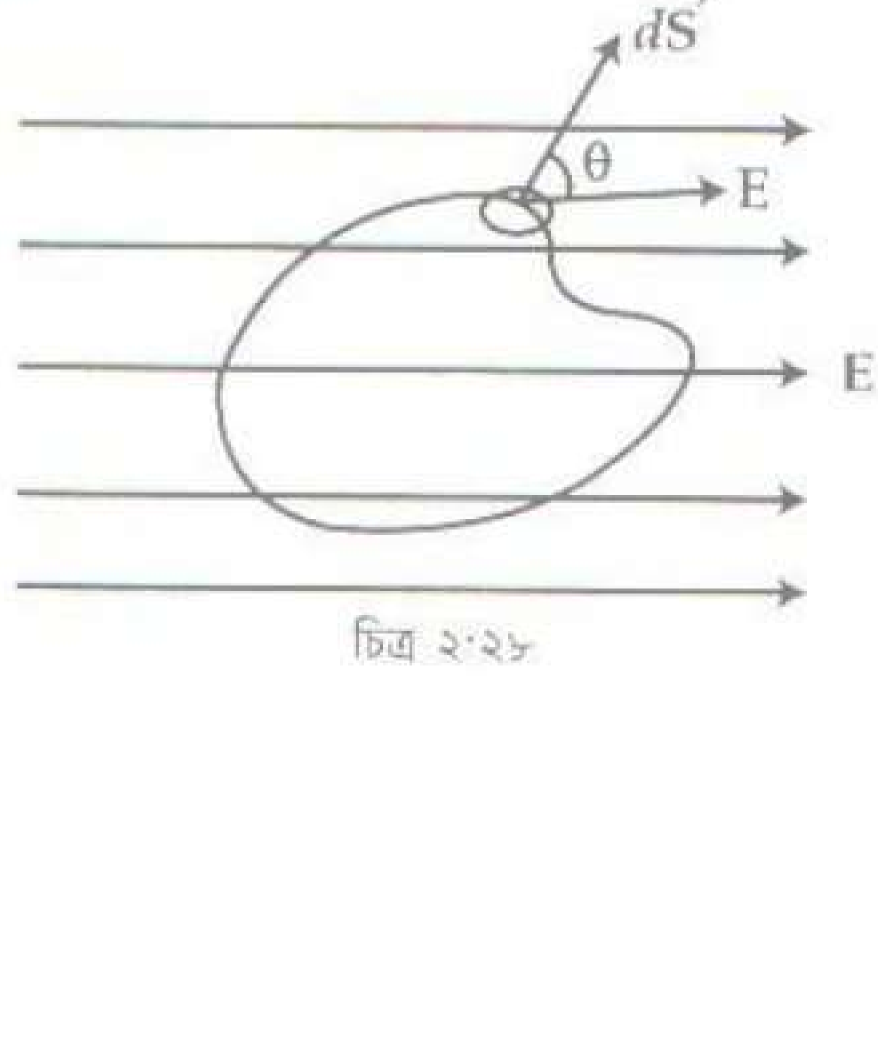
ব্যাখ্যা : ধরা যাক S একটি বন্ধ তল। এর ওপরে dS একটি ক্ষুদ্র ক্ষেত্র। dS এর ওপর বন্ধ তলের বাইরের দিকে একটি লম্ব টানা হলো। সুতরাং $\overrightarrow{dS}$ হলো ক্ষেত্র ভেক্টর। অর্থাৎ ক্ষেত্র ভেক্টরের দিক তল থেকে তলের বাইরের দিকে ধরা হয়।

তড়িৎ ফ্লাক্স (Electric Flux) : তড়িৎ ক্ষেত্রে অবস্থিত কোনো তলের মধ্য দিয়ে লম্বভাবে অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যাকে তড়িৎ ফ্লাক্স বলে। একে φ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। φ একটি স্কেলার রাশি।

ব্যাখ্যা : $\vec{E}$ প্রাবল্যবিশিষ্ট একটি সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রে একটি বন্ধ তল S এর ওপর একটি ক্ষুদ্র ক্ষেত্র $d\vec{S}$ নেয়া হলো [চিত্র ২·২৮]। $\vec{E}$ ও $d\vec{S}$ এর মধ্যে কোণ হলো θ। সুতরাং, $d\vec{S}$ ক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স,

$$d\varphi = \vec{E} \cdot d\vec{S}$$
$$= EdS\cos\theta$$
$$= (E\cos\theta)\,dS = E_n dS \qquad \ldots \quad \ldots \qquad (2.58)$$

এখানে $E_n = E\cos\theta$ = তড়িৎ প্রাবল্যের অভিলম্ব উপাংশ।



চিত্র ২·২৮

এখন, সমগ্র তলটি এরূপ ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ক্ষেত্র $d\vec{S}$ এর সমষ্টি। সুতরাং সমগ্র S বন্ধ তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্স হবে।

$$\varphi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

$\oint$ প্রতীকটি সমগ্র বন্ধ তলের জন্য সমাকলন বোঝায়।

গাউসীয় তল (Gaussian surface) : একটি চার্জের চারদিকে কল্পিত বন্ধ তলকে গাউসীয় তল বলে।

গাউসের সূত্র (Gauss's law) : কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রে অবস্থিত কোনো বন্ধ কল্পিত তলের তড়িৎ ফ্লাক্স ঐ তল দ্বারা বেষ্টিত মোট আধানের ϵ_0 গুণের সমান হবে।

ব্যাখ্যা : ধরা যাক, শূন্য মাধ্যমে কোনো বন্ধ তলের ক্ষেত্রফল S এবং ঐ তল দ্বারা আবদ্ধ মোট আধান q। সুতরাং গাউসের সূত্র অনুসারে,

$$\epsilon_0 \varphi = q$$

বা $$\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = q \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.59)$$

এখানে ϵ_0 হলো শূন্য স্থানের তড়িৎ ভেদনযোগ্যতা (permittivity)। অন্য কোনো মাধ্যমে গাউসীয় সূত্র হবে, $\epsilon \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = q$. এখানে ϵ হলো ঐ মাধ্যমের তড়িৎ ভেদনযোগ্যতা।

বি. দ্র. যদি গাউসীয় তলে কোনো আধান না থাকে অথবা সমসংখ্যক ঋণাত্মক ও ধনাত্মক আধান থাকে, তবে $\varphi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = 0$ হবে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য $\vec{E} = 5\hat{i} + 4\hat{j} + 3\hat{k}$ Vm^{-1}। এই তড়িৎ ক্ষেত্রের অভ্যন্তরে yz তলে 15 m^2 মাপের ক্ষেত্রের ভেতর দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্সের পরিমাণ নির্ণয় কর।

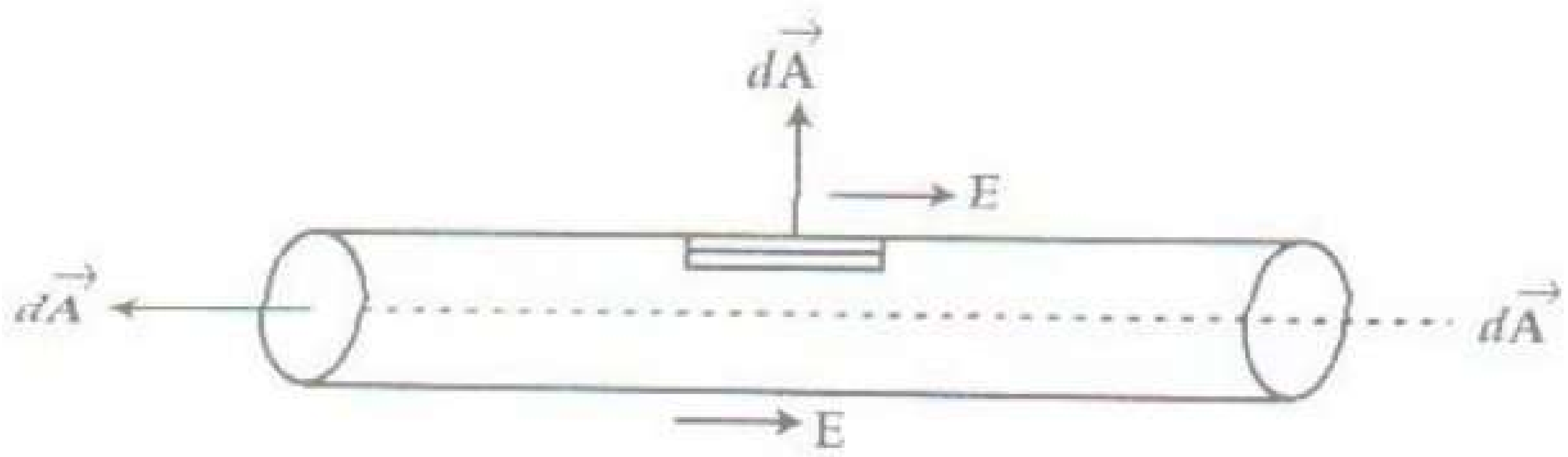
এখানে, তড়িৎ প্রাবল্য, $\vec{E} = 5\hat{i} + 4\hat{j} + 3\hat{k}$ Vm^{-1}

yz তলের ক্ষেত্রফল, $\vec{S} = S\hat{i} = 15\hat{i}$ m^2

অতএব এই মাপের ক্ষেত্রের ভেতর দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স,

$$\varphi = \vec{E} \cdot \vec{S} = (5\hat{i} + 4\hat{j} + 3\hat{k}) \cdot 15\hat{i} = 75 \text{ Vm}.$$

২। চিত্রে প্রদর্শিত চোঙের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A হলে চোঙের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্সের মান নির্ণয় কর।



চিত্রে $\vec{E}$ = তড়িৎক্ষেত্র, $d\vec{A}$ = ক্ষুদ্র ক্ষেত্র ভেক্টর, A = প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল।

ধরা যাক, চোঙটির বামদিক ও ডানদিকের বৃত্তাকার প্রস্থচ্ছেদ দুটির মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্স যথাক্রমে φ_1 ও φ_2। φ_3 চোঙটির বক্রতলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্স।

এখন, বক্রতলের উপর অভিলম্ব $d\vec{A}$ ও তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ এর মধ্যবর্তী কোণ $= 90°$। অতএব,

$$\varphi_3 = \int_A E dA \cos\theta = \int_A E dA \cos 90° = 0$$

আবার, $\varphi_1 = \int_A E dA \cos 180° = -E\int_A dA = -EA$

ও $\varphi_2 = \int_A E dA \cos 0° = E\int_A dA = EA$

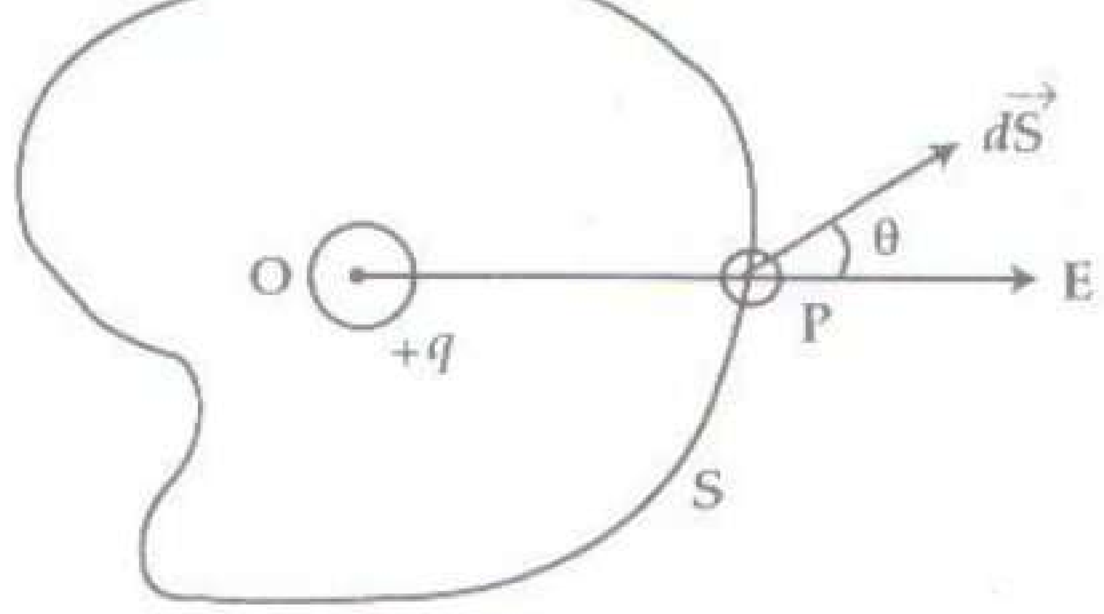
সুতরাং মোট ফ্লাক্স, $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = -EA + EA + 0 = 0$

(ক) কুলম্বের সূত্র হতে গাউসের সূত্র প্রতিপাদন
Derivation of Gauss's law from Coulomb's law

ধরা যাক, O বিন্দুতে অবস্থিত $+q$ পরিমাণ আধানকে ঘিরে S একটি বন্ধ তল (গাউসীয় তল) [চিত্র ২·২৯]। ঐ তলের ওপরে P বিন্দুকে ঘিরে dS একটি ক্ষুদ্র তল কল্পনা করা হলো। ধনাত্মক আধান $+q$ এর জন্য তড়িৎ প্রাবল্য $\vec{E}$ ব্যাসার্ধ OP বরাবর বহির্মুখী।

চিত্র ২·২৯-এর P বিন্দুতে একটি একক আধান স্থাপন করলে কুলম্বের সূত্র অনুযায়ী ঐ বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.60)$$



চিত্র ২·২৯

এর দিক ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী।

এখন, dS তলে মোট তড়িৎ ফ্লাক্স,

$$d\varphi = \vec{E}\,.\,d\vec{S} = EdS\cos\theta$$

বা, $d\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} dS\cos\theta$ [সমীকরণ (2.60) ব্যবহার করে]

এখানে θ হলো $d\vec{S}$ ও $\vec{E}$ এর মধ্যবর্তী কোণ।

বা, $d\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{dS\cos\theta}{r^2} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} d\omega$

$d\omega$ হচ্ছে dS ক্ষেত্র তলের জন্য O বিন্দুতে ঘনকোণ।

সুতরাং, সমগ্র আবদ্ধ তল S-এর জন্য মোট ফ্লাক্স,

$$\begin{aligned}\varphi &= \oint d\varphi = \oint \vec{E}\,.\,d\vec{S}\\ &= \oint \frac{q}{4\pi\epsilon_0} d\omega = \frac{q}{4\pi\epsilon_0}\oint d\omega\\ &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0}\omega = \frac{q}{4\pi\epsilon_0}\times 4\pi\\ &= \frac{q}{\epsilon_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.61)\end{aligned}$$

এখানে $\oint d\omega = \omega = 4\pi$ স্টেরেডিয়ান (Steradian)

ω হচ্ছে O বিন্দুতে সমগ্র তল দ্বারা উৎপন্ন মোট ঘনকোণ।

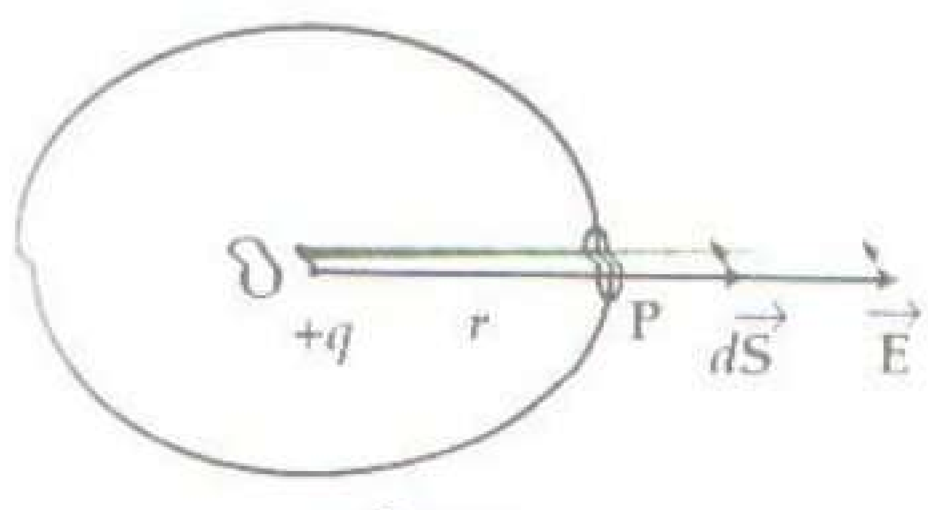
$\therefore \quad \varphi = \frac{q}{\epsilon_0}$

বা, $\oint \vec{E}\,.\,d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2.62)$

সমীকরণ (2.61) ও (2.62)-ই হলো **গাউসের সূত্র।**

(খ) গাউসের সূত্র হতে কুলম্বের সূত্র প্রতিপাদন
Deduction of Coulomb's law from Gauss's law

ধরা যাক, O বিন্দুতে স্থাপিত $+q$ চার্জ হতে r দূরত্বে P একটি বিন্দু। এখন q-কে কেন্দ্র করে r ব্যাসার্ধের একটি গাউসীয় বন্ধ তল বিবেচনা করা যায় [চিত্র ২·৩০]। প্রতিসাম্য বিবেচনায় বলা যায়, ধনাত্মক চার্জ $+q$ এর জন্য P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য $\vec{E}$ ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী। এই প্রাবল্য গাউসীয় তলের সঙ্গে অভিলম্ব এবং সর্বত্র ধ্রুবক। সুতরাং $d\vec{S}$ ও $\vec{E}$ গাউসীয় তলের প্রতিটি বিন্দুতে সমান্তরাল। সুতরাং



চিত্র ২·৩০

$$\vec{E}\,.\,d\vec{S} = EdS\cos 0^\circ = EdS$$

অতএব, গাউসের সূত্রানুসারে মোট ফ্লাক্স,

$$\varphi = \oint \vec{E} . d\vec{S} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

$$= E \oint dS \qquad [\because \text{ গাউসীয় তলের সর্বত্র E ধ্রুবক}]$$

$$= E . 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0}$$

বা, $E = \dfrac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$

ধরা যাক, P বিন্দুতে একটি চার্জ q_0 স্থাপন করা হলো। সুতরাং q_0 চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বল হবে,

$$F = q_0 E$$

$$\therefore \quad F = \frac{q q_0}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (2.63)$$

এটিই **কুলম্বের সূত্র।**

সুতরাং কুলম্বের সূত্র গাউসের সূত্র হতে প্রতিপাদিত হলো।

২.৯ তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয়ে গাউসের সূত্রের ব্যবহার
Applications of Gauss's Law to determine the electric field intensity

বিভিন্ন তড়িৎ ক্ষেত্রে প্রাবল্য নির্ণয়ে গসের সূত্র ব্যবহার করা হয়। নিম্নে কয়েকটি ক্ষেত্রে তা বর্ণনা করা হলো।

১। চার্জিত গোলকের দরুন তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য : R ব্যাসার্ধের একটি নিরেট গোলক বিবেচনা করা যাক। গোলকে $+q$ পরিমাণ চার্জ প্রদান করলে এই চার্জ সুষমভাবে গোলক পৃষ্ঠে ছড়িয়ে পড়বে। কোনো চার্জ গোলকের ভেতরে প্রবেশ করবে না। এখন গোলকের অভ্যন্তরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র নির্ণয়ের জন্য উক্ত বিন্দু দিয়ে $\vec{r}$ ব্যাসার্ধের একটা গোলীয় গাউসীয় তল বিবেচনা করা যাক। প্রতিসাম্যের কারণে গাউসীয় তলের সর্বত্র তড়িৎ ক্ষেত্র E–এর মান সমান এবং দিক ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী হবে। তবে গাউসীয় তল কোনো চার্জ ধারণ করবে না।

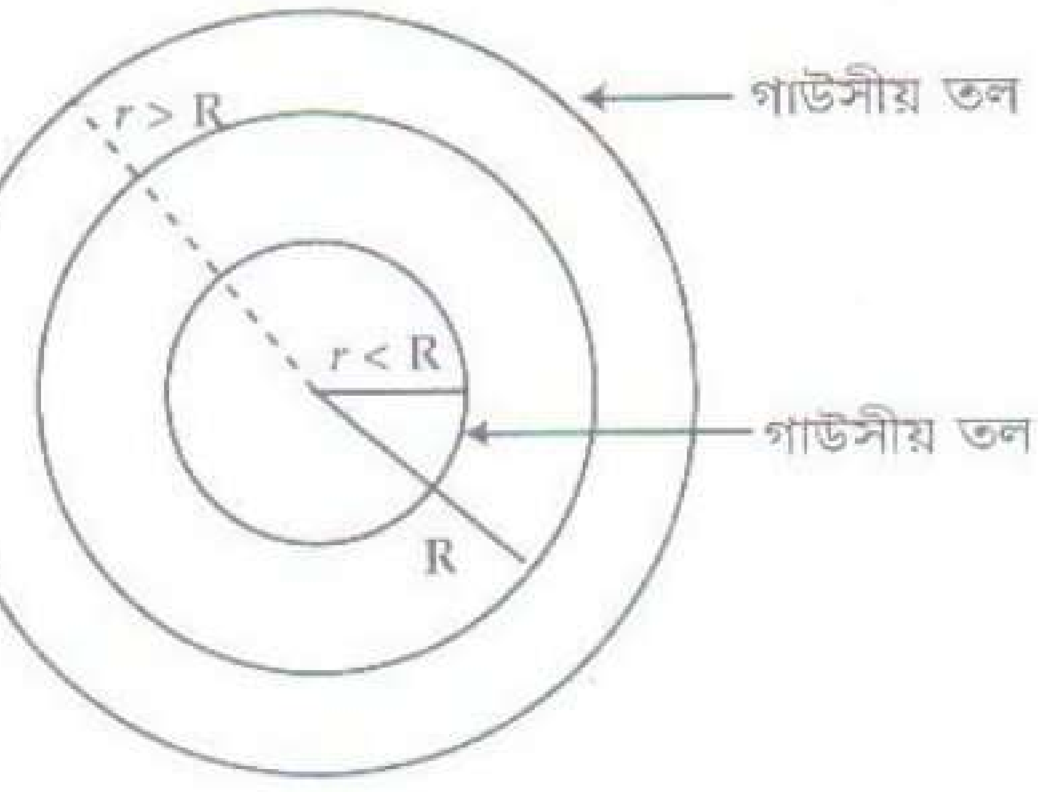
সুতরাং, গাউসের সূত্রানুসারে,

$$\oint_s \vec{E} . d\vec{a} = \oint_s E da = E \oint da = E(4\pi r^2) = 0$$

$$\therefore \quad E = 0 \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (2.64)$$

সুতরাং গোলকের অভ্যন্তরে অর্থাৎ $r < R$ বিন্দুতে ক্ষেত্রের মান শূন্য।

আবার, $r > R$ বিন্দুতে অর্থাৎ গোলকের বাইরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র নির্ণয়ের জন্য উক্ত বিন্দু দিয়ে r ব্যাসার্ধের গোলীয় গাউসীয় তল কল্পনা করা যাক [চিত্র ২·৩১]। তাহলে এই তল কর্তৃক আবদ্ধ চার্জের পরিমাণ হবে q।



চিত্র ২·৩১

আবার গাউসীয় তলের সর্বত্র তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ সুষম মানসম্পন্ন হবে এবং ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী ক্রিয়া করবে। সুতরাং গাউসীয় সূত্রানুসারে পাই,

$$\oint_s \vec{E} . d\vec{a} = E(4\pi r^2) = \frac{q}{\epsilon_0}$$

বা, $E = \dfrac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$

ভেক্টর আকারে লিখে পাই, $\vec{E} = \dfrac{q}{4\pi\epsilon_0 r^3}\vec{r}$

এই সমীকরণ হতে দেখা যায়, চার্জিত গোলকের দরুন বহিস্থ কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের রাশি বিন্দু চার্জের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্রের রাশির অনুরূপ। সুতরাং বলা যায় যে, বহিস্থ কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র নির্ণয়ের ক্ষেত্রে গোলকের

চার্জ এমন আচরণ করে যে, প্রদত্ত চার্জ কেন্দ্রে কেন্দ্রীভূত থেকে বিন্দু চার্জের ন্যায় আচরণ করে। যদি গোলকের চার্জের তল ঘনত্ব σ হয়, তবে $\sigma = q/4\pi r^2$ হবে। অতএব,

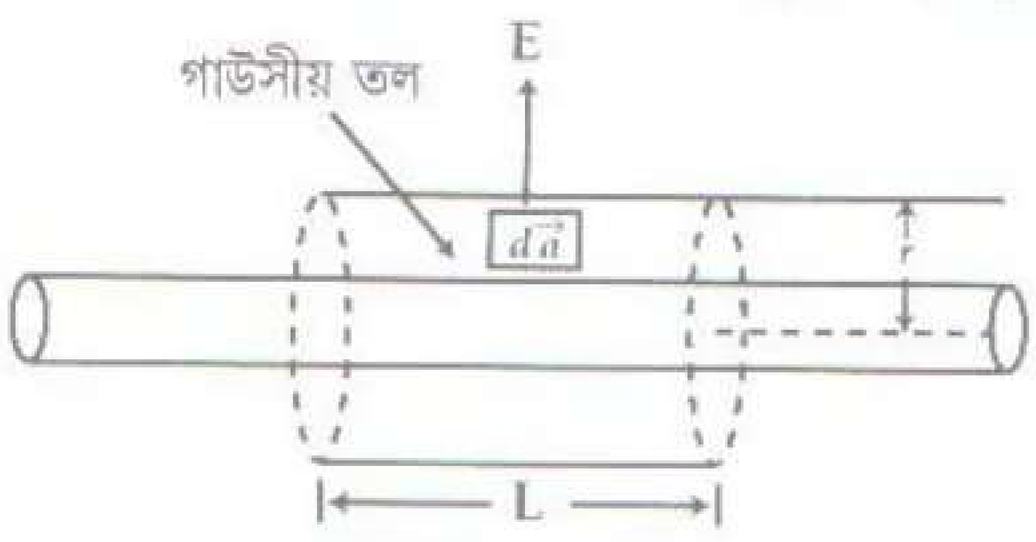
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.65)$$

ভেক্টর আকারে, $\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0}\hat{n}$

যখন $\hat{n}$ হলো পৃষ্ঠে বহির্মুখী একক ভেক্টর।

২। চার্জিত একটা লম্বা চোঙের দরুন তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য : a ব্যাসার্ধের সুষমভাবে চার্জিত একটা লম্বা চোঙ বিবেচনা করা যাক যার প্রতি একক দৈর্ঘ্যের চার্জ λ। ধরা যাক, চোঙের অক্ষ থেকে r দূরে বহিস্থ কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র নির্ণয় করতে হবে।

চোঙের সাথে সমাক্ষে r ব্যাসার্ধ এবং L দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি চোঙ বিবেচনা করা যাক। এভাবে গঠিত চোঙকে গাউসীয় চোঙ বলে। চার্জিত চোঙটি খুবই দীর্ঘ বলে এর দুই প্রান্তের প্রভাব অগ্রাহ্য করা যায়। তাহলে প্রতিসাম্য গুণাবলির কারণে গাউসীয় চোঙের সর্বত্র তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$-এর মান সমান এবং দিক ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী হবে। গাউসীয় তলে বিবেচিত কোনো ক্ষুদ্র ক্ষেত্র $d\vec{a}$-এর দিকও ব্যাসার্ধ বরাবর বহির্মুখী হবে [চিত্র ২.৩২] গাউসীয় তল কর্তৃক চার্জের পরিমাণ $q = \lambda L$ হবে।



চিত্র ২.৩২

এখন গাউসের সূত্রানুসারে পাই,

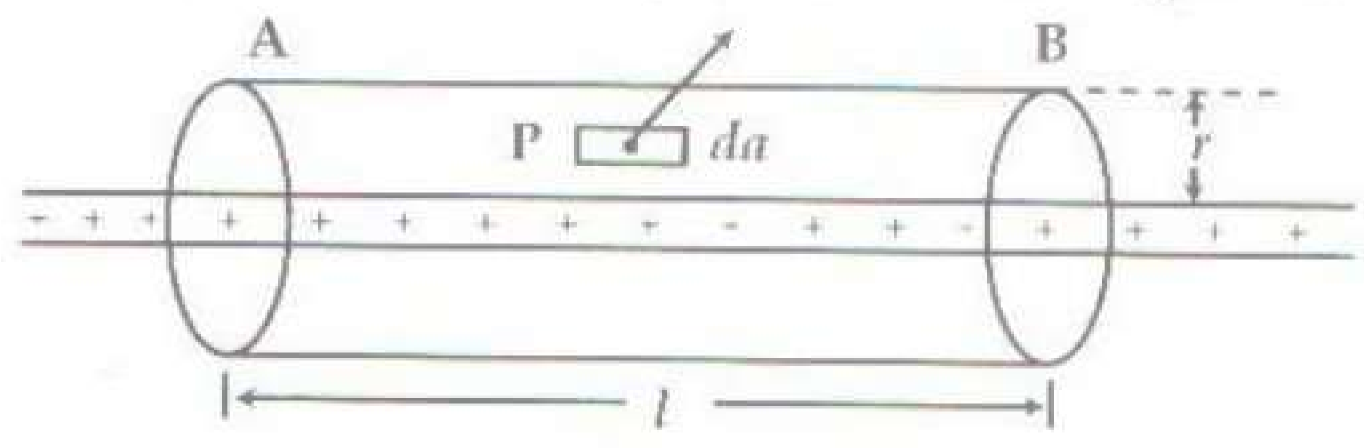
$$\oint_s \vec{E}\cdot d\vec{a} = \oint_s E da = \frac{q}{\epsilon_0}$$

বা, $E(2\pi r L) = \frac{\lambda L}{\epsilon_0}$

$$\therefore \quad E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.66)$$

এটাই নির্ণেয় তড়িৎ ক্ষেত্র। ভেক্টর আকারে প্রকাশ করে পাই, $\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0}\frac{\vec{r}}{r^2}$

৩। অসীম দৈর্ঘ্যের চার্জিত রেখার জন্য তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য : সুষমভাবে চার্জিত অসীম দৈর্ঘ্যের একটি



চিত্র ২.৩৩

তার অথবা চার্জ রেখা বিবেচনা করা যাক যার চার্জ ঘনত্ব বা একক দৈর্ঘ্যের চার্জ λ। চার্জ রেখা হতে r দূরত্বে কোনো বিন্দু P বিবেচনা করা যাক [চিত্র ২.৩৩]। P বিন্দুর তড়িৎ ক্ষেত্র E নির্ণয় করতে হবে।

চার্জ রেখাকে অক্ষ করে l দৈর্ঘ্য এবং r ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি গাউসীয় চোঙ কল্পনা করা যাক। তাহলে P বিন্দু চোঙের বক্রতলে অবস্থান করবে। এই বক্রতলের সকল বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$-এর মান সমান এবং অভিমুখ বক্রতলের অভিলম্ব বরাবর বহির্মুখী।

সুতরাং P বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ এবং ক্ষেত্র ভেক্টর $d\vec{a}$ সমমুখী। কাজেই গাউসের সূত্রানুসারে পাই,

$$\epsilon_0\oint \vec{E}\cdot d\vec{a} = \epsilon_0\oint E da = \lambda l$$

বা, $\epsilon_0 E\oint da = \lambda l$

বা, $\epsilon_0 E(2\pi r l) = \lambda l$

$$\therefore \quad E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (2.67)$$

গাউসীয় চোঙের দুই বৃত্তাকার তলের অভিলম্বের সাথে E সমকোণে ক্রিয়া করে। কাজেই, উভয় বক্রতলের জন্য $\in_0 \oint \vec{E}.d\vec{a} = 0$। অতএব, নির্ণেয় তড়িৎ ক্ষেত্র,

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\in_0 r}$$

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি সরু তারের দৈর্ঘ্য 4 m। তারটি 6 μC চার্জে সুষমভাবে চার্জিত হলে (i) তারের একক দৈর্ঘ্যে চার্জের পরিমাণ এবং (ii) তারটির কেন্দ্র হতে 2 m দূরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

(i) একক দৈর্ঘ্যে চার্জের পরিমাণ,

$$\lambda = \frac{q}{l} = \frac{6 \times 10^{-6}}{4} = 1.5 \times 10^{-6}\ C\ m^{-1}$$

(ii) তড়িৎ প্রাবল্য, $E = \frac{1}{2\pi\in_0} \cdot \frac{\lambda}{r}$

বা, $E = \frac{1.5 \times 10^{-6}}{2 \times 3.14 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 2}$

$= 1.35 \times 10^4\ NC^{-1}$

এখানে,
তারের দৈর্ঘ্য, $l = 4m$
চার্জ, $q = 6\ \mu C = 6 \times 10^{-6}\ C$
দূরত্ব, $r = 2m$
$\in_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$
$\lambda = ?$
$E = ?$

২। কোনো গোলকের অভ্যন্তরে শূন্য স্থানে অবস্থিত চার্জের জন্য গোলকের সমগ্র তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স হলো $5.6 \times 10^5\ Nm^2\ C^{-1}$। গোলকের অভ্যন্তরস্থ চার্জের মান নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

গোলকের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত

মোট তড়িৎ ফ্লাক্স, $\varphi = \frac{1}{\in_0} q$

$\therefore \frac{1}{\in_0} q = 5.6 \times 10^5$

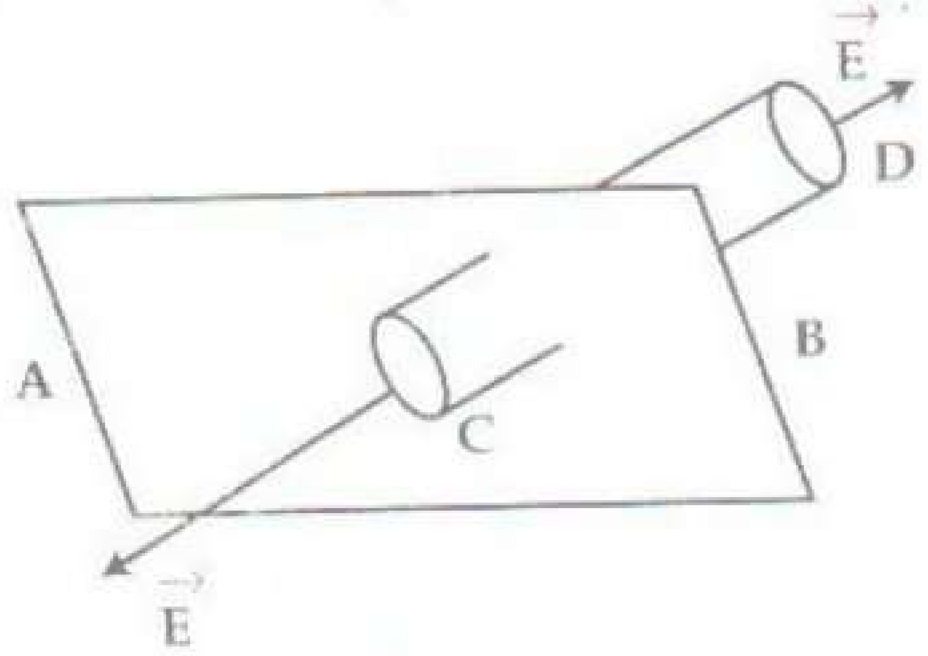
বা, $q = 5.65 \times 10^5 \times \in_0$

$= 5.6 \times 10^5 \times 8.854 \times 10^{-12}$

$= 4.96 \times 10^{-8}\ C$

এখানে,
$\varphi = 5.6 \times 10^5\ Nm^2C^{-1}$
$\in_0 = 8.854 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$
$q = ?$

৪। চার্জিত সমতল পরিবাহীর সন্নিকটে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য : মনে করি, AB একটি চার্জিত সমতল পৃষ্ঠ। এর চার্জের তল ঘনত্ব σ। এই চার্জের দরুন নিকটবর্তী কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র E নির্ণয় করতে হবে।



চিত্র ২.৩৪

সমতল পৃষ্ঠের উভয় দিকে দুটি বিন্দু C ও D বিবেচনা করি এবং এই দুই বিন্দু দিয়ে da প্রস্থচ্ছেদবিশিষ্ট একটি চোঙ কল্পনা করি [চিত্র ২.৩৪]। এখন C বিন্দুতে da ক্ষেত্রের উপর অভিলম্ব আবেশ হবে Eda এবং এটা বহির্মুখী। অনুরূপভাবে D বিন্দুতে da ক্ষেত্রের উপর অভিলম্ব আবেশ Eda এবং এটা বহির্মুখী হবে। আবার চোঙের বক্রপৃষ্ঠে অভিলম্ব আবেশ $\int \vec{E}.d\vec{a} = 0$। অতএব কাল্পনিক চোঙের উপর মোট অভিলম্ব আবেশ $= Eda + Eda = 2Eda$ এবং এর দিক বহির্মুখী। গাউসের সূত্রানুসারে পাই,

$$\oint \vec{E}.d\vec{a} = \frac{q}{\in_0}$$

বা, $Eda + Eda = \frac{\sigma da}{\in_0}$ $\quad [\because q = \sigma da]$

সুতরাং মোট অভিলম্ব আবেশ,

$$2Eda = \frac{\sigma da}{\epsilon_0}$$

বা, $$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \qquad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (2.68)$$

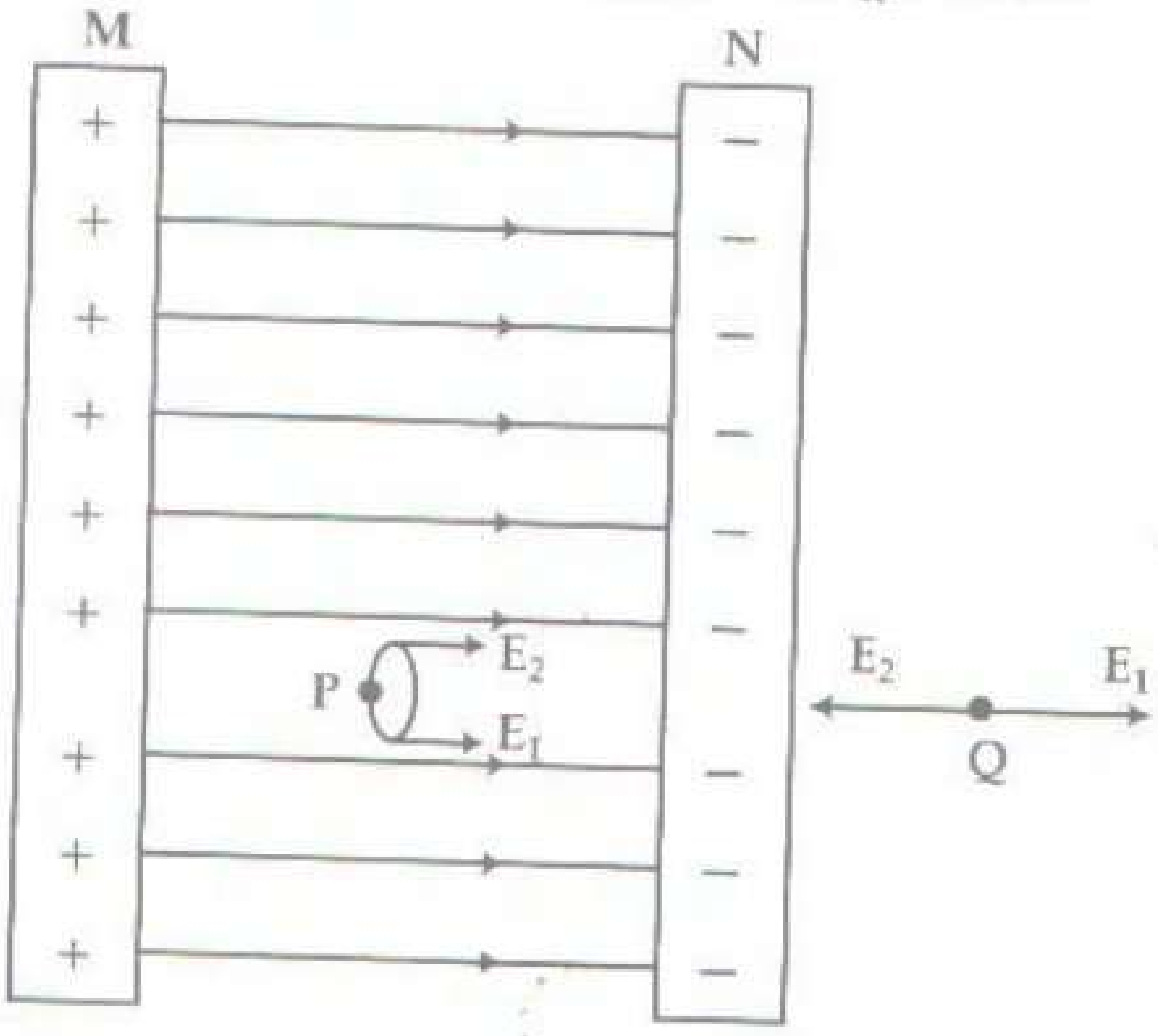
ভেক্টর আকারে লিখে পাই,

$$\therefore \quad \vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}\hat{n}$$

যখন $\hat{n}$ প্রদত্ত সমতলের উপর বহির্মুখী লম্ব একক ভেক্টর। সমীকরণ (2.68) থেকে দেখা যায় যে, চার্জিত সমতলের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্র দূরত্ব নিরপেক্ষ হয়।

৫। দুটি চার্জিত সমান্তরাল পাতের দরুন তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য : ধরা যাক, M ও N দুটি চার্জিত সমান্তরাল পরিবাহী [চিত্র ২.৩৫]। M পাত ধনচার্জে এবং N পাত ঋণচার্জে একই তল ঘনত্বে চার্জিত। এদের উভয়ের চার্জের তল ঘনত্ব σ। পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানে কোনো বিন্দু P-এর তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ নির্ণয় করতে হবে।

এখন M পাতের জন্য P বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের মান হবে $E_1 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ এবং এর দিক হবে MN বরাবর। আবার N পাতের জন্য P বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের মান $E_2 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ হবে এবং N পাত ঋণচার্জে চার্জিত বলে E_2-এর দিক MN বরাবর হবে। অতএব, P বিন্দুতে মোট তড়িৎ ক্ষেত্রের মান হবে,



চিত্র ২.৩৫

$$E = E_1 + E_2 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

$$\therefore \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \qquad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (2.69)$$

তড়িৎ ক্ষেত্রের দিক হবে M পাত হতে N পাতের দিকে অর্থাৎ ধনচার্জ হতে ঋণচার্জের দিকে।

পাতদ্বয়ের বাইরে কোনো বিন্দু Q-তে M ও N পাতের দরুন তড়িৎ ক্ষেত্রের মান যথাক্রমে $E_1 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ এবং $E_2 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$ হবে। কিন্তু এরা পরস্পর বিপরীত দিকে ক্রিয়া করায় লব্ধি ক্ষেত্র শূন্য হবে। এর অর্থ হলো পাতদ্বয়ের বাইরে কোনো তড়িৎ ক্ষেত্র থাকবে না।

২.১০ কুলম্বের সূত্রের সীমাবদ্ধতা
Limitation of Coulomb's Law

১। কুলম্বের সূত্র কেবলমাত্র বিন্দু চার্জের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য অনিয়মিত আকৃতির চার্জিত বস্তুর ক্ষেত্রে এ সূত্র প্রয়োগ করা যায় না। কেননা ঐ সমস্ত বস্তুর কেন্দ্র সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায় না।

২। চার্জযুক্ত বস্তু যাদের আকৃতি এদের মধ্যকার দূরত্বের চেয়ে অনেক ছোট, সেই সমস্ত চার্জিত বস্তুর ক্ষেত্রে কুলম্বের সূত্র প্রযোজ্য। চার্জিত বস্তু বড় হলে তড়িৎ বলের উপর মহাকর্ষ বলের প্রভাব পড়বে।

৩। কুলম্বের সূত্র স্থির চার্জ বা চার্জ বিন্যাসের জন্য প্রযোজ্য। গতিশীল চার্জের ক্ষেত্রে সঠিকভাবে প্রয়োগ করা যায় না।

* দুটি চার্জের পারস্পরিক বলের সাথে তুলনা এবং মহাকর্ষের অনুরূপ রাশিমালার সাদৃশ্য পাওয়া যায়

৪। যখন চার্জিত কণাসমূহের বেগ আলোর বেগের কাছাকাছি হয়, তখন ঐ কণাসমূহের মধ্যে বিদ্যমান পারস্পরিক তড়িৎ চুম্বকীয় মিথস্ক্রিয়া কুলম্বের সূত্র দ্বারা ব্যাখ্যা করা সম্ভব নয়।

৫। সদৃশ চার্জ (যেমন গোলাকার চার্জ) বিন্যাসের ক্ষেত্রে কুলম্বের সূত্র প্রয়োগ করা দুরূহ।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

$$W = mg \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

$$E = \frac{W}{q} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

$$F = Eq \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

$$V = \frac{W}{q} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2} \text{ বা, } \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{q}{\epsilon_0 A} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{q}{A} = \frac{q}{4\pi r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

$$P = q \times 2l \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9)$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{2P}{r^3} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10)$$

$$C = \frac{Q}{V} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (11)$$

$$K = \frac{F_0}{F} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (12)$$

$$E_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{2M}{r^3} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (13)$$

$$C = 4\pi\epsilon_0 kr \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (13)$$

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (14)$$

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots\ldots\ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (15)$$

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots\cdots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (16)$$

$$P.E. = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}Q \times V = \frac{B^2}{2C} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (17)$$

$$U = \frac{1}{2} \in E^2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (18)$$

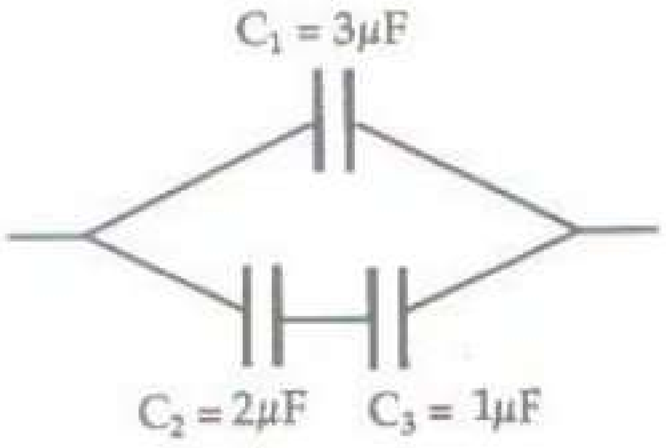
$$E = \frac{V}{d},\ W = VQ,\ E = \frac{-dV}{dr} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (19)$$

$$E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

$$= \frac{1}{\epsilon_0} q \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (20)$$

উচ্চতর দক্ষতাসম্পন্ন নমুনা গাণিতিক উদাহরণ

১। সজীব একটি ইলেকট্রিক সার্কিটে তিনটি ধারক $3\mu F$, $2\mu F$ এবং $1\mu F$ ব্যবহার করে ধারকগুলোকে পার্শ্বের চিত্রের অনুরূপ যুক্ত করেছিল।



(ক) উদ্দীপকে উল্লেখিত ব্যবস্থাটির তুল্য ধারকত্ব কত ?

(খ) উক্ত ধারকগুলিকে কীভাবে ব্যবহার করলে কমপক্ষে $4\mu F$ ধারকত্ব পাওয়া যাবে, তা গাণিতিক বিশ্লেষণ করে ব্যাখ্যা কর।

(ক) ধরি, $C_1 = 3\,\mu F$
$C_2 = 2\,\mu F$
$C_3 = 1\,\mu F$

যেহেতু C_2 এবং C_3 শ্রেণিবদ্ধভাবে যুক্ত কাজেই এদের তুল্য ধারকত্ব

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{2} + \frac{1}{1} = \frac{1+2}{2} = \frac{3}{2}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{C_s} = \frac{3}{2}$$

$$\therefore \quad C_s = \frac{2}{3}\,\mu F$$

এখন এই C_s পুনরায় $3\mu F$ এর সাথে সমান্তরালে যুক্ত কাজেই তুল্য ধারকত্ব

$$C_s = \frac{2}{3} + 3 = \frac{2+9}{3} = \frac{11}{3}\,\mu F$$

(খ) শ্রেণিতে 3টি ধারকের তুল্য ধারকত্ব

$$\frac{1}{C_p} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{3} + \frac{1}{2} + \frac{1}{1} = \frac{2+3+6}{6} = \frac{11}{6}$$

$$\therefore C_p = \frac{6}{11}\,\mu F$$

সমান্তরালে তুল্য ধারকত্ব $C_p = C_1 + C_2 + C_3 = 3 + 2 + 1 = 6\,\mu F$

$6\mu F > \frac{6}{11}\,\mu F$, গাণিতিক বিশ্লেষণ করে দেখা যায় ধারক 3টিকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করতে হবে।

২। নোহার নিকট তামার দুই জোড়া পাতলা পাত আছে। এক জোড়ার ক্ষেত্রফল অপর জোড়ার অর্ধেক। সে দুটি পাতের মধ্যে বায়ু রেখে প্রত্যেক জোড়া পাত দিয়ে সমান্তরাল ধারক তৈরি করল। রীমা বলল, পাতগুলো যেভাবেই বসানো হোক না কেন ধারক দুটির ধারকত্ব কখনই সমান হবে না। প্রথম ধারকের প্রত্যেক পাতের ক্ষেত্রফল $8\ cm^2$. [দি. বো. ২০১৫]

(ক) প্রথম ধারকে 40C চার্জ দেওয়া হলে পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী স্থানে তড়িৎ প্রাবল্য কত হবে ?

(খ) নোহা ধারকের পাতগুলি কীভাবে স্থাপন করলে রীমার উক্তিটি সঠিক হবে ?

(ক) আমরা জানি,

প্রাবল্য, $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$

$$\therefore \quad E = \frac{5 \times 10^{-4}\ cm^{-2}}{8.854 \times 10{-}12\ C^2N^{-1}m^{-2}} = 5.647 \times 10^{15}\ CN^{-1}$$

এখানে,

$$\sigma = \frac{q}{A} = \frac{40\ C}{8 \times 10^{-4}\ m^2} = 5 \times 10^{-4}\ cm^{-2}$$

(খ) প্রথম ধারকের ক্ষেত্রফল A_1 এবং দ্বিতীয় ধারকের ক্ষেত্রফল $A_2 = \frac{A_1}{2}$

প্রথম ধারকের ধারকত্ব, $C_1 = \frac{\epsilon_0 A_1}{d_1}$, দ্বিতীয় ধারকের ধারকত্ব, $C_2 = \frac{\epsilon_0 A_2}{d_2}$

ধারক দুটির ধারকত্ব সমান হলে, $C_1 = C_2$ হবে।

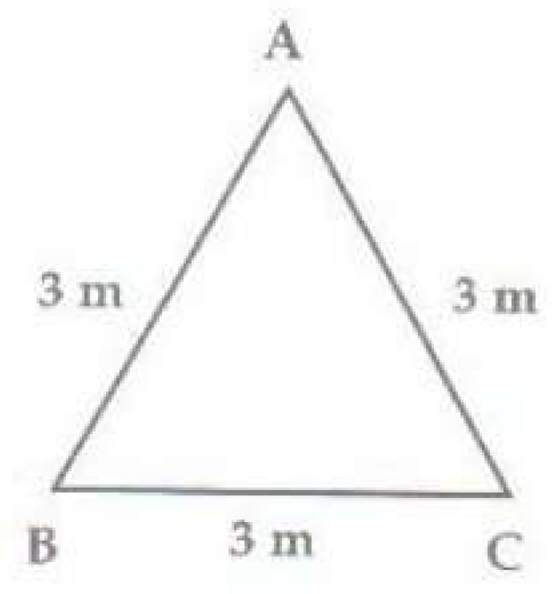
$$\frac{\epsilon_0 A_1}{d_1} = \frac{\epsilon_0 A_2}{d_2}$$

বা, $\frac{d_1}{d_2} = \frac{A_2}{A_1}$ বা, $\frac{A_1/L}{A_1} = \frac{1}{2}$

$$\therefore \quad d_2 = \frac{d_1}{2}$$

সুতরাং যে ধারকের ক্ষেত্রফল কম, সে ধারকের ক্ষেত্রে পাতদ্বয়ের দূরত্ব অপর ধারকের তুলনায় অর্ধেক হলে ধারকদ্বয়ের ধারকত্ব সমান হবে এবং রীমার উক্তিটি সঠিক হবে।

৩। প্রথমে ত্রিভুজের A বিন্দুতে 250 কুলম্ব চার্জ রাখা হলো। পরবর্তীতে B বিন্দুতে —250 কুলম্ব চার্জ রাখা হলো।



(ক) প্রথম ক্ষেত্রে C বিন্দুতে বিভব কত হবে ?

(খ) B বিন্দুতে চার্জ রাখার পূর্বে ও পরে C বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের কীরূপ পরিবর্তন হবে —গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(ক) প্রথম ক্ষেত্রে C বিন্দুর বিভব

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r} = 9 \times 10^9 \times \frac{250}{3} = 7{\cdot}5 \times 10^{11}\ \text{V}$$

(খ) B বিন্দুতে চার্জ রাখার পূর্বে C বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{250}{(3)^2} = 2{\cdot}5 \times 10^{11}\ \text{NC}^{-1}$$

B বিন্দুতে চার্জ রাখার পর C বিন্দুর প্রাবল্য,

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{-250}{(3)^2} = -2{\cdot}5 \times 10^{11}\ \text{NC}^{-1}$$ (— চিহ্ন আকর্ষণধর্মী বুঝায়)

E_1 ও E_2 এর মধ্যবর্তী কোণ $\theta = 180° - 60° = 120°$

B বিন্দুতে চার্জ রাখার পর C বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য,

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos 120°}$$

$$= 2{\cdot}5 \times 10^{11}\sqrt{1 + 1 + 2 \times \left(-\frac{1}{2}\right)} = 2{\cdot}5 \times 10^{11}\ \text{NC}^{-1}$$

বি.দ্র. C বিন্দুতে প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর।

A বিন্দুর চার্জের জন্য C বিন্দুর প্রাবল্য, $E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{250}{(3)^2}$

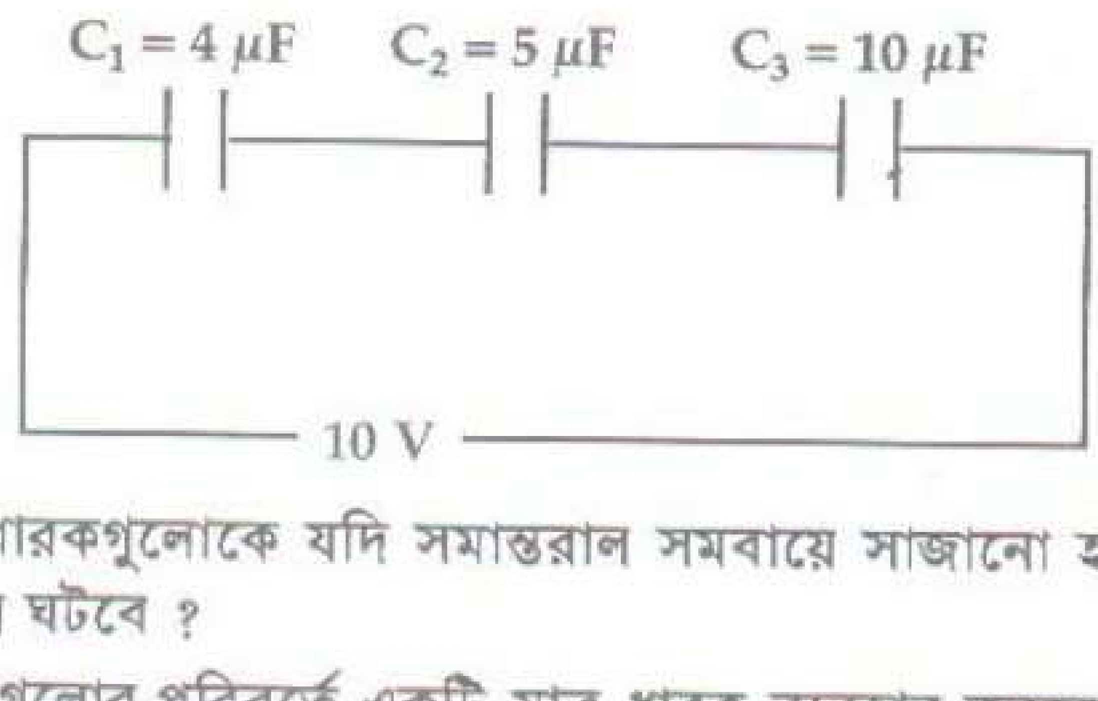
B বিন্দুর চার্জের জন্য C বিন্দুর প্রাবল্য, $E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{250}{(3)^2}$

E_1 ও E_2 এর মধ্যবর্তী কোণ, $\theta = 60°$

$\therefore$ C বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos\theta}\ \text{NC}^{-1}$

দিক : C বিন্দুতে প্রাবল্যের দিক C হতে AB এর ওপর লম্বের বিপরীত দিকে।

৪।



(ক) উদ্দীপকে উল্লেখিত ধারকগুলোকে যদি সমান্তরাল সমবায়ে সাজানো হয় তাহলে শ্রেণি সমবায়ে সঞ্চিত তুল্য ধারকত্বের সাথে কী পরিবর্তন ঘটবে ?

(খ) উদ্দীপকে বর্ণিত ধারকগুলোর পরিবর্তে একটি মাত্র ধারক ব্যবহার করলে নতুন ধারকে সঞ্চিত বিভব শক্তি ধারকগুলোতে সঞ্চিত বিভব শক্তির সমষ্টির সাথে কিরূপ পরিবর্তন হবে ? —গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(ক) শ্রেণি সমবায়ে তুল্য ধারকত্ব,

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{4} + \frac{1}{5} + \frac{1}{10} = \frac{5 + 4 + 2}{20} = \frac{11}{20}$$

$$\therefore C_s = \frac{20}{11} = 1{\cdot}8\ \mu\text{F} = 1{\cdot}8 \times 10^{-6}\ \text{F}$$

সমান্তরাল সমবায়ে তুল্য ধারকত্ব $C_p = C_1 + C_2 + C_3 = 4 + 5 + 10 = 19\ \mu F = 19 \times 10^{-6}\ F$

$\therefore$ সমান্তরাল সমবায়ে সাজালে তুল্য ধারকত্ব শ্রেণি সমবায়ে সজ্জিত তুল্য ধারকত্বের 10·55 গুণ হবে। চার্জের মান Q ধরলে, এই চার্জ তুল্য ধারকের যে কোনো পাতের চার্জের সমান হবে।

(খ) ধারকগুলো শ্রেণিতে যুক্ত থাকায় প্রতিটি ধারকে চার্জের মান সমান হবে। এই চার্জের মান Q ধরলে, এই চার্জ তুল্য ধারকের যে কোনো পাতের চার্জের সমান হবে।

তুল্য ধারকের ক্ষেত্রে $Q = C_s \times V = \frac{20}{11} \times 10 = 18.18\ \mu C = 18.18 \times 10^{-6}\ C$

প্রথম ধারকে সঞ্চিত বিভব শক্তি, $U_1 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C_1} = \frac{1}{2} \times \frac{(18.18)^2 \times 10^{-12}}{4 \times 10^{-6}} = 4.131 \times 10^{-5}\ J$

দ্বিতীয় ধারকে সঞ্চিত বিভব শক্তি, $U_2 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C_2} = \frac{1}{2} \times \frac{(18.18)^2 \times 10^{-12}}{5 \times 10^{-6}} = 3.305 \times 10^{-5}\ J$

তৃতীয় ধারকে সঞ্চিত বিভব শক্তি, $U_3 = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C_3} = \frac{1}{2} \times \frac{(18.18)^2 \times 10^{-12}}{10 \times 10^{-6}} = 1.653 \times 10^{-5}\ J$

সুতরাং তিনটি ধারকে সঞ্চিত বিভব শক্তির সমষ্টি,

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = (4.131 + 3.305 + 1.653) \times 10^{-5}\ J$$
$$= 9.09 \times 10^{-5}\ J$$

উদ্দীপকে উল্লেখিত 3টি ধারকের পরিবর্তে 1টি মাত্র ধারক ব্যবহার করা হলে সঞ্চিত শক্তি

$$U' = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C_s} = \frac{1}{2}\frac{(18.18 \times 10^{-6})^2}{1.8 \times 10^{-6}} = 9.09 \times 10^{-5}\ J$$

সুতরাং উদ্দীপকে বর্ণিত ধারকগুলোর পরিবর্তে একটি মাত্র ধারক ব্যবহার করলে সঞ্চিত শক্তির কোনো পরিবর্তন হবে না।

৫। A গোলকে 30×10^{-6} C এবং B গোলকে -60×10^{-6} C চার্জ প্রদান করে বায়ু মাধ্যমে 1·4 m দূরে স্থাপন করলে গোলক দুটির বিপরীতধর্মী আধান পরস্পরকে আকর্ষণ করে।

(ক) গোলকদ্বয়ের সংযোগরেখার ঠিক মধ্যস্থলে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকে গোলকের আধানের মান অপরিবর্তিত রেখে এদের মধ্যকার দূরত্ব 100 cm করলে এদের মধ্যবিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের কীরূপ পরিবর্তন হবে ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(ক) গোলকদ্বয়ের সংযোগরেখার ঠিক মধ্যস্থলে লব্ধি তড়িৎ প্রাবল্য,

$$E = E_1 + E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_1}{d^2} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q_2}{d^2}$$
$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0 d^2}[q_1 + q_2] = 9 \times 10^9 \times \frac{1}{(0.7)^2}(30 + 60) \times 10^{-6}$$
$$= 1.65 \times 10^6\ NC^{-1}$$

(খ) উদ্দীপকের গোলক দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 100 cm = 1 m হলে যে কোনো গোলক হতে মধ্যবিন্দুর দূরত্ব,

$$d = \frac{1\ m}{2} = 0.5\ m$$

$\therefore$ 30×10^{-6} C চার্জের জন্য প্রাবল্য, $E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{30 \times 10^{-6}}{(0.5)^2}\ NC^{-1}$

আবার, -60×10^{-6} C চার্জের জন্য প্রাবল্য, $E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{60 \times 10^{-6}}{(0.5)^2}\ NC^{-1}$

লব্ধি প্রাবল্য, $E' = E_1 + E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{1}{(0.5)^2}[30 + 60] \times 10^{-6}\ NC^{-1}$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{1}{2.5} \times 90 \times 10^{-6}$$

$\therefore$ $E' = 3.24 \times 10^6\ NC^{-1}$

যেহেতু $E' > E_1$, কাজেই তড়িৎ প্রাবল্যের মান বৃদ্ধি পাবে।

সার-সংক্ষেপ

কুলম্বের সূত্র : কোনো নির্দিষ্ট মাধ্যমে দুটি বিন্দু চার্জের মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল চার্জ দুটির গুণফলের সমানুপাতিক এবং এদের মধ্যবর্তী দূরত্বের ব্যস্তানুপাতিক। এই বল চার্জ দুটির সংযোজক সরলরেখা বরাবর ক্রিয়া করে।

তড়িৎ বলরেখা : তড়িৎ ক্ষেত্রে বাধামুক্ত এবং বিচ্ছিন্ন কোনো তড়িৎ আধান রাখলে আধানটি যে পথে গমন করে সেই পথকে তড়িৎ বলরেখা বলা হয়। উক্ত রেখার যে কোনো বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক ঐ বিন্দুতে লব্ধি বলের বা প্রাবল্যের দিক নির্দেশ করে।

তড়িৎ ফ্লাক্স : কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রে একটি তল কল্পনা করলে ঐ তলের মধ্যদিয়ে লম্বভাবে অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যাকে তড়িৎ ফ্লাক্স বলে।

গাউসের সূত্র : কোনো বন্ধতলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত মোট তড়িৎ ফ্লাক্স ওই তলের অভ্যন্তরে অবস্থিত মোট তড়িৎ আধানের $\frac{1}{\epsilon_0}$ গুণ।

তড়িৎ দ্বিমেরু : সমপরিমাণ এবং বিপরীতধর্মী দুটি বিন্দু তড়িৎ আধান ক্ষুদ্র দূরত্বের ব্যবধানে যে সংস্থা গঠন করে তাকে তড়িৎ দ্বিমেরু বলা হয়।

দ্বিমেরু ভ্রামক : তড়িৎ দ্বিমেরুর যে কোনো একটি আধানের পরিমাণ ও আধান দুটির মধ্যবর্তী দূরত্বের গুণফল হলো দ্বিমেরু ভ্রামকের পরিমাণ। এর অভিমুখ ঋণাত্মক আধান হতে ধনাত্মক আধানের দিকে।

গাউসীয় তল : যে কোনো বন্ধতল যা পৃষ্ঠ সমাকলনের জন্য নেয়া হয় তাকে গাউসীয় তল বলা হয়। এই তলের প্রতিটি বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের মান সমান এবং তড়িৎ ফ্লাক্স তলের উপর লম্ব হয়।

ইলেকট্রন ভোল্ট : একটি ইলেকট্রনের আধানের সমপরিমাণ আধানবিশিষ্ট কোনো কণা এক ভোল্ট বিভব পার্থক্যের মধ্য দিয়ে গেলে যে পরিমাণ কার্য সম্পাদিত হয়, তাকে এক ইলেকট্রন ভোল্ট বলা হয়।

বিভব পার্থক্য : একটি একক ধনাত্মক আধানকে তড়িৎ ক্ষেত্রের এক বিন্দু থেকে অপর বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কাজ করতে হয়, তা ওই বিন্দু দুটির মধ্যের বিভব পার্থক্য।

ডাইইলেকট্রিক : যে সমস্ত পদার্থের মধ্যে মুক্ত ইলেকট্রন থাকে না এবং এদের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হয় না; কিন্তু তড়িৎ ক্ষেত্রে স্থাপন করলে পৃষ্ঠতলে আবিষ্ট আধানের সৃষ্টি হয়, তাদেরকে ডাইইলেকট্রিক বা পরাবিদ্যুৎ বলে।

ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবক : দুটি নির্দিষ্ট বিন্দু চার্জ একই দূরত্বে থাকলে শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে তাদের মধ্যে ক্রিয়াশীল বল এবং একই দূরত্বের অন্য কোনো মাধ্যমে তাদের মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের অনুপাতকে ডাই ইলেকট্রিক বা পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বলে।

1 ফ্যারাড : কোনো পরিবাহীর বিভব এক ভোল্ট বৃদ্ধি করতে যদি 1 কুলম্ব চার্জের প্রয়োজন হয়, তবে তার ধারকত্বকে 1 ফ্যারাড বলে।

1 কুলম্ব চার্জ : দুটি সমধর্মী এবং সম-পরিমাণ বিন্দু চার্জ শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে 1 মিটার দূরে থেকে 9×10^9 নিউটন বল দ্বারা বিকর্ষণ করলে তাদের প্রত্যেককে 1 কুলম্ব চার্জ বলে।

তড়িৎ ক্ষেত্র : কোনো একটি চার্জিত বস্তু তার চারদিকে যে অঞ্চল ব্যাপী তার প্রভাব বিস্তার করে তাকে ঐ চার্জের তড়িৎ ক্ষেত্র বলে।

তড়িৎ প্রাবল্য : তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে একটি একক ধন চার্জের উপর যে পরিমাণ বল প্রযুক্ত হয় তাকে উক্ত ক্ষেত্রের ঐ বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য বলে। এটা একটি দিক রাশি।

তড়িৎ বিভব : অসীম দূরত্ব হতে একক ধন চার্জকে তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে আনতে যে পরিমাণ কাজ সাধিত হয়, তাকে ঐ বিন্দুর তড়িৎ বিভব বলে। এটা একটি অদিক রাশি।

সমবিভব তল : যে চার্জিত তলের প্রতিটি বিন্দুর বিভব সমান তাকে সমবিভব তল বলে।

ধারকত্ব : কোনো একটি পরিবাহীর বিভব একক পরিমাণ বৃদ্ধিতে প্রয়োজনীয় চার্জের পরিমাণকে তার ধারকত্ব বলে। একে C দ্বারা ব্যক্ত করা হয়।

তুল্য ধারকত্ব : একাধিক ধারকের শ্রেণি বা সমান্তরাল সংযোজনের পরিবর্তে সংযোজনের সমতুল্য মানের একটি ধারকের ধারকত্বকে তুল্য ধারকত্ব বলে।

ধারক : যে যান্ত্রিক প্রক্রিয়ায় কোনো একটি পরিবাহীর ধারকত্ব বৃদ্ধি করা যায়, তাকে ধারক বলে বা পরিবাহীতে চার্জ সঞ্চিত রাখার যান্ত্রিক প্রক্রিয়াকে ধারক বলে।

ধারকের সংযোজন : সুবিধামতো ধারকত্ব লাভের জন্য ধারকগুলোকে দুই ভাবে সংযোজন করা যায়; যথা— (১) শ্রেণি বা সারিবদ্ধ সংযোজন ও (২) সমান্তরাল সংযোজন।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সারসংক্ষেপ

১। কোনো তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য 5.57×10^{-11} NC^{-1} হলে সেখানে একটি ইলেকট্রন তার ওজনের সমান বল অনুভব করবে।

২। চার্জিত গোলাকার পরিবাহী কর্তৃক সৃষ্ট সমবিভব তলগুলো তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্যের সাথে সমকোণী হয় এবং একই মানের বিভব সম্পন্ন বহুসংখ্যক বিন্দু দিয়ে গঠিত।

৩। দুটি চার্জিত বস্তুর একটি হতে অপরটিতে চার্জের আদান-প্রদান বস্তু দুটির বিভবের ওপর এবং মধ্যে মুক্ত ইলেকট্রনের ঘনত্বের ওপর নির্ভর করে।

৪। গোলকের ভেতরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য শূন্য হয়। আবার পৃথিবীর বিভব শূন্য ধরা হয়।

৫। তড়িৎ বলরেখা চার্জিত পরিবাহীর পৃষ্ঠের সাথে $90°$ কোণে অবস্থান করে।

৬। সমবিভব তলে কোনো চার্জ প্রবাহিত হয় না।

৭। তড়িৎ বিভব ও তড়িৎ প্রাবল্য পরস্পর সমানুপাতিক।

৮। দূরত্বের সাথে তড়িৎ বিভব হ্রাস পায়।

৯। তড়িৎ ক্ষেত্র এবং তলের অভিলম্ব যখন সমকোণে থাকে তখন ফ্লাক্স শূন্য হয়।

১০। কোনো বস্তুতে মোট চার্জ $q = n$C।

১১। প্রকৃতিতে ন্যূনতম চার্জের পরিমাণ 1.60218×10^{-19} C।

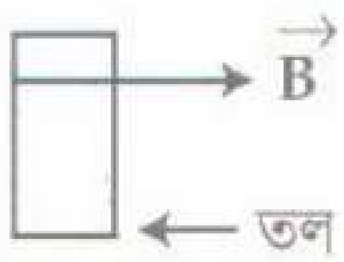
১২। তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক একটি ভেক্টর রাশি।

১৩। শূন্য মাধ্যমে পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের মান 1।

১৪। $1\mu F = 10^{-6}$ F, $1\ nF = 10^{-9}$ F, $1\ pf = 10^{-12}$ F।

১৫। কোনো পরিবাহীর ধারকত্ব এবং ব্যাসার্ধের অনুপাতকে 4π দ্বারা ভাগ করলে বৈদ্যুতিক ভেদনযোগ্যতা পাওয়া যায়।

১৬। আপেক্ষিক ভেদনযোগ্যতা সবচেয়ে বেশি প্লাস্টিকের।

১৭। 

এই ক্ষেত্রে ফ্লাক্স সর্বাধিক।

১৮। সবচেয়ে বেশি চার্জ থাকে চার্জিত বস্তুর উত্তল তলে।

১৯। তড়িৎ দ্বিমেরু লম্ব দ্বিখণ্ডক রেখার যে কোনো বিন্দুতে বিভব শূন্য।

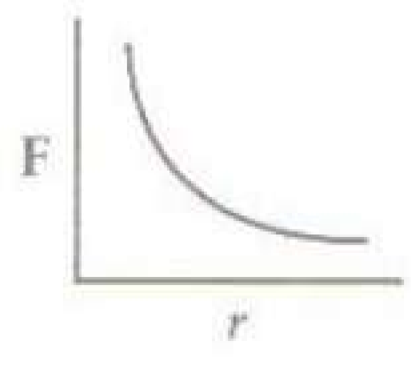
২০। $\vec{P}$ ভ্রামকবিশিষ্ট একটি তড়িৎ দ্বিমেরু $\vec{E}$ প্রাবল্যের একটি সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রে ঝুলানো আছে। এর উপর প্রযুক্ত টর্ক, $\vec{P} \times \vec{E}$ ।

২১। ইলেকট্রন ভোল্ট হলো বৈদ্যুতিক ক্ষমতার একক।

২২। দুটি সমান ধারকত্বকে শ্রেণিতে এবং পরে সমান্তরালে যুক্ত করা হলে শ্রেণি ও সমান্তরাল তুল্য ধারকত্বের অনুপাত হবে $1 : 4$।

২৩। তড়িৎ ক্ষেত্রের মান নির্ণয় করা যায়—অ্যাম্পিয়ারের এবং গাউসের সূত্র থেকে।

২৪। দুটি ইলেকট্রনকে পরস্পর থেকে দূরে সরিয়ে নিলে দূরত্বের সাথে বলের পরিবর্তনের লেখচিত্র হবে—



২৫। দুটি চার্জের মধ্যবর্তী দূরত্ব তিনগুণ করা হলে বল $\frac{1}{9}$ গুণ হবে।

২৬। আধান ও বিভবের গুণফলের একক জুল।

২৭। বিভব পার্থক্য স্থির থাকলে, একটি চার্জিত ধারকের শক্তি তার চার্জের সমানুপাতিক।

২৮। বিন্দু আধানের জন্য তড়িৎ বিভব দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

২৯। ধারকত্ব দ্বিগুণ হবে যখন দুটি পাতের মধ্যবর্তী দূরত্ব অর্ধেক করা হয়।

৩০। যে আধানের প্রভাবে তড়িৎ আবেশ ঘটে তাকে আবেশী আধান বলে।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। দুটি আধানের মধ্যবর্তী দূরত্ব তিনগুণ করা হলে বল কতগুণ হবে ?

ⓚ $\frac{1}{9}$

ⓛ 9

ⓜ $\frac{1}{3}$

ⓝ 3

২। কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র—

(i) নিরবচ্ছিন্ন, যদি ওই বিন্দুতে কোনো আধান না থাকে

(ii) বিচ্ছিন্ন, যদি ওই বিন্দুতে কেবলমাত্র কোনো ধনাত্মক আধান থাকে

(iii) বিচ্ছিন্ন, যদি ওই বিন্দুতে কোনো আধান থাকে

নিচের কোনটি সঠিক ?

ⓚ i ও ii

ⓛ i ও iii

ⓜ ii ও iii

ⓝ i, ii ও iii

৩। কোনো তলের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট তড়িৎ ফ্লাক্স সর্বাধিক হয় যদি ওই তলের অভিলম্বের সাথে বলরেখার কোণ হয়—

ⓚ 0°

ⓛ 45°

ⓜ 90°

ⓝ 135°

৪। সুষমভাবে আহিত ফাঁপা গোলকের জন্য তার কেন্দ্র থেকে r দূরত্বে ($r > R$) তড়িৎ প্রাবল্য হলো—

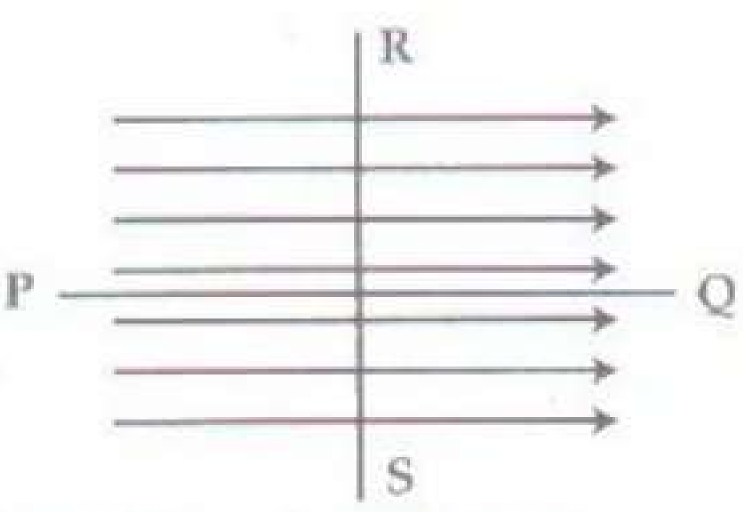
ⓚ $E \propto r$

ⓛ $E \propto \frac{1}{r}$

ⓜ $E \propto \frac{1}{r^2}$

ⓝ $E \propto r^2$

৫।



চিত্র অনুযায়ী সমবিভব বিন্দুগুলি হলো—

ⓚ P এবং Q

ⓛ S এবং Q

ⓜ S এবং R

ⓝ P এবং R

৬। আধানের কোয়ান্টায়নের ক্ষেত্রে কোনটি সত্য—

(i) কোনো বস্তুতে আধানের মান নিরবিচ্ছিন্ন মানের

(ii) কোনো বস্তুতে মোট আধানের পরিমাণ ইলেকট্রনের আধানের গুণিতক হবে

(iii) কোনো বস্তুতে আধান বিচ্ছিন্ন মানের

নিচের কোনটি সঠিক ?

ⓚ i ও ii

ⓛ ii ও iii

ⓜ i ও iii

ⓝ i, ii ও iii

৭। যখন একটি বস্তুর সঙ্গে পৃথিবীর সংযোগ ঘটানো হয় তখন পৃথিবী থেকে বস্তুটিতে ইলেকট্রন যায়। এর অর্থ হলো বস্তুটি—

ⓚ ঋণাত্মক আধানে আহিত

ⓛ অন্তরক

ⓜ অনাহিত

ⓝ ধনাত্মক আধানে আহিত

৮। তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক—

(i) একটি ভেক্টর রাশি

(ii) অভিমুখ ঋণাত্মক আধান হতে ধনাত্মক আধানের দিকে

(iii) এর একক cm^2

নিচের কোনটি সঠিক ?

ⓚ i ও ii

ⓛ ii ও iii

ⓜ i ও iii

ⓝ i, ii ও iii

৯। একটি অর্ধগোলক সুষমভাবে ধনাত্মক আধানে আহিত। অর্ধগোলকটির কেন্দ্রে তড়িৎ প্রাবল্য হলো-

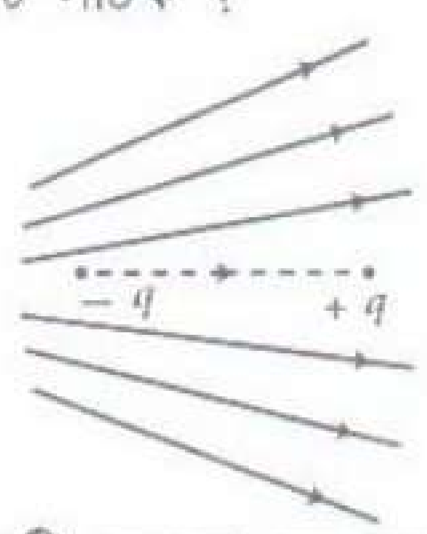
ⓚ ব্যাসের উপর লম্ব

ⓛ ব্যাসের সঙ্গে সমান্তরাল

ⓜ ব্যাসের সঙ্গে তির্যকভাবে আনত এবং অর্ধ গোলক অভিমুখী

ⓝ ব্যাসের সঙ্গে তির্যকভাবে আনত এবং অর্ধ গোলক থেকে বাইরের দিকে

১০। চিত্রে একটি তড়িৎ ক্ষেত্রের বলরেখা দেখানো হয়েছে। ওই ক্ষেত্রে একটি দ্বিমেরু রাখা হয়েছে। নিচের কোনটি সঠিক ?



ⓚ দ্বিমেরুটি কোনো বল অনুভব করবে না

ⓛ দ্বিমেরুটি ডানদিকে একটি বল অনুভব করবে

ⓜ দ্বিমেরুটি বামদিকে বল অনুভব করবে

ⓝ দ্বিমেরুটি উপরের দিকে বল অনুভব করবে

১১। যদি কোনো তলে $\oint \vec{E}.d\vec{S} = 0$ হয়, তবে

(i) ওই তলের ভেতরে তড়িৎক্ষেত্র সুষম

(ii) ওই তলে যতগুলি তড়িৎ ফ্লাক্স প্রবেশ করে, ঠিক ততগুলি তড়িৎ ফ্লাক্স নির্গত হয়

(iii) সমস্ত আধানগুলি তলের বাইরে অবস্থিত

নিচের কোনটি সঠিক ?

ⓐ i ও ii
ⓑ i ও iii
ⓒ ii ও iii
ⓓ i, ii ও iii

১২। একটি আধান Q-কে কেন্দ্র করে R ব্যাসার্ধের একটি গোলীয় গাউসীয় তল কল্পনা করা হলো। ব্যাসার্ধ দ্বিগুণ করা হলে বহির্মুখী তড়িৎ ফ্লাক্স—

ⓐ চারগুণ বৃদ্ধি পাবে
ⓑ অর্ধেক হবে
ⓒ একই থাকবে
ⓓ দ্বিগুণ হবে

১৩। ধারকের ক্ষেত্রে কোনটি সঠিক ?

ⓐ $W = \frac{1}{2}\frac{Q}{C}$
ⓑ $W = \frac{1}{2}CI^2$
ⓒ $W = \frac{1}{2}VC^2$
ⓓ $W = \frac{1}{2}CV^2$

১৪। সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্ব নির্ভর করে—

(i) পাতের ক্ষেত্রফলের ওপর

(ii) পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্বের ওপর

(iii) পাতের উপাদানের ওপর

নিচের কোনটি সঠিক ?

ⓐ i ও ii
ⓑ ii ও iii
ⓒ i ও iii
ⓓ i, ii ও iii

চিত্রটি লক্ষ কর এবং ১৫ ও ১৬নং প্রশ্নের উত্তর দাও :

১৫। বর্তনীর তুল্য ধারকত্ব—

ⓐ 3·66 μF
ⓑ 6 μF
ⓒ 6·67 μF
ⓓ $\frac{2}{3}$ μF

১৬। সবগুলো ধারককে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে তুল্য ধারকত্ব হবে—

ⓐ 3·66 μF
ⓑ 6 μF
ⓒ 10 μF
ⓓ 0

১৭। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্রতিটি পাতের ক্ষেত্রফল 0·04 m^2। পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·002 m এবং বিভব পার্থক্য 60V। ধারকের একক আয়তনে সঞ্চিত বিভব শক্তি কত জুল ? [দি. বো. ২০১৫]

ⓐ $3·18 \times 10^{-7}$
ⓑ 251·57
ⓒ 0·004
ⓓ 2·52

১৮। ধারকত্ব দ্বিগুণ হবে যখন—

ⓐ দুটি পাতের মধ্যবর্তী দূরত্ব অর্ধেক করা হয়
ⓑ দুটি পাতের ক্ষেত্রফল চারগুণ করা হয়
ⓒ পাতদ্বয়ের ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবকের মান অর্ধেক করা হয়
ⓓ দুটি পাতের ক্ষেত্রফল অর্ধেক করা হয়

১৯। একটি সমান্তরাল পাত ধারককে চার্জিত করার ফলে এর পাত দুইটির মধ্যে বিভব পার্থক্য হয় V। ধারকটির সঞ্চিত শক্তি দ্বিগুণ করার জন্য বিভব পার্থক্য কত হবে ?

ⓐ $\frac{1}{4}V$
ⓑ $\frac{1}{2}V$
ⓒ $\sqrt{2}\,V$
ⓓ 2 V

২০। সমান্তরাল পাত ধারকের দুই পাতের মধ্যে ডাই-ইলেকট্রিক দ্বারা পূর্ণ করায় ধারকত্ব 5μF থেকে বেড়ে 60μF হয়। ডাইইলেকট্রিকের ডাই-ইলেকট্রিক (পরাবৈদ্যুতিক) ধ্রুবকের মান হবে—

ⓐ 65
ⓑ 55
ⓒ 12
ⓓ 10

২১। পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকের একক হলো—

(i) $C^2N^{-1}m^{-2}$

(ii) Nkg^2m^2

(iii) Fm^{-1}

নিচের কোনটি সঠিক ?

ⓐ i ও ii
ⓑ ii ও iii
ⓒ i ও iii
ⓓ i, ii ও iii

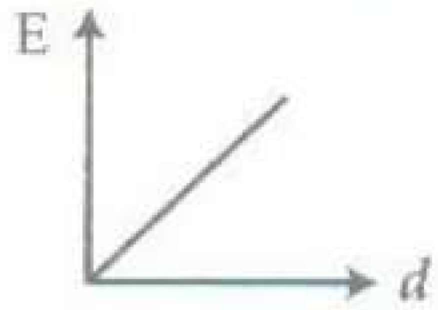
২২। একটি সমান্তরাল পাত ধারককে আহিত করার পর ব্যাটারি থেকে বিযুক্ত করা হলো, যদি ধারকের পাত দুটি একটি অন্তরক হাতল দ্বারা দূরে সরানো হয় তবে—

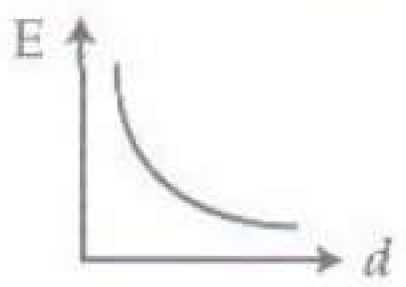
ⓐ ধারকের আধান বৃদ্ধি পাবে
ⓑ পাত দুটির বিভব পার্থক্য বৃদ্ধি পাবে
ⓒ ধারকত্ব বৃদ্ধি পাবে
ⓓ ধারকে সঞ্চিত শক্তি হ্রাস পাবে

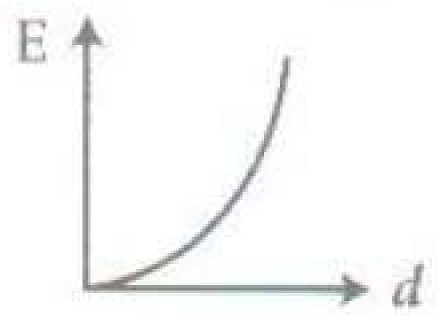
২৩। তিনটি একই ধরনের ধারক প্রত্যেকটির মান C শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হলো এবং সমবায়টিকে অপর একটি একই ধরনের ধারকের সঙ্গে সমান্তরালভাবে যুক্ত করা হলো। সমগ্র সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব—

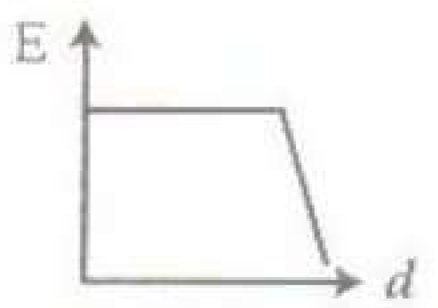
- ক 3C
- খ $\frac{4}{3}$C
- গ $\frac{3}{4}$C
- ঘ 2C

২৪। নিচের কোন লেখচিত্রটি তড়িৎ প্রাবল্য এবং দূরত্বের মধ্যে সম্পর্ক নির্দেশ করে ?

ক 

খ 

গ 

ঘ 

২৫। ইলেকট্রন ভোল্ট (1 eV) হলো—

- ক 1.6×10^{-9} J
- খ 1.6×10^{9} J
- গ 1.6×10^{-19} J
- ঘ 1.6×10^{19} J

২৬। বিভব পার্থক্য স্থির থাকলে একটি চার্জের ধারকের শক্তি তার চার্জের— [চ. বো. ২০১৫; কু. বো. ২০১৫]

- ক ব্যস্তানুপাতিক
- খ সমানুপাতিক
- গ বর্গের ব্যস্তানুপাতিক
- ঘ বর্গমূলের সমানুপাতিক

২৭। একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর চার্জ দুটির পরিমাণ কত হবে? [চ. বো. ২০১৫]

- ক 2×10^{-19} C ও 8×10^{-19} C
- খ 6×10^{-19} C ও 4×10^{19} C
- গ 5×10^{-19} C ও -5×10^{-19} C
- ঘ 3×10^{-19} C ও 7×10^{-19} C

২৮। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের প্রতিটি পাতের ক্ষেত্রফল $0.04\ m^2$। পাতদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0.002 m এবং বিভব পার্থক্য 60 V। ধারকের একক আয়তনে সঞ্চিত বিভব শক্তি কত জুল ? [দি. বো. ২০১৫]

- ক 1.2×10^{13} V
- খ 3.6×10^{13} V
- গ 8×10^{13} V
- ঘ 7.2×10^{14} V

২৯। একটি দ্বিপোলের জন্য তড়িৎ প্রাবল্য কীরূপে পরিবর্তিত হয় ? [সি. বো. ২০১৫]

- ক r^{-1}
- খ r^{-2}
- গ r^{-3}
- ঘ r^{-4}

৩০। আধান ও বিভবের গুণফলের একক কী ? [সি. বো. ২০১৫]

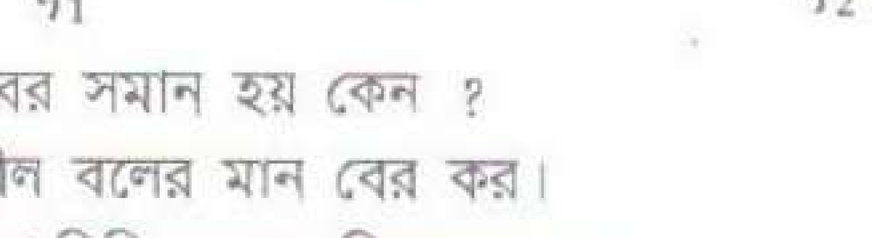
- ক জুল
- খ ভোল্ট
- গ ফ্যারাড
- ঘ হেনরি

উত্তর :

১। ক	২। খ	৩। ক	৪। গ	৫। গ	৬। খ	৭। ঘ	৮। ক	৯। ক	১০। গ
১১। গ	১২। গ	১৩। ঘ	১৪। ক	১৫। ক	১৬। খ	১৭। গ	১৮। ক	১৯। গ	২০। গ
২১। গ	২২। খ	২৩। খ	২৪। খ	২৫। গ	২৬। খ	২৭। গ	২৮। ক	২৯। গ	৩০। ক

(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১। পাশের চিত্রে q_1 এবং q_2 দুটি বিন্দু চার্জ পরস্পর হতে r দূরত্বে অবস্থিত। এরা পরস্পরের উপর F পরিমাণ বল প্রয়োগ করে। এখানে, $q_1 = q_2 = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $r = 4 \times 10^{-15}$ m।



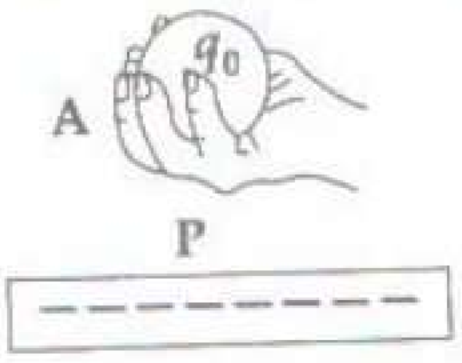
(ক) বিন্দু চার্জ কী ?

(খ) কোনো গোলকের অভ্যন্তরে যে কোনো বিন্দুর বিভব পৃষ্ঠের বিভবের সমান হয় কেন ?

(গ) উদ্দীপকের চিত্রের ডাটা থেকে চার্জদ্বয়ের মধ্যে পারস্পরিক ক্রিয়াশীল বলের মান বের কর।

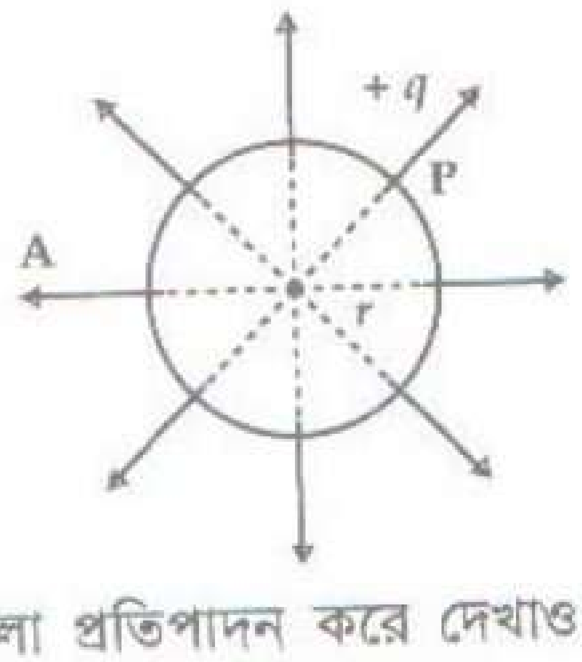
(ঘ) চার্জদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব অর্ধেক হলে ক্রিয়াশীল বলের পরিবর্তন গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

২। মাহিরের হাতে একটি চার্জিত বল $+q_0$ রয়েছে। ঐ চার্জিত বলের কেন্দ্র হতে r দূরত্বে অবস্থিত P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য E। এখানে $+q_0 = 1.6 \times 10^{-8}$ C, $r = 0.15$ m।



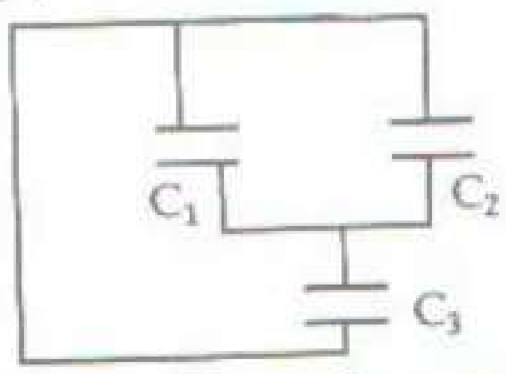
(ক) তড়িৎ ফ্লাক্স কী?
(খ) তড়িৎ ক্ষেত্র বলতে কী বোঝায় ?
(গ) উদ্দীপকের ডাটা ব্যবহার করে মাহির কীভাবে P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের মান নির্ণয় করবে ?
(ঘ) উদ্দীপকের চিত্রের আলোকে P বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের মান তড়িৎ বিভবের সাথে কীভাবে সম্পর্কযুক্ত গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

৩। পাশের চিত্রে A একটি গোলক। এর ব্যাসার্ধ $r = 2$cm। গোলকে $+q = 4 \times 10^{-6}$ coul চার্জ প্রদান করা হলো।



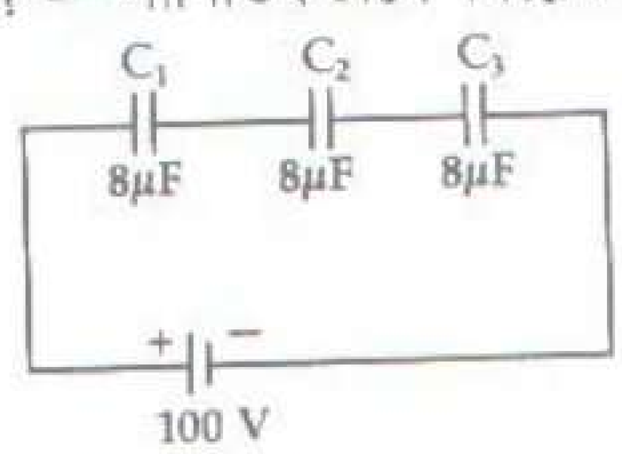
(ক) চার্জ কী ?
(খ) তড়িৎ বিভব ও তড়িৎ প্রাবল্যের মধ্যে গাণিতিক সম্পর্ক নির্ণয় কর।
(গ) উদ্দীপকের চিত্রের আলোকে গোলকের পৃষ্ঠে P বিন্দুতে তড়িৎ বিভব নির্ণয় কর।
(ঘ) উদ্দীপকের চিত্রের সাহায্যে গোলকের পৃষ্ঠে তড়িৎ বিভবের রাশিমালা প্রতিপাদন করে দেখাও যে গোলকের অভ্যন্তরে সর্বত্র বিভব এর পৃষ্ঠের বিভবের সমান—উক্তিটি গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

৪। পাশের চিত্রে তিনটি ধারককে বিভিন্ন সজ্জায় দেখানো হয়েছে। এদের প্রথম ও দ্বিতীয়টি সমান্তরালে রেখে তৃতীয়টির সাথে শ্রেণিতে সংযুক্ত করা হলো। এখানে, $C_1 = 3$mF, $C_2 = 4$mF এবং $C_3 = 2$mF।



(ক) ধারকত্ব কী ?
(খ) তুল্য ধারকত্ব বলতে কী বোঝায় ?
(গ) উদ্দীপকের চিত্র অনুসারে তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর।
(ঘ) উপরের বর্তনী চিত্রে C_1 ও C_2 ধারকদ্বয় শ্রেণি সমন্বয়ে যুক্ত করলে সঞ্চিত শক্তি পূর্বের তুলনায় কত কম বা বেশি হবে ? —গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

৫।



(ক) তড়িৎ দ্বিমেরু কাকে বলে ?
(খ) ধারকত্ব কোন কোন বিষয়ের উপর নির্ভর করে ?
(গ) উদ্দীপকে উল্লিখিত ধারক সমবায়ের জন্য প্রতিটি ধারকে সঞ্চিত চার্জের পরিমাণ কত ?
(ঘ) সর্বাধিক শক্তি সঞ্চয়ের জন্য উপরের সমবায়টি কী যথার্থ ? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে ব্যাখ্যা কর।
[ব. বো. ২০১৫]

(গ) সাধারণ প্রশ্ন

১। কুলম্বের সূত্র বিবৃত কর। এ থেকে একক চার্জের সংজ্ঞা দাও।
২। ক্ষেত্রতত্ত্বটি লিখ।
৩। দুটি বিন্দু আধানের মধ্যে পারস্পরিক বল সংক্রান্ত কুলম্বের সূত্রটি বিবৃত কর।
৪। 1 কুলম্বের সংজ্ঞা দাও।
৫। কোনো মাধ্যমের পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবক বলতে কী বোঝ ?
৬। তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য বলতে কী বোঝ ?
৭। তড়িৎ ক্ষেত্রের সংজ্ঞা দাও।
৮। পরাবিদ্যুৎ কী ?
৯। সুষম তড়িৎ ক্ষেত্র বলতে কী বোঝায় ?
১০। তড়িৎ ফ্লাক্স কাকে বলে ?
১১। কী অবস্থায় তড়িৎ ফ্লাক্স ধনাত্মক ও ঋণাত্মক হয় ?
১২। তড়িৎ ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে বিভবের সংজ্ঞা দাও।

১৩। একটি স্থির আধানের জন্য যে কোনো বিন্দুতে উৎপন্ন তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর।
১৪। একটি বিন্দু আধান $+q$ থেকে r দূরত্বে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।
১৫। SI-তে তড়িৎ প্রাবল্যের একক N/C-কে $\frac{V}{m}$ এককে প্রকাশ কর।
১৬। তড়িৎ বলরেখার সংজ্ঞা দাও।
১৭। দুটি তড়িৎ বলরেখা পরস্পরকে ছেদ করে না—ব্যাখ্যা কর।
১৮। দুটি $+q$ মানের বিন্দু আধান বায়ুতে r দূরত্বে রয়েছে। তড়িৎ বলরেখাগুলো অঙ্কন কর।
১৯। তড়িৎ ক্ষেত্র উদাসীন বিন্দু বলতে কী বোঝ ? তড়িৎ ক্ষেত্রে এ ধরনের কোনো বিন্দু থাকে কী ?
২০। তড়িৎ বলরেখার ধর্মসমূহ বিবৃত কর।
২১। তড়িৎক্ষেত্রের দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য বলতে কী বোঝ ?
২২। 1 V বিভব পার্থক্য বলতে কী বোঝ ?
২৩। যে কোনো একটি আধানের ওপর বহু সংখ্যক আধান কর্তৃক ক্রিয়াশীল লব্ধি বলের মান নির্ণয়ের জন্য উপরিপাতের নীতিটি বিবৃত কর এবং ব্যাখ্যা কর।
২৪। পৃথিবীর বিভব শূন্য—এই উক্তির ব্যাখ্যা কর।
২৫। দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য তাদের সংযোগকারী পথের উপরে নির্ভর করে না ? —ব্যাখ্যা কর।
২৬। একটি বিন্দু আধান $+q$ থেকে r দূরত্বে বিভব নির্ণয় কর। আধানটিকে K পরাবৈদ্যুতিক ধ্রুবকবিশিষ্ট একটি মাধ্যমে রাখলে বিভবের কী পরিবর্তন লক্ষ করা যাবে ?
২৭। আধান সংস্থার তড়িৎ স্থিতিশক্তি বলতে কী বোঝ ?
২৮। ইলেকট্রন ভোল্ট কাকে বলে ? একে জুল এককে প্রকাশ কর।
২৯। তড়িৎ বিভব এবং তড়িৎ স্থিতিশক্তির মধ্যে পার্থক্য কী ?
৩০। তড়িৎ দ্বিমেরু কী ?
৩১। তড়িৎ দ্বিমেরু বলতে কী বোঝ ? এর অভিমুখ কী ?
৩২। তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক কাকে বলে ? একটি তড়িৎ দ্বিমেরু মধ্যবিন্দু থেকে r দূরত্বে তার অক্ষের ওপর অবস্থিত কোনো বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় কর।
৩৩। একটি সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রে একটি তড়িৎ দ্বিমেরুকে যে কোনো কোণে ঘোরাতে কৃত কাজ নির্ণয় কর।
৩৪। তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্বসমদ্বিখণ্ডকের উপরিস্থিত কোনো বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর। দ্বিমেরু খুব ক্ষুদ্র হলে ওই ক্ষেত্র প্রাবল্যের মানের কী পরিবর্তন হয় ?
৩৫। সুষম তড়িৎক্ষেত্রে অবস্থিত তড়িৎ দ্বিমেরুর ওপর প্রযুক্ত টর্ককে ভেক্টররূপে প্রকাশ কর।
৩৬। তড়িৎ দ্বিমেরুর জন্য যে কোনো বিন্দুতে $P(r, \theta)$-তে ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় কর।
৩৭। সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রে অবস্থিত একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর ওপরে ক্রিয়াশীল টর্কের মান কখন সর্বাধিক এবং কখন সর্বনিম্ন হয় ? মানগুলি কত ?
৩৮। কীভাবে ক্ষেত্রফলকে ভেক্টররূপে প্রকাশ করা হয় ?
৩৯। একটি তড়িৎ দ্বিমেরু অক্ষে অবস্থিত কোনো বিন্দুতে তড়িৎ বিভবের রাশিমালা নির্ণয় কর।
৪০। দেখাও যে, একটি তড়িৎ দ্বিমেরুর লম্বসমদ্বিখণ্ডকের ওপরে অবস্থিত যে কোনো বিন্দুতে বিভব শূন্য।
৪১। তড়িৎ দ্বিমেরুর স্থিতিশক্তি বলতে কী বোঝ ?
৪২। কোনো পরিবাহীর ধারকত্ব বলতে কী বোঝ ?
৪৩। কোনো পরিবাহীর ধারকত্ব কোন কোন বিষয়ের উপর নির্ভর করে ?
৪৪। একটি সমান্তরাল পাত ধারকের ধারকত্বের রাশিমালা নির্ণয় কর।
৪৫। কুলম্বের সূত্র থেকে গাউসের সূত্র প্রতিপাদন কর।
৪৬। পানির ডাইইলেকট্রিক ধ্রুবক '80' বলতে কী বোঝায় ?
৪৭। দুটি ধারককে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে তুল্য ধারকত্ব ক্ষুদ্রতর মানের ধারকত্ব অপেক্ষা কম হয়—প্রমাণ কর।
৪৮। কতকগুলো ধারককে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে তুল্য ধারকত্ব কত হবে নির্ণয় কর।
৪৯। কতকগুলো ধারককে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করতে তুল্য ধারকত্ব কত হবে নির্ণয় কর।
৫০। কোনো ধারককে কী যে কোনো উচ্চমানের বিভবে আহিত করা সম্ভব ?
৫১। ধারকে কী ধরনের শক্তি সঞ্চিত থাকে ?
৫২। দুটি ধারককে কীভাবে যুক্ত করলে প্রত্যেকের আধান একই থাকে ?
৫৩। কয়েকটি ধারককে কীভাবে যুক্ত করলে প্রত্যেকের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য একই থাকবে ?
৫৪। একটি সমান্তরাল পাত ধররকের সঞ্চিত শক্তির রাশিমালা নির্ণয় কর।
৫৫। ধারকে সঞ্চিত শক্তির রাশিমালা নির্ণয় কর।
৫৬। চার্জের কোয়ান্টায়ন বলতে কী বুঝ ? চার্জের সংরক্ষণশীলতার নীতিটি লিখ।
৫৭। পৃথিবীর বিভব শূন্য ধরা হয় কেন ?
৫৮। স্থির তড়িৎ সম্পর্কিত গাউসের সূত্রটি বিবৃত কর।
৫৯। গাউসের সূত্র ব্যবহার করে সুষমভাবে আহিত এবং অন্তরীত পরিবাহী গোলকের কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর।

৬০। গাউসের সূত্রের সাহায্যে অসীম দৈর্ঘ্যের তার থেকে r দূরত্বে ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় কর। ওই তারটির একক দৈর্ঘ্যে λ পরিমাণ তড়িৎ আধান রয়েছে।

৬১। গাউসের সূত্রের সাহায্যে দেখাও যে, আহিত গোলকের অভ্যন্তরে ক্ষেত্র প্রাবল্য শূন্য।

৬২। গাউসের সূত্র প্রয়োগ করে সুষমভাবে আহিত পাতলা গোলীয় খোলকের জন্য বহিস্থ ও অন্তস্থ বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্য নির্ণয় কর।

৬৩। দেখাও যে, সুষমভাবে আহিত পরিবাহী খোলকের কোনো বিন্দুতে ক্ষেত্র প্রাবল্যের ক্ষেত্রে তড়িৎ আহিত খোলকটি এমন ব্যবহার করে যেন তার সমস্ত আধান এর কেন্দ্রে অবস্থিত।

৬৪। কুলম্বের সূত্রের সীমাবদ্ধতা আলোচনা কর।

(ঘ) ক্রিয়াকর্ম

প্রতিবেদন রচনা : স্থির তড়িতের ক্ষেত্রে কুলম্বের সূত্র এবং গাউসের সূত্রের সীমাবদ্ধতার উপর প্রতিবেদন রচনা কর। শ্রেণি শিক্ষকের নিকট জমা দেওয়ার পর শিক্ষক মহোদয় সবচেয়ে ভালো প্রতিবেদনটি ক্লাসে উপস্থাপন করবেন।

(ঙ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। সমভাবে আহিত দুটি শোলা বল বায়ুতে 3·0 cm ব্যবধানে রাখলে পরস্পরকে 4×10^{-5} N বলে বিকর্ষণ করে। প্রত্যেক শোলা বলের আধান নির্ণয় কর। [য. বো. ২০০১] [উত্তর : $q = \pm 2 \times 10^{-9}$ C]

২। বায়ুতে 50 C চার্জ হতে 2 m দূরত্বে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর। [উত্তর : $11·25 \times 10^{10}$ N/C]

৩। 0·02 m এবং 0·04 m ব্যাসার্ধের দুটি গোলককে পরস্পরের পৃষ্ঠ হতে 0·14 m দূরত্বে রাখা হলো। প্রতিটি গোলককে 40C চার্জ প্রদান করা হলে তাদের মধ্যে কত বল ক্রিয়া করবে নির্ণয় কর। [উত্তর : $3·6 \times 10^{13}$ N]

৪। বায়ুতে দুটি ধন চার্জের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·1 m এবং এদের মধ্যে পারস্পরিক বিকর্ষণ বল 9×10^{-5} N। চার্জ দুটির একটি অপরটির চার গুণ হলে তাদের পরিমাণ নির্ণয় কর। [উত্তর : 5×10^{-9} এবং 20×10^{-9} C]

৫। 5×10^{-9} C চার্জ বহনকারী একটি ক্ষুদ্র বস্তু তড়িৎ ক্ষেত্রের একটি বিন্দুতে রাখা হলে এটি নিচের দিকে 20×10^{-9} N পরিমাণ বলের ক্রিয়া অনুভব করে। (ক) ঐ বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্য কত ? (খ) ঐ বিন্দুতে স্থাপিত একটি ইলেকট্রনের উপর ক্রিয়াশীল বলের মান ও দিক কি হবে ?

[উত্তর : (ক) 4N/C, (খ) $6·4 \times 10^{-19}$ N নিম্নমুখী]

৬। পরস্পর হতে 0·20 m দূরে বায়ুতে অবস্থিত 40C এবং 60C দুটি চার্জের সংযোজক সরলরেখার ঠিক মধ্যস্থলে প্রাবল্য কত হবে ? [উত্তর : $1·8 \times 10^{13}$ N/C]

৭। $+ 1·5 \times 10^{-6}$ C এবং $+ 3 \times 10^{-6}$ C আধানের দূরত্ব 10 m। তাদের সংযোজক সরলরেখার কোন্ কোন্ বিন্দুতে তড়িৎ ক্ষেত্রের পরিমাণ শূন্য হবে ? [ঢা. বো. ২০০৯

[উত্তর : দুর্বল চার্জ হতে সবল চার্জের দিকে 4·1m দূরে প্রাবল্য শূন্য হবে।]

৮। 2m বাহুবিশিষ্ট একটি সমবাহু ত্রিভুজের A ও B বিন্দুতে যথাক্রমে + 2 C এবং − 2 C চার্জ স্থাপন করা হলো। C বিন্দুতে ক্রিয়াশীল প্রাবল্যের মান ও দিক নির্ণয় কর। [চ. বো. ২০০৩]

[উত্তর : $4·5 \times 10^{9}$ N/C ; C বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য AB-এর সমান্তরাল হবে]

৯। 10, − 5 এবং 3 C মানের তিনটি চার্জ 0·10 m ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি বৃত্তের পরিধির তিনটি ভিন্ন বিন্দুতে অবস্থিত। বৃত্তের কেন্দ্রে বিভব কত ? [উত্তর : 72×10^{10} Volt]

১০। একটি বর্গক্ষেত্রের তিনটি কৌণিক বিন্দুতে যথাক্রমে 3, − 6 এবং 7C চার্জ স্থাপন করা হলো। বর্গক্ষেত্রের চতুর্থ কৌণিক বিন্দুতে কত চার্জ স্থাপন করলে কেন্দ্রে বিভব শূন্য হবে ? [সি. বো. ২০০১] [উত্তর : − 4 C]

১১। একটি বিন্দু আধান থেকে 20 cm দূরে তড়িৎ বিভবের মান 50 V। ওই বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের মান কত ? [উত্তর : 250 Vm^{-1}]

১২। তড়িৎ বিভব, $V = 5 + 4x^2$ সম্পর্ক দ্বারা নির্দেশিত। V-কে volt এককে এবং x-কে metre এককে প্রকাশ করা হলে $x = 0·5$ m অবস্থানে -2×10^{-6} C আধান কত বল অনুভব করবে ? [উত্তর : 8×10^{-6} N]

১৩। 2m ব্যাসার্ধের একটি গোলকের কেন্দ্রে 2 μC একটি চার্জ স্থাপন করলে গোলকের পৃষ্ঠ দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স বের কর। [উত্তর : $2·26 \times 10^{5}$ Nm^2C^{-1}]

১৪। বায়ু মাধ্যমে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু অক্ষের উপর দ্বিমেরুর কেন্দ্র থেকে 5 cm দূরে তড়িৎ প্রাবল্য $2·5 \times 10^{4}$ NC^{-1} এবং 10 cm দূরে তড়িৎ প্রাবল্য 2×10^{3} NC^{-1}। তড়িৎ দ্বিমেরুর দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উত্তর : 0·05 m]

১৫। শূন্য স্থানে 8 μC এবং − 8μC বিন্দু আধান দুটি 10^{-3} m ব্যবধানে থেকে একটি তড়িৎ দ্বিমেরু গঠন করে। এর দ্বিমেরু ভ্রামক এবং দ্বিমেরুর কেন্দ্র থেকে 20 cm দূরে এর অক্ষের উপর তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর। [উত্তর : 8×10^{-9} C m; 18×10^{3} NC^{-1}]

১৬। একটি তড়িৎ দ্বিমেরু 2 mm ব্যবধানে রাখা ± 20 μC আধান দিয়ে তৈরি। ওই দ্বিমেরুর অক্ষের লম্ব সমদ্বিখণ্ডকের ওপর অবস্থিত দ্বিমেরুর মধ্যবিন্দু থেকে 10 cm দূরে অবস্থিত একটি বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর। [উত্তর : 36×10^{4} NC^{-1}]

১৭। $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r}$ সমীকরণ থেকে প্রমাণ কর যে, $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\cdot\frac{Q}{r^2}$।

১৮। নিরবচ্ছিন্নভাবে বন্টিত অসীম রৈখিক আধান থেকে 2 cm দূরে $9 \times 10^4\ NC^{-1}$ তড়িৎ ক্ষেত্র সৃষ্টি হয়েছে। আধানের রৈখিক ঘনত্ব নির্ণয় কর। [উত্তর : $10^{-7}\ C\ m^{-1}$]

১৯। 12 cm ব্যাসার্ধের একটি পরিবাহী গোলকের তল সুষমভাবে 1.6×10^{-7} C আধানে আহিত। (ক) গোলকের অভ্যন্তরে, (খ) গোলকের পৃষ্ঠে এবং (গ) গোলকের কেন্দ্র থেকে 18 cm দূরে কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর। [উত্তর : (ক) শূন্য; (খ) $10^5\ NC^{-1}$; (গ) $4.44 \times 10^4\ NC^{-1}$]

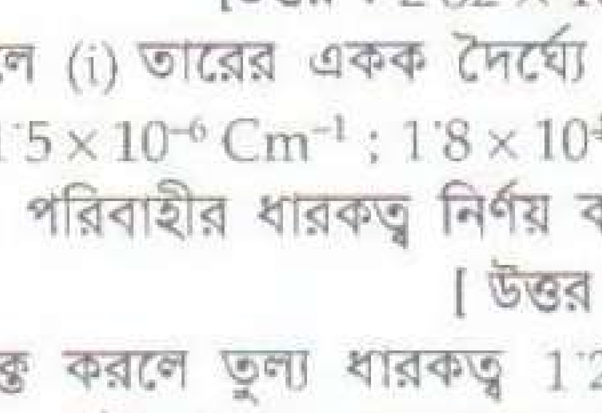
২০। 0.2 m ব্যাসার্ধের একটি গোলকীয় গাউসীয় তলের কেন্দ্রে 2.5×10^{-6} C চার্জ স্থাপন করলে উক্ত তলে ফ্লাক্স কত হবে ? [উত্তর : 2.82×10^5 Wb]

২১। একটি সরু তারের দৈর্ঘ্য 2 m। তারটি 3×10^{-6} C চার্জে সুষমভাবে চার্জিত হলে (i) তারের একক দৈর্ঘ্যে চার্জের পরিমাণ ও (ii) 1.5 m দূরের কোনো বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর। [উত্তর : $1.5 \times 10^{-6}\ Cm^{-1}$; $1.8 \times 10^4\ NC^{-1}$]

২২। একটি অন্তরীত পরিবাহীতে 500 C চার্জ প্রদান করায় এর বিভব 100 V হলো। পরিবাহীর ধারকত্ব নির্ণয় কর। [উত্তর : 5 F]

২৩। দুটি ধারককে সমান্তরালে সংযুক্ত করলে তুল্য ধারকত্ব 5F এবং শ্রেণিতে সংযুক্ত করলে তুল্য ধারকত্ব 1.2F হয়। ধারক দুটির ধারকত্ব নির্ণয় কর। [উত্তর : 3F, 2F অথবা 2F, 3F]

২৪। চিত্রে প্রদর্শিত ধারকসমূহের সমবায়ের জন্য তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর। $C_1 = 10\mu F$, $C_2 = 5\mu F$ এবং $C_3 = 4\mu F$. [উত্তর : 3.16 μF]



২৫। 300 μμF এবং 500 μμF ধারকত্ববিশিষ্ট দুটি ধারক সমান্তরাল বিন্যাসে যুক্ত করে 120 ভোল্টের একটি ব্যাটারী ঐ সমন্বয়ের ওপর প্রয়োগ করা হলো। প্রত্যেক ধারকের চার্জ এবং সমবায়ের তুল্য ধারকত্ব নির্ণয় কর। [উত্তর : 3.6×10^{-8}, 6×10^{-8} C এবং 8×10^{-8} F]

২৬। 4μF ধারকত্ববিশিষ্ট একটি ইলেকট্রনিক্স যন্ত্রের টার্মিনালদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্য 300 V হলে ধারকে সঞ্চিত শক্তির পরিমাণ নির্ণয় কর। [ঢা. বি. ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৯–১০] [উত্তর : 0.18 J]

২৭। 10 cm ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তের পরিধিতে 10C মানের দুটি চার্জ স্থাপন করা হয়েছে। বৃত্তের কেন্দ্রে তড়িৎ বিভবের মান নির্ণয় কর। [ঢা. বি. ভর্তি পরীক্ষা, ২০১০–১১] [উত্তর : 18×10^{11} V]

২৮। দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য 322 kV। এদের এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে 9μF চার্জ স্থানান্তর করলে কৃত কাজের পরিমাণ নির্ণয় কর। [বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৮–০৯] [উত্তর : 2.89 J]

২৯। q কুলম্ব তড়িৎ আধান একটি ঘনকের কেন্দ্রে থাকলে প্রতিসাম্যের জন্য ঘনকের প্রতি তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স কত হবে ? [উত্তর : $\frac{1}{6}\cdot\frac{q}{\epsilon_0}$]

৩০। 20 cm ব্যাসার্ধের গোলীয় খোলককে 20 μC আধানে আহিত করা হলো। নিম্নলিখিত ক্ষেত্রগুলোতে তড়িৎ প্রাবল্য নির্ণয় কর। (i) খোলকের কেন্দ্র থেকে 15 cm দূরে এবং (ii) খোলকের কেন্দ্র থেকে 40 cm দূরে। [উত্তর : 0; $1.125 \times 10^6\ NC^{-1}$]

৩১। একটি তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্য $\vec{E} = (5\hat{i} + 3\hat{j} + 2\hat{k})$ একক দ্বারা প্রকাশিত। ওই ক্ষেত্রে YZ তলে 200 একক ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট ক্ষেত্রের ভেতর দিয়ে তড়িৎ ফ্লাক্সের পরিমাণ নির্ণণ কর। [উত্তর : 1000 একক]

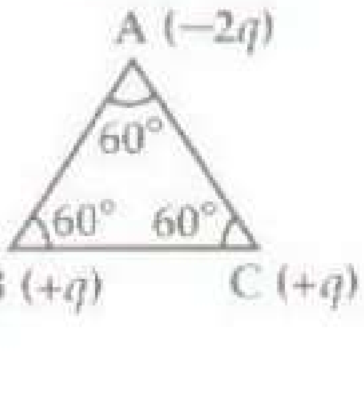
৩২। বায়ুতে অবস্থিত 1 C ধনাত্মক আধান থেকে নির্গত তড়িৎ ফ্লাক্স কত হবে ? [উত্তর : $1.13 \times 10^{11}\ Nm^2 C^{-1}$]

৩৩। কোনো গোলকের অভ্যন্তরে শূন্যস্থানে অবস্থিত আধানের জন্য গোলকের সমতলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত তড়িৎ ফ্লাক্স হলো $6.5 \times 10^3\ Nm^2C^{-1}$। গোলকের অভ্যন্তরস্থ আধানের মান নির্ণয় কর। [উত্তর : 5.75×10^{-8} C]

৩৪। একটি পজিট্রন $(+e)$ এবং একটি ইলেকট্রন $(-e)$ পরস্পর হতে 10^{-8} m দূরে অবস্থিত থেকে তড়িৎ দ্বিমেরু গঠন করে। দ্বিমেরুর দ্বিমেরু ভ্রামকের মান কত এবং এর অভিমুখ কী ? $(e = 1.6 \times 10^{-19}\ C)$ [উত্তর : 1.6×10^{-27} C m; ভ্রামকের অভিমুখ ইলেকট্রন থেকে পজিট্রনের দিকে]

৩৫। একটি তড়িৎ দ্বিমেরু 10^4 N/C সুষম তড়িৎ ক্ষেত্রের সঙ্গে 30° কোণ করে থাকলে 9×10^{-26} Nm টর্ক অনুভব করে। তড়িৎ দ্বিমেরুর ভ্রামক কত ? [উত্তর : 1.8×10^{-29} C m]

৩৬। একটি সমবাহু ত্রিভুজের তিনটি শীর্ষ বিন্দুতে তিনটি আধান q, $-2q$ ও q অবস্থিত। এদের তুল্য দ্বিমেরু ভ্রামকের মান কত ? [উত্তর : $\sqrt{3}\,qa$]



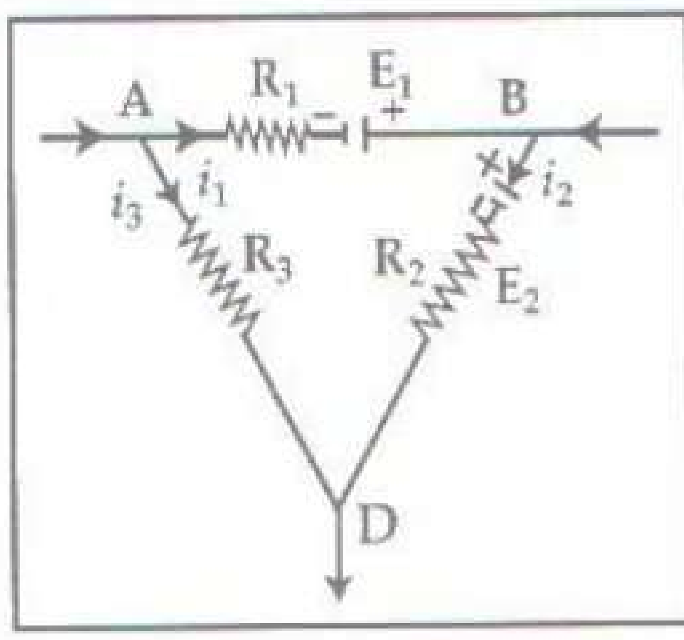
রোধ তাপের উপর নির্ভরশীল নয় → M-13-14

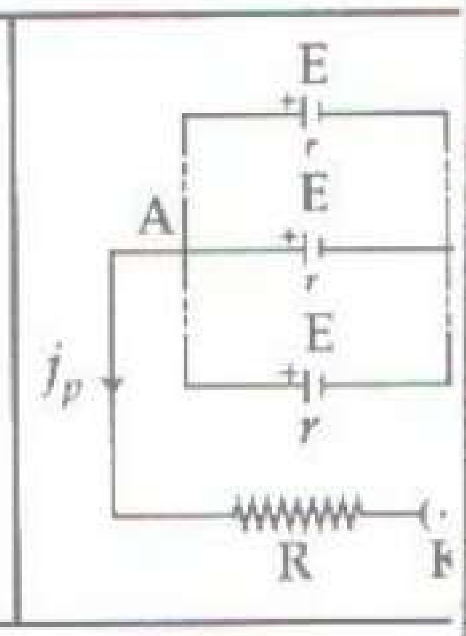
৩

চল তড়িৎ
CURRENT ELECTRICITY

Note: কতিপয় রাশি ও তাদের একক:

রাশি	একক
চৌম্বক প্রাবল্য	ওয়েরস্টেড
চৌম্বক বিভব	আর্গ/একক মেরু/CGS পদ্ধতি
চৌম্বক মোমেন্ট	ডাইন-সেমি/ওয়েরস্টেড, (CGS পদ্ধতিতে চৌম্বক প্রবেশ্যতার একক নেই
লেন্সের ক্ষমতা	ডায়অপ্টার
দীপন ক্ষমতা	ক্যান্ডেলা
আলোক প্রবাহ	লুমেন
দীপন মাত্রা	CGS- সেমিবাতি, FPS- ফুটবাতি, MKS- মিটার বাতি
ঔজ্জ্বল্যের একক	CGS- স্টিলব, FPS- ক্যান্ডেলা/বর্গফুট, MKS- নিট
বৈদ্যুতিক বিভব	SI- ভোল্ট এককে
চার্জের একক	কুলম্ব (MKS পদ্ধতিতে)
ধারকত্বের একক	ফ্যারাড
বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা	অ্যাম্পিয়ার
রোধ	ওহম
আপেক্ষিকরোধ	ওহম-মিটার
পরিবাহীতা	সিমেন্স
X-ray	রনজেন





সূচনা
Introduction

এ অধ্যায়ে আমরা তড়িৎ আধান গতিশীল হওয়ার দরুন উদ্ভূত ঘটনাবালি সম্পর্কে আলোচনা করব। বস্তুত চলমান তড়িতাধানই তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করে। এই সকল ঘটনার অধ্যয়ন ও প্রয়োগ আমাদের জীবনযাত্রায় প্রভূত পরিবর্তন এনেছে। বিভিন্ন সামগ্রী উৎপাদনের ক্ষেত্রে বিদ্যুতের ব্যবহার অফুরন্ত। আমাদের চারপাশে দৈনন্দিন কাজে আমরা যা দেখি যেমন— বৈদ্যুতিক পাখা, লাইট, রেফ্রিজারেটর সবই বিদ্যুৎ দ্বারা চালিত হয়। সংক্ষেপে বলা যায় আমরা বৈদ্যুতিক যুগে বাস করছি। এ অধ্যায়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ সংক্রান্ত নানাবিধ নীতি, পরিমাপ এবং বিদ্যুৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট ক্রিয়া সম্পর্কে জানতে সক্ষম হব।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- রোধের উপর তাপমাত্রার প্রভাব, তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ক্রিয়া ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- **ব্যবহারিক** : তাপের যান্ত্রিক সমতা নির্ণয় করতে পারবে।
- কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ, তড়িচ্চালক বলের গাণিতিক সম্পর্ক বিশ্লেষণ করতে পারবে।
- বর্তনীতে কোষের শ্রেণি ও সমান্তরাল সমবায় ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- কির্শফের সূত্র ব্যবহার করে বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ ও বিভব পার্থক্য নির্ণয় করতে পারবে।
- বর্তনীতে শান্টের ব্যবহার করতে পারবে।
- **ব্যবহারিক** : পটেনশিওমিটারের সাহায্যে তড়িচ্চালক বলের তুলনা, মিটার ব্রীজের সাহায্যে আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় এবং পোস্ট অফিস বক্স ব্যবহার করে রোধ নির্ণয় করতে পারবে।

৩.১ রোধের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব
Effect of Temperature on resistance

তোমরা হিটারের কয়েলের দিকে লক্ষ করলে দেখবে বিদ্যুৎ প্রবাহের সাথে সাথে তা গরম হয়ে লাল টকটকে হয়ে যায়। এর কারণ কি কখনো ভেবেছ ? পরিবাহীর রোধের কারণে এটি গরম হয়। কোনো একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে পরিবাহী কর্তৃক তা বাধা পায়। বাধা প্রদানের এই ধর্মকে ঐ পরিবাহীর রোধ বলে। সুতরাং বলা যায়—**"যে ধর্মের জন্য পরিবাহী এর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ চলাচলে বাধা প্রদান করে তাকে ওই পরিবাহীর রোধ বলে।"** তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে সাধারণত পরিবাহীর রোধ বৃদ্ধি পায় এবং তাপমাত্রা হ্রাস পেলে পরিবাহীর রোধ হ্রাস পায়। তবে কার্বনের ক্ষেত্রে এর ব্যতিক্রম দেখা যায়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে কার্বনের রোধ হ্রাস পায়। তবে মনে রাখতে হবে পরিবাহিতে রোধ তাপমাত্রার সমানুপাতিক হয়। রোধের উষ্ণতা সহগ তাপমাত্রার সাথে রোধের সম্পর্ক স্থাপন করে।

পরিবাহীর রোধ তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। তাপমাত্রার পরিবর্তনের সাথে রোধের পরিবর্তন রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক বা উষ্ণতা গুণাঙ্ক দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এখন আমরা দেখব এই তাপ উৎপন্নের কারণ কী ? তড়িৎ প্রবাহের ফলে তড়িৎ বর্তনীতে যে তাপের উদ্ভব হয় তার কারণ ইলেকট্রন মতবাদের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়।

বিদ্যুৎ প্রবাহের ফলে পরিবাহী গরম হওয়ার কারণ

তড়িৎ পরিবাহকে বহু সংখ্যক মুক্ত ইলেকট্রন থাকে। পরিবাহকের দুই বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হলে মুক্ত ইলেকট্রনগুলো আন্তঃআণবিক স্থানের মধ্য দিয়ে চলার সময় অণু পরমাণুর সাথে সংঘর্ষে লিপ্ত হয়। ফলে পরিবাহীতে রোধের সৃষ্টি হয়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে অতিরিক্ত শক্তি পাওয়ায় পরিবাহকের অণু পরমাণুগুলোর স্পন্দন বেড়ে যায় ফলে মুক্ত ইলেকট্রনগুলোর সাথে এদের সংঘর্ষ বৃদ্ধি পায়। সাথে সাথে রোধও বাড়তে থাকে। ফলে পরিবাহী গরম হয়।

পরিবাহীর রোধ উহার তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। সাধারণত পরিবাহীর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে রোধ বৃদ্ধি পায় এবং তাপমাত্রা কমলে রোধ কমে যায়।

মনে করি $0°C$ তাপমাত্রায় কোনো পরিবাহীর রোধ R_0 এবং $t°C$ তাপমাত্রায় এর রোধের মান R_t হয়, তাহলে

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.1)$$

এখানে α = ধ্রুবক, একে রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক বা সহগ বলে। $\alpha = \dfrac{R_t - R_0}{R_0 t}$

$R_0 = 1,\ t = 1°$ হলে $\alpha = R_t - R_0$

প্রতি ডিগ্রী সেলসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য একক রোধসম্পন্ন কোনো পরিবাহীর রোধের যে পরিবর্তন হয় তাকে উক্ত পরিবাহীর রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক বা উষ্ণতা গুণাঙ্ক বলে।

তাপমাত্রা গুণাঙ্কের একক $(°C)^{-1}$ বা (K^{-1})।

"অ্যালুমিনিয়ামের রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক $3{\cdot}9 \times 10^{-3}\ (°C)^{-1}$" বলতে বুঝায় যে 1Ω রোধবিশিষ্ট কোনো অ্যালুমিনিয়াম পরিবাহীর তাপমাত্রা $1°C$ বৃদ্ধি পেলে এর রোধ $3{\cdot}9 \times 10^{-3}\ \Omega$ বৃদ্ধি পাবে।

নিজে কর : একটি পদার্থের নাম বল যার রোধ উষ্ণতার পরিবর্তনে খুব সামান্য পরিবর্তিত হয়, আবার উষ্ণতার বৃদ্ধিতে রোধ হ্রাস পায়।

ম্যাঙ্গানিন নামক সংকর ধাতুর রোধ উষ্ণতার পরিবর্তনে খুব সামান্য পরিবর্তিত হয়। যে সকল পদার্থের রোধের উষ্ণতা সহগ α ঋণাত্মক, উষ্ণতা বৃদ্ধিতে সেসকল পদার্থের রোধ হ্রাস পায়। যেমন— কার্বন, থার্মিস্টর ইত্যাদি।

সম্প্রতি অর্ধপরিবাহীর রোধ পরিবর্তনের দ্বারা তাপমাত্রা পরিবর্তন পরিমাপের উপায় উদ্ভাবিত হয়েছে। একে বলে থার্মিস্টর। এর সাহায্যে খুব অল্প তাপমাত্রা পরিবর্তন (প্রায় $0{\cdot}005°C$) মাপা যায়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে পরিবাহীর রোধ বৃদ্ধি পায়। কিন্তু অর্ধপরিবাহীর রোধ হ্রাস পায়। অর্ধপরিবাহীর বেলায়, $\alpha = -6 \times 10^{-2}\ °C^{-1}$।

গাণিতিক উদাহরণ

১। $25°C$ তাপমাত্রায় টাংস্টেন তারের রোধ 65Ω। $200°C$ তাপমাত্রায় এর রোধ কত হবে ? (টাংস্টেনের রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক, $\alpha = 4{\cdot}5 \times 10^{-3}\ °C^{-1}$)। [কু. বো. ২০১০; য. বো. ২০১১]

মনে করি, $200°C$ তাপমাত্রায় তারের রোধ $= R_t$

আমরা জানি,

$$R_t = R_0 [1 + \alpha t]$$

অতএব, $R_{25} = R_0 (1 + 4{\cdot}5 \times 10^{-3} \times 25) \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$

এবং $R_{200} = R_0 (1 + 4{\cdot}5 \times 10^{-3} \times 200) \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$

সমীকরণ (1) ও (2) হতে পাই,

এখানে,
$T_1 = 25°C$
$T_2 = 200°C$
$R_{25} = 65\Omega$
$\alpha = 4{\cdot}5 \times 10^{-3}\ °C^{-1}$
$R_{200} = ?$

$$\frac{R_{200}}{R_{25}} = \frac{R_0 (1 + 4{\cdot}5 \times 10^{-3} \times 200)}{R_0 (1 + 4{\cdot}5 \times 10^{-3} \times 25)} = \frac{1{\cdot}9}{1{\cdot}1125}$$

$$\therefore\ R_{200} = \frac{1{\cdot}9}{1{\cdot}1125} \times R_{25} = \frac{1{\cdot}9}{1{\cdot}1125} \times 65 = 111\ \Omega$$

২। গলন্ত বরফের মধ্যে রাখা একটি তারের কুণ্ডলীর রোধ হুইটস্টোন ব্রিজের সাহায্যে মেপে 5Ω পাওয়া গেল। কুণ্ডলীকে 100°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে এবং এর সঙ্গে একটি 100Ω রোধ সমান্তরালে যুক্ত করলে ব্রিজের নিস্পন্দ অবস্থা অপরিবর্তিত থাকে। কুণ্ডলী তারের রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

100°C তাপমাত্রায় কুণ্ডলীর রোধ R হলে, ঐ R রোধ এবং 100Ω রোধের সমান্তরাল সমবায়ের তুল্য রোধ 5Ω হয়।

থার্মোমিটার তাপমাত্রা পরিমাপক যন্ত্র
থার্মোডিনামিক্স হচ্ছে তাপগতিবিদ্যা
থার্মোকাপল এক ধরনের থার্মোমিটার

অর্থাৎ, $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R} + \frac{1}{100} = \frac{R+100}{R \times 100}$

বা, $R_p = \frac{R \times 100}{R+100} = 5$

বা, $95R = 500$

বা, $R = \frac{500}{95} = \frac{100}{19}\,\Omega$

কুণ্ডলী তারের রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক α হলে, আমরা জানি,

$R = R_0(1+\alpha t)$

বা, $\alpha = \frac{\frac{R}{R_0} - 1}{t} = \frac{\frac{100}{19 \times 5} - 1}{100} = \frac{5}{9500}$

$= 5{\cdot}26 \times 10^{-4}/°C$

এখানে,
$R_0 = 5\,\Omega$
$t = 100°C$

৩·২ জুলের তাপীয় ক্রিয়ার সূত্র
Joule's laws for the generation of heat

1841 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত ইংরেজ বিজ্ঞানী **জে. পি. জুল** পরিবাহীর ভেতর দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ ও এর ফলে উৎপন্ন তাপের পরীক্ষালব্ধ ফলাফল হতে **তিনটি সূত্র** বিবৃত করেন। জুলের নামানুসারে এদেরকে তাপ উৎপাদনের ক্ষেত্রে **জুলের সূত্র** বলা হয়। সূত্রগুলো নিম্নে বিবৃত হলো :

(১) বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার সূত্র :

বিদ্যুৎবাহী পরিবাহীর রোধ R ও বিদ্যুৎ প্রবাহকাল t অপরিবর্তিত থাকলে পরিবাহীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন উদ্ভূত তাপ বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার বর্গের সমানুপাতিক।

অর্থাৎ $H \propto i^2$, যদি R এবং t স্থির থাকে ।

এই সূত্রের অর্থ—পরিবাহীতে প্রবাহমাত্রা দ্বিগুণ করলে উদ্ভূত তাপ প্রাথমিক তাপের চারগুণ হবে। প্রবাহমাত্রা অর্ধেক করলে উদ্ভূত তাপ প্রাথমিক তাপের এক-চতুর্থাংশ হবে ।

কোনো পরিবাহীর ভেতর দিয়ে একই সময়ে $i_1, i_2, i_3, \ldots\ldots$ বিদ্যুৎ চালনা করলে পরিবাহীতে যদি উৎপন্ন তাপ যথাক্রমে $H_1, H_2, H_3 \ldots\ldots$ হয়, তবে এ সূত্র অনুসারে

$$\frac{H_1}{i_1^2} = \frac{H_2}{i_2^2} = \frac{H_3}{i_3^2} = \ldots\ldots = \text{ধ্রুবক} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (3.2)$$

(২) রোধের সূত্র :

বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা এবং বিদ্যুৎ প্রবাহকাল অপরিবর্তিত থাকলে পরিবাহীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন উদ্ভূত তাপ পরিবাহীর রোধের সমানুপাতিক।

অর্থাৎ $H \propto R$, যদি i এবং t স্থির থাকে ।

এই সূত্রের অর্থ—পরিবাহীর রোধ দ্বিগুণ বা অর্ধেক হলে উদ্ভূত 'তাপ' যথাক্রমে প্রাথমিক তাপের দ্বিগুণ বা অর্ধেক হবে

কাজেই বিদ্যুৎ প্রবাহের জন্য শ্রেণিতে যুক্ত $R_1, R_2, R_3, \ldots\ldots$ রোধে t সময়ে উদ্ভূত তাপ যথাক্রমে H_1, H_2, H_3, হলে,

$$\frac{H_1}{R_1} = \frac{H_2}{R_2} = \frac{H_3}{R_3} = \ldots\ldots = \text{ধ্রুবক} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (3.3)$$

(৩) সময়ের সূত্র :

বিদ্যুৎবাহী পরিবাহীর রোধ এবং বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা অপরিবর্তিত থাকলে পরিবাহীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন উদ্ভূত তাপ বিদ্যুৎ প্রবাহকালের সমানুপাতিক।

অর্থাৎ $H \propto t$, যদি i এবং R স্থির থাকে।

এই সূত্রের অর্থ—বিদ্যুৎ প্রবাহকাল দ্বিগুণ বা চারগুণ বৃদ্ধি করলে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ বৃদ্ধি পেয়ে যথাক্রমে তাপের দ্বিগুণ বা চারগুণ হবে ।

কাজেই একই বিদ্যুৎ প্রবাহে একটি রোধে $t_1, t_2, t_3, \ldots\ldots$ সেকেন্ডে যথাক্রমে $H_1, H_2, H_3, \ldots\ldots$ পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হলে, $\frac{H_1}{t_1} = \frac{H_2}{t_2} = \frac{H_3}{t_3} \ldots\ldots =$ ধ্রুবক ... ... (3.4)

সূত্র তিনটি একত্রিত করলে আমরা পাই,

$$H \propto i^2Rt$$
$$= Ki^2Rt \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.5)$$

$H = 0.24 W$ cal.
$= 0.24 Pt$ cal.

এখানে K হলো সমানুপাতিক ধ্রুবক। সমীকরণ (3.5)-এর বিভিন্ন রাশির এককের উপর K-এর মান নির্ভর করে। H-কে calorie-তে, i-কে ampere-এ, R-কে ohm-এ এবং t-কে sec-এ প্রকাশ করলে $K = 0{\cdot}24$, অর্থাৎ $K = \frac{1}{J}$
এখানে J = তাপের যান্ত্রিক সমতুল বা তুল্যাংক। **একক তাপ উৎপন্ন করতে যে পরিমাণ কাজ করতে হয় বা একক তাপ দ্বারা যে পরিমাণ কাজ করা যায়, তাকে তাপের যান্ত্রিক সমতুল বলে।**

হিসাব কর : দুটি বৈদ্যুতিক হীটারের কুন্ডলী একই উপাদান দিয়ে তৈরি। এদেরকে সমান্তরাল সমবায়ে মেইন্‌সের সাথে যুক্ত করা হলো। একটি কুন্ডলী তারের দৈর্ঘ্য ও ব্যাস অপর কুন্ডলীর তারের তুলনায় দ্বিগুণ। কোনটিতে বেশি তাপ উৎপন্ন হবে ?

মনে করি A ও B কুন্ডলী দুটি মেইন্‌সের সাথে সমান্তরালে যুক্ত। A কুন্ডলীর তারের দৈর্ঘ্য ও ব্যাস B কুন্ডলীর তারের তুলনায় দ্বিগুণ। তারের রোধ $R = \rho\frac{l}{A}$, $A = \frac{\pi d^2}{4}$; $R = \frac{4\rho l}{\pi d^2}$; এখন A তারের দৈর্ঘ্য ($l$) ও ব্যাস ($d$) দ্বিগুণ বলে এই সমীকরণ অনুযায়ী A তারের রোধ B তারের রোধের অর্ধেক। তার দুটি সমান্তরাল সমবায়ে থাকায়, কম রোধের তারে অর্থাৎ A তারে বেশি প্রবাহ চলবে এবং বেশি তাপ উৎপন্ন হবে।

বিদ্যুৎ শক্তি ও ক্ষমতা
Electrical Energy and Power

বিদ্যুৎ শক্তি : কোনো বৈদ্যুতিক যন্ত্র বা উৎসের কাজ করার সামর্থ্যকে এর বিদ্যুৎ শক্তি বলে।

ব্যাখ্যা : মনে করি একটি বৈদ্যুতিক উৎস হতে কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে t সময়ে Q পরিমাণ চার্জ প্রবাহিত হয়। যদি পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য V হয়, তবে সম্পাদিত কাজ অর্থাৎ ব্যয়িত বিদ্যুৎ শক্তি,

$$W = VQ = Vit \quad (\because Q = it)$$

বা, $$W = iR \times it = i^2Rt \quad (\because V = iR)$$
$$= \frac{V^2}{R}t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

একক : কাজ ও শক্তিকে একই এককে প্রকাশ করা হয়। এদের ব্যবহারিক একক জুল।

1 জুল : 1 ভোল্ট বিভব পার্থক্যের ভেতর দিয়ে 1 কুলম্ব চার্জ প্রবাহিত হলে সম্পাদিত কাজ বা ব্যয়িত শক্তি = 1 জুল।

ক্ষমতা : কোনো উৎস বা যন্ত্রের কাজ করার হারকে ক্ষমতা বলে এবং একক সময়ের কাজ দ্বারা সম্পাদিত কাজ পরিমাপ করা হয়।

ব্যাখ্যা : মনে করি t সময়ে কোনো উৎস বা যন্ত্র W পরিমাণ কাজ সম্পাদন করে।

অতএব, ক্ষমতা, $P = \frac{\text{কাজ}}{\text{সময়}} = \frac{W}{t}$ একক।

কাজের অনুরূপ ক্ষমতার বিভিন্ন সমীকরণ রয়েছে যা নিম্নে বর্ণনা করা হলো :

$P = \frac{W}{t} = \frac{Vit}{t} = Vi$ একক ... ... (ii)

আবার $P = \frac{W}{t} = \frac{i^2Rt}{t} = i^2R$ একক ... ... (iii)

এবং $P = \frac{W}{t} = \frac{V^2}{R}\frac{t}{t} = \frac{V^2}{R}$ একক ... ... (iv)

উপরোক্ত সমীকরণসমূহের যেকোনো একটি প্রয়োজনমতো ক্ষমতার সমীকরণ হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

* $W = \frac{Pt}{1000} = \frac{Vit}{1000} = \frac{I^2Rt}{1000}$

KWh [[illegible]]

একক : বৈদ্যুতিক ক্ষমতার একক ওয়াট (Watt)।

$\therefore \quad P = Vi$ ওয়াট $= i^2R$ ওয়াট $= \frac{V^2}{R}$ ওয়াট ... ... (v)

$\boxed{P = \frac{W}{t}} = \frac{\text{জুল}}{\text{সেকেন্ড}} =$ জুল/সেকেন্ড = ওয়াট

সুতরাং, 1 সেকেন্ডে 1 জুল কাজ করার ক্ষমতাকে 1 ওয়াট বলে। আবার, $P = Vi$ = ভোল্ট × অ্যাম্পিয়ার

$\therefore$ ওয়াট = ভোল্ট × অ্যাম্পিয়ার

কাজেই 1 ভোল্ট বিভব পার্থক্যে কোনো একটি বৈদ্যুতিক যন্ত্র 1 অ্যাম্পিয়ার মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহ সরবরাহ করলে এর ক্ষমতা 1 ওয়াট।

ওয়াট-ঘণ্টা (Watt-hour) : 1 ওয়াট ক্ষমতাসম্পন্ন একটি যন্ত্র 1 ঘণ্টা কাজ করলে যে শক্তি ব্যয় হয় তাকে 1 ওয়াট-ঘণ্টা বলে।

কিলোওয়াট-ঘণ্টা (Kilowatt-hour) : 1 কিলোওয়াট ক্ষমতাসম্পন্ন একটি যন্ত্র 1 ঘণ্টা কাজ করলে যে শক্তি ব্যয় হয়, তাকে 1 কিলোওয়াট-ঘণ্টা বলে।

সারা বিশ্বের বিদ্যুৎ সরবরাহ কোম্পানি এই একক ব্যবহার করে বিদ্যুৎ কেনা-বেচা করে, তাই একে বোর্ড অব ট্রেড (B. O. T) বা সংক্ষেপে Unit বলে। অর্থাৎ B. O. T Unit = 1 KWh = 1 Unit. * M-97-9

ভূমিকম্প পরিমাপক যন্ত্র	: সিসমোমিটার
কম্পাঙ্ক নির্ণায়ক যন্ত্র	: সনোমিটার
বিকিরণ পরিমাপক যন্ত্র	: রেডিওমিটার
দ্যুতি নির্ণায়ক যন্ত্র	: স্পিডোমিটার
বেগ পরিমাপক যন্ত্র	: ভেলোসিটিমিটার
তড়িৎ প্রবাহ পরিমাপক যন্ত্র	: অ্যামিটার
বিভব পার্থক্য নির্ণয়ের যন্ত্র	: ভোল্টমিটার

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি বৈদ্যুতিক বাতির রোধ 400Ω। একে 200V সরবরাহ লাইনের সাথে যুক্ত করা হলো ... ইউনিটের মূল্য 3·00 টাকা হয়, তাহলে বাতিটি 12 ঘণ্টা ব্যবহৃত হলে কত খরচ পড়বে?

[বি. বো. ২০১০; য. বো. ২০...]

আমরা জানি,

$$P = \frac{V^2}{R}$$

$$\therefore \quad P = \frac{(200)^2}{400} = 100 \text{ Watt}$$

এখানে,
$V = 200$ V
$R = 400\ \Omega$
$T = 12$ hrs

ব্যয়িত শক্তি, $N = \frac{P \times T}{1000} = \frac{100 \times 12}{1000} = 1{\cdot}2$ KWh

$\therefore$ ব্যয় $= 1{\cdot}2 \times 3{\cdot}0 = 3{\cdot}60$ টাকা

২। 1 hr-এ একটি 250 Watt-এর টিভি সেট বা 10 min-এ 1200 Watt এর একটি ইস্ত্রি কোনটি ... ব্যবহার করবে?

[সি. বো. ২০০৮; চ. বো. ২০০৭; ব. বো. ২০০৩; য. বো. ২০০৪]

আমরা জানি,

ব্যয়িত শক্তি, $N = \frac{P \times T}{1000}$ KWh

এখন, টি. ভি. সেট কর্তৃক ব্যয়িত শক্তি, $N_1 = \frac{250 \times 1}{1000} = 0{\cdot}25$ KWh

এবং ইস্ত্রি কর্তৃক ব্যয়িত শক্তি, $N_2 = \frac{1200 \times 10}{1000 \times 60} = 0{\cdot}2$ KWh

এখানে, $N_1 > N_2$

$\therefore$ টি. ভি. সেট বেশি শক্তি ব্যয় করবে।

220V [illegible] 110V [illegible] [M-15-16]

৩.৩ ব্যবহারিক
Experimental

পরীক্ষণের নাম :	তাপের যান্ত্রিক সমতা J নির্ণয়
পিরিয়ড : ২	**To determine the mechanical equivalent of heat, J**

তাপের যান্ত্রিক সমতা নির্ণয়ের জন্য দুটি বৈদ্যুতিক পদ্ধতি আছে—(১) জুলের পদ্ধতি এবং (২) ক্যালেন্ডার ও বার্নস-এর পদ্ধতি। এখানে জুলের পদ্ধতি আলোচিত হলো।

মূলনীতি বা তত্ত্ব : আমরা জানি V ভোল্ট বিভব পার্থক্যে কোনো একটি পরিবাহীর মধ্য দিয়ে i অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ t সময় ধরে প্রবাহিত হলে কাজের পরিমাণ, $W = Vit$ J ... ... (3.6)

এই কাজ তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়ে H ক্যালরি তাপ উৎপন্ন করলে আমরা পাই,

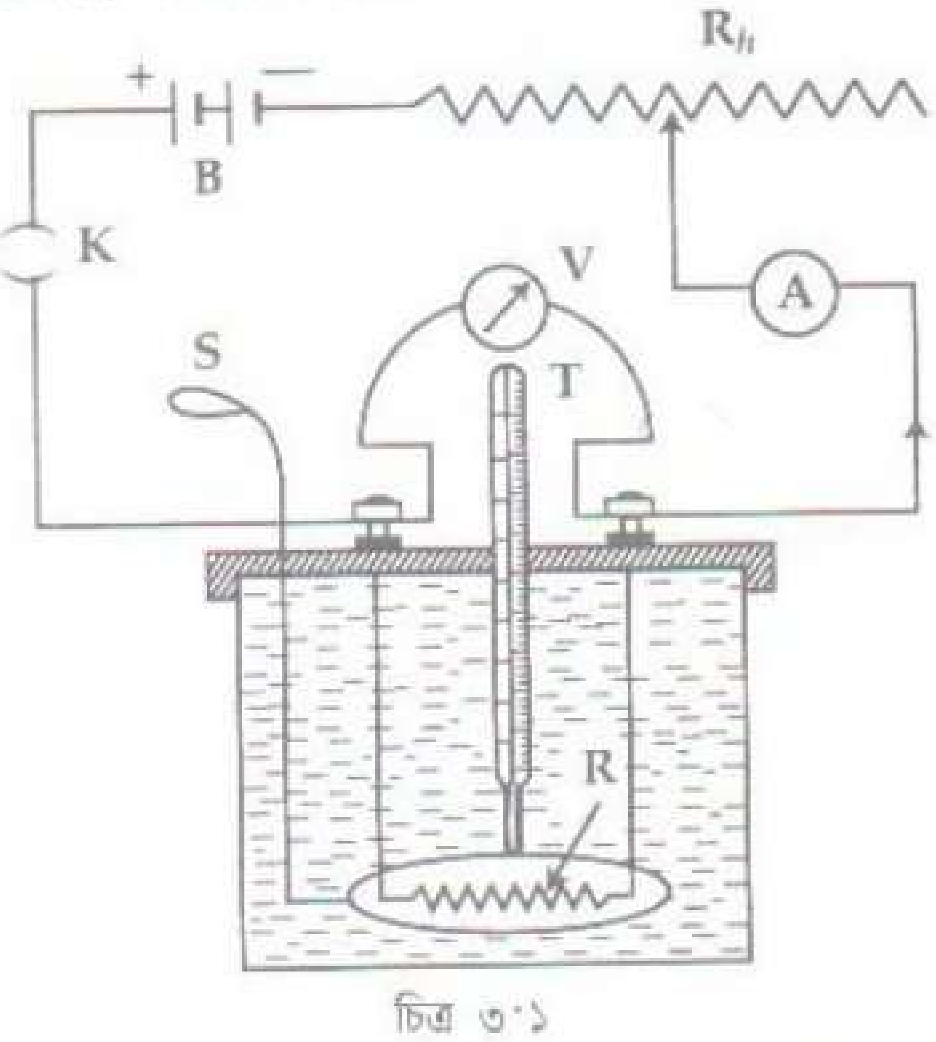
$W = JH$ ... ... (3.7)

সমীকরণ (3.6) এবং (3.7) হতে পাই,

$JH = Vit$

বা, $J = \frac{Vit}{H}$ J cal^{-1} ... ... (3.8)

কার্যপদ্ধতি : নাড়ানীসহ পরিষ্কার-পরিচ্ছন্ন শুষ্ক একটি জুলের ক্যালরিমিটার লই এবং শূন্য অবস্থায় এর ওজন বের করি। এখন ক্যালরিমিটারের মধ্যে খানিকটা তরল পদার্থ (পানি বা তার্পিন তেল) লই এবং পুনরায় ওজনের পার্থক্য হতে তরল পদার্থের ভর নির্ণয় করি। অতঃপর একটি থার্মোমিটার T-এর সাহায্যে ক্যালরিমিটার এবং তরলের প্রাথমিক তাপমাত্রা নির্ণয় করি।



চিত্র ৩·১

এখন R ও'ম রোধবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীকে ক্যালরিমিটারে রক্ষিত তরলের মধ্যে আংশিকভাবে ডুবিয়ে এর দুই প্রান্তকে দুটি বন্ধনী স্ক্রুর সাহায্যে একটি ব্যাটারী B, পরিবর্তনশীল রোধ R_h, অ্যামিটার A এবং প্লাগ চাবি K-এর সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করি। কুণ্ডলীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য নির্ণয়ের জন্য একটি ভোল্টমিটার V-কে কুণ্ডলীর সাথে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করি [চিত্র ৩·১]।

চাবিটি বন্ধ করি ও একটি নির্দিষ্ট সময়ের জন্য (প্রায় 15 মিনিট) বর্তনীর মধ্য দিয়ে একটি স্থির মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত করি। বিদ্যুৎ প্রবাহকালে ভোল্টমিটার এবং অ্যামিটারের পাঠ লই। বিদ্যুৎ প্রবাহের ফলে উৎপন্ন তাপ ক্যালরিমিটার এবং তরল পদার্থ শোষণ করবে এবং এদের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে। সমগ্র তরলে সুষম তাপ বিস্তারের জন্য নাড়ানী দ্বারা ক্যালরিমিটারের তরল ভালোভাবে নাড়ি এবং থার্মোমিটারের সাহায্যে ক্যালরিমিটার ও তরলের সর্বোচ্চ তাপমাত্রা নির্ণয় করি।

ছক

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	ক্যালরি-মিটারের ভর, M (g)	তরলের ভর, m (g)	ক্যালরি-মিটারের আ. তাপ, s (cal $g^{-1}C^{-1}$)	তরলের আ. তাপ, S (cal g^{-1} C^{-1})	ক্যালরি-মিটারের ও তরলের প্রাথমিক তাপমাত্রা, θ_1 (°C)	ক্যালরি-মিটারের ও তরলের চূড়ান্ত তাপমাত্রা, θ_2 (°C)	প্রবাহ মাত্রা, i (amp)	ভোল্ট-মিটারের পাঠ V (Volt)

হিসাব (Calculation) :

ধরি, ক্যালরিমিটারের ভর = M g

তরলের ভর = m g

ক্যালরিমিটারের আপেক্ষিক তাপ = s cal g^{-1}°C^{-1}

তরলের আপেক্ষিক তাপ = S cal g^{-1}°C^{-1}

ক্যালরিমিটার এবং তরলের প্রাথমিক তাপমাত্রা = θ_1°C

বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা = i A

কুণ্ডলীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য = V volt

বিদ্যুৎ প্রবাহ কাল = t সেকেন্ড

ক্যালরিমিটার এবং তরলের সর্বোচ্চ তাপমাত্রা = θ_2°C

গণনা : ক্যালরিমিটার এবং তরল কর্তৃক গৃহীত তাপ,

$H = (Ms + mS)(\theta_2 - \theta_1)$ cal ও বিদ্যুৎ প্রবাহে কৃত কাজ, $W = Vit$ J

$\therefore \; J = \frac{W}{H} = \frac{Vit}{(Ms + mS)(\theta_2 - \theta_1)}$ J cal^{-1}

$\therefore$ এখন V, i, t, M, m, s, S, θ_1 এবং θ_2-এর মান জেনে J-এর মান পাওয়া যায়।

সতর্কতা :

১। সকল সংযোগ দৃঢ়ভাবে দিতে হবে।
২। সংযোগ তারের প্রান্ত এবং সংযোগ স্ক্রু শিরিষ কাগজ দিয়ে ভালো করে ঘষে নিতে হবে।
৩। কুণ্ডলী যেন সব সময় তরলের মধ্যে ডুবে থাকে সেদিকে লক্ষ রাখতে হবে।
৪। থার্মোমিটারের বাল্‌ব যেন কোনোক্রমেই রোধ কুণ্ডলীকে স্পর্শ না করে সেদিকে লক্ষ রাখতে হবে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। 50 Ω রোধের ভেতর দিয়ে 2A প্রবাহ 100 sec চালনা করলে 0°C তাপমাত্রার কতটুকু পানির তাপমাত্রা 100°C-এ পৌঁছাবে ?

আমরা পাই,

$$H = i^2Rt$$
$$= (2)^2 \times 50 \times 100 = 20000 \text{ J}$$

এখানে,
$i = 2A$
$R = 50\ \Omega$
$t = 100$ sec

আবার, পানি কর্তৃক গৃহীত তাপ,

$$H = mS\theta$$
$$= m \times 4200 \times 100 \text{ J}$$
$$= 420000\ m \text{ J}$$

$S = 4200 \text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$
$\theta = 100°C$
m = পানির ভর

$$\therefore 420000\ m = 20000$$
$$\therefore m = \frac{20000}{420000} = 0{\cdot}0476 \text{ kg}$$

২। 100 Ω রোধের একটি নিমজ্জক উত্তাপককে 2·50 kg পানিতে ডুবিয়ে 5 A প্রবাহ চালনা করলে কত সময়ে পানির তাপমাত্রা 24°C বৃদ্ধি পাবে ?

মনে করি, উৎপন্ন তাপ= H

আমরা পাই, $H = i^2Rt$ ... ... (1)

আবার, $H = mSd\theta$ ... ... (2)

সমীকরণ (1) ও (2) থেকে পাই,

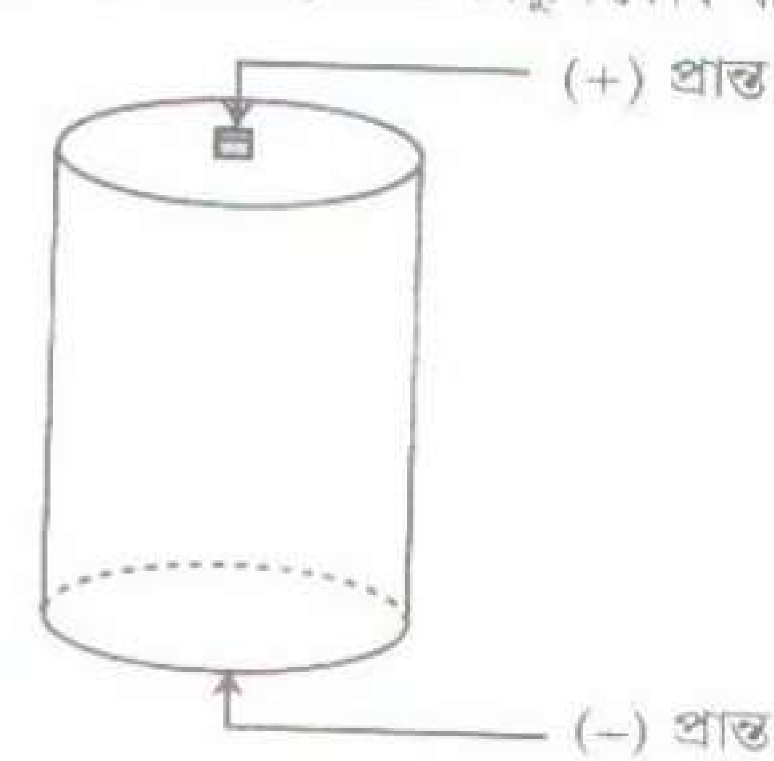
$$i^2Rt = mSd\theta$$
$$\therefore t = \frac{mSd\theta}{i^2R}$$
$$= \frac{2{\cdot}5 \times 4200 \times 24}{(5)^2 \times 100}$$
$$= 100{\cdot}8 \text{ s} = 1 \text{ min } 40{\cdot}8 \text{ s}$$

এখানে,
$m = 2{\cdot}50$ kg
$S = 4200 \text{ Jkg}^{-1}\text{ K}^{-1}$
$d\theta = 24°\text{ C} = 24 \text{ K}$
$i = 5A$
$R = 100\ \Omega$
$t = ?$

৩.৪ কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ ও তড়িচ্চালক বল
Internal resistance of a cell and Electromotive force

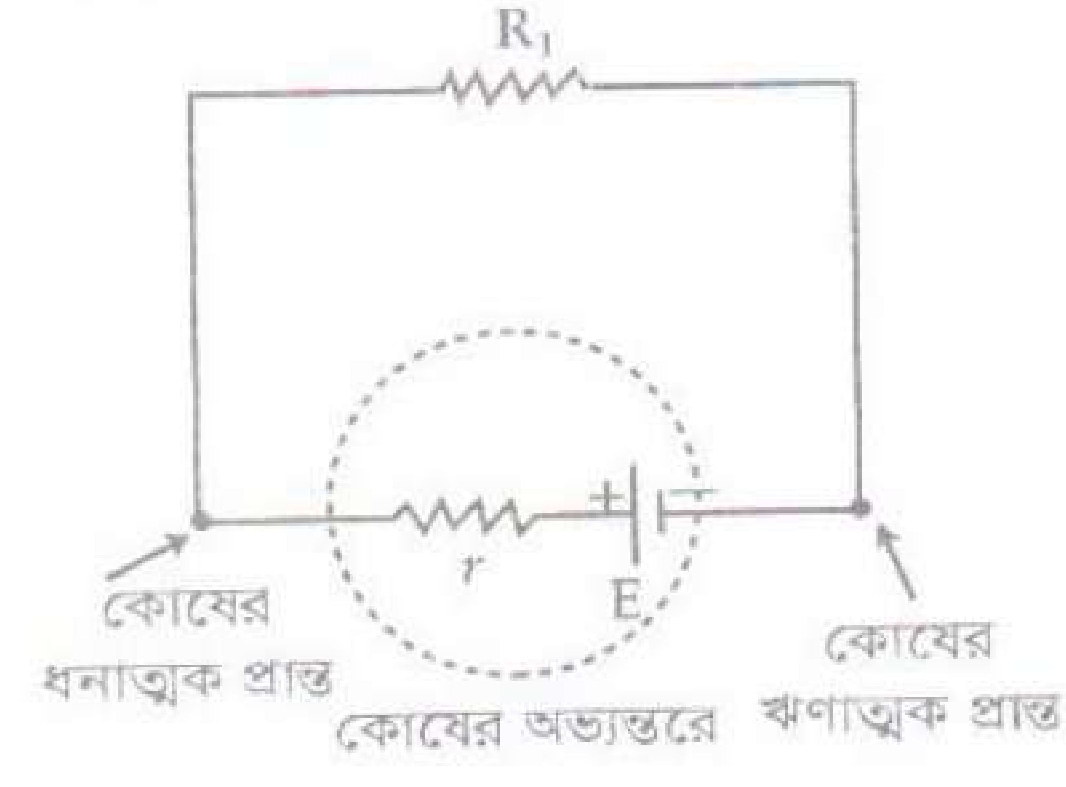
আমাদের দৈনন্দিন ব্যবহার্য জিনিসপত্র যেমন রেডিও, টেলিভিশন, ফ্রিজ, ক্যাসেট প্লেয়ার, টর্চলাইট ইত্যাদি যন্ত্রপাতি পরিচালনার জন্য বিদ্যুৎ শক্তির প্রয়োজন হয়। বিদ্যুৎ শক্তির বিভিন্ন উৎস রয়েছে, যেমন বিদ্যুৎ কোষ বা ব্যাটারী, জেনারেটর ইত্যাদি। একটি টর্চলাইটের কথা বিবেচনা করা যাক। এর ভেতর দুটি বা তিনটি শুষ্ক কোষ (একাধিক কোষের সিরিজ সংযোগকে ব্যাটারী বলে), একটি ছোট্ট বাল্ব এবং বাল্বের সঙ্গে ব্যাটারির সংযোগকারী তামার পাত রয়েছে। এখানে শক্তির উৎস হলো ব্যাটারী। ব্যাটারী হতে বিদ্যুৎ শক্তি বাল্বে গমন করে এবং বাল্বের ফিলামেন্ট উত্তপ্ত হয়ে আলো বিকিরণ করে।

এখন কোষ বা ব্যাটারীর মধ্যে রাসায়নিক ক্রিয়া বিক্রিয়ার মাধ্যমে সৃষ্ট আধান এর অভ্যন্তরে এক প্রান্ত হতে অপর প্রান্তে প্রবাহিত হয়। এর ফলে কোষের এক প্রান্ত ধনাত্মক এবং অপর প্রান্ত ঋণাত্মক আধান সমৃদ্ধ হয় [চিত্র ৩.২]।



চিত্র ৩.২

কোষের ভেতর তড়িৎ প্রবাহের দিক কোষের ঋণাত্মক পাত থেকে ধনাত্মক পাতের দিকে। এই পাতদ্ব মধ্যকার বিভিন্ন উপাদান তড়িৎ প্রবাহকে বাধা প্রদান করে। এই **বাধাকেই কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ বলে।** প্রত্যে তড়িৎ কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ থাকে। একে 'r' দ্বারা প্রকাশ করা হয়।



চিত্র ৩.৩(ক)

কোষের দুই প্রান্তে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধা উপস্থিতির জন্য এদের মধ্যে বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হ **বহিঃবর্তনীর সংযোগ বিচ্ছিন্ন অবস্থায় কোষের দুই প্রা সর্বোচ্চ বিভব পার্থক্যকে তড়িচ্চালক বল বলা হয়।**

কোষটি বহিঃবর্তনীর রোধ R_1-এর সঙ্গে স করলে [চিত্র ৩.৩(ক)] R_1-এর ভেতর দিয়ে বিদ্যুৎ প্র চলবে। সংযোগ বিচ্ছিন্ন না করলে বা কোষ নষ্ট না হ বর্তনীতে এ প্রবাহ চলতে থাকবে অর্থাৎ কোষ হচ্ছে চা শক্তি যা বিদ্যুৎ প্রবাহ বজায় রাখে।

সুতরাং তড়িচ্চালক বলের সংজ্ঞা এভাবেও দেওয়া যায়— **যে চালিকা শক্তি বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহ বজায় রা তাকে তড়িচ্চালক বল বলে।** অন্যভাবে বলা যায় **একক চার্জকে কোষ সমেত কোনো বর্তনীর এক বিন্দু থেকে সম্প বর্তনী ঘুরিয়ে আবার ঐ বিন্দুতে নিতে যে কাজ সম্পন্ন করতে হয় তাকে ঐ কোষের তড়িচ্চালক বল বলে।** একে ε বা দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

তড়িচ্চালক বলের একক (unit of emf) : তড়িচ্চালক বলের একক হলো জুল/কুলম্ব (JC^{-1}), বা ভোল্ট (vo V)। তবে ভোল্টই সর্বাধিক ব্যবহৃত একক। সুতরাং তড়িচ্চালক বল ও বিভব পার্থক্যের একক একই। ভোল্টের নিম্নে সংজ্ঞা দেয়া যায়—

m-25-16

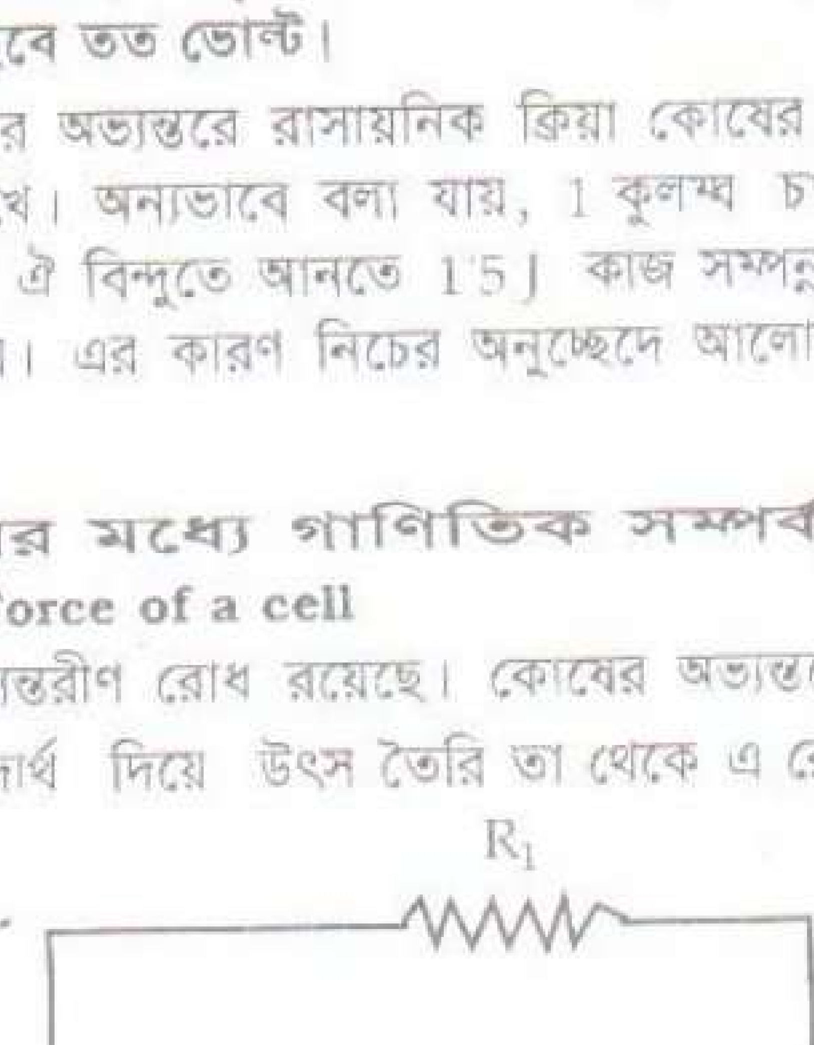
তড়িৎ বর্তনীর কোনো এক বিন্দু হতে 1 কুলম্ব চার্জকে তড়িৎ কোষসহ সম্পূর্ণ বর্তনী একবার ঘুরিয়ে পুনরায় বিন্দুতে আনতে যত জুল কাজ সম্পন্ন করা হয় কোষের তড়িচ্চালক বল হবে তত ভোল্ট।

সাধারণত টর্চে ব্যবহৃত প্রতিটি কোষের $E = 1.5V$, অর্থাৎ কোষের অভ্যন্তরে রাসায়নিক ক্রিয়া কোষের ধনা প্রান্তের বিভব ঋণাত্মক প্রান্তের তুলনায় $1.5V$ (বা $1.5\,JC^{-1}$) বেশি রাখে। অন্যভাবে বলা যায়, 1 কুলম্ব চার্জকে কোষ সমেত কোনো বর্তনীর এক বিন্দু হতে সম্পূর্ণ বর্তনী একবার ঘুরিয়ে ঐ বিন্দুতে আনতে $1.5\,J$ কাজ সম্পন্ন হয়।

বাস্তবে কোষের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য E-এর চেয়ে কম হয়। এর কারণ নিচের অনুচ্ছেদে আলোচনা ক হলো।

কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ এবং তড়িচ্চালক বলের মধ্যে গাণিতিক সম্পর্ক
Relation between Internal resistance and Electromotive Force of a cell

প্রত্যেক বিদ্যুৎ শক্তির উৎস, যেমন কোষ বা জেনারেটরের অভ্যন্তরীণ রোধ রয়েছে। কোষের অভ্যন্তরে বি প্রবাহ যে পরিমাণ বাধা পায় তাই কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ। যে সমস্ত পদার্থ দিয়ে উৎস তৈরি তা থেকে এ রোধ সৃ হয়। যেমন কোষের ক্ষেত্রে এর মধ্যে ব্যবহৃত সক্রিয় রাসায়নিক বস্তুর প্রকৃতি, কোষের পাতদ্বয়ের মাঝে দূরত্ব, এবং পাতদ্বয়ের আকার, কোষের অভ্যন্তরের তাপমাত্রা ইত্যাদির উপর অভ্যন্তরীণ রোধ r-এর মান নির্ভর করে। আবার জেনারেটরের ভেতরে ব্যবহৃত তার, বিভিন্ন যন্ত্রাংশ ইত্যাদির রোধ এর অভ্যন্তরীণ রোধ। বহিঃবর্তনীর রোধের সঙ্গে অভ্যন্তরীণ রোধ শ্রেণি-সমবায়ে সংযুক্ত হয় [চিত্র ৩.৩(খ)]। সুতরাং বর্তনীর মোট রোধ হবে



চিত্র ৩.৩(খ)

$R = R_1 + r$, এখানে R_1 হলো বহিঃবর্তনীর রোধ।

সাধারণত r-এর মান খুবই কম হয়। বর্তনীর প্রবাহমাত্রা I হলে, আমরা পাই,

$$I = \frac{E}{R_1 + r}$$, এখানে E কোষের তড়িচ্চালক বল।

বা, $E = IR_1 + Ir$

$= V + Ir \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.9$

[illegible]

V এবং Ir যথাক্রমে বহিঃবর্তনীর রোধের দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য এবং কোষের অভ্যন্তরে r-এর জন্য বিভব পতন। V-কে বলা হয় প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য বা ভোল্টেজ (Terminal potential difference or voltage)।

অর্থাৎ বর্তনীতে প্রবাহ চলাকালীন কোষের প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে বিভব পার্থক্যই V।

সমীকরণ (3.9) হতে এটা স্পষ্ট যে, $V < E$।

প্রান্তীয় ভোল্টেজ তড়িচ্চালক শক্তির চেয়ে কম হওয়ার কারণ হলো যে কোষের অভ্যন্তরীণ রোধের ভেতর দিয়ে প্রবাহ চালনা করার জন্য কিছু পরিমাণ তড়িচ্চালক বল প্রয়োজন হয়। এর ফলে কোষের ভেতর বিভব পতন[১] ঘটে। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে কোষের দুই প্রান্তের মধ্যে Ir পরিমাণ বিভব পার্থক্য কমে যায়; অর্থাৎ Ir পরিমাণ ভোল্ট **বহিঃবর্তনীতে কোনো কাজে আসে না, বরং নষ্ট হয়। এজন্য Ir-কে নষ্ট ভোল্ট (Lost volt) বলা হয়।** নষ্ট ভোল্ট, $Ir = E - V$ (08−05)

সমীকরণ (3.9) অনুসারে বহিঃবর্তনী রোধ R_1 ক্ষুদ্র মানের হলে প্রান্তীয় বিভব তড়িচ্চালক শক্তির তুলনায় অনেক ছোট হয়। আবার R_1 যখন খুব বড় মানের হয় তখন প্রান্তীয় বিভব তড়িচ্চালক শক্তির প্রায় সমান হয়।

সমীকরণ (3.9)-এ $I = 0$ হলে,

$E = V$ হবে।

অর্থাৎ, **যখন বহিঃবর্তনীতে কোনো প্রবাহ থাকে না, অর্থাৎ বর্তনী খোলা অবস্থায় থাকে, তখন কোষের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য ঐ কোষের তড়িচ্চালক শক্তির সমান হয়।**

কাজ : বর্তনীতে অভ্যন্তরীণ রোধের কাজ কী ? বিদ্যুৎ প্রবাহ চলার ক্ষেত্রে অভ্যন্তরীণ রোধের ভূমিকা কী ?

বিদ্যুৎ প্রবাহ (i) এবং তড়িচ্চালক বলের মধ্যে সম্পর্ক হলো $i = \frac{E}{R + r}$। এই সমীকরণ থেকে বোঝা যায় যে, বহিঃবর্তনীর রোধ R নির্দিষ্ট হলে তড়িৎ প্রবাহ i কেবলমাত্র কোষের তড়িচ্চালক বল E-এর উপর নির্ভর করে না। এর অভ্যন্তরীণ রোধ r এর উপরও নির্ভরশীল হয়। কাজেই কোনো কোষ হতে উচ্চ মাত্রায় তড়িৎ প্রবাহ পেতে হলে এর অভ্যন্তরীণ রোধ স্বল্প হওয়া প্রয়োজন। কোনো কোষের দুই প্রান্ত নগণ্য রোধবিশিষ্ট ($R = 0$) তামার মোটা পাত দ্বারা যুক্ত করলে উহা সর্বাধিক তড়িৎ প্রবাহ প্রদান করে।

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : কোনো তড়িৎ কোষের প্রান্তীয় বিভব তার তড়িচ্চালক বলের সমান হয় কী?

কোষের তড়িচ্চালক বল, $E = V + ir$, এখানে V = প্রান্তীয় বিভব এবং r = অভ্যন্তরীণ রোধ। প্রান্তীয় বিভব, $V = E - ir$। সুতরাং দুটি শর্তে $V = E$ হতে পারে।

(i) $r = 0$ অর্থাৎ কোষটির অভ্যন্তরীণ রোধ শূন্য হলে—যা বাস্তবে সম্ভব নয়।

(ii) $i = 0$ অর্থাৎ কোষটির মধ্য দিয়ে কোনো তড়িৎ প্রবাহ না গেলে। মুক্ত বা খোলা বর্তনীতে এ ঘটনা ঘটে।

হিসাব কর : একটি কোষের তড়িচ্চালক বল 2 volt কিন্তু উহার সাথে 10 ohm একটি রোধক যুক্ত করলে কোষের পাত দুটির বিভব পার্থক্য দাঁড়ায় 1·6 volt; কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ এবং নষ্ট ভোল্ট নির্ণয় কর।

মনে করি 10 ohm রোধে প্রবাহমাত্রা I। কাজেই $I = \frac{1·6}{10} = 0·16A$ প্রবাহমাত্রা বাড়লে অর্থাৎ

এখন আমরা জানি, $r = \frac{E - V}{I}$, এখানে E = 2V, V = 1·6 V এবং I = 0·16A প্রান্তীয় ভোল্ট কমে →

অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = \frac{2 - 1·6}{0·16} = \frac{0·4}{0·16} = 2·5$ ohm

এবং নষ্ট ভোল্ট, $Ir = 0·16 \times 2·5$ volt = 0·4 volt

[M − 02-03]

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 2V। এতে যখন 5A তড়িৎ প্রবাহিত হয়, তখন এর বিভব পার্থক্য 1·8 V হয়। কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ কত ? [চ. বো. ২০১১; য. বো. ২০০২]

মনে করি, অভ্যন্তরীণ রোধ = r

আমরা জানি, $R = \frac{V}{i}$

$\therefore R = \frac{1·8}{5} = 0·36\ \Omega$

এখানে,
$E = 2V$
$i = 5A$
$V = 1·8\ V$
$r = ?$

[১] একটি পরিবাহী বা রোধের এক প্রান্ত হতে অপর প্রান্তে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে ঐ পরিবাহী বা রোধের ভেতর বিভব পতন হয়েছে বলা হয়। বিভব পতন এবং বিভব পার্থক্য একই।

আবার, $i = \frac{E}{R + r}$

$\therefore \quad 5 = \frac{2}{0{\cdot}36 + r}$

বা, $0{\cdot}36 + r = \frac{2}{5}$

বা, $0{\cdot}36 + r = 0{\cdot}40$

$\therefore \quad r = 0{\cdot}40 - 0{\cdot}36$

$= 0{\cdot}04\ \Omega$

২। 4 Ω ও 6Ω এর দুটি রোধককে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে সমবায়টিকে 2·2V তড়িচ্চালক শক্তি ও 1Ω অভ্যন্তরীণ রোধের একটি কোষের সাথে যুক্ত করে বর্তনী পূর্ণ করা হলো। প্রতিটি রোধের প্রান্তীয় বিভব নির্ণয় কর।

[চ. বো. ২০০৭, ২০০৩; ব. বো. ২০০৬; সি. বো. ২০০৭]

মনে করি শ্রেণি সমবায়ে তুল্য রোধ R_s

ও প্রবাহমাত্রা $= i$

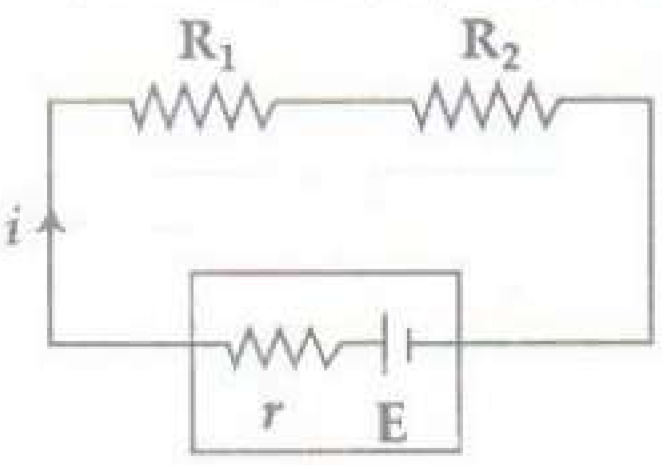
আমরা জানি,

$R_s = R_1 + R_2 = 4 + 6 = 10\Omega$

আবার $i = \frac{E}{R_s + r} = \frac{2{\cdot}2}{10 + 1} = \frac{2{\cdot}2}{11} = 0{\cdot}2A$

$\therefore \quad V_1 = iR_1 = 0{\cdot}2 \times 4 = 0{\cdot}8V$

এবং $V_2 = iR_2 = 0{\cdot}2 \times 6 = 1{\cdot}2V$



চিত্র ৩·৪

এখানে,

$R_1 = 4\Omega$

$R_2 = 6\Omega$

$E = 2{\cdot}2V$

$r = 1\ \Omega$

$V_1 = ?$

$V_2 = ?$

৩। একটি তড়িৎ কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 2V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0·25 Ω। 5 Ω এবং 15 Ω রোধের দুটি তার সমান্তরালভাবে সাজিয়ে কোষটির সাথে যুক্ত করলে প্রত্যেক তারের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।

[রা. বো. ২০১১; য. বো. ২০১০]

প্রশ্নানুসারে বর্তনীটি দেখানো হলো [চিত্র ৩·৫]।

মনে করি, মোট প্রবাহমাত্রা $= i$

আমরা পাই, $i = \frac{E}{R + r}$ ... ... (1)

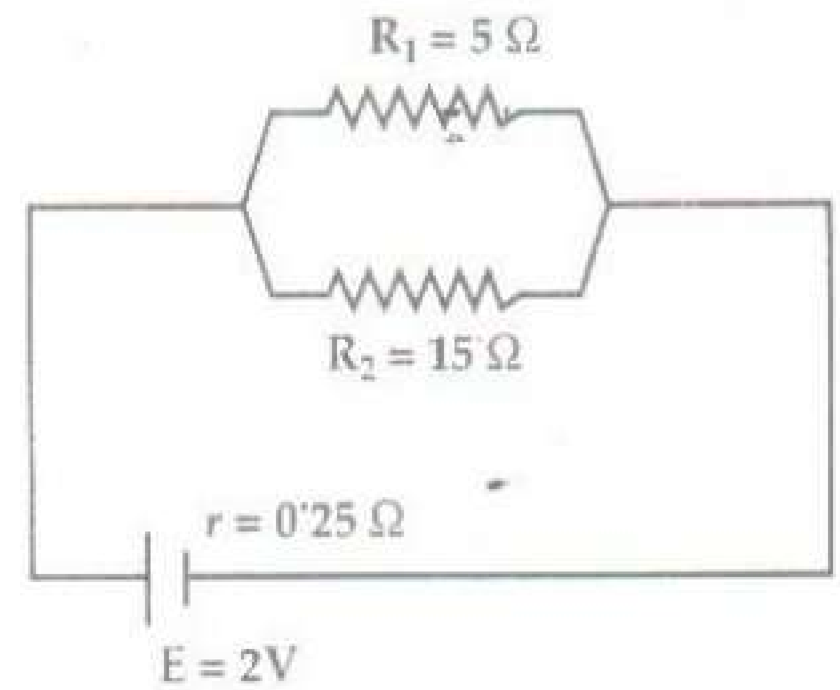
এখানে, $E = 2V$, $r = 0{\cdot}25\ \Omega$ এবং R_1 ও R_2 রোধদ্বয়ের তুল্য রোধ R হলে,

$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

$= \frac{1}{5} + \frac{1}{15}$

$= \frac{3+1}{15} = \frac{4}{15}$

$\therefore \quad R = \frac{15}{4}\ \Omega$



চিত্র ৩·৫

সমীকরণ (1) হতে পাই,

$i = \frac{2}{0{\cdot}25 + \frac{15}{4}} = \frac{2}{\frac{1{\cdot}00 + 15}{4}}$

$= \frac{2}{\frac{16}{4}} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2} = 0{\cdot}5\ A$

$\therefore \quad i = 0{\cdot}5\ A$

[M-14-15]

ধরি, কোষের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য = V

$\therefore\ V = i \times R = 0{\cdot}5 \times \frac{15}{4}$

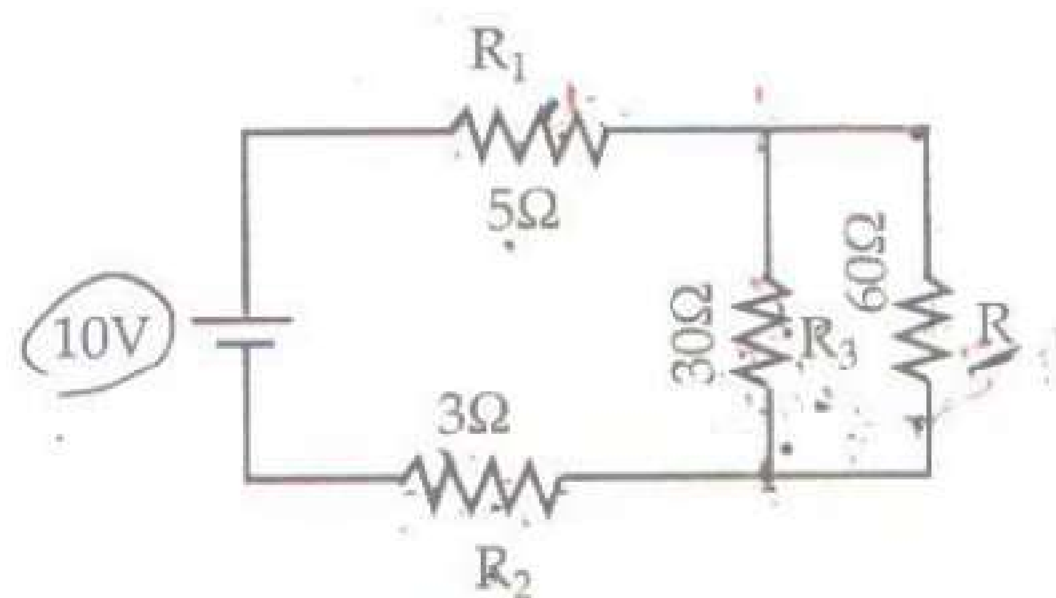
$= 1{\cdot}875$ V

সুতরাং $R_1 = 5\ \Omega$ রোধবিশিষ্ট তারের মধ্য দিয়ে প্রবাহ, $i_1 = \frac{1{\cdot}875}{5} = 0{\cdot}375$ A

এবং $R_2 = 15\ \Omega$ রোধবিশিষ্ট তারের মধ্য দিয়ে প্রবাহ, $i_2 = \frac{1{\cdot}875}{15} = 0{\cdot}125$ A

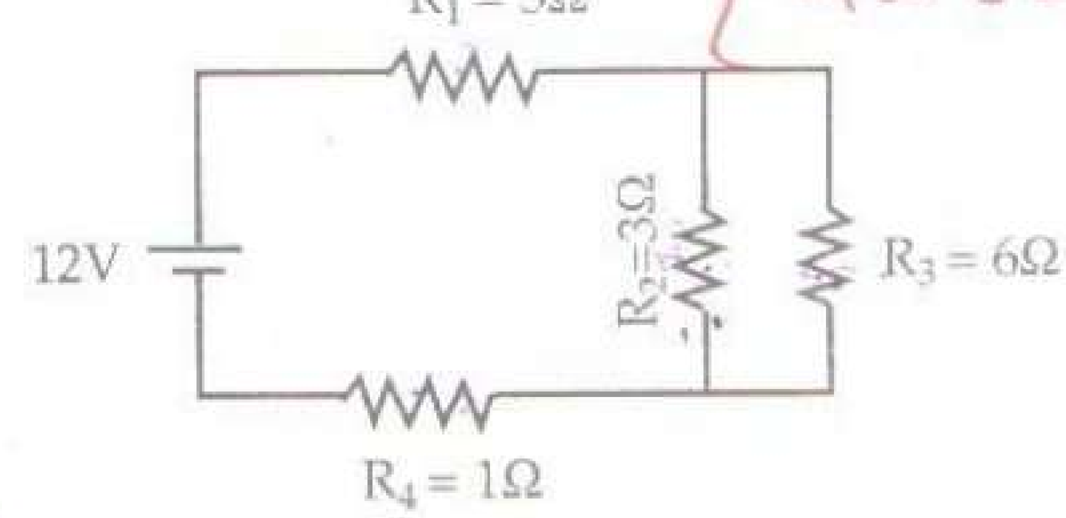
কর্ম অনুশীলন : নিচের বর্তনীগুলি দেখ এবং এগুলোর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ ও বিভব পার্থক্য ও রোধ নির্ণয়ের অনুশীলনীগুলো কর।

I.



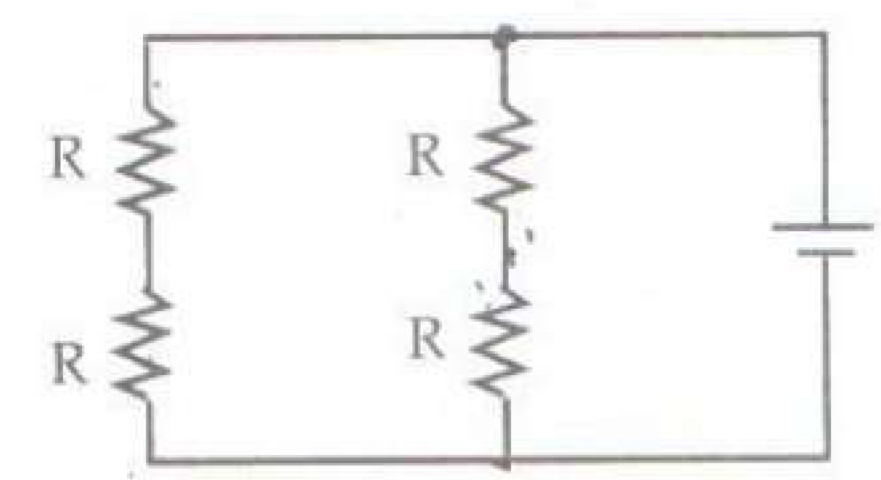
R_3 রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহের মান কত ? [উ. 0.24A]
[ঢা.বি. ভর্তি পরীক্ষা, ২০১১–১২]

II. [M-02-03]



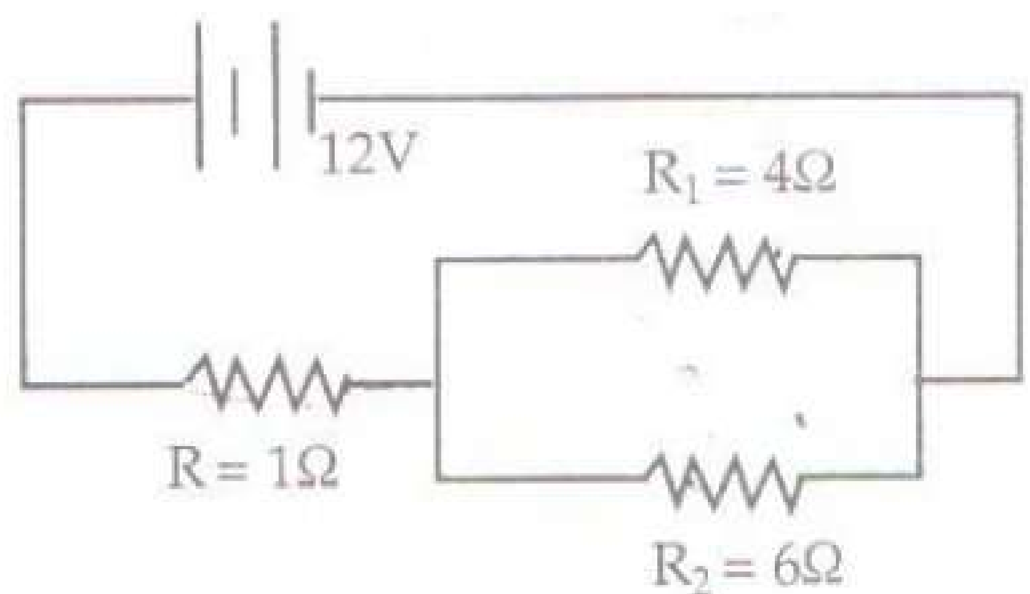
R_3 রোধের মধ্যে বিভব পার্থক্য কত ?
[ঢা. বি. ভর্তি পরীক্ষা, ২০১০–১১] [উ. 3V]

III.



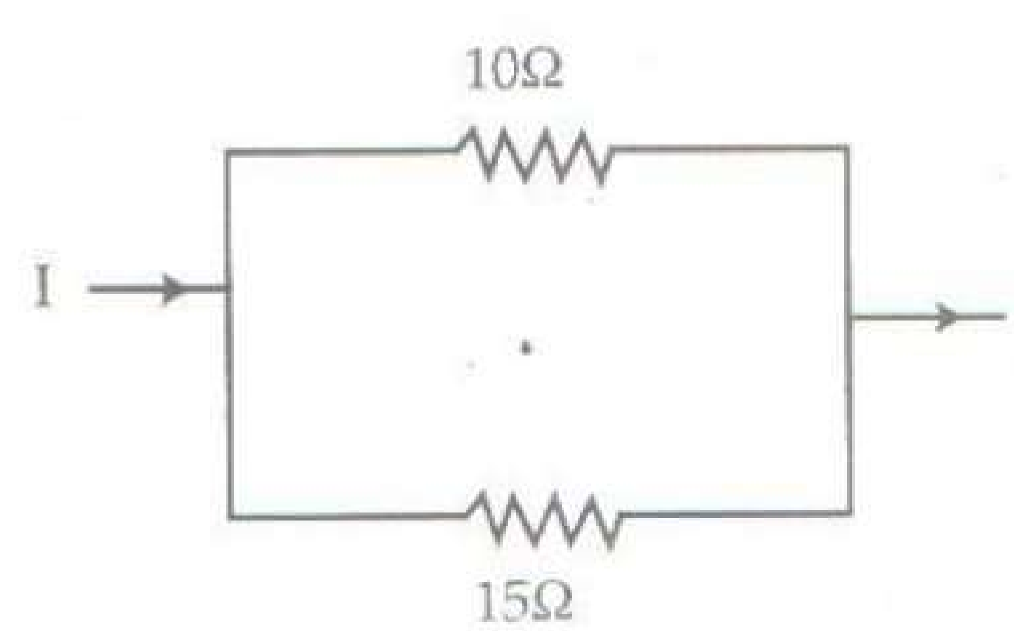
বর্তনীর সমতুল্য রোধ কোনটি ?
[ঢা.বি. ভর্তি পরীক্ষা, ২০১০–১১] [উ. R]

IV.



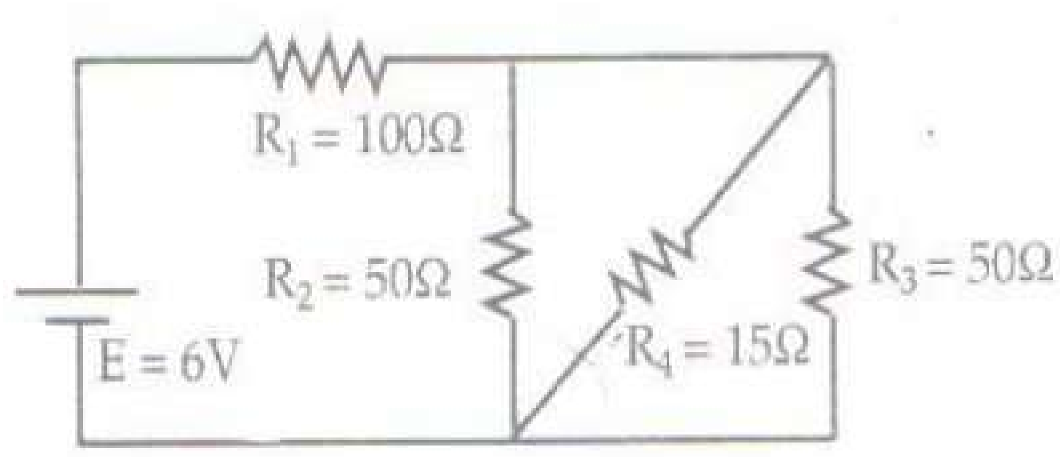
R_1, R_2 রোধের ভেতর দিয়ে প্রবাহের মান কত ?
[ঢা. বি. ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৮–০৯] [উ. 18A]

V.



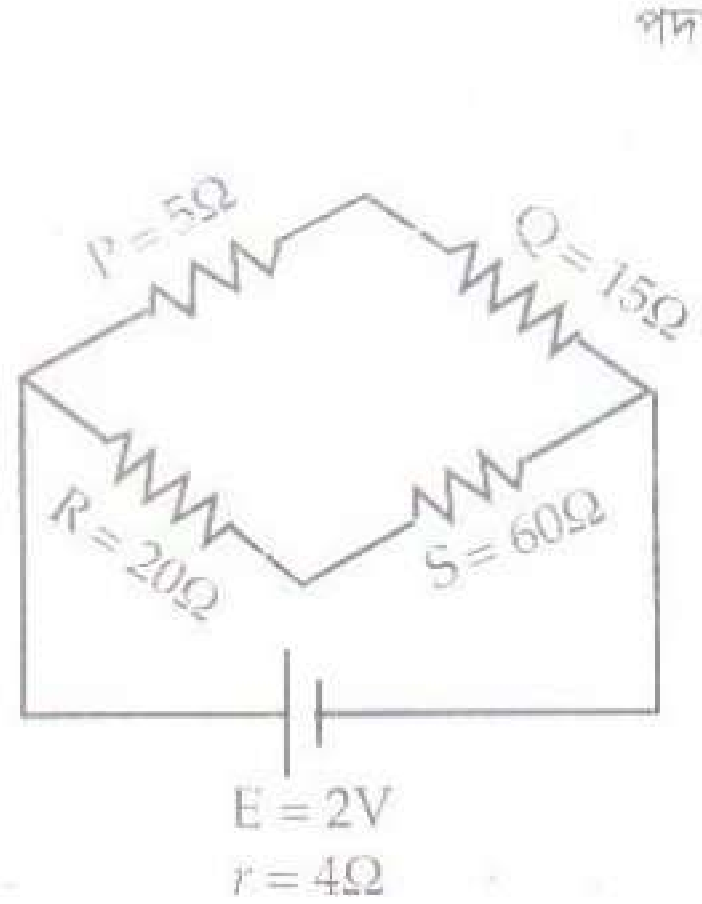
10 রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ কত হবে?
[ঢা.বি. ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৭–০৮] [উ. 0.6I]

VI.



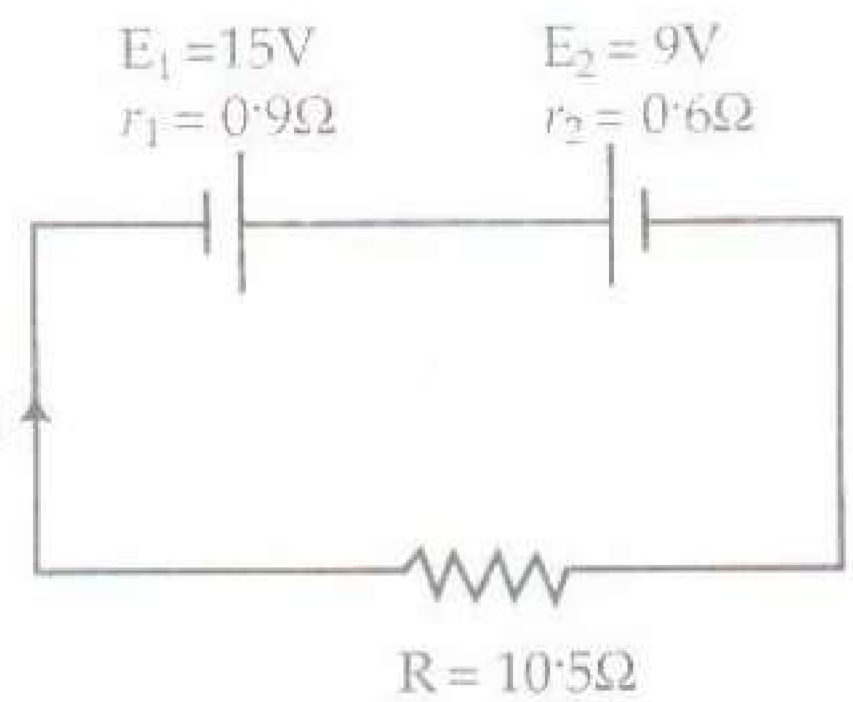
প্রতিটি রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ কত?
[উ. I_1=0.05A, I_2=I_3=0.1875A, I_4=0.015A]

VII.



বর্তনীর মোট প্রবাহ কত? [উ. 0·1A]

VIII.



বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ নির্ণয় কর।

[উ. কোষদ্বয় পরস্পর বিপরীতভাবে যুক্ত

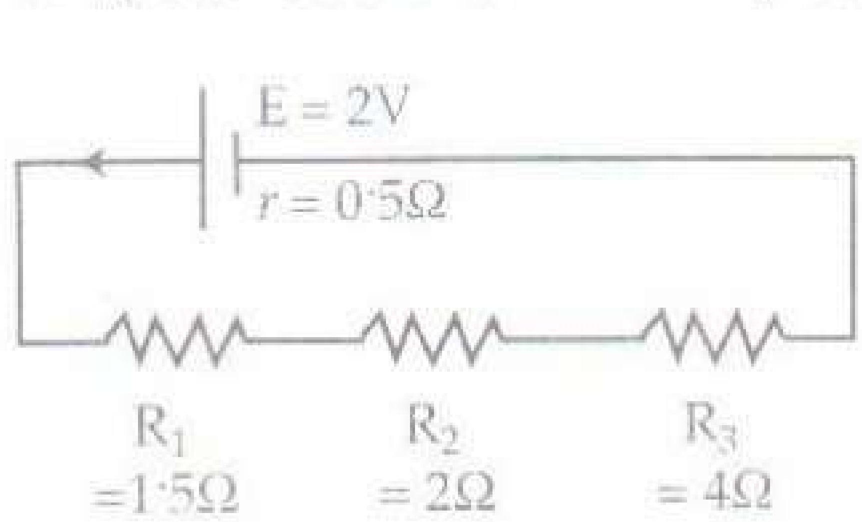
$\therefore E_1 > E_2$ ফলে I এর অভিমুখ দক্ষিণাবর্তী বর্তনী

মোট তড়িচ্চালক বল $= E_1 - E_2 = 15 - 9 = 6V$

মোট রোধ $r_1 + r_2 + R = 0·9 + 0·6 + 10·5 = 12Ω$

$\therefore I = \frac{6}{12} = 0·5 A$

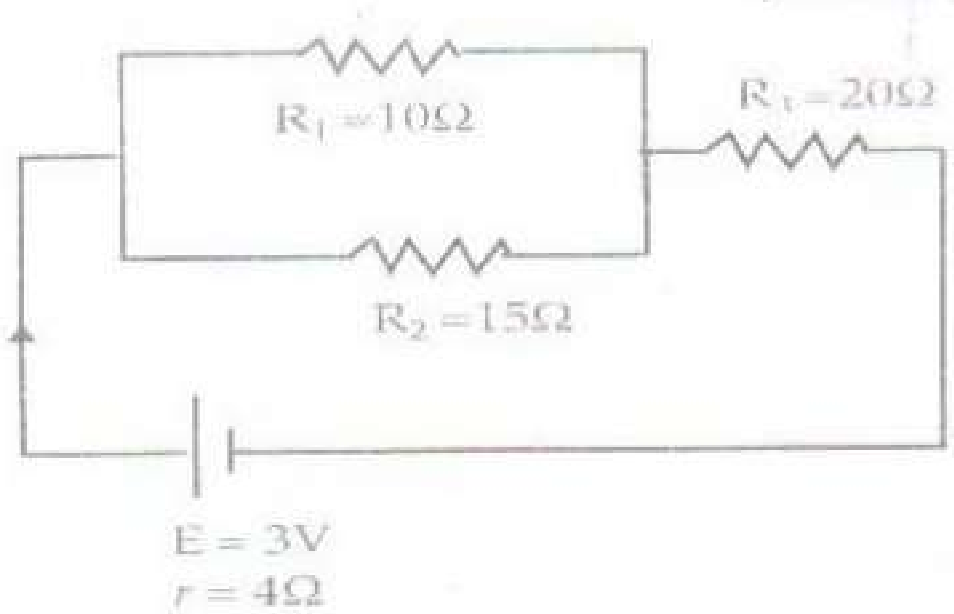
IX.



মধ্যবর্তী রোধকের প্রান্তদ্বয়ের বিভব পার্থক্য কত?

[উ. 0·5V]

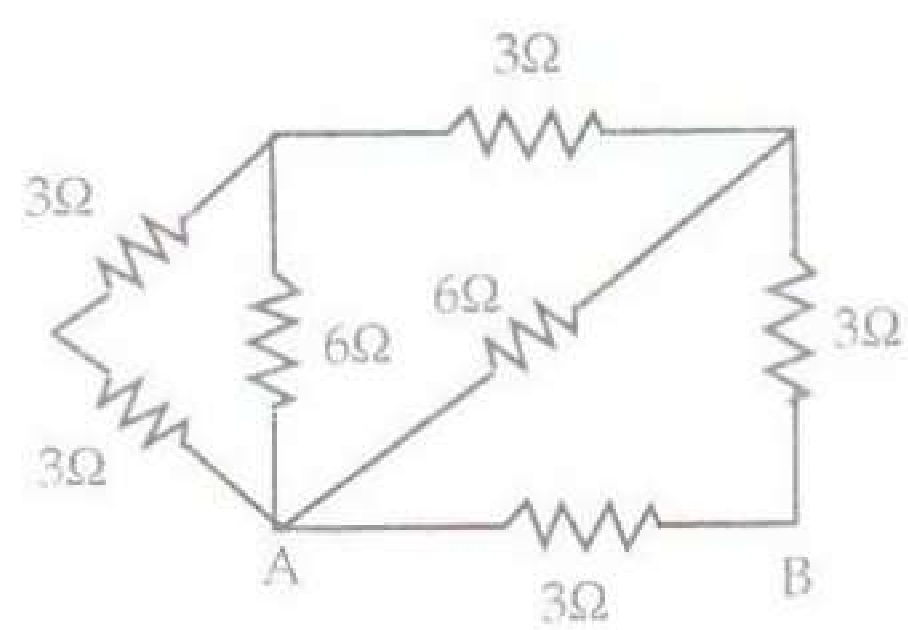
X.



R_1 এর মধ্যে দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ এবং এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য কত ?

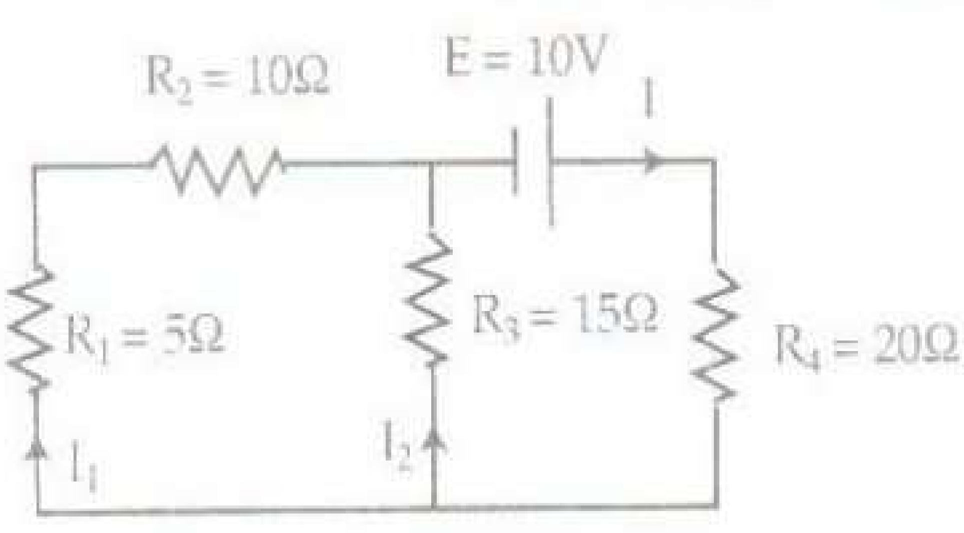
[উ. I = 0·1A, V = 2V]

XI.



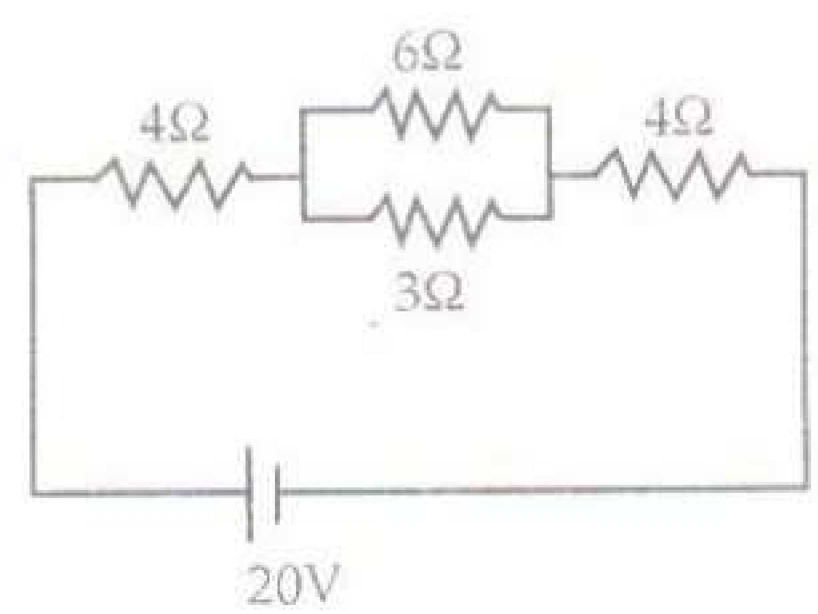
A ও B এর মধ্যে কার্যকর রোধ কত? [উ. 9Ω]

XII.



কির্শফের পদ্ধতিতে I_1 ও I_2 এর সঠিক মান নির্ণয় কর। [উ. $I_1 = 0·5$ Amp, $I_2 = 0·82$ Amp]

XIII.

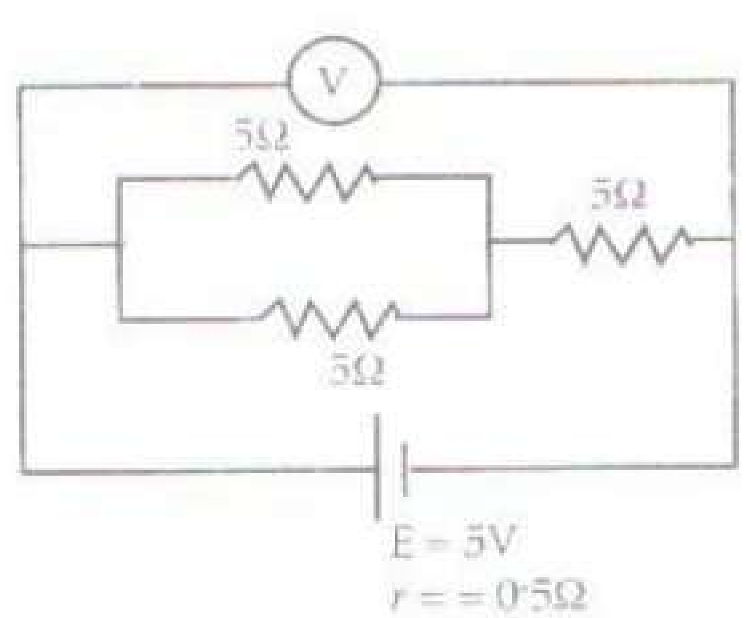


বর্তনীতে প্রবাহিত কারেন্টের মান কত ?

[ঢা.বি. ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৬-০৭] [উ. 20A]

XIV. (ক) বর্তনীর মূল প্রবাহ $I = ?$

(খ) দ্বিগুণ অভ্যন্তরীণ রোধের তড়িৎকোষ ব্যবহার করলে ভোল্টমিটারের কিরূপ পরিবর্তন হবে?



উত্তর : (ক) এখানে মোট রোধ $R = 7·5\Omega$

$\therefore I = \frac{5}{7·5 + 0·5} = 0·625A.$

(খ) একই তড়িচ্চালক শক্তি এবং দ্বিগুণ অভ্যন্তরীণ রোধের তড়িৎকোষ ব্যবহার করলে কোষের অভ্যন্তরে অধিকতর মানের বিভব পতন ঘটবে। এতে বহিঃবর্তনীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য এবং ভোল্টমিটারের পাঠ কমে যায়। পূর্বের ক্ষেত্রে ভোল্টমিটারের পাঠ $= IR = 0·625A \times 7·5\Omega = 4·69V$

কোষের অভ্যন্তরে বিভব পতন $= Ir = 0·625A \times 0·5\Omega = 0·31V$

বর্তনীর মূল প্রবাহমাত্রা, $I = \frac{E}{R+r} = \frac{5}{7·5 + 1} = 0·588$ A

ভোল্টমিটারের পাঠ, $IR = 0·588 \times 7·5 = 4·41V$

কোষের অভ্যন্তরে বিভব পতন, $Ir = 0·588 \times 1 = 0·588$ V

কানাই? কোথায় - ৪ ছাত্র কেন
তা তুলায় ? → হলুদ
M-04-05

যেহেতু $4·69V > 4·41V$ এবং $0·31V < 0·5V$.

সুতরাং দ্বিগুণ অভ্যন্তরীণ রোধের কোষ ব্যবহার করলে প্রবাহমাত্রা সামান্য কমে গেলেও কোষের অভ্যন্তরীণ বিভব পতন বৃদ্ধি পাবে এবং বহিঃবর্তনীর দু প্রান্তের বিভব পার্থক্য কমে যাওয়ায় ভোল্টমিটারের পাঠ কমে যাবে।

৩·৫ বিদ্যুৎ কোষের সমবায়
Combination of cells

কোনো কোনো ক্ষেত্রে বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা বা বিভব বৈষম্য পরিবর্তনের জন্য কতকগুলো বৈদ্যুতিক কোষকে একত্রে যুক্ত করা হয়। একে বৈদ্যুতিক কোষের সমবায় বলে এবং এরূপ দলবদ্ধ বিদ্যুৎ কোষগুলোকে একত্রে ব্যাটারী বলে। বিদ্যুৎ কোষের সমবায় তিন প্রকার; যথা— (06—08)

(ক) শ্রেণি বা সিরিজ সমবায় (Series combination)

(খ) সমান্তরাল সমবায় (Parallel combination) ও

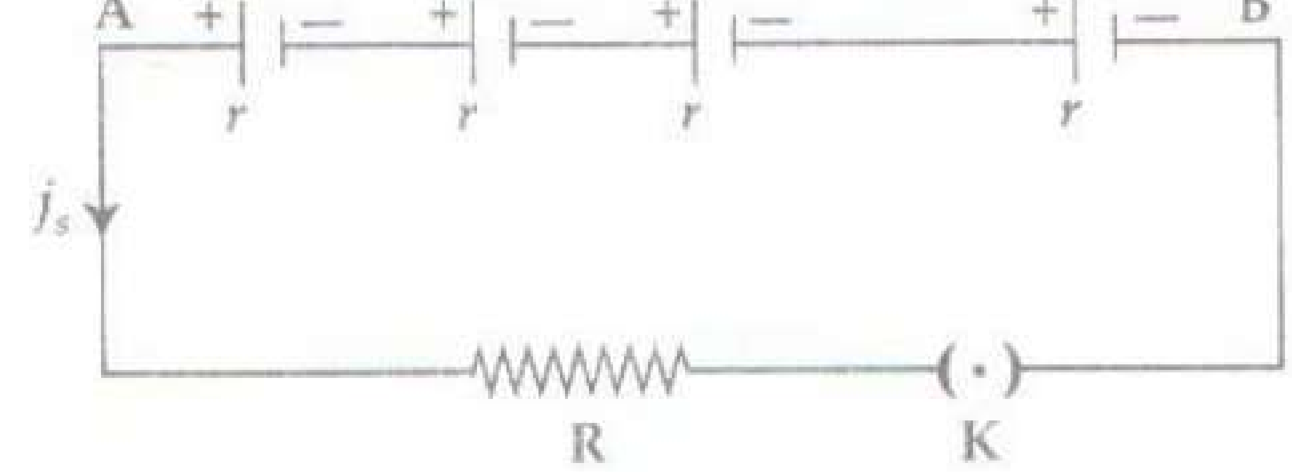
(গ) মিশ্র সমবায় (Mixed combination)।

নিচে আমরা প্রথম দুটি সমবায় আলোচনা করব।

শ্রেণি সমবায়
Series combination

যদি কতকগুলো বিদ্যুৎ কোষকে এমনভাবে যুক্ত করা হয় যাতে প্রথমটির ঋণ পাতের সাথে দ্বিতীয়টির ধন পাত, দ্বিতীয়টির ঋণ পাতের সাথে তৃতীয়টির ধন পাত পর পর এভাবে যুক্ত থাকে তবে বিদ্যুৎ কোষগুলোর এই সমবায়কে শ্রেণি সমবায় বলে।

ধরা যাক R মানের একটি রোধের দুই প্রান্তের সাথে nটি বিদ্যুৎ কোষ শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত আছে [চিত্র ৩·৬]। প্রত্যেক বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক শক্তি E এবং অভ্যন্তরীণ রোধ r। কোষগুলোর মিলিত বিদ্যুচ্চালক শক্তি বা ব্যাটারীর বিদ্যুচ্চালক শক্তি অথবা বর্তনীর বিভব বৈষম্য nE এবং সমতুল্য অভ্যন্তরীণ রোধ nr। কেননা রোধগুলো শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত। কোষগুলোর অভ্যন্তরীণ রোধ আবার R-এর সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত। কাজেই বর্তনীর মোট রোধ $= nr + R$।



চিত্র ৩·৬

ও'মের সূত্র অনুসারে বর্তনীর বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা,

$$i_s = \frac{\text{মোট বিদ্যুচ্চালক শক্তি}}{\text{মোট রোধ}} = \frac{nE}{nr + R} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.10)$$

(১) যদি nr-এর তুলনায় R অনেক বড় হয় অর্থাৎ $nr << R$, তবে nr অগ্রাহ্য করা যায়। এই অবস্থায় $i_s = \frac{nE}{R} = n \times$ একটি কোষের সৃষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা $> \frac{nE}{nr + R}$।

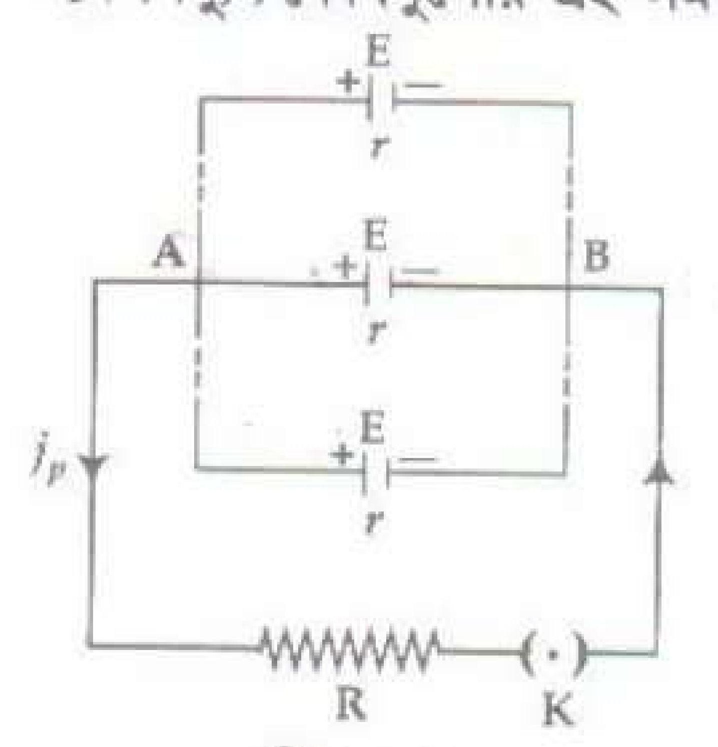
সুতরাং উচ্চ বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা সৃষ্টির জন্য কোষগুলোকে এমনভাবে যুক্ত করতে হবে যাতে nr-এর তুলনায় R অনেক বড় হয়।

(২) যদি nr-এর তুলনায় R অনেক ছোট হয় তবে R উপেক্ষা করে পাওয়া যায়, $i_s = \frac{nE}{nr} = \frac{E}{r}$ = একটি কোষের সৃষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা।

এ অবস্থায় ব্যাটারীর কার্য ক্ষমতা বৃদ্ধি পায় না।

সমান্তরাল সমবায়
Parallel combination

যদি কতকগুলো বিদ্যুৎ কোষের ধন পাতগুলো এক বিন্দুতে এবং ঋণ পাতগুলো অপর এক বিন্দুতে যুক্ত থাকে তবে বিদ্যুৎ কোষগুলোর এই সমবায়কে সমান্তরাল সমবায় বলে।



চিত্র ৩.৭

ধরা যাক R মানের একটি রোধের সাথে n সংখ্যক বিদ্যুৎ কোষ সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত আছে। প্রত্যেক বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক শক্তি E এবং অভ্যন্তরীণ রোধ r। যেহেতু কোষগুলোর ধন পাতগুলো এক বিন্দু A-তে এবং ঋণ পাতগুলো অপর এক বিন্দু B-তে যুক্ত [চিত্র ৩.৭], কাজেই সমবায়ের বা ব্যাটারীর বিদ্যুচ্চালক শক্তি যে কোনো একটি বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক শক্তির সমান হবে। আবার যেহেতু কোষগুলো সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত আছে, অতএব তাদের অভ্যন্তরীণ রোধগুলোও সমান্তরাল সমবায়ে থাকবে। সুতরাং সমবায়ের বা ব্যাটারীর অভ্যন্তরীণ রোধ R_p হলে,

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \ldots\ldots\ n \text{ পদ} = \frac{n}{r}$$

$$\therefore \quad R_p = \frac{r}{n}$$

সুতরাং বর্তনীর মোট রোধ $= R + R_p = R + \frac{r}{n}$। বর্তনী দিয়ে i_p মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে ও'মের সূত্রানুসারে,

$$i_p = \frac{\text{মোট বিদ্যুচ্চালক শক্তি}}{\text{মোট রোধ}}$$

$$= \frac{E}{R + \frac{r}{n}} = \frac{nE}{nR + r} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (3.11)$$

যদি (১) r-এর তুলনায় nR অনেক বড় হয় তবে r অগ্রাহ্য করে পাওয়া যায়, $i_p = \frac{nE}{nR} = \frac{E}{R}$ = একটি কোষের সৃষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা।

এ অবস্থায় ব্যাটারীর কার্য ক্ষমতা বৃদ্ধি পায় না।

(২) r-এর তুলনায় nR অনেক ছোট হয় তবে, $i_p = \frac{nE}{r} = n \times$ একটি কোষের সৃষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা।

এ অবস্থায় ব্যাটারীর কার্যক্ষমতা যথেষ্ট বৃদ্ধি পায়।

কর্ম অনুশীলন : কি শর্তে কোষের শ্রেণি ও সমান্তরাল সমবায়ে প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায় ?

I. (a) যখন $R >> nr$ তখন $I = \frac{nE}{R}$ অর্থাৎ বর্তনীতে যে প্রবাহমাত্রা হবে উহা একটি কোষপ্রদত্ত প্রবাহমাত্রার n গুণ। $\frac{E}{R}$ হলো একটি কোষের প্রবাহমত্রা।

(b) যখন $nr >> R$, তখন $I = \frac{nE}{nr} = \frac{E}{r}$, অর্থাৎ বর্তনীতে যে প্রবাহমাত্রা হবে উহা একটি কোষ প্রদত্ত প্রবাহমাত্রার সমান।

(c) কাজেই যখন বহির্বর্তনীর রোধ ব্যাটারীর মোট অভ্যন্তরীণ রোধ অপেক্ষা খুব বেশি তখন শ্রেণি সমবায়ের ফলে প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায়।

II. (a) যখন $nR >> r$, তখন $I = \frac{nE}{nR} = \frac{E}{R}$, অর্থাৎ বর্তনীতে যে প্রবাহামাত্রা হবে উহা একটি কোষ প্রদত্ত প্রবাহমাত্রার সমান।

(b) যখন $r >> nR$, তখন $I = \frac{nE}{r}$, অর্থাৎ বর্তনীতে যে প্রবাহমাত্রা হবে উহা একটি কোষ প্রদত্ত প্রবাহমাত্রার n গুণ। কাজেই যখন ব্যাটারীর অভ্যন্তরীণ রোধ বহিঃবর্তনীর রোধ অপেক্ষা খুব বেশি হয় তখন সমান্তরাল সমবায়ের ফলে প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায়।

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : সমান সংখ্যক অভিন্ন কোষ শ্রেণি সমবায়ে এবং সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হলো। কী শর্তে বর্তনীর সঙ্গে যুক্ত একটি রোধের মধ্যে প্রবাহের মান উভয় ক্ষেত্রে সমান হবে ?

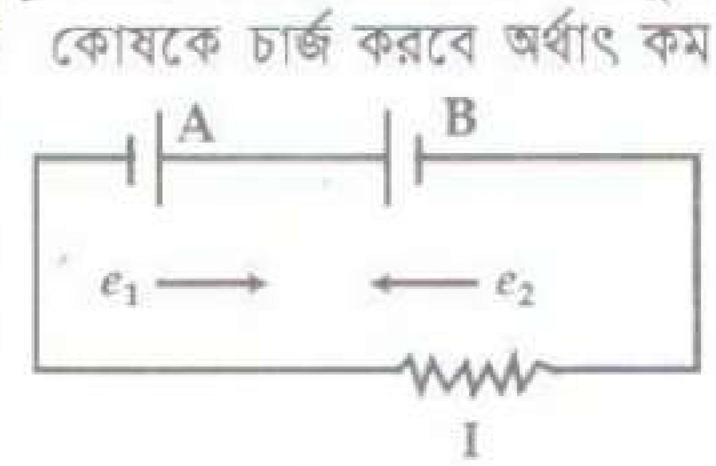
ধর প্রত্যেকটি তড়িচ্চালক বল E ও r অভ্যন্তরীণ রোধযুক্ত n-সংখ্যক কোষ নেওয়া হলো। কোষগুলি শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত হলে,

বহিঃরোধক R এর মধ্যে প্রবাহ $i_1 = \frac{nE}{R + nr}$ এবং কোষগুলি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে R এর মধ্যে প্রবাহ $i_2 = \frac{nE}{nR + r}$।

প্রদত্ত শর্তানুযায়ী $i_1 = i_2$ হবে যখন $R = r$ হয়।

কর্ম অনুশীলন : কোন অবস্থাতে কোষের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য কোষের তড়িচ্চালক বল অপেক্ষা বেশি হয় ?

সাধারণভাবে কোষের তড়িচ্চালক বল কোষের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য অপেক্ষা বেশি হয়। কোষের তড়িচ্চালক বল = প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য + কোষের অভ্যন্তরীণ বিভব পতন; কিন্তু দুটি ভিন্ন তড়িচ্চালক বলের কোষ যদি বিরুদ্ধ সমবায়ে (in opposition) যুক্ত করা হয় তবে তড়িচ্চালক বলের কোষটি অপর কোষকে চার্জ করবে অর্থাৎ কম তড়িচ্চালক বলের কোষটি নিজ হতে বর্তনীতে যে অভিমুখে তড়িতাধান পাঠাত, বেশি তড়িচ্চালক বলের কোষটি অপরটির ভেতর দিয়ে বিপরীতমুখী তড়িতাধান পাঠানোর ফলে কম তড়িচ্চালক বলের কোষের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য তার তড়িচ্চালক অপেক্ষা বেশি হবে। ৩·৮ চিত্রানুযায়ী e_1 তড়িচ্চালক বলযুক্ত একটি কোষকে e_2 তড়িচ্চালক বলের কোষের সঙ্গে বিরুদ্ধ সমবায়ে যুক্ত করা হয়েছে $(e_2 > e_1)$। এক্ষেত্রে B কোষ A কোষকে চার্জ করবে। A কোষের প্রান্তীয় বিভব পতন e_1 অপেক্ষা বেশি হবে।



চিত্র ৩·৮

বর্ধিত কাজ : শক্তিশালী প্রবাহ পাওয়ার জন্য একই মানের কোষের শ্রেণি সমবায়ের ক্ষেত্রে অভ্যন্তরীণ রোধ বহিস্থ রোধ অপেক্ষা কম কেন ?

মনে করি, E তড়িচ্চালক বল এবং r অভ্যন্তরীণ রোধের n সংখ্যক তড়িৎ কোষকে শ্রেণিতে যুক্ত করে R মানের বহিস্থ রোধের সাথে যুক্ত করলে তড়িৎ প্রবাহের মান $I = \frac{nE}{R + nr}$. $R >> r$ এবং $R >> nr$ হলে, $I = \frac{nE}{R} = n\frac{E}{R}$। কিন্তু $\frac{E}{R}$ হলো একটি কোষের ক্ষেত্রে তড়িৎ প্রবাহ, কারণ $r = 0$। সুতরাং এক্ষেত্রে n সংখ্যক কোষ ব্যবহার করায় n গুণ তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায়। সুতরাং শক্তিশালী প্রবাহ পাওয়ার জন্য একই মানের কোষের শ্রেণি সমবায়ের ক্ষেত্রে অভ্যন্তরীণ রোধ বহিস্থ রোধ অপেক্ষা কম।

গাণিতিক উদাহরণ

১। প্রতিটি 2 V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 1·5 Ω-এর তিনটি বিদ্যুৎ কোষ নেয়া হলো। শ্রেণি সমবায়ে সাজিয়ে এদের প্রান্তগুলোকে 150 Ω রোধের পরিবাহী দ্বারা যুক্ত করলে কত মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবে ?

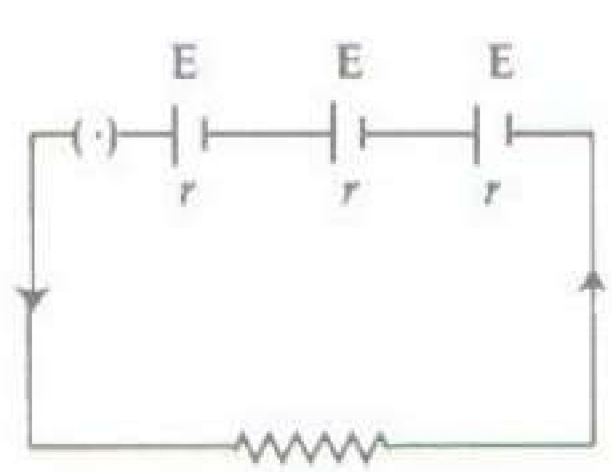
মনে করি বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা $= i$

$\therefore$ আমরা পাই, $i = \frac{nE}{R + nr}$ ... ... (i)

$\therefore$ সমীকরণ (i) হতে পাই,

$$i = \frac{3 \times 2}{150 + 3 \times 1{\cdot}5} = \frac{6}{150 + 4{\cdot}5} = \frac{6}{154{\cdot}5} = 0{\cdot}0388 \text{ A}$$

এখানে,
$n = 3$
$E = 2$ V
$R = 150\ \Omega$
$r = 1{\cdot}5\ \Omega$



২। 1·5V তড়িচ্চালক বলবিশিষ্ট 9টি কোষকে সমান্তরালে সাজিয়ে 1Ω রোধের সাথে যুক্ত করা হলে বর্তনীতে 1·35A প্রবাহ চলে। প্রতিটি কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ কত ?

আমরা জানি, কোষের সমান্তরাল সমবায়ের ক্ষেত্রে,

$$I = \frac{nE}{nR + r}$$

$$nR + r = \frac{nE}{I}$$

$$\therefore \quad r = \frac{nE}{I} - nR = \frac{9 \times 1{\cdot}5}{1{\cdot}35} - 9 \times 1 = 10 - 9 = 1\Omega$$

$\therefore r = 1\Omega$

এখানে,
$E = 1{\cdot}5$ V
$n = 9$
$R = 1\ \Omega$
$I = 1{\cdot}35$ A
$r = ?$

৩। 1.5 V তড়িচ্চালক বলযুক্ত দুটি একই ধরনের তড়িৎ কোষকে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হলো। সমবায়কে একটি রোধ ও একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা 1 হয়। কোষ দুটিকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা 0.6A হয়। কোষ দুটির অভ্যন্তরীণ রোধ নি কর।

ধরা যাক,

কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ $= r$

বহির্বর্তনীর রোধ ও গ্যালভানোমিটারের মিলিত রোধ $= R$

প্রবাহমাত্রা, $I_1 = 1A$

প্রবাহমাত্রা, $I_2 = 0.6A$

কোষ দুটি শ্রেণি সমবায়ে থাকলে,

তড়িচ্চালক বল $= 1.5 + 1.5 = 3V$

অভ্যন্তরীণ রোধ $= r + r = 2r$

সুতরাং, প্রবাহমাত্রা, $I_1 = \frac{V}{R + 2r}$

বা, $1 = \frac{3}{R + 2r}$

বা, $R + 2r = 3$

বা, $R = 3 - 2r$ ... ... (i)

কোষ দুটি সমান্তরালে থাকলে, তড়িচ্চালক বল $= 1.5V$

অভ্যন্তরীণ রোধ $= \frac{r \times r}{r + r} = \frac{r^2}{2r} = \frac{r}{2}$

সুতরাং, প্রবাহমাত্রা, $I_2 = \frac{V}{R + \frac{r}{2}}$

বা, $0.6 = \frac{1.5}{R + \frac{r}{2}}$

বা, $R + \frac{r}{2} = \frac{1.5}{0.6} = \frac{5}{2}$

$\therefore \quad R = \frac{5}{2} - \frac{r}{2}$ ... ... (ii)

সমীকরণ (i) ও (ii) থেকে পাই,

$3 - 2r = \frac{5}{2} - \frac{r}{2}$

বা, $6 - 4r = 5 - r$

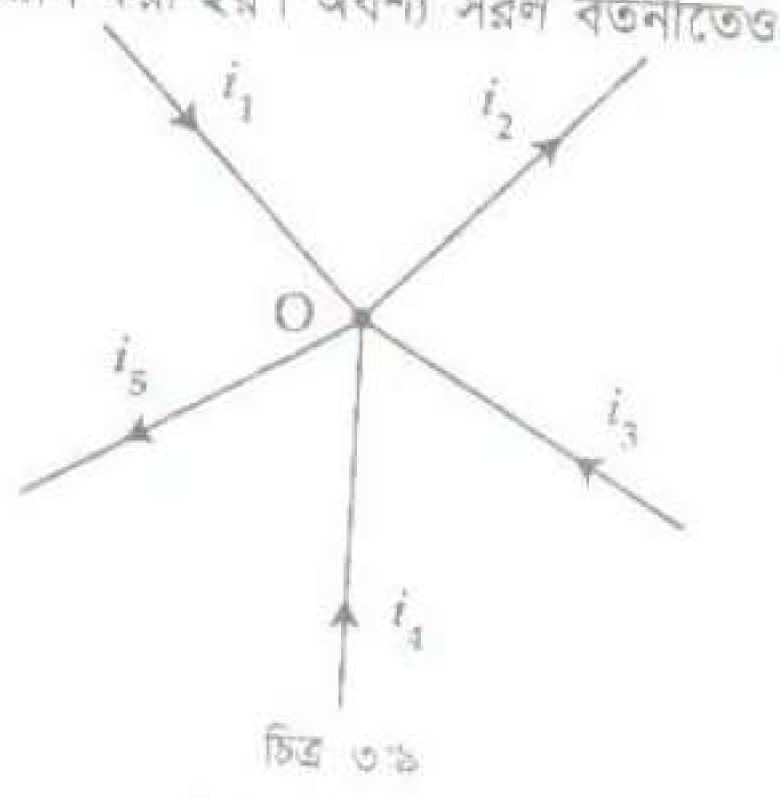
বা, $3r = 1$

বা, $r = \frac{1}{3}\Omega$

৩.৬ কির্শফের সূত্র
Kirchhoff's Laws

সূত্রের ধারণা
Concept about the laws

ও'মের সূত্রের সাহায্যে সরল বর্তনীর বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা ও রোধ নির্ণয় করা যায়। কিন্তু জটিল বর্তনীর ক্ষেত্রে ও'মের সূত্র যথেষ্ট নয়। এ কারণে জটিল বর্তনীর রোধ ও বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা ইত্যাদি নির্ণয়ের জন্য কির্শফের দুটি সূত্র প্রয়োগ করা হয়। অবশ্য সরল বর্তনীতেও সূত্র দুটি প্রয়োগ করা যায়। কির্শফের সূত্র দুটি নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যায়।



চিত্র ৩.৯

প্রথম সূত্র : বিদ্যুৎ বর্তনীর কোনো সংযোগ বিন্দুতে মিলিত প্রবাহমাত্রাগুলোর বীজগাণিতিক যোগফল শূন্য হয়।

ব্যাখ্যা : ধরা যাক একটি বর্তনীর O বিন্দুতে i_1, i_2, i_3, i_4 ও i_5 মাত্রার 5টি বিভিন্নমুখী বিদ্যুৎ প্রবাহ মিলিত হয়েছে [চিত্র ৩.৯]। সাধারণ নিয়ম অনুসারে সংযোগ বিন্দুমুখী বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রাগুলো ধন রাশি এবং সংযোগ বিন্দু হতে বাইরের দিকে প্রবাহিত বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রাগুলো ঋণ রাশি ধরা হয়। সুতরাং O বিন্দুতে মিলিত বিদ্যুৎ প্রবাহগুলোর উপর কির্শফের প্রথম সূত্র প্রয়োগ করে পাওয়া যায়,

$i_1 + i_3 + i_4 - i_2 - i_5 = 0$

বা, $i_1 + i_3 + i_4 + (-i_2) + (-i_5) = 0$ ... ... (3.12)

আমরা জানি, প্রবাহমাত্রা হলো চার্জের প্রবাহ। এখন সংযোগ বিন্দুতে প্রবাহগুলোর যোগফল শূন্য না হওয়ার অর্থ দাঁড়ায় ঐ বিন্দুতে চার্জের সৃষ্টি বা ধ্বংস হওয়া যা চার্জের নিত্যতা সূত্রের সম্পূর্ণ পরিপন্থী। সুতরাং, বর্তনীর কোথাও চার্জ সঞ্চিত হতে পারে না। সঙ্কেতের সাহায্যে সূত্রটিকে এরূপভাবে প্রকাশ করা যায়, $\Sigma i = 0$।

দ্বিতীয় সূত্র : কোনো বন্ধ বর্তনীর অন্তর্গত মোট বিদ্যুচ্চালক শক্তি (e. m. f.) ঐ বর্তনীর বিভিন্ন শাখাগুলোর রোধ এবং তাদের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত সংশ্লিষ্ট বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার গুণফলসমূহের বীজগাণিতিক যোগফলের সমান।

অথবা, পরিবাহী বর্তনীর মধ্যে যে কোনো বন্ধ বর্তনীর বিভিন্ন অংশের রোধ এবং এদের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার গুণফলের বীজগাণিতিক যোগফল ঐ বন্ধ বর্তনীর মোট বিদ্যুচ্চালক শক্তির সমান হয়।

অর্থাৎ $\Sigma iR = \Sigma E$

ব্যাখ্যা : একটি বন্ধ বর্তনীর কোনো অংশে বি কারণে রোধ ও বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার গুণফলের হিসাে হিসাবে বর্তনীতে কোনো বিদ্যুৎ কোষ যদি দক্ষিণা শক্তি ধন রাশি এবং যদি বামাবর্তী বিদ্যুৎ প্রবাহ পাঠ হবে। ৩.১০ নং চিত্রে ABDA একটি বন্ধ বর্তনী AB, BD ও DA অংশের রোধ যথাক্রমে R_1, R_2 ও R বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা যথাক্রমে i_1 ও i_2 দক্ষিণাবর্তী এব প্রবাহমাত্রা i_3 বামাবর্তী। এ ছাড়া E_1 বিদ্যুচ্চালক শক্তি বিদ্যুৎ কোষ দক্ষিণাবর্তী এবং E_2 বিদ্যুচ্চালক শক্তি বিদ্যুৎ কোষ বামাবর্তী বিদ্যুৎ প্রবাহ পাঠাবার c দক্ষিণাবর্তী বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রাকে ধন রাশি এ প্রবাহমাত্রাকে ঋণ রাশি ধরে এ বর্তনীতে কির্শফে করে লেখা যায়,

হুইটস্টোন ব্রীজনীতির ব্যবহার:

- সাধারণ মানের কোন অজ্ঞাত রোধ $(1 \rightarrow 1000\,\Omega)$ নির্ণয়ে হুইটস্টোন ব্রীজনীতি ব্যবহার করা হয়।
- মিটার ব্রীজ, পোষ্ট অফিস বক্স, হুইটস্টোন ব্রীজ নীতির ব্যবহারিক প্রয়োগ।

- মিটার ব্রীজের সাহায্যে কোন পরিবাহীর রোধ নির্ণয় করা যায় এবং পরিবাহীর উপাদানের আপেক্ষিক রোধও নির্ণয় করা যায়। ইহার সাহায্যে উচ্চ ও নিম্নমানের রোধ নির্ণয় করা যায় না।
- পোষ্ট অফিস বক্স এর সাহায্যে নিম্ন ও উচ্চ মানের $(11,100\,\Omega)$ উভয় প্রকার রোধ নির্ণয় করা যায়।
- পোষ্ট অফিসে টেলিগ্রাফের তার ও কেবল এর রোধ নির্ণয়ের কাজে এ যন্ত্র ব্যবহার করা হতো বলে এর নাম পোষ্ট অফিস বক্স দেয়া হয়েছে।
- পোষ্ট অফিস বক্সের সাহায্যে অজ্ঞাত রোধের মান দুই দশমিক পর্যন্ত সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায়।

চিত্র ৩.১০

$$i_1R_1 + i_2R_2 - i_3R_3 = E_1 - E_2$$

বা, $i_1R_1 + i_2R_2 + (-i_3R_3) = E_1 + (-E_2)$

সমীকরণটিকে সঙ্কেত দ্বারা নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যায়, $\Sigma ir = \Sigma E$ ... (3.13)

বর্তনীতে বিদ্যুচ্চালক শক্তির উৎস না থাকলে, $\Sigma ir = 0$.

[বি. দ্র. দক্ষিণাবর্তী প্রবাহের ক্ষেত্রে রোধ ও প্রবাহমাত্রার গুণফল ঋণরাশি ধরলে বামাবর্তী প্রবাহের ক্ষেত্রে গুণফল ধনরাশি ধরতে হবে। এ ক্ষেত্রে বিদ্যুচ্চালক শক্তিকে এভাবে চিহ্নিত করতে হবে।]

কির্শফের সূত্রের বিভিন্ন প্রয়োগ রয়েছে। এখানে আমরা হুইটস্টোন ব্রীজে কির্শফের সূত্রের প্রয়োগ আলোচনা করব।

হিসাব কর : 2V তড়িচ্চালক শক্তি এবং 1Ω অভ্যন্তরীণ রোধের একটি কোষ সমান্তরাল সমবায়ে 5Ω এবং 15Ω রোধবিশিষ্ট দুটি রোধকের সাথে সংযুক্ত। কির্শফের সূত্র প্রয়োগ করে কোষ দ্বারা প্রেরিত প্রবাহমাত্রা এবং প্রত্যেক রোধের মধ্যে প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।

তড়িৎ বর্তনীতে কির্শফের সূত্রের ব্যবহার (বিদ্যুৎ প্রবাহ ও বিভব পার্থক্য নির্ণয়)

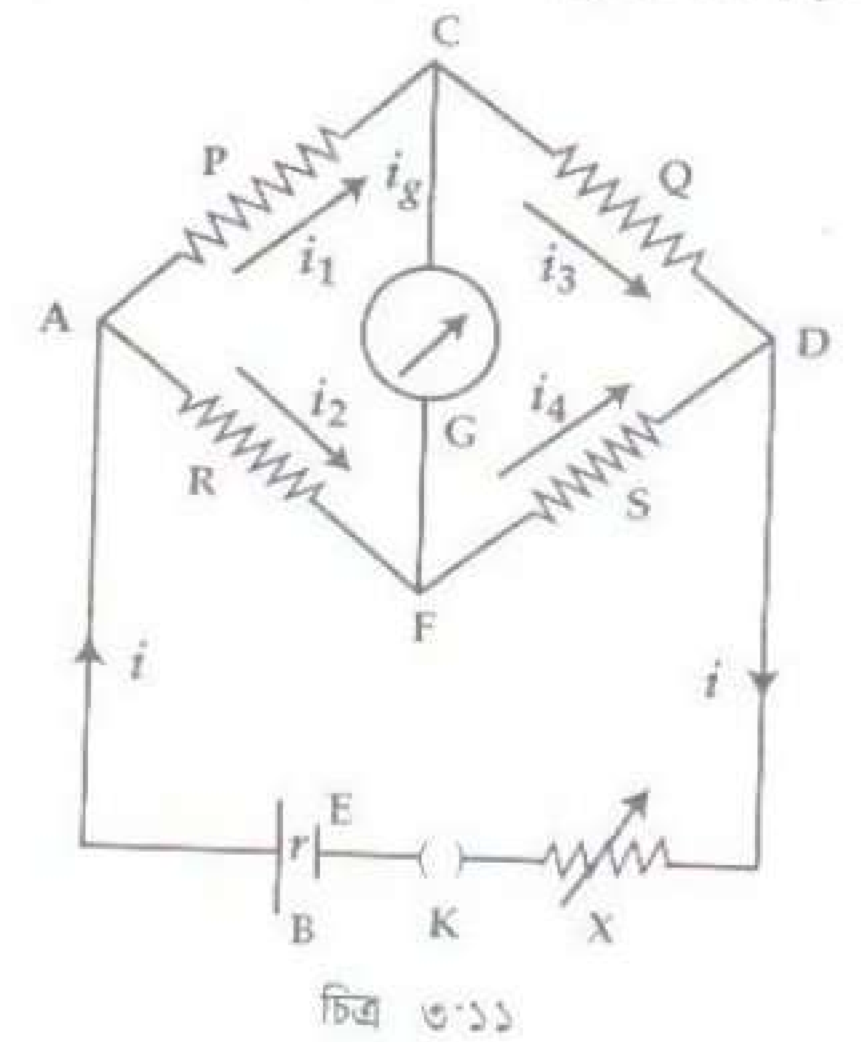
Application of Kirchhoff's Laws in Electric Circuit (Determination of Current and Potential difference)

(i) হুইটস্টোন ব্রীজে কির্শফের সূত্রের ব্যবহার

Use of Kirchhoff's Laws in Wheatstone Bridge

চারটি রোধ শ্রেণিবদ্ধভাবে সজ্জিত করে একটি আবদ্ধ লুপ তৈরি করলে যে চারটি সংযোগস্থল তৈরি হয়, তার যে কোনো দুটি বিপরীত সংযোগস্থলের মাঝে একটি বিদ্যুৎ কোষ এবং অপর দুটি সংযোগস্থলের মাঝে গ্যালভানোমিটার সংযোগে যে বর্তনী তৈরি হয় তাকে হুইটস্টোন ব্রীজ বলে।

ধরা যাক, চারটি রোধ P, Q, R ও S চতুর্ভুজ দ্বারা গঠিত একটি ACDF-এর ন্যায় যুক্ত করে সংযোগ বিন্দু A ও D বিন্দুকে একটি ব্যাটারী বা বিদ্যুৎ উৎস B, একটি প্লাগ চাবি K ও একটি পরিবর্তনশীল রোধ X দ্বারা এবং সংযোগ বিন্দু C ও F-কে একটি গ্যালভানোমিটার G দ্বারা যুক্ত করে **হুইটস্টোন ব্রীজ** তৈরি করা হলো [চিত্র ৩.১১]।



চিত্র ৩.১১

এ অবস্থায় মূল বিদ্যুৎ প্রবাহ A বিন্দুতে পৌঁছার পর বিভিন্ন রোধের ভেতর দিয়ে গিয়ে D বিন্দুতে পুনরায় মিলিত হবে। গ্যালভানোমিটারে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবে কি হবে না তা নির্ভর করবে C ও F বিন্দুর বিভবের উপর। যদি রোধগুলোর জন্য C ও F বিন্দুর বিভব সমান না হয় তবে গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবে এবং গ্যালভানোমিটার কম-বেশি বিক্ষিপ্ত হবে। এ অবস্থাকে অসম অবস্থা (Unbalanced condition) বলা হয়। কিন্তু C ও F বিন্দুদ্বয়ের বিভব সমান হলে গ্যালভানোমিটারে কোনো বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় না এবং গ্যালভানোমিটারে কোনো বিক্ষেপও হয় না। এ অবস্থাকে **সাম্যাবস্থা** (Balanced condition) বা **নিস্পন্দ অবস্থা** (Null condition) বলা হয়। বর্তনীর বিভিন্ন রোধের মানগুলো নিয়ন্ত্রিত করে সাম্যাবস্থা তৈরি করা হয়।

কির্শফের সূত্রের সাহায্যে তড়িৎ প্রবাহ ও বিভব পার্থক্য নির্ণয় এবং হুইটস্টোন ব্রীজ নীতি প্রতিষ্ঠা

ধরা যাক গ্যালভানোমিটারের রোধ G এবং রোধ P, R, Q, S ও G-এর ভেতর দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা যথাক্রমে i_1, i_2, i_3, i_4 ও i_g।

এখন কির্শফের প্রথম সূত্রটি C ও F বিন্দুতে প্রয়োগ করে যথাক্রমে পাওয়া যায়,

$i_1 - i_3 - i_g = 0$ অর্থাৎ $i_1 = i_3 + i_g$ ... ... (3.14)

এবং $i_2 + i_g - i_4 = 0$ অর্থাৎ $i_4 = i_2 + i_g$ ... ... (3.15)

আবার কির্শফের দ্বিতীয় সূত্রটি বন্ধ বর্তনী ACFA ও CDFC-এ প্রয়োগ করে যথাক্রমে পাওয়া যায়,

$i_1P + i_gG - i_2R = 0$ ... ... (3.16)

এবং $i_3Q - i_4S - i_gG = 0$ ... ... (3.17)

কিন্তু ব্রীজের সাম্যাবস্থায়, $i_g = 0$

কাজেই এ অবস্থায় সমীকরণ (3.14) ও (3.15) অনুসারে, $i_1 = i_3$ এবং $i_4 = i_2$

সমীকরণ (3.16) ও (3.17) অনুসারে, $i_1P = i_2R$ ... ... (3.18)

এবং $i_3Q = i_4S$ ... ... (3.19)

এখন সমীকরণ (3.18)-কে (3.19) দ্বারা ভাগ করে পাওয়া যায়,

$\frac{i_1P}{i_3Q} = \frac{i_2R}{i_4S}$; কিন্তু $i_1 = i_3$ ও $i_4 = i_2$

$\therefore \quad \frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$ ... ... (3.20)

সমীকরণ (3.20) অনুসারে হুইটস্টোন ব্রীজের সাম্যাবস্থায় চারটি রোধের যে কোনো তিনটি জানা থাকলে, চতুর্থ রোধটি নির্ণয় করা যাবে। একে রোধ পরিমাপের **হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি** বলে।

সাম্যাবস্থায়—

(i) গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্তের বিভব বৈষম্য শূন্য হবে অর্থাৎ গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে কোনো বিদ্যুৎ প্রবাহিত হবে না। এমতাবস্থায়

$(V_A - V_D) = (P + Q)i_1 = (R + S)i_2$

(ii) একইক্রমে গ্যালভানোমিটারের উভয় প্রান্তের দুই পার্শ্বে যুক্ত রোধ দুটির অনুপাত সমান হবে।

অর্থাৎ $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$.

বি. দ্র. ৩.১১ নং চিত্রে AC, CD, AF ও FD বাহুকে যথাক্রমে হুইটস্টোন ব্রীজের প্রথম, দ্বিতীয়, তৃতীয় ও চতুর্থ বাহু বলে।

নিজে কর : গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ শূন্য হওয়ার শর্ত কী ?

(ii) বিদ্যুৎ কোষের শ্রেণি সমবায়ের ক্ষেত্রে কির্শফের সূত্রের ব্যবহার
Application of Kirchhoff's Laws in case of series combination of cells

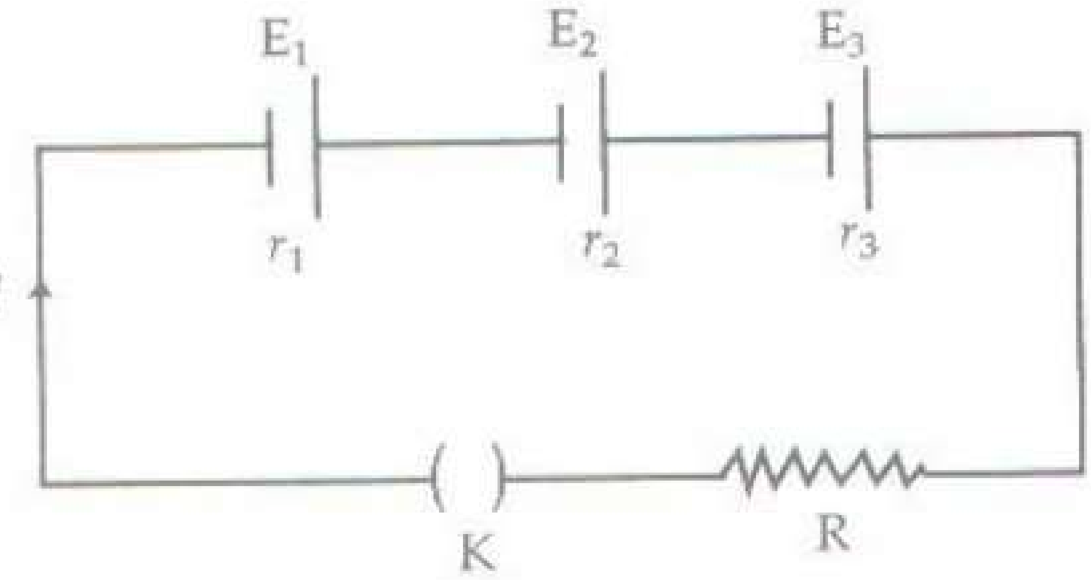
বিদ্যুৎ প্রবাহ নির্ণয় : মনে করি তিনটি বিদ্যুৎ কোষ আছে। এদের বিদ্যুচ্চালক বল যথাক্রমে E_1, E_2, E_3 এবং অভ্যন্তরীণ রোধ যথাক্রমে r_1, r_2, r_3 [চিত্র ৩.১২]। এদেরকে R রোধের একটি পরিবাহীর সাহায্যে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হয়েছে। মনে করি বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা $= i$.

উক্ত বর্তনীতে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$E_1 + E_2 + E_3 = ir_1 + ir_2 + ir_3 + iR$$

বা, $$i(r_1 + r_2 + r_3 + R) = E_1 + E_2 + E_3$$

$$\therefore \quad i = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{R + r_1 + r_2 + r_3} \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.21)$$



চিত্র ৩.১২

যদি n সংখ্যক কোষ অনুরূপে যুক্ত করা হয় তাহলে

$$i = \frac{E_1 + E_2 + E_3 \ldots \ldots \ldots + E_n}{R + r_1 + r_2 + r_3 \ldots \ldots \ldots + r_n}$$

প্রতিটি কোষের বিদ্যুচ্চালক বল E এবং অভ্যন্তরীণ রোধ r হলে

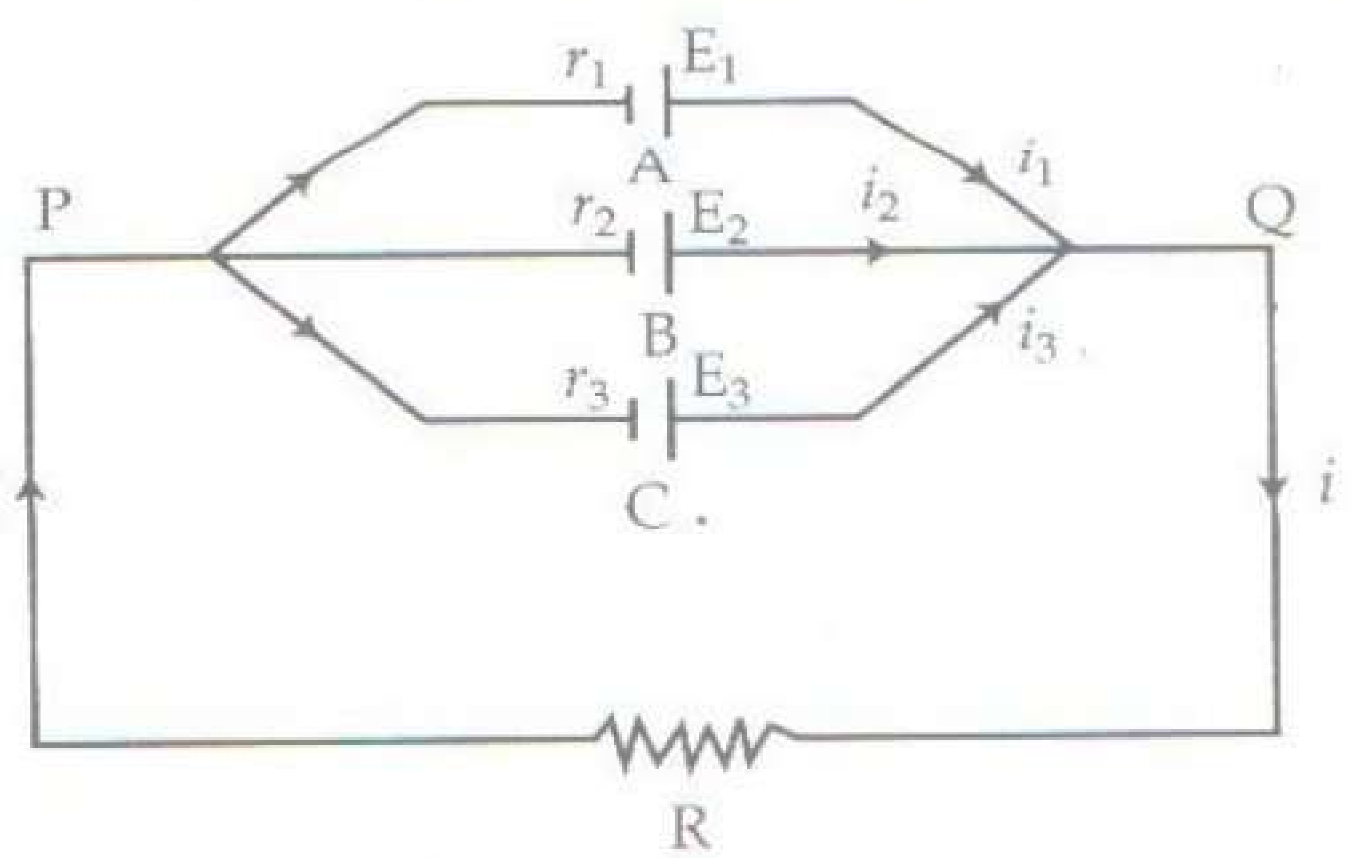
$$i = \frac{nE}{R + nr} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.22)$$

বিভব পার্থক্য নির্ণয় : মূল প্রবাহ i রোধক R এর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হবার জন্য R এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য

$$V = iR = \frac{nER}{R + nr}$$

(iii) বিদ্যুৎ কোষের সমান্তরাল সমবায়ে কির্শফের সূত্রের প্রয়োগ
Application of Kirchhoff's Laws in case of parallel combination of cells

মনে করি A, B এবং C তিনটি বিদ্যুৎ কোষ। এদের বিদ্যুচ্চালক বল যথাক্রমে E_1, E_2, E_3 এবং অভ্যন্তরীণ রোধ যথাক্রমে r_1, r_2, r_3। এদেরকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করে [চিত্র ৩.১৩] প্রান্তদ্বয়কে R রোধের একটি পরিবাহীর সাহায্যে সমান্তরালভাবে যুক্ত করা আছে। E_1, E_2, E_3 কোষ হতে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রা যথাক্রমে i_1, i_2, i_3।



চিত্র ৩.১৩

এখন P অথবা Q বিন্দুতে কির্শফের ১ম সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$$i_1 + i_2 + i_3 = i \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.23)$$

কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে,

বর্তনী PAQRP হতে পাই, $$i_1 r_1 + iR = E_1 \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.24)$$

বর্তনী PBQRP হতে পাই, $$i_2 r_2 + iR = E_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.25)$$

বর্তনী PCQRP হতে পাই, $$i_3 r_3 + iR = E_3 \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.26)$$

সমীকরণ (3.24), (3.25) ও (3.26) কে যথাক্রমে r_1, r_2, r_3 দ্বারা ভাগ করে ভাগফলগুলিকে যোগ করে পাই,

$$(i_1 + i_2 + i_3) + i\left(\frac{R}{r_1} + \frac{R}{r_2} + \frac{R}{r_3}\right) = \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3}$$

বা, $$i + i\left(\frac{R}{r_1} + \frac{R}{r_2} + \frac{R}{r_3}\right) = \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3}$$

বা, $$i\left\{1 + R\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}\right)\right\} = \frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3}$$

$$\therefore \quad i = \frac{\frac{E_1}{r_1} + \frac{E_2}{r_2} + \frac{E_3}{r_3}}{1 + R\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}\right)} \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (3.27)$$

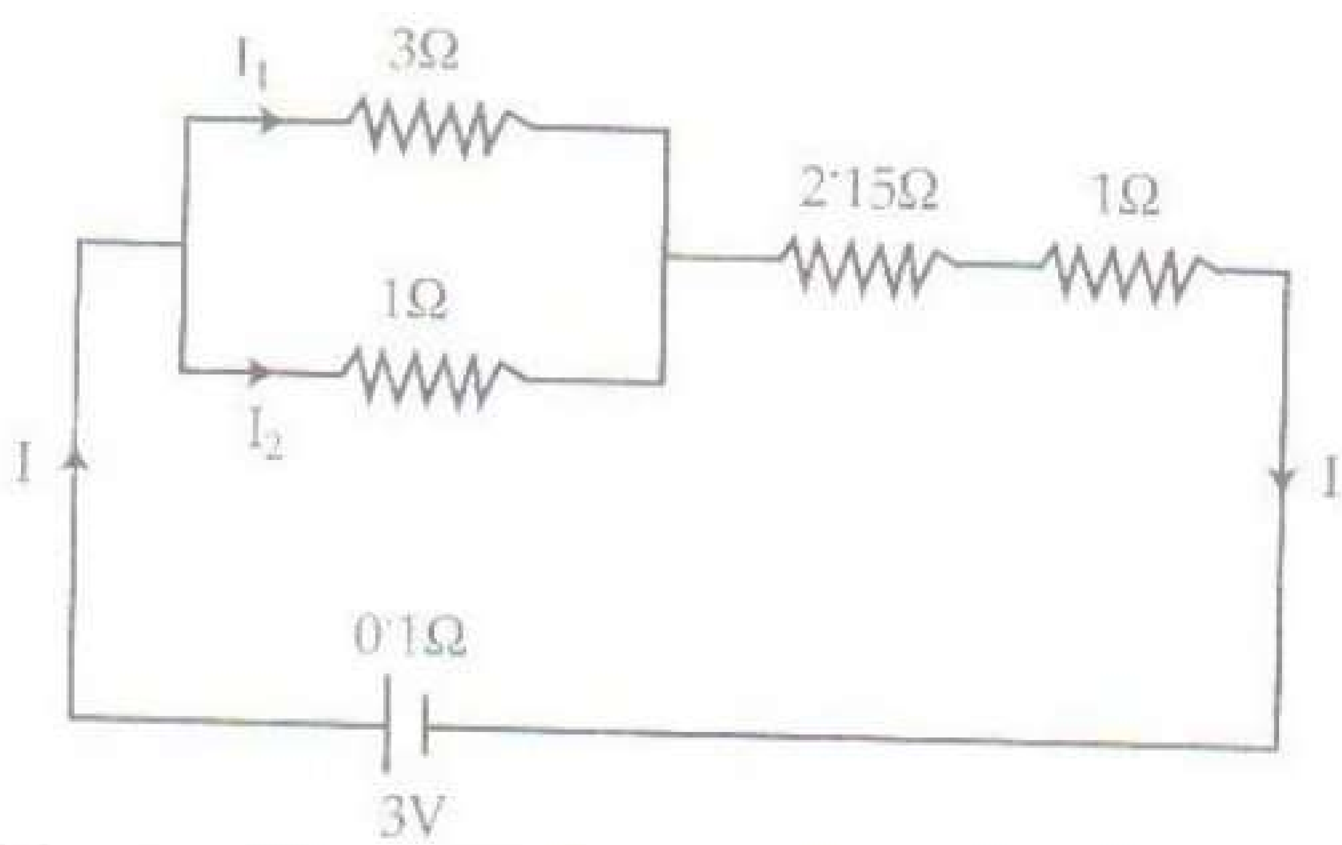
এখন R, $r_1 + r_2 + r_3$ এবং $E_1 + E_2 + E_3$ এর মান বসিয়ে i নির্ণয় করা যায়। প্রতিটি বিদ্যুৎ কোষের তড়িচ্চালক বল E ও অভ্যন্তরীণ রোধ r হলে

$$i = \frac{\frac{nE}{r}}{1 + \frac{nR}{r}} = \left(\frac{nE}{nR + r}\right) \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (3.28)$$

বিভব পার্থক্য : R এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য, $V = iR = \left(\frac{nE}{nR + r}\right) \times R$

গাণিতিক উদাহরণ

১। 3Ω ও 1Ω রোধের সমান্তরাল সমবায়ের সাথে 2·15Ω ও 1Ω রোধের শ্রেণি সমবায় ও একটি ব্যাটারী যুক্ত করা হলো। ব্যাটারীর অভ্যন্তরীণ রোধ 0·1Ω ও তড়িচ্চালক বল 3V। বর্তনী অঙ্কন কর এবং রোধগুলোর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের মান নির্ণয় কর।



উপরের চিত্রে বর্তনীটি আঁকা হয়েছে। সমান্তরাল সমবায়ের জন্য তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{3} + \frac{1}{1} = \frac{3+1}{3 \times 1}$$

বা, $$R_P = \frac{3 \times 1}{3+1} = 0·75\Omega$$

এই তুল্য রোধ অন্য সব রোধগুলোর সঙ্গে শ্রেণি সমবায়ে রয়েছে। সুতরাং, বর্তনীর মূল প্রবাহমাত্রা হলো,

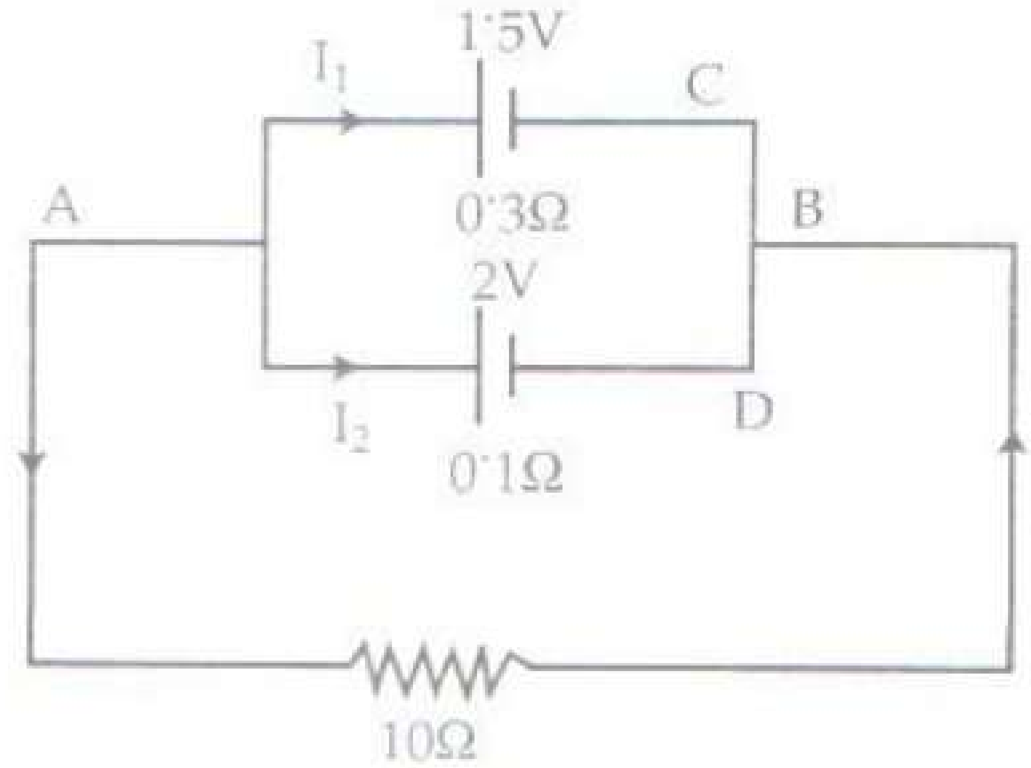
$$I = \frac{V}{R} = \frac{3}{0·75 + 2·15 + 1 + 0·1} = \frac{3}{4} = 0·75 \text{ A}$$

এই মূল প্রবাহই 2·15Ω এবং 1Ω রোধ দুটির মধ্য দিয়ে যায়। এখন সমান্তরালে যুক্ত 3Ω রোধে প্রবাহ,

$$I_1 = I \times \frac{1}{3+1} = 0·75 \times \frac{1}{4} = 0·187 \text{ A}$$

এবং 1Ω রোধে প্রবাহ, $I_2 = I - I_1 = 0·75 - 0·187 = 0·563$ A

২। দুটি তড়িৎকোষের তড়িচ্চালক বল যথাক্রমে 1·5 volt ও 2 volt এবং এদের আন্তঃরোধ যথাক্রমে 0·3 ohm ও 0·1 ohm। এদের সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হলো। কোষের সমবায়কে একটি 10 ohm বহিঃরোধের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হলো। এই রোধটির মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের মান নির্ণয় কর।



কির্শফের ১ম সূত্র A বিন্দুতে প্রয়োগ করে পাই,

$I_1 + I_2 - I = 0$

বা, $I_2 = I - I_1$ ... ... (i)

ACBDA লুপের জন্য কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$-I_1 \times 0·3 + I_2 \times 0·1 = -1·5 + 2$

বা, $-I_1 \times 0·3 + (I - I_1) \times 0·1 = 0·5$

বা, $0·1 I - 0·4 I_1 = 0·5$ ... ... (ii)

ADBFA লুপের জন্য পাই,

$-I_2 \times 0·1 - I \times 10 = -2$

বা, $(I - I_1) \times 0·1 + 10 I = 2$

বা, $10·1 I - 0·1 I_1 = 2$ ... ... (iii)

সমীকরণ (iii)-কে 4 দ্বারা গুণ করে সমীকরণ (ii) হতে বিয়োগ করে পাই,

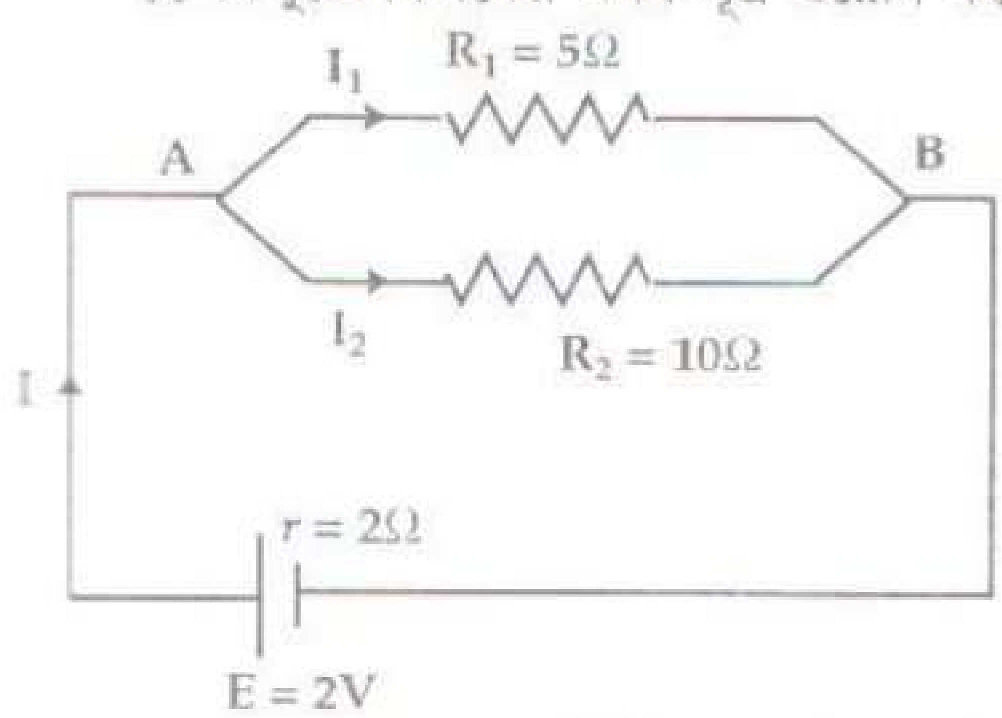
$40·4 I - 0·1 I = 7·5$

বা, $40·3 I = 7·5$

বা, $I = \frac{7·5}{40·3} = 0·186A$

৩। 2V তড়িচ্চালক শক্তি এবং 2Ω অভ্যন্তরীণ রোধের একটি কোষ সমান্তরাল সমবায়ে 5Ω এবং 10Ω রোধবিশিষ্ট দুটি রোধকের সাথে সংযুক্ত। কির্শফের সূত্র প্রয়োগ করে কোষ দ্বারা প্রেরিত প্রবাহমাত্রা এবং প্রত্যেক রোধকের মধ্যে প্রবাহমাত্রা বের কর।

A বিন্দুতে কির্শফের প্রথম সূত্র প্রয়োগ করে পাই, $I = I_1 + I_2$ ... ... (i)



EAR_1BE বদ্ধ লুপে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$I \times 2 + I_1 \times 5 = 2$

বা, $2(I_1 + I_2) + 5I_1 = 2$

বা, $7I_1 + 2I_2 = 2$ ... ... (ii)

AR_1BR_2A বদ্ধ লুপে কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$I_1 \times 5 - I_2 \times 10 = 0$

$\therefore I_1 = 2I_2$ ... ... (iii)

I_1 এর মান (ii) নং সমীকরণে বসিয়ে পাই,

$7 \times 2I_2 + 2I_2 = 2$

বা, $16I_2 = 2 \quad \therefore I_2 = \frac{1}{8} = 0·125A$ এবং $I_1 = 2I_2 = 2 \times 0·125 = 0·25A$

কোষ দ্বারা প্রেরিত প্রবাহ $I = I_1 + I_2 = 0·375A$

$I_1 = 0·25A$, $I_2 = 0·125A$, $I = 0·375A$ (উত্তর)

৩.৭ শান্টের ব্যবহার
Application of Shunt

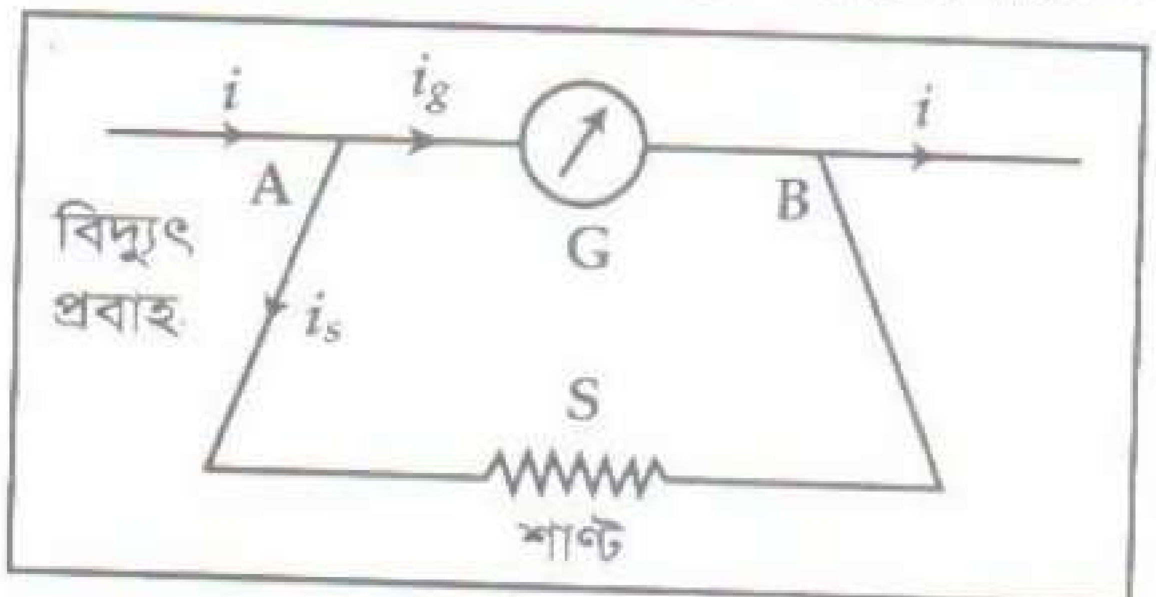
সকল তড়িৎ যন্ত্রের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের একটি উর্ধ্বসীমা থাকে। ওই উর্ধ্বসীমার চেয়ে বেশি তড়িৎ প্রবাহ যন্ত্রের ভেতর দিয়ে প্রবাহিত হলে সেটি ক্ষতিগ্রস্ত হতে পারে। ল্যাবরেটরীতে আমরা এমন কিছু বৈদ্যুতিক যন্ত্রপাতি ব্যবহার করে থাকি যা অত্যন্ত সুবেদী (sensitive) এবং যার মধ্য দিয়ে অতিরিক্ত বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে তা সাথে সাথে নষ্ট হয়ে যায়। এই সকল যন্ত্রপাতি হলো গ্যালভানোমিটার, ভোল্টমিটার ইত্যাদি। এই সকল যন্ত্রপাতি তড়িৎ বর্তনীতে ব্যবহৃত হয়। এ সকল যন্ত্রপাতি রক্ষার জন্য শান্ট ব্যবহার করা হয়। কিভাবে শান্ট ব্যবহার করতে হয় তা লক্ষ কর।

বৈদ্যুতিক বর্তনীতে গ্যালভানোমিটারের মতো সূক্ষ্ম ও সুবেদী যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। উক্ত যন্ত্র উচ্চ মানের বিদ্যুৎ প্রবাহজনিত তাপে যাতে নষ্ট বা ক্ষতিগ্রস্ত না হয় তজ্জন্য যন্ত্রের সাথে সমান্তরালে একটি অল্প মানের রোধ ব্যবহার করে

যন্ত্রটিকে ক্ষতির হাত হতে রক্ষা করা হয়। এই রোধকে শান্ট বলে। অর্থাৎ গ্যালভানোমিটার বা সূক্ষ্ম ও সুবেদী বৈদ্যুতি যন্ত্রের মধ্য দিয়ে যাতে উচ্চমাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত না হতে পারে তার জন্য যন্ত্রের সাথে সমান্তরালে স্বল্প মানের যে রো যুক্ত করা হয় তাকে শান্ট বলে।

গ্যালভানোমিটারে শান্টের ব্যবহার
Applications of a Shunt in a galvanometer

মনে করি G রোধের একটি গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্ত A ও B-এর সাথে নিম্ন মানের একটি রোধ S সমান্তরা সমবায়ে যুক্ত আছে [চিত্র ৩.১৪]। এই S-ই শান্ট। ধরি বর্তনীর মূল বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা $= i$। এই বিদ্যুৎ প্রবাহ A বিন্দুতে পৌঁছে দুই ভাগে বিভক্ত হবে। মূল বিদ্যুৎ প্রবাহের সামান্য অংশ গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে যাবে। আর অধিক পরিমাণের বিদ্যুৎ প্রবাহ শান্ট-এর মধ্য দিয়ে যাবে। ফলে বিদ্যুৎ প্রবাহজনিত সৃষ্ট তাপে গ্যালভানোমিটার নষ্ট হবে না। নিম্নলিখিত উপায়ে শান্টের মান নির্ণয় করা যায়।



চিত্র ৩.১৪

বিদ্যুৎ প্রবাহ দুটি B বিন্দুতে মিলিত হয়ে পুনরায় মূল বিদ্যুৎ প্রবাহ গঠন করবে। মনে করি গ্যালভানোমিটার এবং শান্ট-এর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা যথাক্রমে i_g এবং i_s।

এখন A এবং B বিন্দুর মধ্যে বিভব পার্থক্য $(V_A - V_B)$ হলে ও'মের সূত্র হতে পাই,

$$i_g = \frac{V_A - V_B}{G} \qquad \dots \qquad \dots \qquad \dots \qquad (3.29)$$

এবং $$i_s = \frac{V_A - V_B}{S} \qquad \dots \qquad \dots \qquad \dots \qquad (3.30)$$

সমীকরণ (3.30)-কে সমীকরণ (3.29) দ্বারা ভাগ করে পাওয়া যায়,

$$\frac{i_s}{i_g} = \frac{G}{S} \text{ বা, } i_s = i_g \times \frac{G}{S} \qquad \dots \qquad \dots \qquad \dots \qquad (3.31)$$

কিন্তু, $i_s + i_g = i$

এখন এই সমীকরণে i_s-এর মান বসিয়ে পাওয়া যায়, $i_g\left(\frac{G+S}{S}\right) = i$

$$\therefore \boxed{i_g = \frac{S \times i}{(G+S)}} = \text{মূল বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা} \times \frac{\text{শান্ট রোধ}}{\text{মোট রোধ}} \qquad \dots \qquad \dots \qquad (3.32)$$

বা, $i = i_g \times \left(\frac{G+S}{S}\right)$; $\frac{G+S}{S}$-কে শান্টের ক্ষমতা-গুণক বলে।

আবার i_g-এর মান সমীকরণ (3.31)-এ বসিয়ে পাওয়া যায়, $i_s = \frac{S \times i}{(G+S)} \times \frac{G}{S}$

বা, $S = \frac{i_g \times G}{(i - i_g)}$

$$\therefore \boxed{i_s = \frac{G \times i}{(G+S)}} \qquad \dots \qquad \dots \qquad \dots \qquad [3.33(a)]$$

এবং $$S = \frac{i_g \times G}{(i - i_g)} \qquad \dots \qquad \dots \qquad \dots \qquad [3.33(b)]$$

যদি গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে মূল প্রবাহের $\frac{1}{n}$ অংশ পাঠাতে হয়, তা হলে, $\frac{i_g}{i} = \frac{1}{n} = \frac{S}{G+S}$

$$\therefore \; S = \frac{G}{(n-1)} \text{ এবং } i_s = \frac{n-1}{n} \times i \qquad \dots \qquad \dots \qquad \dots \qquad (3.34)$$

কাজেই n বৃদ্ধি করে : (১) গ্যালভানোমিটারে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা হ্রাস করা যায় এবং একে অতি বিদ্যুৎ প্রবাহজনিত ক্ষতির হাত হতে রক্ষা করা যায়। (২) উচ্চ বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা পরিমাপে একে ব্যবহার করা যায়।

নিজে কর : শান্টের রোধ শূন্য এবং অসীম হলে গ্যালভানোমিটারে প্রবাহিত বিদ্যুতের পরিমাণ কীরূপ হবে ?

শান্টের রোধ শূন্য হলে সকল বিদ্যুৎ প্রবাহ শান্টের মধ্যে দিয়ে যাবে আবার শান্টের রোধ অসীম হলে সকল প্রবাহ গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে যাবে।

নিজে কর : শান্ট কী এবং কি কাজে ব্যবহৃত হয় ?

শান্ট হলো নিম্ন মানের রোধ যা গ্যালভানোমিটার বা গ্যালভানোমিটারের মতো সুবেদী যন্ত্রপাতিতে সমান্তরালে যুক্ত করা হয়। অত্যধিক বিদ্যুৎ প্রবাহের হাত থেকে রক্ষা পাওয়ার জন্য গ্যালভানোমিটারের সাথে সমান্তরালে শান্ট যুক্ত করা হয়। যখন বর্তনীতে বেশি বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় তখন কম রোধবিশিষ্ট শান্টের মধ্য দিয়ে বেশি বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় এবং গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে কম বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয়। ফলে গ্যালভানোমিটার নষ্ট হয় না।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি গ্যালভানোমিটারের রোধ 100 ও'ম। এর সাথে কত শাণ্ট যুক্ত করলে মূল তড়িৎ প্রবাহ মাত্রার 99% শান্টের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হবে ?

আমরা জানি, $i_s = \frac{i \times G}{S+G}$

বা, $\frac{i_s}{i} = \frac{G}{S+G}$

বা, $\frac{99}{100} = \frac{100}{S+100}$

বা, $99S + 9900 = 10000$

বা, $99S = 10000 - 9900$

বা, $99S = 100$

বা, $S = \frac{100}{99} = 1.01\Omega$

এখানে,
$G = 100\Omega$
$\frac{i_s}{i} = \frac{99}{100}$
$S = ?$

২। 100Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটার সর্বোচ্চ 10mA তড়িৎ নিরাপদে গ্রহণ করতে পারে। কী ব্যবস্থা গ্রহণ করলে এর দ্বারা 10A প্রবাহ মাপা যাবে ?

[দি. বো. ২০১১; ঢা. বো. ২০০৭; কু. বো. ২০০৭, ২০০৪; ব. বো. ২০০২]

মনে করি, এ জন্য প্রয়োজনীয় শান্টের মান = S

আমরা জানি, $i_g = \frac{S}{S+G} \times i$

বা, $\frac{i_g}{i} = \frac{S}{S+G} \quad \therefore \frac{10 \times 10^{-3}}{10} = \frac{S}{S+100}$

বা, $1 \times 10^{-3} = \frac{S}{S+100}$

বা, $S \times 10^{-3} + 100 \times 10^{-3} = S$

বা, $S - S \times 10^{-3} = 100 \times 10^{-3}$

বা, $0.999S = 100 \times 10^{-3}$

বা, $S = \frac{100 \times 10^{-3}}{0.999} = \frac{100 \times 10^{-3}}{999 \times 10^{-3}} = \frac{100}{999}$

$\therefore \quad S = 0.1\Omega$

$\therefore$ 0.1Ω রোধের শান্টকে গ্যালভানোমিটারের সাথে সমান্তরালে যুক্ত করতে হবে।

এখানে,
$G = 100\Omega$
$i_g = 10\text{ mA} = 10 \times 10^{-3}\text{ A}$
$i = 10\text{A}$

৩.৮ ব্যবহারিক
Experimental

পরীক্ষণের নাম :	**পোটেনশিওমিটার** **Potentiometer**
পিরিয়ড : ২	পোটেনশিওমিটারের সাহায্যে দুটি কোষের তড়িচ্চালক বলের তুলনা কর । Compare the electromotive forces of two electric cells by a Potentiometer.

মূলতত্ত্ব (Theory) : বিযুক্ত অবস্থায় কোনো বিদ্যুৎ কোষের দুটি মেরুর বিভব পার্থক্যকে ঐ বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক বল বলে। বিদ্যুচ্চালক বলকে E দ্বারা সূচিত করা হয়।

ধরি, দুটি বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক বল যথাক্রমে E_1 এবং E_2। মনে করি I প্রাথমিক বর্তনীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রা। E_1 এবং E_2 বিদ্যুচ্চালক বলযুক্ত বিদ্যুৎ কোষের ক্ষেত্রে পোটেনশিওমিটারটি যন্ত্রের ধন প্রান্ত হতে

◆ হুইটস্টোন ব্রীজে

❑ পটেনশিওমিটার:

১১৬ বিভব পাতন পদ্ধতিতে এ যন্ত্রের সাহায্যে বিভব বৈষম্য ও বিদ্যুৎচালক ?

নিষ্ক্রিয় 1 সূক্ষ্মভাবে নির্ণয় করা যায়। যন্ত্রের তারের একক দৈর্ঘ্যের রোধ

ρ হলে, ◆ একই প্রকার ও সুষম প্রস্থচ্ছেদের 10 টি ম্যাংগানিজ বা কন্সট্যান্টানের তার তামার পাতার সাহায্যে শ্রেণীতে যুক্ত থাকে। ... (3.35)

◆ প্রত্যেকটি তারের দৈর্ঘ্য 1 মিটার ... (3.36)

◆ তারের তাপমাত্রা গুণাংক খুব কম।

◆ এর সাহায্যে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা এবং রোধও নির্ণয় করা যায়।

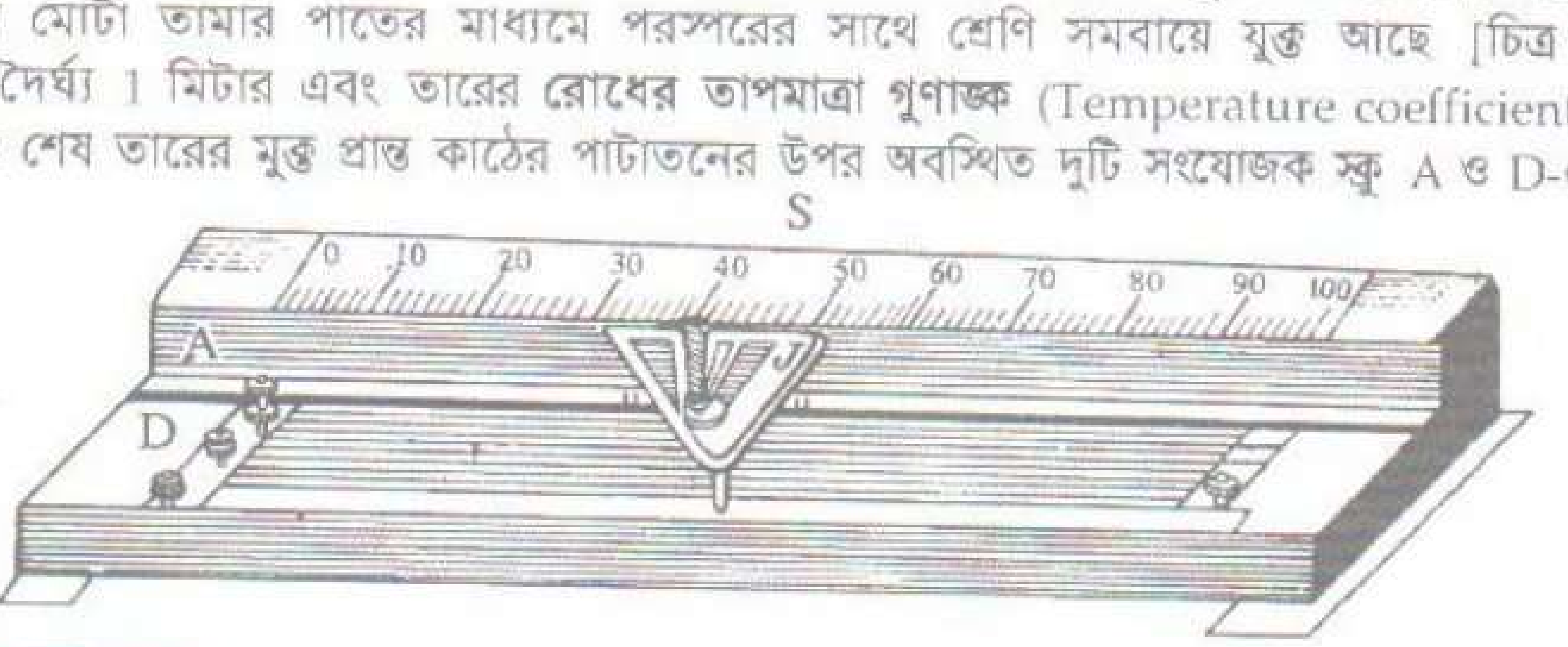
E_2 $l_2\rho l$ E_2 l_2 ... (3.37)

উপরোক্ত সমীকরণে l_1 এবং l_2-এর মান বসিয়ে E_1 এবং E_2-এর অনুপাত নির্ণয় করা যায়।

যন্ত্রের বর্ণনা : $V = IR$

বিভব পতন পদ্ধতিতে যে যন্ত্রের সাহায্যে ছোট মানের বিভব বৈষম্য ও বিদ্যুচ্চালক শক্তি সূক্ষ্মভাবে নির্ণয় করা যায় তাকে পোটেনশিওমিটার বলে। এর সাহায্যে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা এবং রোধও নির্ণয় করা যায়।

এ যন্ত্রে একটি কাঠের পাটাতনের উপর পরস্পর সমান্তরাল একই প্রকার ও সুষম প্রস্থচ্ছেদের 10টি ম্যাঙ্গানিন বা কন্সট্যান্টানের তার মোটা তামার পাতের মাধ্যমে পরস্পরের সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত আছে [চিত্র ৩·১৫]। এখানে প্রত্যেকটি তারের দৈর্ঘ্য 1 মিটার এবং তারের **রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক** (Temperature coefficient of resistance) খুব কম। প্রথম ও শেষ তারের মুক্ত প্রান্ত কাঠের পাটাতনের উপর অবস্থিত দুটি সংযোজক স্ক্রু A ও D-এর সাথে যুক্ত।



৩·১৫

ব্যবহার:

মিটার ব্রীজ: ১. রোধ নির্নয়ে ২. আঃ রোধ নির্ণয়ে

পোস্ট অফিসবক্স: নিম্ন ও উচ্চমানের রোধ নির্ণয়

পটেনশিও মিটার:

১. অভ্যন্তরীন রোধ নির্ণয় ২. তড়িচ্চালক শক্তির তুলনা

৩. কোষের তড়িচ্চালক শক্তি নির্ণয় ৪. ছোট মানের বিভব পার্থক্য নির্ণয়

৫. প্রবাহ নির্ণয় ৬. রোধ নির্ণয়

হুইটষ্টোনব্রীজ নীতি:

১. মিটার ব্রীজ ২. পোস্ট অফিস বক্স ৩. পটেনশিওমিটার

ল S থাকে। এই স্কেলের সাহায্যে তারের এক প্রান্ত হতে । পাটাতনের উপর পিতলের তৈরি তিন পা-বিশিষ্ট একটি র্ঘ্য বরাবর ডানে ও বামে চলাচল করতে পারে। জকিটির ন সরিয়ে চাবি টিপে কোনো তারের যে কোনো বিন্দুর সাথে

ষ, (৩) একটি সঞ্চয়ী কোষ, (৪) গ্যালভানোমিটার, (৫) একটি রিওস্ট্যাট বা পরিবর্তনশীল রোধ (R_h), (৯) সংযোজন তার,

কার্যপদ্ধতি (Procedure) :

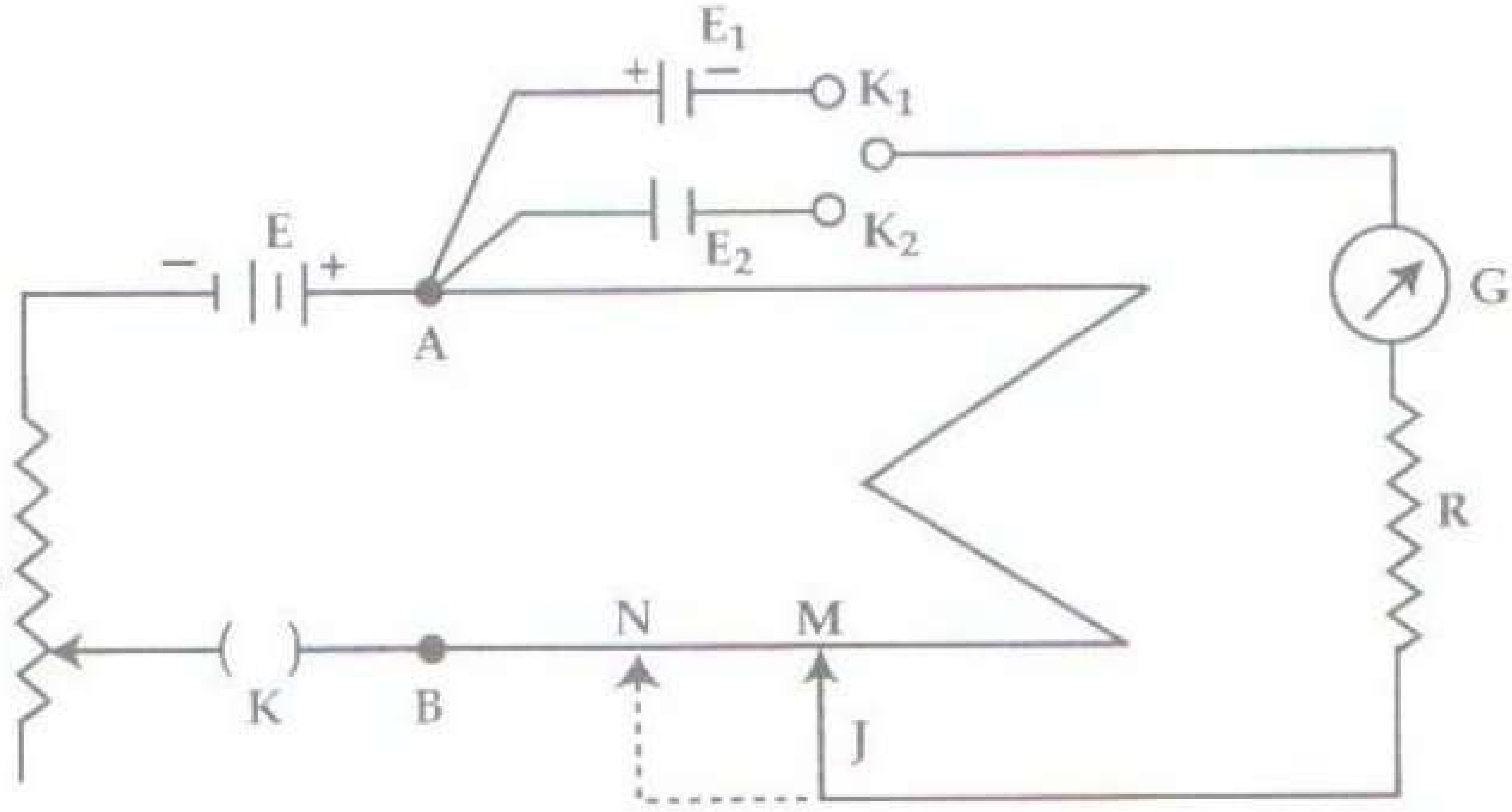
(১) প্রথমে শিরিস কাগজ দ্বারা সংযোজক তারগুলোর প্রান্ত, পোটেনশিওমিটার, গ্যালভানোমিটার, রোধ বাক্স, রিওস্ট্যাট, চাবি ইত্যাদি সকল সংযোগ প্রান্ত ভালোভাবে ঘষে নিতে হয়। পোটেনশিওমিটারের দুই প্রান্ত A ও B-তে বিভিন্ন সংযোগ দিতে হয়।

(২) চিত্র-৩·১৬ অনুযায়ী বর্তনী সংযোগ দিতে হয়। পরীক্ষণীয় কোষ E_1 ও E_2 এর ধনাত্মক প্রান্ত এবং সঞ্চয়ী কোষ E-এর ধনাত্মক প্রান্ত পোটেনশিওমিটার A প্রান্তের সঙ্গে সংযুক্ত করতে হয়। E_1 ও E_2-এর ঋণাত্মক প্রান্ত দ্বিমুখী চাবির দু'প্রান্তের সঙ্গে যুক্ত করতে হয়। দ্বি-পথ চাবির সাধারণ (common) প্রান্তের সঙ্গে গ্যালভানোমিটার G, উচ্চরোধ বাক্স R এবং জকি J শ্রেণিতে সংযোগ দিতে হয়। সঞ্চয়ী কোষ E-এর ঋণাত্মক প্রান্ত রিওস্ট্যাট R_h ও চাবি K-এর মধ্য দিয়ে পোটেনশিওমিটারের B প্রান্তে সংযোগ দিতে হয়।

(৩) উপরের ২নং ধারা অনুযায়ী বর্তনী সংযোগ সমাপ্ত করার পর রোধ বাক্স R হতে প্রায় 2000Ω মানের রোধ বর্তনীতে প্রয়োগ করে এবং রিওস্ট্যাট R_h-এর মান বেশি নিয়ে চাবি K বন্ধ করে জকি K-কে একবার পোটেনশিওমিটার A প্রান্তের কাছে, আবার B প্রান্তের কাছে স্পর্শ করতে হয়। দুই প্রান্তে স্পর্শের ফলে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ যদি বিপরীতমুখী হয়, তবে বুঝতে হবে বর্তনীর সংযোগ সঠিক হয়েছে।

(৪) এবার পর্যায়ক্রমে চাবি K_1 ও K_2 বন্ধ করে যথাক্রমে কোষ E_1 ও E_2 গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত করতে হয়। কার্যধারা (৩)-এর ন্যায় গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ উভয় দিকে হয় কিনা দেখে নিতে হয়। মনে রাখতে

হবে, সঞ্চয়ী কোষের বিভব পার্থক্য পরীক্ষণীয় কোষগুলোর প্রত্যেকটির বিভব পার্থক্য অপেক্ষা বেশি মানের হতে হবে। নচেৎ গ্যালভানোমিটার উভয় দিকে বিক্ষেপ দেখাবে না।



চিত্র ৩·১৬

(৫) এখন দ্বিপথ চাবি K_1 বন্ধ করে E_1 কোষটিকে গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত করা হয় এবং জকিটিকে পোটেনশিওমিটার তারের বিভিন্ন বিন্দুতে স্পর্শ করে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ যে বিন্দুতে শূন্য দেখায় তা নির্ধারণ করতে হয়। একে নিস্পন্দ বিন্দু বলে। এবার R_h-এর রোধ সর্বনিম্ন করে চূড়ান্ত নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয় করতে হয়। ধরা হল, A প্রান্ত হতে এই নিস্পন্দ বিন্দু M-এর দূরত্ব l_1 সে.মি.।

(৬) এখন দ্বিপথ চাবি K_1 খুলে দিয়ে K_2 বন্ধ করে E_2 কোষটিকে বর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত করা হয় এবং কার্যধারা (৫) অনুসরণ করে নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয় করতে হয়। ধরা যাক, এই নিস্পন্দ বিন্দু N-এর দূরত্ব l_2 সে.মি.।

(৭) রোধ বাক্স হতে ভিন্ন ভিন্ন মানের রোধ নিয়ে (৫) ও (৬) কার্যধারা অনুসরণ করে কমপক্ষে তিনবার l_1 এবং l_2-এর মান নির্ণয় করা হয়। প্রতিটি পর্যবেক্ষণে E_1 এবং E_2-এর অনুপাত নির্ণয় করা হয় এবং পরিশেষে তাদের গড় মান বের করা হয়।

পর্যবেক্ষণ এবং সন্নিবেশন (Observation and Manipulation) :

দুটি কোষের তড়িচ্চালক শক্তির তুলনার ছক :

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	পরিবর্তনশীল রোধ ও'ম	নিষ্ক্রিয় বিন্দুর অবস্থান				$\frac{E_1}{E_2}=\frac{l_1}{l_2}$	গড় $\frac{E_1}{E_2}$
		E_1 কোষের জন্য l_1 m	গড় l_1 m	E_2 কোষের জন্য l_2 m	গড় l_2 m		
১	R_1 = ---	....	....	....	....	....	
২	R_2 = ---	....	....	....	....	....	
৩	R_3 = ---	....	....	....	....	....	

হিসাব বা গণনা (Calculation) :

(১) $\frac{E_1}{E_2}=\frac{l_1}{l_2}=\frac{\square}{\square}$

(২) $\frac{E_1}{E_2}=\frac{l_1}{l_2}=\frac{\square}{\square}$

(৩) $\frac{E_1}{E_2}=\frac{l_1}{l_2}=\frac{\square}{\square}$

গড়, $\frac{E_1}{E_2}=\frac{\square}{\square}$

ফলাফল (Result) : অতএব নির্ণেয় দুটি তড়িৎ কোষের তড়িৎ চালক বলের অনুপাত $E_1 : E_2 = \boxed{} : \boxed{}$

সতর্কতা (Precautions) :

(১) সকল সংযোজন দৃঢ়ভাবে করা উচিত।

(২) সংযোজন সঠিক আছে কি না দেখে নেয়া উচিত।

(৩) গ্যালভানোমিটার বর্তনীতে উচ্চমানের রোধ প্রয়োগ করা উচিত।

(৪) সঞ্চয়ী কোষের বিদ্যুচ্চালক বল পরীক্ষণীয় কোষের যে কোনোটির বিদ্যুচ্চালক বল অপেক্ষা বড় নেয়া উচিত।

(৫) গ্যালভানোমিটারের সূচক সম্পূর্ণ স্থির হলে তারের দৈর্ঘ্য পরিমাপ করা উচিত।

(৬) সংযোগ বেশিক্ষণ দিয়ে রাখা উচিত না। তাতে রোধের মান পরিবর্তিত হয়।

কাজ : পোটেনশিওমিটার পরীক্ষায় ব্যবহৃত গ্যালভানোমিটারের সঙ্গে শ্রেণিতে যুক্ত রোধ R প্রথমে উচ্চ মানের রেখে নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয় করা হয় এবং তারপর R = 0 করে নিস্পন্দ বিন্দু নির্ণয় করা হয় কেন ?

যখন গ্যালভেনোমিটারেরর সঙ্গে শ্রেণিতে যুক্ত রোধ উচ্চ মানের হয় তখন গ্যালভানোমিটার অসংবেদী হয়। কিন্তু যখন R= 0 হয় তখন গ্যালভানোমিটার বর্তনীর রোধ এত কম হয় যে, সামান্য বিভব পার্থক্যের দরুন গ্যালভানো-মিটার দিয়ে অধিক মানের তড়িৎ প্রবাহ ঘটে। অর্থাৎ গ্যালভানোমিটারটি যথেষ্ট সুবেদী হয় এবং পাঠে ত্রুটি নিম্নতম হয়।

হিসাব : একটি পোটেনশিওমিটার দ্বারা দুটি বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক শক্তি পরীক্ষাকালে প্রথম ও দ্বিতীয় কোষের জন্য সাম্যবিন্দু যথাক্রমে 5m ও 4m হলো। দ্বিতীয় কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 1.2V হলে প্রথম কোষের তড়িচ্চালক শক্তি কত?

পরীক্ষণের নাম : পিরিয়ড : ২	**মিটার ব্রীজ** **Metre bridge** মিটার ব্রীজ ব্যবহার করে কোনো তারের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয়। To determine the specific resistance (resistivity) of a wire by metre bridge

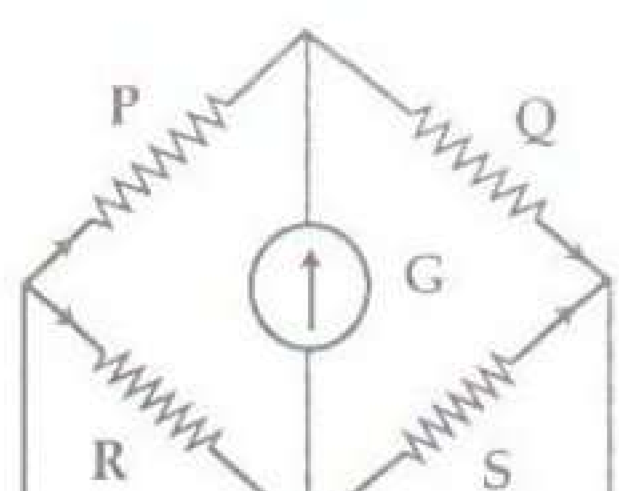
মূলতত্ত্ব (Theory) : একক দৈর্ঘ্য ও একক ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট কোনো পরিবাহী বিদ্যুৎ প্রবাহে যে পরিমাণ রোধ বা বাধা প্রদান করে তাকে ঐ পরিবাহীর আপেক্ষিক রোধ বলে। একে ρ দ্বারা সূচিত করা হয়।

যদি কোনো তারের দৈর্ঘ্য L, প্রস্থচ্ছেদ A এবং মোট রোধ Q হয়, তবে তার আপেক্ষিক রোধ

$$\rho = \frac{QA}{L}$$

তারটি চোঙাকৃতি বা বৃত্তাকার হলে তার প্রস্থচ্ছেদ, $A = \pi r^2$

এখানে r = তারের ব্যাসার্ধ।



চিত্র ৩.১৭

$$\therefore \text{ আপেক্ষিক রোধ, } \rho = \frac{Q\pi r^2}{L} \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.38)$$

যদি R-কে ও'ম এককে এবং L ও r-কে মিটারে প্রকাশ করা হয়, তবে ρ-এর একক হবে ও'ম-মি (Ω-m)।

সমীকরণ (3.38)-এ তারের মোট রোধ Q মিটার ব্রীজের সাহায্যে নিম্নোক্ত তত্ত্ব অনুসারে নির্ণয় করা যায়।

মিটার ব্রীজের দুটি ফাঁকের বামটিতে জানা রোধ P এবং ডানটিতে একটি অজানা রোধ Q স্থাপন করে [চিত্র ৩.১৭] বর্তনীটি সম্পূর্ণ করার পর যদি ব্রীজের তারের বাম প্রান্ত হতে নিষ্ক্রিয় বিন্দুর দূরত্ব l হয় এবং যদি σ তারের একক দৈর্ঘ্যের রোধ হয়, তবে হুইটস্টোন ব্রীজ নীতি প্রয়োগ করে পাওয়া যায়—

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} = \frac{\text{ব্রীজের তারের } l \text{ দৈর্ঘ্যের রোধ}}{\text{ব্রীজের তারের } (100 - l) \text{ দৈর্ঘ্যের রোধ}}$$

বা, $$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} = \frac{l\sigma}{(100 - l)\sigma} = \frac{l}{100 - l}$$

বা, $$Q = \frac{P \times (100 - l)}{l} \text{ ও'ম} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3.39)$$

আবার রোধগুলোর স্থান পরিবর্তন করে অর্থাৎ জানা রোধ P ডান ফাঁকে এবং অজানা রোধ Q বাম ফাঁকে স্থাপন করে আমরা পাই,

$$\frac{Q}{P}=\frac{l}{(100-l)}$$

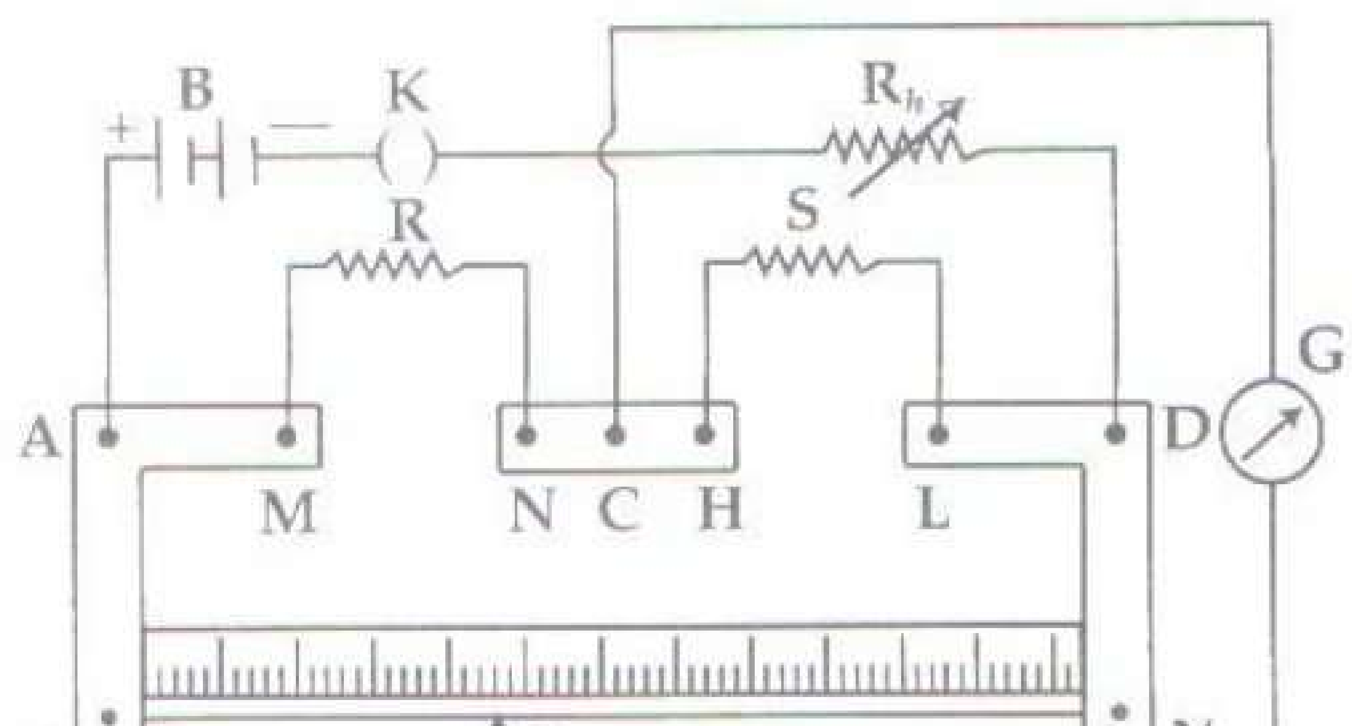
বা, $$Q=\frac{P\times l}{(100-l)} \text{ ও'ম} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (3.40)$$

সমীকরণ (3.39) ও (3.40)-এর গড় মান থেকে অজানা রোধ Q বের করা যায়।

তারের ব্যাসার্ধ r, দৈর্ঘ্য L পরিমাপ করে এবং মিটার ব্রীজের সাহায্যে তারের অজানা রোধ নির্ণয় করে সমীকরণ (3.40)-এ বসিয়ে তারের আপেক্ষিক রোধ বের করা যায়।

যন্ত্রের বর্ণনা :

এই যন্ত্র একটি কাঠের লম্বা পাটাতনের উপর তিনটি পিতল বা তামার পাত XAM, NCH ও LDY থাকে [চিত্র ৩.১৮]। এ পাতগুলোর রোধ নগণ্য এবং পাতের A, M, N, C, H, L ও D বিন্দুতে একটি করে সংযোজক স্ক্রু আছে। XAM ও LDY পাত দুটির মাঝে একটি মিটার স্কেল বসানো আছে। এ স্কেলের দৈর্ঘ্য বরাবর এক মিটার দীর্ঘ একটি সুষম প্রস্থচ্ছেদের তার টান করে X ও Y বিন্দুর সাথে আটকানো আছে। এক মিটার দীর্ঘ তার রোধক হিসেবে ব্যবহৃত হয় বলে একে **মিটার ব্রীজ** বলা হয়।



চিত্র ৩.১৮

প্রয়োজনীয় যন্ত্রপাতি (Necessary instruments) : (১) একটি মিটার ব্রীজ; (২) বিদ্যুৎ কোষ; (৩) গ্যালভানোমিটার; (৪) রোধ বাক্স; (৫) কমুটেটর বা চাবি; (৬) জকি; (৭) সংযোজনী তার; (৮) স্ক্রু-গজ; (৯) মিটার স্কেল; (১০) পরীক্ষণীয় তার ইত্যাদি।

কার্যপদ্ধতি (Procedure) :

১। খসড়া খাতায় বর্তনী অঙ্কন করা হয়।

২। বর্তনী চিত্র অনুযায়ী সংযোজন করা হয়।

৩। অজানা রোধ Q ব্রীজের ডান ফাঁকে এবং জানা রোধ P ব্রীজের বাম ফাঁকে সংযুক্ত করা হয়। গ্যালভানোমিটার ব্রীজের মধ্যবিন্দু এবং রোধ বাক্সের মধ্য দিয়ে জকির (J) বা টেপা চাবির সঙ্গে সংযুক্ত করা হয়।

৪। বর্তনী সংযোগ সম্পূর্ণ করার পর ব্রীজের এক তারের এক প্রান্তে জকি স্পর্শ করে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ লক্ষ করা হয়। পুনরায় জকিকে ব্রীজ তারের অপর প্রান্তে স্পর্শ করে বিক্ষেপ লক্ষ করা হয়। এই দুই বিক্ষেপ বিপরীতমুখী হলে বর্তনী সংযোগ ঠিক হয়েছে ধরা হয়।

৫। রোধ বাক্স P থেকে একটি জানা রোধ P_1 বর্তনীতে প্রয়োগ করা হয়। জকিটিকে চেপে ধরে ধীরে ধীরে ডানে এবং বামে সরিয়ে ব্রীজের তারে এমন একটি অবস্থান নির্ণয় করা হয় যেখানে গ্যালভানোমিটারে কোনো বিক্ষেপ পরিলক্ষিত হয় না। এটিই নিষ্ক্রিয় বিন্দু (Null Point)। মিটার ব্রীজ সংলগ্ন মিটার স্কেলের সাহায্যে বাম প্রান্ত হতে নিষ্ক্রিয় বিন্দু পর্যন্ত তারের দৈর্ঘ্য l_1 নির্ণয় করা হয়। এই মানগুলো সমীকরণ (3.39)-এ বসিয়ে হিসাব করে Q_1-এর মান নির্ণয় করা হয়।

৬। এবার P এবং Q-এর অবস্থান পরিবর্তন করা হয়। P_1-এর মান স্থির রেখে উপরোক্ত প্রক্রিয়া অবলম্বন করে নিষ্ক্রিয় বিন্দু নির্ণয় করা হয় এবং ঐ বিন্দু পর্যন্ত তারের দৈর্ঘ্য l_2 পরিমাপ করা হয়। এই মানগুলো সমীকরণ (3.40)-এ বসিয়ে হিসাব করে Q_1'-এর মান নির্ণয় করা হয়।

৭। P ও Q এর অবস্থান পরিবর্তন করে পূর্বের অবস্থানে নেয়া হয়। P বাক্স হতে অন্য মানের একটি রোধ P_2 নেওয়া হয় এবং উপরের (৫) ও (৬) নিয়ম অনুসরণ করে অজ্ঞাত Q_2 ও Q_2' বের করা হয়।

৮। পদ্ধতি (৭) অনুসরণ করে P রোধ বাক্স থেকে P_3 রোধ উঠিয়ে পূর্বের নিয়মে Q_3 ও Q_3' রোধ বের করা হয়।

৯। এবার Q_1, Q_1', Q_2, Q_2' এবং Q_3 ও Q_3' এর গড় নিয়ে পরীক্ষণীয় তারের অজানা রোধ Q ohm বের করা হয়।

(১০) মিটার ব্রীজ হতে পরীক্ষণীয় তারটিকে খুলে নিয়ে মিটার স্কেলের সাহায্যে এর গড় দৈর্ঘ্য নির্ণয় করা হয়।

(১১) স্ক্রু-গজের সাহায্যে পরীক্ষণীয় তারটির গড় ব্যাস, তথা ব্যাসার্ধ নির্ণয় করা হয় এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল হিসাব করে বের করা হয়।

(১২) পরীক্ষালব্ধ প্রাপ্ত Q, L এবং r-এর মান সমীকরণ (3.38)-এ বসিয়ে তারের আপেক্ষিক রোধ হিসাব করে বের করা হয়।

পর্যবেক্ষণ এবং সন্নিবেশন (Observation and Manipulation) :

স্ক্রু-গজের পিচ = ... মি.মি. (mm)

স্ক্রু-গজের বৃত্তাকার স্কেলের মোট ভাগ সংখ্যা = ...

$$\text{স্ক্রু-গজের লঘিষ্ঠ ধ্রুবক} = \frac{\text{পিচ}}{\text{বৃত্তাকর স্কেলের মোট ভাগ সংখ্যা}} = \text{মি.মি. (mm)}$$

(ক) রোধ P বাম ফাঁকে

পরীক্ষণীয় তারের রোধ নির্ণয়ের ছক :

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	জানা রোধ = P ও'ম	নিষ্ক্রিয় বিন্দুর দূরত্ব $= l$ m	অজানা রোধ $Q = \frac{P \times (100 - l)}{l}$ ও'ম	গড় রোধ Q ও'ম
1				
2				
3				

(খ) রোধ P ডান ফাঁকে

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	জানা রোধ = P ও'ম	নিষ্ক্রিয় বিন্দুর দূরত্ব $= l$ m	অজানা রোধ $Q = \frac{P \times l}{(100 - l)}$ ও'ম	গড় রোধ Q ও'ম
1				
2				
3				

পরীক্ষণীয় তারের ব্যাসার্ধ নির্ণয়ের ছক :

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	মূল স্কেল পাঠ = M মি.মি.	বৃত্তাকার স্কেল পাঠ = V	লঘিষ্ঠ ধ্রুবাঙ্ক = K মি.মি.	খন্ড অংশ $F = V \times K$ মি.মি.	মোট পাঠ $d' = (M+F)$ মি.মি.	গড় পাঠ মি. মি.	যান্ত্রিক ত্রুটি $\pm e$ মি.মি.	সংশোধিত ব্যাস $d = d' \pm e$ মি.মি.	ব্যাসার্ধ = $r = d/2$ মি.মি.	ব্যাসার্ধ = r সে.মি.
1										
2										
3										

পরীক্ষণীয় তারের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয়ের ছক :

তারের দৈর্ঘ্য = L সে.মি.	তারের মোট রোধ = Q ও'ম	তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $A = \pi r^2$ বর্গ সে.মি.	আপেক্ষিক রোধ $\rho = \frac{Q\pi r^2}{L}$ ও'ম-সে.মি.

হিসাব বা গণনা (Calculation) :

$\rho = \frac{Q\pi r^2}{L}$ = --- ও'ম সেমি. (ohm-cm) = ... ও'ম মি. (ohm-m).

ফলাফল (Result) : ρ = ----- ohm-m (ত্রুটির হার নির্ণয় করতে হবে)

সতর্কতা (Precautions) :

(১) সকল সংযোজন দৃঢ়ভাবে করা উচিত।

(২) সংযোজনকারী তারের প্রান্তগুলো শিরিস কাগজ দ্বারা ঘষা উচিত।

(৩) বিশেষ সতর্কতার সাথে নিষ্ক্রিয় বিন্দুর অবস্থান নির্ণয় করা উচিত।

(৪) অজ্ঞাত রোধের নির্ভুল মান পেতে হলে মিটার ব্রিজের প্রান্তীয় সংশোধন একান্তই প্রয়োজন।

(৫) তারের ব্যাসার্ধ সঠিকভাবে নির্ণয় করা উচিত।

(৬) ρ-এর মান সঠিকভাবে নির্ণয় করতে হবে।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : হুইটস্টোন ব্রীজে ভিন্ন রোধের গ্যালভানোমিটার ব্যবহার করলে নিস্পন্দ অবস্থার পরিবর্তন হয় কী ?

নিস্পন্দ অবস্থার $\frac{P}{Q}=\frac{R}{S}$ শর্তটি গ্যালভানোমিটারের রোধের ওপর নির্ভর করে না। তাই ভিন্ন রোধের গ্যালভানো-মিটার ব্যবহার করলে নিস্পন্দ অবস্থার পরিবর্তন হয় না। তবে ব্রীজটির সুবেদিতা গ্যালভানোমিটারের রোধের ওপর নির্ভর করে।

পরীক্ষণের নাম :	**পোস্ট অফিস বক্স**
পিরিয়ড : ২	**Post Office Box** **পোস্ট অফিস বক্স ব্যবহার করে অজানা রোধ নির্ণয়** **To determine the unknown resistance by a Post Office Box**

মূলতত্ত্ব : পোস্ট অফিস বক্সে রোধগুলির মান উপযুক্তভাবে সংযোজন করে গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহকে শূন্য করা যায়। B ও D বিন্দুদ্বয়ের বিভব সমান হলে অর্থাৎ গ্যালভানোমিটারের দুই প্রান্তে কোনো বিভব পার্থক্য না থাকলে এরূপ ঘটে। এ অবস্থায় গ্যালভানোমিটারের কোনো বিক্ষেপ হয় না এবং ব্রীজটি ভারসাম্য অবস্থায় থাকে। এখন হুইটস্টোন ব্রীজের ভারসাম্য নীতি অনুযায়ী

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S} \quad \therefore \; S = R \times \frac{Q}{P}$$

$P = 10$ ও'ম এবং $Q = 10$ ও'ম হলে

$$\therefore \quad S = \frac{10 \times R}{10} = R \text{ ও'ম}$$

পুনঃ, $P = 100$ ও'ম এবং $Q = 10$ ও'ম প্রদান করে পরীক্ষা সম্পাদন করলে দেখা যাবে

$$\frac{100}{10} = \frac{R}{S}$$

$$\therefore S = \frac{10\,R}{100} = \frac{1}{10} R \text{ ও'ম}$$

অনুরূপভাবে $P = 1000$ ও'ম এবং $Q = 10$ ও'ম ধরে পরীক্ষা সম্পাদন করলে আমরা পাই

$$\frac{1000}{10} = \frac{R}{S}$$

$$\therefore S = \frac{1}{100} \times R \text{ ও'ম} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (3.41)$$

এই যন্ত্রের সাহায্যে অজ্ঞাত রোধের মান দশমিকের পরও দুই সংখ্যা পর্যন্ত সঠিকভাবে নির্ণয় করা যায়। এখানে R = তৃতীয় বাহুর রোধ।

যন্ত্রের বর্ণনা : মিটার ব্রীজও

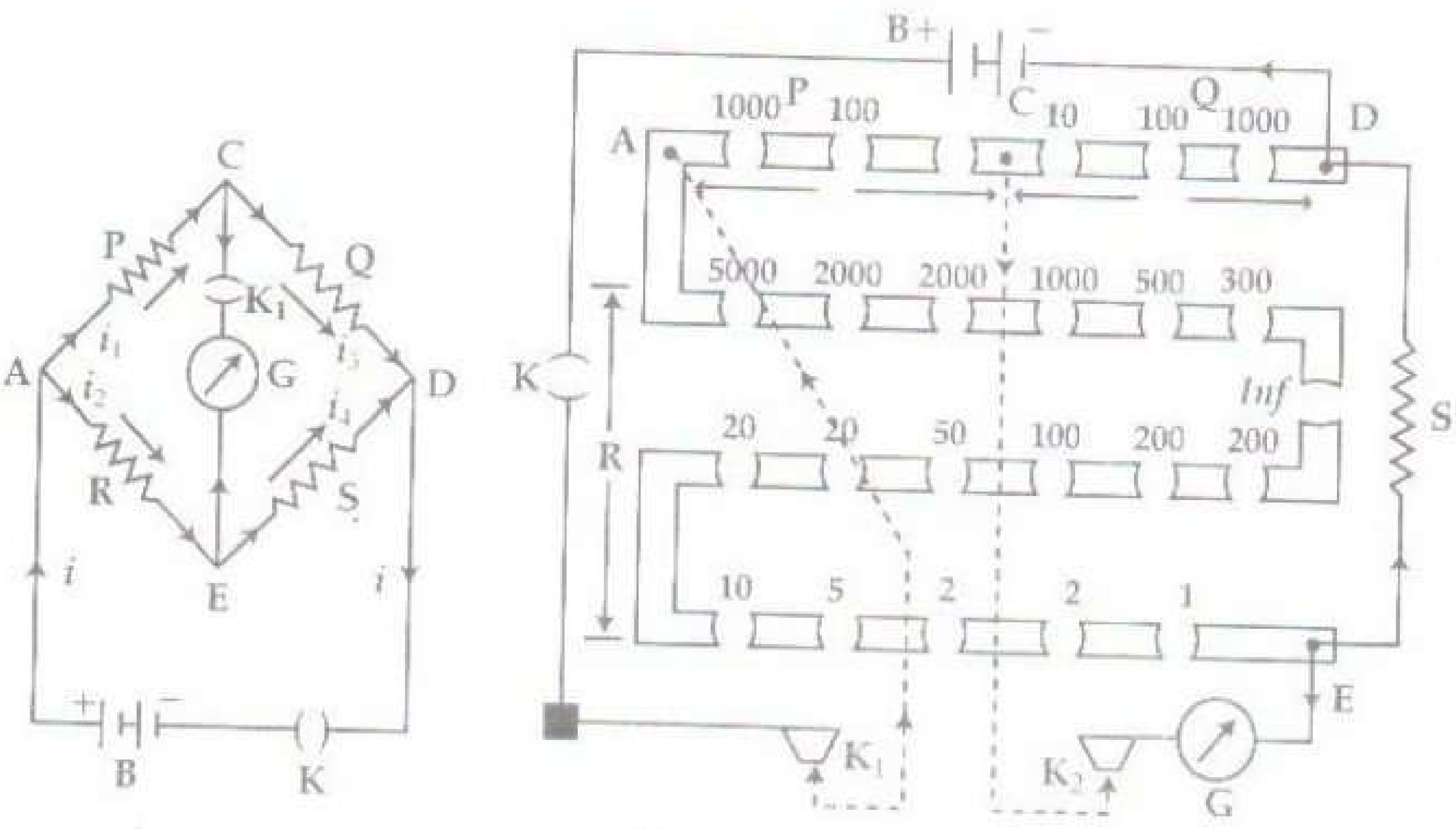
পোস্ট অফিস বক্স (সংক্ষেপে পিওবক্স) হুইটস্টোন ব্রীজেরই ঘনসংবদ্ধ রূপ। পোস্ট অফিসে টেলিগ্রাফের তার ও কেবল (cable)-এর রোধ নির্ণয়ের কাজে এই যন্ত্রটি প্রথমত ব্যবহৃত হতো বলে একে পোস্ট অফিস বক্স বলা হয়।

সাধারণত এ যন্ত্রের সাহায্যে নিম্ন ও উচ্চ উভয় মানের রোধ নির্ণয় করা যায়। ইহা কতগুলি নির্দিষ্ট মানের রোধ কুণ্ডলী দ্বারা গঠিত। কুণ্ডলীগুলি পরপর যুক্ত থেকে হুইটস্টোন ব্রীজের তিনটি বাহু গঠন করে। নির্ণেয় অজ্ঞাত রোধ S হলো ব্রীজের চতুর্থ বাহু। রোধ বাক্সের ন্যায় এখানেও কুণ্ডলীগুলি একটি বাক্সের মধ্যে থাকে। বাক্সের পাটাতনের উপর অবস্থিত দুটি নিরেট পিতলের ব্লকের সাথে প্রতিটি কুণ্ডলীর দুই প্রান্তে যুক্ত করা হয়। পিতলের ব্লকগুলি পাশাপাশি তিনটি

সারিতে সাজানো থাকে। পরপর দুটি ব্লকের মধ্যে শঙ্কু আকৃতির ফাকা জায়গা থাকে। প্রতিটি ফাকা জায়গায় প্লাগ তুললে রোধ সংযুক্ত হয়।

৩.১৯ নং চিত্রে একটি পোস্ট অফিস বক্সের নকসা দেখান হয়েছে। এ যন্ত্রে বিভিন্ন মানের তিন প্রস্থ প্লাগযুক্ত রোধ কুণ্ডলী AC, CD এবং AE দ্বারা একটি হুইটস্টোন ব্রীজের তিনটি বাহু যথাক্রমে P, Q ও R গঠিত হয়। P এবং Q বাহু দুটিকে **অনুপাত বাহু** (Ratio arm) বলা হয়। এ দুটির প্রত্যেকটিতে 10, 100 এবং 1000 ও'মের তিনটি রোধ কুণ্ডলী শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত থাকে।

তৃতীয় বাহু R-এ সাধারণত 1 হতে 5000 ও'ম পর্যন্ত কতকগুলো রোধ কুণ্ডলী শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত আছে। যে কোনো একটি কুণ্ডলীর প্লাগ তুলে নিলে ঐ রোধ বর্তনীতে অন্তর্ভুক্ত হয়ে পড়ে। D ও E বিন্দুর মধ্যে একটি অজ্ঞাত রোধ S যুক্ত করে হুইটস্টোন ব্রীজের চতুর্থ বাহু গঠন করা হয়। একটি টেপা চাবি K_1-এর মাধ্যমে A ও D বিন্দুর মধ্যে ব্যাটারী B এবং আর একটি টেপা চাবি K_2-এর মাধ্যমে C ও E বিন্দুর মধ্যে একটি গ্যালভানোমিটার G জুড়ে দেয়া হয়। A ও চাবি K_1-এর নিচের অংশ এবং C ও চাবি K_2-এর নিচের অংশ অভ্যন্তরীণভাবে যুক্ত। কাজেই K_1 চাবির সাহায্যে মূল বিন্দুতে প্রবাহ এবং K_2 চাবির সাহায্যে গ্যালভানোমিটারে বিদ্যুৎ প্রবাহ চালু বা বন্ধ করা যায়।



চিত্র ৩.১৯

কার্যপদ্ধতি (Procedure) : (i) শিরিস কাগজ দিয়ে সংযোজনী তার এবং সংযোগস্থল ভালোভাবে ঘষে নিয়ে চিত্র ৩.১৯ অনুযায়ী সকল সংযোজন দৃঢ়ভাবে করা হয়।

(ii) P ও Q বাহুর প্রতিটিতে 10 ohm রোধের প্লাগ উঠানো হয়। তৃতীয় বাহু R-এর রোধ শূন্য রেখে প্রথমে ব্যাটারী বর্তনীর চাবি K_1 কে চাপ দিয়ে পরে গ্যালভানোমিটার বর্তনীর চাবি K_2 চাপা হয় ও গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ লক্ষ করা হয়। এবার তৃতীয় বাহু R হতে ∞ (অসীম) চিহ্নিত প্লাগটি তুলে পুনরায় উপরোক্ত পর্যবেক্ষণ করা হয়। যদি এক্ষেত্রে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ প্রথমের বিপরীতমুখী হয়, তবে সিদ্ধান্ত নেওয়া যায় যে, বর্তনী সংযোগ সঠিক আছে।

(iii) উচ্চ মান হতে শুরু করে তৃতীয় বাহুর রোধ ক্রমশ কমিয়ে প্রতি ক্ষেত্রে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ দেখা হয়। কোনো ক্ষেত্রে গ্যালভানোমিটার নিস্পন্দ থাকলে $P = Q = 10$ ohm বলে অজানা রোধ $S = R$, তৃতীয় বাহুর সমান হবে। কিন্তু যদি বিক্ষেপ শূন্য না করা যায় তবে পাশাপাশি দুটি রোধ প্রদান করলে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ বিপরীতমুখী হবে। এক্ষেত্রে এই দুটি রোধের মধ্যেই হবে অজানা রোধ S-এর মান।

(iv) এখন P বাহুতে 10 ohm-এর পরিবর্তে 100 ohm রোধ দেওয়া হলো। দ্বিতীয় বাহুর রোধ Q-কে পূর্বের মতোই 10 ohm রাখা হয়। কাজেই $\frac{Q}{P}$ অনুপাতটি হবে $\frac{1}{10}$। ফলে প্রমিত অবস্থায় $R = 10\,S$ হবে। এবার পূর্বের ন্যায় তৃতীয় বাহু R থেকে এমন রোধের প্লাগ তুলতে হবে যাতে গ্যালভানোমিটার-এর বিক্ষেপ শূন্য হয়। এক্ষেত্রে অজানা রোধ $S = \frac{R}{10}$।

(v) একইভাবে P বাহুতে 1000 ohm রোধের জন্য এর Q বাহুতে 10 ohm রোধের জন্য পরীক্ষণটি করা যেতে পারে।

অজানা রোধ নির্ণয়ের ছক

P বাহুতে রোধ ও'ম	Q বাহুতে রোধ ও'ম	তৃতীয় বাহুতে রোধ ও'ম	গ্যালভানোমিটার কাটার বিক্ষেপের দিক	অনুমিতি	অজানা রোধ ও'ম
10	10	অসীম	ডান	রোধ 4 এবং 5 ও'মের মধ্যে অবস্থিত	
"	"	0	বাম		
"	"	4	বাম		
"	"	5	ডান		
100	10	40	বাম	রোধ 4·4 এবং 4·5 ও'মের মধ্যে অবস্থিত	4·42
"	"	50	ডান		
"	"	44	বাম		
"	"	45	ডান		
1000	10	440	বাম	∴ রোধ	
"	"	450	ডান	$R_1 = \frac{1}{100}\left\{442 + \frac{3}{5}\right\}$	
"	"	442	3 দাগ বাম	$= 4·423$	4·423
"	"	443	5 দাগ ডান		

সতর্কতা : (১) তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ ক্রিয়া এড়াবার জন্য প্রথমে ব্যাটারী বর্তনীর চাবি ও পরে গ্যালভানোমিটারের চাবি চাপতে হয়।

(২) গ্যালভানোমিটারের সাথে সর্বদা শান্ট ব্যবহার করতে হয়।

(৩) কোষের তড়িচ্চালক বল যাতে খুব বেশি না হয় সেদিকে লক্ষ রাখা হয়।

(৪) সাধারণত এই পরীক্ষায় লেকল্যান্স কোষ ব্যবহার করাই ভালো।

(৫) গ্যালভানোমিটারের নাল বিন্দু সঠিকভাবে প্রতি ক্ষেত্রে নির্ণয় করতে হয়।

অনুসন্ধানমূলক কাজ I : পোস্ট অফিস বক্স, মিটার ব্রীজ ও পটেনশিওমিটার পরীক্ষায় সর্বদাই গ্যালভানোমিটার ব্যবহার করা হয় কেন ?

II. পটেনশিওমিটার দ্বারা পরিমাপ করার জন্য সাধারণত গ্যালভেনোমিটারের সাথে একটি উচ্চ মানের রোধ শ্রেণিতে যুক্ত থাকে। নিস্পন্দ বিন্দুর কাছাকাছি আসলে ঐ রোধের মান শূন্য করা হয় কেন ?

III. মিটার ব্রীজের প্রান্তীয় রোধ বলতে কী বুঝ ? কেন এর উৎপত্তি হয় ? কীভাবে নির্ণয় করা যায় ? মিটার ব্রীজের নাম মিটার ব্রীজ হলো কীভাবে?

IV. পোস্ট অফিস বক্স দ্বারা তুমি কি একটি অজানা রোধের মান সরাসরি নির্ণয় করতে পার ? পোস্ট অফিস বক্স দ্বারা পরিমাপের সময় প্রথমে ব্যাটারী বর্তনীর চাবি টিপে পরে গ্যালভানোমিটার বর্তনীর চাবি টিপতে হয় কেন ?

হাতে কলমে করে দেখ : পোস্ট অফিস বক্সে নির্ণেয় অজ্ঞাত রোধকে দীর্ঘ সরু তার দিয়ে যুক্ত করলে রোধের সঠিক মান পাওয়া যায় না কেন ?

সংযোগী তারসহ অজ্ঞাত রোধ পোস্ট অফিস বক্সের একটি রোধ বাহু হিসেবে কাজ করে। পরীক্ষণীয় রোধ সংযোগী তারের রোধসহ অজ্ঞাত রোধের মান নির্দেশ করে। সংযোগী তার দীর্ঘ এবং সরু হলে এর রোধ উপেক্ষা করা হয় না, ফলে নির্ণীত মানকে অজ্ঞাত রোধের মান হিসেবে নিলে ভুল বেশি হয়।

অজ্ঞাত রোধের সঠিক মান পেতে হলে সংযোগী তারের রোধ নগণ্য হতে হবে এবং সেজন্য সংযোগী তারের দৈর্ঘ্য স্বল্পমানের এবং তারটি বেশ মোটা নিতে হবে।

কাজ : অ্যামিটারকে বর্তনীতে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করতে হয় কেন ?

অ্যামিটারের সাথে স্বল্প মানের রোধ অর্থাৎ শান্ট সমান্তরালে যুক্ত থাকে। ফলে এর তুল্য রোধ খুব কম হয়। অতিরিক্ত প্রবাহ শান্টের মধ্য দিয়ে যায় ফলে যন্ত্র ঠিক থাকে। এছাড়া অ্যামিটারকে যখন শ্রেণি বর্তনীতে যুক্ত করা হয় তখন এর কার্যকরী রোধ কম হয় এবং মূল প্রবাহের কোনো পরিবর্তন হয় না। এজন্য অ্যামিটারকে শ্রেণিতে যুক্ত করা হয়।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি পোটেনশিওমিটার তারে বিদ্যুৎ প্রবাহ নিয়ন্ত্রিত করে একটি বিদ্যুৎ কোষের জন্য নিস্পন্দ বিন্দু 6 cm দূরে পাওয়া গেল। কোষটির সঙ্গে সমান্তরালে 3Ω এর একটি সান্ট যোগ করলে 4 cm দূরে নিস্পন্দ বিন্দু পাওয়া যায়। কোষটির অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

অভ্যন্তরীণ রোধ, $r = \left(\frac{l_1}{l_2} - 1\right) \times S$

$\therefore \quad r = \left(\frac{6}{4} - 1\right) \times 3 = \left(\frac{6-4}{4}\right) \times 3$

$= \frac{2}{4} \times 3 = 1.5\ \Omega$

এখানে,
$l_1 = 6$ cm
$l_2 = 4$ cm
$S = 3\Omega$
$r = ?$

২। একটি মিটার ব্রীজের দুই শূন্য স্থানের একটিতে 8Ω এবং অন্যটিতে 10Ω রোধ সংযুক্ত করা হলো। ভারসাম্য বিন্দু কোথায় অবস্থিত হবে?

আমরা জানি,

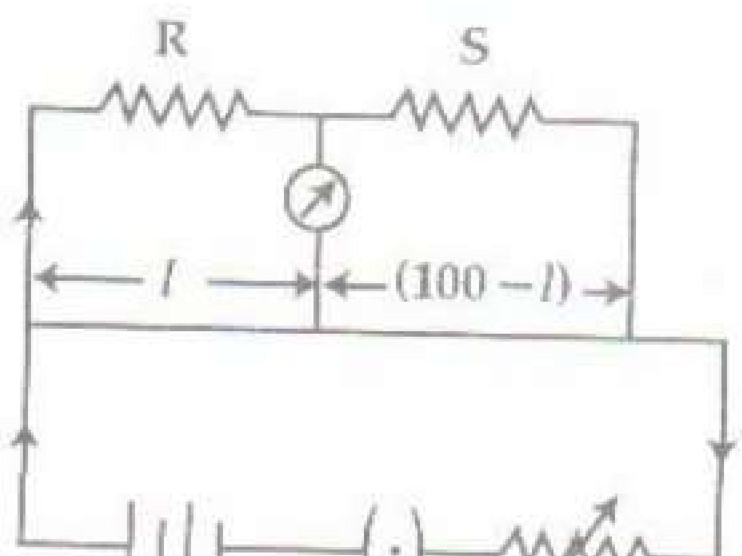
$\frac{R}{S} = \frac{l}{(100 - l)}$

$\therefore \quad \frac{8}{10} = \frac{l}{100 - l}$

বা, $800 - 8l = 10l$

বা, $10l + 8l = 800$

বা, $18l = 800$



এখানে,
$R = 8\ \Omega$
$S = 10\ \Omega$

$\therefore \quad l = \frac{800}{18} = 44.44$ cm

বাম প্রান্ত হতে 44.44 cm দূরে ভারসাম্য বিন্দু পাওয়া যাবে।

৩। একটি পোস্ট অফিস বক্সের ৪র্থ বাহু S-এ 1m দৈর্ঘ্য 31×10^{-6} m² প্রস্থচ্ছেদ ক্ষেত্রফলের একটি তার যুক্ত করা হলো। এখন Q বাহুতে 10Ω, P বাহুতে 1000Ω এবং R বাহুতে 2025Ω রোধের প্লাগ উঠালে গ্যালভানোমিটার শূন্য বিক্ষেপ দেয়। তারের আপেক্ষিক রোধ নির্ণয় কর।

মনে করি আপেক্ষিক রোধ = P

আমরা জানি,

$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$

বা, $S = \frac{Q}{P} \times R$

$\therefore \quad S = \frac{10}{1000} \times 2025 = 20.25\Omega$

এখন, $S = \rho \frac{L}{A}$

বা, $\rho = \frac{SA}{L} = \frac{2025 \times 1 \times 10^{-6}}{1} = 20.25 \times 10^{-6}$ omh-m

এখানে,
$L = 1$m
$A = 1 \times 10^{-6}$ m²
$Q = 10\Omega$
$P = 1000\Omega$
$R = 2025\Omega$
$S = ?$

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 t}$ ... ... (1)

$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$ ... ... (2)

$H = 0.24\ I^2Rt$ ... ... (3)

$W = VQ = Vit = i^2Rt = \frac{V^2}{R} t$ ... ... (4)

$$P=\frac{V^2}{R} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (5)$$

$$W=JH \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6)$$

$$J=\frac{W}{H}=\frac{Vit}{H} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (7)$$

$$H=i^2Rt=mS\theta \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (8)$$

$$V=iR \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (9)$$

$$E=V+Ir \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (10)$$

$$r=\frac{E-V}{I} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (11)$$

$$\rho=\frac{RA}{L} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (12)$$

$$R_s=R_1+R_2+R_3+\ldots\ldots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (13)$$

$$\frac{1}{R_p}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (14)$$

$$I=\frac{E}{R+r} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (15)$$

$$I_1=\frac{R_2\times I}{R_1+R_2} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (16)$$

$$I_2=\frac{R_1\times I}{R_1+R_2} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (17)$$

$$I=\frac{nE}{R+nr} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (18)$$

$$I=\frac{nE}{nR+r} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (19)$$

$$I_1+I_2+I_3=0 \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (20)$$

$$\frac{P}{Q}=\frac{R}{S} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (21)$$

$$i_g=\frac{S\times i}{G+S} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (22)$$

$$i_s=\frac{i\times G}{S+G} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (23)$$

$\frac{P}{S}=\frac{l}{100-l}$

$$\frac{Q}{P}=\frac{l}{(100-l)} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (24)$$

উচ্চতর দক্ষতাসম্পন্ন নমুনা গাণিতিক উদাহরণ

১। তমা টিভিতে কারেন্ট ফিসের উপর একটি টেলি ফ্লিম দেখছিল। সে জানতে পারল কারেন্ট ফিসের দেহে জৈব তড়িৎ কোষ আছে। ফলে এরা তড়িৎ উৎপন্ন করতে পারে। এই কোষগুলিকে ইলেকট্রোপ্লাক বলে। মাছের দৈর্ঘ্য বরাবর ইলেকট্রোপ্লাকগুলো 140টি সারিতে বিভক্ত এবং প্রতিটি সারিতে 5000 ইলেকট্রোপ্লাক আছে। প্রতিটি ইলেকট্রোপ্লাকের তড়িচ্চালক বল 0·15V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0·25Ω। সম্মিলিত ইলেকট্রোপ্লাকগুলোর এক প্রান্ত মাথার কাছে এবং অপর প্রান্ত লেজের কাছে থাকে। এর চারপাশের পানি বহি সংযোগ হিসেবে কাজ করে।

(ক) এক সারির ইলেকট্রোপ্লাকগুলোর তড়িচ্চালক বল ও অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর।

(খ) চারপাশের পানির রোধ 800Ω হলে এর মধ্যে দিয়ে কী পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ চলে নির্ণয় কর।

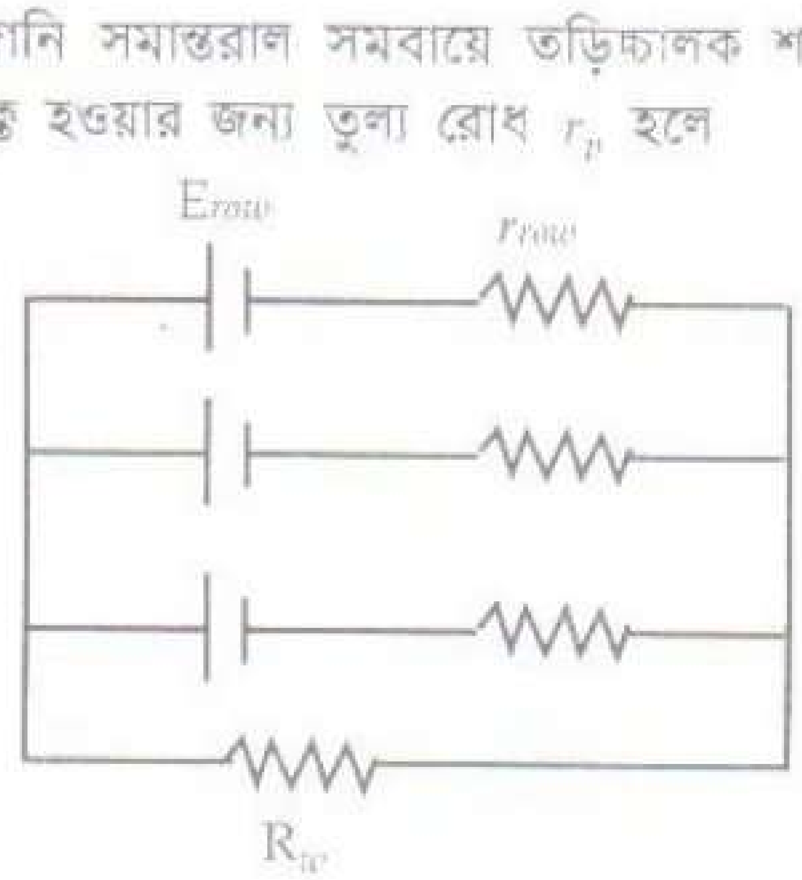
(ক) প্রতি সারিতে মোট তড়িচ্চালক বল,

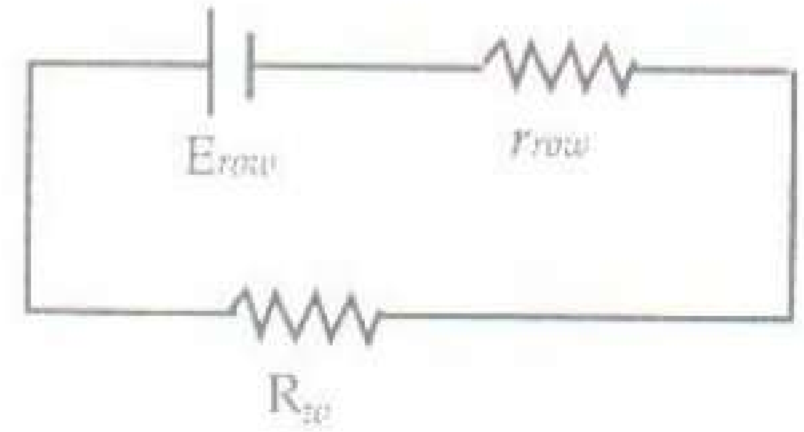
$E_{\text{মোট}}=E\times 5000=0\cdot15V\times 5000=750V$

প্রতিটি সারিতে মোট অভ্যন্তরীণ রোধ

$r_{\text{মোট}}=r\times 5000=0\cdot25\times 5000=1250\ \Omega$

(খ) আমরা জানি সমান্তরাল সমবায়ে তড়িচ্চালক শক্তির কোনো পরিবর্তন হয় না। কিন্তু অভ্যন্তরীণ রোধগুলি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত হওয়ার জন্য তুল্য রোধ r_p হলে





$$\frac{1}{r_p} = \frac{1}{r_{row1}} = \frac{1}{r_{row2}} + \frac{1}{r_{row3}} + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$= \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{r_{row}} = \frac{1}{r_{row}} \times 140$$

$$\therefore \quad r_p = \frac{r_{row}}{140} = \frac{1250}{140} = 8·93\Omega$$

$$\therefore \ i = \frac{E_{row}}{R_w + r_p} = \frac{750}{800 + 8·93} \text{ Amp} = 0·927 \text{ Amp}$$

২। ঢাকা কলেজের জনৈক ছাত্র রফিক পদার্থবিজ্ঞান ল্যাবে পটেনশিওমিটারের সাহায্যে কোষের তড়িচ্চালক শক্তি পরিমাপের জন্য বর্তনীর সাথে 12Ω রোধের একটি পরিবর্তনশীল রোধ লাগিয়ে দেখল, বর্তনীর প্রবাহ আগের চেয়ে 5 : 3 অনুপাতে কমে গেল।

(ক) উদ্দীপকে বর্ণিত বর্তনীটির আগের রোধ কত ছিল ?

(খ) রফিককে বলা হয় প্রাথমিক প্রবাহের অর্ধেক প্রবাহ বর্তনীতে চালনা করতে নচেৎ বর্তনীটি পুড়ে যেতে পারে। রফিক কী ব্যবস্থা গ্রহণ করলে বর্তনীটি পুড়বে না ? যুক্তি সহকারে লিখ।

(ক) ধরি 12Ω রোধ যুক্ত করার পূর্বের ও পরের প্রবাহমাত্রা যথাক্রমে I_1 ও I_2।

$\therefore$ বর্ণনানুযায়ী, $\frac{I_1}{I_2} = \frac{5}{3}$

কোষের তড়িচ্চালক শক্তি E হলে

$E = I_1R_1$

$\therefore \quad I_1 = \frac{E}{R_1}$ … … … (i)

(12Ω যোগ করার পূর্বের রোধ R_1)

অনুরূপভাবে, $I_2 = \frac{E}{R_1 + R_2}$ … … … (ii)

(12Ω যোগ করার পরের রোধ $R_1 + R_2$)

(i) ও (ii) হতে $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$

বা, $\frac{5}{3} = \frac{R_1 + 12}{R_1}$

বা, $5R_1 = 3R_1 + 36$

বা, $2R_1 = 36$

$\therefore \quad R_1 = 18\Omega$

(খ) এক্ষেত্রে বর্তনীর প্রবাহ I_3 হলে, $I_3 = \frac{I_1}{2}$

$\therefore \quad \frac{I_1}{I_3} = 2$ … … … (iii)

বর্তনীর প্রবাহ অর্ধেক হ্রাস করতে হলে, নতুন রোধ যুক্ত করতে হবে। ধরি নতুন রোধ = R_3

$\therefore$ বর্তনীর মোট রোধ = $R_1 + R_2 + R_3$

তড়িচ্চালক শক্তি হলে $I_3 = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3}$ ... ... (iv)

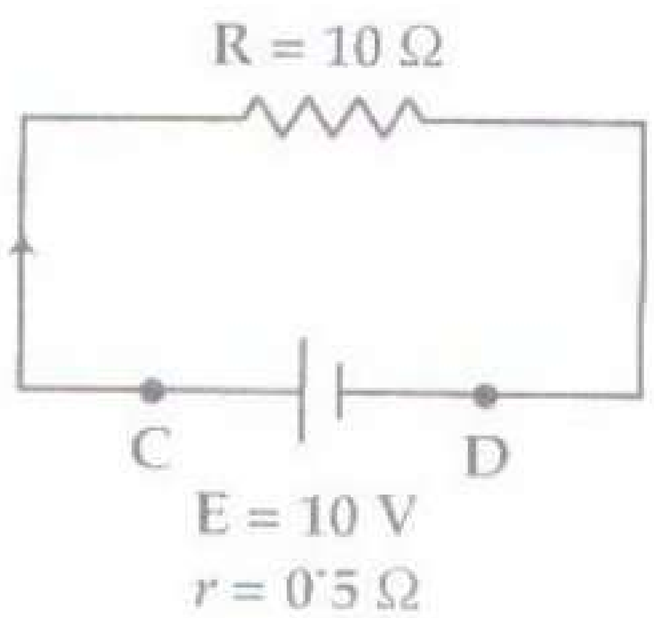
(i) ও (iv) হতে $\frac{I_1}{I_3} = \frac{R_1 + R_2 + R_3}{R_1}$

$\therefore \quad 2 = \frac{18 + 12 + R_3}{18}$

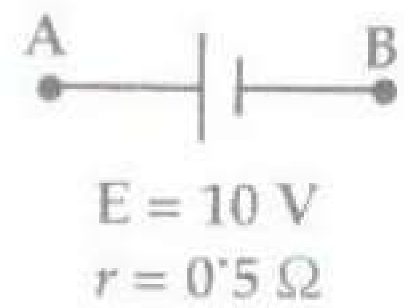
$\therefore \quad R_3 = 6\Omega$

রফিককে উদ্দীপকে বর্ণিত বর্তনীকে পুড়ে যাওয়ার হাত থেকে রক্ষা করতে 6Ω মানের রোধ যুক্ত করতে হবে।

৩।



চিত্র ১



চিত্র ২

(ক) কির্শফের সূত্রের সাহায্যে ১ম বর্তনীতে মূল প্রবাহ নির্ণয় কর।

(খ) CD বিন্দুতে AB কোষটিকে সমান্তরালভাবে সংযুক্ত করলে পূর্বাপেক্ষা বহিস্থ রোধ R-এ উৎপাদিত তাপশক্তির হার বাড়বে না কমবে—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [সি. বো. ২০১৫]

(ক) কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র প্রয়োগ করে পাই,

$Ir + IR = E$

$I(r + R) = E$

$I = \frac{E}{r + R} = \frac{10\text{ V}}{10\ \Omega + 0{\cdot}5\ \Omega} = 0{\cdot}9524\text{ A}$

এখানে,

$E = 10\text{ V}$

$r = 0{\cdot}5\ \Omega$

$R = 10\ \Omega$

(খ) উদ্দীপকে বর্ণিত অবস্থায় R-এ উৎপাদিত তাপশক্তির হার,

$P = I^2R = (0{\cdot}9524)^2 \times 10\ \Omega = 9{\cdot}0707$ watt

CD বিন্দুতে AB কোষটিকে সমান্তরালে যুক্ত করলে বর্তনীর মূল প্রবাহ হবে,

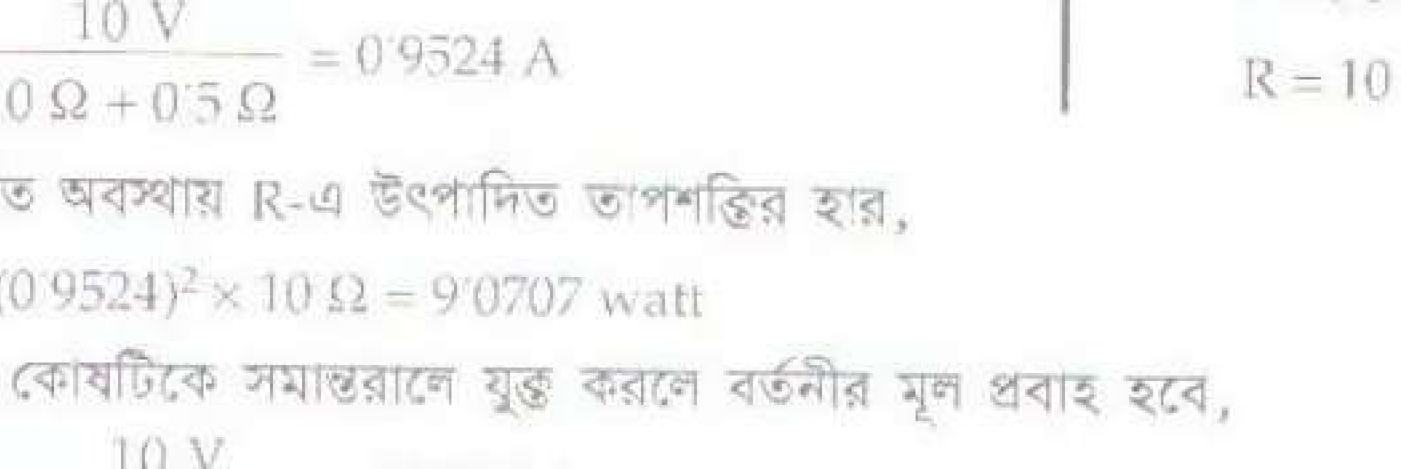
$I' = \frac{E}{R + \frac{r}{2}} = \frac{10\text{ V}}{10\ \Omega + \frac{0{\cdot}5\ \Omega}{2}} = 0{\cdot}9756\text{ A}$

এক্ষেত্রে বহিস্থ রোধ R-এ উৎপাদিত তাপশক্তির হার,

$P' = I'^2R = (0{\cdot}9756\text{A})^2 \times 10\ \Omega = 9{\cdot}518$ watt

$P' > P$; সুতরাং CD বিন্দুতে AB কোষটিকে সমান্তরালভাবে সংযুক্ত করলে পূর্বাপেক্ষা বহিস্থ রোধ R-এ উৎপাদিত তাপশক্তির হার বাড়বে।

৪।



(ক) উদ্দীপকে বর্ণিত বর্তনীর তুল্য রোধ নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকে বর্ণিত রোধ 4টি একটি হুইটস্টোন ব্রীজের চারটি বাহুর রোধ হলে এবং R_3 রোধকে কীরূপ সংযোগ পরিবর্তনের জন্য ব্রীজটি সাম্যাবস্থায় থাকবে ?

(ক) R_2, R_3, R_4 রোধ তিনটি সমান্তরালে যুক্ত; কাজেই তুল্য রোধ,

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$
$$= \frac{1}{50} + \frac{1}{50} + \frac{1}{75} = \frac{3+3+2}{150} = \frac{8}{150}$$
$$\therefore \quad R_p = \frac{150}{8}\,\Omega$$

এই R_p আবার R_1 এর সাথে শ্রেণিতে যুক্ত; কাজেই তুল্য রোধ,

$$R_s = R_p + R_1$$
$$\therefore \quad R_s = \frac{150}{8} + 100 = 118{\cdot}75\,\Omega$$

(খ) $R_1 = P = 100\,\Omega$; $R_2 = Q = 50\,\Omega$; $R_3 = R = 50\,\Omega$; $R_4 = S = 75\,\Omega$

হুইটস্টোন ব্রীজের ভারসাম্য নীতি অনুযায়ী,

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$$

এখন $\frac{P}{Q} = \frac{100}{50} = 2$

এবং $\frac{R}{S} = \frac{50}{75} = \frac{2}{3}$

$\therefore \quad \frac{P}{Q} \neq \frac{R}{S}$, ব্রীজটি ভারসাম্যে নাই

এখন ধরি R মানের রোধটির সাথে R_1 মানের রোধ যুক্ত করলে ব্রীজটি ভারসাম্য অর্জন করবে।

ধরি, R ও R_1 এর তুল্য রোধ R_2

$$\therefore \quad \frac{P}{Q} = \frac{R_2}{S}$$

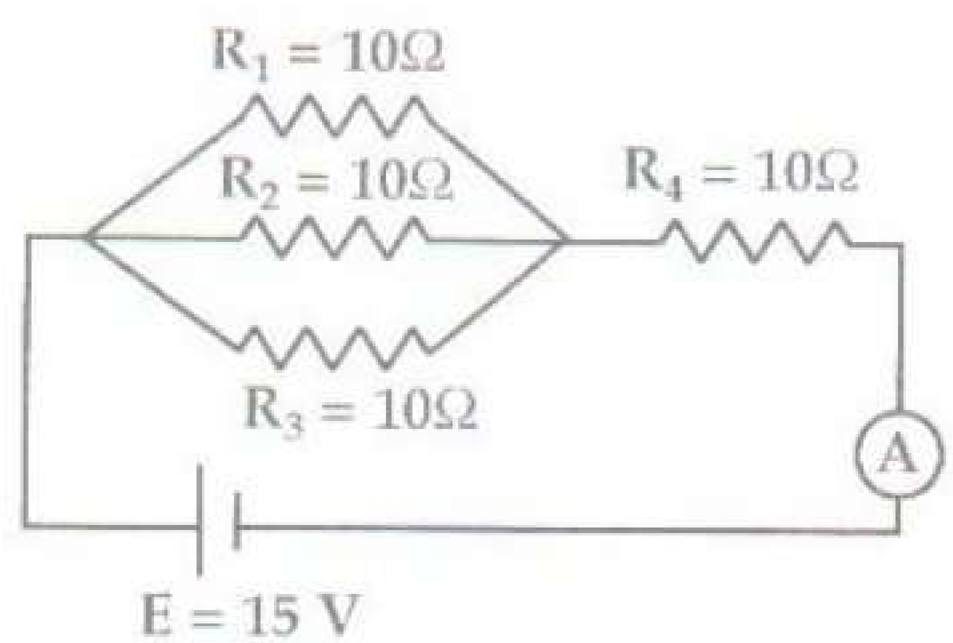
বা, $R_2 = \frac{P}{Q} \times S = \frac{100}{50} \times 75 = 150\,\Omega$

$\therefore \quad R_2 > R \quad \therefore$ R_1 কে R এর সাথে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করতে হবে।

$$R_2 = R_1 + R$$
$$\therefore \quad R_1 = R_2 - R = 150 - 50 = 100\,\Omega$$

যেহেতু $R_3 = R = 50\,\Omega$ মানের রোধের সাথে $100\,\Omega$ মানের রোধ শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করলে হুইটস্টোন ব্রীজটি ভারসাম্য লাভ করবে।

৫।



[চিত্রে উল্লেখিত অ্যামিটার দ্বারা সর্বোচ্চ 1A তড়িৎ প্রবাহ মাপা যায়।]

(ক) R_4 এবং R_1 এর মধ্য দিয়ে কী পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হবে ?

(খ) উদ্দীপকে 15V এবং এর পরিবর্তে 100V ব্যাটারি ব্যবহার করলে তড়িৎ প্রবাহ মাপার জন্য উক্ত অ্যামিটার ব্যবহার করা যাবে কী ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(ক) R_1, R_2, R_3 সমান্তরালে যুক্ত থাকায় এদের তুল্য রোধ R_p হলে,

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$
$$= \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{3}{10}$$

এখানে,

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10\,\Omega$

ব্যাটারির তড়িচ্চালক বল, $E = 15$ V

$\therefore \quad R_p = \frac{10}{3} = 3{\cdot}33\ \Omega \quad \therefore$ বর্তনীর মোট তড়িৎ প্রবাহ, $I = \frac{E}{R} = \frac{15}{13{\cdot}33} = 0{\cdot}374$ A

তুল্য রোধ, $R = R_p + R_4 = 3{\cdot}33 + 10 = 13{\cdot}3\ \Omega$

(খ) উদ্দীপকে 15 volt এর পরিবর্তে 100 V ব্যাটারি ব্যবহার করলে মূল তড়িৎ প্রবাহের মান হবে,

$$I = \frac{100\ V}{13{\cdot}33\ \Omega} = 7{\cdot}50\ \text{amp}$$

কিন্তু অ্যামিটার দ্বারা 1 amp তড়িৎ প্রবাহ মাপা যায়। সুতরাং ঐ অ্যামিটার সরাসরি ব্যবহার করা যাবে না। তাই অ্যামিটারের সাথে সমান্তরালে স্বল্প মানের রোধ বা শান্ট ব্যবহার করতে হবে।

অ্যামিটারের প্রবাহ, $I_g = 1A$

বা, $I_g = \frac{S \times I}{G+S}$

বা, $\frac{I}{I_g} = \frac{G+S}{S}$

বা, $\frac{7{\cdot}50}{1} = \frac{S+G}{S} = 1 + \frac{G}{S}$

বা, $7{\cdot}50 = 1 + \frac{G}{S}$

বা, $\frac{G}{S} = 6{\cdot}50$

$\therefore \quad S = \frac{G}{6{\cdot}50}$

$\therefore$ 100 V এর ব্যাটারী ব্যবহার করলে অ্যামিটারের কুণ্ডলীর রোধের সাথে 6·50 ভাগের 1 ভাগ মানসম্পন্ন শান্ট ব্যবহার করতে হবে।

সার-সংক্ষেপ

রোধ	পরিবাহী যে ধর্মের জন্য তার মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ চলাচলে বাধা প্রদান করে তাকে তার রোধ বলে।
রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক	প্রতি ডিগ্রী সেলিসিয়াস তাপমাত্রা বৃদ্ধির জন্য একক রোধসম্পন্ন কোনো পরিবাহীর রোধের যে পরিবর্তন হয় তাকে উক্ত পরিবাহীর রোধের তাপমাত্রা গুণাঙ্ক বলে।
জুলের সূত্র	তাপ উৎপাদনের ক্ষেত্রে জুলের নিম্নলিখিত তিনটি সূত্র আছে : (১) পরিবাহীর রোধ ও বিদ্যুৎ প্রবাহকাল অপরিবর্তিত থাকলে পরিবাহীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন উদ্ভূত তাপ বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার বর্গের সমানুপাতিক। (২) বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা ও বিদ্যুৎ প্রবাহকাল অপরিবর্তিত থাকলে, পরিবাহীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের জন্য উদ্ভূত তাপ পরিবাহীর রোধের সমানুপাতিক। (৩) বিদ্যুৎবাহী পরিবাহীর রোধ এবং বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রা অপরিবর্তিত থাকলে উদ্ভূত তাপ বিদ্যুৎ প্রবাহকালের সমানুপাতিক।
তাপের যান্ত্রিক সমতা বা তুল্যাঙ্ক	একক পরিমাণ তাপ উৎপন্ন করতে যে পরিমাণ কাজ সম্পন্ন করতে হয় তাকে তাপের যান্ত্রিক সমতা বা তুল্যাঙ্ক বলে।
তড়িচ্চালক বল	কোনো বিদ্যুৎ কোষে রাসায়নিক ক্রিয়ার ফলে তার দুই মেরুর মধ্যে যে বিভব পার্থক্য উৎপন্ন হয় তাকে তার বিদ্যুচ্চালক শক্তি বলে।
কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ	একটি বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহ চালনা করলে কোষের ঋণাত্মক (Negative) প্রান্ত হতে ধনাত্মক (Positive) প্রান্তে ইলেকট্রন যাওয়ার সময় যে বাধা প্রাপ্ত হয় তাকে অভ্যন্তরীণ রোধ বলে।
নষ্ট ভোল্ট	কোষের অভ্যন্তরীণ রোধের ভেতর দিয়ে প্রবাহ চালনা করার জন্য কিছু ভোল্ট নষ্ট হয় যা বহিঃবর্তনীতে কোনো কাজে আসে না; একে নষ্ট ভোল্ট বলে।
কোষের শ্রেণি সমবায়	যদি কতকগুলো বিদ্যুৎ কোষকে এমনভাবে যুক্ত করা হয় যাতে প্রথমটির ঋণপাতের সাথে দ্বিতীয়টির ধনপাত, দ্বিতীয়টির ঋণপাতের সাথে তৃতীয়টি ধনপাত ইত্যাদি পর পর যুক্ত থাকে তবে বিদ্যুৎ কোষগুলোর এ সমবায়কে শ্রেণি সমবায় বলে।

কোষের সমান্তরাল সমবায়	: যদি কতকগুলো বিদ্যুৎ কোষের ধন পাতগুলো এক বিন্দুতে এবং ঋণ পাতগুলো অপর বিন্দুতে যুক্ত থাকে তবে বিদ্যুৎ কোষগুলোর এই সমবায়কে সমান্তরাল সমবায় বলে।
কির্শফের প্রথম সূত্র	: বর্তনীর কোনো সংযোগ বিন্দুতে মিলিত প্রবাহজনিত মাত্রার বীজগাণিতিক যোগফল শূন্য হয়।
কির্শফের দ্বিতীয় সূত্র	: কোনো বন্ধ বর্তনীর অন্তর্গত মোট বিদ্যুচ্চালক শক্তি ঐ বর্তনীর বিভিন্ন শাখাগুলোর রোধ এবং সংশ্লিষ্ট প্রবাহ মাত্রার গুণফলসমূহের বীজগাণিতিক যোগফলের সমান।
হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি	: হুইটস্টোন ব্রীজের চারটি বাহুর মধ্যস্থ রোধ P, Q, R ও S হলে ব্রীজের সাম্যাবস্থায় এদের মধ্যে সম্পর্ক হলো $\frac{P}{Q}=\frac{R}{S}$, একে রোধ পরিমাপের হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি বলে।
হুইটস্টোন ব্রীজ	: চারটি রোধ শ্রেণিবদ্ধভাবে সজ্জিত করে একটি আবদ্ধ লুপ তৈরি করলে যে চারটি সংযোগস্থল তৈরি হয়, তার যেকোনো দুটি বিপরীত সংযোগস্থলের মাঝে একটি বিদ্যুৎ কোষ এবং অপর দুটি সংযোগস্থলের মাঝে গ্যালভানোমিটার সংযোগে যে বর্তনী তৈরি হয়, তাকে হুইটস্টোন ব্রীজ বলে।
পোটেনশিওমিটার	: বিভব পতন পদ্ধতিতে যে যন্ত্রের সাহায্যে ছোট মানের বিভব বৈষম্য ও বিদ্যুচ্চালক শক্তি পরিমাপ করা যায় তাকে পোটেনশিওমিটার বলে।
মিটার ব্রীজ	: যে যন্ত্রে এক মিটার লম্বা সুষম প্রস্থচ্ছেদের রোধ সম্পন্ন একটি তারকে কাজে লাগিয়ে হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি ব্যবহার করে কোনো অজানা রোধ নির্ণয় করা হয় তাকে মিটার ব্রীজ বলে।
পোস্ট অফিস বক্স	: যে রোধ বাক্সের রোধগুলোকে হুইটস্টোন ব্রিজের তিনটি বাহু হিসেবে বিবেচনা করে এর সাহায্যে হুইটস্টোন ব্রিজের নীতি ব্যবহার করে কোনো অজানা রোধ নির্ণয় করা হয় তাকে পোস্ট অফিস বক্স বলে।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। তাপমাত্রা, উপাদান ও দৈর্ঘ্য স্থির থাকলে পরিবাহী তারের রোধ এর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফলের ব্যস্তানুপাতিক।

২। একটি তারের দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করলে এবং প্রস্থচ্ছেদ-এর ক্ষেত্রফল অর্ধেক করলে এর রোধ চারগুণ হবে।

৩। আপেক্ষিক রোধ নির্ভর করে পরিবাহীর উপাদানের ওপর এবং তাপমাত্রার ওপর।

৪। তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে পরিবাহীর পরিবাহকত্ব কমে যায়।

৫। আয়তনের ওপর পরিবাহীর রোধ নির্ভর করে না।

৬। হুইটস্টোন ব্রীজ নীতির ওপর নির্ভর করে পোস্ট অফিস বক্স ও মিটার ব্রীজ তৈরি করা হয়।

৭। পটেনশিওমিটারের সাহায্যে কোষের তড়িৎচালক শক্তি ও অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় করা হয়।

৮। হুইটস্টোন ব্রীজে সাম্যাবস্থা বিঘ্নিত হবার কারণ—(ক) যখন পরিবর্তিত রোধের গ্যালভানোমিটার ব্যবহার করা হয়। (খ) যখন তড়িৎ কোষের তড়িচ্চালক বলের মান পরিবর্তিত হয়। (গ) যখন গ্যালভানোমিটার ও তড়িৎ কোষের অবস্থানের বিনিময় হয়।

৯। $\frac{S\times G}{S}$ রাশিটি শান্টের ক্ষমতা গুণক নামে পরিচিত।

১০। একটি তারের রোধ $r\ \Omega$, তারটিকে টেনে দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করা হলে তার রোধ হবে $4r\ \Omega$।

১১। টিন ও সীসার মিশ্রণে ফিউজ তৈরি করা হয়।

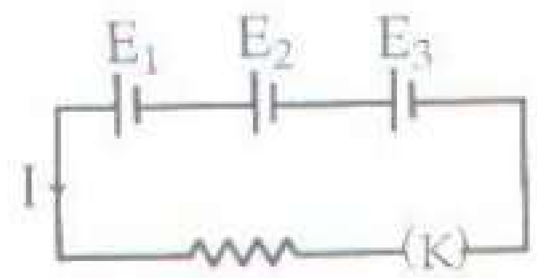
১২। ও'মের সূত্রের স্বাধীন চলক হচ্ছে বিভব পার্থক্য।

১৩। ও'মের সূত্রানুসারে I—V লেখচিত্রটি মূল বিন্দুগামী সরলরেখা হবে না জার্মেনিয়ামের ক্ষেত্রে।

১৪। বিভব পার্থক্য অপরিবর্তিত রেখে রোধ দ্বিগুণ করলে তড়িৎ প্রবাহ অর্ধেক হবে।

১৫। দুটি তড়িৎবাহী সমান্তরাল পরিবাহীর মধ্যে ক্রিয়াশীল বলের ক্ষেত্রে—(ক) প্রবাহ দুটি সমমুখী হলে পরিবাহী দুটি পরস্পরকে আকর্ষণ করে। (খ) প্রবাহ বিপরীতমুখী হলে পরিবাহীদ্বয় পরস্পরকে বিকর্ষণ করে।

১৬। একটি তারকে দুই ভাগে ভাগ করা হলে—(১) উপাদান একই থাকে (২) আপেক্ষিক রোধ একই থাকে।

১৭। 

এই বর্তনীর ক্ষেত্রে ব্যাটারীর তুল্য তড়িচ্চালক শক্তি 3E এবং মূল তড়িৎ প্রবাহের মান $I = \frac{3E}{R + 3r}$.

১৮। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে পরিবাহকত্ব হ্রাস পায়।

১৯। রোধাঙ্ক নির্ভর করে পদার্থের প্রকৃতির ওপর।

২০। পরিবাহীর রোধ ও প্রবাহকাল অপরিবর্তিত থাকা অবস্থায় প্রবাহমাত্রা এক তৃতীয়াংশ করলে উৎপন্ন তাপের পরিমাণ হবে $\frac{1}{9}$ গুণ।

২১। চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বাড়ানো যায়—(১) তড়িৎ প্রবাহ বাড়িয়ে (২) সলিনয়েডের প্যাচ সংখ্যা বাড়িয়ে।

২২। অ্যালুমিনিয়ামের উষ্ণতা সহগ $3{\cdot}9 \times 10^{-3}\,(^\circ C)^{-1}$।

২৩। চার্জ প্রবাহের হার পরিমাপের একক অ্যাম্পিয়ার।

২৪। সিলিকন পদার্থের রোধের উষ্ণতা সহগের মান ঋণাত্মক।

২৫। নির্দিষ্ট সময় ধরে নির্দিষ্ট পরিবাহকে তড়িৎ প্রবাহিত করলে সৃষ্ট তাপের পরিমাণ হবে প্রবাহিত তড়িতের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

২৬। বৃত্তাকার প্রস্থচ্ছেদের কোনো পরিবাহীর ব্যাসার্ধ অর্ধেক করা হলে রোধ হবে চারগুণ।

২৭। কার্শফের লুপ উপপাদ্যটি হলো—শক্তির সংরক্ষণশীলতার নীতি।

২৮। রোধ তড়িৎ প্রবাহের উপর নির্ভর করে না।

২৯। কিলোওয়াট ঘন্টা (kWh) শক্তির একক।

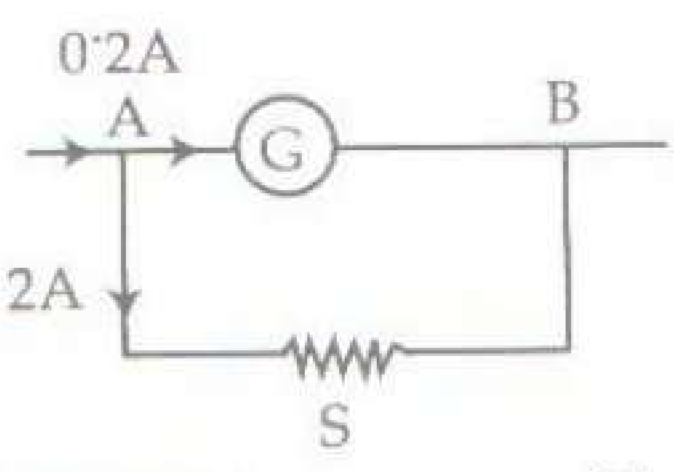
অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। একটি ধাতব রোধের উষ্ণতা 10°C থেকে 110°C পর্যন্ত বৃদ্ধি পেলে এর রোধ 10% বাড়ে। ধাতুটির রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক—

ⓚ $0{\cdot}02^\circ C^{-1}$
ⓚ $0.01^\circ C^{-1}$
ⓖ $0{\cdot}002^\circ C^{-1}$
ⓖ $0{\cdot}001^\circ C^{-1}$

২।



I-এর মান কত ? [রা. বো. ২০১৫]

ⓚ 2·2 A
ⓚ 0·2 A
ⓖ 2 A
ⓖ 1·8 A

৩। কোনো পরিবাহীর তাপমাত্রা কমে গেলে রোধ—

ⓚ বাড়ে
ⓚ কমে
ⓖ শূন্য হয়
ⓖ অপরিবর্তিত থাকে

৪। R ohm রোধবিশিষ্ট কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে *i* amp বিদ্যুৎ *t* সময় ধরে প্রবাহিত হলে উৎপন্ন তাপ হবে—

ⓚ $0{\cdot}24\ i^2Rt$ Joule
ⓚ Vi Joule
ⓖ i^2R Joule
ⓖ $\frac{V}{R}t$ Joule

৫। কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহের ফলে ব্যয়িত বিদ্যুৎশক্তির রাশিমালা কোনটি ?

ⓚ $H = V^2Rt$
ⓚ $H = i^2Rt$
ⓖ $H = R^2Vt$
ⓖ $H = VRt$

৬। জুলের তাপীয় সূত্রগুলো হলো—

(i) $H \propto i$, যখন R এবং *t* অপরিবর্তিত থাকে
(ii) $H \propto R$, যখন *i* এবং *t* অপরিবর্তিত থাকে
(iii) $H \propto t$, যখন *i* এবং R অপরিবর্তিত থাকে

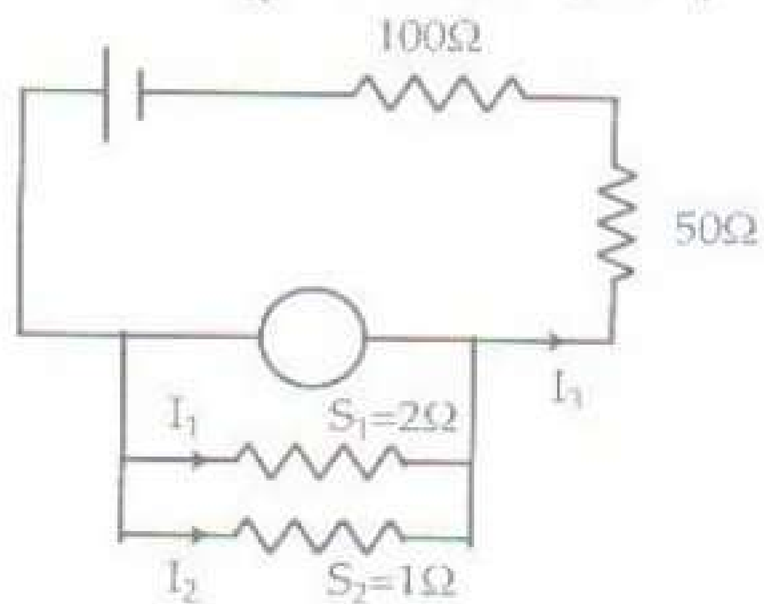
নিচের কোনটি সঠিক?

ⓚ i ও ii
ⓚ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

৭। বহির্বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহের প্রচলিত অভিমুখ হলো—
ⓚ নিম্ন বিভব হতে উচ্চ বিভবের দিকে
ⓚ উচ্চ বিভব হতে নিম্ন বিভবের দিকে
ⓖ ঋণাত্মক আধান থেকে ধনাত্মক আধানের দিকে
ⓖ উচ্চ আধান থেকে নিম্ন আধানের দিকে

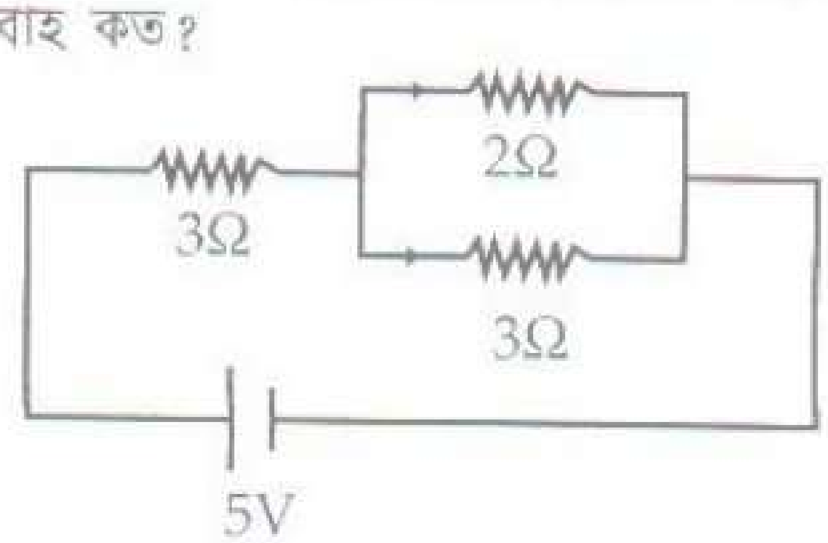
৮। একটি বাল্বের গায়ে 100W–220V লেখা আছে। এর অর্থ—
(i) বাল্বটির রোধ 220Ω
(ii) বাল্বটিতে প্রতি সেকেন্ডে 100J বিদ্যুৎ শক্তি তাপ ও আলোক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়
(iii) বাল্বটিতে 0·455A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয়
নিচের কোনটি সঠিক?
ⓚ i
ⓚ i ও ii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

৯। বর্তনীর চিত্র অনুযায়ী কোনটি সঠিক ?



ⓚ $I_1 > I_2 > I_3$
ⓚ $I_2 > I_3 > I_1$
ⓖ $I_3 > I_2 > I_1$
ⓖ $I_3 > I_1 > I_2$

১০। সংযুক্ত বর্তনীর কোষটির তড়িচ্চালক শক্তি 5V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0·8Ω। 2Ω রোধের মধ্য দিয়ে প্রবাহ কত?



ⓚ 0·2A
ⓚ 0·3A
ⓖ 0·4A
ⓖ 0·6A

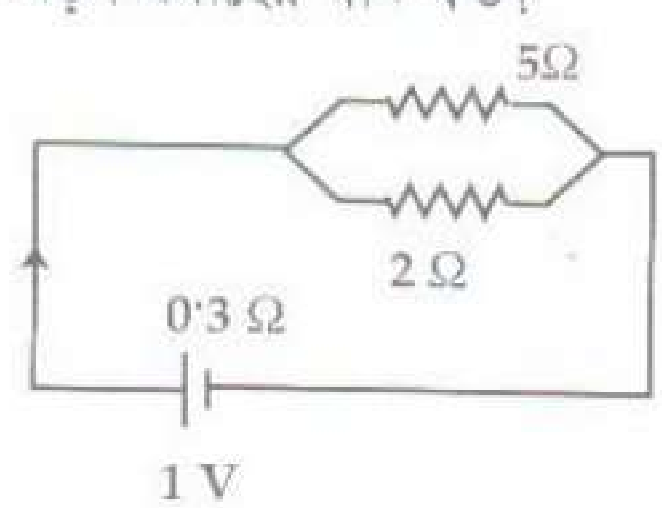
১১। E তড়িচ্চালক বলের একটি কোষ থেকে বহির্বর্তনীতে V বিভব পার্থক্য পাওয়া যায়। কোষটির অভ্যন্তরীণ রোধ শূন্য হলে—
ⓚ V = E
ⓚ V < E
ⓖ V > E
ⓖ V = 0

১২। একটি এনার্জি বাল্বের গায়ে 220V — 20W লেখা আছে। বাল্বটির ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ—
ⓚ $\frac{3}{10}$ A
ⓚ $\frac{1}{5}$ A
ⓖ $\frac{1}{11}$ A
ⓖ $\frac{5}{11}$ A

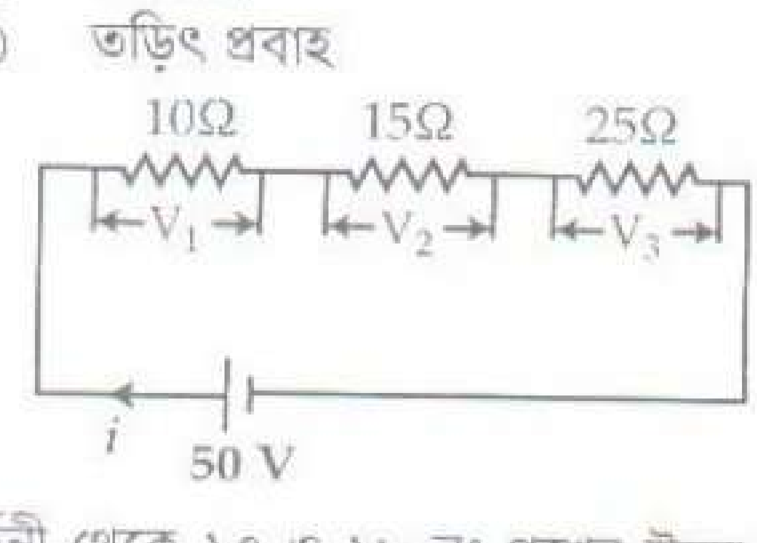
১৩। 200 Ω রোধের একটি বাল্বের ভেতর দিয়ে 0·5A তড়িৎ প্রবাহিত হলে এর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য কত?
ⓚ 200 V
ⓚ 100 V
ⓖ 50 V
ⓖ 20 V

১৪। আপেক্ষিক রোধ নির্ভর করে—
(i) পরিবাহীর উপাদানের উপর
(ii) পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের উপর
(iii) তাপমাত্রার উপর
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i
ⓚ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

১৫। সংযুক্ত বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহের মান কত?
ⓚ 2A
ⓚ 1A
ⓖ 4A
ⓖ 5A



১৬। নিচের কোন বিষয়ের ওপর রোধ নির্ভর করে না?
ⓚ পরিবাহকের দৈর্ঘ্য
ⓚ প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল
ⓖ উপাদান
ⓖ তড়িৎ প্রবাহ



সংযুক্ত বর্তনী থেকে ১৭ ও ১৮ নং প্রশ্নের উত্তর দাও :

১৭। বর্তনীর মধ্যে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহের মান কত?
ⓚ 1 A
ⓚ 2 A
ⓖ 0·5 A
ⓖ 2·5 A

১৮। V_1, V_2 ও V_3 এর মান কত ?
- (ক) 10V, 15V, 25V
- (খ) 5V, 7.5V, 12.5V
- (গ) 1V, 1.5V, 2.5V
- (ঘ) 5V, 7.5V, 25V

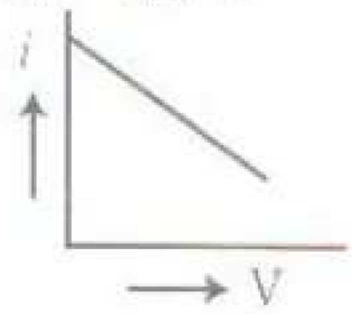
১৯। কোষের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য—
- (ক) তড়িচ্চালক শক্তির চেয়ে কম হয়
- (খ) তড়িচ্চালাক শক্তির চেয়ে বেশি হয়
- (গ) তড়িচ্চালক শক্তির সমান হয়
- (ঘ) নষ্ট ভোল্টের সমান হয়

২০। নষ্ট ভোল্ট (I_r)-এর মান—
- (ক) $I_r = E - V$
- (খ) $I_r = E + V$
- (গ) $I_r = V - E$
- (ঘ) $I_r = \frac{E}{V}$

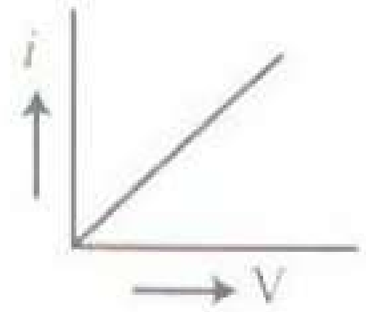
২১। মিটার ব্রীজ নিচের কোনটির ভিত্তিতে কাজ করে? [কু. বো. ২০১৫]
- (ক) অ্যাম্পিয়ারের সূত্র
- (খ) হুইটস্টোন ব্রীজ নীতি
- (গ) ফার্মাটের নীতি
- (ঘ) কির্শফের সূত্র

২২। স্থির মানের রোধের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্যের পরিবর্তনের সাথে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তনের লেখচিত্র কোনটি ? বা, নিচের কোন চিত্রটি ও'মের সূত্র সমর্থন করে ?

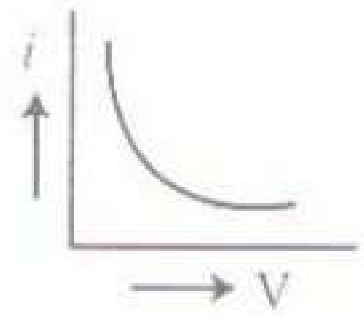
(ক)



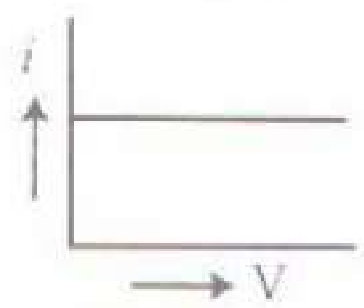
(খ)



(গ)



(ঘ)



২৩। সমান রোধবিশিষ্ট দুইটি তামার তারের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে 1m ও 9m। তার দুইটির ব্যাসার্ধের অনুপাত হবে—
- (ক) 3 : 1
- (খ) 1 : 3
- (গ) 9 : 1
- (ঘ) 1 : 9

২৪। L দৈর্ঘ্য এবং R রোধবিশিষ্ট একটি পটেনশিওমিটারের তারের মধ্যে তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা I হলে, বিভবের পরিবর্তনের হার হবে—
- (ক) $\frac{IR}{L}$
- (খ) IRL
- (গ) $\frac{RL}{I}$
- (ঘ) $\frac{IL}{R}$

২৫। 3Ω রোধের একটি তারকে সমবাহু ত্রিভুজের আকারে বাঁকানো হলো। এর একটি বাহুর প্রান্তদ্বয়ের মধ্যবর্তী রোধের মান হবে—
- (ক) $\frac{2}{3}\Omega$
- (খ) $\frac{3}{2}\Omega$
- (গ) $1\,\Omega$
- (ঘ) $\frac{7}{2}\Omega$

২৬। কোনো লোড 100V-এর বিদ্যুৎ সঞ্চালন লাইনে লাগালে তা 200 Watt শক্তি গ্রহণ করে। উক্ত লোডটি 200V এর বিদ্যুৎ সঞ্চালন লাইনে লাগালে কত শক্তি গ্রহণ করবে—
- (ক) 100 W
- (খ) 200 W
- (গ) 400 W
- (ঘ) 800 W

২৭। একটি 40W ও একটি 60W বাতিকে শ্রেণি সমবায়ে সাজানো হলে কোন বাতিটি বেশি উজ্জ্বল আলো দিবে ?
- (ক) 40W বাতি
- (খ) 60W বাতি
- (গ) দুইটির ঔজ্জ্বল্য সমান
- (ঘ) সাপ্লাইয়ের ভোল্টেজের উপর নির্ভর করবে

২৮। 1.5 V তড়িচ্চালক বল ও 2Ω অভ্যন্তরীণ রোধের দুটি কোষকে সমান্তরালে রেখে বহির্বর্তনীর 2Ω রোধের সঙ্গে যুক্ত করা হলো। বহির্বর্তনীতে প্রবাহ কত ?
- (ক) $\frac{1}{3}$ A
- (খ) $\frac{1}{4}$ A
- (গ) $\frac{1}{2}$ A
- (ঘ) 1 A

২৯। কোনো পরিবাহকের রোধ—
(i) তাপমাত্রা বাড়লে বৃদ্ধি পায়
(ii) দৈর্ঘ্য বাড়লে বৃদ্ধি পায়
(iii) প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল বাড়লে বৃদ্ধি পায়

নিচের কোনটি সঠিক ?
- (ক) i ও ii
- (খ) i ও iii
- (গ) ii ও iii
- (ঘ) i, ii ও iii

৩০। একটি সুষম পরিবাহী তারের রোধ R। তারটিকে টেনে দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করা হলে, তারটির রোধ—
(i) 2R
(ii) 4R
(iii) 300% বৃদ্ধি পাবে
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓛ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓘ i, ii ও iii

৩১। কির্শফের সূত্র হলো—
(i) $\sum ir = \in$
(ii) $\sum ir = 0$
(iii) $\sum i = 0$
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓛ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓘ i, ii ও iii

৩২। প্রবাহের দিক একই দিকে থাকলে কির্শফের প্রবাহের সূত্র কোনটি ?
ⓚ $i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = 0$
ⓛ $i_1 — i_2 + i_3 + i_4 = 0$
ⓖ $i_1 + i_2 — i_3 + i_4 = 0$
ⓘ $i_1 + i_2 + i_3 — i_4 = 0$

৩৩। n সংখ্যক কোষের শ্রেণি সমবায় সূত্র হলো—
ⓚ $i_s = \frac{E}{r + nR}$
ⓛ $i_s = \frac{nE}{nr + R}$
ⓖ $i_s = \frac{nE}{r + nR}$
ⓘ $i_s = \frac{nE}{r + R}$

৩৪। গ্যালভানোমিটারের প্রবাহ শূন্য হয় যখন—
ⓚ $S = 0\Omega$
ⓛ $S = \infty\ \Omega$
ⓖ $S = 1\Omega$
ⓘ $S = 2\Omega$

৩৫। একটি হুইটস্টোন ব্রীজের ১ম, ২য় ও ৩য় বাহুতে যথাক্রমে 4, 10 ও 16 ওহমের রোধ স্থাপন করে ৪র্থ বাহুতে কত রোধ স্থাপন করলে ব্রীজটি সাম্যাবস্থায় আসবে?
ⓚ 30 Ω
ⓛ 50 Ω
ⓖ 40 Ω
ⓘ 60 Ω

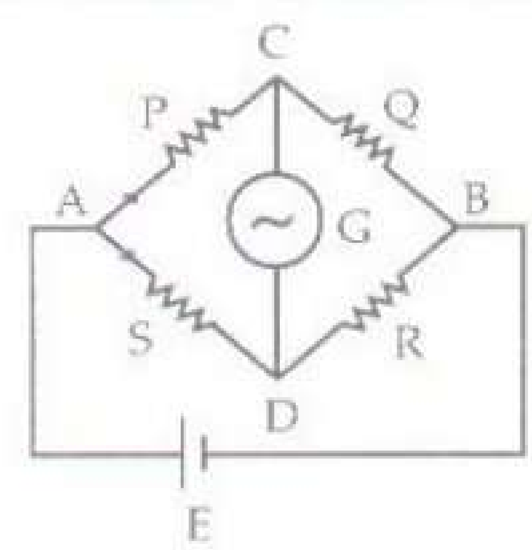
৩৬। একটি মিটার ব্রীজের বাম ফাঁকে 8Ω এবং ডান ফাঁকে 10Ω সংযুক্ত করা হলো। বাম প্রান্ত হতে কত দূরে সাম্য বিন্দু পাওয়া যাবে ?
ⓚ 22.22 cm
ⓛ 44.44 cm
ⓖ 11.11 cm
ⓘ 66.66 cm

৩৭। 100Ω রোধের একটি গ্যালভানোমিটার 1 mA বিদ্যুৎ প্রবাহ নিরাপদে গ্রহণ করতে পারে। 1A বিদ্যুৎ প্রবাহ পরিমাপের জন্য কত রোধের শান্ট ব্যবহার করা দরকার ?
ⓚ 1 Ω
ⓛ 0.5 Ω
ⓖ 0.1 Ω
ⓘ 2 Ω

৩৮। তড়িৎ বর্তনীতে গ্যালভানোমিটারের সাথে সান্ট যোগ করা হয় কেন ?
ⓚ গ্যালভানোমিটারের বিভব পার্থক্য বাড়ানোর জন্য
ⓛ গ্যালভানোমিটারের বিভব পার্থক্য কমানোর জন্য
ⓖ গ্যালভানোমিটারের প্রবাহমাত্রা বাড়ানোর জন্য
ⓘ গ্যালভানোমিটারের প্রবাহমাত্রা কমানোর জন্য

৩৯। তড়িৎ বর্তনী সংক্রান্ত কির্শফের সূত্রগুলির মধ্যে—
(i) প্রথম সূত্রটি তড়িৎ আধান সংরক্ষণ নির্দেশ করে
(ii) প্রথম সূত্রটি তড়িৎ শক্তির সংরক্ষণ নির্দেশ করে
(iii) দ্বিতীয় সূত্রটি তড়িৎ শক্তির সংরক্ষণ নির্দেশ করে
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓛ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓘ i, ii ও iii

৪০। কোন ক্ষেত্রে হুইটস্টোন ব্রীজের নিস্পন্দ অবস্থাটি পরিবর্তিত হবে ?
ⓚ বিভিন্ন বাহুর রোধগুলি পরিবর্তিত করা হলে
ⓛ ব্যাটারি ও গ্যালভানোমিটারের অবস্থান অদল বদল করা হলে
ⓖ অন্য তড়িচ্চালক বলের ব্যাটারি নিলে
ⓘ অন্য রোধের গ্যালভানোমিটার নিলে



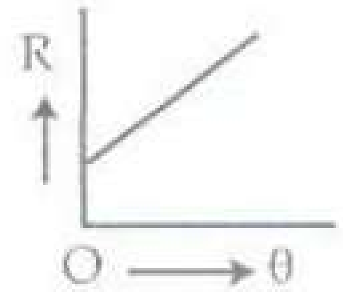
উপরের চিত্রে প্রদর্শিত বর্তনী থেকে নিচের ৪১ ও ৪২নং প্রশ্নের উত্তর দাও :

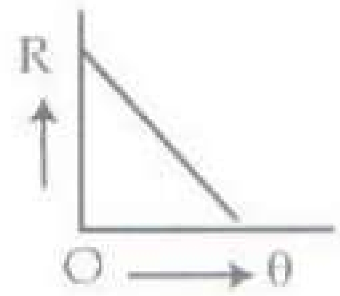
৪১। $E = 3V$, $P = 4\Omega$, $Q = R = 6\Omega$ এবং $S = 9\Omega$। P রোধের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ কত ?
ⓚ 0.20 A
ⓛ 0.30 A
ⓖ 0.40 A
ⓘ 0.50 A

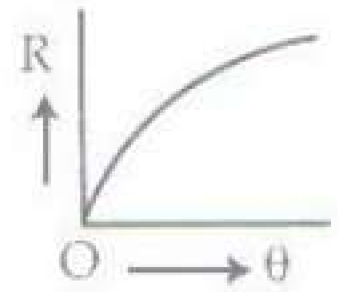
৪২। এবার P ও Q কে যথাক্রমে 6Ω ও 9Ω রোধ দ্বারা পরিবর্তিত করা হলে P রোধের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ হবে—

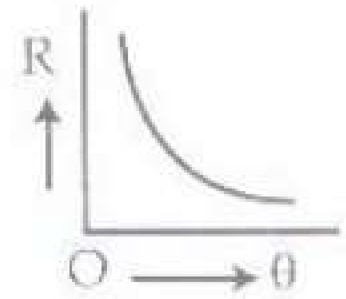
ক 0.20 A
খ 0.30 A
গ 0.40 A
ঘ 0.50 A

৪৩। তাপমাত্রার সাথে রোধের পরিবর্তন নিচের কোন লেখচিত্রের সাহায্যে প্রকাশ করা যায় ?

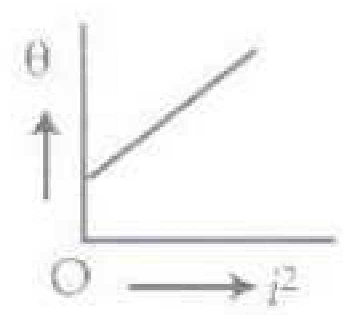
ক 

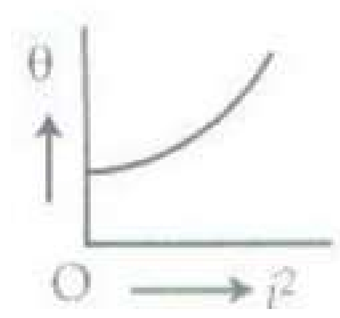
খ 

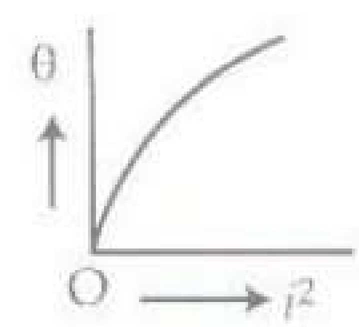
গ 

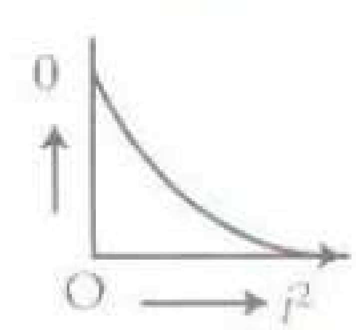
ঘ 

৪৪। পানিতে i প্রবাহ t সময় ধরে চালনা করলে পানির তাপমাত্রা θ হয়। নিচের কোন লেখচিত্র ইহা প্রকাশ করে ?

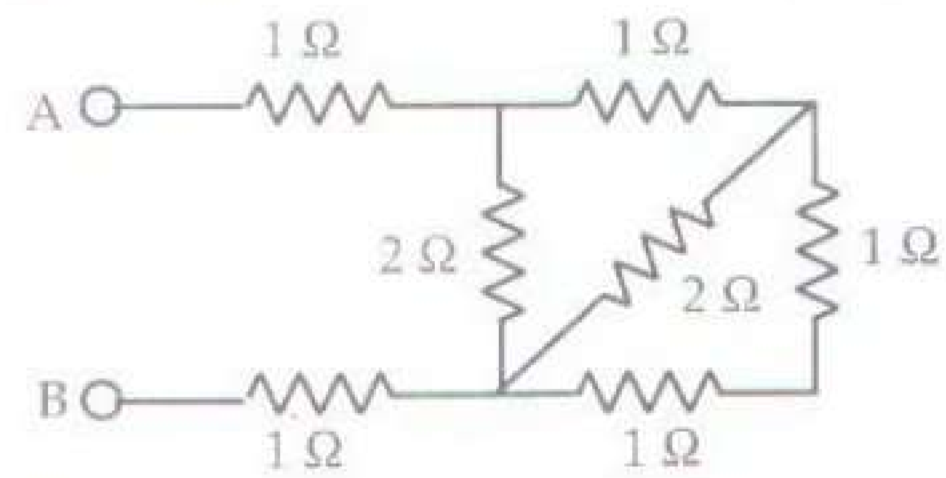
ক 

খ 

গ 

ঘ 

৪৫। নিচের বর্তনীর A ও B প্রান্তদ্বয়ের মধ্যবর্তী তুল্য রোধ কত ? [দি. বো. ২০১৫]



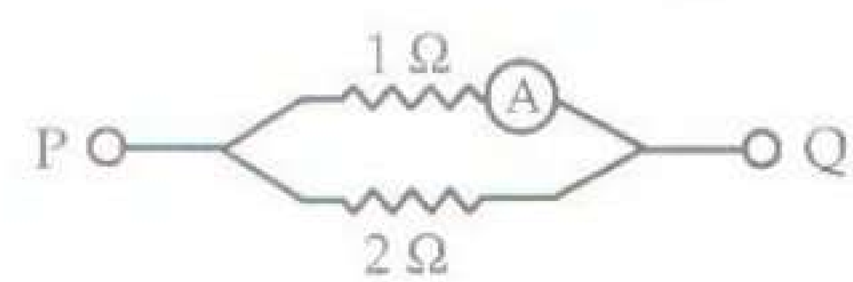
ক 3 Ω
খ 3.5 Ω
গ 4.5 Ω
ঘ 6 Ω

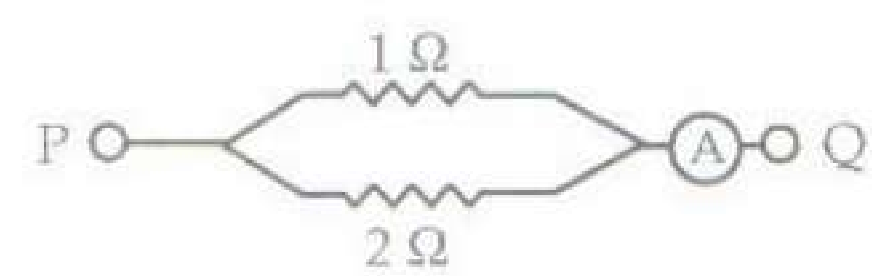
৪৬। কোনো পরিবাহীতে প্রবাহমাত্রা তিনগুণ করা হলে উৎপন্ন তাপের পরিমাণ কত গুণ হবে ? [সি. বো. ২০১৫]

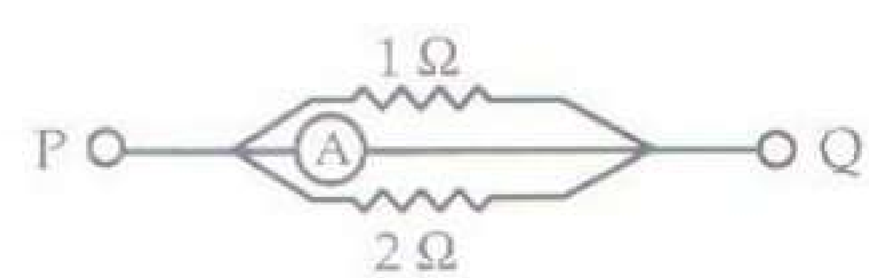
ক $\frac{1}{9}$
খ $\frac{1}{3}$
গ 3
ঘ 9 গুণ

৪৭। নিচের প্রতিটি বর্তনীর P ও Q এর মধ্যবর্তী বিভব পার্থক্য সমান এবং প্রতিটি অ্যামিটারের রোধ 2Ω। কোন বর্তনীর অ্যামিটারের পাঠ সবচেয়ে বেশি হয় ? [চ. বো. ২০১৫]

ক 

খ 

গ 

ঘ 

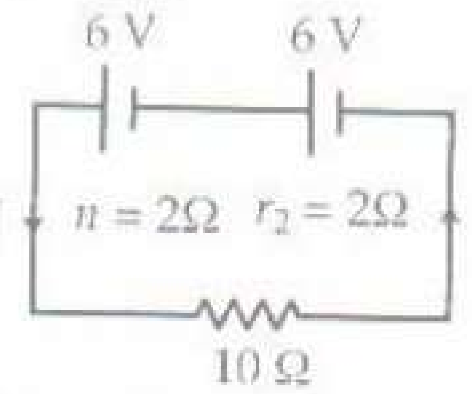
৪৮। যখন বহিস্থ বর্তনীতে কোনো তড়িৎ প্রবাহ থাকে না তখন তড়িৎ কোষের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য V এবং ঐ কোষের তড়িচ্চালক শক্তি E এর কোন সম্পর্কটি সঠিক ?

ক $E = V$
খ $E \propto L$
গ $E > V$
ঘ $E < V$

৪৯। নিস্পন্দ বিন্দু তারের ঠিক মধ্যস্থলে পেতে হলে 3Ω রোধের সাথে আর কত রোধ সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করতে হবে ? [কু. বো. ২০১৫]

ⓚ $2\,\Omega$
ⓚ $4\,\Omega$
ⓖ $6\,\Omega$
ⓖ $8\,\Omega$

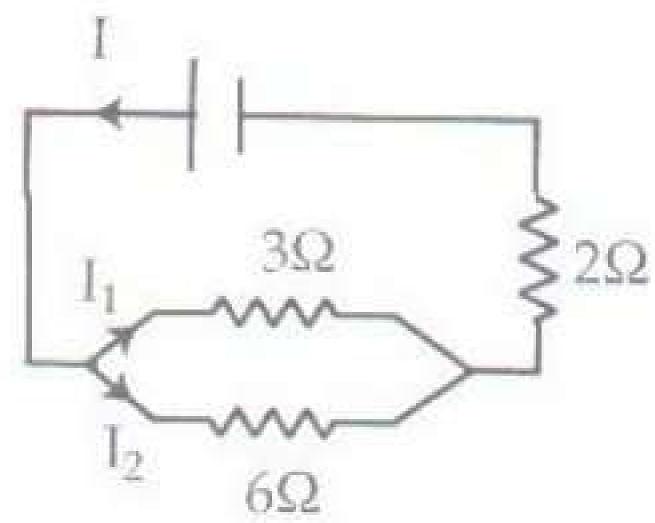
৫০।



বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ কত ? [কু. বো. ২০১৫]

ⓚ 0.14 A
ⓚ 0.42 A
ⓖ 0.57 A
ⓖ 1 A

৫১। বর্তনীর তুল্য রোধ এবং প্রবাহমাত্রার কোন সম্পর্কটি সঠিক ? [চ. বো. ২০১৫]



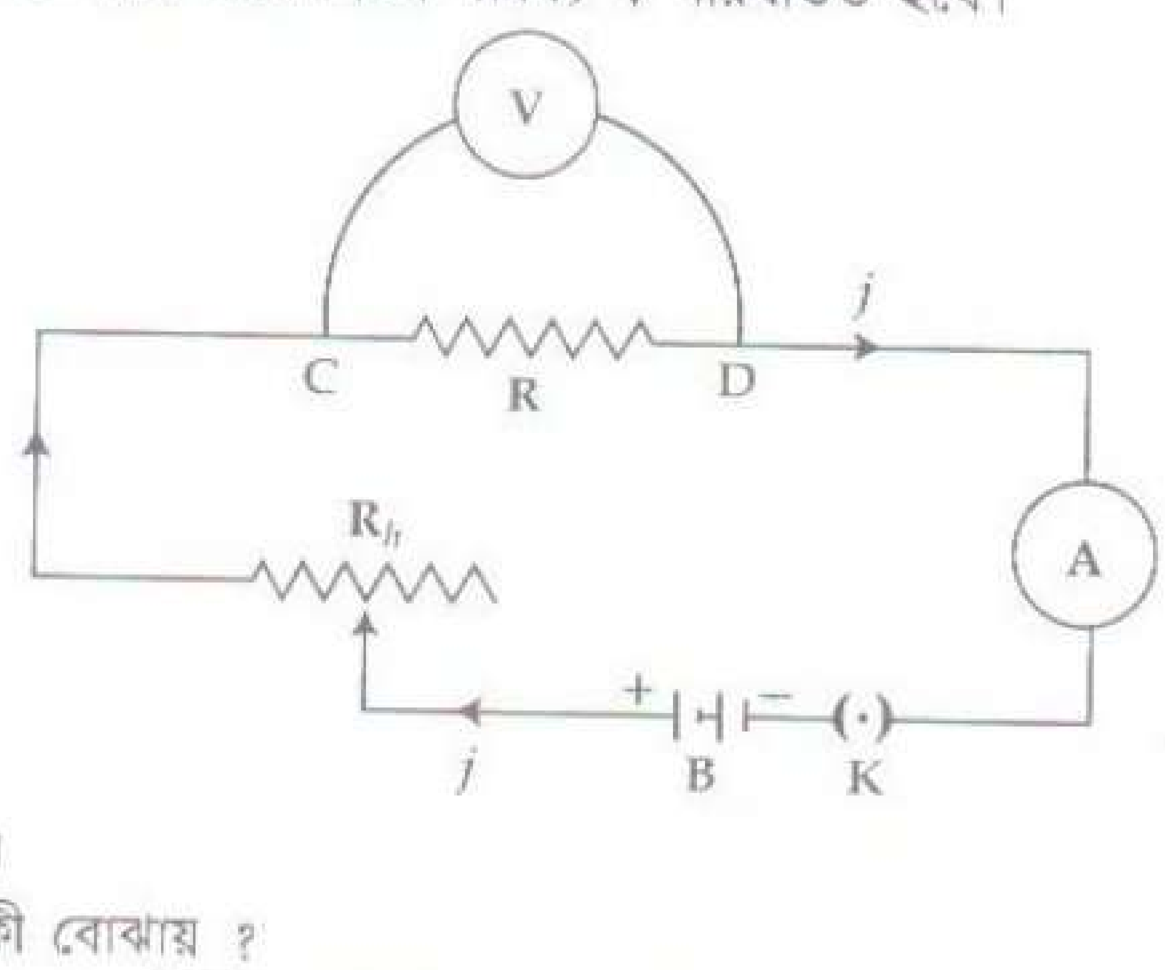
ⓚ $2.18\,\Omega,\ I > I_2 > I_1$
ⓚ $4\,\Omega,\ I > I_1 > I_2$
ⓖ $4.5\,\Omega,\ I_2 > I_1 > I$
ⓖ $11\,\Omega,\ I > I_2 > I$

উত্তর :

১। ঘ	২। ক	৩। খ	৪। ক	৫। খ	৬। গ	৭। খ	৮। গ	৯। গ	১০। ঘ
১১। ক	১২। গ	১৩। খ	১৪। ক	১৫। খ	১৬। ঘ	১৭। গ	১৮। খ	১৯। ক	২০। ক
২১। খ	২২। খ	২৩। খ	২৪। ঘ	২৫। ক	২৬। গ	২৭। খ	২৮। গ	২৯। খ	৩০। গ
৩১। খ	৩২। ক	৩৩। খ	৩৪। ক	৩৫। গ	৩৬। খ	৩৭। গ	৩৮। ঘ	৩৯। খ	৪০। ক
৪১। খ	৪২। ক	৪৩। ক	৪৪। ক	৪৫। ক	৪৬। ঘ	৪৭। ঘ	৪৮। ক	৪৯। গ	৫০। ঘ
৫১। খ									

(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১। পাশের চিত্রে বর্তনীর রোধ R এর দুই প্রান্ত C ও D-এর সাথে সমান্তরালে একটি ভোল্টমিটার V সংযুক্ত করা হয়েছে। বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা i পরিমাপের জন্য একটি অ্যামিটার A সংযুক্ত করা হয়েছে। পরিবর্তনশীল রোধ R_h এর পরিবর্তনে i ও সাথে সাথে বিভব পার্থক্য V পরিবর্তিত হবে।



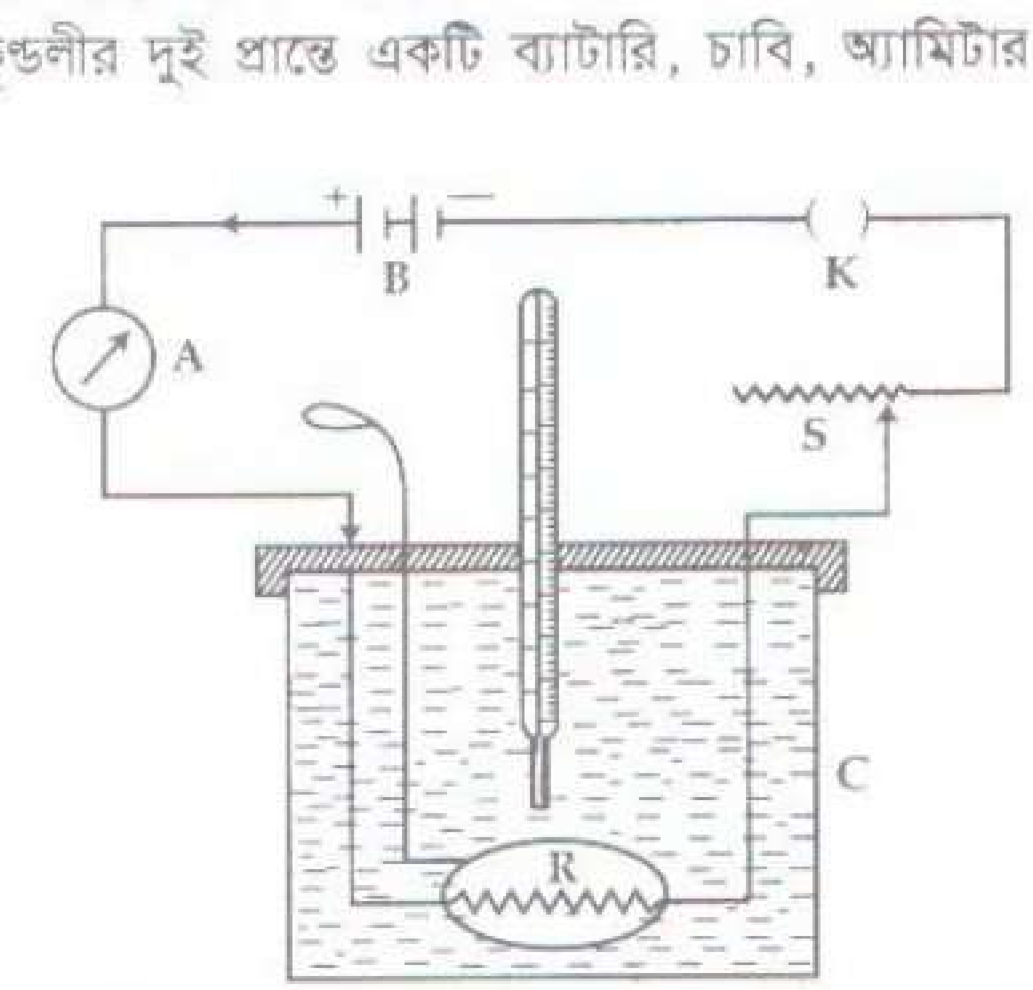
(ক) ও'মের সূত্রটি লিখ।

(খ) তুল্য রোধ বলতে কী বোঝায় ?

(গ) উদ্দীপকের চিত্রের R_h এর নির্দিষ্ট মানের জন্য বর্তনীর বিদ্যুৎ প্রবাহ 5A হলে এবং R এর দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য 200V হলে কোষটির অভ্যন্তরীণ রোধ কত হয়ে ?

(ঘ) R রোধের সাথে $50\,\Omega$ রোধের অন্য একটি রোধককে সমান্তরালে যুক্ত করায় এবং কোষের অভ্যন্তরীণ রোধের কিরূপ পরিবর্তন করলে অ্যামিটারের পাঠের কোনো পরিবর্তন হবে না—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

২। পাশের চিত্রে একটি জুলের ক্যালরিমিটার দেখানো হয়েছে। এর মধ্যে জানা আপেক্ষিক তাপের একটি তরল পদার্থ নেয়া হয়েছে যার মধ্যে R রোধের একটি কুণ্ডলী ডুবানো হয়েছে। কুণ্ডলীর দুই প্রান্তে একটি ব্যাটারি, চাবি, অ্যামিটার ও পরিবর্তনশীল রোধ শ্রেণিতে সংযুক্ত করা হয়েছে।



(ক) তাপ উৎপাদনের ক্ষেত্রে জুলের সূত্র লিখ।

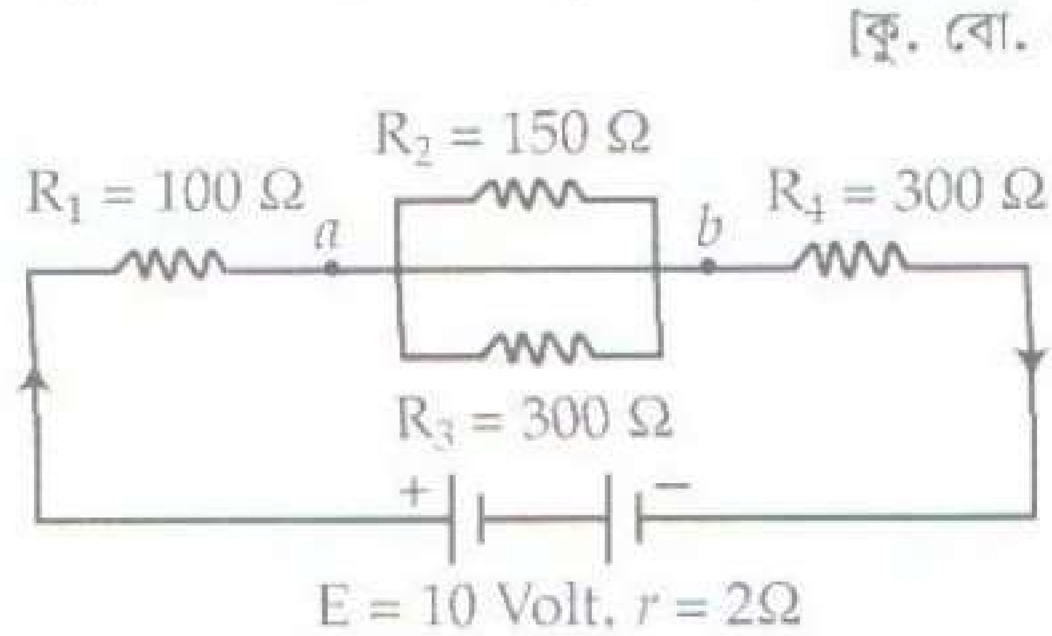
(খ) জুলের রোধের সূত্রটি বিবৃত কর এবং গাণিতিক সম্পর্কটি লিখ।

(গ) উদ্দীপকের কুণ্ডলীর রোধ 100Ω। পানির ভর 2·50kg এবং বিদ্যুৎ প্রবাহ 5A চালনা করলে কত সময় পর পানির তাপমাত্রা 24°C বৃদ্ধি পাবে?

(Hints : $ms\Delta\theta = I^2Rt$

(ঘ) উদ্দীপকের জুলের ক্যালরিমিটারের রোধের মান কিরূপ পরিবর্তন করলে অর্ধেক সময়ে পানির তাপমাত্রা 24°C বৃদ্ধি করা সম্ভব হবে ? —গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

৩। মেধাবী ছাত্রী সুজনা নিচের বর্তনীটি অঙ্কন করে প্রথমে মূল প্রবাহ হিসাব করে। পরবর্তীতে সে 100Ω মানের একটি রোধ R_1 এর সাথে প্রথমে সমান্তরালে এবং পরে শ্রেণিতে যুক্ত করে উভয় ক্ষেত্রে মুল প্রবাহ হিসাব করে দেখল, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে প্রবাহমাত্রার পরিমাণ হ্রাস পায়। [কু. বো. ২০১৫]



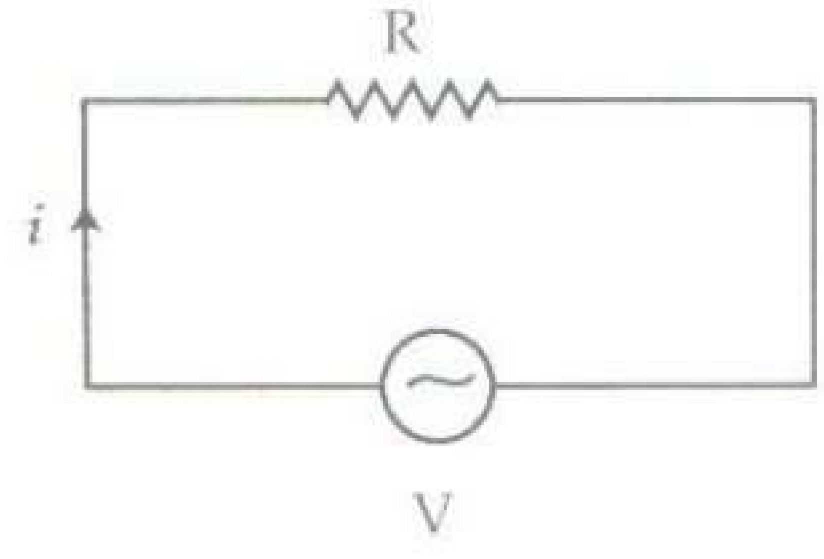
(ক) তড়িৎ দ্বিমেরু কাকে বলে ?

(খ) তাপমাত্রার বিবেচনায় পরিবাহী এবং অর্ধপরিবাহীর মধ্যে পার্থক্য কী ?

(গ) ১ম ক্ষেত্রে 100Ω রোধ লাগানোর পূর্বে a বিন্দু এবং b বিন্দুর মধ্যকার বিভব পার্থক্য কত ?

(ঘ) 100Ω রোধ লাগানোর পরে সুজনার পর্যবেক্ষণের সত্যতা যাচাই কর।

৪। নিচের চিত্রে R রোধের একটি বৈদ্যুতিক হিটার সরবরাহ লাইনের সঙ্গে যুক্ত করা হলো। সরবরাহ লাইনের ভোল্টেজ 220 V এবং হিটারের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ = i। হিটারটি 2 লিটার পানির তাপমাত্রা 25°C থেকে 100°C এ উন্নীত করতে সক্ষম।



(ক) বিদ্যুৎ শক্তি কী?

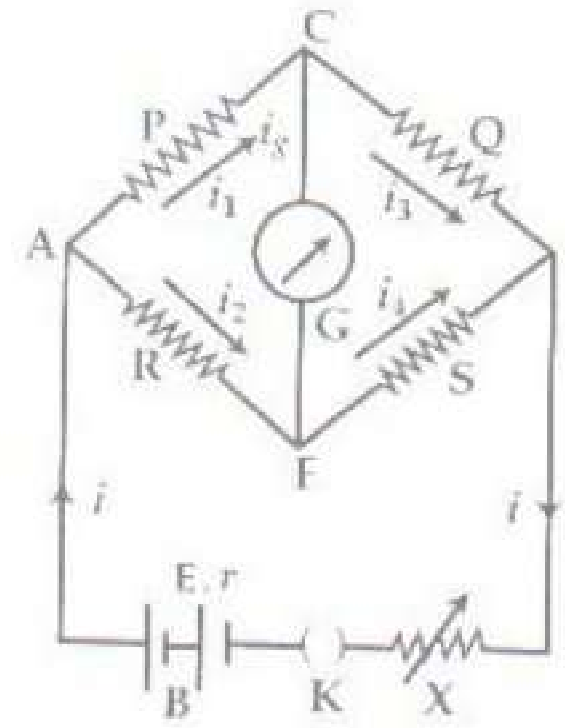
(খ) একটি বৈদ্যুতিক বাতির গায়ে 220V ও 80W লেখা আছে। এর অর্থ কী?

(গ) উদ্দীপকের হিটারটি 220 Volt সরবরাহ লাইন থেকে 0·2A প্রবাহ গ্রহণ করে। হিটারটি 60 ঘণ্টা ব্যবহার করলে কী পরিমাণ শক্তি ব্যয় হবে?

(ঘ) সময় সাশ্রয়ের জন্য হিটারের রোধ পরিবর্তন করে 0·1 mm ব্যাস, 0·5 m দৈর্ঘ্য এবং 50 ohm রোধের 500 W ক্ষমতার একটি তার কুণ্ডলী ব্যবহার করলে সময় সাশ্রয় হবে কিনা—গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে মতামত দাও।

৫। নিচের চিত্রে একটি হুইটস্টোন ব্রীজ দেখানো হয়েছে। ব্রীজের চার বাহুর রোধ $P = 8\Omega$, $Q = 12\Omega$, $R = 16\Omega$ এবং $S = 20\Omega$।

(ক) মিটার ব্রীজ কী ?
(খ) ব্রীজের সাম্যাবস্থা বা নিস্পন্দ অবস্থা বলতে কী বোঝায় ?
(গ) উদ্দীপকের চিত্রে প্রাপ্ত তথ্য ব্যবহার করে ব্রীজের চতুর্থ বাহুর সাথে কত রোধ কীভাবে যুক্ত করলে ব্রীজটি সাম্যাবস্থায় থাকবে নির্ণয় কর।
(ঘ) উদ্দীপকে ব্যবহৃত P, Q, R রোধ এবং চতুর্থ বাহুর সাম্যাবস্থার রোধ S কে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে যে তুল্য রোধ পাওয়া যায় তার চেয়ে উক্ত রোধগুলোর সর্বনিম্ন মানও বড়। গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করে দেখাও।



(গ) সাধারণ প্রশ্ন

১। রোধের উপর তাপমাত্রার প্রভাব আলোচনা কর।
২। রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক বলতে কী বোঝ ?
৩। তামার রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক $42.5 \times 10^{-4}\ ^{\circ}C^{-1}$-এর অর্থ কী ?
৪। তাপের যান্ত্রিক সমতুলের সংজ্ঞা দাও। জুলের তাপীয় ক্রিয়া সংক্রান্ত সূত্রগুলো বিবৃত কর।
৫। তড়িৎ শক্তি ও তড়িৎ ক্ষমতার সংজ্ঞা লিখ। এদের একক উল্লেখ কর।
৬। তড়িৎ শক্তির BOT unit এর সংজ্ঞা দাও।
৭। BOT unit কে জুলে প্রকাশ কর।
৮। কোনো বৈদ্যুতিক যন্ত্রের গায়ে 220V — 1000 W লেখা আছে। এর থেকে কী জানা যায় ?
৯। তড়িৎ শক্তি ও তড়িৎ ক্ষমতার সংজ্ঞা দাও। এদের একক লিখ।
১০। তড়িৎ শক্তির ক্ষেত্রে Khr কী ?
১১। বিদ্যুৎ প্রবাহের ফলে পরিবাহী গরম হয় কেন ? উৎপন্ন তাপের পরিমাণ নির্ণয় কর।
১২। অভ্যন্তরীণ রোধ কী ? অভ্যন্তরীণ রোধ এবং তড়িচ্চালক বলের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন কর।
১৩। কোনো তড়িৎ কোষের নষ্ট ভোল্ট বলতে কী বোঝ ? কোষের অভ্যন্তরীণ রোধের সঙ্গে এর সম্পর্ক কী ?
১৪। গ্যালভানোমিটারের সঙ্গে সান্ট যুক্ত করার প্রয়োজনীয়তা কী ?
১৫। কয়েকটি সদৃশ কোষকে (i) শ্রেণি সমবায়ে এবং (ii) সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করলে বহিঃবর্তনীতে প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর।
১৬। কির্শফের সূত্র বিবৃত ও ব্যাখ্যা কর।
১৭। তড়িৎ বর্তনী সম্পর্কীয় কির্শফের সূত্র দুটি বিবৃত কর।
১৮। কির্শফের প্রবাহমাত্রার সূত্রটি হলো তড়িৎ আধান সংরক্ষণ সূত্রেরই ব্যবহারিক রূপ—আলোচনা কর।
১৯। কির্শফের ভোল্টেজ সূত্রটি হলো শক্তির সংরক্ষণ সূত্রেরই ব্যবহারিক রূপ—আলোচনা কর।
২০। শান্ট কী ? মূল প্রবাহের সাথে শান্টের প্রবাহের সম্পর্ক স্থাপন কর।
২১। হুইটস্টোন ব্রীজ নীতিটি বর্ণনা কর।
২২। হুইটস্টোন ব্রীজের ব্যাটারী ও গ্যালভানোমিটারের অবস্থান অদলবদল করলে ব্রীজের নিষ্পন্ন অবস্থার কীরূপ পরিবর্তন হয় ?
২৩। হুইটস্টোন ব্রীজের সুবেদিতা বলতে কী বোঝায় ?
২৪। একটি অজ্ঞাত রোধ নির্ণয়ের হুইটস্টোন ব্রীজনীতি চিত্র সহকারে ব্যাখ্যা কর।
২৫। পোটেনশিওমিটারের সাহায্যে কীভাবে কোনো কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় করবে ?
২৬। পোটেনশিওমিটার কী ? কোন ক্ষেত্রে কোষের শ্রেণি সমবায় আর কোন ক্ষেত্রে কোষের সমান্তরাল সমবায় উপযোগী ?
২৭। মিটার ব্রীজের প্রান্ত ত্রুটি কী ? মিটার ব্রীজের তারটি সুষম এবং একই পদার্থের হওয়া উচিত কেন ?
২৮। মিটারে ব্রীজের প্রান্তিক ত্রুটি কী ? কীভাবে এই ত্রুটি সংশোধন করা হয় ?
২৯। পোস্ট অফিস বক্স, মিটার ব্রীজ ও পোটেনশিওমিটার পরীক্ষায় সর্বদাই গ্যালভানোমিটার ব্যবহার করতে হয় কেন ?

(ঘ) ক্রিয়াকর্ম

কোনো সংহত বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহের ফলে মূলত তিনটি ক্রিয়া সংঘটিত হয় যথা— তাপীয় ক্রিয়া, চুম্বকীয় ক্রিয়া, রাসায়নিক ক্রিয়া। এই তিনটি ক্রিয়া প্রদর্শনের জন্য একটি প্রজেক্ট তৈরি করে শ্রেণিতে উপস্থাপন কর।

(ঙ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। $20°C$ তাপমাত্রায় একটি তারের রোধ 32Ω। $100°C$ তাপমাত্রায় তারটি উত্তপ্ত করলে রোধের পরিবর্তন হয় 0.22Ω। তারটির তাপমাত্রা গুণাঙ্ক বের কর। [উত্তর : $8.6 \times 10^{-5}\ °C^{-1}$]

২। $20°C$ তাপমাত্রায় একটি তামার তারের রোধ 3Ω এবং $100°C$ তাপমাত্রায় রোধ 3.94Ω। তামার রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক কত ? [উত্তর : $0.000425\ °C^{-1}$]

৩। $30°C$ তাপমাত্রায় একটি তামার তারের রোধ 4Ω হলে $100°C$ তাপমাত্রায় রোধ কত হবে ? দেওয়া আছে তামার রোধের উষ্ণতা গুণাঙ্ক $= 42.5 \times 10^{-4}\ °C^{-1}$. [উত্তর : $4.51\ \Omega$]

৪। একই পদার্থের তৈরি এবং একই দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট দুটি তার A ও B-এর দুই প্রান্তে একই বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করা হলে এদের মধ্যে উৎপন্ন তাপের অনুপাত কত ? [উত্তর : 1 : 2]

৫। 100 ওয়াট এর একটি নিমজ্জক 7 মিনিটে 2 লিটার পানির তাপমাত্রা $32°C$ থেকে $37°C$ পর্যন্ত বৃদ্ধি করে। তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্কের মান নির্ণয় কর। [সি. বো. ২০০৫; চ. বো. ২০০৪] [উত্তর : $4.2\ J\ cal^{-1}$]

৬। $0°C$ তাপমাত্রার 1 kg পানিকে তার স্ফুটনাঙ্ক 60Ω রোধের মধ্য দিয়ে 1 min-এ কী পরিমাণ বিদ্যুৎ প্রবাহিত করতে হবে ? [উত্তর : 10.80 A]

৭। 10A বিদ্যুৎ প্রবাহে কোনো একটি ইস্ত্রি হতে প্রতি সেকেন্ডে 5000 J তাপ উৎপন্ন হয়। ইস্ত্রিটির রোধ নির্ণয় কর। [উত্তর : 50Ω]

৮। 6Ω রোধের একটি তারের মধ্য দিয়ে 2.5A বিদ্যুৎ প্রবাহ 6 min ধরে চালনা করলে উৎপন্ন তাপের পরিমাণ নির্ণয় কর। ($J = 4.2\ J\ cal^{-1}$) [উত্তর : 3214.29 cal]

৯। একটি বৈদ্যুতিক বাল্বের গায়ে লেখা আছে 220 volt — 100 watt। বাল্বটির রোধ কত ? বাল্বটিকে 200 V সরবরাহ লাইনে যুক্ত করলে এর ক্ষমতা কত হবে ? [রা. বো. ২০১০] [উত্তর : 484Ω, 82.6 Watt]

১০। কোনো একটি বাড়িতে 100W এর 10টি, 60W-এর 5টি বাতি এবং 3 KW-এর একটি হিটার আছে। বাতিগুলো প্রতিদিন 6 ঘণ্টা জ্বলে এবং হিটারটি দৈনিক 2 ঘণ্টা চলে। জানুয়ারি মাসে ঐ বাড়িতে কত ইউনিট বিদ্যুৎ ব্যয় হবে ? [সি. বো. ২০০২] [উত্তর : 427.8 kWh]

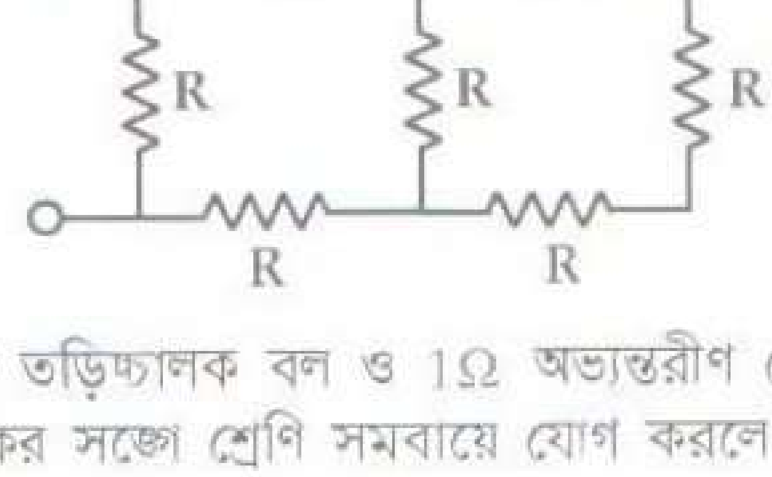
১১। 500 W ও 100 V-এ ব্যবহারযোগ্য একটি বৈদ্যুতিক বাতিকে 200 V সরবরাহের বর্তনীতে যুক্ত করা হলো। শ্রেণি সমবায়ে কত রোধ যুক্ত করতে হবে যাতে বাতির ক্ষমতা 500 W-ই থাকে ? [উত্তর : $60\ \Omega$]

১২। একটি বৈদ্যুতিক ইস্ত্রিতে 220V–100W লেখা আছে। ইস্ত্রিটি 200V লাইনে যুক্ত হয়ে 2 ঘণ্টা চললে কত ইউনিট বিদ্যুৎ শক্তি খরচ হবে ? [বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৯–১০] [উ. 0.165 kWh]

১৩। 2.2 kV বিভব পার্থক্যে 10Ω রোধের লাইনের মাধ্যমে 2.2 kW ক্ষমতা সঞ্চালিত হচ্ছে। লাইনে তাপক্ষয়ের হার কত ? [Hints : $I = \frac{P}{V}$, $P' = I^2R = 10\ W$] [উত্তর : 10W]

১৪। 2Ω ও 6Ω মানের দুটি রোধকে শ্রেণি সমবায়ে রেখে একটি 12V তড়িচ্চালক বলের উৎসের সঙ্গে যোগ করলে প্রতিটি রোধে কত ক্ষমতা ব্যয় হয় ? [উত্তর : 4.5W, 13.5W]

১৫। একটি তড়িৎ কোষের তড়িচ্চালক বল 1.5 V ও অভ্যন্তরীণ রোধ 2Ω। এই কোষের সঙ্গে 1Ω, 2Ω ও 10Ω-এর রোধ শ্রেণি সমবায়ে রাখা আছে। রোধগুলির প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য ও নষ্ট ভোল্ট নির্ণয় কর। [উত্তর : 0.1V, 0.2V, 1V, 0.2V]

১৬। 

বর্তনীর তুল্য রোধ কত ? [এস.ইউ.এস.টি. ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৯–১০] [উ. $\frac{11}{16}R$]

১৭। 10V তড়িচ্চালক বল ও 1Ω অভ্যন্তরীণ রোধবিশিষ্ট একটি কোষকে 3Ω, 5Ω ও 8Ω সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত তিনটি রোধকের সঙ্গে শ্রেণি সমবায়ে যোগ করলে তিনটি রোধের ভেতর দিয়ে প্রবাহমাত্রা কত হবে ? [উত্তর : 2.01A, 1.21A, 0.754A]

১৮। 15টি কোষের প্রতিটির তড়িচ্চালক বল 2V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0·1 Ω। কোষগুলিকে 3টি সারিতে সমান্তরাল সমবায়ে রাখা হলো যাতে প্রতি সারিতে 5টি করে কোষ শ্রেণি সমবায়ে থাকে। সমগ্র কোষ সমবায়ের তড়িচ্চালক বল ও অভ্যন্তরীণ রোধ কত ?

[উত্তর : 10V, 0·167 Ω]

১৯। একটি ব্যাটারির অভ্যন্তরীণ রোধ 1Ω। একটি ভোল্টমিটারের সাহায্যে এই ব্যাটারির তড়িচ্চালক বল পরিমাপ করলে 1% ত্রুটি হয়। ভোল্টমিটারের রোধ কত ?

[উত্তর : 99 Ω]

[Hints : ভোল্টমিটারের পাঠ $V \times 99\% = \cdot 99$ V, $\frac{V}{E} = \cdot 99 \therefore \frac{V}{E} = \frac{IR}{I(R+r)} \Rightarrow R = 99r = 99\Omega$]

২০। একটি বাড়ির মেইন মিটারে 6A — 200V লেখা আছে। 60W-এর কয়টি বাতি ঐ বাড়িতে নিরাপত্তার সাথে ব্যবহার করা যাবে ?

[ঢা. বো. ২০০১] [উত্তর : 20টি]

২১। 50 ohm রোধ বিশিষ্ট একটি তারকে টেনে তিনগুণ লম্বা করা হলো। লম্বাকৃত তারটির রোধ নির্ণয় কর।

[বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৮–০৯] [উ. 45Ω]

২২। 6V-এর একটি ব্যাটারীর অভ্যন্তরীণ রোধ 0·25Ω। অন্য একটি 0·5Ω অভ্যন্তরীণ রোধ বিশিষ্ট 3V ব্যাটারীর সাথে সমান্তরালে সংযোগ করলে উক্ত সমবায়যুক্ত প্রান্তদ্বয়ের বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর।

[উ. 5V]

[Hints : $E_1 - E_2 = Ir_1 + Ir_2$, $I = 4$V আবার, $V = E_1 - Ir_2 = 5$] [বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৯–১০]

২৩। দুটি তারের প্রতিটির রোধ 20Ω। এদেরকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হলো। পরে একে 6V বিদ্যুচ্চালক শক্তি এবং 5Ω অভ্যন্তরীণ রোধের একটি বিদ্যুৎ কোষের দুই প্রান্তের সাথে যুক্ত করা হলো। কোষের প্রান্তীয় বিভব পার্থক্য এবং প্রতিটি তারে বিদ্যুৎ প্রবাহের মান নির্ণয় কর।

[উত্তর : 4V, 0·2A]

২৪। 3Ω, 4Ω এবং 5Ω রোধের তিনটি রোধক একটি কোষের প্রান্তদ্বয়ের সাথে সমান্তরালভাবে যুক্ত আছে। কোষের তড়িচ্চালক শক্তি 1·5 V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0·5Ω হলে প্রত্যেক রোধকের মধ্য দিয়ে প্রবাহ মাত্রা নির্ণয় কর।

[উত্তর : $i_1 = 0{\cdot}363$ A, $i_2 = 0{\cdot}265$ A, $i_3 = 0{\cdot}214$ A]

২৫। একটি ব্যাটারির বিদ্যুচ্চালক শক্তি 12V এবং অন্তঃরোধ 6Ω। একে 8V বিদ্যুচ্চালক শক্তি ও 6Ω অন্তঃরোধ বিশিষ্ট অপর একটি ব্যাটারির সাথে সমান্তরালে যুক্ত করা হয়। পরে সংযোজনটিকে 12Ω রোধের একটি তার দ্বারা যুক্ত করা হলো। বর্তনীর প্রতিটি অংশে প্রবাহমাত্রা বের কর।

[উত্তর : $i_1 = \frac{2}{3}$ A, $i_2 = 0$]

২৬। একটি বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক শক্তি 1·5 V যখন বিদ্যুৎ কোষটি 1 A বিদ্যুৎ প্রবাহ সরবরাহ করে তখন এর প্রান্ত দুটির বিভব পার্থক্য 1·2 V নেমে আসে। কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর। [উত্তর : 0·3 Ω]

২৭। একটি বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক শক্তি 1·08 V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0·2 Ω। এর প্রান্তদ্বয় 5·2 ও'ম রোধের একটি তার দ্বারা যুক্ত করা হলো। কোষের বিদ্যুৎ প্রবাহের মান নির্ণয় কর। [উত্তর : 0·2 A]

২৮। একটি বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক শক্তি 1·55 V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 0·5 Ω। এর সাথে কত ওহ্‌ম রোধের একটি তার যুক্ত করলে 0·1 A বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা পাওয়া যাবে ? কোষের হারানো বিভব কত হবে?

[উত্তর : 15 Ω, 0·05 V]

২৯। খোলা বর্তনীতে একটি বিদ্যুৎ কোষের বিদ্যুচ্চালক শক্তি 1·6 V এবং অভ্যন্তরীণ রোধ 2 Ω। কোষের দু'প্রান্তের সাথে 4 Ω ও 10 Ω রোধের দুটি রোধ সিরিজে যুক্ত করলে উভয় রোধের দু'প্রান্তের বিভব পার্থক্য নির্ণয় কর।

[উত্তর : 0·4 V এবং 1 V]

৩০। 2 Volts তড়িচ্চালক বল এবং 0·5Ω অভ্যন্তরীণ রোধের একটি কোষের দুই প্রান্ত সমান্তরাল সমবায়ে সজ্জিত 20Ω এবং 30Ω রোধের দুটি তারের সাথে যুক্ত আছে । প্রত্যেক তারের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহমাত্রার মান বের কর।

[উত্তর : 0·096A, 0·064A]

৩১। একটি হুইটস্টোন ব্রীজের চারটি বাহুতে যথাক্রমে 2Ω, 4Ω, 3Ω এবং 9Ω রোধ যুক্ত আছে। চতুর্থ বাহুতে কত মানের একটি রোধ কীভাবে যুক্ত করলে ব্রীজটি ভারসাম্য লাভ করবে ?

[উত্তর : 18 Ω এর রোধ সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করতে হবে]

৩২। একটি মিটার ব্রীজ বর্তনীতে বাম ও ডান ফাঁকের রোধ যথাক্রমে 3Ω ও 2Ω। কোনো প্রান্তিক ত্রুটি না থাকলে মিটার তারটির কত দৈর্ঘ্যে নিষ্পন্দ বিন্দু পাওয়া যাবে ? [উত্তর : 60 cm]

৩৩। একটি মিটার ব্রীজের দুই শূন্য স্থানের একটিতে 8Ω এবং অন্যটিতে 10Ω রোধ যুক্ত করা হলো। ভারসাম্য বিন্দু কোথায় হবে ?

[উত্তর : বাম প্রান্ত হতে 44·44 cm দূরে]

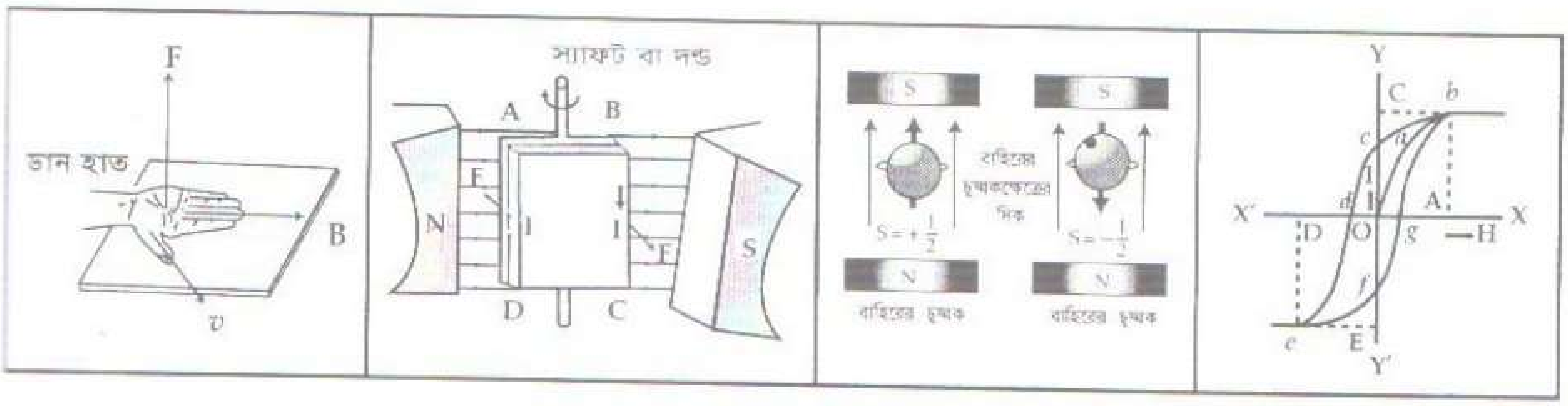
৩৪। একটি পোস্ট অফিস বক্সের অনুপাত বাহু দুটিতে 1000 Ω এবং 10 Ω রোধ যুক্ত আছে। তৃতীয় বাহুতে 511 Ω রোধ স্থাপন করায় গ্যালভানোমিটারে শূন্য বিক্ষেপ পাওয়া গেল। চতুর্থ বাহুতে অজানা রোধ নির্ণয় কর।

[উত্তর : 5·11 Ω]

চুম্বকের চারটি মূল ধর্মঃ
১. আকর্ষণী ধর্ম
২. দিকদর্শী ধর্ম
৩. বিপরীতধর্মী দুই প্রান্ত
৪. চুম্বকন ধর্ম

৪
তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া ও চুম্বকত্ব
MAGNETIC EFFECTS OF CURRENT AND MAGNETISM

প্রধান শব্দ (Key Words) : বিদ্যুৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া, চৌম্বক ক্ষেত্র, ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা, ওয়েবার, চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা, চৌম্বক ফ্লাক্স ও ফ্লাক্স ঘনত্ব, লরেঞ্জ বল, বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র, অ্যাম্পিয়ার সূত্র, হল ক্রিয়া, গতিশীল চার্জের উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাব, ইলেকট্রন স্পিন ও চৌম্বক ক্ষেত্র, পৃথিবীর চৌম্বকত্ব, ভূচুম্বকত্বের উপাদান, প্যারাচৌম্বকত্ব, ডায়াচৌম্বকত্ব, ফেরো-চৌম্বকত্ব, এন্টিফেরোচৌম্বকত্ব, চৌম্বক ডোমেইন, তড়িৎ চুম্বক, অস্থায়ী চুম্বক, স্থায়ী চুম্বক, হিসটেরিসিস চক্র।



সূচনা
Introduction

কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে এর চারপাশে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়, একে বিদ্যুৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া বলে। 1819 খ্রিস্টাব্দে কোপেনহেগেন-এর বিখ্যাত পদার্থবিদ হান্স ক্রিশ্চিয়ান ওয়েরস্টেড (H. C. Oersted) বিদ্যুৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া আবিষ্কার করেন। বিদ্যুৎ প্রবাহের বিভিন্ন ফলাফলের মধ্যে চৌম্বক প্রভাবই হলো সর্বাপেক্ষা গুরুত্বপূর্ণ।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- পরীক্ষার সাহায্যে ওয়েরস্টেডের চৌম্বক ক্ষেত্রের ধ
- বায়োট-স্যাভার্টের সূত্র, অ্যাম্পিয়ার সূত্র ব্যাখ্যা কর
- গতিশীল চার্জের উপর চুম্বক ক্ষেত্রের বলের মান ও পারবে।
- হল প্রভাব এবং চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রবাহী লুপের উপর
- কক্ষ পথে ইলেকট্রন ঘূর্ণনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষে পারবে।
- পৃথিবীর চৌম্বকত্ব ও এর উপাদান, বিভিন্ন প্রকার চ
- হিস্টেরিসিসের লেখচিত্রসহ অস্থায়ী ও স্থায়ী চুম্বকে

■ **চৌম্বক বলরেখার বৈশিষ্ট্য/ ধর্ম: ফ্যারাডের মতে-**

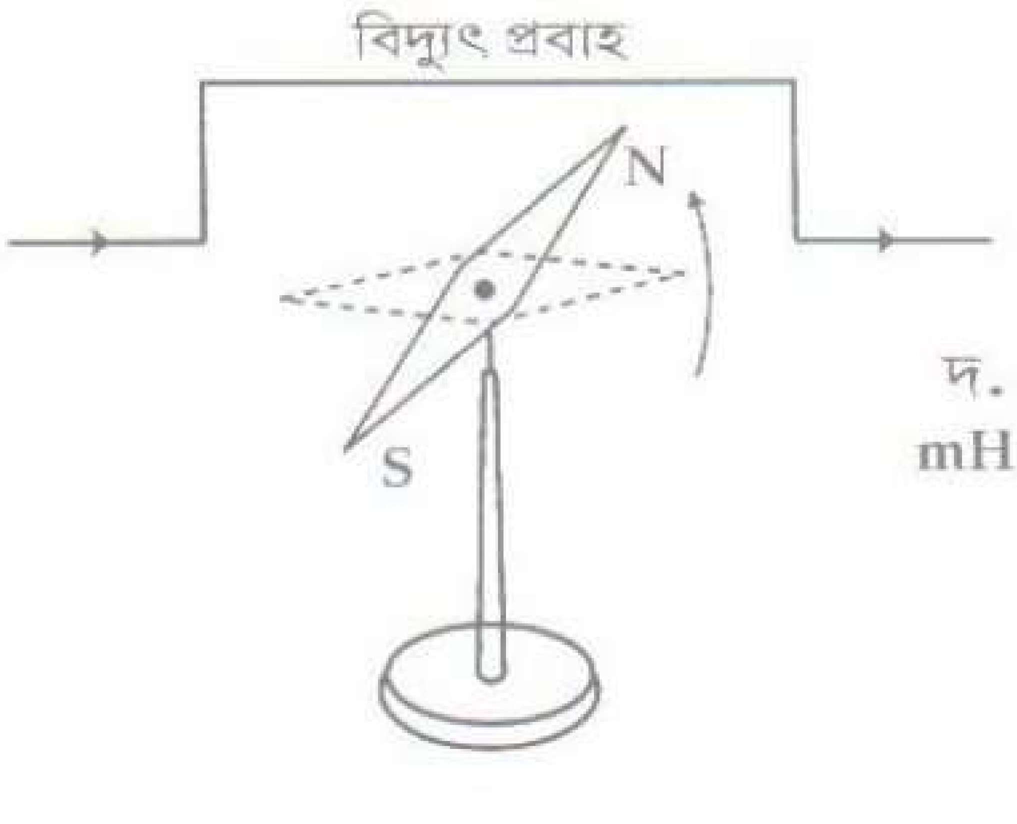
- চৌম্বক বল রেখা বদ্ধ বক্ররেখা
- চুম্বকের বাহিরে চৌম্বক বল রেখা উত্তর মেরু হতে দক্ষিণ মেরুর দিকে গমন করে
- চৌম্বক বলরেখা উত্তর মেরুতে চুম্বক পৃষ্ঠ হতে অভিলম্বভাবে বাহিরে এবং দক্ষিণ মেরুতে চুম্বক পৃষ্ঠে অভিলম্বভাবে প্রবেশ করে।
- চৌম্বক বলরেখাগুলো কখনই পরস্পরকে ছেদ করে না।
- এরা পরস্পরের উপর আড়াআড়িভাবে পার্শ্বচাপ প্রয়োগ করে, সেই জন্য সমমেরু বিকর্ষণ করে।
- এরা স্থিতিস্থাপক সুতার ন্যায় দৈর্ঘ্য বরাবর সংকুচিত হয়; এজন্য বিপরীত মেরু পরস্পরকে আকর্ষণ করে।
- এই রেখা বরাবর সর্ব বাধামুক্ত উত্তরমেরু গমন করে।

৪-১ ওয়েরস্টেডের চৌম্বক ক্ষেত্রের ধারণা
Oersted's concept about Magnetic field

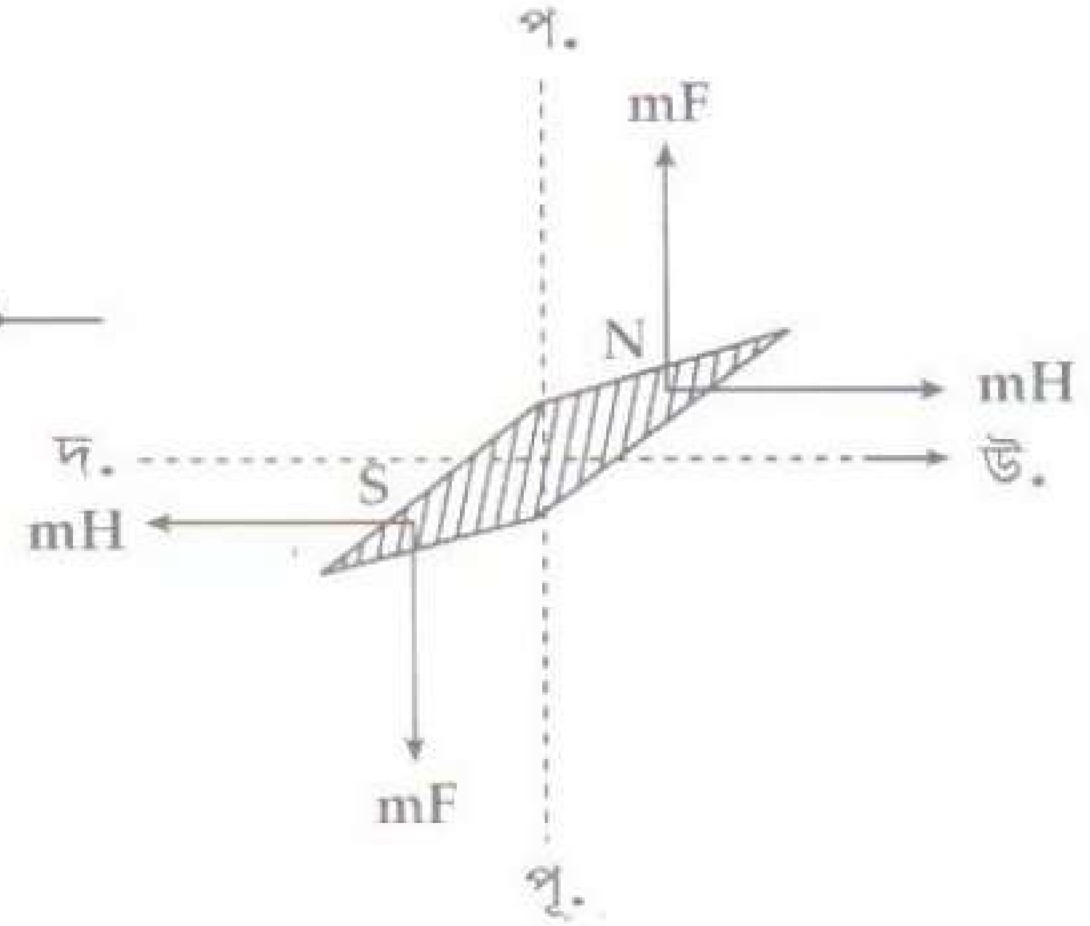
পদার্থবিদ্যার যে শাখায় বিদ্যুৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া আলোচনা করা হয় তাকে বিদ্যুৎ চুম্বকত্ব (electro-magnetism) বলে। 1828 খ্রিস্টাব্দে ডেনমার্কের পদার্থবিজ্ঞানী **এইচ সি ওয়েরস্টেড** আকস্মিকভাবে আবিষ্কার করেন যে, তড়িৎবাহী তারের চতুষ্পার্শে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। তিনি দেখিয়েছেন যে, একটি চুম্বক শলাকার নিকটে রেখে একটি তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ পাঠালে শলাকাটি বিক্ষিপ্ত হয়। এই ঘটনাকে একটি পরীক্ষার সাহায্যে প্রদর্শন করা যায়। বিজ্ঞানী ওয়েরস্টেড সর্বপ্রথম এই পরীক্ষাটি করেন বলে এই পরীক্ষার নাম ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা।

ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা :

এ পরীক্ষায় একটি মুক্তভাবে ঘূর্ণনক্ষম চুম্বক শলাকা থাকে [চিত্র ৪.১ (ক)]। এর খানিকটা উপরে একটি পরিবাহী তার সমান্তরালভাবে রাখা হয়। পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহ চালালে দেখা যাবে যে, চুম্বক শলাকাটি চৌম্বক



চিত্র ৪.১ (ক)



চিত্র ৪.১ (খ)

মধ্যতল হতে বিচ্যুত হচ্ছে এবং তারের সাথে সমকোণে স্থাপিত হবার চেষ্টা করছে। ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র এবং বিদ্যুৎ প্রবাহের দ্বারা সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের মিলিত প্রভাবের ফলে এরূপ ঘটছে [চিত্র ৪.১ (খ)]।

বিদ্যুৎ প্রবাহ বন্ধ করলে চুম্বক শলাকা পূর্বাবস্থায় ফিরে আসে। আবার বিদ্যুৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি করলে শলাকার বিচ্যুতি বৃদ্ধি পায়; শুধু তাই নয় বিদ্যুৎ প্রবাহের অভিমুখ পরিবর্তন করলে শলাকার বিচ্যুতির অভিমুখও পরিবর্তিত হয়। ওয়েরস্টেডের এ পরীক্ষা হতে নিম্নলিখিত সিদ্ধান্তসমূহে উপনীত হওয়া যায়—

১। পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়;
২। বিদ্যুৎ প্রবাহে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের মান বিদ্যুৎ প্রবাহ মাত্রার উপর নির্ভর করে;
৩। বিদ্যুৎ প্রবাহের দিকের উপর সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্ভর করে এবং
৪। বিদ্যুৎ প্রবাহ যতক্ষণ থাকে, এই চৌম্বক ক্ষেত্রও ততক্ষণ থাকে।

ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা থেকে চৌম্বক ক্ষেত্রের ধারণা পাওয়া যায়। এখন আমরা দেখব চৌম্বক ক্ষেত্র কী ?

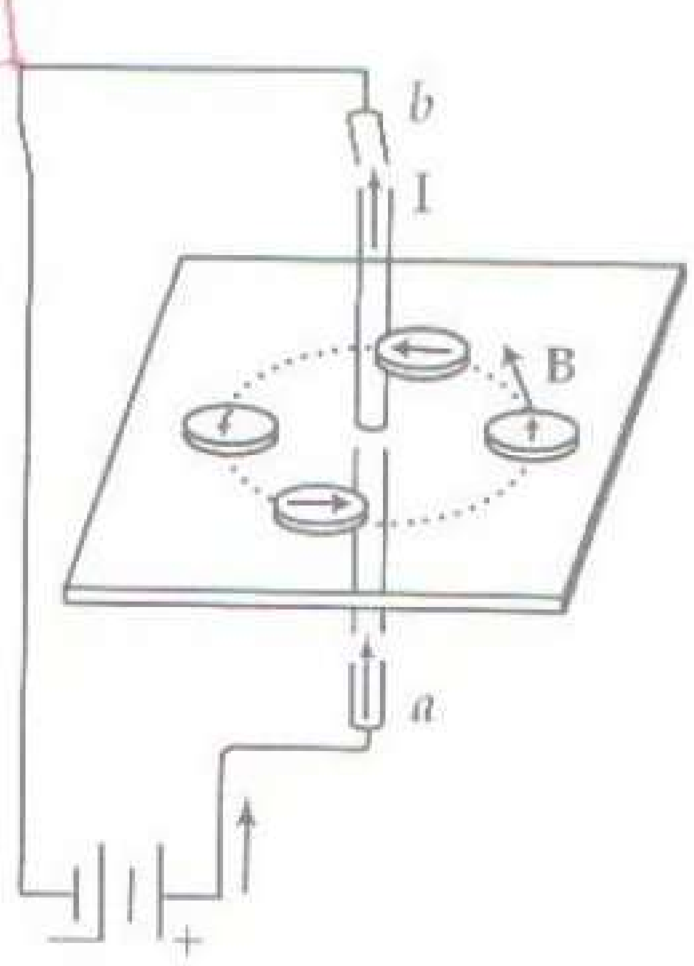
একটি দণ্ড চুম্বকের নিকটে একটি চৌম্বক শলাকা আনলে এটি বিক্ষেপ দেখায়। শলাকাটি চুম্বকের যত নিকটে আনা হয়, বিক্ষেপ তত বৃদ্ধি পায়। আবার দূরে সরিয়ে নিলে বিক্ষেপ কমতে থাকে। ওয়েরস্টেডের পরীক্ষায় দেখা গেছে যে বিদ্যুৎবাহী তারের আশে পাশে চৌম্বক শলাকা রাখলে বিক্ষেপ দেখায়। তারের নিকটে বিক্ষেপ বেশি এবং দূরে বিক্ষেপ কম দেখায়। অনেক দূরে কোনো বিক্ষেপ দেখায় না। উপরের আলোচনা থেকে বুঝা যাচ্ছে যে, দণ্ড চুম্বক বা বিদ্যুৎবাহী তারের আশেপাশের অঞ্চলে এর প্রভাব রয়েছে। এ অঞ্চলকে চৌম্বক ক্ষেত্র বলা হয়। সুতরাং চৌম্বক ক্ষেত্রের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যেতে পারে।

কোনো চুম্বক বা বিদ্যুৎবাহী তারের চতুর্দিকে যে অঞ্চল জুড়ে একটি চৌম্বক শলাকা বিক্ষেপ দেখায় তাকে ঐ চুম্বক বা বিদ্যুৎবাহী তারের চৌম্বক ক্ষেত্র বলে।

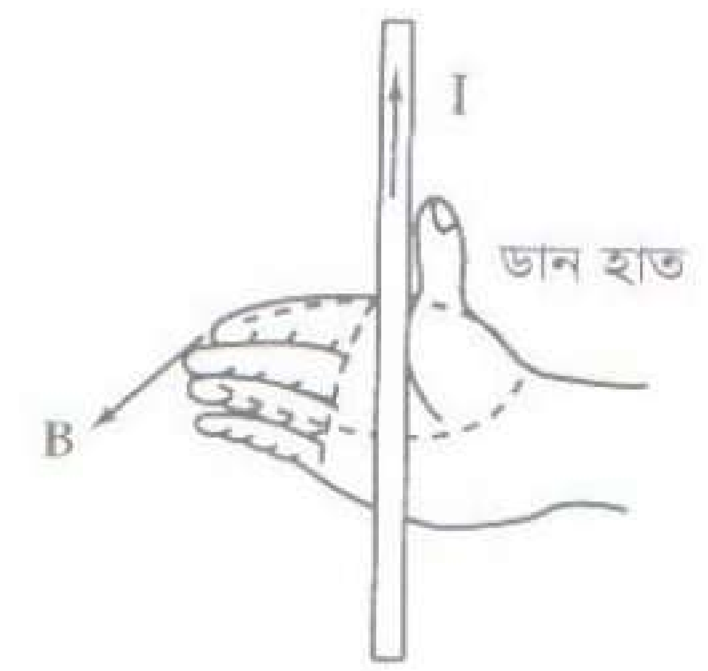
ব্যাখ্যা : মনে করি *ab* একটি তারের ভিতর দিয়ে I বিদ্যুৎ প্রবাহ চলছে। এ বিদ্যুৎ প্রবাহের ফলে তারের চতুর্দিকে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয়েছে। এখন একটি চৌম্বক শলাকা তারটিকে কেন্দ্র করে সমান দূরত্বে বিভিন্ন অবস্থানে রাখলে এটি সমান বিক্ষেপ দেখাবে; কিন্তু বিক্ষেপের দিক ভিন্নতর হবে [চিত্র ৪.২]। তারটির চতুর্দিকে যে সকল বিন্দুতে চৌম্বক শলাকাটি সমান বিক্ষেপ দেখায় ঐ বিন্দুগুলো রেখা দ্বারা যুক্ত করলে দ্বিমাত্রিক তলে বৃত্তাকার রেখা পাওয়া যায় [চিত্র ৪.২-এ ডট্ ডট্ (. .) রেখা দ্বারা দেখানো হয়েছে]। তারটিকে কেন্দ্র করে বিভিন্ন দূরত্বে চৌম্বক শলাকার সমান বিক্ষেপের বিন্দুগুলোকে যুক্ত করলে অনুরূপ অসংখ্য বৃত্তাকার রেখা অঙ্কন করা যায়। এ বৃত্তাকার রেখাগুলো আবদ্ধ রেখা—মাঝপথে কোথাও শুরু হয় না, শেষও হয় না। এ **রেখাগুলোকে চৌম্বক ক্ষেত্র রেখা বা চৌম্বক আবেশ রেখা (সংক্ষেপে আবেশ রেখা) বলে।** চৌম্বক ক্ষেত্র রেখার যে কোনো বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্দেশ করে। সুতরাং চৌম্বক ক্ষেত্র রেখার নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়—**চৌম্বক ক্ষেত্র রেখা চৌম্বক ক্ষেত্রে অঙ্কিত কতকগুলো বন্ধ বক্ররেখা যাদের কোনো বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক উক্ত বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্দেশ করে।**

চৌম্বক ক্ষেত্রের মান নির্ণয় : চৌম্বক ক্ষেত্রের সমকোণে একটি চার্জ বা আধান গতিশীল হলে ঐ চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বলের মান F হলে, ঐ বলকে চার্জ এবং বেগের গুণফল দ্বারা ভাগ করলে যে মান পাওয়া যায়, তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের মান। চার্জ q, বেগ v এবং বল F হলে চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ -এর মান হবে,

$$\boxed{B = \frac{F}{qv}} \qquad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \qquad (4.1)$$



চিত্র ৪.২



চিত্র ৪.৩

অন্যভাবে বলা যায়, **একটি একক চার্জ একক বেগে চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে গতিশীল হলে যে বল লাভ করে, তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের মান।** [এ সম্বন্ধে অনুচ্ছেদ ৪.৪-এ বিস্তারিত আলোচনা করা হয়েছে]।

চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্ণয় : একটি চৌম্বক শলাকাকে চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করলে তার উত্তর মেরু যে দিক নির্দেশ করে তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক। উপরোক্ত আলোচনা থেকে চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ -এর নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া হয়

অর্থাৎ কোনো চুম্বক বা বিদ্যুৎবাহী তারের চতুর্দিকে যে অঞ্চল জুড়ে একটি চৌম্বক শলাকা বিক্ষেপ দেখায় তাকে ঐ চুম্বক বা বিদ্যুৎবাহী তারের চৌম্বক ক্ষেত্র বলে। একটি একক চার্জ একক বেগে চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে গতিশীল হলে যে বল লাভ করে, তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের মান এবং একটি চৌম্বক শলাকাকে চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করলে তার উত্তর মেরু যে দিক নির্দেশ করে, তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক।

একটি বিদ্যুৎবাহী তারের বেলায় ডান হস্ত নিয়ম-২ দ্বারা চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্ণয় করা হয় [চিত্র ৪.৩]। সূত্রটি নিম্নরূপ :

ফ্লেমিং-এর ডান হস্ত নিয়ম (Fleming's right hand rule) : একটি বিদ্যুৎবাহী তারকে বিদ্যুৎ প্রবাহের দিকে বৃদ্ধাঙ্গুলি রেখে দক্ষিণ হস্তে ধরলে অন্য আঙ্গুলগুলি চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে তারটিকে ঘিরে থাকবে [চিত্র ৪.৩]। এ নিয়ম ডান হস্ত নিয়ম-২ হিসেবেও পরিচিত।

কাজ : সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে ক্রিয়াশীল চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল বল কী কী বিষয়ের ওপর নির্ভরশীল ?

সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে ক্রিয়াশীল চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল বল নিম্নোক্ত বিষয়ের ওপর নির্ভরশীল : (00 − 02)

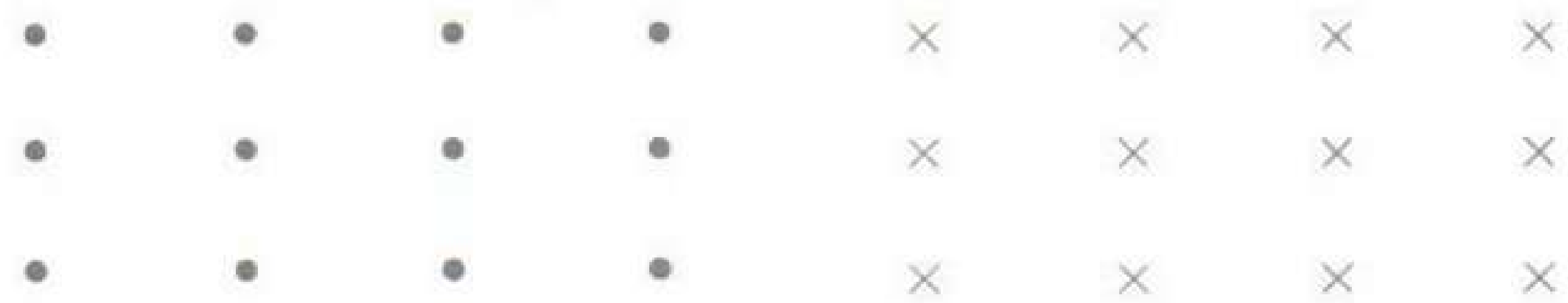
১) চার্জের মান (q)
২) চৌম্বক ক্ষেত্রের মান (B)
৩) চার্জের বেগ (v)
৪) চৌম্বক ও চার্জের গতির দিকের মধ্যবর্তী কোণ (θ)।

$F = qvB\sin\theta$

চিন্তা কর : কোনো স্থানের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় একটি চার্জিত কণা বিক্ষিপ্ত হলো না। ঐ স্থানে কোনো চৌম্বক ক্ষেত্র নাই। এই সিদ্ধান্ত করা যায় কী? ব্যাখ্যা কর।

কাগজ তলে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্দেশনা : অনেক সময় কাগজ তলের লম্ব বরাবর চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ নির্দেশ করা সুবিধাজনক। কাগজ তলে উপরের দিকে এবং ভেতরের দিকে দুটি অভিলম্ব দিক রয়েছে। সুতরাং চৌম্বক ক্ষেত্র কাগজ তলের বাইরের দিকে না ভেতরের দিকে তা বুঝানোর জন্য একটি পদ্ধতি সর্বত্র ব্যবহৃত হয়। এ পদ্ধতি অনুসারে চৌম্বক ক্ষেত্র কাগজ তলের বাইরের দিকে অর্থাৎ পাঠকের দিকে তা দেখানোর জন্য কতকগুলো ডট

(Dot, .) চিহ্ন দ্বারা [চিত্র ৪·৪ (ক)] এবং ভেতরের দিকে প্রকাশের জন্য কতকগুলো ক্রস (cross, ×) চিহ্ন ব্যবহার করা হয় [চিত্র ৪·৪ (খ)]। এ ধরনের চিহ্ন দেখলেই বুঝা যায় চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক কোন দিকে।



(ক) কাগজ তলের বাইরের দিকে (খ) কাগজ তলের ভেতরের দিকে

চিত্র ৪·৪ : চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্দেশনা।

কাজ : একটা চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি চার্জ অবস্থিত। চার্জের উপর চৌম্বক ক্ষেত্র কোনো বল প্রয়োগ করবে কী? (i) যখন চার্জ স্থির (ii) যখন চার্জ গতিশীল এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে গতিশীল (iii) যখন চার্জ চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের সমকোণে গতিশীল হয় ?

(i) স্থির চার্জের উপর চৌম্বক ক্ষেত্র কোনো বল প্রয়োগ করবে না।

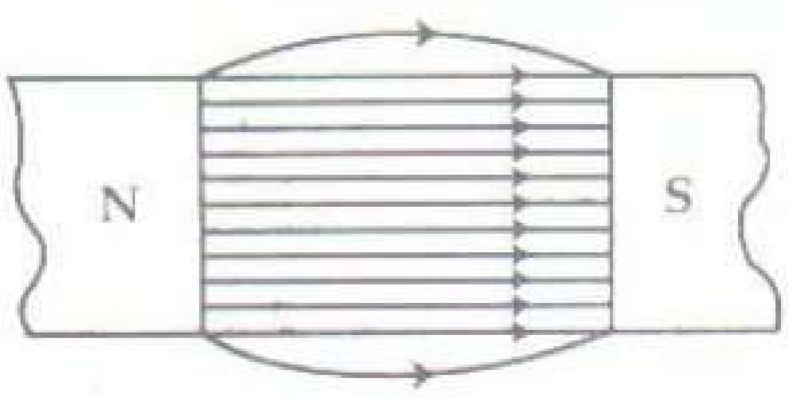
(ii) গতিশীল চার্জের চৌম্বক ক্ষেত্র বল প্রয়োগ করে। চৌম্বক ক্ষেত্রও সৃষ্টি হয়। কিন্তু এক্ষেত্রে যেহেতু প্রবাহের অভিমুখ চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ সুতরাং চার্জের উপর কোনো বল প্রযুক্ত হবে না।

(iii) চার্জের অভিমুখ এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ পরস্পর লম্ব হলে গতিশীল চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বল $= Bev$ হয় এখানে B = চৌম্বক আবেশ, e = চার্জ এবং v = চার্জের বেগ।

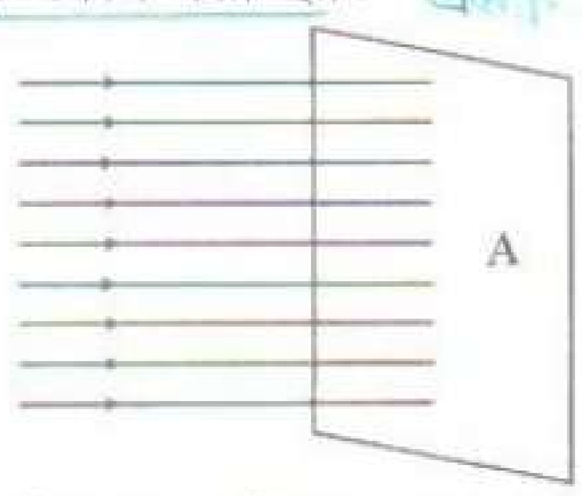
কয়েকটি প্রয়োজনীয় সংজ্ঞা
Some Important Definitions

চৌম্বক ফ্লাক্স (Magnetic flux) : চৌম্বক ক্ষেত্রকে সাধারণত চৌম্বক ক্ষেত্র রেখা দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। চিত্র ৪.৫-এ একটি অশ্বখুরাকৃতির দুই মেরুর মধ্যবর্তী চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা দেখানো হয়েছে। ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা চৌম্বক ক্ষেত্রের মানের উপর নির্ভর করে।

এখন চৌম্বক ক্ষেত্রে যদি একটি তল (বাস্তব বা কাল্পনিক) নেয়া হয়, তবে ঐ তলের মধ্য দিয়ে যতগুলো চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা অতিক্রম করে তাকে চৌম্বক ফ্লাক্স বলে। একে φ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। একক: Wb



চিত্র ৪·৫ : চৌম্বক ফ্লাক্স।



চিত্র ৪·৬ : চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব।

চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব (Magnetic flux density) : চৌম্বক ক্ষেত্রে কোনো একটি তল বা কুণ্ডলী (বাস্তব বা কল্পিত) চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার অভিলম্ব বরাবর স্থাপন করলে [চিত্র ৪.৬] ঐ কুণ্ডলী বা তলের একক ক্ষেত্রফল দিয়ে যতগুলো ক্ষেত্ররেখা অতিক্রম করে তাকে ঐ তলের চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব বলে।

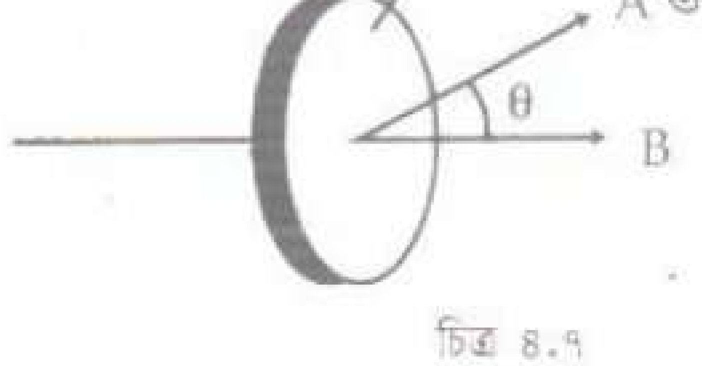
যদি চৌম্বক ফ্লাক্স φ এবং তলের ক্ষেত্রফল A হয়, তবে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব B হবে,

$$\boxed{B = \varphi / A} \quad \ldots \quad (4.2)$$

বা, $$\varphi = BA \quad \ldots \quad (4.2a)$$

এক্ষেত্রে চৌম্বক আবেশ B এবং কুণ্ডলী তল A-এর উপরে অঙ্কিত লম্ব পরস্পর সমকোণে অবস্থিত।

এখন চৌম্বক আবেশ B এবং কুণ্ডলী তল A-এর উপর অঙ্কিত লম্ব পরস্পর θ কোণে অবস্থিত [চিত্র ৪.৭] হলে চৌম্বক ফ্লাক্স φ হবে,



চিত্র ৪.৭

$$\varphi = AB \cos\theta$$

অতএব, চৌম্বক ফ্লাক্সকে চৌম্বক আবেশ $\vec{B}$ এবং চৌম্বক কুণ্ডলী তলের ক্ষেত্রফল $\vec{A}$ এর স্কেলার বা ডট গুণন হিসেবে লেখা যায়,

$$\varphi = \vec{A} \cdot \vec{B}$$

কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা N হলে,

$$\varphi = N AB \cos\theta$$

একক : চৌম্বক ফ্লাক্সের এস. আই. একক হলো ওয়েবার (Wb) বা NmA^{-1}।
চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্বের একক

$$B = \frac{\varphi}{A} = \frac{\text{ওয়েবার}}{\text{মিটার}^2}\ (Wbm^{-2})$$

একে **টেসলা** (Tesla) বলে। টেসলা T দ্বারা চিহ্নিত করা হয়।

1 টেসলা $= 1\ Wbm^{-2} = 1\ NA^{-1}m^{-1} = 10^4$ gauss JA

1 ওয়েবার : কোনো কুণ্ডলীতে প্রতি সেকেন্ডে যত সংখ্যক ফ্লাক্স পরিবর্তনের জন্য ঐ কুণ্ডলীতে 1 ভোল্ট বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয় তাকে 1 ওয়েবার বলে।

1 টেসলা : যদি কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের সাথে সমকোণে 1 কুলম্ব চার্জ $1\ ms^{-1}$ বেগে গতিশীল হয় এবং 1 N বল অনুভব করে, তবে ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের মানকে 1 টেসলা (T) বলে।

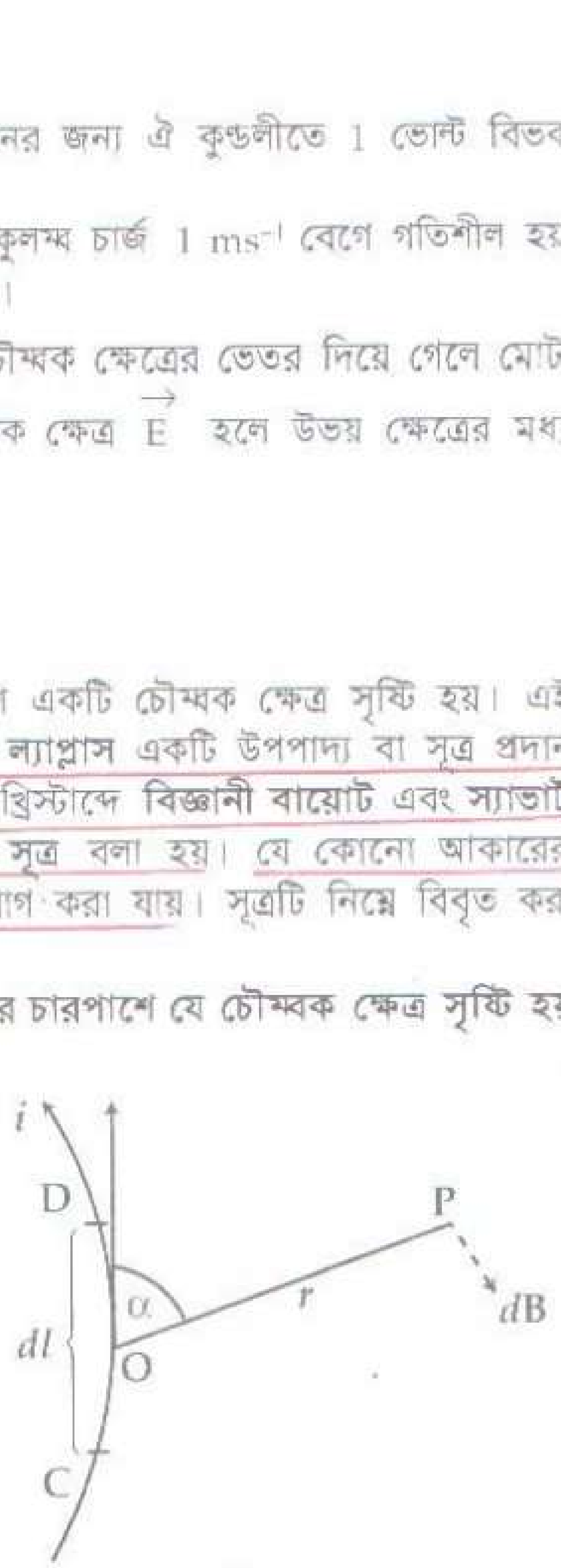
লরেঞ্জ বল : কোনো তড়িতাধান (চার্জ) একই সঙ্গে তড়িৎ ক্ষেত্র এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের ভেতর দিয়ে গেলে মোট যে বল অনুভব করে, তাকে লরেঞ্জ বল বলে। চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ এবং বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র $\vec{E}$ হলে উভয় ক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে ইলেকট্রনের গতির জন্য লরেঞ্জ বল $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$.

৪.২ বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র বা ল্যাপ্লাস-এর সূত্র
Biot-Savart Law or Laplace's Law

বিজ্ঞানী ওয়েরস্টেড আবিষ্কার করেন যে, বিদ্যুৎবাহী পরিবাহীর চারপাশে একটি চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয়। এই চৌম্বক ক্ষেত্রের চৌম্বকীয় আবেশ বা চৌম্বক প্রাবল্য নির্ণয়ের জন্য **বিজ্ঞানী ল্যাপ্লাস** একটি উপপাদ্য বা সূত্র প্রদান করেন। একে **ল্যাপ্লাসের উপপাদ্য** বা **ল্যাপ্লাসের সূত্র** বলে। পরবর্তীতে 1820 খ্রিস্টাব্দে **বিজ্ঞানী বায়োট** এবং **স্যাভার্ট** সূত্রটির একটি পরীক্ষামূলক প্রমাণ দেন। তাই এ সূত্রটিকে **বায়োট-স্যাভার্ট-এর সূত্র** বলা হয়। যে কোনো আকারের পরিবাহী ও বিভিন্ন তড়িৎ বণ্টনের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ণয়ে এ সূত্র প্রয়োগ করা যায়। সূত্রটি নিম্নে বিবৃত করা হলো।

সূত্র : ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যের কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে এর চারপাশে যে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয় তার কোনো বিন্দুতে চৌম্বকীয় আবেশের মান—

(i) বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক,
(ii) পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক,
(iii) পরিবাহীর মধ্যবিন্দু হতে ওই বিন্দুর সংযোগ রেখা এবং পরিবাহীর অন্তর্ভুক্ত কোণের সাইনের সমানুপাতিক,
(iv) পরিবাহীর মধ্য বিন্দু হতে ওই বিন্দুর দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।



চিত্র ৪.৮

ব্যাখ্যা : মনে করি CD বিদ্যুৎবাহী পরিবাহীর একটি অতি ক্ষুদ্র অংশ। এর দৈর্ঘ্য dl। এই অংশে বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন এর মধ্যবিন্দু O হতে r দূরে অবস্থিত P বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ণয় করতে হবে।

চিত্র ৪.৮ অনুযায়ী ধরি DC পরিবাহীর মধ্য দিয়ে I তড়িৎ প্রবাহের ফলে P বিন্দুতে চৌম্বকীয় আবেশ dB হয় এবং O বিন্দুতে বিদ্যুৎ প্রবাহের অভিমুখ ও OP রেখার মধ্যে কৌণিক ব্যবধান α হয়, তবে বায়োট-স্যাভার্ট সূত্রানুসারে চৌম্বকীয় আবেশ—

(i) বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক অর্থাৎ $dB \propto i$, যখন dl, r এবং α ধ্রুব,
(ii) পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক অর্থাৎ $dB \propto dl$, যখন i, r এবং α ধ্রুব,
(iii) $\sin\alpha$-এর সমানুপাতিক, অর্থাৎ $dB \propto \sin\alpha$, যখন i, dl এবং r ধ্রুব এবং
(iv) দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক অর্থাৎ $dB \propto \frac{1}{r^2}$, যখন i, dl এবং α ধ্রুব।

$$\therefore\ dB \propto \frac{idl\sin\alpha}{r^2}, \text{ যখন } i, dl, \alpha \text{ এবং } r \text{ পরিবর্তিত হয়।}$$

বা, $$dB = \text{ধ্রুবক} \times \frac{i\,dl\sin\alpha}{r^2}$$

বা, $$dB = K \times \frac{idl\sin\alpha}{r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.3)$$

এখানে K একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক যার মান নির্ভর করে মাধ্যমের প্রকৃতি এবং রাশিগুলোর এককের উপর। S. I. পদ্ধতিতে বায়ু বা শূন্য মাধ্যমের জন্য

$K = \frac{\mu_0}{4\pi}$, μ_0 হচ্ছে শূন্য স্থানের চৌম্বক প্রবেশ্যতা (magnetic permeability).

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \text{Wbm}^{-1}\text{A}^{-1}$ বা, Tm A^{-1}

এখন সমীকরণ (4.3)-এ K-এর মান বসিয়ে পাই, $dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \times \frac{i\, dl \sin\alpha}{r^2}$ ... (4.4)

অতএব, (ক) বায়ু বা শূন্য মাধ্যমে বায়োট-স্যাভার্ট-এর সূত্র হলো—

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \times \frac{i\, dl \sin\alpha}{r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.5)$$

এবং **(খ) অন্য মাধ্যমে** $dB = \frac{\mu}{4\pi} \times \frac{i\, dl \sin\alpha}{r^2}$ ... ... (4.6)

এখানে, μ হচ্ছে ওই মাধ্যমের চৌম্বক প্রবেশ্যতা।

এখন সমগ্র পরিবাহীর দরুন P বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ নির্ণয়ের ক্ষেত্রে পরিবাহীটিকে অনুরূপ ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অংশে বিভক্ত করে প্রত্যেক অংশের দরুন ঐ বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ নির্ণয় করে তাদের সমষ্টি নিতে হবে। কাজেই গাণিতিকভাবে সমগ্র পরিবাহীর জন্য লেখা যায়

$$B = \sum dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \sum \frac{i\, dl \sin\alpha}{r^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{i dl \sin\alpha}{r^2} \quad \text{(শূন্য মাধ্যমে)} \quad \ldots \quad (4.7)$$

এবং $$B = \frac{\mu}{4\pi} \int \frac{i dl \sin\alpha}{r^2} \quad \text{(অন্য মাধ্যমে)} \quad \ldots \quad (4.8)$$

সূত্রটির ভেক্টর রূপ : চৌম্বক আবেশের মান এবং অভিমুখ দুইই আছে। অতএব এটি একটি ভেক্টর রাশি। অতএব সূত্রটির ভেক্টর রূপ হলো—

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{i d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} \quad \text{(শূন্য মাধ্যমে)} \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.9)$$

$$\vec{B} = \frac{\mu}{4\pi} \int \frac{i d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} \quad \text{(অন্য মাধ্যমে)} \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.10)$$

এখানে ভেক্টর $d\vec{l}$ পরিবাহীর ক্ষুদ্র অংশের মান ও দিক নির্দেশ করে। এর দিক হলো ওই অংশের স্পর্শক বরাবর বিদ্যুৎ প্রবাহের অভিমুখে। $i d\vec{l}$ -কে প্রবাহ উপাদান বা প্রবাহাংশ (Current Element) বলে। $\hat{r}$ হচ্ছে $\vec{r}$ এর অভিমুখে একক ভেক্টর।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : তড়িৎবাহী পরিবাহীর চতুর্দিকে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য $\cos\alpha$ এর সমানুপাতিক না হয়ে $\sin\alpha$ এর সমানুপাতিক হয় কেন ?

বায়োট-স্যাভার্টের সূত্র অনুযায়ী তড়িৎবাহী পরিবাহীর চতুর্দিকে কোনো বিন্দুতে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের মান $dB = idl \sin\alpha$। দেখা যায় যে, পরিবাহীর লম্ব বরাবর চৌম্বক ক্ষেত্রের মান সব থেকে বেশি এবং স্পর্শক বরাবর কোনো চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয় না। পরিবাহীর মধ্যবিন্দু ও ঐ বিন্দুর সংযোজক সরলরেখা এবং পরিবাহীর মধ্যবিন্দুতে স্পর্শকের মধ্যবর্তী কোণ শূন্য হলে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান শূন্য এবং 90° হলে সর্বোচ্চ হয় যা কোণের sine ফাংশনের মানের সাথে সংগতিপূর্ণ—তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের মান $\sin\alpha$ এর সমানুপাতিক।

কাজ : একটি l দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট ধাতব পরিবাহী B প্রাবল্যের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সমকোণে এবং সমান্তরালে থাকলে পরিবাহীর উপর প্রযুক্ত বল কত হবে ?

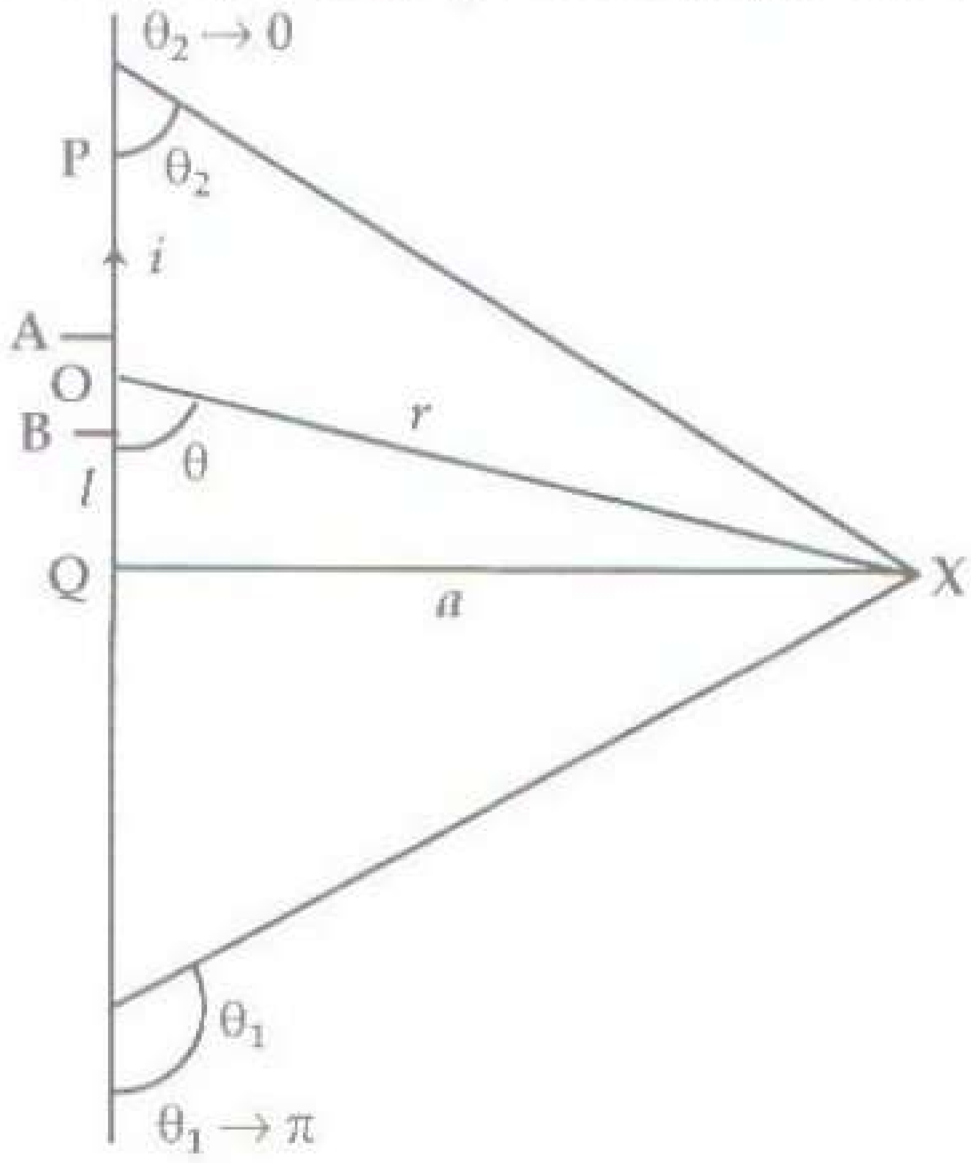
(i) একটি l দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট ধাতব পরিবাহী B প্রাবল্যের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সমকোণে থাকলে $\theta = 90°$ এবং $\sin\theta = 1$ হয়। অতএব এক্ষেত্রে ক্ষুদ্র অংশ dl-এর উপর ক্রিয়ারত বল হলো $Bidl$ এবং সম্পূর্ণ পরিবাহীর উপর ক্রিয়ারত বল $F = Bi\Sigma dl = Bil$

(ii) পরিবাহী চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে থাকলে $\theta = 0°$ এবং $\sin\theta = 0$ হয়। কাজেই এক্ষেত্রে পরিবাহীর উপর প্রযুক্ত বল শূন্য হবে।

বায়োট-স্যাভার্ট সূত্রের প্রয়োগ
Application of Biot-Savart law

বিদ্যুৎ চুম্বকত্বে বায়োট-স্যাভার্ট সূত্রের বিভিন্ন প্রয়োগ দেখতে পাওয়া যায়। নিম্নে দুটি আলোচনা করা হলো :

(ক) বিদ্যুৎবাহী লম্বা সরল তারের জন্যে কোনো বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক ক্ষেত্র : মনে করি PQ একটি লম্বা সরল বা সোজা তার। এর মধ্য দিয়ে i অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে। ঐ প্রবাহের দরুন তার হতে a মিটার দূরে অবস্থিত X বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ণয় করতে হবে [চিত্র ৪.৯]।



চিত্র ৪.৯

উক্ত পরিবাহীর একটি অতি ক্ষুদ্র অংশ AB নেই। ধরি এর দৈর্ঘ্য $= dl$। মনে করি ঐ অংশটির মধ্য বিন্দু O হতে X বিন্দুর দূরত্ব r এবং $\angle XOQ = \theta$। অতএব X বিন্দুতে $i\vec{dl}$ প্রবাহমাত্রা বা প্রবাহাংশের জন্য বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র হতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান পাই,

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i\,dl\sin\theta}{r^2} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (4.11)$$

দক্ষিণ হস্ত নিয়ম-২ অনুসারে dB-এর অভিমুখ হবে কাগজ তলের লম্ব বরাবর ভিতরের দিকে।

এখন সমকোণী ত্রিভুজ ΔOXQ হতে পাই,

$$\operatorname{cosec}\theta = \frac{r}{a}$$

$$\therefore \quad r = a\operatorname{cosec}\theta \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (4.12)$$

আবার, ধরি $OQ = l$.

$$\therefore \quad l = a\cot\theta \quad [\because \cot\theta = \frac{OQ}{QX} = \frac{l}{a}]$$

ব্যবকলন করে পাই,

$$dl = -a\operatorname{cosec}^2\theta\, d\theta \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (4.13)$$

এখন (4.11) সমীকরণে r এবং dl-এর মান বসিয়ে পাই,

$$dB = -\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i\,a\operatorname{cosec}^2\theta\sin\theta\, d\theta}{a^2\operatorname{cosec}^2\theta} = -\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i}{a}\sin\theta\, d\theta$$

সমগ্র পরিবাহীর জন্য X বিন্দুতে মোট ক্ষেত্র প্রাবল্য হবে,

$$B = \int dB = \int_{\theta_1}^{\theta_2} -\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i}{a}\sin\theta\, d\theta$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i}{a}\int_{\theta_1}^{\theta_2} -\sin\theta\, d\theta$$

$$= \frac{\mu_0 i}{4\pi a}[\cos\theta]_{\theta_1}^{\theta_2} = \frac{\mu_0 i}{4\pi a}(\cos\theta_2 - \cos\theta_1)$$

এখন তারটি যদি অসীম দৈর্ঘ্যের হয়, তবে

$\theta_1 = \pi$ এবং $\theta_2 = 0$ হবে

সে ক্ষেত্রে,

$$B = \frac{\mu_0 i}{4\pi a}[\cos 0 - \cos\pi]$$

$$= \frac{\mu_0 i}{4\pi a}(1+1) = \boxed{\frac{\mu_0 i}{2\pi a}} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (4.14)$$

সমীকরণ (4.14) হতে বোঝা যাচ্ছে $\vec{B}$ এর মান শুধুমাত্র বিদ্যুৎ প্রবাহ i এবং তারটি হতে সংশ্লিষ্ট বিন্দুর লম্ব দূরত্বের উপর নির্ভর করে।

অনুসন্ধান কর : তড়িৎবাহী তারে বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন প্রাবল্য এবং চৌম্বক মেরুর জন্য সৃষ্ট প্রাবল্য কোন রাশির উপর নির্ভরশীল ?

তড়িৎবাহী তারের দরুন উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না। কিন্তু চৌম্বক মেরুর দরুন উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র প্রাবল্য পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। তারের দৈর্ঘ্য বরাবর যে কোনো বিন্দুতে উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র প্রাবল্যের মান শূন্য হবে।

(খ) বিদ্যুৎবাহী বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক ক্ষেত্র : মনে করি কোনো একটি পরিবাহীর dl মিটার দৈর্ঘ্যের অতি ক্ষুদ্র অংশ দিয়ে i অ্যাম্পিয়ার মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহ চলার ফলে পরিবাহীর চারপাশে একটি চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয়েছে । মনে করি পরিবাহীর এই অংশের মধ্য বিন্দু হতে উক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর দূরত্ব r মিটার। যদি এই দূরত্ব বিদ্যুৎ প্রবাহের দিকের সাথে α কোণ উৎপন্ন করে, তবে বায়োট-স্যাভার্ট-এর সূত্র অনুসারে ঐ বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক ক্ষেত্র

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{idl}{r^2}\sin\alpha \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.15)$$

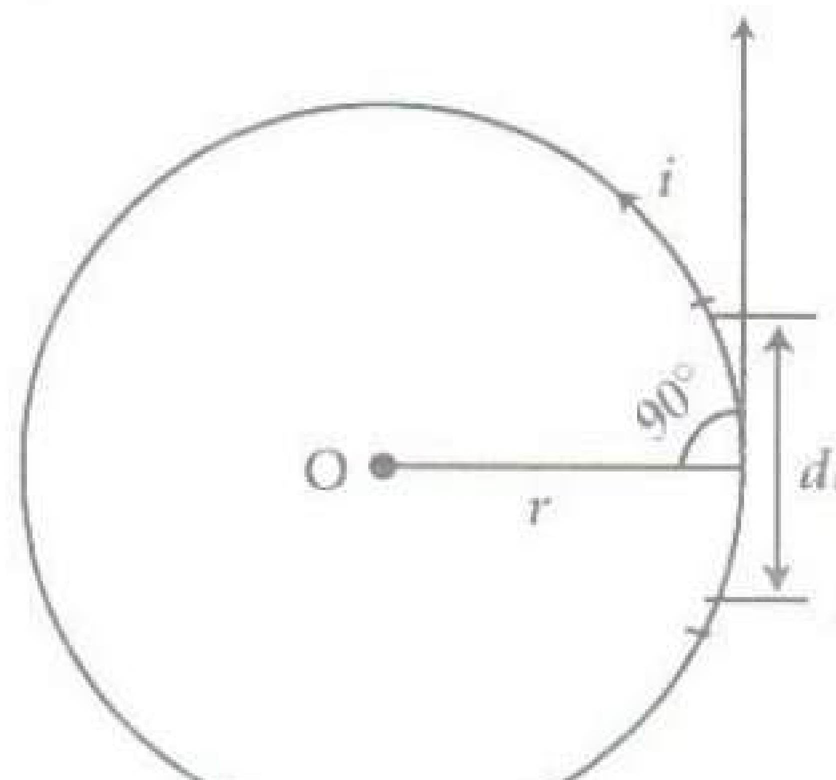
এখন মনে করি r মিটার ব্যাসার্ধবিশিষ্ট এক পাকের একটি বৃত্তাকার তারের ভেতর দিয়ে i অ্যাম্পিয়ার মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে [চিত্র ৪.১০] । এই বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক আবেশ নির্ণয় করতে হবে।

বায়োট-স্যাভার্ট-এর সূত্রানুসারে বৃত্তাকার পরিবাহীর dl দৈর্ঘ্যের একটি অতি ক্ষুদ্র অংশ দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহের জন্য তারের কেন্দ্রে সৃষ্ট চৌম্বক আবেশ —

$$dB = \frac{\mu_0 idl\sin\alpha}{4\pi r^2} = \mu_0\frac{idl\sin 90^\circ}{4\pi r^2}$$

$$= \mu_0\frac{idl}{4\pi r^2} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.16)$$

যেহেতু কুণ্ডলীর সকল বিন্দু থেকে বৃত্তের কেন্দ্র O এর দূরত্ব r সমান এবং কুণ্ডলীর যে কোনো অংশ dl এবং r এর অন্তর্ভুক্ত কোণ সর্বদা $\theta = 90^\circ$, সেহেতু বৃত্তাকার পরিবাহকের দৈর্ঘ্য হচ্ছে কুণ্ডলীর পরিধির দৈর্ঘ্য অর্থাৎ $2\pi r$। সুতরাং $l = 0$ থেকে $l = 2\pi r$ সীমার মধ্যে সমীকরণ (4.16) সমাকলন করে পাই,।



চিত্র ৪.১০

$$dB = \int_{l=0}^{l=2\pi r}\frac{\mu_0 i}{4\pi r^2}dl$$

$$\therefore \quad B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i}{r^2}\int_0^{2\pi r}dl = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i}{r^2}[l]_0^{2\pi r}$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{i}{r^2}\times 2\pi r = \frac{\mu_0 i}{2r} \qquad \ldots \quad \ldots \quad (4.17)$$

একটি পাকের পরিবর্তে যদি r মিটার ব্যাসার্ধবিশিষ্ট n পাকের একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে i অ্যাম্পিয়ার মাত্রার বিদ্যুৎ প্রবাহিত করা হয় তবে বৃত্তের কেন্দ্রে চৌম্বক আবেশ বা ক্ষেত্র n গুণ বৃদ্ধি পাবে। কাজেই এস্থলে চৌম্বক আবেশ,

$$\boxed{B = \frac{\mu_0 ni}{2r}}\ \text{Wbm}^{-2} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.18)$$

দিক : বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ কুণ্ডলী তলের সাথে লম্ব বরাবর। যদি কুণ্ডলীর দিকে তাকালে প্রবাহের অভিমুখ ঘড়ির কাঁটার দিকে হয় তবে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক হবে কুণ্ডলী তলের লম্ব বরাবর ভেতরের দিকে আর প্রবাহের অভিমুখ ঘড়ির কাটার বিপরীত দিকে থাকলে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক হবে কুণ্ডলী তলের লম্ব বরাবর বাইরের দিকে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাস 31.4×10^{-2} m এবং প্যাক সংখ্যা 400। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে কত তড়িৎ প্রবাহ চললে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে এর চৌম্বক ক্ষেত্র 4×10^{-10} Wbm^{-2} সৃষ্টি হয় ? [য. বো. ২০১০, ২০০৬]

আমরা জানি,

$$B = \frac{\mu_0 ni}{2r}$$

বা, $$i = \frac{2Br}{\mu_0 n}$$

$$\therefore \quad i = \frac{2 \times 4 \times 10^{-10} \times 15.7 \times 10^{-2}}{4\pi \times 10^{-7} \times 400}$$

$$= \frac{2 \times 4 \times 15.7 \times 10^{-12} \times 10^{7} \times 10^{-2}}{4 \times 3.14 \times 4}$$

$$= 2.5 \times 10^{-7}\ \text{A}$$

এখানে,
$n = 400$
$r = \frac{31.4 \times 10^{-2}}{2}$ m $= 15.7 \times 10^{-2}$m
$B = 4 \times 10^{-10}$ Wbm^{-2}
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ WbA^{-1}m^{-1}
$i = ?$

২। 1 মিটার লম্বা একটি পরিবাহী তারের মধ্য দিয়ে 5 A তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তার থেকে 5 cm দূরে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান বের কর। [রা. বো. ২০০৮]

আমরা জানি,

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi a}$$

$$\therefore \quad B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5}{2\pi \times 0.05} = \boxed{2 \times 10^{-5}\ \text{Wb m}^{-2}}$$

এখানে,
$i = 5$ A
a = লম্ব দূরত্ব = 5 cm = 0.05 m
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb A^{-1} m^{-1}
$B = ?$

৩। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ 31.14×10^{-2} m এবং পাক সংখ্যা 800। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে 5×10^{-7} A বিদ্যুৎ প্রবাহ চালনা করলে কুণ্ডলীর কেন্দ্রবিন্দুতে চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব কত হবে ?

আমরা জানি, n পাকের বৃত্তাকার কুণ্ডলীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের জন্য কুণ্ডলীর কেন্দ্র বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ বা ফ্লাক্স ঘনত্ব

$$B = \frac{\mu_0 nI}{2r}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 800 \times 5 \times 10^{-7}}{2 \times 31.14 \times 10^{-2}}$$

$$= 8 \times 10^{-10}\ \text{T}$$

এখানে,
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Tm A^{-1}
$I = 5 \times 10^{-7}$ A
$n = 800$
$r = 31.14 \times 10^{-2}$ m
$B = ?$

৪.৩ অ্যাম্পিয়ার-এর সূত্র
Ampere's Law

এই সূত্রের সাহায্যে কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের মান অর্থাৎ চৌম্বক প্রাবল্য নির্ণয় করা যায়। এটা উক্ত পরিবাহীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত প্রবাহমাত্রা i এবং এতে সৃষ্ট চৌম্বক $\vec{B}$-এর মধ্যে সম্পর্ক নিরূপণ করে। সূত্রটি নিম্নরূপ :

"কোনো বন্ধ পথ বরাবর কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের রৈখিক সমাকলন, পথটি দ্বারা বেষ্টিত ক্ষেত্রফলের ভেতর দিয়ে প্রবাহিত মোট প্রবাহমাত্রার μ_0 গুণ।"

অর্থাৎ $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i$ ... ... (4.19)

এখানে μ_0 = শূন্য স্থানের চৌম্বক প্রবেশ্যতা, dl = পথের ব্যবধান সরণ ভেক্টর, $\oint$ = প্রতীক দ্বারা বন্ধ পথে সমাকলন।

ব্যাখ্যা : মনে করি, একটি পরিবাহী তারের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে। বিদ্যুৎ প্রবাহের দরুন সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি চৌম্বক শলাকাকে স্থাপন করলে এটি সাম্যাবস্থান হতে বিচ্যুত হবে। কিন্তু শলাকাটিকে সাম্যাবস্থান হতে বিচ্যুত করতে হলে এর উপর একটি ঘূর্ণন বল বা টর্ক (Torque) ক্রিয়া করবে। এই টর্কের মান হবে,

$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{B}$ ... ... (4.20)

বা, $\tau = pB \sin\theta$ ... ... (4.21)

এখানে, p = চুম্বক শলাকার চৌম্বক ভ্রামক,

B = চৌম্বক ক্ষেত্রের মান এবং

θ = $\vec{p}$ এবং $\vec{B}$-এর মধ্যবর্তী কোণ।

কোনো চৌম্বক দণ্ডের জন্য $\vec{p}$ একটি ধ্রুব সংখ্যা।

$\therefore \quad \tau \propto B$

তারের মধ্য দিয়ে বিভিন্ন প্রবাহমাত্রা চালনা করে এবং তারটি হতে বিভিন্ন দূরত্বে সংশ্লিষ্ট B-এর মান নির্ণয় করলে দেখা যাবে চৌম্বক ক্ষেত্র B, i-এর সমানুপাতে ও দূরত্ব r-এর ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হবে।

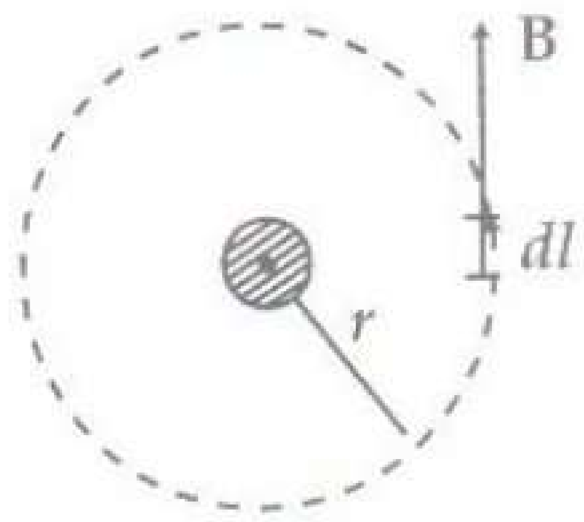
$\therefore \quad B \propto \frac{i}{r}$

বা, $B = \text{ধ্রুব সংখ্যা} \times \frac{i}{r}$ ... ... (4.22)

এই ধ্রুব সংখ্যাটিকে $\frac{\mu_0}{2\pi}$ ধরলে সমীকরণ (4.18) সিদ্ধ হয়। সুতরাং এই ধ্রুবকটির মান $\frac{\mu_0}{2\pi}$-ই ধরা হবে। এখানে μ_0= মাধ্যমের প্রবেশ্যতা (Permeability of the medium)। এর মান $4\pi \times 10^{-7}$ ওয়েবার/অ্যাম্পিয়ার-মিটার।

$\therefore$ সমীকরণ (4.22) হতে পাই, $B = \frac{\mu_0}{2\pi} \times \frac{i}{r} = \frac{\mu_0}{2\pi r} i$ ... ... (4.23)

সমীকরণ (4.23) অনুযায়ী, $B(2\pi r) = \mu_0 i$ ... ... (4.24)



চিত্র ৪.১১

কিন্তু $2\pi r$ হলো r ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি বৃত্তের পরিধি। আবার ঐ বৃত্তের পরিধির উপর সকল বিন্দুতে B-এর মান সমান [চিত্র ৪.১১] এবং প্রত্যেক বিন্দুতে B-এর দিক ঐ বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক বরাবর। সুতরাং প্রত্যেক বিন্দুতে B এবং বৃত্তের পরিধির ক্ষুদ্র অংশের মধ্যকার কোণের মান শূন্য।

সমীকরণ (4.20) এর বাম পার্শ্বকে $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$ হিসেবে প্রকাশ করা যায়।

এখানে, $d\vec{l}$ = পথের ব্যবধান সরণ ভেক্টর।

$\therefore$ আমরা পাই,

$$\boxed{\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.25)$$

এটাই হলো অ্যাম্পিয়ার-এর সূত্র।

বিভিন্ন পরীক্ষা-নিরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেছে যে, উপরোক্ত সূত্রটি যে কোনো চৌম্বক ক্ষেত্র, প্রবাহমাত্রা এবং সমাকলন পথের জন্য সত্য।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি সলিনয়েডের দৈর্ঘ্য 2 মিটার এবং গড় ব্যাস 2 সে.মি.। এর ভেতর 10 স্তর আছে। প্রত্যেক স্তরে 1000 পাক আছে। এর মধ্য দিয়ে 5 অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে ক্ষেত্র প্রাবল্য এবং সলিনয়েডের কেন্দ্রে ফ্লাক্স নির্ণয় কর।

১ম ক্ষেত্রে

মনে করি ক্ষেত্র প্রাবল্য = B

$\therefore B = \mu_0 i \times n$ ... ... (i)

এখানে $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ ওয়েবার/অ্যাম্পিয়ার মিটার

$i = 5$ অ্যাম্পিয়ার, $n = \frac{10 \times 1000}{2} = 5000$ পাক/মিটার

সমীকরণ (i) থেকে পাই,

$B = 4\pi \times 10^{-7} \times 5 \times 5000$

$= 3.14 \times 10^{-2}$ ওয়েবার/মিটার^2

২য় ক্ষেত্রে

মনে করি ফ্লাক্স = ϕ_B

$\therefore \phi_B = B \times A = B \times \pi r^2$

চৌম্বক মোমেন্ট = মেরুশক্তি × চৌম্বক দৈর্ঘ্য

এখানে $r = \frac{2}{2} = 1$ সেমি $= 10^{-2}$ m

$\phi_B = 3.14 \times 10^{-2} \times 3.14 \times (10^{-2})^2$

$= 9.87 \times 10^{-2} \times 10^{-4} = 9.87 \times 10^{-6}$ ওয়েবার

৪.৪ গতিশীল চার্জের উপর চৌম্বক বল
Magnetic force on a moving charge

আমরা জানি যে বিদ্যুৎ প্রবাহ বৈদ্যুতিক চার্জের গতির ফলে সৃষ্টি হয়। আবার কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। তাহলে বলা যেতে পারে যে, চলমান বৈদ্যুতিক চার্জ চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে।

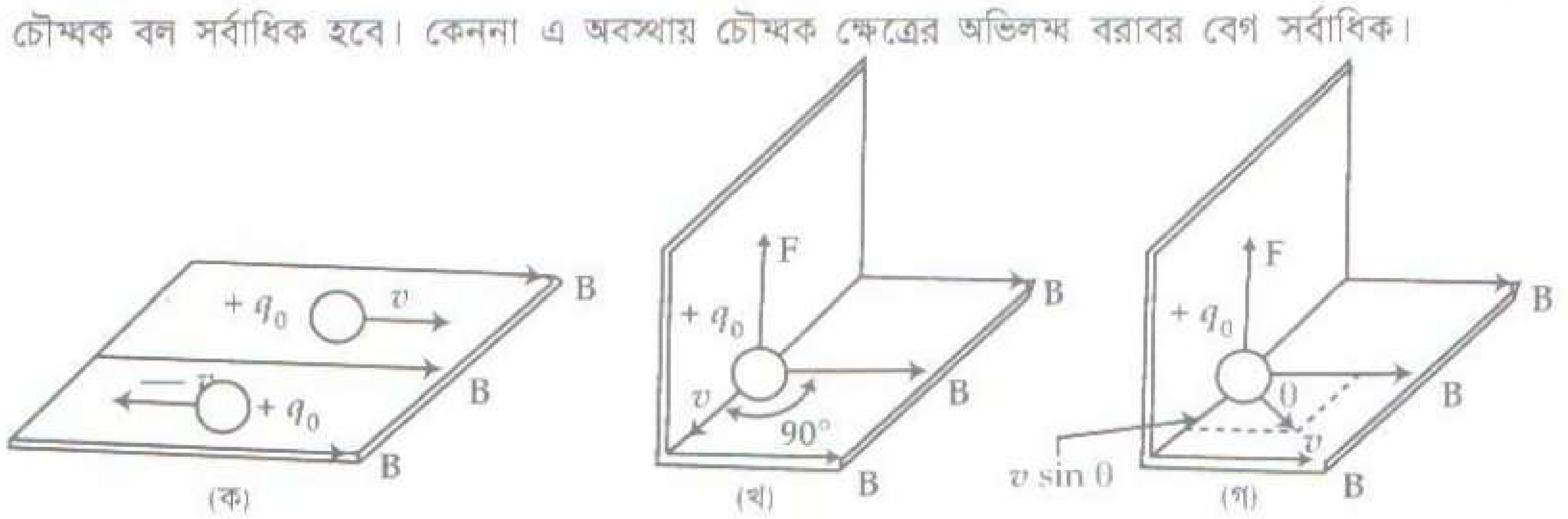
চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে গতিশীল চার্জের উপর চৌম্বক বলের মান ও দিক
Magnitude and direction of Magnetic force on a charge moving in a magnetic field

আমরা জানি যে একটি চার্জকে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে চার্জটি বৈদ্যুতিক বল অনুভব করে। স্বাভাবিক-ভাবে প্রশ্ন জাগে কোনো চার্জকে চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে ঐ চার্জটি **চৌম্বক বল** অনুভব করবে কিনা ? এই প্রশ্নের জবাব হলো, হ্যাঁ। তবে অবশ্যই দুটি শর্ত পূরণ করতে হবে :

(১) চার্জটি অবশ্যই গতিশীল হতে হবে। তা স্থির থাকলে চৌম্বক বল ক্রিয়াশীল হবে না।

(২) চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব বরাবর গতিশীল চার্জের বেগের উপাংশ (component) থাকতে হবে।

ব্যাখ্যা : চিত্র ৪.১২(ক)-এ একটি গতিশলি চার্জ $\vec{v}$ বেগে চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে প্রবাহিত হচ্ছে। চার্জটি গতিশীল হওয়া সত্ত্বেও এ অবস্থায় চার্জের উপর কোনো চৌম্বক বল কাজ করবে না। অর্থাৎ চার্জটি কোনো বল অনুভব করবে না। কেননা চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব বরাবর বেগ শূন্য; সুতরাং উপরে উল্লেখিত ২নং শর্ত পূরণ করেনি। চিত্র ৪.১২(খ) ও ৪.১২(গ)-এ চার্জটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সঙ্গে যথাক্রমে 90° কোণে এবং θ কোণে গতিশীল রয়েছে। উভয় ক্ষেত্রেই চার্জটি চৌম্বক বল অনুভব করবে। তবে চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ এবং চার্জের বেগ $\vec{v}$-এর মধ্যবর্তী কোণ যখন 90° তখন চৌম্বক বল সর্বাধিক হবে। কেননা এ অবস্থায় চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব বরাবর বেগ সর্বাধিক।



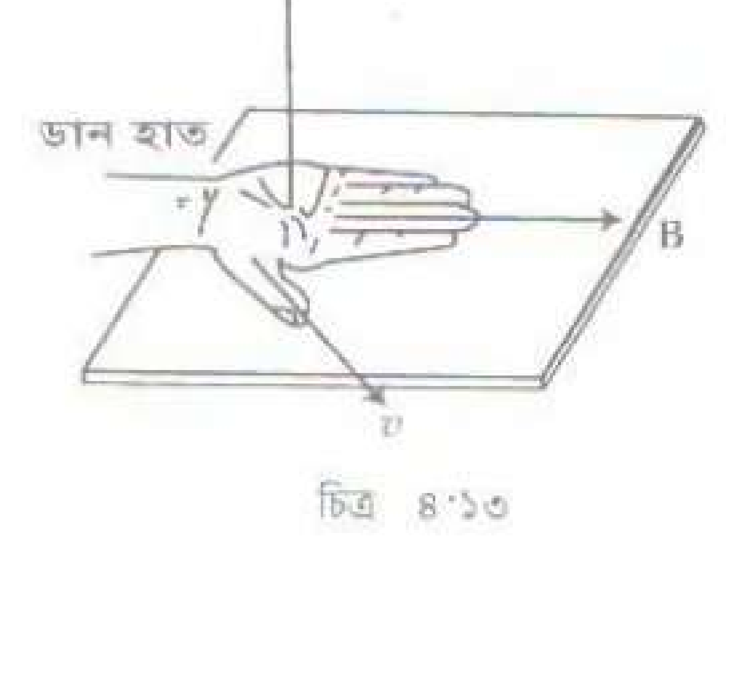
চিত্র ৪.১২

চৌম্বক বল $\vec{F}$-এর দিক হবে বেগ $\vec{v}$ এবং চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এর উভয়ের উপর লম্ব। অর্থাৎ $\vec{v}$ এবং $\vec{B}$ যে তলে রয়েছে $\vec{F}$ ঐ তলের উপর লম্ব হবে। বল $\vec{F}$ নির্ণয়ের জন্য ডান হস্ত নিয়ম-১ [Right hand rule-1, সংক্ষেপে, RHR-1] প্রয়োগ করতে হবে [চিত্র ৪.১২]।

ডান হস্ত নিয়ম–১ : ডান হস্ত বিস্তৃত করলে অঙ্গুলিগুলির দিক চৌম্বক ক্ষেত্র এবং বৃদ্ধাঙ্গুলি চার্জের বেগ নির্দেশ করলে ধনাত্মক চার্জের ক্ষেত্রে হাতের তালুর উপরে বহির্মুখী লম্ব চৌম্বক বলের দিক নির্দেশ করবে। ঋণাত্মক চার্জের ক্ষেত্রে বল বিপরীতমুখী অর্থাৎ হাতের তালুর ভেতরের দিকে লম্ব বরাবর হবে।

একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে চার্জিত কণার গতি পরীক্ষা করে জানা যায় যে,

(i) চৌম্বক বল F-এর মান কণাটির চার্জ বা আধান q, দ্রুতি v এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের মান B-এর সমানুপাতিক।



চিত্র ৪.১৩

(ii) চার্জিত কণার বেগ $\vec{v}$ এবং চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এর অন্তর্ভুক্ত কোণের সাইনের সমানুপাতিক।

(iii) চৌম্বক বলের অভিমুখ $\vec{v}$ এবং $\vec{B}$ যে তলে থাকে সেই তলের লম্ব দিকে হয়।

বলের মান : উপরের পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে দেখা যায় যে, কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের সাথে সমকোণে q চার্জ v বেগে গতিশীল [চিত্র ৪'১৩] হলে ঐ চার্জটি F বল লাভ করে; তাহলে একক চার্জ একক বেগে গতিশীল হলে $\frac{F}{qv}$ বল লাভ করবে। সুতরাং চৌম্বক ক্ষেত্রের মান

$$B = \frac{F}{qv} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.26)$$

কিন্তু চার্জটি যদি চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে গতিশীল না হয়ে θ কোণে গতিশীল হয় [চিত্র ৪'১২(গ)] সেক্ষেত্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান হবে

$$B = \frac{F}{qv \sin\theta}$$

$$\therefore \quad F = qvB \sin\theta \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.27)$$

এবং ভেক্টর পদ্ধতিতে,

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.28)$$

(i) যখন $\theta = 0$, তখন $F = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.29)$

এ অবস্থায় চার্জটি কোনো বল অনুভব করে না।

আবার, (ii) $\theta = 90°$ তখন $F = qvB \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.30)$

এ অবস্থায় চার্জটি সর্বাধিক বল অনুভব করে।

সমীকরণ (4.30)-এ, $q = 1$ একক, $v = 1$ একক হলে $F = B$ হয়। অর্থাৎ **একক আধানকে একক বেগে কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের সাথে লম্বভাবে গতিশীল করলে আধানটির ওপরে ক্রিয়াশীল বলের মান ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের বলের মানের সমান।**

দিক : এই বল চৌম্বক ক্ষেত্র এবং চার্জিত কণার গতি উভয়েরই অভিমুখের সাথে লম্বভাবে ক্রিয়া করে।

নিজে কর : দুটি অসীম দীর্ঘ সমান্তরাল তারের মধ্য দিয়ে সমতড়িৎ প্রবাহ i প্রবাহিত হচ্ছে। দুটি তার থেকে সমদূরবর্তী বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র কি হবে যখন (i) উভয় তারে প্রবাহ একই দিক অভিমুখী এবং (ii) প্রবাহদ্বয় বিপরীত দিক অভিমুখী ?

(i) তড়িৎবাহী তার দুটি থেকে সমদূরবর্তী বিন্দুতে উভয় তারে সমমাত্রার একই অভিমুখী প্রবাহের দরুন উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র সমান ও বিপরীতমুখী হওয়ায় ঐ বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান শূন্য হবে।

(ii) দুটি তারের সমদূরবর্তী বিন্দুতে উভয়ের প্রবাহমাত্রা বিপরীতমুখী হওয়ার দরুন উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্রদ্বয় সমান ও সমমুখী, ফলে ঐ বিন্দুতে নীট চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বিগুণ হবে।

অনুসন্ধান কর : একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি তড়িতাধান অবস্থিত। আধানের উপর চৌম্বক ক্ষেত্র কি কোনো বল প্রয়োগ করবে যদি (i) আধান স্থির অবস্থায় থাকে, (ii) চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে আধান গতিশীল হয়, (iii) চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের সমকোণে আধান গতিশীল হয় ?

(i) স্থির আধানের উপর চৌম্বক ক্ষেত্র কোনো বল প্রয়োগ করে না। (ii) গতিশীল আধান তড়িৎ প্রবাহের সমতুল্য, ফলে চৌম্বক ক্ষেত্রেরও সৃষ্টি হয়। কিন্তু এক্ষেত্রে যেহেতু প্রবাহের অভিমুখ চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখে সুতরাং আধানের উপর কোনো বল প্রযুক্ত হবে না। (iii) চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের সমকোণে আধান গতিশীল হলে চার্জটি সর্বাধিক বল অনুভব করে।

জানার বিষয় : I. যখন l দৈর্ঘ্যের পরিবাহীর মধ্য দিয়ে I পরিমাণ প্রবাহ চৌম্বকক্ষেত্র B এর সাথে লম্বভাবে স্থাপন করা হয় তখন ইলেকট্রনের উপর প্রযুক্ত বল $F = IlB$। এখানে $I = nAqv$, $F = nAlqv = Nqv$, N = মোট ইলেকট্রনের সংখ্যা, n = প্রতি একক আয়তনে ইলেকট্রনের সংখ্যা।

II. তড়িৎবাহী পরিবাহক যদি চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে θ কোণে থাকে, তাহলে $F = IlB \sin\theta$ হয়।

III. দুটি সমান্তরাল বিদ্যুৎবাহী তারের মধ্যবর্তী দূরত্ব r এবং I_1 ও I_2 প্রবাহের জন্য l দৈর্ঘ্যের উপর প্রযুক্ত বল, $F = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi r}$.

IV. দুটি সমমুখী সমান্তরাল প্রবাহ পরস্পরকে আকর্ষণ করে আর বিপরীতমুখী প্রবাহ পরস্পরকে বিকর্ষণ করে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি দীর্ঘ সোজা তারের মধ্য দিয়ে 2A তড়িৎ প্রবাহ চলছে। একটি ইলেকট্রন তার থেকে 0.1m দূরে থেকে তারের সমান্তরালে কিন্তু প্রবাহের বিপরীত দিকে 3×10^5 ms^{-1} বেগে চলছে। তড়িৎ প্রবাহের জন্য সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্র ইলেকট্রনের উপর কত বল প্রয়োগ করবে? ইলেকট্রনের চার্জ 1.6×10^{-19} C।

এখানে,
তড়িৎ প্রবাহ, $I = 2A$
তার থেকে ইলেকট্রনের দূরত্ব, $a = 0.1$ m
ইলেকট্রনের বেগ, $v = 3 \times 10^5$ ms^{-1}
ইলেকট্রনের চার্জ, $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C
বল, $F = ?$

আমরা জানি,

$$F = qvB \sin\theta$$

এখানে $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7}\ \text{TmA}^{-1} \times 2\text{A}}{2\pi \times 0.1\ \text{m}}$$

$$= 4 \times 10^{-6}\ \text{T}$$

$$\therefore F = 1.6 \times 10^{-19}\ \text{C} \times 3 \times 10^5\ \text{ms}^{-1} \times 4 \times 10^{-6}\ \text{T} \times \sin 90^\circ$$

$$= 1.92 \times 10^{-19}\ \text{N}$$

২। 0.5 Tesla সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 60° কোণে একটি ইলেকট্রন 10^5 ms^{-1} বেগে চলতে থাকলে (i) ইলেকট্রনটির উপর ক্রিয়াশীল বলের মান নির্ণয় কর।

(ii) ইলেকট্রনের ত্বরণ কত হবে ?

[ব. বো. ২০০৭, কু. বো. ২০০৫, রা. বো. ২০০১]

এখানে,
$q = e = 1.6 \times 10^{-19}$ C
$v = 10^5$ ms^{-1}
$B = 0.5$ Tesla
$m_e = 9.11 \times 10^{-31}$ kg
$\theta = 60^\circ$
$F = ?$
$a = ?$

(i) আমরা জানি,

$$F = qvB \sin\theta$$

$$\therefore F = 1.6 \times 10^{-19} \times 10^5 \times 0.5 \times \sin 60^\circ$$

$$= 6.93 \times 10^{-15}\ \text{N}$$

(ii) আবার,

ত্বরণ, $a = F/m_e$

$$\therefore a = \frac{6.93 \times 10^{-15}}{9.11 \times 10^{-31}}$$

$$= 7.6 \times 10^{15}\ \text{ms}^{-2}$$

৪.৫ হল প্রভাব বা হল ক্রিয়া
Hall effect

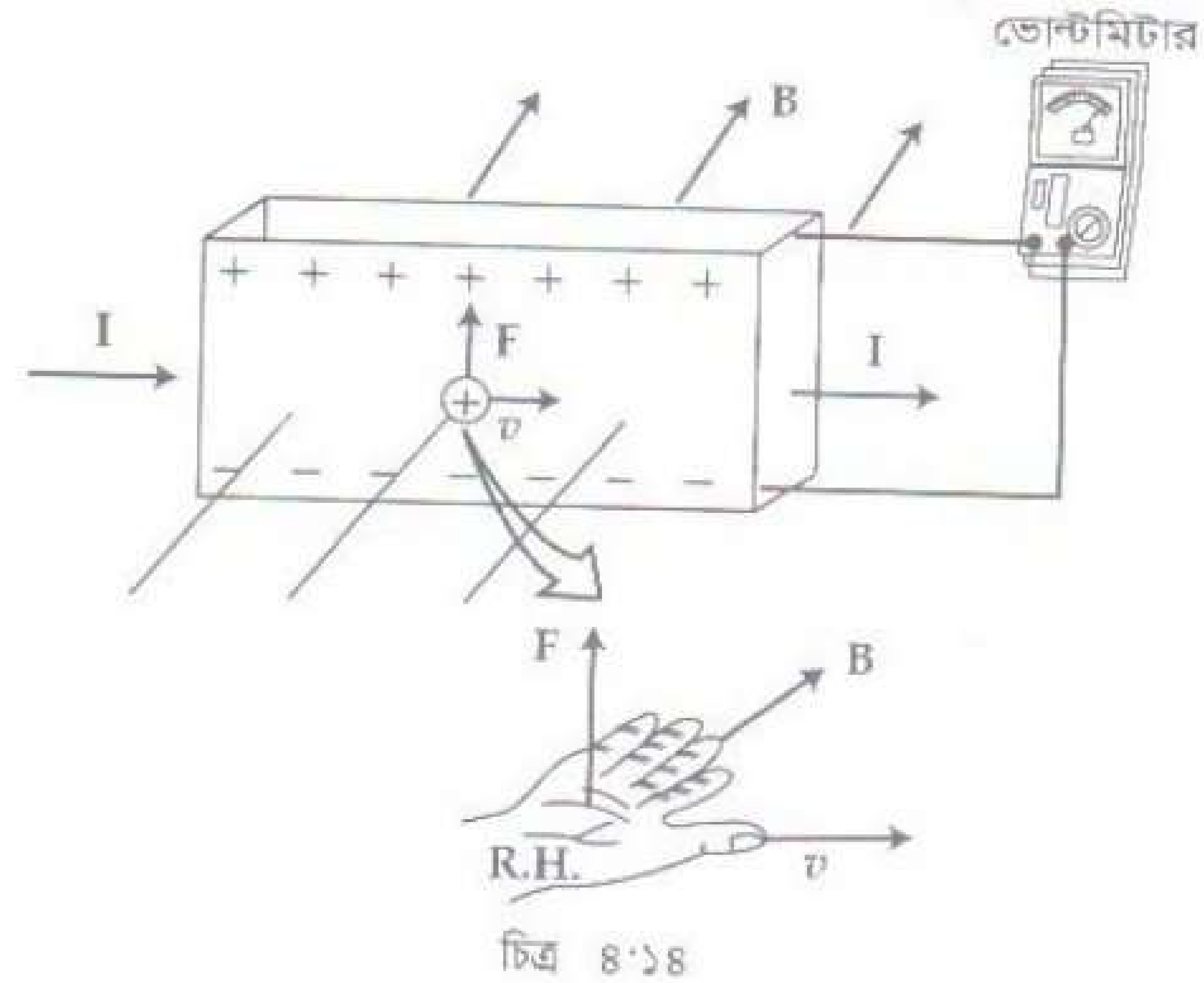
আমরা জানি, ধাতব পরিবাহীতে বিদ্যুৎ সঞ্চালন ইলেকট্রনের গতির জন্য হয়। ইলেকট্রনের চার্জ ঋণাত্মক। তবে সব ক্ষেত্রেই যে বিদ্যুৎ প্রবাহ ঋণাত্মক চার্জ দ্বারা সৃষ্টি হয় তা নয়। অর্ধপরিবাহী পদার্থ যেমন জার্মেনিয়াম, সিলিকন ইত্যাদিতে বিদ্যুৎ প্রবাহ ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক উভয় ধরনের চার্জ দ্বারা সৃষ্টি হয়। তবে এক্ষেত্রে ঋণাত্মক বা ধনাত্মক চার্জের কোন সঞ্চালন ক্রিয়া সক্রিয় তা নির্ভর করে অর্ধপরিবাহী পদার্থ তৈরির প্রক্রিয়ার উপর। কোনো পদার্থে বিদ্যুৎ সঞ্চালন ঋণাত্মক বা ধনাত্মক কোন প্রকৃতির চার্জ দ্বারা সৃষ্ট তা জানার জন্য এবং চার্জের সংখ্যা নির্ণয়ের জন্য আমেরিকান বিজ্ঞানী ই. এইচ. হল (E. H. Hall) 1879 সালে একটি পরীক্ষা সম্পাদন করেন। বর্তমানে এ পদ্ধতি বিভিন্ন ক্ষেত্রে বহুলভাবে ব্যবহৃত হয়। এই ক্রিয়া থেকে চৌম্বক ক্ষেত্রও পরিমাপ করা যায়। ইলেকট্রনের ধারণার আগে হল ক্রিয়া আবিষ্কৃত হয়। ফলে বিদ্যুৎ প্রবাহ যে ইলেকট্রনের প্রবাহের জন্য তা জানা ছিল না। হল প্রভাব বা হল ক্রিয়ার সংজ্ঞা নিম্নোক্তভাবে দেয়া যায় :

কোনো তড়িৎবাহী পরিবাহককে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে তড়িৎ প্রবাহ ও চৌম্বক ক্ষেত্র উভয়ের সাথে লম্ব বরাবর একটি বিভব পার্থক্যের সৃষ্টি হয় তথা ভোল্টেজ উৎপন্ন হয়। এই ঘটনাকে হল প্রভাব বা হল ক্রিয়া বলে এবং সৃষ্ট বিভব পার্থক্যকে বলা হয় হল বিভব পার্থক্য বা হল ভোল্টেজ।

হল এর পরীক্ষা : একটি পাতলা ও চওড়া ধাতব পরিবাহী পাত নিয়ে পাতের মধ্য দিয়ে দৈর্ঘ্য বরাবর বিদ্যুৎ প্রবাহিত করি।

পাতটিকে একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্র B-এ এমনভাবে স্থাপন করি যেন চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ পাতের চওড়া পৃষ্ঠের অভিলম্ব বরাবর থাকে। এক্ষেত্রে ধাতব পাতে ধনাত্মক চার্জের সঞ্চালনের জন্য বিদ্যুৎ প্রবাহ সৃষ্টি হয়েছে হল-এর চার্জের প্রকৃতি এবং সংখ্যা নির্ণয়ের পদ্ধতি চিত্র ৪.১৪-এ দেখানো হলো।

আমরা জানি গতিশীল চার্জের উপর চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে চার্জ চৌম্বক বল দ্বারা বিক্ষিপ্ত হবে। ফ্লেমিং-এর ডান হস্ত নিয়মানুসারে $\vec{F}$ বল পাতের উর্ধ্বমুখে ক্রিয়াশীল হবে (যেহেতু চার্জ ধনাত্মক)। তবে প্রবাহী চার্জ ঋণাত্মক হলে এর বিপরীত অবস্থা হবে। অর্থাৎ পাতের নিচের দিকে বল ক্রিয়া করবে। এ পরীক্ষণে ধনাত্মক চার্জ পাতের উপরের পৃষ্ঠে জমা হবে এবং সম পরিমাণ ঋণাত্মক চার্জ নিচের পৃষ্ঠে জমবে। বিপরীত পৃষ্ঠদ্বয়ে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক চার্জ জমা হওয়ার কারণে পৃষ্ঠদ্বয়ের মধ্যে বিদ্যুচ্চালক বল উৎপন্ন হবে। উপরের পৃষ্ঠে উচ্চ বিভব এবং নিচের পৃষ্ঠে নিম্ন বিভব সৃষ্টি হবে। পৃষ্ঠদ্বয়ের মধ্যে সৃষ্ট এ বিদ্যুচ্চালক বল বা বিভব পার্থক্যকে **হল বিদ্যুচ্চালক বল** (Hall emf) বা **হল ভোল্টেজ** (Hall voltage) বলা হয়। হল ভোল্টেজ ভোল্টমিটার দিয়ে পরিমাপ করা যায় (চিত্রে দেখানো হয়েছে)। জমাকৃত এ ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক চার্জ বিদ্যুৎ ক্ষেত্র সৃষ্টি করবে। বিদ্যুৎ ক্ষেত্রের জন্য বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার উপর বৈদ্যুতিক বল ক্রিয়াশীল হবে যা



চিত্র ৪.১৪

চৌম্বক বলের বিপরীতমুখী হবে। এই দুই বলের মান সমান হলে সাম্যাবস্থা সৃষ্টি হবে। পুনঃ প্রবাহ যদি ঋণ চার্জের জন্য হয় তবে হল বিদ্যুচ্চালক বলের অভিমুখ বিপরীতমুখী হবে। এই পরীক্ষণ থেকে চার্জের প্রকৃতি এবং চার্জের সংখ্যা উভয়ই নির্ধারণ করা যায়।

(ক) চার্জের প্রকৃতি নির্ণয়

উপরে বর্ণিত পরীক্ষণ হতে দেখা যায় যে বিদ্যুৎ প্রবাহ ধনচার্জের জন্য হলে পাতের প্রস্থ বরাবর উপরের পৃষ্ঠের বিভব (V_u) নিচের পৃষ্ঠের বিভব (V_l) অপেক্ষা বড় হবে।

অর্থাৎ $V_{ul} = (V_u - V_l)$ = ধনসংখ্যা হবে।

আবার প্রবাহ ঋণচার্জের জন্য হলে বিপরীত অবস্থা হবে।

অর্থাৎ নিচের পৃষ্ঠের বিভব V_l উপরের পৃষ্ঠের বিভব অপেক্ষা বড় হবে ($V_u < V_l$)

সুতরাং $V_{ul} = (V_u - V_l)$ = ঋণাত্মক হবে।

এ থেকে আমরা আধানের প্রকৃতি নির্ণয় করতে পারি।

(খ) হল ভোল্টেজের সাহায্যে একক আয়তনে চার্জের সংখ্যা নির্ণয়

ধরা যাক,

q = প্রতিটি চার্জের আধান
v = চার্জের বেগ
n = প্রতি একক আয়তনে চার্জের সংখ্যা
B = চৌম্বক আবেশ বা ফ্লাক্স ঘনত্ব (Flux density)
E = পৃষ্ঠদ্বয়ের মধ্যে উৎপন্ন হল ভোল্টেজের জন্য সৃষ্ট বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র
V_H = হল ভোল্টেজ
d = পাতের প্রস্থ
b = পাতের বেধ বা পুরুত্ব

সুতরাং, বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র, $E = \frac{V_H}{d}$ ... (4.31)

বা, $\boxed{V_H = Ed}$ $\boxed{E = vB}$ $\cancel{V_H = vBd}$ $\boxed{V_H = Bvd}$ ... (4.32)

প্রতিটি চার্জের উপর ক্রিয়াশীল বৈদ্যুতিক বল $F_e = qE$ হয়। হিসাব করে দেখা যায়, হল বিভবের জন্য প্রতি একক আয়তনে চার্জের সংখ্যা $\boxed{n = \frac{JB}{qE}}$ ... ... (4.33)

বা, $n = \frac{JB}{qE}$ ... ... (4.34)

এখানে J = বিদ্যুৎ প্রবাহ ঘনত্ব = nqb এবং $E = vB$ ... ... (4.35)

ইলেকট্রনের বেগ, চুম্বক ক্ষেত্রের মান, পরিবাহীর প্রস্থ, চার্জ ধ্রুব রাশি হওয়ায় গাণিতিকভাবে হল ভোল্টেজের মান পাওয়া যায় $V_H = \frac{BI}{nbq}$ ... ... (4.36)

বা, $n = \frac{BI}{V_H bq}$ এটি একক আয়তনে চার্জ বাহকের সংখ্যা নির্দেশ করে।

4.36 সমীকরণে B, I, b, q ধ্রুব রাশি, কাজেই $V_H \propto \frac{1}{n}$ ... ... (4.37)

অর্থাৎ হল ভোল্টেজ প্রতি একক আয়তনে চার্জ বাহকের ব্যস্তানুপাতিক।

গাণিতিক উদাহরণ

১। অর্ধপরিবাহী পদার্থের একটি ফলক (slab)-এর প্রস্থ 0·03 m এবং পুরত্ব 1×10^{-3} m। ফলকটি 1·2 T চৌম্বক ক্ষেত্রে এমনভাবে স্থাপন করা হলো যেন ফলকটির তল এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ পরস্পর লম্ব হয়। ফলকটির ভিতর দিয়ে ইলেকট্রন প্রবাহের জন্য 100 A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে (ক) হল বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র ; (খ) হল বিভব পার্থক্য এবং (গ) প্রতি একক আয়তনে মুক্ত ইলেক্ট্রন সংখ্যা নির্ণয় কর (মুক্ত ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ 4×10^{-4} ms^{-1})।

মনে করি হল বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র $= E_H$

হল বিভব পার্থক্য $= V_H$

এবং প্রতি একক আয়তনে মুক্ত ইলেকট্রন সংখ্যা $= n$

(ক) আমরা জানি,

$$E_H = vB$$
$$= (4 \times 10^{-4}\,\text{ms}^{-1})(1{\cdot}2\,\text{T})$$
$$= 4{\cdot}8 \times 10^{-4}\,\text{Vm}^{-1}$$

(খ) $$V_H = E_H d$$
$$= (4{\cdot}8 \times 10^{-4}\,\text{Vm}^{-1})(1 \times 10^{-3}\,\text{m})$$
$$= 4{\cdot}8 \times 10^{-7}\,\text{V}$$

(গ) $$i = nevA$$

বা, $$n = \frac{i}{evA} = \frac{100\,\text{A}}{(1{\cdot}6 \times 10^{-19}\,\text{C})(4 \times 10^{-4}\,\text{ms}^{-1})(3 \times 10^{-5}\,\text{m}^2)}$$
$$= 5{\cdot}2 \times 10^{28}\,\text{m}^{-3}$$

এখানে,
$b = 0{\cdot}03$ m
$d = 1 \times 10^{-3}$ m
$B = 1{\cdot}2$ T
$i = 100$ A
$v = 4 \times 10^{-4}$ ms^{-1}
প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $= 0{\cdot}03 \times 1 \times 10^{-3}\,\text{m}^2 = 3 \times 10^{-5}\,\text{m}^2$
$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C

২। 0·02 m প্রস্থের একটি ধাতব পাত 6 Wbm^{-2} চৌম্বক আবেশ ক্ষেত্রে পরস্পরের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত। পাতের মধ্যে ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ 4×10^{-3} ms^{-1} হলে সৃষ্ট হল বিভবের মান নির্ণয় কর।

[রা. বো. ২০০৭; ঢা. বো. ২০০১]

আমরা জানি, হল বিভব,

$$V_H = Bvd$$
$$\therefore V_H = 6 \times 4 \times 10^{-3} \times 0{\cdot}02$$
$$= 4{\cdot}8 \times 10^{-4}\ \text{Volts}$$

এখানে,
$B = 6$ Wbm^{-2}
$v = 4 \times 10^{-3}$ ms^{-1}
$d = 0{\cdot}02$ m
$V_H = ?$

৪.৬ পরিবাহী তার ও চৌম্বক ক্ষেত্রের বল
Conducting wire and force in magnetic field

আমরা জানি, একটি তারের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। অ্যালুমিনিয়ামের তৈরি আয়তাকার আয়তনের কাঠামোর উপরে একটি সূক্ষ্ম অন্তরীত তামার তারকে বহুসংখ্যক পাকে জড়িয়ে এরূপ একটি কুণ্ডলী তৈরি করে স্থায়ী অশ্বাকৃতি চুম্বকের NS এর মধ্যে স্থাপন করে তারের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত করা হয়। এই কৌশল চল কুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারে ব্যবহৃত হয়। নিম্নে চৌম্বক ক্ষেত্রে রক্ষিত এরূপ একটি কুণ্ডলীতে বিদ্যুৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট বল ও টর্ক আলোচনা করা হলো।

প্রবাহী লুপের উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্রিয়াশীল টর্ক
Torque on a current carrying coil in magnetic field

আমরা জানি যে বিদ্যুৎ প্রবাহবাহী তার কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করলে অথবা প্রবাহবাহী তারের উপর চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে এর উপর চৌম্বক বল ক্রিয়াশীল হয়। এ বলের মান হয়

$F = IlB \sin\theta$ ... ... (4.38)

এবং ভেক্টর রূপ,

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B} \qquad \cdots \quad \cdots \quad (4.39)$$

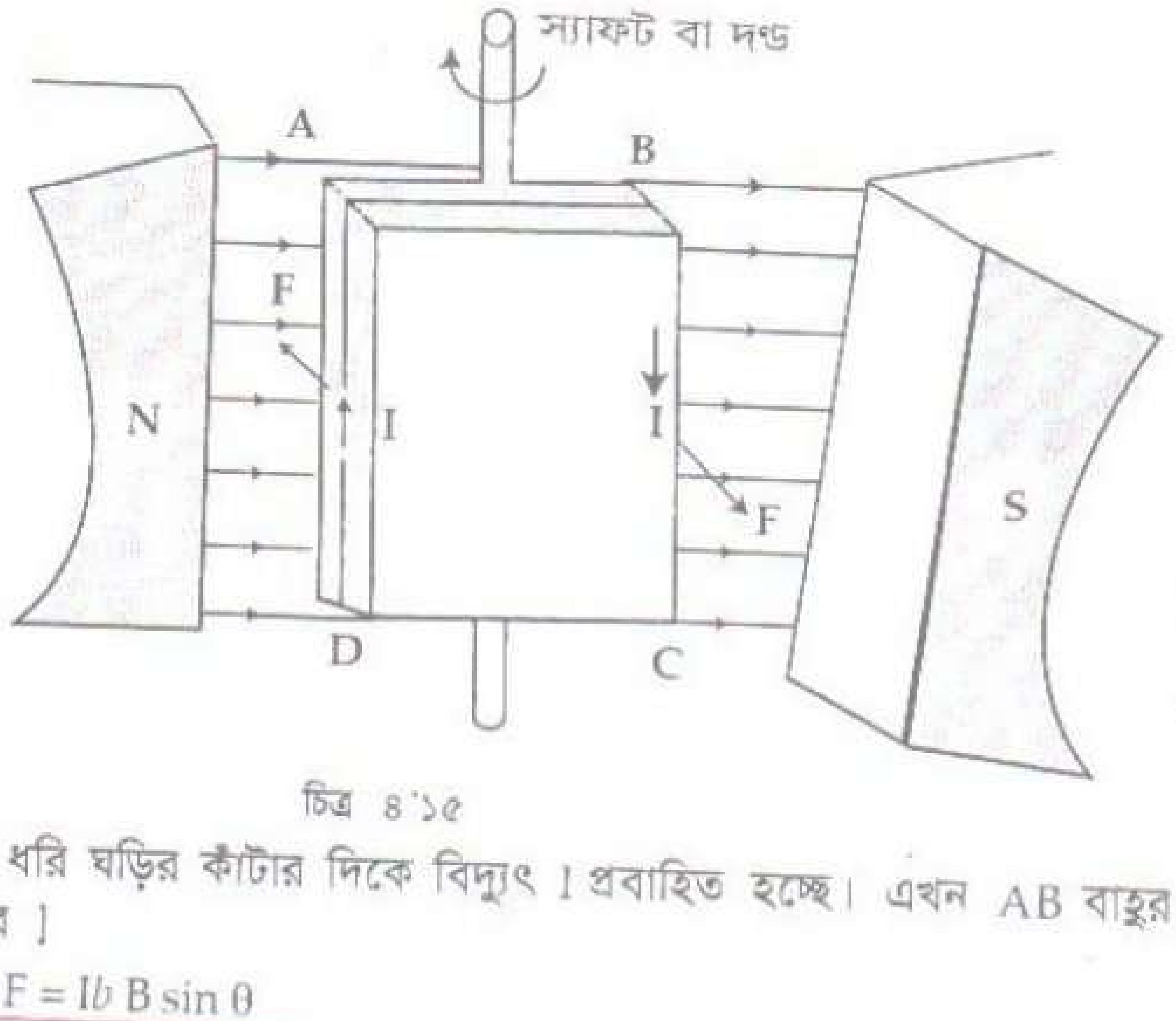
$\vec{l}$ সরণ ভেক্টর যার দিক বিদ্যুৎবাহী সরল তারের ক্ষেত্রে প্রবাহের দিকে।

যদি একটি বিদ্যুৎবাহী তারের লুপ (Loop) সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে যথোপযুক্তভাবে ঝুলিয়ে দেওয়া হয়, তবে চৌম্বক বল লুপের উপর টর্ক বা ব্যবর্তন বল সৃষ্টি করে যা লুপটিকে মোচড় বা ঘুরানোর চেষ্টা করে। এই টর্ক বা ব্যবর্তন বল অনেক ধরনের ডিভাইস (Device) বা যন্ত্র যেমন গ্যালভানোমিটার, বৈদ্যুতিক মোটর, জেনারেটর ইত্যাদি পরিচালনার কাজে ব্যবহৃত হয়। এখন একটি আয়তাকার তারের লুপে টর্কের রাশিমালা বের করব।

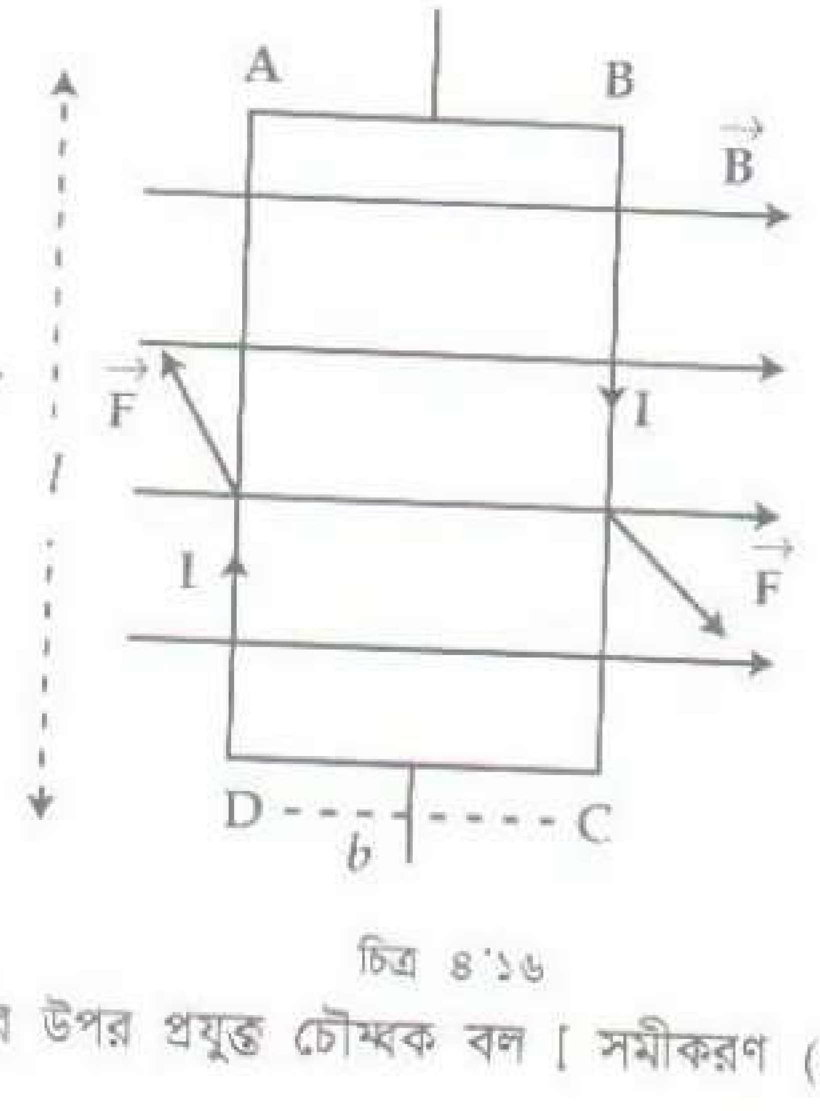
ধরি ABCD একটি ক্ষুদ্র আয়তাকার বিদ্যুৎবাহী লুপ বা কুন্ডলী একটি সুষম চুম্বক ক্ষেত্র B-এর মধ্যে স্থাপন করা হয়েছে। কুণ্ডলী তল চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে রয়েছে। লুপটি একটি স্যাফট বা দণ্ডের সাথে এমনভাবে সংযুক্ত করা হয়েছে যাতে এটি মুক্তভাবে ঘুরতে পারে [চিত্র ৪'১৫]। বোঝার সুবিধার্থে চিত্রটি সহজ করে ৪'১৬ চিত্রে দেখান হলো। লুপটির চারটি বাহু AB, BC, CD এবং DA-এর উপর ক্রিয়াশীল বলসমূহের লব্ধি লুপটির উপর নিট বল হিসেবে কাজ করবে। লুপটি আয়তাকার বলে

$AB = DC = b$ (লুপটির প্রস্থ)

এবং $AD = BC = l$ (লুপটির দৈর্ঘ্য)



চিত্র ৪'১৫



চিত্র ৪'১৬

ধরি ঘড়ির কাঁটার দিকে বিদ্যুৎ I প্রবাহিত হচ্ছে। এখন AB বাহুর উপর প্রযুক্ত চৌম্বক বল [সমীকরণ (4.38) অনুসারে]

$F = IbB\sin\theta$

$= 0 \qquad [\because \vec{b}$ এবং $\vec{B}$ -এর মধ্যবর্তী কোণ, $\theta = 0$]

আবার,

CD -এর উপর ক্রিয়াশীল বল,

$F = IbB\sin\theta = 0 \qquad [\because \theta = 180°]$

AB ও CD এর উপর ক্রিয়াশীল বল সমান ও বিপরীতমুখী হওয়ায় কোনো সরণ হবে না এবং বলদ্বয়ের ক্রিয়ামুখ একই সরলরেখায় হওয়ায় কোনো দ্বন্দ্ব সৃষ্টি হবে না। AD বাহুর উপর ক্রিয়াশীল বল,

$F = IlB\sin\theta = IlB \qquad [\because \vec{l}$ ও $\vec{B}$ -এর মধ্যবর্তী কোণ $\theta = 90°$]

এবং BC-এর উপর ক্রিয়াশীল বল,

$F = IlB\sin\theta = IlB \qquad [\because \theta = 90°]$

বলের দিক নির্ণয়ের ডান হস্ত নিয়ম অনুসারে AD ও BC এর উপর ক্রিয়াশীল বল বিপরীতমুখী হবে এবং এদের ক্রিয়ামুখ একই সরলরেখায় না হওয়ায় লুপটি একটি নিট টর্ক বা ব্যবর্তন বল অনুভব করবে যার ফলে লুপটি দণ্ডের সাপেক্ষে ঘড়ির কাঁটার দিকে ঘুরে যাবে। এখন

নিট টর্ক = বল × ক্রিয়াশীল বলদ্বয়ের মধ্যবর্তী লম্ব দূরত্ব

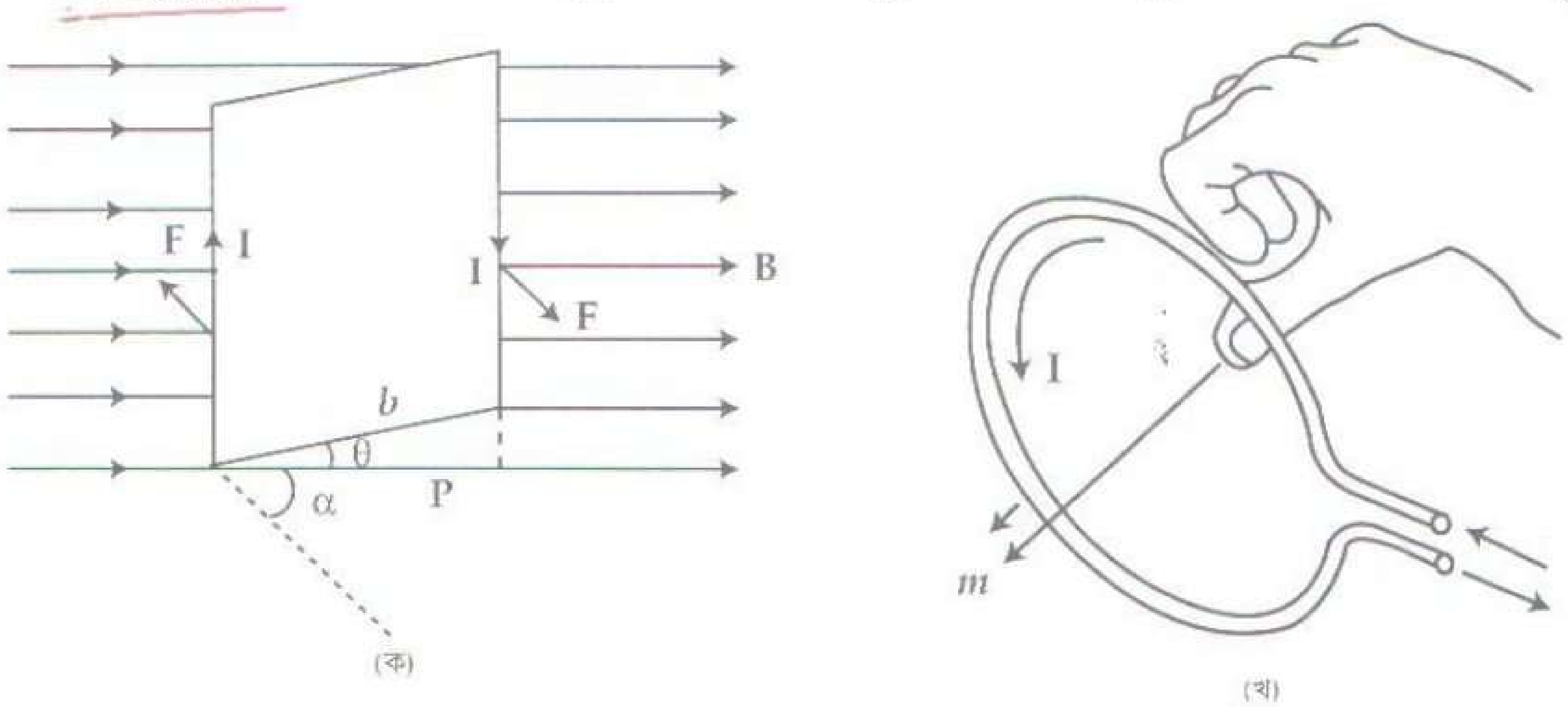
$= F \times b = IlB \times b = IlbB$

$= IAB$

এখানে $A = lb$, লুপের ক্ষেত্রফল।

একটি তারকে পেঁচিয়ে যদি N সংখ্যক লুপের কুণ্ডলী তৈরি করা হয় তবে কুণ্ডলীর প্রত্যেক পার্শ্বে ক্রিয়াশীল বল একটি একক লুপের N গুণ হবে এবং টর্কও N গুণ হবে। সে অবস্থায় নিট টর্ক হবে,

$$\tau = NIAB \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.40)$$



চিত্র ৪.১৭

যদি কুণ্ডলী তল চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে θ কোণে অবস্থান করে অর্থাৎ $\vec{b}$ ও $\vec{B}$ -এর মধ্যবর্তী কোণ θ হয় [চিত্র ৪.১৭(ক)], তবে বলদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব

$$P = b\cos\theta$$

$$\therefore \quad \vec{\tau} = NIAB\cos\theta$$

$= NIAB\cos(90° - \alpha)$, α হলো লুপ তলের অভিলম্ব এবং B-এর মধ্যবর্তী কোণ।

$$= NIAB\sin\alpha \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.41)$$

ভেক্টররূপে লেখা যায়,

$$\tau = NI\vec{A} \times \vec{B} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.42)$$

$\vec{A}$-কে ক্ষেত্রফল ভেক্টর বলে। $NI\vec{A}$ -কে কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক (magnetic moment) $\vec{M}$ বলা হয়। $\vec{M}$-এর দিক হবে $\vec{A}$ -এর দিক বরাবর।

$$\vec{\tau} = \vec{M} \times \vec{B} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.43)$$

অর্থাৎ **কোনো বিদ্যুৎবাহী কুণ্ডলীর বিদ্যুৎ প্রবাহ এবং কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল ভেক্টরের গুণফলকে ঐ কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক বলে।**

$\vec{M}$-এর দিক নির্ণয় : ডান হাতের আঙ্গুলগুলো বিদ্যুৎ প্রবাহের দিক নির্দেশ করলে বৃদ্ধাঙ্গুলি যে দিক নির্দেশ করে সেটিই হবে $\vec{M}$ -এর দিক [চিত্র ৪.১৭(খ)]

বিদ্যুৎবাহী কুণ্ডলীর ভ্রামক যত বেশি হবে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে কুণ্ডলী তত বেশি টর্ক অনুভব করবে। সমীকরণ (4.42) অনুসারে কুণ্ডলীর প্যাঁচ সংখ্যা ও ক্ষেত্রফল বৃদ্ধি করে কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামক বৃদ্ধি করা যায়।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপিত তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর ওপর টর্কের উৎপত্তি ঘটে কেন ?

চৌম্বকক্ষেত্রে স্থাপিত কোনো তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর ওপর টর্ক উৎপন্ন হয়। এখানে দুই বাহুতে প্রবাহের অভিমুখ বিপরীত দিকে। প্রবাহের অভিমুখ বিপরীত দিকে হওয়ায় বাহু দুটির ওপর ক্রিয়াশীল বলের দিকও বিপরীতমুখী হয়। সুতরাং কুণ্ডলীর দুই বাহুর ওপর দুটি সমান, সমান্তরাল ও বিপরীতমুখী বল ক্রিয়া করে। এদের ক্রিয়ামুখ একই সরলরেখায় না হওয়ায় এরা একটি দ্বন্দ্বের সৃষ্টি করে। ফলে কুণ্ডলীর উপর টর্ক ক্রিয়া করে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। 1m দীর্ঘ একটি সোজা তারের মধ্য দিয়ে 5A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তারটি 0·1 Wb m^{-2} ফ্লাক্স ঘনত্বের একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 30° কোণে একই তলে অবস্থান করলে কত মানের বল অনুভব করবে ?

ধরি নির্ণেয় বল = F

আমরা পাই, $F = Bil \sin \theta$

$\therefore$ বল, $F = 0.1 \text{ Wb m}^{-2} \times 5\text{A} \times 1 \text{ m} \times \sin 30°$

$= 0.5 \times \frac{1}{2} \frac{\text{Wb.A}}{\text{m}}$

$= 0.25 \frac{\text{Nm}}{\text{m}} = 0.25\text{N}$

এখানে,
$B = 0.1 \text{ Wb m}^{-2}$
$i = 5\text{A}$
$l = 1\text{m}$
$\theta = 30°$

২। 100 পাক ও 5×10^{-2} m ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি বৃত্তাকৃতির কুণ্ডলীতে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা 1 অ্যাম্পিয়ার। একে 1.5×10^{-2} Wbm^{-2} বিশিষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রে 30° কোণে রাখলে কত মানের টর্ক কুণ্ডলীতে প্রযুক্ত হবে ?

ধরি নির্ণেয় টর্ক = τ

আমরা পাই,

$$\tau = niBA \sin \alpha \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

সমীকরণ (1)-এ মানগুলো বসিয়ে পাওয়া যায়,

এখানে,
$n = 100$
$r = 5 \times 10^{-2}\text{m}$
$A = \pi r^2 = 3.14 \times (5 \times 10^{-2}\text{ m})^2$
$i = 1\text{ A}$
$\alpha = 30°$
$B = 1.5 \times 10^{-2} \text{ Wb m}^{-2}$।

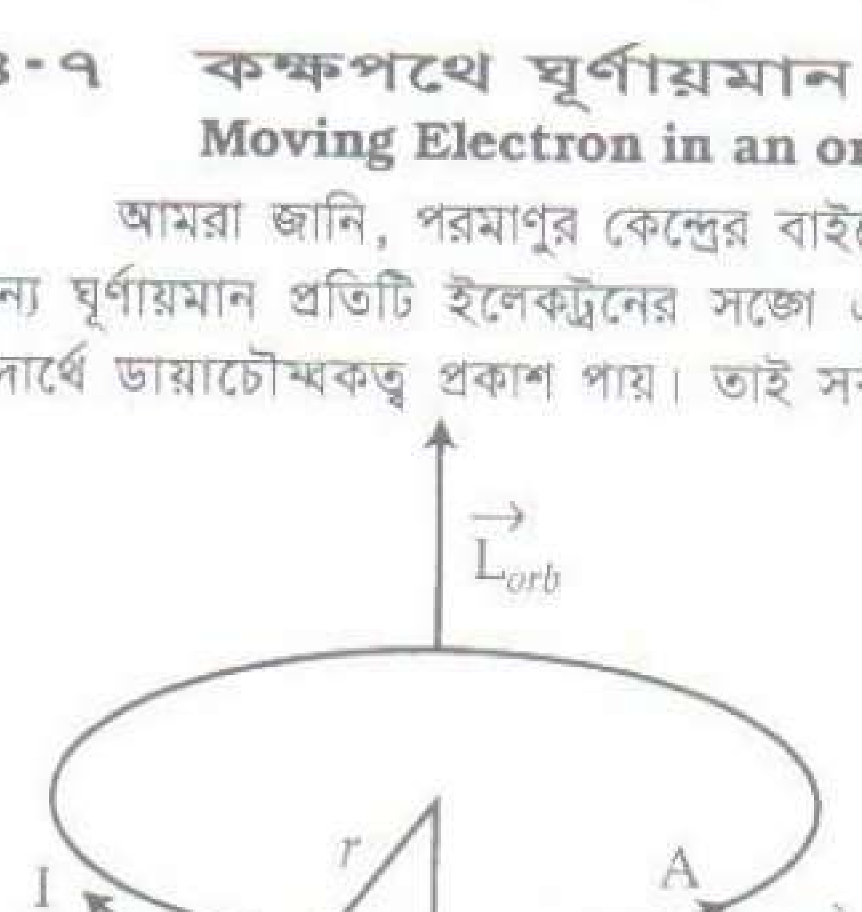
$\tau = 100 \times 1\text{A} \times 1.5 \times 10^{-2} \text{ Wb m}^{-2} \times 3.14 \times (5 \times 10^{-2} \text{ m})^2 \times \sin 30°$

$= 1.5 \times 3.14 \times 25 \times 10^{-4} \times \frac{1}{2} \text{Wb A}$

$= 5.88 \times 10^{-3} \text{N m.} \quad [\because \text{Wb A} = \text{N m}]$

৪·৭ কক্ষপথে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রন
Moving Electron in an orbit

আমরা জানি, পরমাণুর কেন্দ্রের বাইরে নির্দিষ্ট কক্ষপথে ইলেকট্রন আবর্তন করে। ইলেকট্রনের এই কক্ষীয় গতির জন্য ঘূর্ণায়মান প্রতিটি ইলেকট্রনের সঙ্গে একটি কক্ষীয় চৌম্বক মোমেন্ট রয়েছে। পরমাণুতে এই কক্ষীয় গতির জন্য পদার্থে ডায়াচৌম্বকত্ব প্রকাশ পায়। তাই সকল পদার্থে ডায়াচৌম্বকত্ব বিদ্যমান রয়েছে। কিন্তু এর প্রভাব খুবই দুর্বল। যে সকল পদার্থ নিট চৌম্বক মোমেন্টবিশিষ্ট পরমাণু দ্বারা গঠিত অর্থাৎ যে সব পদার্থে প্যারা- বা ফেরোচৌম্বকত্ব প্রকাশ পায় সেগুলোতে ডায়াচৌম্বকত্ব থাকা সত্ত্বেও দুর্বলতার কারণে এর প্রভাব থাকে না।



চিত্র ৪·১৮

মনে করি, একটি ইলেকট্রন ধ্রুব বেগ v নিয়ে r ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে অর্থাৎ পরমাণুর কক্ষপথে ঘড়ির কাটার বিপরীত দিকে আবর্তন করছে [চিত্র ৪·১৮]। ইলেকট্রনের এই গতিকে প্রচলিত প্রবাহের (I) এর সাথে তুলনা করা যেতে পারে। বৃত্তাকার পথে ঘূর্ণনের জন্য ইলেকট্রনের একটি অরবিটাল কৌণিক ভরবেগ L এবং একটি চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক μ_l থাকে। এক্ষেত্রে ইলেকট্রনের ঘূর্ণনের দিক তড়িৎ প্রবাহের বিপরীত দিকে। এ ধরনের একটি বিদ্যুৎ প্রবাহিত লুপের বা কক্ষপথে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের অরবিটাল চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক

$$\mu_l = IA \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4.44)$$

এখানে A = বদ্ধ লুপের ক্ষেত্রফল = πr^2

এই চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামকের দিক ডান হাতি সূত্রের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়। e ঋণ চার্জবিশিষ্ট ইলেকট্রনের সমগ্র বৃত্তাকার পথ ঘুরতে $T = \frac{2\pi r}{v}$ সময়ের প্রয়োজন হলে

প্রবাহমাত্রা, $I = \frac{\text{চার্জ}}{\text{সময়}} = \frac{e}{2\pi r / v}$

সমীকরণ (4.44) থেকে পাই,

$$\mu_l = \frac{e}{2\pi r/v} \times \pi r^2$$

$$\text{বা,}\quad \mu_l = \frac{evr}{2} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (4.45)$$

r এবং v পরস্পর লম্ব হওয়ায় অরবিটাল কৌণিক ভরবেগ

$$\vec{L} = m(\vec{r} \times \vec{v})$$

$$\text{বা,}\quad L = mrv \sin 90^\circ = mrv \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (4.46)$$

সমীকরণ (4.45) এবং (4.46) থেকে লেখা যায়

$$\vec{\mu}_l = -\frac{e}{2m}\vec{L} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (4.47)$$

– ve চিহ্নের অর্থ হলো $\vec{\mu}_l$ এবং $\vec{L}$ পরস্পর বিপরীতমুখী।
কোয়ান্টাম বলবিদ্যার ক্ষেত্রেও একই ফলাফল পাওয়া যায়।

৪·৮ ইলেকট্রন স্পিন ও চৌম্বক ক্ষেত্র
Electron Spin and Magnetic Field

আমরা জানি, যে কোনো অণু বা পরমাণুতে ইলেকট্রন রয়েছে। এই ইলেকট্রনগুলো পরমাণুর নিউক্লিয়াসের চারদিকে অনবরত ঘুরছে। ঘূর্ণায়মান চার্জিত কণা হিসেবে প্রতিটি ইলেকট্রন চৌম্বক দ্বিমেরুর মতো আচরণ করে।

কক্ষপথে ঘূর্ণন গতি ছাড়াও প্রতিটি ইলেকট্রন নিজের অক্ষের সাপেক্ষে আবর্তন (পৃথিবীর আহ্নিক গতির অনুরূপ) করে বলে ধরা হয়। একে ইলেকট্রনের **স্পিন** বলে। প্রতিটি ইলেকট্রনেরই পরস্পর বিপরীতমুখী দুই ধরনের স্পিনের যে কোনো একটি স্পিন থাকে। এক ধরনের স্পিন দক্ষিণাবর্তী যাকে বলা হয় **ঊর্ধ্বমুখী স্পিন** (up spin) এবং একে ↑ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। বিপরীত ধরনের স্পিন হলো **নিম্নমুখী স্পিন** (down spin) যা ↓ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। স্পিনের দরুন ইলেকট্রনের একটি চৌম্বক ভ্রামক উৎপন্ন হয়। একে অক্ষীয় চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক বলে। যেহেতু ইলেকট্রনের ভর আছে সেহেতু ইলেকট্রনের একটি স্বাভাবিক কৌণিক ভরবেগ থাকবে। এই কৌণিক ভরবেগকে বলা হয় অক্ষীয় কৌণিক ভরবেগ।

একটি ইলেকট্রনের স্বাভাবিক অক্ষীয় কৌণিক ভরবেগ S এবং অক্ষীয় চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক μ_s হলে এদের মধ্যে সম্পর্ক হলো—

$$\vec{\mu}_s = -\frac{e}{m}\vec{S} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (4.48)$$

ঋণাত্মক চিহ্ন দ্বারা $\vec{\mu}_s$ এবং $\vec{S}$ এর দিক পরস্পর বিপরীতমুখী তা বোঝানো হয়েছে। কক্ষপথে ইলেকট্রনের কক্ষীয় গতি (orbital motion) ও স্পিন গতি (spin motion) এই দুইয়ের চৌম্বক ভ্রামকের লব্ধি হলো ইলেকট্রনের মোট চৌম্বক ভ্রামক $\vec{\mu}$ [সমীকরণ (4.47) ও (4.48) যোগ করে]।

$$\therefore\quad \vec{\mu} = \vec{\mu}_l + \vec{\mu}_s = \left(\frac{-e}{2m}\right)(\vec{L} + 2\vec{S}) \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (4.49)$$

এখানে e এবং m যথাক্রমে ইলেকট্রনের চার্জ ও ভর।

গাণিতিক উদাহরণ

১। হাইড্রোজেন পরমাণুতে ইলেকট্রন যখন কক্ষপথে ঘূর্ণনশীল হয় তখন এর চৌম্বক ভ্রামক মান কত?

আমরা জানি,

$$\mu_1 = -\left(\frac{e}{2m}\right) L$$

শুধু মান বিবেচনা করে,

$$\mu_1 = \frac{eh}{4\pi m} \quad \left(\because L = \frac{h}{2\pi}\right)$$

$$= \frac{1{\cdot}6 \times 10^{-19}\,\text{C} \times 6{\cdot}63 \times 10^{-34}\,\text{Js}}{4 \times 3{\cdot}14 \times 9{\cdot}1 \times 10^{-31}\,\text{kg}}$$

$$= 9{\cdot}27 \times 10^{-24}\,\text{Am}^2$$

এখানে,

ইলেকট্রনের ভর, $m = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg
প্লাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js
ইলেকট্রনের চার্জ, $e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C
চৌম্বক ভ্রামক, $\mu_1 = ?$

৪.৯ পৃথিবীর চৌম্বকত্ব এবং এর চৌম্বকত্ব উপাদান
Terrestrial Magnetism and its Magnetic elements

পৃথিবীর চুম্বকত্ব
Terrestrial Magnetism

1600 খ্রিস্টাব্দে রাণী এলিজাবেথের পারিবারিক চিকিৎসক ড. গীলবার্ট বিভিন্ন পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেন যে, পৃথিবী একটি চুম্বক। সাধারণ চুম্বকের মতো এর দুটি মেরু আছে। দক্ষিণ মেরু কানাডার উত্তর দিকে **বুথিয়া উপদ্বীপে** এবং উত্তর মেরু অ্যান্টার্কটিকা মহাদেশের দক্ষিণে **ভিকটোরিয়া** অঞ্চলে অবস্থিত। **পদার্থবিজ্ঞানের যে শাখায় পৃথিবীর চুম্বকত্ব এবং এতদসংক্রান্ত বিভিন্ন বিষয় জানা যায় তাকে ভূ-চুম্বকত্ব বা পৃথিবীর চৌম্বকত্ব বলে।**

ভূগোলক হিসেবে পৃথিবীর দুটি মেরু আছে। এর উত্তর প্রান্তের মেরুর নাম **ভৌগোলিক উত্তর মেরু** এবং দক্ষিণ প্রান্তের মেরুর নাম **ভৌগোলিক দক্ষিণ মেরু**। যেহেতু বিপরীত মেরুতে আকর্ষণ ঘটে, সুতরাং মুক্তভাবে ঝুলন্ত চৌম্বক শলাকা বা সাধারণ চুম্বকের উত্তর এবং দক্ষিণ মেরু যথাক্রমে ভূ-চুম্বকের দক্ষিণ এবং উত্তর মেরুর দিকে অবস্থান করে। এজন্য আমরা সাধারণভাবে বলে থাকি যে, ভূ-চুম্বকের দক্ষিণ মেরু ভৌগোলিক উত্তর মেরুর দিকে এবং ভূ-চুম্বকের উত্তর মেরু ভৌগোলিক দক্ষিণ মেরুর দিকে থাকে। তবে প্রকৃতপক্ষে **ভূ-চুম্বকের দক্ষিণ মেরু ভৌগোলিক উত্তর মেরু হতে প্রায় 2500 km পশ্চিমে এবং ভূ-চুম্বকের উত্তর মেরু ভৌগোলিক দক্ষিণ মেরু হতে 2200 km পূর্বে অবস্থিত।**

চিত্র ৪.১৯

ভৌগোলিক উত্তর এবং দক্ষিণ মেরুর সংযোজক রেখাকে **ভৌগোলিক অক্ষ** বলে। তেমনি ভূ-চুম্বকের উত্তর এবং দক্ষিণ মেরুর সংযোজক রেখাকে **ভূ-চৌম্বক** অক্ষ বলে। **ভৌগোলিক অক্ষের সাথে এই ভূ-চৌম্বক অক্ষ প্রায় 18° কোণ করে আছে** [চিত্র ৪.১৯]। (১৪-১৫)

পুনঃ যেহেতু মুক্তভাবে ঝুলন্ত সাধারণ চুম্বকের উত্তর ও দক্ষিণ মেরু যথাক্রমে ভৌগোলিক উত্তর ও দক্ষিণ দিক নির্দেশ করে সেজন্য সাধারণ চুম্বকের উত্তর মেরুকে **উত্তর সন্ধানী** (North-seeking) মেরু এবং দক্ষিণ মেরুকে **দক্ষিণ সন্ধানী** (South-seeking) মেরু বলে। সংক্ষেপে তাদেরকে যথাক্রমে **উত্তর মেরু** এবং **দক্ষিণ মেরু** বলে। অনেকে ভূ-চুম্বকের উত্তর মেরুকে **নীল মেরু** (Blue pole) এবং দক্ষিণ মেরুকে **লাল মেরু** (Red pole) বলে।

ভূ-চুম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান ও অভিমুখ সর্বত্র সমান নয়। বিভিন্ন স্থানে এদের মান বিভিন্ন হয়। এজন্য ভারকেন্দ্র দিয়ে মুক্তভাবে উল্লম্ব তলে ঘুরতে পারে এমন একটি ছোট চুম্বক শলাকাকে ভূ-পৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানে নিয়ে গেলে তার চৌম্বক অক্ষ অনুভূমিকের সাথে বিভিন্ন কোণে হেলে থাকবে। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেছে যে, কোনো একটি চৌম্বক শলাকাকে ক্রমাগত ভৌগোলিক উত্তর মেরুর দিকে নিয়ে যাওয়ায় এর উত্তর মেরু ক্রমশ ভূ-পৃষ্ঠের দিকে ঝুঁকে যায় এবং ভূ-চুম্বকের উত্তর মেরুতে এর চৌম্বক অক্ষ উত্তর মেরু নিচে রেখে সম্পূর্ণ উল্লম্ব হয়ে থাকে।

বিপরীতক্রমে চৌম্বক শলাকাকে দক্ষিণ মেরুতে নিয়ে গেলে এর চৌম্বক অক্ষ দক্ষিণ মেরু নিচে রেখে সম্পূর্ণ খাড়া অবস্থায় অবস্থান করে।

কিন্তু বিষুব রেখা এবং পার্শ্ববর্তী অঞ্চলে মুক্তভাবে ঝুলন্ত চুম্বক শলাকার চৌম্বক অক্ষ প্রায় অনুভূমিক অবস্থায় অবস্থান করবে।

কাজ : পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক—ব্যাখ্যা কর।

মুক্তভাবে সুতার সাহায্যে অনুভূমিকভাবে কিছু দিন ধরে ভূপৃষ্ঠের কোনো স্থানে যদি পৃথিবীর উত্তর-দক্ষিণ মেরু বরাবর মুখ করে একটি নরম লোহার দণ্ড ঝুলিয়ে রাখা হয়, তবে দণ্ডটির মধ্যে ক্ষীণ চৌম্বক ধর্মের সৃষ্টি হয়। এছাড়া একটা বন্ধ পরিবাহী পৃথিবীর উপর যে কোনো স্থানে নাড়াচাড়া করলেও এর মধ্য দিয়ে ক্ষীণ তড়িৎ প্রবাহ লক্ষ করা যায়, যেমনটি লক্ষ করা যায় একটি পরিবাহীকে চৌম্বক ক্ষেত্রে নাড়াচাড়া করলে। এই ঘটনাগুলো পর্যালোচনা করে বিজ্ঞানীরা এই সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে পৃথিবী নিজেই একটি বিরাট চুম্বক।

ভূ-চুম্বক সম্পর্কীয় কয়েকটি রাশি
Some terms relating terrestrial magnet

(১) **ভূ-চৌম্বক মেরু** : পৃথিবী একটি চুম্বক। এর দুটি মেরু আছে। এদের নাম **ভূ-চৌম্বক মেরু**। পৃথিবীর যে দুটি স্থানে কোনো চৌম্বক শলাকাকে ভারকেন্দ্র হতে ঝুলালে তার চৌম্বক অক্ষ খাড়াভাবে অবস্থান করে ঐ দুটি স্থানেই পৃথিবীর **চৌম্বক মেরু** অবস্থিত।

(২) **চৌম্বক অক্ষ** : ভূ-চৌম্বক দুই মেরুর সংযোজক কাল্পনিক রেখাকে ভূ-চৌম্বকের **চৌম্বক অক্ষ** বলে।

(৩) **চৌম্বক মধ্যতল** : ভূ-চৌম্বকের চৌম্বক অক্ষ দিয়ে অঙ্কিত কাল্পনিক উল্লম্ব তলকে **চৌম্বক মধ্যতল** বলে।

(৪) **ভৌগোলিক অক্ষ** : ভৌগোলিক দুই মেরুর সংযোজক কাল্পনিক রেখার নাম **ভৌগোলিক অক্ষ**।

(৫) **ভৌগোলিক মধ্যতল** : ভৌগোলিক অক্ষের মধ্য দিয়ে যে উল্লম্ব তল কল্পনা করা হয়, তাকে **ভৌগোলিক মধ্যতল** বলে।

ভূ-চুম্বকত্বের উপাদান
Elements of geomagnetism

কোনো স্থানের ভূ-চুম্বকত্বের সঠিক পরিচয় ও পরিমাপের জন্য অর্থাৎ ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান এবং দিক নির্ণয়ের জন্য যে সব রাশির মান জানা দরকার তাদেরকে ভূ-চুম্বকত্বের উপাদান বা মূল রাশি বলে।

ভূ-চুম্বকত্বের উপাদান মোট তিনটি; যথা—

(১) বিচ্যুতি কোণ (Declination),

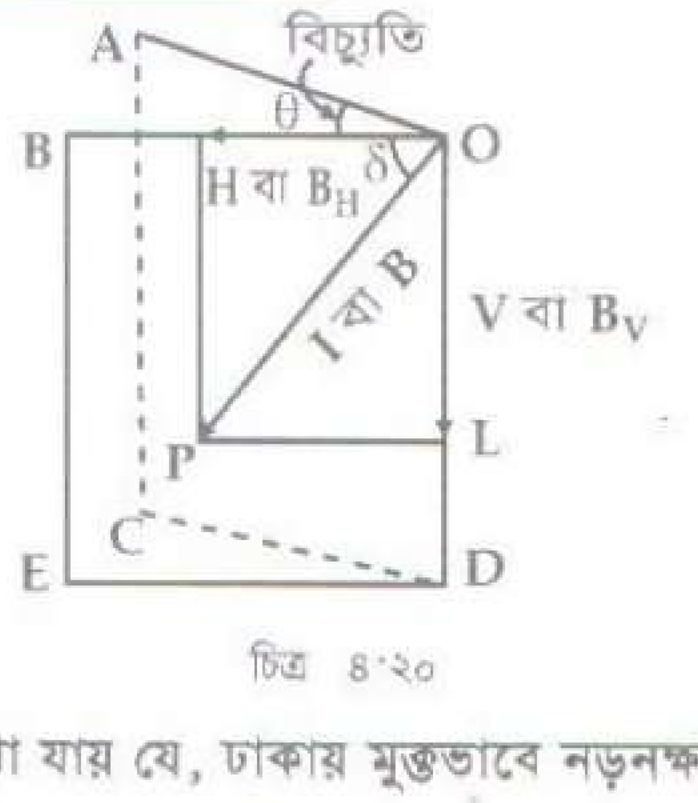
(২) বিনতি কোণ (Angle of Dip or inclination) এবং

(৩) ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য (Horizontal intensity of the earth's magnetic field)।

এখন এ তিনটি রাশি বিশদভাবে আলোচনা করা হবে।

(১) **বিচ্যুতি কোণ** : কোনো একটি চুম্বককে ভারকেন্দ্র দিয়ে মুক্তভাবে ঝুলিয়ে রাখলে ভৌগোলিক মধ্যতলের সাথে তার মধ্যতল মিলে যায় না। একটি মধ্যতল অন্য মধ্যতলকে ছেদ করে। ফলে তাদের মধ্যে একটি কোণ উৎপন্ন হয়। এই কোণকে ঐ স্থানের ভূ-চুম্বকত্বের **বিচ্যুতি কোণ বা চ্যুতি** বলে। একে **সংক্রমণ কোণও** বলা হয়।

পৃথিবীর কোনো স্থানে চৌম্বক মধ্যতল এবং ভৌগোলিক মধ্যতলের মধ্যবর্তী কোণকে ঐ স্থানের ভূ-চুম্বকত্বের বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি বলে। একে 'θ' দ্বারা প্রকাশ করা হয় ও ডিগ্রীতে মাপা হয়। পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে বিচ্যুতি কোণ বিভিন্ন। ৪.২০নং চিত্রে O স্থানে AODC তল দ্বারা ভৌগোলিক মধ্যতল ও BODE তল দ্বারা চৌম্বক মধ্যতল নির্দেশ করা হয়েছে। কাজেই $\angle AOB$ ঐ স্থানের বিচ্যুতি কোণ।



চিত্র ৪.২০

কোনো স্থানে সূচি চুম্বকের উত্তর মেরু ভৌগোলিক অক্ষের সাথে θ কোণে **পূর্বে** থাকলে ঐ স্থানের বিচ্যুতি কোণকে θ°E বা θ° পূর্ব সংক্ষেপে পূ. এবং θ কোণে পশ্চিমে থাকলে ঐ স্থানের বিচ্যুতি কোণকে θ°W বা θ° পশ্চিম সংক্ষেপে প. লেখা হয়।

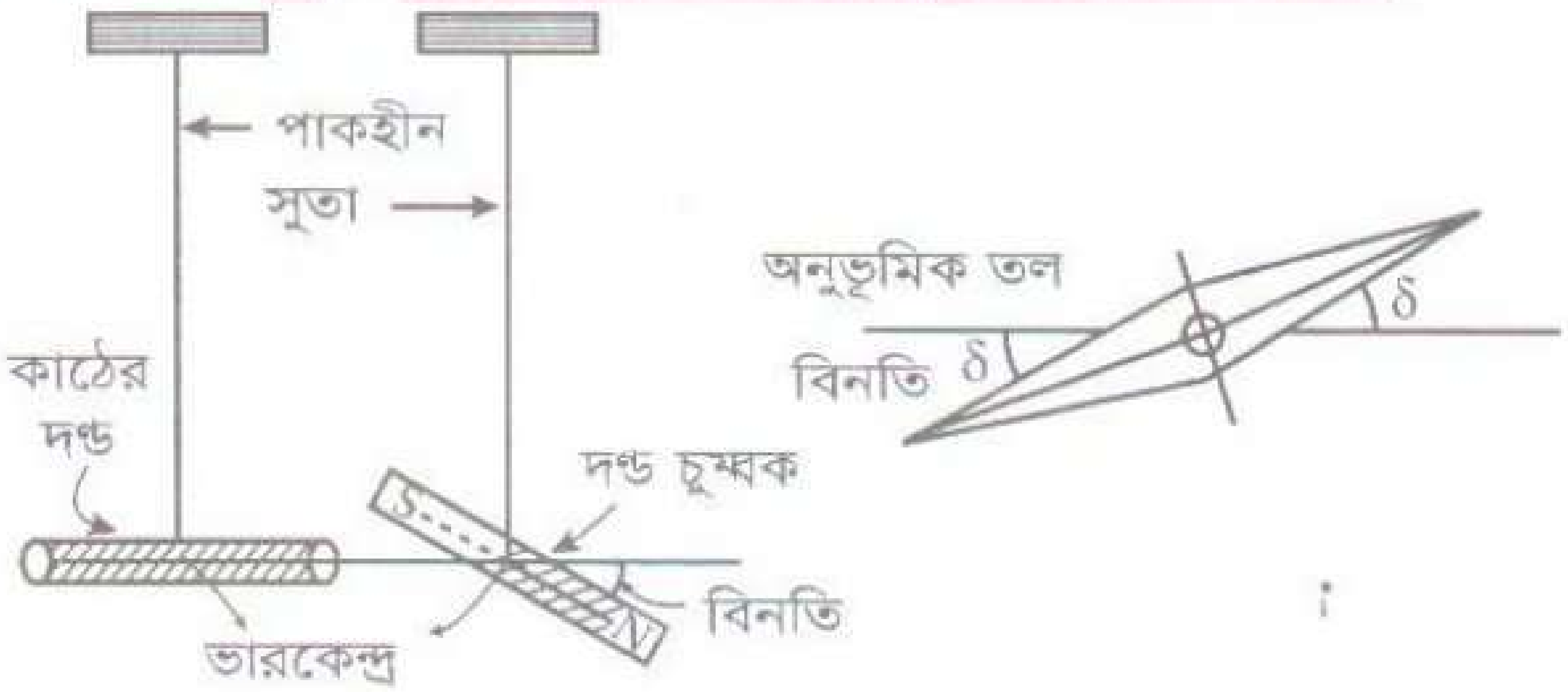
উদাহরণ : মনে করি ঢাকার বিচ্যুতি কোণ $\left(\frac{1}{2}\right)^\circ$ পূর্ব। উক্ত উক্তি দ্বারা বুঝা যায় যে, ঢাকায় মুক্তভাবে নড়নক্ষম কোনো সূচি চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ চৌম্বক মধ্যতলে থেকে ভৌগোলিক অক্ষের সাথে $\left(\frac{1}{2}\right)^\circ$ কোণ উৎপন্ন করে এবং এর উত্তর মেরু ভৌগোলিক অক্ষের পূর্ব দিকে থাকে।

(২) **বিনতি** : একটি কাঠের দণ্ডকে এর ভারকেন্দ্র হতে পাকহীন সুতার সাহায্যে ঝুলিয়ে রাখলে এর অক্ষ অনুভূমিকভাবে অবস্থান করে [চিত্র ৪.২১]। কিন্তু একটি চুম্বক কিংবা চৌম্বক শলাকাকে এর ভারকেন্দ্র হতে পাকহীন সুতার সাহায্যে ঝুলিয়ে দিলে তার চৌম্বক অক্ষ অনুভূমিকভাবে অবস্থান করে না, বরং অনুভূমিক তলের সাথে কিছু কোণ করে থাকে [চিত্র ৪.২১]। এই কোণকে **বিনতি কোণ** বলে।

পৃথিবীর কোনো স্থানে ভারকেন্দ্র দিয়ে মুক্তভাবে ঝুলন্ত চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ অনুভূমিকের সাথে যে কোণ উৎপন্ন করে স্থির থাকে, তাকে ঐ স্থানের ভূ-চুম্বকত্বের বিনতি কোণ বা বিনতি বলে। একে 'δ' দ্বারা ব্যক্ত করা হয়। পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানের বিনতি কোণ বিভিন্ন। যদি ঝুলন্ত দণ্ড চুম্বককে ভৌগোলিক উত্তর মেরুর দিকে ক্রমশ নিয়ে যাওয়া হয়, তবে দণ্ড চুম্বকের উত্তর মেরু অনুভূমিকের সাথে ক্রমশ বেশি কোণ করে নিচে অবস্থান করবে এবং এসব

চুম্বকের ধর্ম নয় → তেজস্ক্রিয় ধর্ম [M-04-05]

ক্ষেত্রে বিনতি কোণ δ°N বা δ° **উত্তর** বা δ° **উ.** লিখতে হবে। আবার ভৌগোলিক দক্ষিণ মেরুর দিকে নিয়ে গেলে দণ্ড চুম্বকের দক্ষিণ মেরু অনুভূমিকের সাথে ক্রমশ বেশি কোণে হেলে নিচে থাকবে। এ সব অবস্থানের বিনতি কোণ δ°S বা δ° **দক্ষিণ** বা δ° **দ.** লিখতে হবে। দুই মেরুতে বিনতি 90° এবং বিষুবরেখার বিনতি 0° হয়।



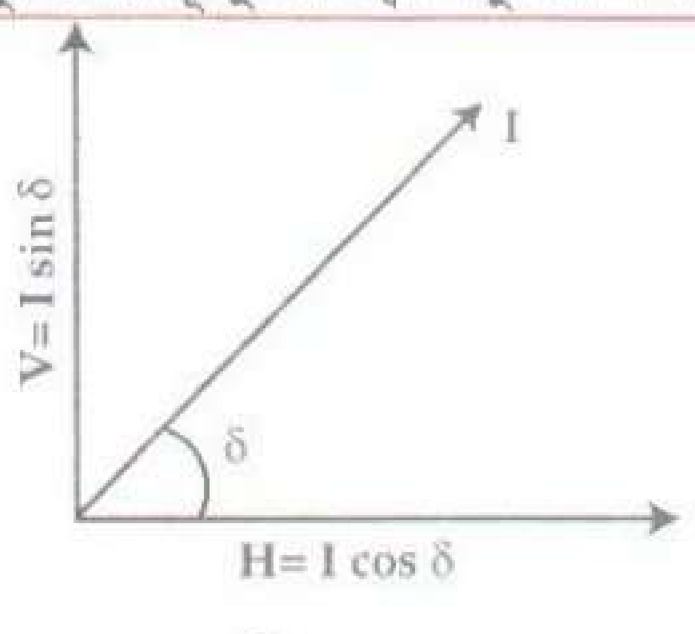
চিত্র ৪.২১

এখন প্রশ্ন জাগে বিষুবরেখায় ছাড়া অন্যত্র মুক্তভাবে ঝুলন্ত চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ অনুভূমিক তলে থাকে না কেন? পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক। সুতরাং ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের একটি দিক আছে। বিষুবরেখায় ছাড়া অন্যত্র তা অনুভূমিকের সাথে হেলে থাকে। মুক্তভাবে ঝুলন্ত চুম্বক ভূ-চুম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের দিক অনুযায়ী নিজকে স্থাপন করে বলে ঝুলন্ত চুম্বক অনুভূমিক তলে না থেকে তলের সাথে কিছু কোণ করে অবস্থান করে।

৪.২০ নং চিত্রে O স্থানে OB রেখা ভূ-চৌম্বক অক্ষ বরাবর অবস্থিত। ওই স্থানে মুক্তভাবে ঝুলন্ত চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ OP বরাবর অবস্থান করলে $\angle BOP = \delta$ ঐ স্থানের বিনতি।

উদাহরণ : "ঢাকার বিনতি কোণ 31°N" বলতে বুঝায় ঢাকায় একটি দণ্ড চুম্বককে মুক্তভাবে তার ভারকেন্দ্র হতে ঝুলালে, দণ্ড চুম্বকটির উত্তর মেরু অনুভূমিকের নিচের দিকে ঝুলে স্থির থাকবে এবং চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ অনুভূমিক তলের সাথে 31° কোণ উৎপন্ন করবে।

৩। ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক ও উল্লম্ব প্রাবল্য : পৃথিবীর কোনো স্থানে একটি একক মেরুশক্তির উত্তর মেরুর উপর ভূ-চুম্বকত্বের দরুন যে বল ক্রিয়া করে তাকে ওই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা মোট প্রাবল্য বলে।



চিত্র ৪.২২

কোনো স্থানে ভারকেন্দ্র দিয়ে মুক্তভাবে ঝুলন্ত চুম্বক ওই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের দিক নির্দেশ করে। মনে করি কোনো স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য I; এ প্রাবল্য I-কে দুটি উপাংশে ভাগ করা যায়। একটি অনুভূমিক উপাংশ H এবং অপরটি উল্লম্ব উপাংশ V [চিত্র ৪.২২]। **এ অনুভূমিক উপাংশকে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য এবং উল্লম্ব উপাংশকে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব প্রাবল্য বলে।** পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে এদের মান বিভিন্ন হয়।

কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশকে ওই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য এবং উল্লম্ব উপাংশকে ঐ স্থানের ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব প্রাবল্য বলে।

বর্ণনা অনুসারে,

$$H = I\cos\delta \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (4.50)$$

এবং $V = I\sin\delta \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (4.51)$

এখানে, δ = বিনতি কোণ।

সমীকরণ (4.50) এবং সমীকরণ (4.51)-এর বর্গ যোগে পাই,

$I^2\cos^2\delta + I^2\sin^2\delta = H^2 + V^2$

বা, $I^2(\cos^2\delta + \sin^2\delta) = H^2 + V^2$ বা, $I^2 = H^2 + V^2$

$$\therefore \quad I = \sqrt{H^2 + V^2} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (4.52)$$

আবার, সমীকরণ (4.51)-কে সমীকরণ (4.50) দ্বারা ভাগ করে পাই, $\frac{I\sin\delta}{I\cos\delta} = \frac{V}{H}$

বা, $\tan\delta = \frac{V}{H} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (4.53)$

$$\therefore \quad \delta = \tan^{-1}\frac{V}{H} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (4.54)$$

সমীকরণ (4.53) হতে পাই, $V = H \tan\delta$ ... ... (4.55)

বা, $\frac{H}{V} = \frac{1}{\tan\delta} = \cot\delta$

$\therefore \quad H = V \cot\delta$ ... ... (4.56)

[বি. দ্র. যদি ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য $\vec{I}$-এর পরিবর্তে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ ব্যবহার করা হয় তবে উপরের সমীকরণগুলোতে I-এর স্থলে B বসাতে হবে। তখন চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ এবং উল্লম্ব উপাংশ যথাক্রমে চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ এবং উল্লম্ব উপাংশ হবে এবং একক Am^{-1} এর স্থলে Tesla (T) বা weber / m^2 হবে।]

উদাহরণ : মনে করি **রাজশাহীতে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য $H = 29\ A\ m^{-1}$ পরিমাপ করা হয়েছে—** এ উক্তির অর্থ রাজশাহীতে (i) ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশের মান $H = 29\ Am^{-1}$। (ii) এক ওয়েবার মেরুশক্তির উত্তর মেরু ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের জন্য অনুভূমিক বরাবর 29 N বল অনুভব করবে। (iii) রাজশাহীতে বিনতি কোণ δ হলে, ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব প্রাবল্য, $V = 29 \tan\delta$ ও মোট প্রাবল্য, $I = 29 \sec\delta$।

পৃথিবীর চুম্বক মেরুতে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো অনুভূমিক প্রাবল্য নেই। চৌম্বক বিষুবরেখায় এর মান সর্বাধিক $30\ Am^{-1}$ হতে $32\ A\ m^{-1}$-এর মধ্যে।

ঢাকার বিনতি কোণ 31° হলে, ঢাকায় ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের উল্লম্ব ও অনুভূমিক উপাংশের অনুপাত tan 31°-এর সমান।

গাণিতিক উদাহরণ

১। কোনো স্থানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান $89 NWb^{-1}$ এবং বিনতি 60°। ওই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশের মান নির্ণয় কর। [ব. বো. ২০০৫]

আমরা জানি,

$$V = H\tan\delta = 89 \tan 60^\circ = 154{\cdot}15\ N\ Wb^{-1}$$

এখানে,
$H = 89\ N\ Wb^{-1}$
$\delta = 60^\circ$
$V = ?$

২। কোনো স্থানে $H = 36\mu T$ এবং বিনতি 45° হলে ওই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ণয় কর। [য. বো. ২০০৪]

আমরা জানি,

$H = I\cos\delta$

বা, $36 \times 10^{-6} = I \cos 45^\circ$

বা, $I = \frac{36\times10^{-6}}{\cos 45^\circ} = \frac{36\times10^{-6}}{\frac{1}{\sqrt{2}}}$

$= 36\times10^{-6} \times \sqrt{2} = 50{\cdot}911 \times 10^{-6}\,T$

$= 50{\cdot}911\ \mu T$

৩। কোনো স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য এবং বিনতি কোণ নির্ণয় ক

মনে করি মোট প্রাবল্য = I

$\therefore$ আমরা পাই,

$I = \sqrt{H^2+V^2}$ ...

এবং

$\tan\delta = \frac{V}{H}$ ...

সুতরাং (1) হতে পাই, $I = \sqrt{32^2+24^2} = 40\ Am^-$

এবং (2) হতে পাই, $\tan\delta = \frac{V}{H} = \frac{24}{32} = 0{\cdot}75 = \tan 36^\circ 52'$

$\therefore$ নির্ণেয় বিনতি কোণ $\delta = 36^\circ 52'$

❐ চুম্বক:

⇨ চুম্বকত্ব চুম্বকের একটি ভৌত ধর্ম।

⇨ চুম্বকের আকরিকের নাম ম্যাগনেটাইট।

চুম্বকের দিকদর্শী ও আকর্ষণী ধর্মকে চুম্বকত্ববলে।

জেনে রেখো: চৌম্বক আবেশ = চৌম্বক আবেশক্ষেত্র = চৌম্বকক্ষেত্র = চৌম্বক ফ্লাক্স = চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব।

ইস্পাতের: ১. নিগ্রাহীতা বা সহনশীলতা
২. প্রতি একক আয়তনে শক্তির অপচয় নরম লোহা অপেক্ষা বেশি হবে।

নরম লোহার: ১. চৌম্বক গ্রাহীতা
২. চুম্বকয়ন মাত্রা
৩. চৌম্বক প্রবেশ্যতা
৪. চৌম্বক আবেশ
৬. চৌম্বক ধারকতা ইস্পাত অপেক্ষা বেশি।

ডায়াচৌম্বক পদার্থের উদাহরণ:

আন্টি	সোনার	পাতে	মেয়েকে	বিয়ে	দিয়ে	আনন্দ	পেলেন
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
অ্যান্টমনি	সোনা	পানি	মার্বেল	বিসমাথ	দস্তা	অ্যালকোহল	পারদ

\+

রূপা, সীসা, কাঁচ, নিষ্ক্রিয় গ্যাস (He, Ar) NaCl, H

৪.১০ চৌম্বকত্ব
Magnetism

চৌম্বক পদার্থের কয়েকটি বিশেষ ধর্ম
Some special properties of magnetic substance

চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক (Magnetic dipole moment) : চৌম্বক দ্বিপোলের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট মোমেন্ট বা ভ্রামককে চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক বা সংক্ষেপে চৌম্বক ভ্রামক বলে। একটি দণ্ড চুম্বকের মেরু শক্তি m এবং চৌম্বক দৈর্ঘ্য $2l$ হলে চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক $M = m \times 2l$। চৌম্বক ভ্রামকের একক হলো Am^2।

চৌম্বক আবেশ (Magnetic induction) : কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি চৌম্বক পদার্থ (যেমন এক খণ্ড লোহা) স্থাপন করলে দেখা যায় যে, চৌম্বক পদার্থটি অস্থায়ী চুম্বকে পরিণত হয়েছে। যে প্রক্রিয়ায় চৌম্বক পদার্থ চুম্বকে পরিণত হয় তাকে চৌম্বক আবেশ বলে।

কুরীবিন্দু : যে তাপমাত্রায় কোনো একটি চুম্বকের চুম্বকত্ব সম্পূর্ণরূপে বিলুপ্ত হয়, তাকে উক্ত চুম্বকের উপাদানের কুরীবিন্দু বলে।

চৌম্বক প্রাবল্য বা তীব্রতা (Magnetic field intensity) : চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক ক্ষেত্র এবং চৌম্বক প্রবেশ্যতার অনুপাতকে চৌম্বক প্রাবল্য বা তীব্রতা বলে। চৌম্বক প্রাবল্য, $\vec{H} = \frac{\vec{B_0}}{\mu_0}$

চৌম্বক প্রবেশ্যতা (Magnetic permeability) : কোনো একটি মাধ্যমে সৃষ্ট চৌম্বক আবেশ এবং চৌম্বক প্রাবল্যের অনুপাতকে ঐ মাধ্যমের পরম প্রবেশ্যতা বা প্রবেশ্যতা বলে। চৌম্বক প্রবেশ্যতা $\mu = \frac{\vec{B}}{\vec{H}}$। অন্যভাবে বলা যায় একক প্রাবল্যবিশিষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রে কোনো চৌম্বক পদার্থ রাখলে উহার ভেতর যে ফ্লাক্স ঘনত্ব বা চৌম্বক আবেশ সৃষ্টি হয়, তাকে ঐ পদার্থের চৌম্বক প্রবেশ্যতা বলে। শূন্য মাধ্যমে $\mu = 1$ এবং $B = H$ কিন্তু মনে রাখতে হবে B ও H সংখ্যাগতভাবে সমান হলেও মাত্রা সমান নয়।

(08 – 05)

চৌম্বক ধারকতা (Magnetic retentivity) : চুম্বক বলের প্রভাব সরিয়ে নেওয়ার পর যে ধর্মের জন্য চৌম্বক পদার্থের মধ্যে কিছু পরিমাণ চুম্বকত্ব ধরে রাখা যায় তাকে ঐ পদার্থের চৌম্বক ধারকতা বলে।

চৌম্বক নিগ্রাহিতা বা সহনশীলতা (Magnetic coercivity) : চুম্বকত্ব হ্রাসের কারণসমূহ থাকা সত্ত্বেও কোনো একটি চৌম্বক পদার্থের মধ্যে উৎপন্ন চুম্বকত্ব ধরে রাখার ক্ষমতাকে ঐ পদার্থের চৌম্বক নিগ্রাহিতা বা সহনশীলতা বলে।

চুম্বকায়ন মাত্রা বা তীব্রতা (Magnetisation intensity) : চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রতি একক আয়তনের চৌম্বক ভ্রামককে উহার চুম্বকায়ন তীব্রতা বা মাত্রা বলে।

চৌম্বকত্বের আণবিক মতবাদ : আমরা জানি পদার্থ অণু-পরমাণু দ্বারা গঠিত। পরমাণুর কেন্দ্রে প্রোটন ও নিউট্রন থাকে এবং ইলেকট্রনগুলো কেন্দ্রের চতুর্দিকে বিভিন্ন কক্ষপথে পরিভ্রমণ করে। আবার নিজ নিজ অক্ষের সাপেক্ষে ইলেকট্রনগুলোর ঘূর্ণন বা স্পিন গতি (spin motion) রয়েছে। ইলেকট্রনের কক্ষীয় গতি এবং স্পিন গতির সঙ্গে সংশ্লিষ্ট মোমেন্টকে যথাক্রমে কক্ষীয় গতি ভ্রামক (orbital motion moment) এবং স্পিন গতি ভ্রামক (spin motion moment) বলে। নিউক্লিয়াসের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট মোমেন্টকে বলা হয় নিউক্লীয় চৌম্বক মোমেন্ট (Nuclear magnetic moment)। এ সকল মোমেন্টের সমষ্টিগত ক্রিয়ার ফলে পদার্থের ভিন্ন ভিন্ন চৌম্বক বৈশিষ্ট্য ও গুণাবলি প্রকাশ পায়। চৌম্বক আচরণের উপর ভিত্তি করে পদার্থসমূহকে প্যারাচৌম্বক, ডায়াচৌম্বক ও ফেরোচৌম্বক পদার্থ হিসেবে শ্রেণিবিভাগ করা হয়। শক্তিশালী চুম্বক নিয়ে পরীক্ষা করে ফ্যারাডে দেখতে পান যে, কিছু কিছু পদার্থ চুম্বক দ্বারা আকৃষ্ট হয় এবং কিছু কিছু পদার্থ বিকর্ষিত হয়।

প্যারাচৌম্বকত্ব
Paramagnetism

প্যারাচৌম্বক পদার্থে অণু, পরমাণু বা আয়নের স্থায়ী চৌম্বক মোমেন্ট থাকে। ইলেকট্রনের কক্ষীয় ভ্রামক এবং স্পিন ভ্রামকের সমষ্টিগত ক্রিয়ার ফলে এ সমস্ত পদার্থের পরমাণু বা আয়নের স্থায়ী ভ্রামক সৃষ্টি হয়। প্যারাচৌম্বক পদার্থকে বাহ্যিক চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করলে দেখা যায় প্যারাচৌম্বক পদার্থের অভ্যন্তরে চৌম্বক ক্ষেত্র

পদার্থের তিনটি গুণ চৌম্বকত্বের জন্য দায়ী হয়

 M-09-10

বাহ্যিক চৌম্বক ক্ষেত্রের চেয়ে সামান্য বড় হয়। সাধারণ তাপমাত্রায় তাপজনিত কম্পন বেশি হওয়ার কারণে পরমাণুর চৌম্বক দ্বিপোলগুলো ইতস্তত বিক্ষিপ্তভাবে থাকে [চিত্র ৪.২৩(ক)]; ফলে চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ প্রয়োগ না করলে পদার্থের কোনো একটি দিকে নীট চুম্বকায়ন (magnetisation) থাকে না।

বিক্ষিপ্ত চৌম্বক দ্বিপোলসমূহ
(ক)

সজ্জিত চৌম্বক দ্বিপোলসমূহ
(খ)

চিত্র ৪.২৩

এ সমস্ত পদার্থ চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এ স্থাপন করলে দ্বিপোলসমূহ ক্ষেত্রের অভিমুখ বরাবর সজ্জিত হওয়ার চেষ্টা করে আবার তাপজনিত স্পন্দন এই সজ্জিতকরণ প্রক্রিয়া বাধাগ্রস্ত করে। নীট ফল হিসেবে পদার্থটি একটি চৌম্বক মোমেন্ট অর্জন করে [চিত্র ৪.২৩(খ)]। এই চৌম্বক মোমেন্টের অভিমুখ প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এর দিকে হয়। এ কারণেই প্যারাচৌম্বক পদার্থের প্রবেশ্যতা $\mu > 1$ এবং প্রবণতা K ধনাত্মক হয়। কোনো একটি শক্তিশালী চুম্বক মেরুর কাছে আনলে এ কারণে এ সমস্ত পদার্থ আকৃষ্ট হয়।

সংক্ষেপে বলা যায় **যে সকল পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে চুম্বক ক্ষেত্রের দিকে সামান্য চুম্বকত্ব লাভ করে তাদেরকে প্যারাচৌম্বক পদার্থ বলে।** যেমন সোডিয়াম, এন্টিমনি, প্লাটিনাম, ম্যাঙ্গানিজ, তরল অক্সিজেন, ক্রোমিয়াম, অ্যামোনিয়াম ইত্যাদি।

(৯৭–৯৮) লোহা ও নিকেলের দ্রবণ প্যারাচুম্বক প্রকৃতির

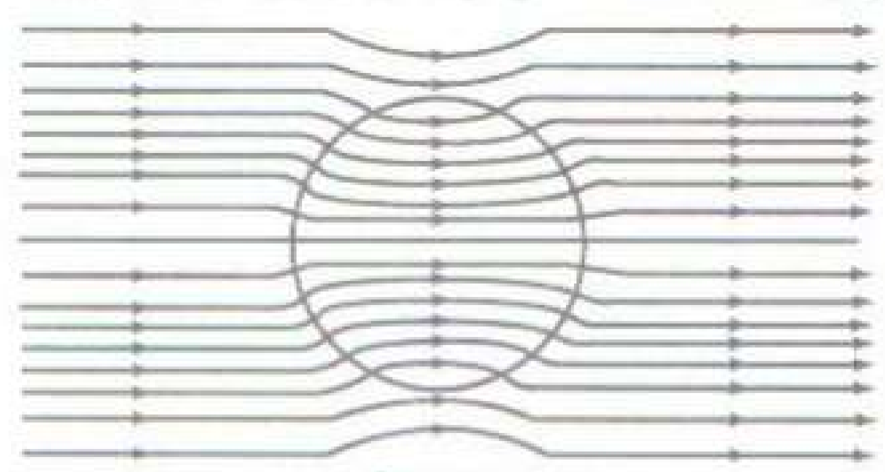
প্যারাচৌম্বক পদার্থ নিম্নলিখিত ধর্মগুলি প্রদর্শন করে :

(i) প্যারাচৌম্বক পদার্থগুলি একটি অসম চৌম্বক ক্ষেত্রের দুর্বলতর অঞ্চল হতে অধিকতর শক্তিশালী অঞ্চলে যেতে চেষ্টা করে। অর্থাৎ এরা চুম্বক দ্বারা ক্ষীণভাবে আকৃষ্ট হয়। (যা ডায়াচৌম্বক পদার্থের উল্টো) M-13-14

(ii) কোনো প্যারাচৌম্বক পদার্থকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে বলরেখাগুলি বেঁকে উহার মধ্যে দিয়ে যাওয়ার স্বল্প প্রবণতা প্রদর্শন করে [চিত্র ৪.২৪]।

(iii) প্যারাচৌম্বক পদার্থের আবেশ B প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য H অপেক্ষা সামান্য বেশি।

(iv) প্যারাচৌম্বক পদার্থের প্রবেশ্যতা (μ) এর মান 1 অপেক্ষা সামান্য বেশি।



চিত্র ৪.২৪

(v) প্যারাচৌম্বক পদার্থের প্রবণতা (K) চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের উপর নির্ভর করে না।

(vi) প্যারাচৌম্বক পদার্থের আচরণ তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে।

ডায়াচৌম্বকত্ব
Diamagnetism

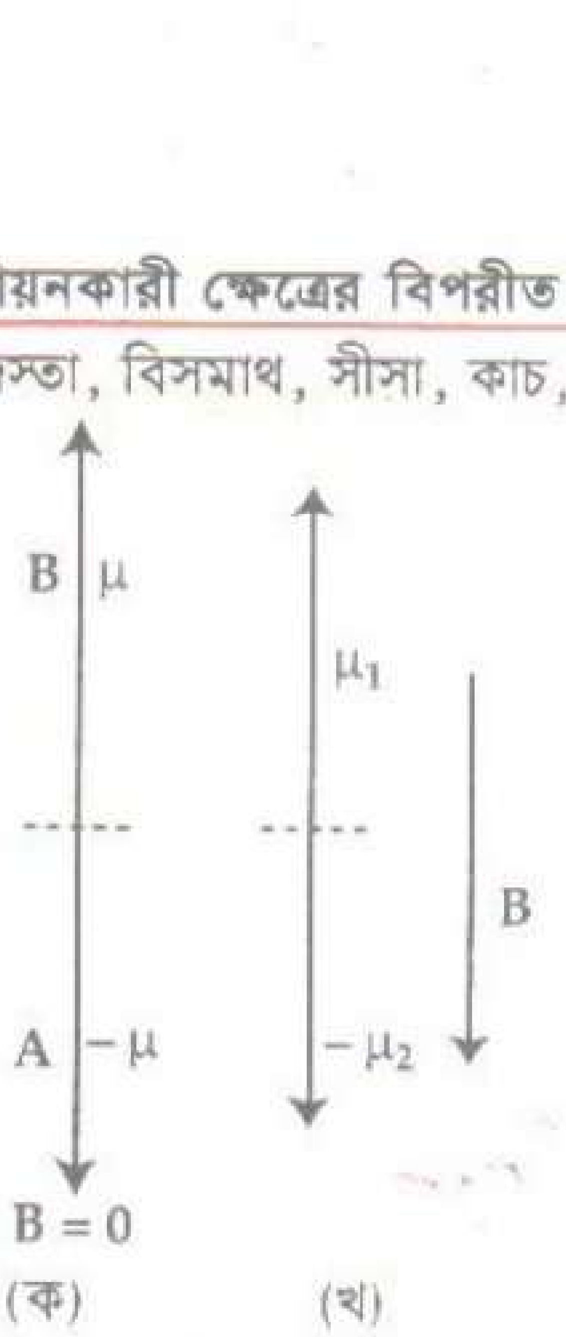
পরমাণুতে ইলেকট্রনের কক্ষীয় গতির জন্য পদার্থে ডায়াচৌম্বকত্ব প্রকাশ পায়। ডায়াচৌম্বকত্ব সকল পদার্থে বিদ্যমান রয়েছে। কিন্তু এর প্রভাব অত্যন্ত দুর্বল। যে সব পদার্থ নীট চৌম্বক মোমেন্টবিশিষ্ট পরমাণু দ্বারা গঠিত অর্থাৎ যেসব পদার্থে প্যারা বা ফেরোচৌম্বকত্ব প্রকাশ পায় সেগুলোতে ডায়াচৌম্বকত্ব থাকা সত্ত্বেও এর দুর্বলতার কারণে তা ঢাকা পড়ে যায়।

পূর্বে বলা হয়েছে যে প্রতিটি ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের সঙ্গে একটি কক্ষীয় চৌম্বক মোমেন্ট রয়েছে। কিন্তু পরমাণুর কক্ষসমূহের 'দিক ভঙ্গি' ভিন্ন ভিন্ন হওয়ার কারণে পরমাণুটির কক্ষীয় কোনো নীট চৌম্বক প্রভাব নেই। ইলেকট্রনসমূহের চৌম্বক প্রভাব পরস্পরকে একেবারে বিলীন করে দেয়। অর্থাৎ ডায়াচৌম্বক পদার্থের কোনো স্থায়ী চৌম্বক মোমেন্ট থাকে না।

ডায়াচৌম্বক পদার্থ বহিস্থ কোনো চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এ স্থাপন করলে এদের পরমাণুর কক্ষীয় গতির পরিবর্তন হয়। অর্থাৎ চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করার প্রভাব হলো ইলেকট্রনের কৌণিক বেগের হ্রাস বা বৃদ্ধি। এই হ্রাস বা বৃদ্ধি নির্ভর করবে ঘূর্ণনের অভিমুখের উপর। সংক্ষেপে বলা যায়, যে সকল পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হলে

 M→11-12; 05-06

চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের বিপরীত দিকে সামান্য চুম্বকত্ব লাভ করে তাদেরকে ডায়াচৌম্বক পদার্থ বেল। যেমন তামা, রূপা, দস্তা, বিসমাথ, সীসা, কাচ, মার্বেল, হিলিয়াম, পানি, আর্গন, সোডিয়াম ক্লোরাইড ইত্যাদি। (০৫–০৬)



চিত্র ৪.২৫

কৌণিক বেগের পরিবর্তনের কারণে ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের কক্ষীয় চৌম্বক মোমেন্টও পরিবর্তিত হয়। কৌণিক বেগ হ্রাস পেলে চৌম্বক মোমেন্টের মান হ্রাস পায়, আবার বেগ বৃদ্ধি হলে মোমেন্টের মান বাড়ে। সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে ডায়াচৌম্বক পদার্থের উপর চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ প্রয়োগ করলে একটি চৌম্বক মোমেন্ট আবিষ্ট হয় এবং এর অভিমুখ বহিস্থ চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এর বিপরীত; ফলে বিকর্ষণ হয়। ডায়াচৌম্বক পদার্থ শক্তিশালী চৌম্বক মেরুর কাছে আনলে দূরে সরে যাওয়ার এটাই কারণ।

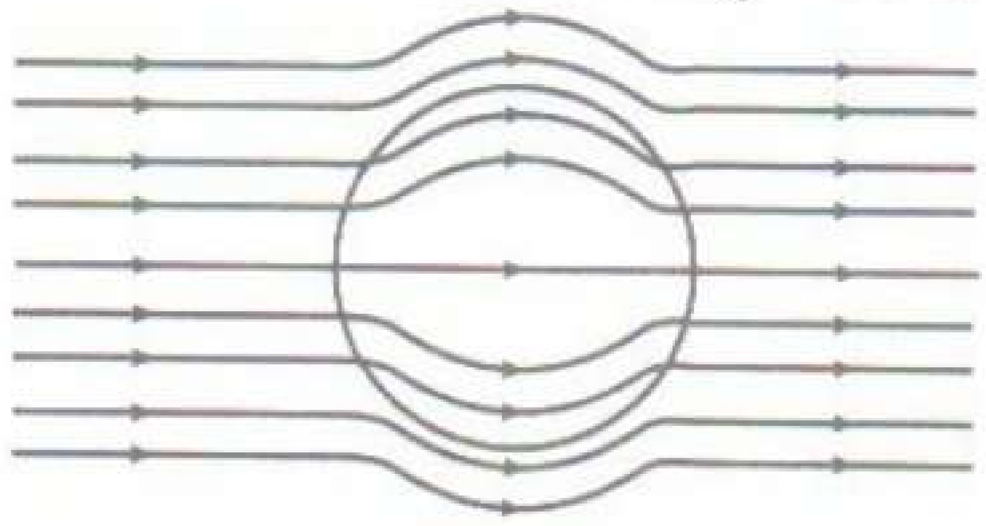
চিত্র ৪.২৫-এ একটি পরমাণুতে ঘূর্ণায়মান দুটি ইলেকট্রন (A ও B)-এর চৌম্বক মোমেন্ট দেখানো হয়েছে। যখন বহিস্থ চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B} = 0$, সেই অবস্থায় ইলেকট্রনদ্বয়ের চৌম্বক মোমেন্ট পরস্পরকে বিলীন করে দেয় [চিত্র ৪.২৫(ক)]। কিন্তু চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে চৌম্বক মোমেন্ট বিলীন হয় না [চিত্র ৪.২৫(খ)]; একটি নীট চৌম্বক মোমেন্ট সৃষ্টি হয়। এই নীট মোমেন্টের অভিমুখ প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এর বিপরীত।

(১১–১২, ০৫–০৬)

ডায়াচৌম্বক পদার্থের সাধারণ ধর্মগুলি হলো—

(i) ডায়াচৌম্বক পদার্থগুলি কোনো অসম চৌম্বক ক্ষেত্রের অধিক প্রাবল্যের অঞ্চল হতে স্বল্প প্রাবল্যের অঞ্চলে যাওয়ার চেষ্টা করে। অর্থাৎ এরা চুম্বক দ্বারা ক্ষীণভাবে বিকর্ষিত হয়।

(ii) কোনো ডায়াচৌম্বক পদার্থকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে দেখা যায় যে, বলরেখাগুলি পদার্থটি হতে দূরে সরে যায়। ফলে উহার মধ্যে দিয়ে অতিক্রান্ত বলরেখার সংখ্যা অপেক্ষাকৃত কম হয় [চিত্র ৪.২৬]।


চিত্র ৪.২৬

(iii) কোনো ডায়াচৌম্বক পদার্থের আবেশ B প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য H অপেক্ষা সামান্য কম হয়।

(iv) ডায়াচৌম্বক পদার্থের প্রবণতার মান অত্যন্ত ক্ষুদ্র হয়।

(v) ডায়াচৌম্বক পদার্থের প্রবণতা প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্র এবং তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে না।

কাজ : ডায়াচৌম্বক পদার্থে চৌম্বক মোমেন্ট থাকে না কেন ?

ডায়াচৌম্বক পদার্থের প্রতিটি পরমাণু বা অণুতে ঘড়ির কাটার দিকে যে কয়টি ইলেকট্রন ঘূর্ণনরত থাকে, ঘড়ির কাটার বিপরীত দিকে সমসংখ্যক ইলেকট্রন ঘূর্ণনরত থাকে। এতে নিট চৌম্বক মোমেন্ট শূন্য হয় বলেই ডায়াচৌম্বক পদার্থে চৌম্বক মোমেন্ট থাকে না।

ফেরোচৌম্বকত্ব
Ferromagnetism

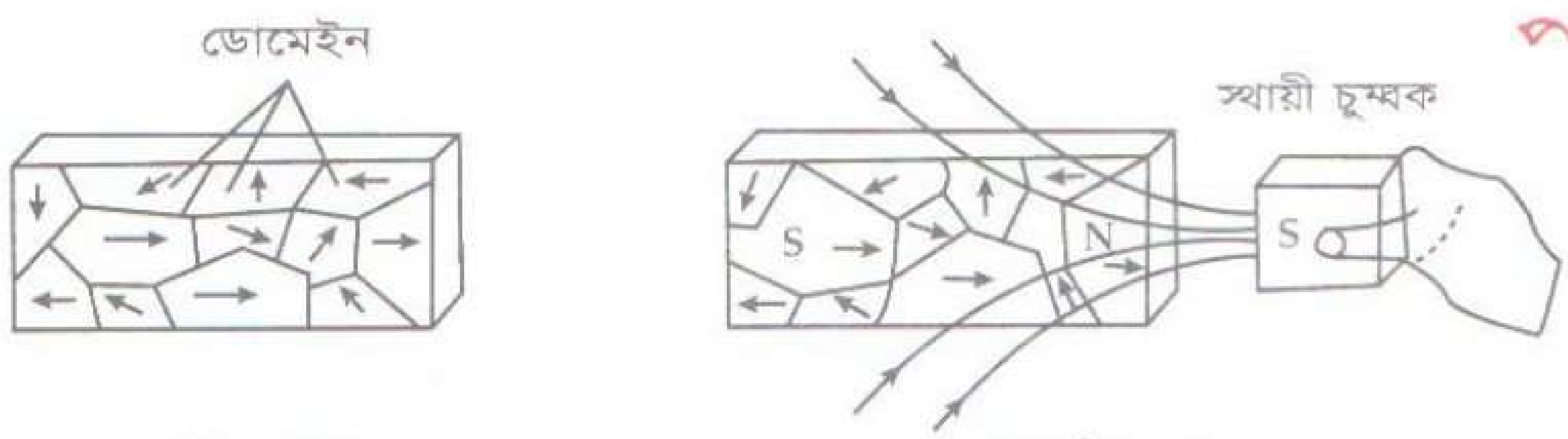
ফেরোচৌম্বক পদার্থও প্যারাচৌম্বক শ্রেণিভুক্ত। তবে এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা μ-এর মান অনেক গুণ বেশি হয় এবং চৌম্বকের আকর্ষণ প্রভাব অত্যন্ত বেশি। এ সমস্ত পদার্থে প্যারাচৌম্বক পরমাণু বা আয়নসমূহের চৌম্বক মোমেন্ট অনেকটা জায়গা জুড়ে সংঘবদ্ধ (Locked) অবস্থায় থাকে। পদার্থের এ সমস্ত ছোট ছোট জায়গা বা অঞ্চলকে বলা হয় ডোমেইন (Domain)। এ ধরনের এক একটি অঞ্চলে প্রায় $10^{16} - 10^{19}$ পার্শ্ববর্তী পরমাণু বা আয়ন থাকে। পরমাণু বা আয়নসমূহের তাপীয় গতির ইতস্তত বিক্ষিপ্তকরণের প্রবণতা থাকা সত্ত্বেও একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রা পর্যন্ত এ সজ্জিতকরণ বা বিন্যাস বজায় থাকে। সন্নিহিত বা আশেপাশের পরমাণু বা আয়নের মধ্যে এ সজ্জিতকরণ বা বিন্যাস প্রক্রিয়া একটি কোয়ান্টাম (Quantum) প্রক্রিয়া যা সনাতনী পদার্থবিদ্যার সাহায্যে ব্যাখ্যা করা সম্ভব নয়। এ ধরনের

গ্যালভানোমিটার দিয়ে পরিমাপ করা যায় →

 তড়িৎ প্রবাহের অস্তিত্ব

পদার্থের প্রতিটি ডোমেইনের মধ্যে অবস্থিত পরমাণু বা আয়নের মধ্যে 'বিনিময় যুগলায়ন' (Exchange Integral) নামে পরিচিত এক ধরনের কোয়ান্টাম প্রক্রিয়া ঘটে যা ডোমেইনের মধ্যে ক্রিয়াশীল এবং চৌম্বক মোমেন্টগুলোকে পরস্পর

পরিমাপ।



অচুম্বকায়িত লোহা (ক) চুম্বকায়িত লোহা (খ)

চিত্র ৪.২৭

সমান্তরালে রাখে। একটি অচৌম্বকায়িত ফেরোচৌম্বক পদার্থ সাধারণভাবে কোনো নীট চৌম্বক মোমেন্ট না দেখানোর কারণ হলো যে বিভিন্ন ডোমেইনগুলোর নীট চৌম্বক মোমেন্ট ইতস্তত বিক্ষিপ্তভাবে থাকে [চিত্র ৪.২৭ (ক)]। ফলে সমষ্টিগতভাবে পদার্থের নীট মোমেন্ট শূন্য হয়। চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে বা চুম্বকের কাছে আনলে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকে কিছু কিছু ডোমেইনের আকার বাড়ে আবার কোনোটির আকার কমে যায়। ফলে চৌম্বকত্ব আবিষ্ট হয় এবং বহিঃচৌম্বকত্ব প্রদর্শন করে [চিত্র ৪.২৯ (খ)]।

সংক্ষেপে বলা যায়, **যে সকল পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হলে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের দিকে শক্তিশালী চুম্বকত্ব লাভ করে, তাদেরকে ফেরোচৌম্বক পদার্থ বলে।** যেমন লোহা, নিকেল, কোবাল্ট প্রভৃতি। (৮৮-৯৪)

ফেরোচৌম্বক পদার্থ নিম্নলিখিত ধর্ম প্রদর্শন করে : (৮৮ – ৮৯)

(i) কোনো অসম চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি ফেরোচৌম্বক পদার্থ রাখলে উহা ক্ষেত্রটির দুর্বলতর অঞ্চল হতে অধিক শক্তিশালী অঞ্চলের দিকে প্রবলভাবে ধাবিত হয়। ইহা সবলভাবে আকৃষ্ট হয়।

(ii) কোনো ফেরোচৌম্বক পদার্থকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে উহার বলরেখাগুলি লক্ষণীয়ভাবে বিকৃত হয়ে যায়।

(iii) ফেরোচৌম্বক পদার্থের আবেশ B প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য H এর তুলনায় অনেক বেশি হয়।

(iv) ফেরোচৌম্বক পদার্থের প্রবণতা K ধনাত্মক এবং অত্যন্ত বৃহৎ মানের হয়।

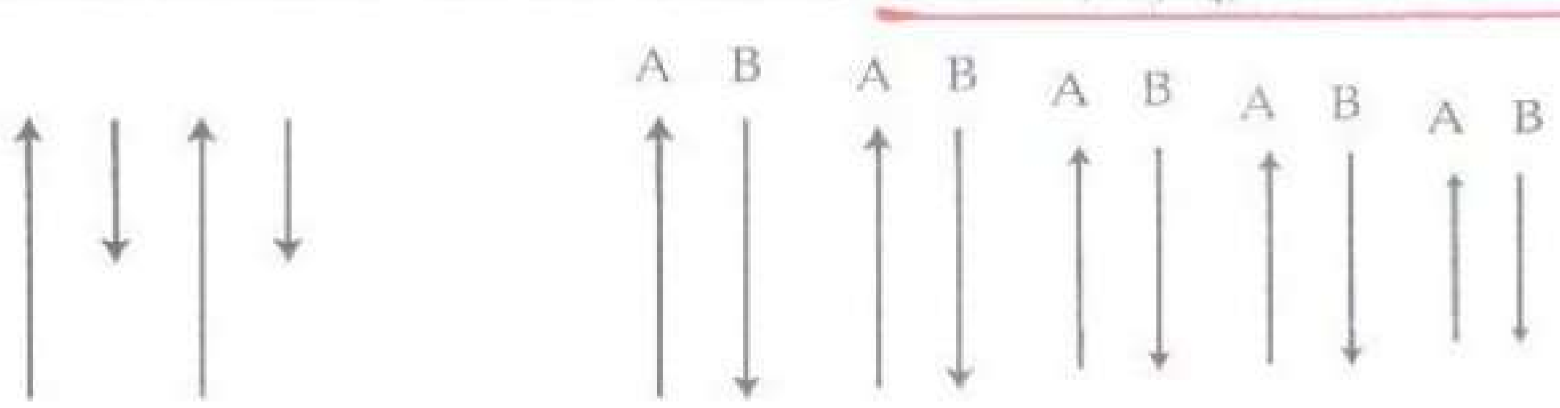
(v) এই চৌম্বক পদার্থের প্রবেশ্যতা ও প্রবণতা উভয়ই চুম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের সাথে পরিবর্তিত হয়।

(vi) তাপমাত্রা বৃদ্ধির সঙ্গে ফেরোচৌম্বক পদার্থের চৌম্বক গ্রাহীতা (K) কমতে থাকে। তাপমাত্রাকে একটি বিশেষ মানের উর্ধ্বে উঠালে বিনিময় যুগলায়ন হঠাৎ বিলুপ্ত হয় এবং বস্তুটি প্যারাচৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়। এই বিশেষ বা **ক্রান্তি তাপমাত্রাকে বলা হয় কুরী তাপমাত্রা** (Curie temperature)। লোহার ক্ষেত্রে এই তাপমাত্রা 1043 K।

ফেরোচৌম্বকত্বের শ্রেণিভুক্ত আরও দুই ধরনের চৌম্বক পদার্থ রয়েছে। এদেরকে বলা হয় প্রতি-ফেরোচৌম্বক (Anti-ferromagnetic) পদার্থ এবং ফেরিচৌম্বক (Ferrimagnetic) পদার্থ।

ফেরিচৌম্বকত্ব
Ferrimagnetism

এ ধরনের পদার্থে দুটি ভিন্ন ধরনের আয়ন থাকে। আয়নসমূহের মোমেন্ট প্রতি-সমান্তরাল সজ্জায় থাকলেও মান সমান না হওয়ায় নীট চৌম্বক মোমেন্ট থাকে [চিত্র ৪.২৮(ক)]। ফেরাইট (Fe_3O_4) এ ধরনের একটি পদার্থ।



(ক) (খ)

চিত্র ৪.২৮

বিভিন্ন ক্ষেত্রে এ সমস্ত পদার্থের বহুল ব্যবহার রয়েছে। একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রার উর্ধ্বে উত্তপ্ত করলে এ সমস্ত পদার্থও প্যারাচৌম্বকত্ব লাভ করে। অর্থাৎ বিনিময় যুগলায়ন লোপ পায়।

প্রতি-ফেরোচৌম্বকত্ব
Anti-Ferromagnetism

প্রতি-ফেরোচৌম্বকত্বের উদ্ভব হয় বিনিময় মিথস্ক্রিয়া বা বিনিময় ক্ষেত্র দ্বারা। দুটি পরমাণুর তরঙ্গ ফাংশন পরস্পরের ওপর আপতিত হলে এই বিনিময় ক্ষেত্রের উৎপত্তি হয়। বিনিময় ক্ষেত্র থেকে উৎপত্তি হয় বিনিময় শক্তির। নিকটতম প্রতিবেশী স্পিনসমূহ সমান্তরাল হলে এই শক্তি ধনাত্মক হয়। উল্লেখিত স্পিনসমূহ এন্টি-প্যারালাল বা বিপরীতমুখী সমান্তরাল হলে নিল তাপমাত্রায় গ্রাউন্ড স্টেট পাওয়া যায়।

বহিস্থ চৌম্বক ক্ষেত্র অনুপস্থিত থাকলে এবং তাপমাত্রা নিল তাপমাত্রার নিচে হলে নিট চৌম্বক ভ্রামক শূন্য হয়। ধরা যাক একটি ক্রিস্টাল দুটি আন্তঃভেদনীয় উপ-ল্যাটিস A ও B দ্বারা গঠিত। এর একটির পরমাণুর স্পিনসমূহের দিক অন্যটির পরমাণুর স্পিনসমূহের বিপরীত দিকে [চিত্র ৪.২৮(খ)]। এ ধরনের বস্তুকে বলা হয় এন্টি-ফেরোচৌম্বক পদার্থ।

MnO

কাজ : কোন পরমাণু বা আয়ন প্যারাচৌম্বক পদার্থের ধর্ম দেখায় না ?

যে কোনো পরমাণু বা আয়নের ইলেকট্রন কক্ষগুলি পূর্ণ থাকলে তারা প্যারাচৌম্বক পদার্থের ধর্ম দেখায় না। যেমন He, Ne ইত্যাদির পরমাণু এবং Na^+, Cl^- ইত্যাদি আয়ন।

ফেরোচৌম্বক, প্যারাচৌম্বক এবং ডায়াচৌম্বক পদার্থের বৈশিষ্ট্য
Characteristics of Ferromagnetic, Paramagnetic and Dia-magnetic Substances

ফেরোচৌম্বক পদার্থ

(১) এরা চুম্বক দ্বারা খুব বেশি আকর্ষিত হয়। Ni কুরী বিন্দু – 400°C
(২) এরা কঠিন এবং স্ফটিকাকারের হয়।
(৩) এদের চৌম্বক ধারকত্ব ধর্ম রয়েছে। Co " – 1100°C
(৪) এদের নির্দিষ্ট কুরী বিন্দু রয়েছে।
(৫) এদের চৌম্বকগ্রাহিতা বা প্রবণতা খুব বেশি এবং ধনাত্মক।
(৬) এদের হিসটেরেসিস ধর্ম রয়েছে।
(৭) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা $\mu >> 1$।
(৮) এদের চৌম্বকগ্রাহিতা তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। অর্থাৎ $K \propto \frac{1}{T}$।
(৯) চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারণ করলে এদের চুম্বকত্ব খানিকটা থেকে যায়।
(১০) চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে এরা দুর্বলতর অংশ হতে প্রবলতর অংশের দিকে গমন করে।

প্যারাচৌম্বক পদার্থ

(১) এরা চুম্বক দ্বারা কম আকর্ষিত হয়। মিশ্রধাতু → Ni + Fe + Cu
(২) এরা কঠিন, তরল ও বায়বীয় হয়।
(৩) এদের চৌম্বক ধারকত্ব ধর্ম নেই।
(৪) এদের কুরী বিন্দু নেই। পারমালয় → Fe + Ni
(৫) এদের চৌম্বকগ্রাহিতা বা প্রবণতা কম এবং ধনাত্মক।
(৬) এদের হিসটেরেসিস ধর্ম নেই।
(৭) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা $\mu > 1$.
(৮) এদের চৌম্বকগ্রাহিতা তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। অর্থাৎ $K \propto \frac{1}{T}$।
(৯) চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারণ করলে চুম্বকত্ব লোপ পায়।
(১০) চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে এরা দুর্বলতর অংশ হতে প্রবলতর অংশের দিকে গমন করে।

ডায়াচৌম্বক পদার্থ

(১) এরা চুম্বক দ্বারা বিকর্ষিত হয়।
(২) এরা কঠিন, তরল এবং বায়বীয় হয়।
(৩) এদের চৌম্বক ধারকত্ব ধর্ম নেই।
(৪) এদের কুরী বিন্দু নেই।
(৫) এদের চৌম্বকগ্রাহিতা বা প্রবণতা ঋণাত্মক।
(৬) এদের হিসটেরেসিস ধর্ম নেই।
(৭) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা $\mu < 1$।

(৮) এদের চৌম্বকগ্রাহিতা তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে না।
(৯) চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারণ করলে চুম্বকত্ব লোপ পায়।
(১০) চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে এরা প্রবলতর অংশ হতে দুর্বলতর অংশের দিকে গমন করে।

পরীক্ষণ কাজ : ছোট দণ্ড দেওয়া হলো। সেটা প্যারাচৌম্বক কিংবা ডায়াচৌম্বক কিংবা ফেরোচৌম্বক তা কীভাবে পরীক্ষা করবে ?

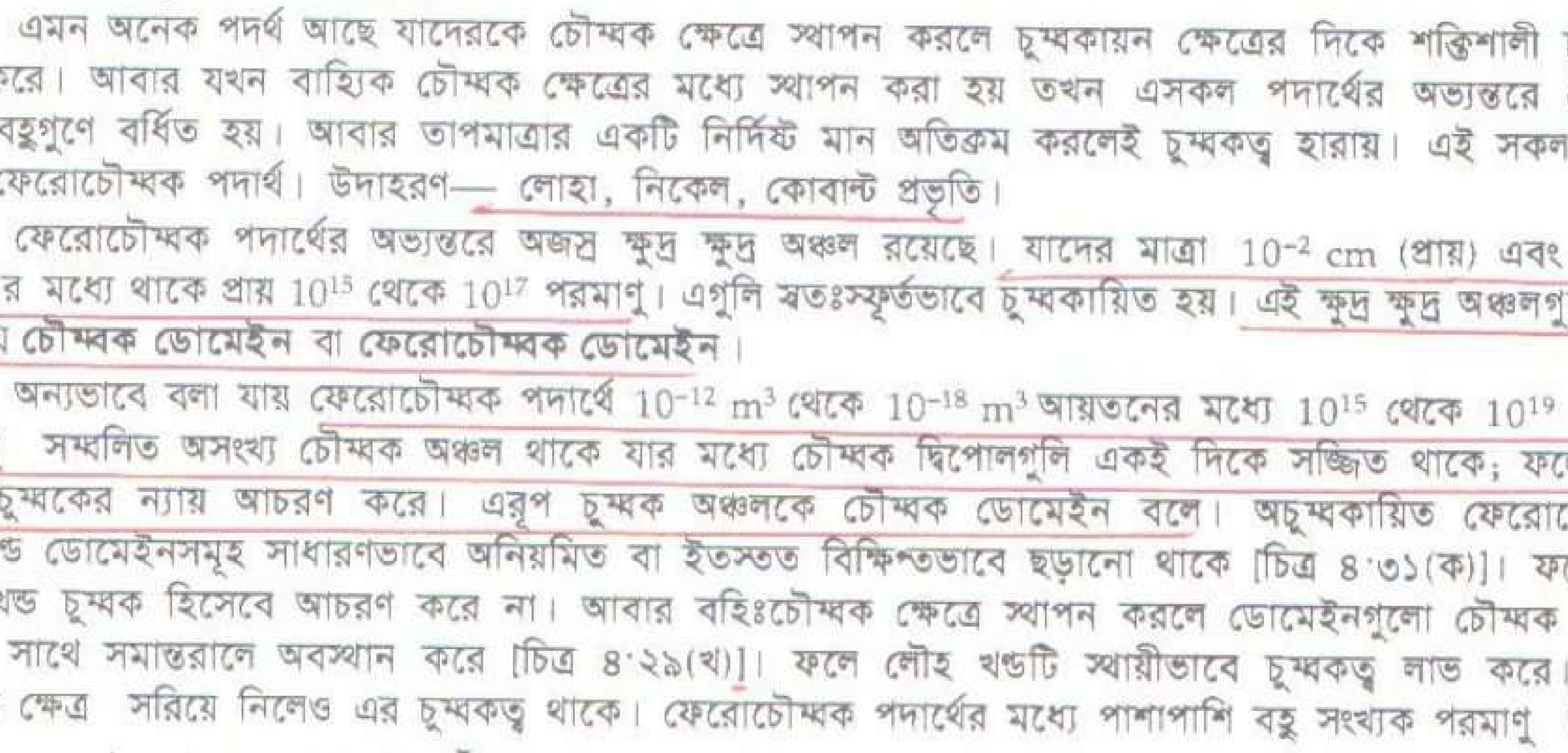
দণ্ডটিকে সুতা দিয়ে অনুভূমিকভাবে একটি শক্তিশালী তড়িৎচুম্বকের দুই প্রান্তের মাঝে ঝুলিয়ে দিতে হবে। এবার তড়িৎচুম্বক চালু করে দিলে (i) দণ্ডটি দ্রুত ঘুরে তড়িৎচুম্বকের N—S বরাবর নিজেকে স্থাপন করলে দণ্ডটি ফেরোচৌম্বক পদার্থ (ii) ধীরে ধীরে ঘুরে N—S বরাবর স্থাপন করলে দণ্ডটি প্যারাচৌম্বক পদার্থ এবং (iii) তড়িৎচুম্বকের N—S অভিমুখের সঙ্গে সমকোণে স্থাপিত হলে দণ্ডটি ডায়াচৌম্বক পদার্থ।

৪·১১ চৌম্বক ডোমেইন
Magnetic Domain

এমন অনেক পদর্থ আছে যাদেরকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে চুম্বকায়ন ক্ষেত্রের দিকে শক্তিশালী চুম্বকত্ব লাভ করে। আবার যখন বাহ্যিক চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করা হয় তখন এসকল পদার্থের অভ্যন্তরে চৌম্বক ক্ষেত্র বহুগুণে বর্ধিত হয়। আবার তাপমাত্রার একটি নির্দিষ্ট মান অতিক্রম করলেই চুম্বকত্ব হারায়। এই সকল পদার্থ হলো ফেরোচৌম্বক পদার্থ। উদাহরণ— লোহা, নিকেল, কোবাল্ট প্রভৃতি।

ফেরোচৌম্বক পদার্থের অভ্যন্তরে অজস্র ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অঞ্চল রয়েছে। যাদের মাত্রা 10^{-2} cm (প্রায়) এবং প্রতিটি অঞ্চলের মধ্যে থাকে প্রায় 10^{15} থেকে 10^{17} পরমাণু। এগুলি স্বতঃস্ফূর্তভাবে চুম্বকায়িত হয়। এই ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অঞ্চলগুলোকে বলা হয় **চৌম্বক ডোমেইন বা ফেরোচৌম্বক ডোমেইন**।

অন্যভাবে বলা যায় ফেরোচৌম্বক পদার্থে 10^{-12} m^3 থেকে 10^{-18} m^3 আয়তনের মধ্যে 10^{15} থেকে 10^{19} সংখ্যক পরমাণু সম্বলিত অসংখ্য চৌম্বক অঞ্চল থাকে যার মধ্যে চৌম্বক দ্বিপোলগুলি একই দিকে সজ্জিত থাকে; ফলে এরা স্বতন্ত্র চুম্বকের ন্যায় আচরণ করে। এরূপ চুম্বক অঞ্চলকে চৌম্বক ডোমেইন বলে। অচুম্বকায়িত ফেরোচৌম্বক ধাতুখণ্ডে ডোমেইনসমূহ সাধারণভাবে অনিয়মিত বা ইতস্তত বিক্ষিপ্তভাবে ছড়ানো থাকে [চিত্র ৪·৩১(ক)]। ফলে এই লৌহ খণ্ড চুম্বক হিসেবে আচরণ করে না। আবার বহিঃচৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে ডোমেইনগুলো চৌম্বক ক্ষেত্রে রেখার সাথে সমান্তরালে অবস্থান করে [চিত্র ৪·২৯(খ)]। ফলে লৌহ খণ্ডটি স্থায়ীভাবে চুম্বকত্ব লাভ করে। প্রথম চৌম্বক ক্ষেত্র সরিয়ে নিলেও এর চুম্বকত্ব থাকে। ফেরোচৌম্বক পদার্থের মধ্যে পাশাপাশি বহু সংখ্যক পরমাণু দ্বিপোল


(ক) (খ)

চিত্র ৪·২৯

মোমেন্টগুলো একদিকে সজ্জিত থাকে। যে অঞ্চলের মধ্যে দ্বিপোল মোমেন্টগুলো একদিকে সজ্জিত থাকে সে অঞ্চলই হলো ডোমেইন। সুতরাং একটি ডোমেইনের নীট মোমেন্ট থাকে। যে কোনো একটি ডোমেইনকে যদি আলাদা করা সম্ভব হতো তবে এটি একটি স্থায়ী চৌম্বক হিসেবে কাজ করত।

কফি কলে কাঁচা লোহা ব্যবহৃত হয়। এতে ডোমেইনগুলো বহিঃচৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে সহজে বিন্যস্ত হয়ে চুম্বকে পরিণত হয়। আবার চৌম্বক ক্ষেত্র সরিয়ে নিলে চুম্বকত্ব নষ্ট হয়। ফলে ডোমেইনগুলো বিক্ষিপ্ত অবস্থায় থাকে। আবার স্থায়ী চুম্বক পেতে হলে ইস্পাত ব্যবহার করা হয়। বিচুম্বকীয় অবস্থায়ও ডোমেইনগুলো সুসজ্জিত থাকে।

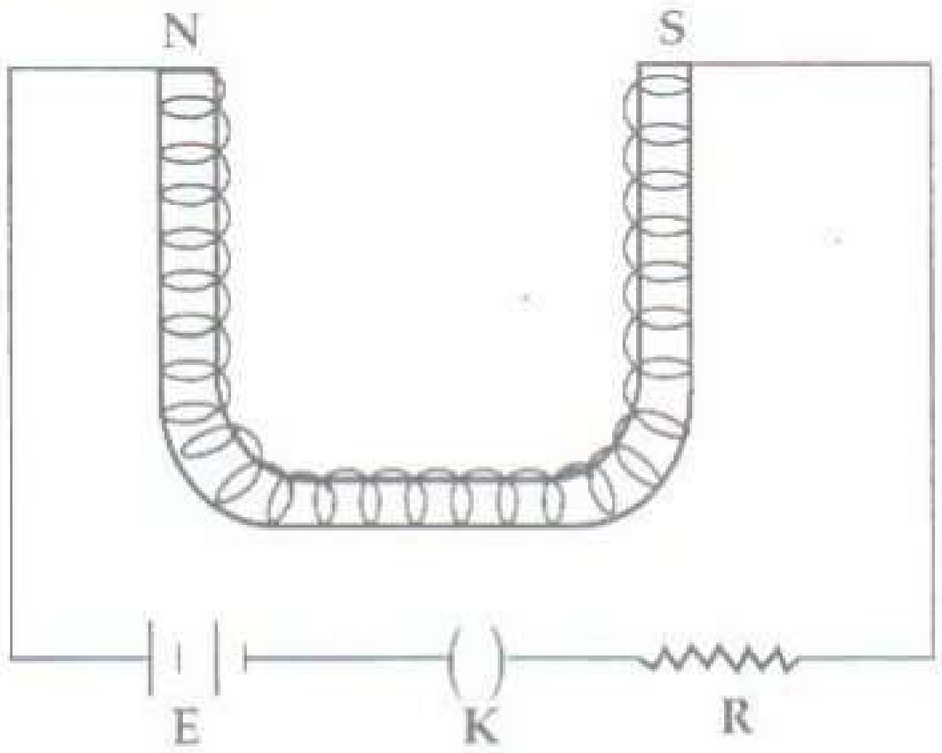
৪·১২ তড়িৎচুম্বক ও স্থায়ী চুম্বক
Electromagnet and Permanent magent

কাঁচা লোহা, নিকেল এবং লোহার সংকর ধাতু দিয়ে তৈরি চুম্বক হলো কৃত্রিম চুম্বক। পরীক্ষাগারে যে চুম্বক ব্যবহৃত হয় সেগুলো কৃত্রিম চুম্বক। এদের বৈশিষ্ট্য হলো এগুলি নিয়মিত আকারের হয়ে থাকে। শিল্পে ও বৈজ্ঞানিক কাজে কৃত্রিম চুম্বক ব্যবহৃত হয়। এদের চুম্বকত্ব খুবই প্রবল। তড়িৎচুম্বক হলো এরকম একটি চুম্বক।

তড়িৎচুম্বক
Electromagnet

যে সকল পদার্থের উচ্চ মানের চৌম্বক প্রবেশ্যতা, মৃদু চুম্বকায়ন মাত্রা এবং হিস্টেরেসিস লুপের ক্ষেত্রফল কম, সেই সমস্ত পদার্থ উত্তম তড়িৎচুম্বক হিসেবে ব্যবহৃত হয়। অর্থাৎ চুম্বকনচক্রের জন্য এসকল চুম্বকের শক্তির অপচয় কম হয়।

নরম লোহাতে উপরিল্লিখিত সকল গুণাগুণ বিদ্যমান থাকায় এটি উত্তম তড়িৎচুম্বক নির্মাণে ব্যবহৃত হয়। কতগুলি সংকর ধাতু যেমন পারম্যালয় (লোহা ও নিকেলের সংকর ধাতু) এবং স্ট্যালয় (Fe+ 4% Silicon) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা বেশি হওয়ায় তড়িৎচুম্বক তৈরির কাজে ব্যবহৃত হয়। (02–03)



চিত্র ৪·৩০

U-আকৃতির কাঁচা লোহাকে অন্তরিত তার জড়িয়ে তারের ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করে তড়িৎ চুম্বক তৈরি করা হয়। তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ হয়ে গেলে এর চুম্বকত্ব লোপ পায়। তড়িৎবাহী সলিনয়েডের চৌম্বক ক্ষেত্র [চিত্র ৪·৩০] দণ্ড চুম্বক দ্বারা সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের ন্যায় আচরণ করে। সলিনয়েডের মধ্যে লৌহ খণ্ড স্থাপন করলে চুম্বকত্ব বৃদ্ধি পায়। তড়িৎ প্রবাহ চলাকালীন এটি বেশ শক্তিশালী চুম্বকে পরিণত হয়। একে বলা হয় তড়িৎচুম্বক। এই চুম্বকের প্রাবল্য নিম্নোক্তভাবে আরও বাড়ানো যায়—

(১) তড়িৎ প্রবাহ বাড়িয়ে,

(২) সলিনয়েডের প্যাচের সংখ্যা বাড়িয়ে।

কাজ : তড়িৎচুম্বক প্রস্তুতিতে ইস্পাত অপেক্ষা নরম লোহা অধিকতর উপযুক্ত বলে বিবেচিত হয় কেন ?

তড়িৎচুম্বকের মজ্জার উপাদানের প্রবেশ্যতা খুব বেশি এবং ধারণক্ষমতা কম হওয়া প্রয়োজন। তাই তড়িৎ প্রবাহ বন্ধ থাকা মাত্র যেন উহার চুম্বকত্ব লোপ পায়। সেই কারণে তড়িৎচুম্বক প্রস্তুতিতে ইস্পাত অপেক্ষা নরম লোহা বেশি ব্যবহৃত হয়।

স্থায়ী চুম্বক
Permanent magent

এমন কিছু চৌম্বক পদার্থ আছে যা দ্বারা কৃত্রিম চুম্বক তৈরি করলে চুম্বকত্ব সহজে বিলুপ্ত হয় না। এই সকল চুম্বকই স্থায়ী চুম্বক। ইস্পাত দ্বারা তৈরি চুম্বকই প্রথম স্থায়ী চুম্বক। এমন অনেক পদার্থ দিয়ে শক্তিশালী চুম্বক তৈরি করা হচ্ছে যাদের চুম্বকত্ব অনেক স্থায়ী এবং শক্তিশালী। যেমন সিরামিক চুম্বক ও লোহা, নিকেল, তামা, অ্যালুমিনিয়াম মিশ্রণে সংকর চুম্বক।

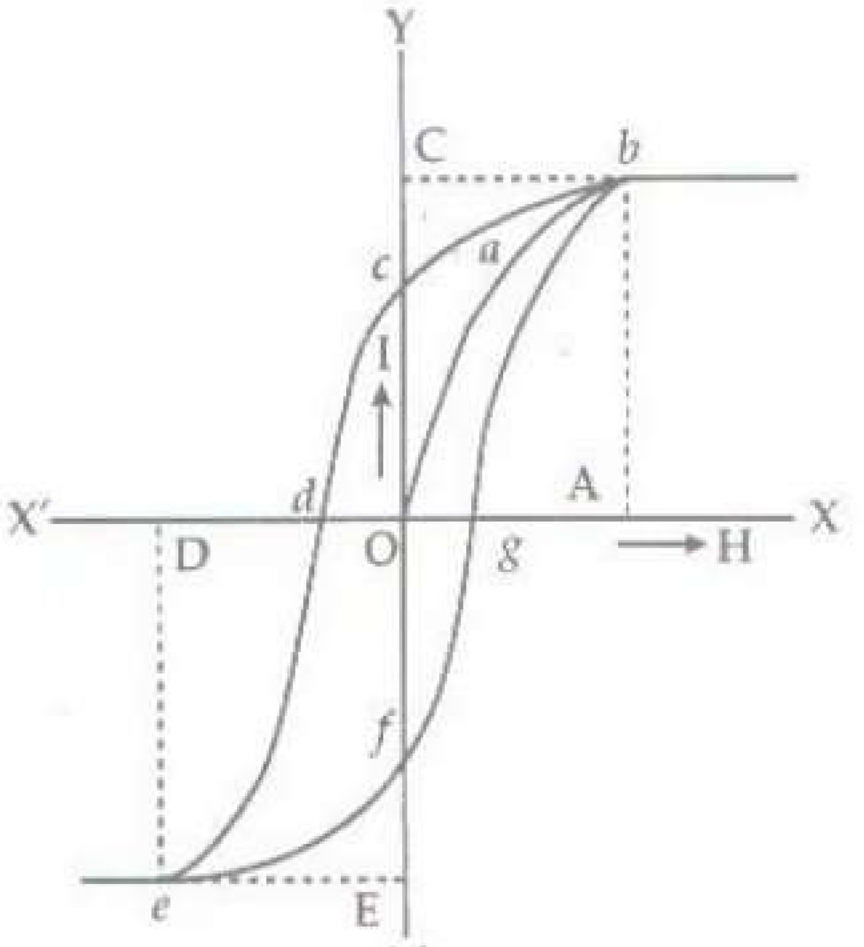
যে চৌম্বক পদার্থ নিয়ে স্থায়ী চুম্বক তৈরি করা হবে তার তিনটি গুণের দিকে অবশ্যই আমাদের লক্ষ রাখতে হবে। (i) উচ্চমানের নিগ্রহ সহনশীলতা (ii) উচ্চমানের ধারণ ক্ষমতা এবং (iii) হিস্টেরেসিস লুপের ক্ষেত্রফল বেশি হওয়া প্রয়োজন। ইস্পাতের ধারণক্ষমতা কম হলেও নিগ্রহ সহনশীলতা ও হিস্টেরেসিস লুপের ক্ষেত্রফল বেশি হওয়ায় ইস্পাত স্থায়ী চুম্বক তৈরির জন্য সবচেয়ে উপযোগী। অপরদিকে নরম লোহার ধারণ ক্ষমতা বেশি অথচ নিগ্রহ সহনশীলতা ও হিস্টেরেসিস লুপের ক্ষেত্রফল কম হওয়ায় স্থায়ী চুম্বক গঠনে একেবারেই উপযোগী নয়। কোবাল্ট, ইস্পাত, টাংস্টেন প্রভৃতি কিছু সংকর ধাতু স্থায়ী চুম্বক গঠনের উপযোগী। ইস্পাত দ্বারা তৈরি চুম্বকই প্রথম স্থায়ী চুম্বক। সিরামিক ও সংকর ধাতু দিয়ে আজকাল স্থায়ী চুম্বক তৈরি করা হচ্ছে। এরূপ কয়েকটি চুম্বক নিম্নে বর্ণনা করা হলো।

সিরামিক চুম্বক : আয়রন অক্সাইড ও বেরিয়াম অক্সাইডের মিশ্রণে তৈরি সিরামিক চুম্বক বহুল প্রচলিত। সম্প্রতি উদ্ভাবিত সবচেয়ে শক্তিশালী স্থায়ী চুম্বক হলো নিয়োডিমিয়াম বোরন আয়রনের চুম্বক। নিকেল দিয়ে সর্ব প্রথম স্থায়ী চুম্বক তৈরি করা হয়। আয়রন অক্সাইড ও বেরিয়াম অক্সাইড মিশ্রণে সিরামিক চুম্বক তৈরি হয়। সিরামিক চুম্বক ফ্যারাইট নামে পরিচিত।

সংকর চুম্বক : সংকর ধাতু যেমন— লোহা, নিকেল, কোবাল্ট, তামা ও অ্যালুমিনিয়াম মিশ্রণে তৈরি করা হয় শক্তিশালী স্থায়ী চুম্বক। এদেরকে সংকর চুম্বক বলে। আয়রনের সংকরের মধ্যে 0·8 ভাগ বা 80% এর বেশি কার্বন থাকলে তা স্থায়ী চুম্বক তৈরি করে।

চুম্বকায়ন চক্র এবং হিসটেরেসিস বা শৈথিল্য
Cycle of magnetisation and hysteresis

তিন শ্রেণির পদার্থের মধ্যে একমাত্র ফেরোচৌম্বক পদার্থে হিস্টেরিসিস ধর্ম আছে। ফেরোচৌম্বক পদার্থের একটি দণ্ডকে যেমন লোহাকে সলিনয়েডের ভেতর রেখে ধীরে ধীরে সলিনয়েড কুণ্ডলীর মধ্যে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন করলে I — H লেখ চিত্র পাওয়া যায়।



চিত্র ৪.৩১

H বনাম I লেখচিত্রটিকে I—H লেখ বলা হয়। লেখটি নিম্নে আলোচিত হলো [চিত্র ৪.৩১]। একটি ফেরোচৌম্বক পদার্থকে H প্রাবল্যের চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করি এবং একে চুম্বকিত করি। H-এর পরিবর্তনে চুম্বকায়নমাত্রা বা ম্যাগনেটাইজেশন ভেক্টর I-এর পরিবর্তন ঘটবে এবং I বনাম H লেখটিকে O *a b c d e f g b* দিয়ে সূচিত করা গেল। H-কে X-অক্ষে এবং I-কে Y-অক্ষে স্থাপন করে লেখটি অঙ্কন করা হয়েছে। H-এর মান শূন্য হতে ক্রমাগত বাড়াতে থাকলে চুম্বকায়ন মাত্রা I-এর মান বাড়তে থাকে। চিত্রে O*ab* রেখার সাহায্যে এটি দেখানো হয়েছে। I-এর মান *b* বিন্দুতে উপনীত হবার পর H-এর মান বাড়ালেও I-এর মান আর বাড়ে না। এ অবস্থায় চুম্বকায়ন মাত্রা **সম্পৃক্ত মান** লাভ করে।

সম্পৃক্ত মানে চুম্বকায়ন মাত্রা OC এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য OA। এমতাবস্থায় চৌম্বক পদার্থের **অণুচুম্বকগুলো** সম্পূর্ণ-রূপে এক রেখায় অবস্থান করে।

এখন H-এর মান ক্রমাগত কমাতে থাকলে I-এর মান কমতে থাকে। কিন্তু তা O বিন্দুতে ফিরে আসে না। তখন তা *bc* পথ অনুসরণ করে। *c* বিন্দুতে H-এর মান শূন্য মানে পৌঁছায়, কিন্তু I-এর মান শূন্য হয় না। এ অবস্থায় চৌম্বক পদার্থে চুম্বকায়নের মাত্রা খানিকটা থেকে যায়। চিত্রে তা O*c* দিয়ে দেখানো হয়েছে। চুম্বকায়ন মাত্রার এ মানকে **অবশিষ্ট চুম্বকত্ব** বা **রিমেনেন্স** (Remanence) বলে এবং চৌম্বক পদার্থের এ ক্ষমতাকে **ধারণ ক্ষমতা** (retentivity) বলা হয়।

এখন H-এর অভিমুখ বিপরীত করে এর ঋণমান ক্রমাগত বাড়াতে থাকলে I-এর মান ক্রমশ কমতে থাকে। *cd* রেখা দিয়ে তা দেখানো হয়েছে। *d* বিন্দুতে I-এর মান শূন্য হয় এবং এমতাবস্থায় H-কে O*d* দিয়ে নির্দেশ করা হয়েছে। I-এর শূন্য মানে H-এর এ মানকে **নিগ্রহ বল** (coercive force) বলে এবং চৌম্বক পদার্থের এ ধর্মকে **নিগ্রহ-সহনশীলতা** (coercivity) বলে। এমতাবস্থায় চৌম্বক পদার্থটি চুম্বকত্ব হারায়। H-এর এ মান ঋণাত্মক দিকে ক্রমাগত বাড়াতে থাকলে I-এর মানও ঋণাত্মক হয়। *de* রেখা দিয়ে তা দেখান গেল।

তবে কোনো এক অবস্থায় I-ও ঋণাত্মক সম্পৃক্ত মান লাভ করে। এমতাবস্থায় চুম্বকায়ন মাত্রা = OE এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য = OD। চিত্রে *e* বিন্দু এ অবস্থা প্রকাশ করে। এ অবস্থায় H-এর ঋণমান আরো বাড়ালে I-এর ঋণমান আর বাড়বে না।

পুনঃ, H-এর মান ধীরে ধীরে ধনাত্মক দিকে বাড়ালে I-এর মান বাড়ে এবং *efgb* পথে *b* বিন্দুতে পৌঁছায়। *b* বিন্দুতে পৌঁছে এটি পুনরায় আগের সম্পৃক্ত মান প্রাপ্ত হয়।

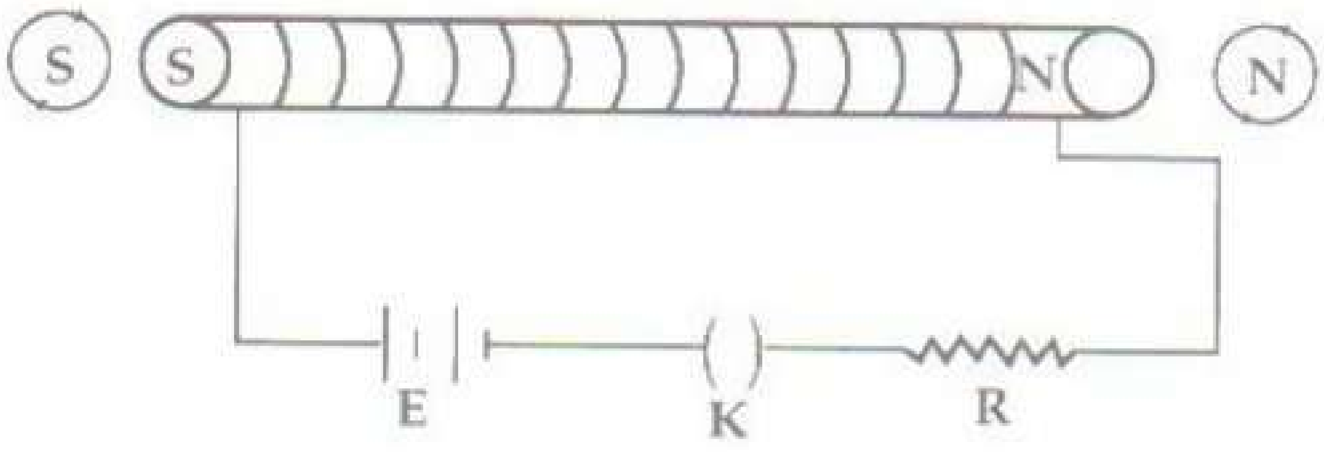
সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, সর্বস্তরে I-এর মান H-এর পশ্চাদবর্তী হচ্ছে। এটি কখনও সমান বা অগ্রবর্তী হয় না। **চুম্বকায়ন পরিমাত্রার** এই পশ্চাদবর্তিতাকে **হিসটেরেসিস** বা **শৈথিল্য** বলে। *b c d e f g b* বন্ধ লুপকে হিসটেরেসিস লুপ (Hysteresis loop) বলে এবং সমগ্র চক্রকে **হিসটেরেসিস চক্র** (Hysteresis cycle) বলে।

অর্থাৎ কোনো ফেরোচৌম্বক পদার্থে চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করে চুম্বকিত করার পর চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারণ করে বিচুম্বকিত করতে গেলে সেটি সহজে বিচুম্বকিত হতে চায় না। চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগের সময় পদার্থের চুম্বকত্ব যেভাবে বৃদ্ধি পায়, চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারণের সময় চুম্বকত্ব সেভাবে হ্রাস পায় না। চৌম্বক পদার্থের বিচুম্বকিত হতে অনীহা বা শৈথিল্য প্রদর্শন করাকে হিসটেরেসিস বলে।

জেনে রাখ : হিসটেরেসিস লুপের সাহায্যে কোন পদার্থের কি কি বিষয় জানা যেতে পারে?

চৌম্বক পদার্থের হিসটেরেসিস লুপ পর্যালোচনা করে পদার্থটির ধারণ ক্ষমতা, সহনশীলতা, চৌম্বক গ্রাহীতা ও প্রবেশ্যতা ইত্যাদি বিষয়ে মূল্যবান তথ্য পাওয়া যায়। ঐ তথ্যের সাহায্যে সিদ্ধান্ত নেওয়া যায় যে, ঐ বিশেষ চৌম্বক পদার্থটি কি কাজে ব্যবহৃত হবে। মোটর, ডায়নামো ইত্যাদি যন্ত্রের আর্মেচার কি জাতীয় চৌম্বক পদার্থের হওয়া উচিত তার ধারণা এই লুপ থেকে জানা যায়।

পরীক্ষণ : বৈদ্যুতিক পদ্ধতিতে কৃত্রিম চুম্বক প্রস্তুতকরণ



চিত্র ৪.৩২

একটি সোজা ইস্পাত দন্ড NS নিয়ে দন্ডটিকে অনুভূমিকভাবে একটি কাচ নল এর মধ্যে প্রবেশ করিয়ে নলের উপর দিয়ে অন্তরীত তামার তার জড়ানো হয় [চিত্র ৪.৩২], এবং তারের দুই প্রান্তকে একটি চাবির সাহায্যে বিদ্যুৎ কোষের দুই প্রান্তের সাথে যুক্ত করা হয়। চাবি বন্ধ করে বিদ্যুৎ প্রবাহ চালনা করলে দণ্ডটি চুম্বকে পরিণত হয়।

ইস্পাত দণ্ডের যে প্রান্তে বিদ্যুৎ প্রবাহ ঘড়ির কাটার বিপরীতমুখী হয় সেই প্রান্তে উত্তর মেরু এবং যে প্রান্তে বিদ্যুৎ প্রবাহ ঘড়ির কাঁটার দিকে হয় সেই প্রান্তে দক্ষিণ মেরুর সৃষ্টি হয়।

৪.১৩ অস্থায়ী চুম্বক ও স্থায়ী চুম্বকের ব্যবহার
Applications of Temporary and Permanent Magnets

কৃত্রিম চৌম্বক তৈরিতে ব্যবহৃত চৌম্বক পদার্থের উপাদানের উপর নির্ভর করে কৃত্রিম চুম্বককে দুই ভাগে বিভক্ত করা হয়েছে; যথা— (১) অস্থায়ী চুম্বক ও (২) স্থায়ী চুম্বক। এদের ব্যবহার নিম্নে আলোচনা করা হলো—

অস্থায়ী চুম্বকের ব্যবহার
Use of Temporary magnet

কাঁচা লোহা, নিকেল ও লোহার সংকর ধাতুর তৈরি চৌম্বক পদার্থ দিয়ে কোমল চুম্বক তৈরি হয়, এটি অস্থায়ী চুম্বক। এ ধরনের চৌম্বক পদার্থকে কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে আনলে তা চুম্বকে পরিণত হয়। চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারণ করার সাথে সাথে চুম্বকত্ব বিলুপ্ত হয়। মোটর জেনারেটর, ট্রান্সফরমার ইত্যাদিতে এই ধরনের চুম্বক ব্যবহার করা হয়। তাছাড়া বিভিন্ন আকৃতির তড়িৎচুম্বক বৈদ্যুতিক ঘণ্টা তৈরি, ইস্পাতের ভারী জিনিস উঠানামা বা ময়লা সরানোর জন্য ক্রেন তৈরিতে ব্যবহৃত হয়। তাছাড়া টেলিফোনের ইয়ার পিচ ও দরজার তড়িৎ চুম্বক তালায় ইহা ব্যবহৃত হয়। সার্কিট ব্রেকার, চৌম্বক রিলে

স্থায়ী চুম্বকের ব্যবহার
Use of Permanent magnet

স্থায়ী চুম্বকের চুম্বকত্ব সহজে বিলুপ্ত হয় না। তাই একে বিভিন্ন গুরুত্বপূর্ণ কাজে ব্যবহার করা হয়। খুব শক্তিশালী স্থায়ী চুম্বকের জন্য অ্যালিনিকো, টেপরেকর্ডিং এর ফিতার জন্য ভিক্যালর, লাউড স্পিকারের চুম্বকের জন্য টিকোনাল ব্যবহৃত হয়।

বহুল পরিচিত স্থায়ী চুম্বক হলো সিরামিক চুম্বক। এই চুম্বক কম্পিউটারের স্মৃতির ফিতায়, টেপরেকর্ডারের ফিতায় এবং রেডিওর অ্যান্টেনা তৈরিতে বহুল ব্যবহৃত হয়।

খনিজ থেকে উত্তোলনকৃত প্রাকৃতিক চুম্বকের দিকদর্শী ধর্ম থাকায় দিক নির্ণয়ের কাজে ব্যবহৃত হয়।

কতগুলি সংকর ধাতু যেমন পারমেলয় (লোহা ও নিকেলের সংকর ধাতু) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা বেশি হওয়ায় তড়িৎ চুম্বক তৈরির কাজে ব্যবহৃত হয়।

স্থায়ী চুম্বক নির্মাণের জন্য উপযুক্ত পদার্থ :

স্থায়ী চুম্বক নির্মাণের জন্য উপযুক্ত চৌম্বক পদার্থের নিম্নলিখিত ধর্মগুলি থাকা প্রয়োজন। যথা—

(i) পদার্থটির ধারণ ক্ষমতা উচ্চমানের হতে হবে যাতে পদার্থটিকে চৌম্বক ক্ষেত্র থেকে সরিয়ে নিলেও পদার্থটি কিছু পরিমাণ চুম্বকত্ব ধরে রাখতে পারে।

(ii) পদার্থটির সহনশীলতা উচ্চমানের হওয়া প্রয়োজন যাতে পদার্থটিকে যথেচ্ছ ব্যবহারের পরেও আবিষ্ট চুম্বকত্ব ধরে রাখতে পারে।

(iii) পদার্থটির সম্পৃক্ত চুম্বক (Staturation magnetization) উচ্চমানের হতে হবে যা চুম্বকটিকে শক্তিশালী করতে সাহায্য করে।

(iv) পদার্থটির চৌম্বক ভেদ্যতা উচ্চমানের হতে হবে।

ইস্পাতের ক্ষেত্রে উপরোল্লিখিত গুণাবলির সবকটি পরিপূর্ণভাবে না থাকলেও কাছাকাছি ধর্মাবলি থাকায় স্থায়ী চুম্বক নির্মাণে ইস্পাত বহুল পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। ইস্পাত ছাড়া আরও কিছু সংকর ধাতু; যেমন—অ্যালেনিকো (লোহা, তামা, অ্যালুমিনিয়াম, নিকেল, কোবাল্টের সংমিশ্রণ), টিকোনাল (লোহা, তামা, অ্যালুমিনিয়াম, টাইটেনিয়াম, কোবাল্ট, নিকেলের সংমিশ্রণ) স্থায়ী চুম্বক তৈরিতে ব্যবহৃত হয়।

তড়িৎ চুম্বক তৈরির জন্য উপযুক্ত পদার্থ :

যে সকল পদার্থ তড়িৎ চুম্বক তৈরির জন্য ব্যবহার করা হয় সেগুলোর নিম্নলিখিত ধর্মাবলি থাকা প্রয়োজন—

(i) পদার্থটির সম্পৃক্ত চুম্বকন উচ্চমানের হওয়া প্রয়োজন যা তড়িৎ চুম্বকটিকে শক্তিশালী করতে সাহায্য করে।

(ii) পদার্থটির ধারণক্ষমতা কম হওয়া প্রয়োজন যাতে চৌম্বক ক্ষেত্র সরিয়ে নিলে পদার্থটি তার সম্পূর্ণ চুম্বকত্ব সহজেই হারিয়ে ফেলতে পারে।

(iii) পদার্থটির সহনশীলতা কম হওয়া প্রয়োজন যাতে সহজেই পদার্থটি বিচুম্বকিত হয়।

(iv) পদার্থটির হিসটেরিসেস ক্ষয় (hysteresis loss) কম হওয়া প্রয়োজন যাতে চুম্বক এবং বিচুম্বকনের সময় পদার্থটি উত্তপ্ত না হয়।

কাঁচা লোহা বা স্ট্যালয়ের (সিলিকন ও লোহার সংমিশ্রণ) এই গুণগুলি থাকায় তড়িৎ চুম্বক তৈরিতে এ সমস্ত পদার্থ ব্যবহার করা হয়।

ট্রান্সফরমার বা ডায়নামোর কোর (core) বা মজ্জা তৈরিতে ব্যবহৃত পদার্থ :

উচ্চমান চৌম্বকভেদ্যতা সম্পন্ন পদার্থ কোর নির্মাণে আদর্শ বস্তু হিসেবে বিবেচিত হয়। নরম লোহার এই গুণ থাকায় কোর বা মজ্জা তৈরিতে বহুল পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। এছাড়া পারমালয় (লোহা ও নিকেলের সংমিশ্রণ) এবং ট্রান্সফরমার ইস্পাত (লোহা ও সিলিকন সংমিশ্রণ) সংকর ধাতু ব্যবহার করা হয়। (১৬ — ১৪)

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$$\phi_0 = BA \quad \cdots \quad (1)$$

$$B = \frac{\phi_B}{A},\ B = \frac{F}{qV},\ \vec{B} = \mu\vec{H} \quad \cdots \quad (2)$$

* চৌম্বক ধর্ম ৩ টি হলো - ডায়াচৌম্বক

$$\oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu.I,\ B = \mu.I \times n \quad \cdots \quad (3)$$

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{idl\sin\alpha}{r^2} \quad \cdots \quad (4)$$

আবেশ !

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \quad \cdots \quad (5)$$

* প্যারাচৌম্বক পদার্থের উদাহরণ -

$$B = \frac{\mu_0 nI}{2r} \quad \cdots \quad (6)$$

$$J = \frac{I}{A} \quad \cdots \quad (7)$$

P O M P A

$$F = qvB\sin\theta,\ F = ilb\sin\theta \quad \cdots \quad (8)$$

$$E_H = vB \quad \cdots \quad (9)$$

$$V_H = E_H d = \frac{BI}{nbq} \quad \cdots \quad (10)$$

Pt O_2 Mn Pd Al + Cr, Na

$$i = neVA \quad \cdots \quad (11)$$

$$F = niBA\sin\alpha = NIAB = NIAB\sin\alpha \quad \cdots \quad (12)$$

$$L = mrv,\ \vec{L} = m(\vec{r} \times \vec{v}) = mvr\sin\theta \quad \cdots \quad (13)$$

* ফেরোচৌম্বক পদার্থের উদাহরণ -

$$\mu_l = \frac{-e}{2m}\vec{L} \quad \cdots \quad (14)$$

$$\mu_l = \frac{eh}{4\pi m} \quad \cdots \quad (15)$$

নীলার ফিরোজে নেচে সোনার কোবাল্ট

$$H = I\cos\delta \quad \cdots \quad (16)$$

$$V = I\sin\delta \quad \cdots \quad (17)$$

$$I = \sqrt{H^2 + V^2} \quad \cdots \quad (18)$$

Ni Fe ডিসপ্রোসিয়াম গ্যাডোলিনিয়াম

$$\frac{V}{H} = \tan\delta \quad \cdots \quad (19)$$

$$H = V\cot\delta \quad \cdots \quad (20)$$

$$F = \mu_0\frac{I_1 I_2 l}{2\pi r} \quad \cdots \quad (21)$$

কোবাল্ট

উচ্চতর দক্ষতাসম্পন্ন নমুনা গাণিতিক উদাহরণ

১। তাসমিন ওয়াশিংটন বিশ্ববিদ্যালয়ে অধ্যয়নের সময় শিক্ষক গিলবার্টসহ ক্লাসের অন্যান্য বন্ধুরা মিলে ভূ-চুম্বকের অনুভূমিক উপাংশ নির্ণয় করে $27.87\mu T$ ও বিনতি বৃত্তের সাহায্যে বিনতি নির্ণয় করে $30°$ পেয়েছিল। শিক্ষক পরীক্ষালব্ধ ফল সঠিক কিনা তা যাচাই করতে বলল।

(ক) ওয়াশিংটনে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত?

(খ) ঐ স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশের মান এবং উল্লম্ব উপাংশের তুলনা কর।

সমাধান : (ক) দেওয়া আছে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ $H = 27.87\mu T$ এবং বিনতি $\delta = 30°$

এখানে উল্লম্ব উপাংশ, $V = H \tan\delta$

$$= (27.87 \tan 30°)\ \mu T$$

$$\therefore \quad V = 16.1\ \mu T$$

ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মান, $B = \sqrt{V^2 + H^2} = \sqrt{(16.1)^2 + (27.87)^2}$

$$B = 32.18\ \mu T$$

(খ) আমরা জানি কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশকে ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য H এবং উল্লম্ব উপাংশকে ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের উল্লম্ব উপাংশ বলে।

ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ, $V = H \tan\delta$

$$= (27.87 \tan 30°)\ \mu T$$

$$= 16.1\ \mu T$$

আবার ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ, $H = 27.87\ \mu T$

$\therefore$ ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ ও উল্লম্ব উপাংশের অনুপাত

$$H : V = 27.87 : 16.1 = 1.7 : 1$$

উ: ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান উল্লম্ব উপাংশ অপেক্ষা 1.7 গুণ বেশি।

২। রফিক I—H লুপ বিশ্লেষণ করে দেখল কোনো পদার্থকে চুম্বকিত করতে যে পরিমাণ শক্তির প্রয়োজন হয় বিচুম্বকিত করার সময় সে শক্তি সম্পূর্ণভাবে ফিরে পাওয়া যায় না। একটি লোহার দণ্ডকে প্রতি সেকেন্ডে চক্রের একটি চুম্বক বলের ভেতরে নিয়ে যাওয়ায় প্রতি চক্রে প্রতি ঘনমিটারে 5×10^3 J শক্তির অপচয় ঘটে। লোহার ঘনত্ব 7.8×10^3 kg ms^{-3} এবং আপেক্ষিক তাপ 460 J kg^{-1} K^{-1}। ধরে নেওয়া হয় সকল উৎপন্ন তাপ লোহা কর্তৃক শোষিত হয়।

(ক) প্রতি মিনিটে কত তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে?

(খ) হিস্টেরিসিস এর দরুন শক্তির অপচয় ঘটে কিন্তু শক্তির সংরক্ষণশীলতা নীতি কার্যকর হয়—ব্যাখ্যা কর।

সমাধান : (ক) ধরি লোহার তাপমাত্রা বৃদ্ধি পাবে $= \theta$ K

প্রশ্নানুযায়ী প্রতি সেকেন্ডে প্রতি ঘনমিটারে শক্তির অপচয় $= 5 \times 10^3$ J

প্রতি মিনিটে শক্তির অপচয় $= 60 \times 5 \times 10^3 = 3 \times 10^5$ J

প্রতি মিনিটে উৎপন্ন তাপশক্তি, $H = ms\theta = (V \times \rho) \times s \times \theta$

$$= 1 \times 7.8 \times 10^3 \times 460 \times \theta$$

$\therefore$ শক্তির অপচয় = উৎপন্ন তাপশক্তি

$$3 \times 10^5 = 1 \times 7.8 \times 10^3 \times 460 \times \theta$$

$$\therefore \quad \theta = \frac{3 \times 10^5}{7.8 \times 10^3 \times 460}$$

$\therefore$ তাপমাত্রা বৃদ্ধি $= 0.08$ K

(খ) হিস্টেরিসিস চক্র পর্যালোচনা করলে দেখা যায় যে, কোনো পদার্থকে চুম্বকিত করতে যে শক্তির প্রয়োজন বিচুম্বকিত করতে সেই শক্তি ফিরে পাওয়া যায় না। চুম্বক ক্ষেত্র সম্পূর্ণ সরিয়ে নেওয়ার পরেও পদার্থের মধ্যে কিছুটা চুম্বকত্ব থেকে যায়। এর নাম অবিশিষ্ট চুম্বকত্ব। একে বিলুপ্ত করতে হলে বিপরীত দিকে চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করতে হয়। সুতরাং সিদ্ধান্ত নেওয়া যায় যে, কোনো পদার্থে চুম্বকায়ন চক্রের অনুসরণ করলে কিছু পরিমাণ শক্তির অপচয় ঘটে। এই অপচয় হিস্টেরিসিস লস বলে। শক্তির এ অপচয়ের পরিমাণ I—H লুপ কর্তৃক বেষ্টিত তলের ক্ষেত্রফলের সমান। হিস্টেরিসিস এর জন্য শক্তির যে অপচয় ঘটে, তা তাপে রূপান্তরিত হয় এবং বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে ব্যয় হয়। এভাবে শক্তির সংরক্ষণশীলতার নীতি কার্যকর হয়।

৩। একটি লম্বা ও সোজা তারে 60A তড়িৎ সরবরাহ করা হলো, তার থেকে 40 cm দূরে P একটি বিন্দু। পরবর্তীতে তারটিকে বাঁকিয়ে 40 cm ব্যাসার্ধের এক পাকের বৃত্তাকার কুণ্ডলী করা হলো যার কেন্দ্র হলো Q।

[ঢা. বো. ২০১৫]

(ক) P বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান নির্ণয় কর।

(খ) পরিবাহী থেকে P এবং Q বিন্দু সমদূরে থাকলেও চৌম্বক ক্ষেত্রের মান ভিন্ন হতে পারে কী? গাণিতিক বিশ্লেষণসহ মতামত দাও।

(ক) আমরা জানি,

$$B_P = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7}\ \text{TmA}^{-1}}{2\pi \times 0.4\ \text{m}}$$

$$= 3 \times 10^{-5}\ \text{T}$$

এখানে,
$I = 60\text{A}$
$r = 40\ \text{cm} = 0.4\ \text{m}$
$B_P = ?$

(খ) উদ্দীপকে, $n = 1$, $I = 60\text{A}$,

অতএব বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র, $B_Q = \frac{\mu_0 nI}{2r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 60}{2 \times 0.4} = 9.425 \times 10^{-5}\ \text{T}$

$\therefore$ $B_Q > B_P$, সুতরাং পরিবাহী থেকে P এবং Q বিন্দু সমদূরত্বে থাকলেও চৌম্বক ক্ষেত্রের মান ভিন্ন হতে পারে।

৪। 5×10^{-3} kg ভর 0.6 m দৈর্ঘ্য এবং 0.1 Ω রোধবিশিষ্ট একটি পরিবাহী তার 1.8×10^{-3} T ফ্লাক্স ঘনত্বের সুষম চৌম্বকক্ষেত্রে লম্বভাবে রাখা আছে। তারটির দুই প্রান্তে 4.5 V বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করে এতে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করা হলো। ($H = 1.8 \times 10^{-5}$T) [রা. বো. ২০১৫]

(ক) চৌম্বক প্রবেশ্যতা কত?

(খ) তারটি চৌম্বক ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থায় থাকবে—উক্তিটির যথার্থতা ব্যাখ্যা কর।

(ক) দেওয়া আছে, $B = 1.8 \times 10^{-3}$ T, $H = 1.8 \times 10^{-5}$ T, $\mu = ?$

আমরা জানি, $B = \mu H$

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{1.8 \times 10^{-3}}{1.8 \times 10^{-5}} = 100\ \text{weber/amp-m}$$

(খ) আমরা জানি, B মানের চৌম্বক ক্ষেত্রে l দৈর্ঘ্যের কোনো পরিবাহী তারের মধ্য দিয়ে I মাত্রায় তড়িৎ প্রবাহিত হলে এর ওপর প্রযুক্ত চৌম্বক বল, $\vec{F} = \hat{\eta} I \vec{l} \times \vec{B} = IlB \sin\theta \hat{\eta}$

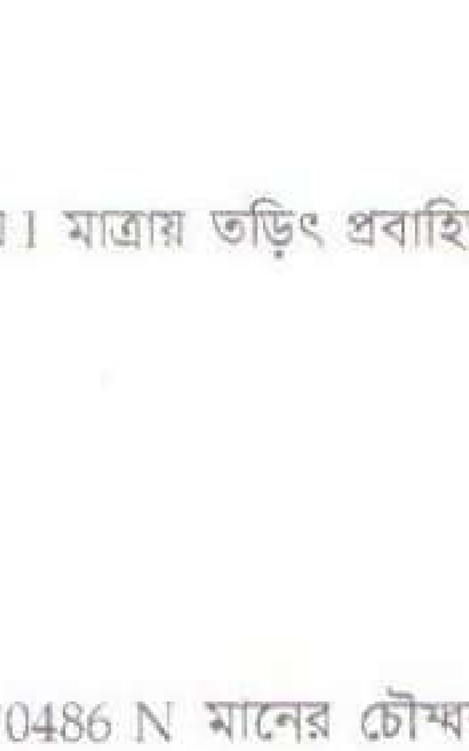
উদ্দীপকের তথ্য অনুযায়ী, $I = \frac{V}{R} = \frac{4.5}{0.1} = 45\text{A}$

আবার, $l = 0.6$ m, $B = 1.8 \times 10^{-3}$ T, $\theta = 90°$

$\therefore F = IlB \sin\theta = 45 \times 0.6 \times 1.8 \times 10^{-3} \sin 90° = 0.0486$ N

সুতরাং তারটি চৌম্বক ক্ষেত্রে সাম্যাবস্থায় থাকবে উক্তিটি সঠিক নয়। বরং এর উপর 0.0486 N মানের চৌম্বক বল ক্রিয়া করবে, যার দিক হবে ওপরের দিকে যা ফ্লেমিং এর বাম হস্ত নিয়ম থেকে পাওয়া যায়।

৫। উদ্দীপকে একটি তড়িৎবাহী কুণ্ডলীকে 5×10^{-3} Wb/m² মানের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হলো। কুণ্ডলীটির দৈর্ঘ্য 50 cm এবং প্রস্থ 20 cm। এর মধ্য দিয়ে 10 A তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে।



(ক) কুণ্ডলীর প্রতিটি বাহুতে ক্রিয়াশীল বলের মান নির্ণয় কর।

(খ) কুণ্ডলীটিকে চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 30° কোণে ঘুরালে এর ওপর ক্রিয়াশীল টর্কের কোনো পরিবর্তন হবে কী? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(ক) QR বাহু এবং PS বাহু অর্থাৎ প্রবাহের দিক চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের সাথে সমান্তরালে অবস্থিত, $\theta = 0°$

এই দুই বাহুতে প্রযুক্ত বল, $F_1 = IbB \sin\theta = IbB \sin 0° = 0$

এখানে,
$B = 5 \times 10^{-3}\ \text{Wb/m}^2$
$l = 50\ \text{cm} = 0.5\ \text{m}$
$b = 20\ \text{cm} = 0.2\ \text{m}$
$I = 10\text{A}$
$F_1 = ?$
$F_2 = ?$

RS বা PQ বাহু অর্থাৎ প্রবাহের দিক চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত, $\theta = 90°$। এই দুই বাহুর উপর ক্রিয়াশীল বল,

$F_2 = IlB \sin 90°$, এখানে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক এবং বিদ্যুৎ প্রবাহের দিক পরস্পর লম্ব, $\theta = 90°$

$= 10 \times 0.5 \times 5 \times 10^{-3} \sin 90°$

$= 0.025$ N

(খ) উদ্দীপকে বর্ণিত আয়তাকার কুণ্ডলীতে টর্কের মান

$\tau_2 = F_2 \times b = 0.025 \times 0.2 = 0.0050$ Nm

কুণ্ডলীকে চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 30° কোণে ঘুরালে QR ও PS বাহুর উপর ক্রিয়াশীল বল

$F_1' = Ib\,B \sin 30° = 10 \times 0.2 \times 5 \times 10^{-3} \times \frac{1}{2} = 0.005$ N

$\therefore$ টর্ক, $\tau'_1 = F'_1 \times l = 0.005 \times 0.5 = 0.0025$ N

পরিবর্তিত অবস্থানে PQ বা RS বাহুর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত প্রবাহের দিক এবং $\vec{B}$ এর মধ্যবর্তী কোণ 90°-ই থাকবে। তাই বাহুদ্বয়ের মধ্যে টর্কের মানও অপরিবর্তিত থাকবে।

সার-সংক্ষেপ

বিদ্যুৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া : কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে তার চারপাশে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্ট হয়। একে বিদ্যুৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া বলে।

চৌম্বক ক্ষেত্র : কোনো চুম্বক বা বিদ্যুৎবাহী তারের চতুর্দিকে যে অঞ্চল জুড়ে একটি চৌম্বক শলাকা বিক্ষেপ দেখায় তাকে ঐ চুম্বক বা বিদ্যুৎবাহী তারের চৌম্বক ক্ষেত্র বলে। একটি একক চার্জ একক বেগে চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে গতিশীল হলে যে বল লাভ করে, তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের মান এবং একটি চৌম্বক শলাকাকে চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে স্থাপন করলে তার উত্তর মেরু যে দিক নির্দেশ করে, তাই চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক।

1 ওয়েবার : কোনো কুণ্ডলীতে প্রতি সেকেন্ডে যত সংখ্যক ফ্লাক্স পরিবর্তনের জন্য ঐ কুণ্ডলীতে 1 ভোল্ট বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয় তাকে 1 ওয়েবার বলে।

চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা বা আবেশ রেখা : চৌম্বক ক্ষেত্র (বা আবেশ) রেখা চৌম্বক ক্ষেত্রে অঙ্কিত কতকগুলো বন্ধ বক্ররেখা যাদের কোনো বিন্দুতে অঙ্কিত স্পর্শক ঐ বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক নির্দেশ করে।

চৌম্বক ফ্লাক্স ও ফ্লাক্স ঘনত্ব : কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে বাস্তব বা কল্পিত কোনো তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক বলরেখা বা আবেশ রেখার সংখ্যাকে চৌম্বক ফ্লাক্স বলে। কোনো একটি তলের একক ক্ষেত্রফলের উপরে যতসংখ্যক চৌম্বক ফ্লাক্স বা আবেশ রেখা লম্বভাবে আপতিত হয় তাকে ঐ তলের ফ্লাক্স ঘনত্ব বলে।

1 টেসলা : যদি কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের সাথে সমকোণে 1 কুলম্ব চার্জ 1 ms^{-1} বেগে গতিশীল হয় এবং 1 N বল অনুভব করে তবে সেই চৌম্বক ক্ষেত্রের মানকে 1 টেসলা বলে।

এক অ্যাম্পিয়ার : শূন্য মাধ্যমে পরস্পর হতে 1m দূরত্বে অবস্থিত দুটি অসীম দৈর্ঘ্যের সমান্তরাল তারের প্রত্যেকের মধ্য দিয়ে যে পরিমাণ বিদ্যুৎ একই দিকে প্রবাহিত হলে উভয় তারের প্রতি মিটার দৈর্ঘ্যের উপর আকর্ষণ বলের মান 2×10^{-7} N-এর সমান হবে তাকে এক অ্যাম্পিয়ার বলে।

লরেঞ্জ বল : কোনো স্থানে একই সঙ্গে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্র বিদ্যমান থাকলে একটি গতিশীল চার্জ যে লব্ধি বল অনুভব করে তাকে লরেঞ্জ বল বলে।

বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র : ক্ষুদ্র দৈর্ঘ্যের কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে এর চারপাশে যে চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয় তার কোনো বিন্দুতে চৌম্বকীয় আবেশের মান—(i) বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক, (ii) পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক, (iii) পরিবাহীর মধ্যবিন্দু হতে ঐ বিন্দুর সংযোগ রেখা এবং পরিবাহীর অন্তর্ভুক্ত কোণের সাইনের সমানুপাতিক, (iv) পরিবাহীর মধ্য বিন্দু হতে ঐ বিন্দুর দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

হল ক্রিয়া ও হল বিভব পার্থক্য বা হল ভোল্টেজ : কোনো বিদ্যুৎবাহীর প্রবাহের দিকের সাথে অভিলম্ব বরাবর একটি চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে ঐ প্রবাহ ও চৌম্বক ক্ষেত্র উভয়ের অভিলম্ব অভিমুখে একটি বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয়। এ ক্রিয়াকে বলা হয় হল ক্রিয়া এবং সৃষ্ট বিভব পার্থক্যকে বলা হয় হল বিভব পার্থক্য বা হল ভোল্টেজ।

অ্যাম্পিয়ারের সূত্র : কোনো বন্ধ পথ বরাবর কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের রৈখিক সমাকলন, পথটি দ্বারা বেষ্টিত ক্ষেত্রফলের ভেতর প্রবাহিত মোট প্রবাহমাত্রার μ_0 গুণ।

ভূ-চৌম্বক অক্ষ : ভূ-চুম্বকের উত্তর ও দক্ষিণ মেরু সংযোজক সরলরেখাকে ভূ-চৌম্বক অক্ষ বলে।

চৌম্বক মধ্যতল : ভূ-চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ দিয়ে অঙ্কিত কাল্পনিক উল্লম্ব তলকে চৌম্বক মধ্যতল বলে।

বিচ্যুতি কোণ : পৃথিবীর কোনো স্থানে চৌম্বক মধ্যতল ও ভৌগোলিক মধ্যতলের মধ্যবর্তী কোণকে ঐ স্থানের ভূ-চুম্বকত্বের বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি বলে।

বিনতি কোণ : পৃথিবীর কোনো স্থানে ভারকেন্দ্র দিয়ে মুক্তভাবে ঝুলন্ত চুম্বকের চৌম্বক অক্ষ অনুভূমিকের সাথে যে কোণ উৎপন্ন করে স্থির থাকে, তাকে ঐ স্থানের ভূ-চুম্বকত্বের বিনতি কোণ বলে।

ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা মোট প্রাবল্য : পৃথিবীর কোনো স্থানে একটি একক মেরুশক্তির উত্তর মেরুর উপর ভূ-চুম্বকত্বের দরুন যে বল ক্রিয়া করে তাকে ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য বা মোট প্রাবল্য বলে।

অনুভূমিক প্রাবল্য : কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশকে ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য বলে।

উল্লম্ব প্রাবল্য : কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের উল্লম্ব উপাংশকে ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব প্রাবল্য বলে।

চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক : চৌম্বক দ্বিপোলের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট মোমেন্ট বা ভ্রামককে চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক বলে।

চৌম্বক আবেশ : যে প্রক্রিয়ায় একটি চৌম্বক পদার্থ চুম্বকে পরিণত হয়, তাকে চৌম্বক আবেশ বলে।

কুরী বিন্দু : যে তাপমাত্রায় কোনো একটি চুম্বকের চুম্বকত্ব সম্পূর্ণরূপে বিলুপ্ত হয়, তাকে উক্ত চুম্বকের উপাদানের কুরী বিন্দু বলে।

চৌম্বক প্রাবল্য বা তীব্রতা : চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে চৌম্বক আবেশ বা চৌম্বক ক্ষেত্র এবং চৌম্বক প্রবেশ্যতার অনুপাতকে চৌম্বক প্রাবল্য বা তীব্রতা বলে।

চৌম্বক ধারকতা : চুম্বক বলের প্রভাব সরিয়ে নেওয়ার পর যে ধর্মের জন্য চৌম্বক পদার্থের মধ্যে কিছু পরিমাণ চুম্বকত্ব ধরে রাখা যায় তাকে ঐ পদার্থের চৌম্বক ধারকতা বলে।

চৌম্বক নিগ্রাহিতা বা সহনশীলতা : চুম্বকত্ব হ্রাসের কারণসমূহ থাকা সত্ত্বেও কোনো একটি চৌম্বক পদার্থের মধ্যে উৎপন্ন চুম্বকত্ব ধরে রাখার ক্ষমতাকে ঐ পদার্থের নিগ্রাহিতা বা সহনশীলতা বলে।

চুম্বকায়ন মাত্রা বা তীব্রতা : চৌম্বক ক্ষেত্রে প্রতি একক আয়তনের চৌম্বক ভ্রামককে তার চুম্বকায়ন মাত্রা বা তীব্রতা বলে।

ইলেকট্রন স্পিন : একটি ইলেকট্রনের কক্ষপথে ঘূর্ণনের জন্য যে সহজাত কৌণিক ভরবেগ উৎপন্ন হয় ইহাই ইলেকট্রন স্পিন।

পৃথিবীর চৌম্বকত্ব : পদার্থবিজ্ঞানের যে শাখায় পৃথিবীর চুম্বকত্ব এবং এতদসংক্রান্ত বিভিন্ন দিক জানা যায়, তাকে ভূ-চুম্বকত্ব বা পৃথিবীর চুম্বকত্ব বলে।

প্যারাচৌম্বক পদার্থ : যে সকল পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করলে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের দিকে সামান্য চুম্বকত্ব লাভ করে তাদেরকে প্যারাচৌম্বক পদার্থ বলে।

ডায়াচৌম্বক পদার্থ : যে সকল পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হলে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের বিপরীত দিকে সামান্য চুম্বকত্ব লাভ করে তাদেরকে ডায়াচৌম্বক পদার্থ বলে।

ফেরোচৌম্বক পদার্থ : যে সকল পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হলে চুম্বকায়নকারী ক্ষেত্রের দিকে শক্তিশালী চুম্বকত্ব লাভ করে তাদেরকে ফেরোচৌম্বক পদার্থ বলে।

চৌম্বক ডোমেইন : ফেরোচৌম্বক পদার্থের মধ্যে অসংখ্য চৌম্বক অঞ্চল থাকে যার মধ্যে চৌম্বক দ্বিপোলগুলি একই দিকে সজ্জিত থাকে। এরূপ চুম্বক অঞ্চলকে চৌম্বক ডোমেইন বলে।

তড়িৎ চৌম্বক : কাঁচা লোহাতে অন্তরীত তার জড়িয়ে তারের ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করলে যে চুম্বক তৈরি হয় তাকে তড়িৎ চৌম্বক বলে।

অস্থায়ী চুম্বক : কিছু চৌম্বক পদার্থ আছে যাদেরকে চৌম্বক ক্ষেত্রে আনলে তা চুম্বকে পরিণত হয় আবার চৌম্বক ক্ষেত্র অপসারণ করলে চৌম্বক ধর্ম বিলুপ্ত হয়। এই ধরনের চুম্বকই অস্থায়ী চুম্বক।

স্থায়ী চুম্বক : এমন কিছু চৌম্বক পদার্থ আছে যা দ্বারা কৃত্রিম চুম্বক তৈরি করলে চুম্বকত্ব সহজে বিলুপ্ত হয় না। এই সকল চুম্বককে কৃত্রিম চুম্বক বলে।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। চৌম্বক ক্ষেত্রে কোনো গতিশীল চার্জ যে বল লাভ করে তা নির্ভর করে (ক) চার্জের পরিমাণের ওপর বা চার্জের ওপর (খ) চৌম্বক ক্ষেত্রের ওপর। চৌম্বক প্রাবল্যের একক Am^{-1} বা NWb^{-1}

২। অনুভূমিকভাবে ঝুলানো একটি চুম্বক উত্তর-দক্ষিণ বরাবর থাকতে চায় কারণ সে বরাবর—
(ক) টর্ক শূন্য হয় (খ) লব্ধি বল শূন্য হয় (গ) বলরেখা সমান্তরাল হয়।

৩। মেরু শক্তির একক A-m। চৌম্বক প্রাবল্য B এর একক Tesla বা $Weber/m^2$ বা N/A-m।

৪। একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের $(\vec{B})$ মধ্যে স্থাপিত l দৈর্ঘ্যের একটি সোজা তারের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহ I হলে তারের উপর চৌম্বক বল = $\vec{F} = i\vec{l} \times \vec{B}$

৫। যে তাপমাত্রায় চুম্বকের চুম্বকত্ব সম্পূর্ণরূপে নষ্ট হয় তাকে কুরীবিন্দু বলে।

৬। কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রে একটি চার্জ গতিশীল হলে সেটি যে বল লাভ করে তার মান আধানের পরিমাণ, আধানের বেগ, চৌম্বক ক্ষেত্রের মান-এর উপর নির্ভর করে। আধানের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না।

৭। গ্যালভানোমিটারকে অ্যামিটারে পরিণত করতে হলে সমান্তরালে রোধ সংযোগ করতে হবে।

৮। দুটি সমান্তরাল পরিবাহীর মধ্য দিয়ে পরস্পরের বিপরীত দিকে তড়িৎ প্রবাহিত হলে তারদ্বয়ে সৃষ্ট বল পরস্পরকে বিকর্ষণ করে। আর একই দিকে প্রবাহিত হলে আকর্ষণ করে।

৯। তড়িৎ প্রবাহের চৌম্বক ক্রিয়া আবিষ্কার করেন ওয়েরস্টেড।

১০। কুরী বিন্দু পাওয়া যায় ফেরোচৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে।

১১। চার্জিত একটি কণার উপর ক্রিয়াশীল চৌম্বক বলের মান শূন্য হবে যদি—
(ক) চার্জিত কণা প্রযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকে গতিশীল হয় (খ) চার্জিত কণা স্থির থাকে

১২। একটি চুম্বকের মধ্যে একটি বৃহদাকার ছিদ্র করা হলে তার চৌম্বক ভ্রামকের মান হ্রাস পাবে।

১৩। প্যারাচৌম্বক পদার্থ চুম্বক দ্বারা ক্ষীণভাবে আকর্ষিত হয়।

১৪। হল বিভবের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রাবল্যের মান হলো $E = \frac{V_H}{d}$ এবং $V_H \propto \frac{1}{n}$.

১৫। হিসটেরেসিসের ফলে শক্তির অপচয় ঘটে এবং বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়।

১৬। চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক চৌম্বক মেরুর মেরুশক্তি ও চৌম্বক দৈর্ঘ্যের গুণফলের সমান। ইহা একটি ভেক্টর রাশি। ইলেকট্রনের কৌণিক বেগ বেড়ে গেলে চৌম্বক মোমেন্ট বাড়ে।

১৭। সুষম চৌম্বক ক্ষেত্র একটি গতিশীল ধনাত্মক আধানের উপর যে কাজ করে তার মান শূন্য হয়।

১৮। একটি পদার্থকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হলে এটি যে চৌম্বক শক্তির সামর্থ্য অর্জন করে তা নির্ভর করে চৌম্বক গ্রাহীতার উপর। শূন্য স্থানে চৌম্বক প্রবেশ্যতার মান $4\pi \times 10^{-7}\ TmA^{-1}$.

১৯। ফেরোচৌম্বক পদার্থকে কুরি তাপমাত্রায় নিলে প্যারাচৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়। ফেরোচৌম্বকের ক্ষেত্রে $\mu >> 1, K >> 1$.

২০। কক্ষপথে ঘূর্ণনরত ইলেকট্রন (ক) নিজ অক্ষের সাপেক্ষে আবর্তন করে (খ) স্পিনের দরুন ইলেকট্রনের একটি চৌম্বক ভ্রামক উৎপন্ন হয়।

২১। ভূ-পৃষ্ঠের যে স্থানে ভূ-চৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশ সমান সেখানে বিনতি কোণ 45°।

২২। ডায়াচৌম্বক পদার্থের বৈশিষ্ট্য হলো—(ক) এরা চুম্বক দ্বারা ক্ষীণভাবে বিকর্ষিত হয় (খ) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা $\mu < 1$ এবং $K < 0$ হয়। প্যারা চৌম্বকের পদার্থের ক্ষেত্রে $\mu > 1, K > 1$.

২৩। একটি পদার্থকে চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপন করা হলো। এর চৌম্বক শক্তি অর্জন করার সামর্থ্য নির্ভর করে চৌম্বক গ্রাহীতার উপর। তড়িৎবাহী বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান $B = \frac{\mu_0 I}{2r}$.

২৪। চুম্বকের জ্যামিতিক দৈর্ঘ্য = চৌম্বক দৈর্ঘ্য ÷ 0·85, গাউস হলো চৌম্বক ক্ষেত্রের একক, $1T = 10^4$ Gauss বা, 1 Gauss = 10^{-4} T। পৃথিবীর উভয় মেরুতে বিনতির মান 90°।

২৫। বিষুবীয় অঞ্চলে বিনতি কোণের মান 0°। ঢাকার বিনতি 31°N।

২৬। কোনো কুণ্ডলীতলকে অতিক্রমকারী চৌম্বক ক্ষেত্র রেখার সংখ্যাকে বলা হয় ঐ কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স। চৌম্বক পদার্থের প্রতি একক আয়তনে চৌম্বক ভ্রামককে চুম্বকায়ন তীব্রতা বলে।

২৭। লোহা ফেরোচৌম্বক, সোডিয়াম প্যারাচৌম্বক, সোনা ডায়াচৌম্বক পদার্থ। ডায়াচৌম্বক পদার্থ কঠিন, তরল ও বায়বীয় হতে পারে।

২৮। হিসটেরেসিস পর্যালোচনা করে পদার্থের ধারণ ক্ষমতা, সহনশীলতা, প্রবেশ্যতা জানা যায়।

২৯। একটি পরিবাহীর ভেতর দিকে I তড়িৎ প্রবাহের জন্য পরিবাহীর নিকটে কোনো বিন্দুতে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র $B \propto I$। কোনো স্থানে বিনতি কোণ 60° হলে H ও V এর মধ্যে সম্পর্ক হবে $V = \frac{\sqrt{3}}{2}H$।

৩০। ট্রান্সফরমারে অস্থায়ী চুম্বক ব্যবহার করা হয় না। ডায়াচৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে $B < H$।

৩১। স্থায়ী চুম্বক নির্মাণে সেই সকল পদার্থ অধিক উপযোগী যাদের চৌম্বক ধারণ ক্ষমতা ও চৌম্বক সহনশীলতা উচ্চ মানের হয়।

৩২। প্যারাম্যাগনেটিক পদার্থ দুর্বলভাবে চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা আকর্ষিত হয়।

৩৩। টর্ক ব্যবহৃত হয় গ্যালভানোমিটার, জেনারেটর এবং বৈদ্যুতিক মোটরে।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। ওয়েরস্টেডের পরীক্ষা থেকে জানা যায়—
(i) পরিবাহীর মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে এর চারদিকে চৌম্বক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়
(ii) চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক বিদ্যুৎ প্রবাহের দিকের ওপর নির্ভর করে
(iii) একই বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্রের দিক ও মান নির্দিষ্ট নাও হতে পারে

নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓐ i ও ii
ⓑ i ও iii
ⓒ ii ও iii
ⓓ i, ii ও iii

২। যদি কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখের সাথে সমকোণে 1 কুলম্ব চার্জ 1 ms^{-1} বেগে গতিশীল হয় এবং 1 N বল অনুভব করে তবে ঐ চৌম্বক ক্ষেত্রের মানকে কী বলে ?
ⓐ 1 ওয়েবার
ⓑ 1 টেসলা
ⓒ 1 গাউস
ⓓ 1 অ্যাম্পিয়ার

৩। চৌম্বক বলরেখার ধর্ম হলো—
(i) বলরেখাগুলো বন্ধ বক্ররেখা
(ii) বলরেখাগুলো পরস্পরকে ছেদ করে
(iii) বলরেখাগুলো উত্তর মেরু হতে দক্ষিণ মেরুর দিকে যায়

নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓐ i ও ii
ⓑ i ও iii
ⓒ ii ও iii
ⓓ i, ii ও iii

৪। $2l$ দৈর্ঘ্য, M চৌম্বক ভ্রামক এবং m মেরু শক্তি-বিশিষ্ট একটি দীর্ঘ চুম্বক শলাকাকে সমান দুভাগে ভাগ করা হলো। প্রত্যেক টুকরার চৌম্বক ভ্রামক ও মেরু শক্তি হবে—
ⓐ M, m
ⓑ M/2, m/2
ⓒ M/2, m
ⓓ M, m/3

৫। স্থির চার্জের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য—
(i) স্থির চার্জের ওপর তড়িৎক্ষেত্র বল প্রয়োগ করে
(ii) স্থির চার্জের ওপর চৌম্বক বল প্রযুক্ত হয়
(iii) গতিশীল চার্জের ওপরে চৌম্বক বল প্রযুক্ত হয়

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii

খ ii ও iii

গ i ও iii

ঘ i, ii ও iii

৬। দুটি তড়িৎবাহী তারে I_1 এবং I_2 প্রবাহ বিপরীত দিকে প্রবাহিত হচ্ছে এরা—

ক কোনো বল অনুভব করে না

খ এরা পরস্পর আকর্ষণ অনুভব করবে

গ এরা পরস্পর বিকর্ষণ অনুভব করবে

ঘ কোনোটিই নয়

৭। লরেঞ্জ বল হচ্ছে—

ক $q\vec{E}$

খ $q(\vec{v} \times \vec{B})$

গ $q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

ঘ $q(\vec{E} \times \vec{v} \times \vec{B})$

৮। চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-তে $\vec{v}$ বেগে গতিশীল একটি আধান q-এর উপর ক্রিয়াশীল বল $\vec{F}$।

ক $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$

খ $\vec{F} = q(\vec{v} \cdot \vec{B})$

গ $\vec{F} = q\left(\dfrac{\vec{v}}{\vec{B}}\right)$

ঘ $\vec{F} = \vec{v}(\vec{q} \cdot \vec{B})$

৯। একটি তড়িৎবাহী কুণ্ডলীকে কোনো সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে রাখলে কুণ্ডলীটি একটি টর্ক অনুভব করে। এই টর্কের মান—

(i) চৌম্বক ক্ষেত্রের সমানুপাতিক

(ii) কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক

(iii) কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফলের ব্যস্তানুপাতিক

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii

খ i ও iii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

১০। v বেগে একটি গতিশীল একটি চার্জিত কণা চৌম্বকক্ষেত্র $\vec{B}$ এর অভিলম্ব বরাবর ওই ক্ষেত্রে প্রবেশ করার ফলে r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরতে থাকে। $\vec{B}$ এর মান বৃদ্ধি করলে কী ঘটবে ?

ক v বৃদ্ধি পাবে

খ v হ্রাস পাবে

গ r বৃদ্ধি পাবে

ঘ r হ্রাস পাবে

১১। চৌম্বকক্ষেত্র রেখার বৈশিষ্ট্য হলো—

(i) দুটি ক্ষেত্র রেখা কোথাও পরস্পরকে ছেদ করে না

(ii) চুম্বকের অভ্যন্তরে কোনো ক্ষেত্র রেখার অস্তিত্ব নেই

(iii) যে অঞ্চলে ক্ষেত্র রেখার সংখ্যা বেশি, সেখানে চৌম্বক ক্ষেত্রও প্রবল

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii

খ i ও iii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

১২। কোনো ঋজু তড়িৎবাহী তারের সন্নিহিত কোনো বিন্দুতে উৎপন্ন চৌম্বকক্ষেত্র নির্ভর করে—

(i) তারের উপাদানের উপর

(ii) তার হতে বিন্দুটির দূরত্বের উপর

(iii) তড়িৎ প্রবাহের মান ও অভিমুখ

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii

খ i ও iii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

১৩। কক্ষপথে ঘূর্ণনরত ইলেকট্রন—

(i) নিজ অক্ষের সাপেক্ষে আবর্তন করে

(ii) প্রতিটি কক্ষে দুটি ঊর্ধ্বমুখী স্পিন বা দুটি নিম্নমুখী স্পিনসম্পন্ন ইলেকট্রন থাকতে পারে

(iii) স্পিনের দরুন ইলেকট্রনের একটি চৌম্বক ভ্রামক উৎপন্ন হয়

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii

খ i ও iii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

১৪। চৌম্বক ক্ষেত্র বা ফ্লাক্স ঘনত্ব B-এর একক হলো— [ঢা. বো. ২০১৫]

(i) Tesla

(ii) $Weber/m^2$

(iii) $N Am^{-1}$

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii

খ i ও iii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

১৫। একটি চুম্বক ও একটি চার্জিত কণা আছে। কণার উপর বল ক্রিয়া করবে যদি—

(i) চুম্বক ও চার্জিত কণা উভয়েই স্থির থাকে

(ii) চুম্বকটি স্থির থাকে, কিন্তু চার্জিত কণা গতিশীল হয়

(iii) চুম্বকটি গতিশীল হয়, কিন্তু চার্জিত কণাটি স্থির থাকে

নিচের কোনটি সঠিক ?

(ক) i ও ii

(খ) i ও iii

(গ) ii ও iii

(ঘ) i, ii ও iii

১৬। পৃথিবীর চৌম্বকত্ব উপাদান—

(i) বিচ্যুতি

(ii) বিনতি

(iii) ভূচৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশ

নিচের কোনটি সঠিক ?

(ক) i ও ii

(খ) ii ও iii

(গ) i ও iii

(ঘ) i, ii ও iii

১৭। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ 27.87 μT এবং বিনক্ষিত কোণ 30° হলে, ওই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত ? [রা. বো. ২০১৫; ব. বো. ২০১৫]

(ক) 32.18 μT

(খ) 16.09 μT

(গ) 24.18 μT

(ঘ) 55.74 μT

১৮। পৃথিবীর চৌম্বক নিরক্ষরেখায় কোনো স্থানে ভূচৌম্বক প্রাবল্য 35μT হলে ওই স্থানে ভূচৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক উপাংশের মান—

(ক) 35μT

(খ) < 35μT

(গ) >35μT

(ঘ) শূন্য

১৯। ভূপৃষ্ঠের যে স্থানে ভূচৌম্বক প্রাবল্যের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশ সমান, সেখানে—

(ক) বিনতি কোণ 0°

(খ) বিনতি কোণ 90°

(গ) বিনতি কোণ 45°

(ঘ) বিনতি কোণ 60°

২০। যদি H এবং V যথাক্রমে কোনো স্থানের চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক এবং উল্লম্ব উপাংশ হয় যেখানে বিনতি কোণ 60°, তবে—

(ক) $V = H$

(খ) $V = \sqrt{3}H$

(গ) $V = \frac{1}{\sqrt{3}}H$

(ঘ) $V = \frac{\sqrt{3}}{2}H$

২১। ভূ-পৃষ্ঠের কোনো স্থানের বিনতি 31°N বলতে বুঝায় ঐ স্থানে ভারকেন্দ্র থেকে মুক্তভাবে ঝুলানো একটি চুম্বক শলাকা—

(i) অক্ষ স্থির অবস্থায় অনুভূমিক তলের সাথে 31° কোণ আনত থাকবে

(ii) উত্তর মেরু নিচের দিকে ঝুঁকে থাকবে

(iii) অক্ষ স্থির অবস্থায় উল্লম্ব তলের সাথে 59° কোণে আনত থাকবে

নিচের কোনটি সঠিক ?

(ক) i ও ii

(খ) i ও iii

(গ) ii ও iii

(ঘ) i, ii ও iii

২২। একটি প্যারাচৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে—

(ক) $\mu > 1$ এবং $K < 1$

(খ) $\mu > 1$ এবং $K > 1$

(গ) $\mu = 1$ এবং $K > 1$

(ঘ) $\mu > 1$ এবং $K = 1$

২৩। ডায়াচৌম্বক পদার্থের বৈশিষ্ট্য হলো—

(i) এরা চুম্বক দ্বারা ক্ষীণভাবে বিকর্ষিত হয়

(ii) এদের কুরি বিন্দু আছে

(iii) এদের চৌম্বক প্রবেশ্যতা, $\mu < 1$.

নিচের কোনটি সঠিক ?

(ক) i ও ii

(খ) i ও iii

(গ) ii ও iii

(ঘ) i, ii ও iii

২৪। প্যারা চৌম্বক পদার্থ—

(ক) চুম্বক দ্বারা ক্ষীণভাবে আকর্ষিত হয়

(খ) চুম্বক দ্বারা ক্ষীণভাবে বিকর্ষিত হয়

(গ) চুম্বক দ্বারা প্রবলভাবে আকর্ষিত হয়

(ঘ) চুম্বক দ্বারা প্রবলভাবে বিকর্ষিত হয়

২৫। হিসটেরেসিসের ফলে—

(i) শক্তির অপচয় ঘটে

(ii) বস্তুর তাপমাত্রা হ্রাস পায়

(iii) বস্তুর তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়

নিচের কোনটি সঠিক ?

(ক) i ও ii

(খ) i ও iii

(গ) ii ও iii

(ঘ) i, ii ও iii

২৬। ফেরোচৌম্বক পদার্থের বৈশিষ্ট্য হলো—

(i) এরা চুম্বক দ্বারা খুব বেশি আকর্ষিত হয়

(ii) এদের কুরি বিন্দু আছে

(iii) এদের চৌম্বকগ্রাহিতা তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে

নিচের কোনটি সঠিক ?

(ক) i ও ii

(খ) i ও iii

(গ) ii ও iii

(ঘ) i, ii ও iii

২৭। তড়িৎ চুম্বক নির্মাণের জন্য পদার্থের নিম্নোক্ত গুণাবলি থাকা উচিত—

(i) পদার্থটির সম্পৃক্ত চুম্বকন উচ্চমানের হওয়া প্রয়োজন

(ii) পদার্থটির সহনশীলতা বেশি হওয়া প্রয়োজন

(iii) পদার্থটির হিসটেরিসিস ক্ষয় কম হওয়া প্রয়োজন

নিচের কোনটি সঠিক ?

ⓚ i ও ii

ⓚ i ও iii

ⓖ ii ও iii

ⓖ i, ii ও iii

২৮। স্থায়ী চুম্বক নির্মাণের জন্য উপযুক্ত পদার্থের—

(i) ধারণ ক্ষমতা উচ্চ মানের হতে হবে

(ii) পদার্থটির চৌম্বক ভেদ্যতা উচ্চ মানের হতে হবে

(iii) পদার্থটির সহনশীলতা কম মানের হতে হবে

নিচের কোনটি সঠিক ?

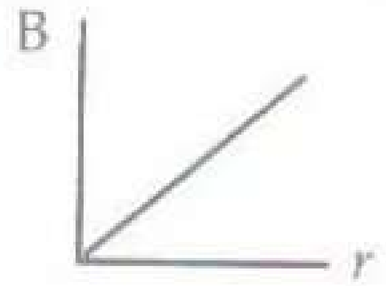
ক i ও ii

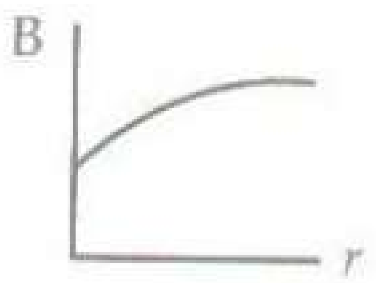
খ i ও iii

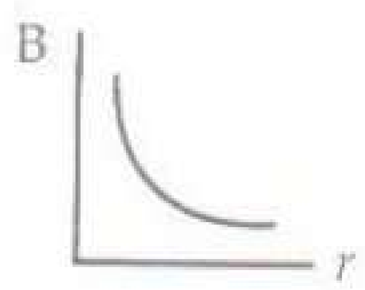
গ ii ও iii

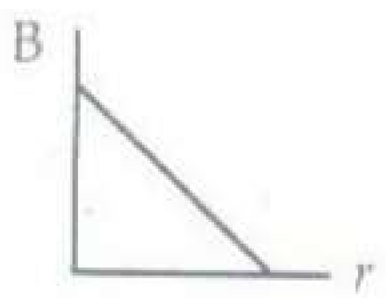
ঘ i, ii ও iii

২৯। একটি লম্বা সোজা পরিবাহী তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের ফলে কোনো বিন্দুতে সৃষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব B এবং দূরত্ব r এর মধ্যে লেখচিত্র নিচের কোনটি নির্দেশ করে?

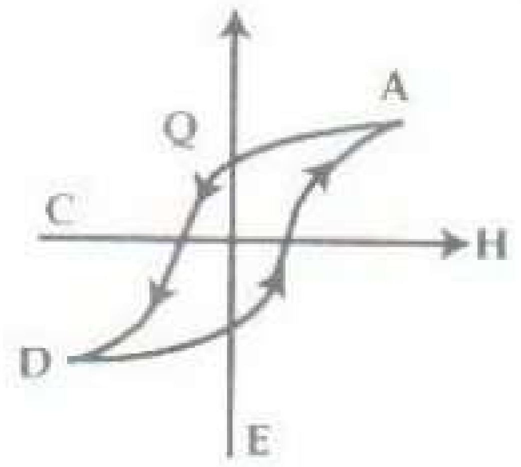
ক 

খ 

গ 

ঘ 

৩০। নিচের চিত্রে OA হচ্ছে— [কু. বো. ২০১৫]



ক নিগ্রহবল

খ হিস্টেরিসিস

গ অবশিষ্ট চুম্বকত্ব

ঘ সম্পৃক্ত মান

৩১। কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রে গতিশীল চার্জবাহক ধনাত্মক হলে এর গতির দিক কোন দিকে হবে?

ক তড়িৎ প্রবাহের দিকে

খ চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকে

গ চৌম্বক ক্ষেত্রের সমান্তরালে

ঘ তড়িৎ প্রবাহের বিপরীত দিকে

৩২। ফেরোচৌম্বক পদার্থের ক্ষেত্রে— [ঢা. বো. ২০১৫]

ক $\mu > 1, K >> 1$

খ $\mu << 1, K >> 1$

গ $\mu >> 1, K \leq 1$

ঘ $\mu < 1, K = 1$

৩৩। কোনো কুণ্ডলী তলকে অতিক্রমকারী চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার সংখ্যাকে বলা হয় ঐ কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট— [সি. বো. ২০১৫]

ক চৌম্বক আবেশ

খ চৌম্বক ফ্লাক্স

গ তড়িৎ আবেশ

ঘ তড়িৎ ফ্লাক্স

৩৪। 45 cm^2 ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি তল 5×10^{-5} T সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 60° কোণ তৈরি করে। তলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্স বের কর। [চ. বো. ২০১৫]

ক 1.95×10^{-7} Tesla

খ 1.95×10^{-7} Wb

গ 1.25×10^{-7} Tesla

ঘ 1.25×10^{-7} Wb

৩৫। 0.02 m ব্যাসার্ধের ও 6 পাকের একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলী কোনো সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে অবস্থিত। ক্ষেত্রের মান 0.5 T এবং কুণ্ডলী তল 60° কোণে অবস্থিত। কুণ্ডলীর সাথে জড়িত মোট ফ্লাক্স কত? [ব. বো. ২০১৫]

ক 9×10^{-5} Wb

খ 3.15×10^{-4} Wb

গ 5.44×10^{-4} Wb

ঘ 3.26×10^{-3} Wb

৩৬। স্পিন-একবিশিষ্ট কণার একবার পূর্ণ আবর্তনে আবর্তন কোণের মান কত?

ⓚ $360°$
ⓚ $270°$
ⓖ $180°$
ⓖ $90°$

৩৭। স্পিন $\frac{1}{2}$বিশিষ্ট কণাকে কত কোণে ঘুরালে একই রকম দেখা যাবে?

ⓚ $0°$
ⓚ $45°$
ⓖ $90°$
ⓖ $120°$

৩৮। চৌম্বক দিকের সাথে কত কোণে একটি চার্জিত কণা গতিশীল হলে সর্বোচ্চ বল অনুভব করবে?

ⓚ $0°$
ⓚ $45°$
ⓖ $90°$
ⓖ $180°$

৩৯। স্পিন-২বিশিষ্ট কণা দেখতে—

ⓚ এক মাথা তীরের মতো। $180°$ আবর্তনে একই রকম দেখায়
ⓚ $360°$ ঘুরালে একই রকম দেখাবে
ⓖ একমুখী তীরের মতো
ⓖ সবদিক থেকে একই দেখায়

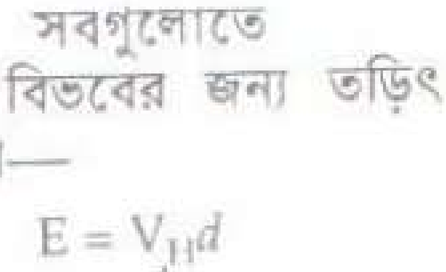
৪০। কৃত্রিম চুম্বক ব্যবহার করা হয়—

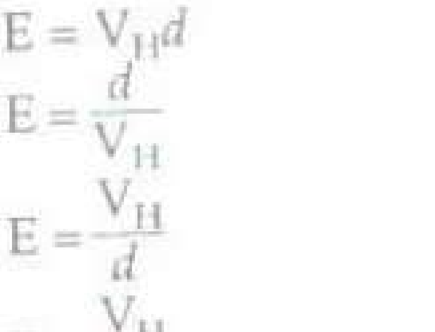
ⓚ পরীক্ষাগারে
ⓚ শিল্পে
ⓖ বৈজ্ঞানিক কাজে
ⓖ সবগুলোতে

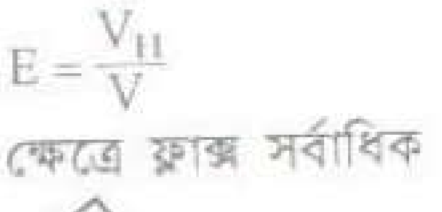
৪১। হল বিভবের জন্য তড়িৎ ক্ষেত্র প্রাবল্যের মান হলো— [কু. বো. ২০১৫]

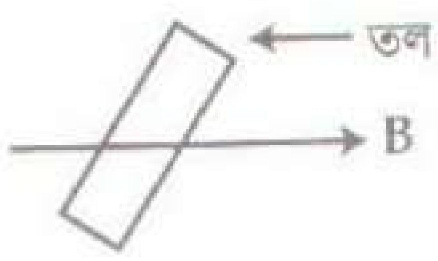
ⓚ $E = V_H d$
ⓚ $E = \frac{d}{V_H}$
ⓖ $E = \frac{V_H}{d}$
ⓖ $E = \frac{V_H}{V}$

৪২। কোন ক্ষেত্রে ফ্লাক্স সর্বাধিক? [ঢা. বো. ২০১৫]

ⓚ 

ⓚ 

ⓖ 

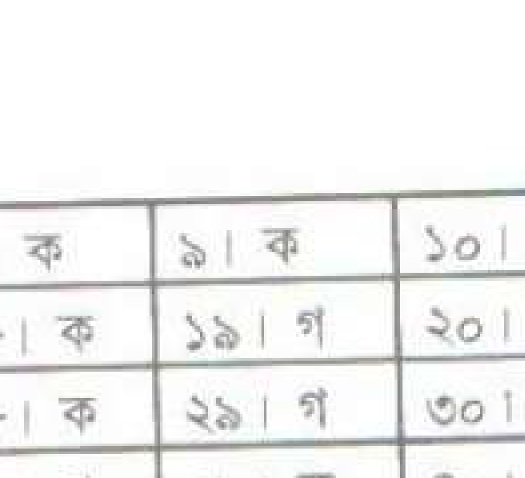
ⓖ 

উত্তর :

১। ক	২। খ	৩। খ	৪। গ	৫। গ	৬। গ	৭। গ	৮। ক	৯। ক	১০। ঘ
১১। ঘ	১২। গ	১৩। খ	১৪। ক	১৫। গ	১৬। ঘ	১৭। ক	১৮। ক	১৯। গ	২০। খ
২১। ক	২২। ক	২৩। খ	২৪। ক	২৫। খ	২৬। ঘ	২৭।খ	২৮। ক	২৯। গ	৩০। ঘ
৩১। ক	৩২। ক	৩৩। খ	৩৪। খ	৩৫। ঘ	৩৬। খ	৩৭। গ	৩৮। গ	৩৯। ক	৪০। ঘ
৪১। গ	৪২। খ								

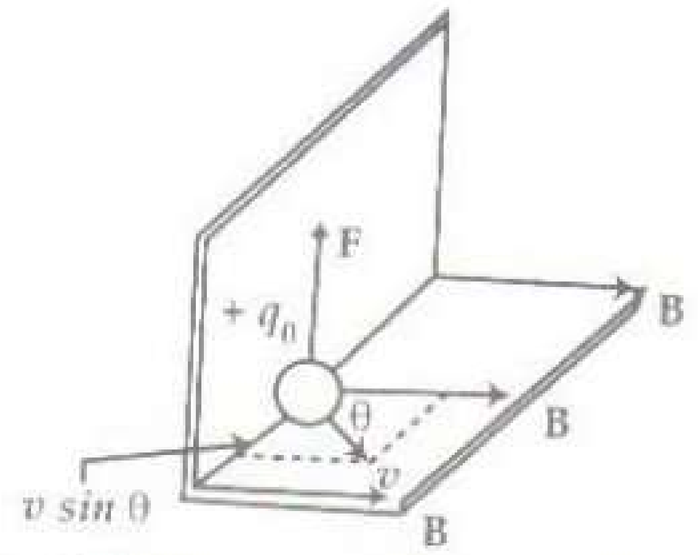
(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১। পাশের চিত্রে একটি বৃত্তাকার পরিবাহী কুণ্ডলী দেখানো হয়েছে। পরিবাহীর dl মিটার দৈর্ঘ্যের অতিক্ষুদ্র অংশ দিয়ে i অ্যাম্পিয়ার বিদ্যুৎ প্রবাহ চলার ফলে পরিবাহীর চারপাশে একটি চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি হয়েছে। পরিবাহীর এই অংশের মধ্যবিন্দু হতে উক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুর দূরত্ব r মিটার। ঐ বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য বা চৌম্বক ক্ষেত্র dB।



(ক) বায়োট-স্যাভার্ট সূত্রটি বিবৃত কর।
(খ) শূন্য স্পিন, স্পিন-এক, স্পিন-দুই কাকে বলে চিত্রসহ লিখ।
(গ) উদ্দীপকের চিত্রের কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 40 এবং ব্যাস 32 cm। কুণ্ডলীতে কত মাত্রার তড়িৎ প্রবাহ চালনা করলে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে $300\ \mu Wb/m^2$ চৌম্বক প্রাবল্য সৃষ্টি হবে?
(ঘ) উদ্দীপকের চিত্রের কুণ্ডলীতে বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র প্রয়োগ করে গাণিতিকভাবে বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে এবং বৃত্তাকার কুণ্ডলীর পরিবর্তে দৈর্ঘ্যের ক্ষেত্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের বা ফ্লাক্স ঘনত্বের রাশিমালার তুলনা কর।

২। নিচের চিত্রে একটি চার্জ q_0 চৌম্বক ক্ষেত্র B-এর সাথে θ কোণে v বেগে গতিশীল রয়েছে।



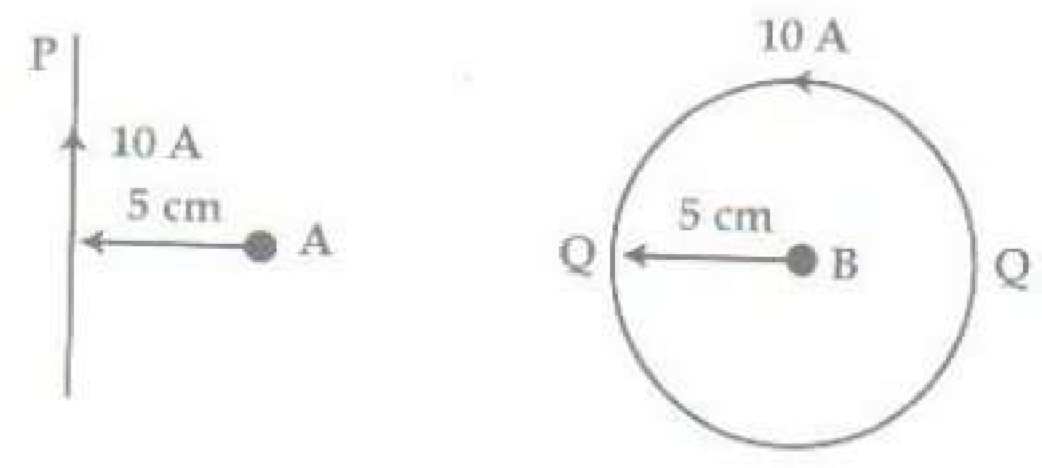
(ক) চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব কী ?

(খ) সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে গতিশীল চার্জের ওপর ক্রিয়াশীল বল কী কী বিষয়ের উপর নির্ভর করে ?

(গ) উদ্দীপকের চিত্রের চৌম্বক ক্ষেত্র 0·5 টেস্‌লা এবং একটি ইলেকট্রন চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে $80°$ কোণে $10^5\,ms^{-1}$ বেগে গতিশীল থাকলে ইলেকট্রনটির উপরে চৌম্বক বলের মান নির্ণয় কর।

(ঘ) চার্জটি যদি চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে $90°$ কোণে এবং $0°$ কোণে গতিশীল হয় তবে বলের মান কীরূপ পরিবর্তন হবে ? —গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

৩।



চিত্রে P ও Q দুটি যথাক্রমে সরল তড়িৎবাহী ও বৃত্তাকার পরিবাহী তার। উভয়ের মধ্য দিয়ে 10A তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে।

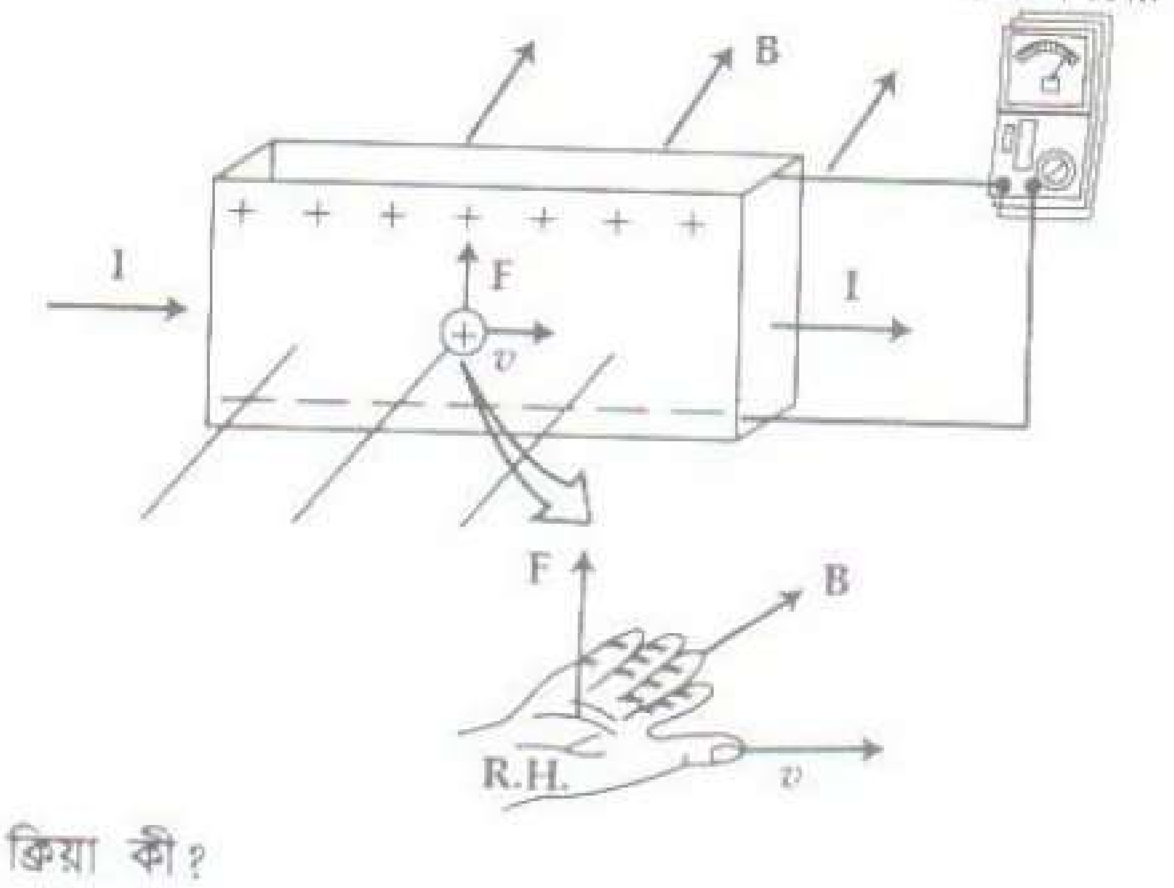
(ক) 1 টেসলা বলতে কী বোঝ ?

(খ) তড়িৎবাহী পরিবাহীর চতুর্দিকে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য $\cos\alpha$ এর সমানুপতিক না হয়ে $\sin\alpha$ এর সমানুপাতিক হয় কেন ?

(গ) A বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র নির্ণয় কর।

(ঘ) উদ্দীপকে তড়িৎবাহী তার হতে A ও B বিন্দুর দূরত্ব সমান হলে কোন বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান বেশি হবে ? গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে মতামত দাও।

৪। নিচের চিত্রে একটি পাতলা ও চওড়া ধাতব পরিবাহী পাত নেয়া হয়েছে। পাতের মধ্য দিয়ে দৈর্ঘ্য বরাবর বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে। পাতটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্র B-এ এমনভাবে স্থাপন করা হয়েছে যেন চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ পাতের চওড়া পৃষ্ঠের অভিলম্ব বরাবর থাকে।



$l = 60$ cm
$d = 0{\cdot}02$ m
$t = 5$ cm
$B = 6\,Wb\,m^{-2}$
$I = 5A$

(ক) হল ক্রিয়া কী?

(খ) চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থাপিত তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর ওপর টর্কের উৎপত্তি ঘটে কেন ?

(গ) উদ্দীপকের চিত্রের 0·02m প্রস্থের ধাতব পাতটি $6\,Wbm^{-2}$ চৌম্বক আবেশ ক্ষেত্রে পরস্পরের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত। পাতের মধ্যে ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ $4 \times 10^{-3}\,ms^{-1}$ হলে সৃষ্ট হল বিভবের মান নির্ণয় কর।

(ঘ) চৌম্বক ক্ষেত্রকে তড়িৎ প্রবাহের দিকের সাথে উদ্দীপকের মানের অর্ধেক কোণ প্রয়োগ করা হলে কোন ক্ষেত্রে হল তড়িৎ ক্ষেত্রের মান বেশি পাওয়া যাবে ? উত্তরের সপক্ষে গাণিতিক যুক্তি দাও।

৫। একটি চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B} = 6\hat{i}T$, উক্ত ক্ষেত্রে একটি খোলা পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল $\vec{A} = (2\hat{i} + 3\hat{j} - \sqrt{3}\hat{k})$।

(ক) চৌম্বক হিসটেরেসিস এবং চৌম্বক সম্পৃক্তি কী ?

(খ) ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব প্রাবল্যের বৈশিষ্ট্যগুলো লিখ।

(গ) উদ্দীপকে বর্ণিত পৃষ্ঠের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স নির্ণয় কর।

(ঘ) যদি উদ্দীপকে বর্ণিত A ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট পৃষ্ঠের তলটি চৌম্বক ক্ষেত্র B এর সাথে $30°$ কোণে অবস্থিত হয়, তবে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্সের কোনো পরিবর্তন হবে কী ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(গ) সাধারণ প্রশ্ন

১। 1 ওয়েরস্টেড বলতে কী বোঝ ? বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র বিবৃত কর।

২। একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের মান 1.5T বলতে কী বোঝ ? হল ক্রিয়া কী ?

৩। চৌম্বক ক্ষেত্রের একক কী ?

৪। 1 টেসলা বলতে কী বোঝ ?

৫। চৌম্বক ফ্লাক্স কী ? এর একক কী ?

৬। ফ্লেমিং-এর ডান হস্ত নিয়ম ব্যাখ্যা কর।

৭। চৌম্বক বলের দিক নির্ণয়ে ডান হস্ত নিয়ম বিবৃত কর।

৮। চৌম্বক বলরেখা কাকে বলে ?

৯। কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান ও দিক কীভাবে বলরেখা দ্বারা নির্দেশিত হয় ?

১০। লরেঞ্জ বল কী ? এর রাশিমালা লিখ।

১১। পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের জন্য উৎপন্ন চৌম্বক ক্ষেত্র সম্পর্কে বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র বিবৃত কর।

১২। বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র প্রয়োগ করে একটি তড়িৎবাহী বৃত্তাকার লুপের কেন্দ্র বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান নির্ণয় কর।

১৩। বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র প্রয়োগ করে একটি অসীম দৈর্ঘ্যের তড়িৎবাহী সোজা তার থেকে r দূরত্বে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান নির্ণয় কর।

১৪। অ্যাম্পিয়ারের সূত্র বিবৃত কর। চৌম্বক বল ও চৌম্বক ক্ষেত্রের সংজ্ঞা দাও।

১৫। বায়োট-স্যাভার্ট সূত্র এবং অ্যাম্পিয়ার সূত্র কোন কোন ক্ষেত্রে প্রযোজ্য ?

১৬। 'চৌম্বক বল দ্বারা কৃত কাজ শূন্য'—ব্যাখ্যা কর।

১৭। চৌম্বক ক্ষেত্রে গতিশীল একটি আহিত কণার উপর ক্রিয়াশীল বলের রাশিমালা নির্ণয় কর।

১৮। পরিবাহী তারে ইলেকট্রন চলাচলের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের ব্যাখ্যা কর।

১৯। অ্যাম্পিয়ারের সংজ্ঞা দাও।

২০। হল ক্রিয়া কী ?

২১। হল ভোল্টেজ এর সংজ্ঞা দাও। হল ক্রিয়ার সাহায্যে চার্জের প্রকৃতি কীভাবে নির্ণয় করা যায়?

২২। ইলেকট্রনের স্পিন বলতে কী বুঝ ?

২৩। ইলেকট্রনের কক্ষীয় এবং অক্ষীয় দ্বিমেরু ভ্রামক ব্যাখ্যা কর।

২৪। স্পিন বলতে কী বোঝ ? স্পিন $1, \frac{1}{2}, 2$ বলতে কী বুঝ ?

২৫। সংজ্ঞা দাও :

(ক) চৌম্বক দ্বিপোল ভ্রামক, (খ) চৌম্বক আবেশ, (গ) কুরি বিন্দু (ঘ) চৌম্বক প্রাবল্য বা তীব্রতা, (ঙ) চৌম্বক প্রবেশ্যতা, (চ) চৌম্বক ধারকতা, (ছ) চৌম্বক নিগ্রাহিতা বা সহনশীলতা, (জ) চুম্বকায়ন মাত্রা বা তীব্রতা।

২৬। পৃথিবীর চৌম্বকত্ব ব্যাখ্যা কর।

২৭। ঢাকার বিচ্যুতি কোণ $\left(\frac{1}{2}\right)^{\circ}$ পূর্ব বলতে কী বোঝ ?

২৮। ঢাকার বিনতি কোণ $31°N$ বলতে কী বোঝ ?

২৯। চৌম্বক মধ্যতল ও ভৌগোলিক মধ্যতল বলতে কী বুঝ ?

৩০। ভূ-চুম্বকত্বের উপাদান কয়টি এবং কী কী ?

৩১। ভূ চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্যের সংজ্ঞা দাও।

৩২। বিনতি কোণ কাকে বলে ?

৩৩। বিচ্যুতি বলতে কী বোঝ ?

৩৪। হিসটেরিসিস লুপ কী ?

৩৫। পৃথিবীর চৌম্বক ক্ষেত্রের উপাদানসমূহ বর্ণনা কর।
৩৬। প্যারা, ডায়া, ফেরো, ফেরি, এন্টিফেরো চৌম্বক এর সংজ্ঞা দাও।
৩৭। চৌম্বক ডোমেইন কী ? ডোমেইন তত্ত্বের সাহায্যে ফেরো চৌম্বক এবং আবিষ্ট চৌম্বকত্ব ব্যাখ্যা কর।
৩৮। তড়িৎ চুম্বক, স্থায়ী চুম্বক এবং অস্থায়ী চুম্বকের সংজ্ঞা দাও ও এদের ব্যবহার উল্লেখ কর।
৩৯। স্থায়ী চুম্বকের জন্য কী ধরনের পাদার্থ নেওয়া হয় ?
৪০। তড়িৎ চুম্বক কী ? এ ধরনের চুম্বক কীভাবে তৈরি করা হয় ?
৪১। স্থায়ী চুম্বক ও অস্থায়ী চুম্বকের ব্যবহার লিখ।

(ঘ) ক্রিয়াকর্ম

পৃথিবী একটি বিরাট চুম্বক এ সম্বন্ধে একটি প্রতিবেদন রচনা করে শ্রেণিকক্ষে উপস্থাপন কর।

(ঙ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। 1 m দীর্ঘ একটা ঋজু তারের মধ্য দিয়ে 1A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তারটি 0·02 Wb. m^{-2} মানের একটা সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্ষেত্র রেখার সাথে কত কোণে অবস্থান করলে 0·01N বল অনুভব করবে ? [উত্তর : 30°]

২। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ 0·02m এবং পাকসংখ্যা 100। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে 5A কারেন্ট প্রবাহিত হলে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক আবেশের মান নির্ণয় কর। [উত্তর : $15·7 \times 10^{-3}$ Wb m^{-2}]

৩। 2·5 Wbm^{-2} ফ্লাক্স ঘনত্বের একটি চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 30° কোণে একটি প্রোটন $1·5 \times 10^{7}$ ms^{-1} বেগে প্রবেশ করলে কত বল অনুভব করবে ? [উত্তর : 3×10^{-12} N]

৪। 25A বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রাবাহী 0·1 m দৈর্ঘ্যের একটি পরিবাহী তার 1·6T মানের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে সমকোণে অবস্থান করলে কত বল অনুভব করবে ? [উত্তর : 4N]

৫। 4·175 kV বিভব পার্থক্যে একটি α-কণা স্থিরাবস্থা হতে ত্বরিত হওয়ার পর 0·4T মানের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সমকোণে প্রবাহিত হলে কণাটির গতিপথের ব্যাসার্ধ কত হবে ? [$m = 6·68 \times 10^{-27}$ kg]
[Hints : $\frac{1}{2}mv^2 = 2eV$, $\frac{mv^2}{r} = qvB$, $r = 0·033$ m, $v = 6·32 \times 10^5$ ms^{-1}] [উত্তর : 0·033 m]

৬। 50 পাকের একটি আয়তাকার কুণ্ডলীর দৈর্ঘ্য 0·25 m ও প্রস্থ 0·20 m। 0·2T মানের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের কুণ্ডলী দিয়ে 4 A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে কুণ্ডলীর উপর কত টর্ক ক্রিয়া করবে ? [উত্তর : 2 Nm]

৭। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাস 0·1 m ও পাক সংখ্যা 25। কুণ্ডলী দিয়ে 4A বিদ্যুৎ প্রবাহ চললে কেন্দ্রে চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব কত হবে ? [উত্তর : $1·2568 \times 10^{-3}$ T]

৮। 1m দীর্ঘ একটি তারের মধ্য দিয়ে 10A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তারটি 0·15 Wbm^{-2} মানের একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 30° কোণে অবস্থান করলে কত বল অনুভব করবে ? [উত্তর : 0·75N]

৯। 5A মাত্রার একটা বর্গাকার বিদ্যুৎবাহী এক পাকের কুণ্ডলী ABCD-এর ক্ষেত্রফল 10^{-2} m^2। কুণ্ডলীটি 2×10^{-3} Wbm^{-2} মানের একটা সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্ষেত্ররেখার সমান্তরালে স্থাপিত। কুণ্ডলীর পরস্পর বিপরীত AB ও CD বাহু ক্ষেত্ররেখার সমকোণে থাকাকালীন AB বা CD-এর উপর কত বল ক্রিয়া করবে ? এমতাবস্থায় কত মোমেন্টের দ্বন্দ্ব কুণ্ডলীর উপর ক্রিয়া করবে ? [উত্তর : 10^{-3} N ও 10^{-4} N.m]

১০। 6 পাকবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীর ব্যাস 4 cm। কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে 2A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হলে কুণ্ডলীর চৌম্বক ভ্রামকের মান কত হবে ? [উত্তর : $1·5 \times 10^{-2}$ Am^2]

১১। 100 পাকের একটি বর্গাকার ঝুলন্ত তারকুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল 0·09 m^2; 2·4A বিদ্যুৎ প্রবাহিত করে কুণ্ডলীকে 1·8 A. m^{-1} প্রাবল্যের একটা অনুভূমিক সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্ষেত্ররেখার সমান্তরালে স্থাপন করলে কুণ্ডলীতে টর্ক কত হবে? কুণ্ডলীর তল বল রেখার সাথে (ক) 60°, (খ) 90° কোণে স্থাপন করলে টর্কের মান কত হবে ?
[$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb.A^{-1}.m^{-1}] [উত্তর : $488·56 \times 10^{-7}$ N.m ; $423·12 \times 10^{-7}$ Nm ; শূন্য]

১২। 10^{-3}T চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত একটি সোজা তার দিয়ে 5A তড়িৎ প্রবাহ চলে। তারটির একক দৈর্ঘ্যের উপর প্রযুক্ত বল নির্ণয় কর। [ঢা. বি. ভর্তি পরীক্ষা, ২০১১–১২] [উত্তর : 5×10^{-3} N]

১৩। যখন 0·5 H বিশিষ্ট একটি কয়েলের তড়িৎ প্রবাহ 50 ms সময়ে 0·5 A থেকে 2·5 A এ বর্ধিত করা হয় তখন গড় স্বকীয় আবেশের তড়িৎচালক বল কত হবে ? [বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০১০–১১] [উত্তর : 20V]

১৪। একটি সলিনয়েডে প্রবাহিত বিদ্যুৎ 167 A/m মানের চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। সলিনয়েডের ভেতর 5000 মানের চৌম্বক প্রবেশ্যতাবিশিষ্ট লোহার কোর থাকলে সলিনয়েডের ভেতর চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত হবে ?
[Hints : $\mu = \frac{B}{H}$, $B = \mu \times H$] [বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০১১–১২] [উত্তর : 835000 T]

১৫। একটি ইলেকট্রন $\vec{E} = (\hat{i} + 2\hat{j} - 8\hat{k})$ Vm^{-1} তড়িৎক্ষেত্রে ও $\vec{B} = (2\hat{i} + 3\hat{k})$ T চৌম্বকক্ষেত্রে $(2\hat{i} + 2\hat{j})$ ms^{-1} বেগে প্রবেশ করল। ইলেকট্রনের উপর বলের মান বের কর।
[Hints : $\vec{F_2} = \vec{F_e} + \vec{F_m} = q\vec{E} + q\vec{V} \times \vec{B}$] [উত্তর : 2.313×10^{-18} N]

১৬। 80 cm দীর্ঘ একটি সলিনয়েডে পরপর খুব কাছাকাছি পাঁচটি স্তরে তার জড়ানো আছে। প্রতিটি স্তরের পাকসংখ্যা 400। সলিনয়েডের ব্যাস 1.8 cm। প্রবাহমাত্রা 8A হলে সলিনয়েডের কেন্দ্রের নিকটবর্তী অঞ্চলে $\vec{B}$-এর মান কত ? [উত্তর : .2234 J]

১৭। একটি দীর্ঘ ঋজু পরিবাহী থেকে 20 cm দূরত্বে 10^{-6} T চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপন্ন হলে পরিবাহীতে প্রবাহমাত্রা নির্ণয় কর। [উত্তর : 1A]

১৮। একটি দীর্ঘ ঋজু সলিনয়েডের দৈর্ঘ্য 1m এবং পাক সংখ্যা 5000। এদের মধ্য দিয়ে 10A মানের প্রবাহ গেলে সলিনয়েডের অক্ষস্থিত বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান নির্ণয় কর। [উত্তর : 6.28×10^{-2} T]

১৯। একটি 10^{-3} T মানের সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্বে রাখা একটি 1 m দীর্ঘ তারের মধ্য দিয়ে 2A তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তারটির উপর চৌম্বক বল কত হবে ? [উত্তর : 2×10^{-3} N]

২০। একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ 0.1 m। এর মধ্য দিয়ে 100 mA তড়িৎ প্রবাহিত হলে কুণ্ডলীর কেন্দ্রে এর কেন্দ্র থেকে $x = 0.1$ m দূরত্বে কুণ্ডলীর অক্ষের উপর চৌম্বক ক্ষেত্রের মান নির্ণয় কর।
[উত্তর : 6.28×10^{-7} T, 2.22×10^{-7} T]

২১। $(2\hat{i} + 3\hat{k})$ T চৌম্বক ক্ষেত্রের মধ্যে একটি ইলেকট্রন $(3\hat{i} + 3\hat{j})$ ms^{-1} বেগ নিয়ে গতিশীল হলে ইলেকট্রনের উপর প্রযুক্ত বলের মান নির্ণয় কর। [উত্তর : 22.5×10^{-19}N]

২২। হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম বৃত্তাকার কক্ষপথটির ব্যাসার্ধ 0.53×10^{-10} m। এই কক্ষপথে ঘূর্ণনরত ইলেকট্রনের বেগ 2.186×10^{6} ms^{-1}। ইলেকট্রনটির চৌম্বক ভ্রামক কত ? [উত্তর : 9.27×10^{-24} Am^2]

২৩। একটি ক্ষুদ্র দণ্ড চুম্বকের চৌম্বক ভ্রামক $2Am^2$। চুম্বকটির কেন্দ্র থেকে 10 cm দূরে লম্ব দ্বিখণ্ডকের উপর কোনো বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য নির্ণয় কর। [উত্তর : 2×10^{-4} T]

২৪। কোনো স্থানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য মোট প্রাবল্যের অর্ধেক হলে ওই স্থানের বিনতি কোণ কত হবে ? [উত্তর : 60°]

২৫। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মান 4×10^{-4} T এবং বিনতি 60°। ঐ স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশ বের কর। [উত্তর : 20 μT; 34.64 μT]

২৬। কোনো স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশের মান 30 μT এবং বিনতি 60°। ওই স্থানের ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশের মান নির্ণয় কর। [উত্তর : 51.96 μT]

২৭। কোনো স্থানে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক উপাংশ 28 Am^{-1} এবং বিনতি 30°। ঐ স্থানে ভূচৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য কত ? [উত্তর : 32.33 Am^{-1}]

২৮। কোনো স্থানে চৌম্বক ক্ষেত্রের মোট প্রাবল্য 22.5 μT। ঐ স্থানের বিনতি 30° হলে চৌম্বক ক্ষেত্রের অনুভূমিক প্রাবল্য কত ? [উত্তর : 19.49 μT]

২৯। 20 cm চওড়া ও 1.0 mm পুরু একটি ধাতব পাতকে 1.5 T চৌম্বকক্ষেত্রে এমনভাবে স্থাপন করা হলো যেন পাতের সমতল চৌম্বকক্ষেত্রের লম্বভাবে থাকে। পাতের মধ্য দিয়ে 200A তড়িৎ প্রবাহ চালনা করলে উদ্ভূত হল ভোল্টেজ নির্ণয় কর। পাতের প্রতি একক আয়তনে ইলেকট্রনে সংখ্যা 8.4×10^{28} m^{-3}।
[উত্তর : 22.32×10^{-6} V]

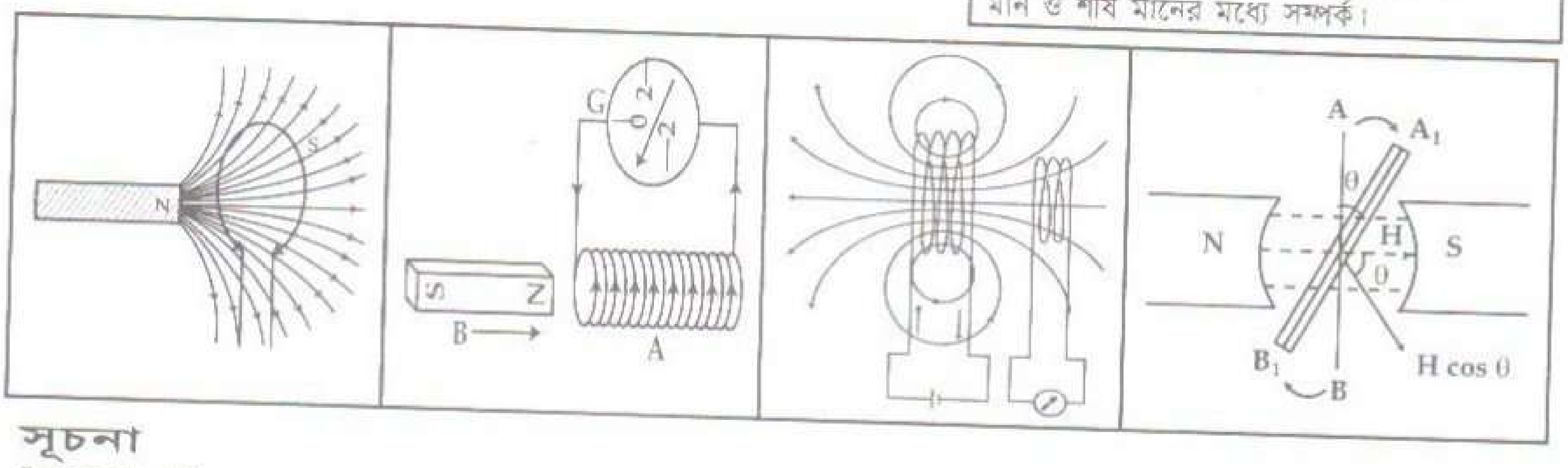
৩০। একটি ধাতব পাতের প্রস্থ 0.02 m এবং পুরুত্ব 0.001 m। পাতটির মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের সময় ইলেকট্রনের তাড়ন বেগ 8.4×10^{-4} ms^{-1}। পাতটি 4 Wb/m^2 চৌম্বকক্ষেত্রে অবস্থিত। চৌম্বকক্ষেত্র পাত ধারণকারী তলের লম্ব বরাবর। তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট তড়িৎ ক্ষেত্র এবং হল ভোল্টেজ নির্ণয় কর।
[উত্তর : 67.2 μV, 33.6×10^{-4} volt m^{-1}]

৩১। 250 পাকবিশিষ্ট একটি বৃত্তাকার কয়েলের ব্যাসার্ধ 5 cm। যদি কয়েলের মধ্যে 20A বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় তবে কয়েলের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত ? $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ TmA^{-1}
[Hints : $B = \frac{\mu NI}{2r}$] [বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০১০-১১] [উত্তর : 0.063 T]

৫

তড়িৎ চৌম্বক আবেশ ও পরিবর্তী প্রবাহ
ELECTROMAGNETIC INDUCTION AND ALTERNATING CURRENT

প্রধান শব্দ (Key Words) : তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ, আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি, আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ, মুখ্য ও গৌণ কুণ্ডলী, ফ্যারাডের তড়িচ্চুম্বকীয় আবেশ সূত্রাবলি, লেনজ-এর সূত্র, স্বকীয় আবেশ, পারস্পরিক আবেশ, স্বকীয় আবেশ বা স্বাবেশ গুণাঙ্ক, পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক, স্বকীয় ও পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের একক, একমুখী প্রবাহ, পরিবর্তী প্রবাহ, দিক পরিবর্তী প্রবাহ সৃষ্টি, প্রবাহের গড়মান, শীর্ষ-মান, শক্তির গড় বর্গের বর্গমূল মান, গড়মান, আপাত মান ও শীর্ষ মানের মধ্যে সম্পর্ক।



সূচনা
Introduction

পদার্থবিজ্ঞানে তিনটি আবেশ আছে; যথা—

(ক) **চুম্বকবিদ্যায় চৌম্বকীয় আবেশ,**

(খ) **স্থির তড়িতে স্থির তড়িৎ আবেশ** এবং

(গ) **চল তড়িতে তড়িৎ-চৌম্বকীয় আবেশ।**

1819 খ্রিস্টাব্দে ওয়েরস্টেড আবিষ্কার করেন যে, তড়িৎ প্রবাহ চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে। তখন বিজ্ঞানীদের মনে কৌতূহল দেখা দিল—চৌম্বক ক্ষেত্র তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করতে পারে কী-না। 1831 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত বিজ্ঞানী **মাইকেল ফ্যারাডে** (Michael Faraday) এ কৌতূহলের অবসান ঘটান। তিনি আবিষ্কার করেন যে, চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারাও তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করা যায়। এর নামই **তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশ**। এ আবিষ্কারকে ভিত্তি করে **জেনারেটর** (Generator), **ট্রান্সফরমার** (Transformer) ও অন্যান্য বৈদ্যুতিক যন্ত্রপাতি আবিষ্কৃত হয়েছে।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- চুম্বকের সাহায্যে তড়িৎ শক্তি উৎপাদন বর্ণনা করতে পারবে।
- আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল সৃষ্টি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- ফ্যারাডের তাড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- লেনজ-এর সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- লেনজ-এর সূত্রের সাথে শক্তির নিত্যতার সূত্রের সম্পর্ক ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- স্বকীয় আবেশ ও পারস্পরিক আবেশ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- দিক পরিবর্তী প্রবাহ সৃষ্টির কৌশল ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- বর্গমূলীয় গড়মান, শীর্ষমান এবং প্রবাহ ব্যাখ্যা করতে পারবে।

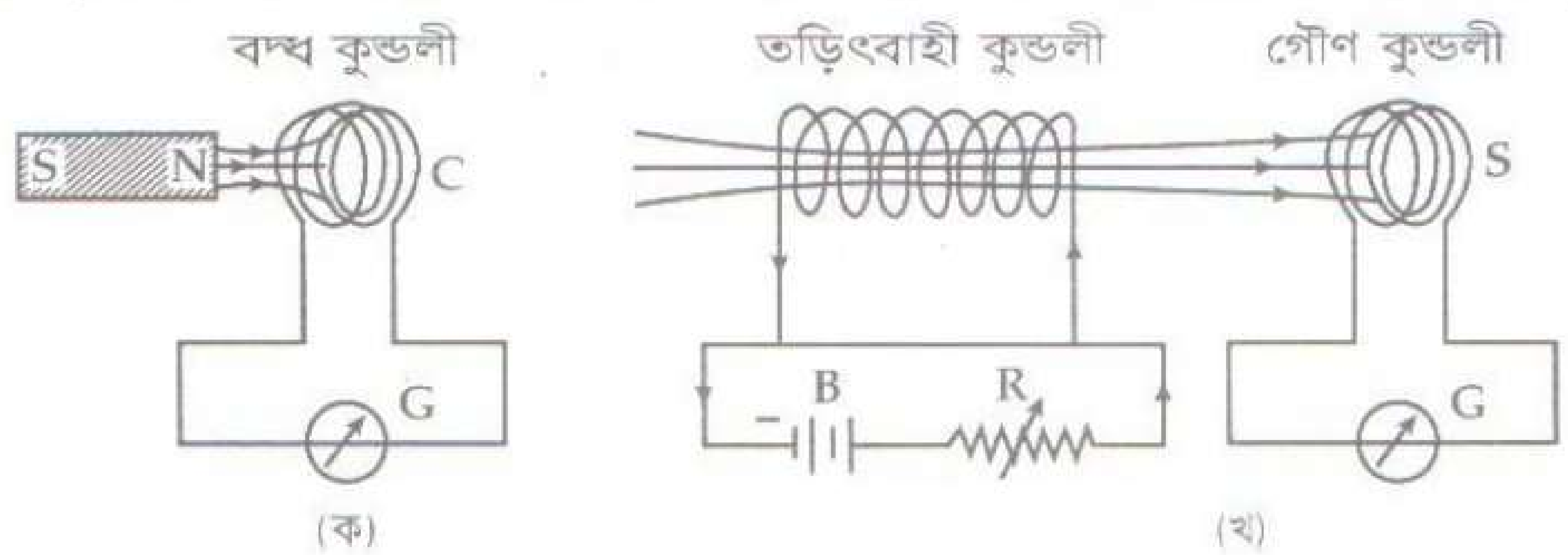
নিম্নে তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশ এবং এতদসংশ্লিষ্ট বিভিন্ন বিষয়াদি আলোচনা করা হলো।

৫·১ তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ — দুই প্রকার -[৭০-৭১-M]
Electromagnetic induction

একটি চুম্বককে বাম হাতে ধরে রাখ, ডান হাতে একটি বন্ধ কুণ্ডলীকে চুম্বকের দিকে দ্রুত সরাও অথবা ডান হাতে বন্ধ কুণ্ডলীটিকে স্থির রেখে বাম হাতে রাখা চুম্বকটিকে কুণ্ডলীর দিকে সরিয়ে আন। আবার চুম্বক ও কুণ্ডলীকে

একসাথে পরস্পরের কাছে আন এবং দূরে সরাও। উভয় ক্ষেত্রে কী ঘটবে বলতে পার ? দেখা যাবে যে, বন্ধ কুণ্ডলীটিতে তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হবে। অর্থাৎ চৌম্বক ক্ষেত্রের সাহায্যে বন্ধ বর্তনী বা কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন করা যায়। একটি বন্ধ কুণ্ডলী বা বর্তনী এবং একটি চুম্বকের গতির ফলে এরূপ ঘটে। গতিশীল চুম্বক বা তড়িৎ বর্তনী দ্বারা কোনো বন্ধ বর্তনীতে তড়িচ্চালক শক্তি উৎপন্ন হওয়ার ঘটনাকে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ বলে।

অর্থাৎ **একটি গতিশীল চুম্বক কিংবা তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর প্রভাবে একটি বন্ধ তার কুণ্ডলীতে ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তি এবং তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হওয়ার পদ্ধতিকে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ বলে।** বন্ধ তার কুণ্ডলীতে [চিত্র ৫.১ (ক)-এ C] বা গৌণ কুণ্ডলীতে [চিত্র ৫.১ (খ)-এ S] একটি গ্যালভানোমিটার স্থাপন করলে তড়িৎ প্রবাহের অস্তিত্ব বুঝা যাবে। যদি তড়িৎবাহী কুণ্ডলী কিংবা চুম্বক NS স্থির থাকে তবে বন্ধ কুণ্ডলী C বা S-এ কোনো তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হবে না।



চিত্র ৫.১

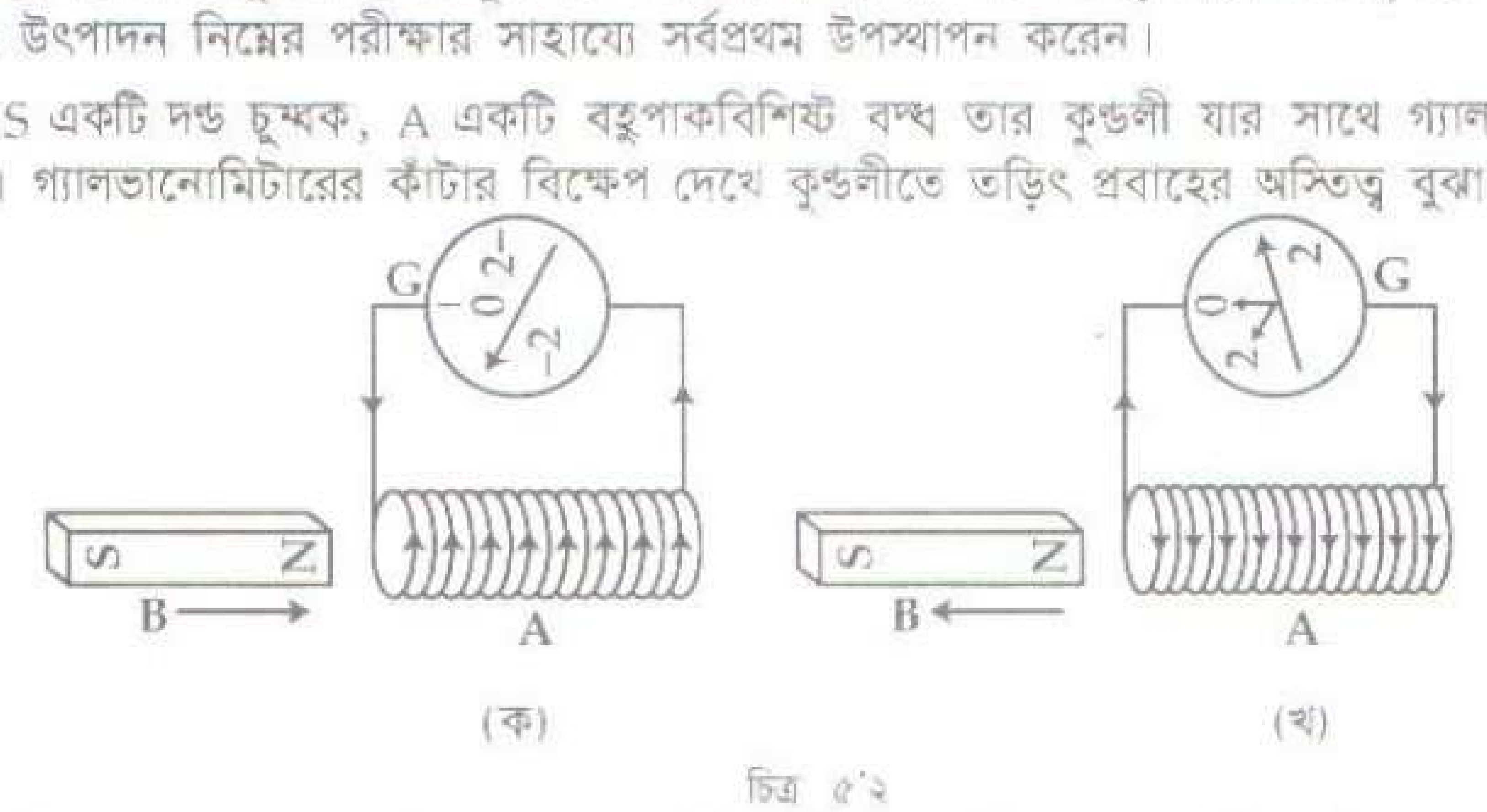
বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করতে হলে চুম্বক কিংবা তড়িৎবাহী কুণ্ডলী এবং বন্ধ কুণ্ডলীর মধ্যে একটি **আপেক্ষিক গতি** বজায় রাখতে হবে। ফলে বন্ধ কুণ্ডলীতে চৌম্বক বলরেখার হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটবে এবং তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হবে। এভাবে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তিকে **আবিষ্ট তড়িচ্চালক** শক্তি (Induced electromotive force) এবং ক্ষণস্থায়ী তড়িৎ প্রবাহকে **আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ** (Induced current) বলে। কাজেই **কোনো বন্ধ বর্তনীতে তড়িৎ-চৌম্বক আবেশে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তিকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি এবং প্রবাহকে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ বলে।** তড়িৎবাহী কুণ্ডলীকে **মুখ্য কুণ্ডলী** (Primary coil) বলে। যে তারের কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয়, তাকে **গৌণ কুণ্ডলী** (Secondary coil) বলে। মনে রাখতে হবে যে, এ ক্ষেত্রে গৌণ কুণ্ডলীর সাথে চুম্বকের বা মুখ্য কুণ্ডলীর কোনো সরাসরি সংযোগ থাকে না।

উল্লেখ্য, **তড়িৎবাহী কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ মাত্রা অসম হলে বন্ধ কুণ্ডলী ও তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর মধ্যে আপেক্ষিক গতি না থাকলেও বন্ধ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি দেখা দিবে।**

৫.২ চুম্বকের সাহায্যে তড়িৎশক্তি উৎপাদন
Production of electricity by a magnet

আমরা আগেই জেনেছি চুম্বক এবং কুণ্ডলীর পারস্পরিক গতির ফলে তড়িৎশক্তি উৎপন্ন হয়। বিজ্ঞানী ফ্যারাডে অবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপাদন নিম্নের পরীক্ষার সাহায্যে সর্বপ্রথম উপস্থাপন করেন।

মনে কর NS একটি দণ্ড চুম্বক, A একটি বহুপাকবিশিষ্ট বন্ধ তার কুণ্ডলী যার সাথে গ্যালভানোমিটার G যুক্ত আছে [চিত্র ৫.২]। গ্যালভানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপ দেখে কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের অস্তিত্ব বুঝা যায়। সূক্ষ্ম অন্তরীত



চিত্র ৫.২

তার দিয়ে কুণ্ডলী তৈরি। এবার চুম্বকের উত্তর মেরুকে ধীরে ধীরে কুণ্ডলীর প্রান্তের দিকে নিয়ে গেলে দেখা যাবে যে, গ্যালভানোমিটারের কাঁটা বিক্ষিপ্ত হচ্ছে [চিত্র ৫.২ (ক)]। সুতরাং বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের অস্তিত্ব প্রমাণ করা

যায়। ঐ একই মেরুকে কুণ্ডলী থেকে দূরে সরিয়ে নিয়ে গেলেও গ্যালভানোমিটারের কাঁটা বিপরীত দিকে বিক্ষিপ্ত হয় [চিত্র ৫·২(খ)]।

চুম্বককে থামালে গ্যালভানোমিটারের কাঁটা 0-তে স্থিরাবস্থায় ফিরে আসবে। সুতরাং প্রমাণিত হয় যে, **যতক্ষণ চুম্বক এবং কুণ্ডলীর মধ্যে আপেক্ষিক গতি থাকে ততক্ষণই আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ চলে তড়িৎ শক্তি উৎপাদন করে।**

চুম্বককে দ্রুত বন্ধ কুণ্ডলী হতে দূরে আনলে কিংবা দ্রুত কুণ্ডলীর দিকে আনলে তড়িৎ প্রবাহ তীব্র হয়। **আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা চুম্বক এবং কুণ্ডলীর আপেক্ষিক বেগের উপর নির্ভর করে।**

চুম্বকের উত্তর মেরুর পরিবর্তে দক্ষিণ মেরু দ্বারা উপরোক্ত পদ্ধতিসমূহ পুনরাবৃত্তি করলে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ প্রত্যেক ক্ষেত্রে উল্টে যাবে। চুম্বককে স্থির রেখে কুণ্ডলীকে ধীরে ধীরে কিংবা দ্রুত চুম্বকের দিকে কিংবা চুম্বক হতে দূরে সরালে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয়।

চুম্বকের দিক হতে তাকালে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ অভিমুখে যেরূপ দেখা যাবে তা নিম্নলিখিত সারণিতে লিপিবদ্ধ করা হলো :

সারণি-১

কুণ্ডলী সাপেক্ষে চুম্বক মেরুর গতি	আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ
N-মেরু নিকটে আনলে	বামাবর্তী
N-মেরু দূরে সরিয়ে নিলে	দক্ষিণাবর্তী
S-মেরু নিকটে আনলে	দক্ষিণাবর্তী
S-মেরু দূরে সরিয়ে নিলে	বামাবর্তী

কাজ : উপরের পরীক্ষা থেকে উপলব্ধি করে বল কী কী বিষয়ের পরিবর্তনে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়?

(i) কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল এবং পাক সংখ্যা বৃদ্ধি পেলে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়।

(ii) ব্যবহৃত চুম্বকের মেরুশক্তি বাড়লে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়।

(iii) চুম্বক ও কুণ্ডলীর আপেক্ষিক গতি বৃদ্ধি করলে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়।

(iv) কুণ্ডলীর অভ্যন্তরে কাঁচা লোহার মজ্জা থাকলে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়।

হাতে কলমে করে দেখ : একটি ধাতব তারের কুণ্ডলী একটি অসম চৌম্বক ক্ষেত্রে স্থির অবস্থায় আছে। কুণ্ডলীতে কোনো তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে কি?

কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে। তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের নিয়ম অনুযায়ী কোনো বন্ধ কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তন হলে কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বলের সৃষ্টি হয়। চৌম্বক ক্ষেত্র অসম হওয়ায়, ক্ষেত্রের চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তন করে। এরূপ পরিবর্তিত চৌম্বক প্রবাহে তার কুণ্ডলী স্থির অবস্থায় থাকায় কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে।

৫·৩ আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল
Induced Electromotive Force

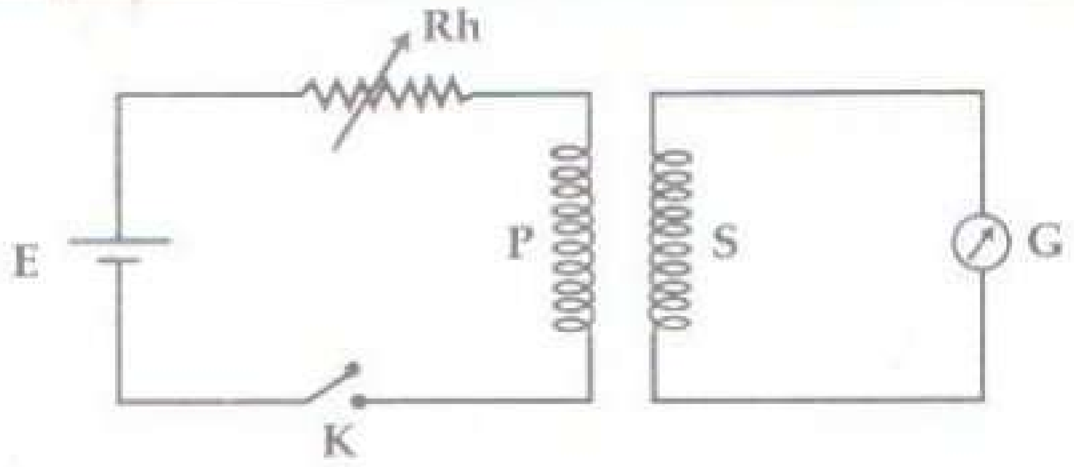
চৌম্বক ক্ষেত্রে কীভাবে একটি বন্ধ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয় তা আমারা জেনেছি। কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের উপস্থিতিই প্রমাণ করে যে, এতে একটি তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়েছে। কুণ্ডলীটি বন্ধ না হয়ে এর প্রান্তদ্বয়ের মধ্যে কিছুটা ফাঁক অর্থাৎ ছোট বায়ুছেদ (air gap) থাকলেও আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের অস্তিত্ব বজায় থাকে। কিন্তু উহা তড়িৎ প্রবাহ চালনা করতে পারে না। এখন আমরা দেখব আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল বলতে আমরা কী বুঝি ?

তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের ফলে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক বলকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল এবং ক্ষণস্থায়ী তড়িৎ প্রবাহকে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ (Induced Current) বলে। কোন বন্ধ বর্তনীতে তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক বলকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল এবং প্রবাহকে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ বলে।

* যান্ত্রিক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তর করে → জেনারেটর

M → (05-06) (90-91)

পরীক্ষণ : তড়িৎ প্রবাহ দ্বারা আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন করতে পরীক্ষণটি কর। একটি ব্যাটারী পরিবর্তনশীল রোধ এবং চাবি এবং একটি কুণ্ডলীকে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করে একটি বদ্ধ বর্তনী তৈরি কর।
আবার অন্য একটি কুণ্ডলীকে একটি গ্যালভানোমিটারের সাথে শ্রেণিতে যুক্ত করে আর একটি বদ্ধ বর্তনী তৈরি কর। এবার বর্তনী দুটি পাশাপাশি এমনভাবে স্থাপন কর যাতে কুণ্ডলী দুটি খুব কাছাকাছি অবস্থান করে [চিত্র ৫.৩] অথচ পরস্পরকে স্পর্শ করবে না। এক্ষেত্রে উল্লেখিত P কুণ্ডলীকে মুখ্য এবং S কুণ্ডলীকে গৌণ কুণ্ডলী বলে।



চিত্র ৫.৩

K সুইচটি ঘন ঘন অফ-অন করলে P এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চালু এবং বন্ধ হতে থাকবে এবং গ্যালভানোমিটারের দিকে তাকালে দেখা যাবে যে, গ্যালভানোমিটারের কাঁটাটি বিক্ষিপ্ত হচ্ছে। আবার সুইচ অন বা অফ করে S কুণ্ডলীযুক্ত বর্তনীকে দূর থেকে P কুণ্ডলীর দিকে অথবা কুণ্ডলী থেকে দূরে সরিয়ে নিলেও গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ দেখা যায়। এক্ষেত্রে উৎপন্ন এই তড়িৎ আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের জন্য সৃষ্টি হয়। আবার সুইচ অফ করলে বা কুণ্ডলীযুক্ত বর্তনীকে স্থির রেখে দিলে গ্যালভানোমিটারে কোনো বিক্ষেপ দেখা যাবে না। এক্ষেত্রে কোন তড়িচ্চালক শক্তি উৎপন্ন হবে না।

৫.৪ ফ্যারাডের তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের সূত্রাবলি
Faraday's Laws of electro-magnetic induction

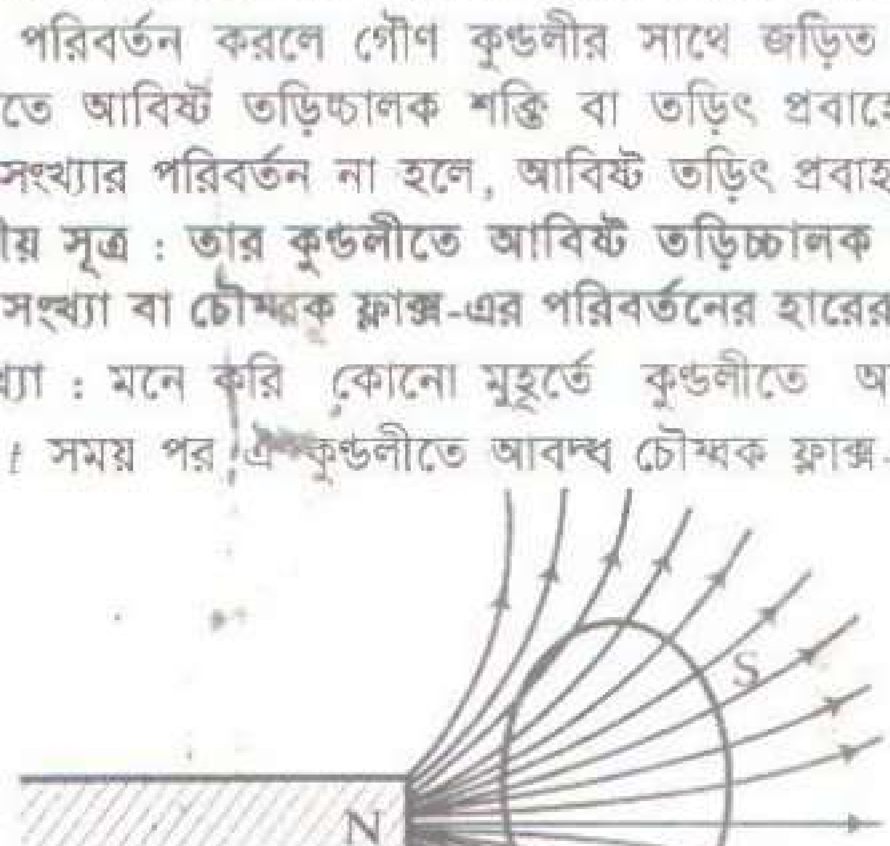
1831 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত বিজ্ঞানী ফ্যারাডে তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের দুটি সূত্র আবিষ্কার করেন। তাঁর নামানুসারে এদেরকে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রে ফ্যারাডের সূত্র বলে। সূত্রগুলো নিম্নে বিবৃত হলো—

প্রথম সূত্র : যখনই কোনো বদ্ধ তার কুণ্ডলীতে আবদ্ধ চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা বা চৌম্বক ফ্লাক্স-এর পরিবর্তন ঘটে তখনই উক্ত কুণ্ডলীতে একটি তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়।

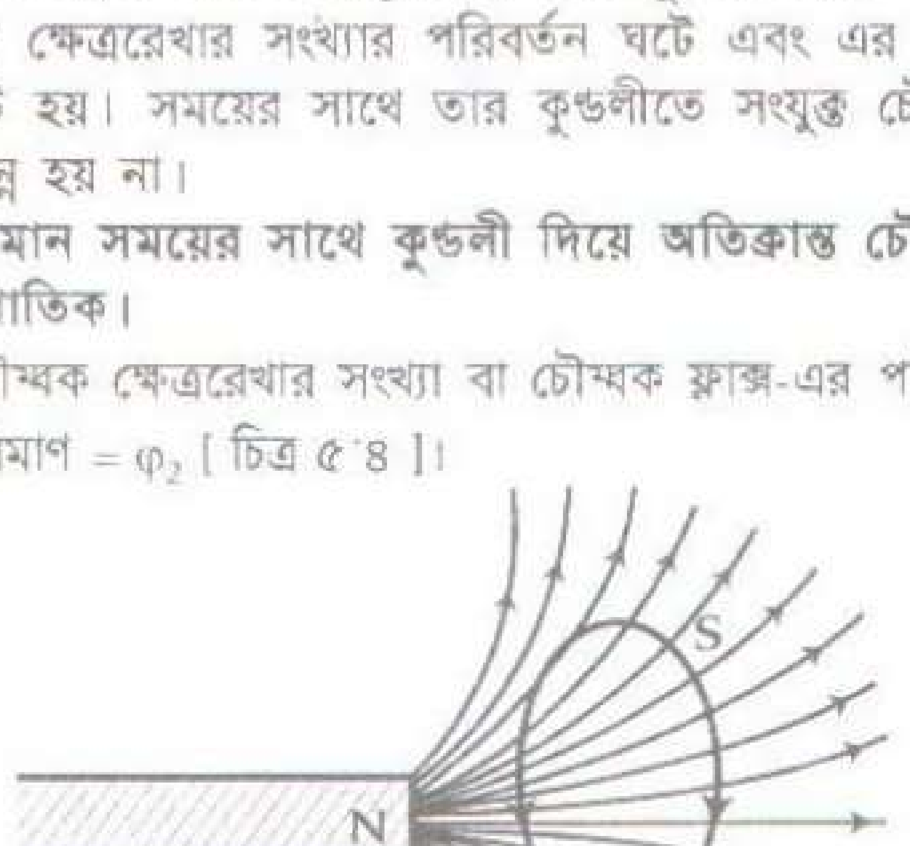
ব্যাখ্যা : একটি দণ্ড চুম্বক বা একটি তড়িৎবাহী তার কুণ্ডলী [চিত্র ৫.৪ (ক) ও (খ)] এবং একটি বন্ধ গৌণ তার কুণ্ডলীর মধ্যে আপেক্ষিত গতি থাকলে অথবা একটি গৌণ কুণ্ডলীর মধ্যে একটি তড়িৎবাহী তার কুণ্ডলী রেখে তড়িৎ প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন করলে গৌণ কুণ্ডলীর সাথে জড়িত চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার সংখ্যার পরিবর্তন ঘটে এবং এর ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। সময়ের সাথে তার কুণ্ডলীতে সংযুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার সংখ্যার পরিবর্তন না হলে, আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহও উৎপন্ন হয় না।

দ্বিতীয় সূত্র : তার কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির মান সময়ের সাথে কুণ্ডলী দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা বা চৌম্বক ফ্লাক্স-এর পরিবর্তনের হারের সমানুপাতিক।

ব্যাখ্যা : মনে করি কোনো মুহূর্তে কুণ্ডলীতে আবদ্ধ চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা বা চৌম্বক ফ্লাক্স-এর পরিমাণ $= \varphi_1$। ধরি t সময় পর ঐ কুণ্ডলীতে আবদ্ধ চৌম্বক ফ্লাক্স-এর পরিমাণ $= \varphi_2$ [চিত্র ৫.৪]।



(ক) কোনো এক সময় কুণ্ডলীতে আবদ্ধ ফ্লাক্স $= \varphi_1$



(খ) t সময় পরে কুণ্ডলীতে আবদ্ধ ফ্লাক্স $= \varphi_2$

চিত্র ৫.৪

যদি E আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি হয়, তবে দ্বিতীয় সূত্র হতে পাই,

$$E \propto \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{t} \qquad \dots \qquad \dots \qquad \dots \qquad (5.1)$$

যদি $\varphi_2 - \varphi_1 = \varphi$ হয়, তবে $E \propto \frac{\varphi}{t}$

বা, $E = K\frac{\varphi}{t}$ ... ... (5.2)

এখানে K একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক যার মান পরিমাপের এককের ওপর নির্ভর করে। যদি φ ওয়েবারে, সময় t সেকেণ্ডে এবং আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি E ভোল্টে অর্থাৎ প্রাকৃতিক রাশিগুলো এস. আই. এককে প্রকাশ করা হয়, তবে $K = 1$

∴ সমীকরণ (5.2) হতে পাই, $E = \frac{\varphi}{t}$ ... ... (5.3)

ক্যালকুলাসের সাহায্যে এই সূত্রকে প্রকাশ করা যায়। যদি dt সময়ে ফ্লাক্স-এর পরিবর্তন $d\varphi$ হয়, তবে

$$E = \frac{d\varphi}{dt} \qquad \ldots \qquad (5.4)$$

যদি কুণ্ডলীতে N সংখ্যক পাক থাকে, তবে

$$E = \frac{d}{dt}(N\varphi) = N\frac{d\varphi}{dt} \qquad \ldots \qquad (5.5)$$

ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্রের গাণিতিক রূপ দেন নিউম্যান তাই এটি **নিউম্যান-এর সূত্র (Newmann's law)** নামেও পরিচিত।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা 100। একে একটি চুম্বকের নিকট হতে 0·04 s-এ সরিয়ে প্রতিটি পাকের চৌম্বক ফ্লাক্স 30×10^{-5} Wb হতে 2×10^{-5} Wb-এ পরিণত করা হয়। কুণ্ডলীটিতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি নির্ণয় কর।

[য. বো. ২০০০]

আমরা জানি,

$$E = \frac{d}{dt}(N\phi_B)$$

$$E = \frac{100 \times (30 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-5})}{0·04}$$

$$= \frac{100 \times 28 \times 10^{-5}}{0·04} = 0·7 \text{ Volt}$$

এখানে,
$N = 100$ পাক
$dt = 0·04$ s
$d\phi_B = (30 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-5})$ Wb
$E = ?$

২। 100 পাক সংখ্যা এবং 20 cm ব্যাসবিশিষ্ট একটি তার কুণ্ডলীকে একটি চৌম্বক ক্ষেত্রে এরূপভাবে রাখা হলো যে, কুণ্ডলীর তল চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব। চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্য 5×10^{-2} s-এ সুষমভাবে 0·1 T হতে 0·3 T তে পরিবর্তিত হলো। এতে তার কুণ্ডলীতে কত তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হবে ?

কুণ্ডলী তলের ক্ষেত্রফল, $A = \pi r^2 = \pi(0·1)^2 \text{ m}^2$

মোট ফ্লাক্স পরিবর্তন, $d\varphi = nA(B_2 - B_1)$

$$= 100 \times (\pi \times 0·1)2\,(0·3 - 0·1) \text{ W}$$

∴ আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল $= \frac{\text{ফ্লাক্স পরিবর্তন}}{\text{সময়}} = \frac{d\varphi}{dt}$

$$= \frac{100 \times (\pi \times 0·1)2 \times 0·2}{5 \times 10^{-2}} = 12·6 \text{ V}$$

এখানে,
পাক সংখ্যা, $n = 100$
ব্যাসার্ধ $= \frac{\text{ব্যাস}}{2} = \frac{20 \text{ cm}}{2}$
$= \frac{0·2 \text{ m}}{2} = 0·1$ m
সময়, $dt = 5 \times 10^{-2}$ s
$B_1 = 0·1$ T
$B_2 = 0·3$ T

৫·৫ লেন্‌জ-এর সূত্র
Lenz's law

কোনো কুণ্ডলীতে কখন কিভাবে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় তা ফ্যারাডের সূত্র হতে আমরা জেনেছি যা ফ্যারাডের তড়িৎচুম্বক আবেশ সূত্র নামে পরিচিত। তবে বিজ্ঞানী লেন্‌জ তড়িচ্চালক বলের ফলে সৃষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ কোন দিকে হবে সে সম্পর্কে সূত্র প্রদান করেন এবং যথাযথ ব্যাখ্যা দেন। এ সূত্রকে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের দিকের ক্ষেত্রে লেন্‌জ-এর সূত্র বলা হয়। সূত্রটি নিম্নরূপ—

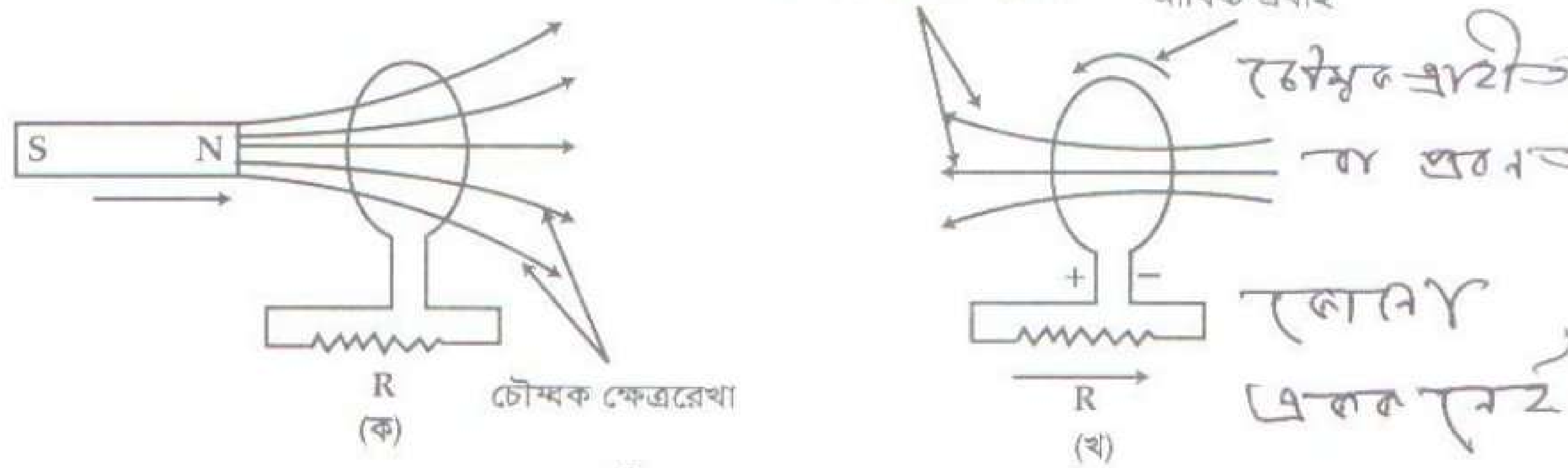
সূত্র : তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের সময় আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের দিক এমন হয় যে চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের জন্য আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয় সেই চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনকেই বাধা প্রদান করে। অন্যভাবে বলা যায়, **আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎ প্রবাহের দিক এমন হয় যে এটি উৎপন্ন হওয়ার মূল কারণের বিরুদ্ধে ক্রিয়া করে।**

সমীকরণ (5.3) ও (5.4)-এ একটি ঋণাত্মক চিহ্ন বসিয়ে এ বিরোধিতা নির্দেশ করা হয়।

ব্যাখ্যা : নিম্নের উদাহরণ দিয়ে লেন্জের সূত্র ব্যাখ্যা করা হবে।

(১) মনে করি একটি দণ্ড চুম্বক NS-এর উত্তর মেরু N-কে একটি তার কুণ্ডলীর দিকে আনা হচ্ছে [চিত্র ৫.৫ (ক)]। কুণ্ডলীর সঙ্গে বহিস্থ বর্তনীতে একটি রোধ R সংযোগ দেওয়া হয়েছে।

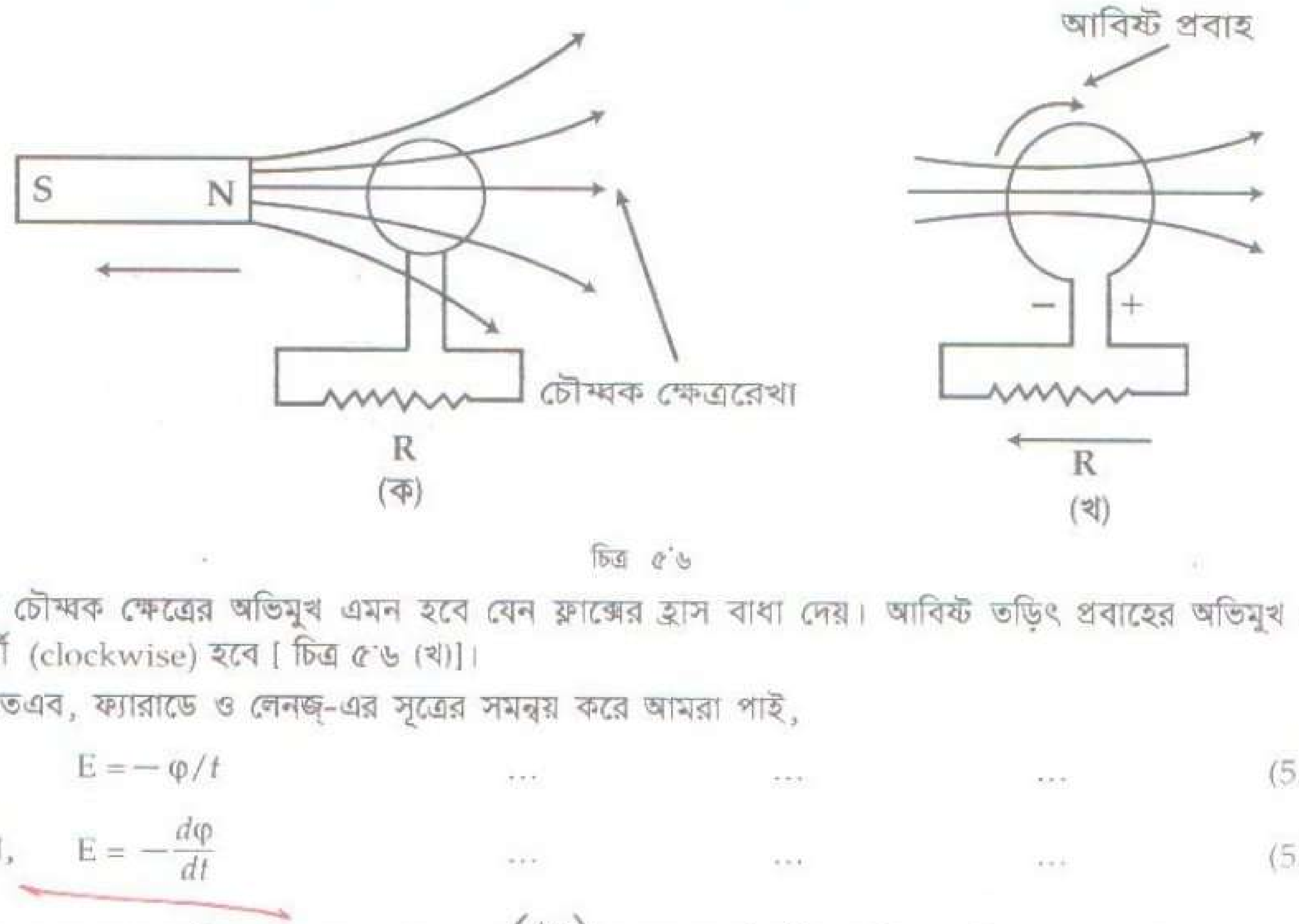
দণ্ড চুম্বকটি কুণ্ডলীর যত সন্নিকটে আনা হবে, কুণ্ডলীতে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান তত বৃদ্ধি পাবে। এর ফলে কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স বা ক্ষেত্ররেখার সংখ্যাও বৃদ্ধি পাবে। এখন লেন্জের সূত্র অনুসারে



চিত্র ৫.৫

কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্র চৌম্বক ফ্লাক্স-এর পরিবর্তন প্রতিরোধ করবে। চৌম্বক ফ্লাক্স-এর পরিবর্তন প্রতিরোধ করার জন্য আবিষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ অবশ্যই দণ্ড চুম্বকে সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের বিপরীত হবে। চিত্রে যেহেতু দণ্ড চুম্বকের ক্ষেত্ররেখা বাম থেকে ডানে কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে অতিক্রম করছে; সুতরাং আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে ডান থেকে বামে অতিক্রম করবে [চিত্র ৫.৫ (খ)]। এ ধরনের আবিষ্ট ক্ষেত্র সৃষ্টির জন্য কুণ্ডলীতে আবিষ্ট প্রবাহের অভিমুখ (ডান হস্ত নিয়ম অনুসারে) অবশ্যই বামাবর্তী (counter clockwise) হতে হবে। কুণ্ডলীটি একটি ব্যাটারীর ন্যায় তড়িচ্চালক শক্তির উৎস হিসেবে কাজ করবে। তড়িচ্চালক শক্তির ধনাত্মক ও ঋণাত্মক প্রান্ত চিত্রের অনুরূপ হবে।

চুম্বক দণ্ডটি কুণ্ডলী থেকে দূরে সরিয়ে নেয়া হলে বিপরীত ঘটনা ঘটবে। অর্থাৎ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা বা ফ্লাক্সের হ্রাস ঘটবে [চিত্র ৫.৬ (ক)]। লেন্জের সূত্র অনুসারে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের



চিত্র ৫.৬

জন্য সৃষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিমুখ এমন হবে যেন ফ্লাক্সের হ্রাস বাধা দেয়। আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের অভিমুখ এক্ষেত্রে দক্ষিণাবর্তী (clockwise) হবে [চিত্র ৫.৬ (খ)]।

অতএব, ফ্যারাডে ও লেনজ্-এর সূত্রের সমন্বয় করে আমরা পাই,

$$E = -\varphi/t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.6)$$

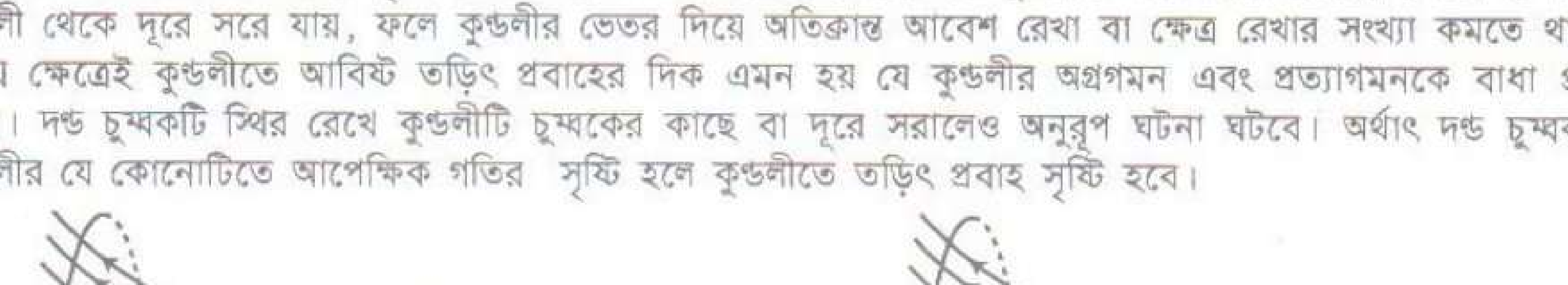
বা, $$E = -\frac{d\varphi}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.7)$$

এখানে ঋণাত্মক চিহ্ন E এবং φ/t বা $\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)$ পরস্পরের বিপরীত অভিমুখে ক্রিয়া করে বুঝায়।

৫·৬ লেন্‌জ-এর সূত্র ও শক্তির নিত্যতা সূত্র
Lenz's Law and Principle of Conservation of Energy

মনে করি একটি দণ্ড চুম্বক NS-এর উত্তর মেরু N-কে একটি তার কুণ্ডলীর দিকে আনা হচ্ছে। ফলে ঐ মেরুর সম্মুখের কুণ্ডলীর তলটি সমমেরুর ন্যায় আচরণ করে অর্থাৎ বিকর্ষণ বল দ্বারা ঐ আবেশী মেরুর অগ্রসরে বাধা দেয়। আবার আবেশী মেরুকে দূরে সরালে আবিষ্ট প্রবাহ বিপরীত দিকে চলে, ফলে কুণ্ডলীর নিকট তল বিপরীত মেরুর ন্যায় আচরণ করে অর্থাৎ আবেশী মেরুর ওপর আকর্ষণ দ্বারা চৌম্বক ফ্লাক্স-এর হ্রাসের বিরোধিতা করে।

প্রথম ক্ষেত্রে দণ্ড চুম্বকটি কুণ্ডলীর দিকে অগ্রসরমান হওয়ায় [চিত্র ৫·৭ (ক)], কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্সের বা ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা বৃদ্ধি পেতে থাকে এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে দণ্ড চুম্বকটি পশ্চাদগামী হওয়ায় [চিত্র ৫·৭ (খ)] কুণ্ডলী থেকে দূরে সরে যায়, ফলে কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে অতিক্রান্ত আবেশ রেখা বা ক্ষেত্র রেখার সংখ্যা কমতে থাকে। উভয় ক্ষেত্রেই কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের দিক এমন হয় যে কুণ্ডলীর অগ্রগমন এবং প্রত্যাগমনকে বাধা প্রদান করে। দণ্ড চুম্বকটি স্থির রেখে কুণ্ডলীটি চুম্বকের কাছে বা দূরে সরালেও অনুরূপ ঘটনা ঘটবে। অর্থাৎ দণ্ড চুম্বক বা কুণ্ডলীর যে কোনোটিতে আপেক্ষিক গতির সৃষ্টি হলে কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হবে।



চিত্র ৫·৭

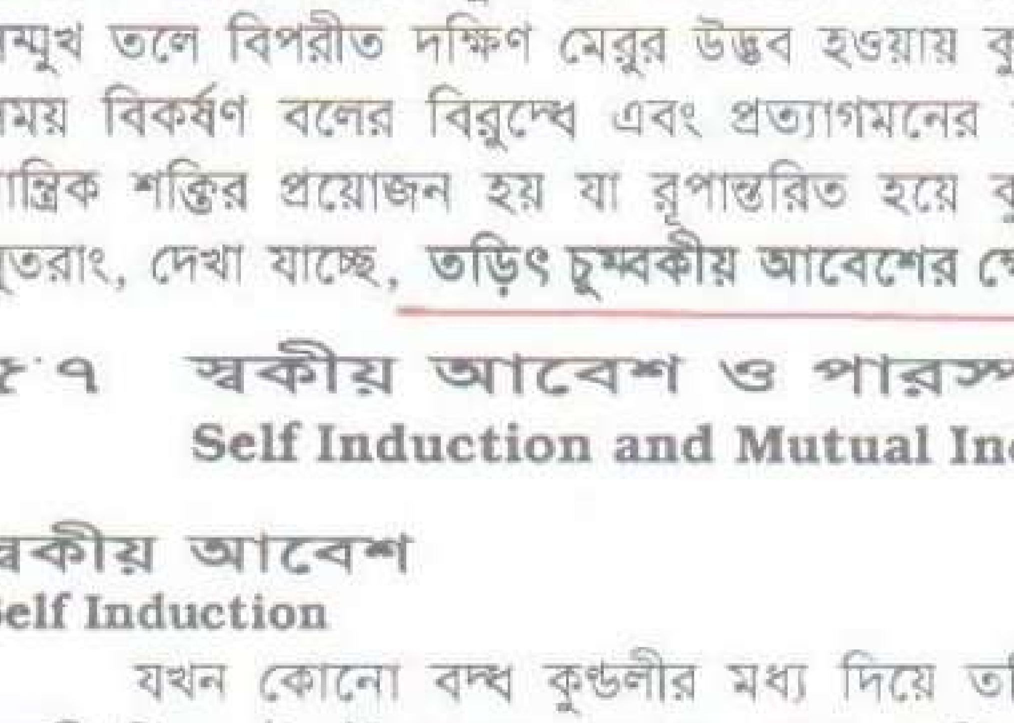
আমরা জানি, কোনো কুণ্ডলী বা বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ চালনা করার জন্য তড়িৎ শক্তির উৎস (যেমন তড়িৎ কোষ) প্রয়োজন। অথচ এক্ষেত্রে কুণ্ডলীর সঙ্গে কোনো তড়িৎ উৎসের সংযোগ নেই; তথাপি কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়েছে। এ থেকে আপাত মনে হওয়া স্বাভাবিক যে কোনো শক্তি ব্যয় না করেই কুণ্ডলীতে তড়িৎ শক্তি সৃষ্টি হয়েছে। এটা শক্তির নিত্যতা সূত্রের সম্পূর্ণ পরিপন্থী। কিন্তু শক্তির নিত্যতা সূত্র অনুসারে শক্তির সৃষ্টি বা বিনাশ হয় না। শুধু রূপান্তর হয় মাত্র। একটু লক্ষ করলেই বোঝা যাবে যে এটি শক্তির নিত্যতা সূত্রের পরিপন্থী নয়। কেননা দণ্ড চুম্বকটি যখন কুণ্ডলীর দিকে অগ্রসর হয় তখন কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ উদ্ভবের ফলে কুণ্ডলীর সম্মুখ তলে সমমেরু সৃষ্টি হয় যা বিকর্ষণ বলের কারণে কুণ্ডলীর অগ্রসরকে বাধা দেয়। আবার চুম্বকের N-মেরু কুণ্ডলী থেকে প্রত্যাগমনের সময় কুণ্ডলীর সম্মুখ তলে বিপরীত দক্ষিণ মেরুর উদ্ভব হওয়ায় কুণ্ডলী ও চুম্বকের মধ্যে আকর্ষণ বল ক্রিয়া করে। সুতরাং, অগ্রগমনের সময় বিকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে এবং প্রত্যাগমনের সময় আকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে কাজ করতে হয়। এ কাজ করার জন্য যান্ত্রিক শক্তির প্রয়োজন হয় যা রূপান্তরিত হয়ে কুণ্ডলীতে তড়িৎ শক্তি সৃষ্টি করে। ফলে কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ ঘটে। সুতরাং, দেখা যাচ্ছে, তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রে লেন্‌জ-এর সূত্র শক্তির নিত্যতা সূত্র মেনে চলে।

৫·৭ স্বকীয় আবেশ ও পারস্পরিক আবেশ
Self Induction and Mutual Induction

এখন তড়িৎ চুম্বক আবেশের তৃতীয় সূত্র বলবে

স্বকীয় আবেশ
Self Induction

যখন কোনো বন্ধ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হয় তখন ঐ প্রবাহ চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপন্ন করে এবং কুণ্ডলী নিজে ঐ চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার দ্বারা জড়িত হয়ে পড়ে। কাজেই ঐ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন ঘটলে কুণ্ডলীর সাথে জড়িত বা কুণ্ডলী দিয়ে অতিক্রমকারী চৌম্বক ক্ষেত্ররেখারও পরিবর্তন ঘটে এবং কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয় যা মূল তড়িৎ প্রবাহের এ পরিবর্তনকে বাধা দেয়। একে **স্বকীয় আবেশ** বলে।



চিত্র ৫·৮

চিত্র ৫·৮-এ একটি কুণ্ডলী L, তড়িৎ কোষ E ও টেপা চাবি K দ্বারা একটি তড়িৎ বর্তনী দেখানো হয়েছে। টেপা চাবি চেপে ধরলে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ শুরু হয় এবং নির্দিষ্ট স্থির মানে পৌঁছায়। এই স্থির মানে পৌঁছতে '0' হতে 't' সময় লাগে। বর্তনী চালু থেকে t সময় পর্যন্ত কুণ্ডলীর ভেতর তড়িৎ প্রবাহের বৃদ্ধির জন্য চৌম্বক ক্ষেত্ররেখা বা ফ্লাক্সের বৃদ্ধি হয়, ফলে ফ্যারাডের

সূত্রানুযায়ী কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়, যা মূল তড়িৎ প্রবাহকে বাধা দেয়। তড়িৎ প্রবাহ স্থির মানে পৌঁছালে কুণ্ডলীতে ফ্লাক্সের পরিবর্তন হয় না বিধায় আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ থাকে না। আবার, টেপা চাবি উঠিয়ে নিলে অর্থাৎ বর্তনীর সংযোগ বিচ্ছিন্ন করলে মূল তড়িৎ প্রবাহ শূন্য মানে নেমে আসতে কিছু সময় লাগে। এ সময়ে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়, যা মূল প্রবাহের সমদিকে হওয়ায় মূল প্রবাহ হ্রাসে বাধা দেয়। উপরোক্ত ঘটনাকে **স্বকীয় আবেশ বা স্বাবেশ** বলে।

অর্থাৎ **একটি মাত্র বন্ধ কুণ্ডলীতে অসম তড়িৎ প্রবাহের দরুন চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের ফলে অথবা কোনো চৌম্বক ক্ষেত্রে বন্ধ কুণ্ডলীর গতির ফলে যে তড়িৎ চৌম্বক আবেশ ঘটে তাকে স্বকীয় আবেশ বলে।**

স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বা স্বাবেশ গুণাঙ্ক
Coefficient of self induction or self inductance

পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেছে যে, কোনো কুণ্ডলী দ্বারা আবদ্ধ অর্থাৎ কুণ্ডলী দিয়ে অতিক্রমকারী চৌম্বক ফ্লাক্স ঐ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহের সমানুপাতিক।

মনে করি কোনো কুণ্ডলীতে i তড়িৎ প্রবাহের জন্য আবদ্ধ চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিমাণ φ

$\therefore$ আমরা পাই, $\phi \propto i$

বা, $\boxed{\varphi = Li}$ (১০–১১) ... ... (5.8)

এখানে L একটি ধ্রুবক। একে স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলে। কুণ্ডলীর জ্যামিতিক গুণনীয়ক (geometrical factor) এবং মাধ্যমের চৌম্বক প্রবেশ্যতার উপর এর মান নির্ভর করে।

এখন ভাষায় L-এর সংজ্ঞা দেয়া যাক।

যদি $i = 1$ (একক) হয়, তবে সমীকরণ (5.8) হতে পাই, $\varphi = L$

অতএব, **কোনো কুণ্ডলীর মধ্যে একক তড়িৎ প্রবাহ চললে তার মধ্যে যে পরিমাণ চৌম্বক ফ্লাক্স অবস্থান করে তাকে ঐ কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলে।**

আবার, ফ্যারাডের সূত্রানুসারে,

$$E = -\frac{d\phi}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.9)$$

$$\therefore \quad E = -\frac{d}{dt}(Li) = -L\frac{di}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.10)$$

ঋণাত্মক চিহ্ন বুঝায় যে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি সর্বদা প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের বিরোধিতা করে।

সমীকরণ (5.10) হতে L-এর সংজ্ঞা দেয়া যায়।

$$\boxed{E = L\frac{di}{dt}}$$ [ঋণ চিহ্ন অগ্রাহ্য করে]

$$\text{বা,} \quad L = \frac{E}{di/dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.11)$$

এখন $\frac{di}{dt} = 1$ হলে, $L = E$ ... ... (5.12)

অতএব **কোনো একটি কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা প্রতি সেকেণ্ডে এক একক পরিবর্তিত হলে ঐ কুণ্ডলীতে যে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি উৎপন্ন হয় তাকে ঐ কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলে।**

স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের একক : স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের এস. আই. একক হেনরি (Henry)।

1 হেনরি : কোনো কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা প্রতি সেকেণ্ডে এক অ্যাম্পিয়ার হিসেবে পরিবর্তিত হলে যদি ঐ কুণ্ডলীতে এক ভোল্ট তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয় তবে কুণ্ডলীর আবেশ গুণাঙ্ককে 1 হেনরি বলে।

অতএব, সংজ্ঞানুসারে, $1 \text{ হেনরি} = \frac{1 \text{ ভোল্ট}}{1 \text{ অ্যাম্পিয়ার/সে.}} = 1 \frac{\text{ভোল্ট-সেকেণ্ড}}{\text{অ্যাম্পিয়ার}}$ $\boxed{(V\text{-}s/A)}$ (15–21) m

হেনরি একক খুব বড় মানের হওয়ায় মিলি-হেনরি ও মাইক্রো-হেনরি এককও ব্যবহার করা হয়।

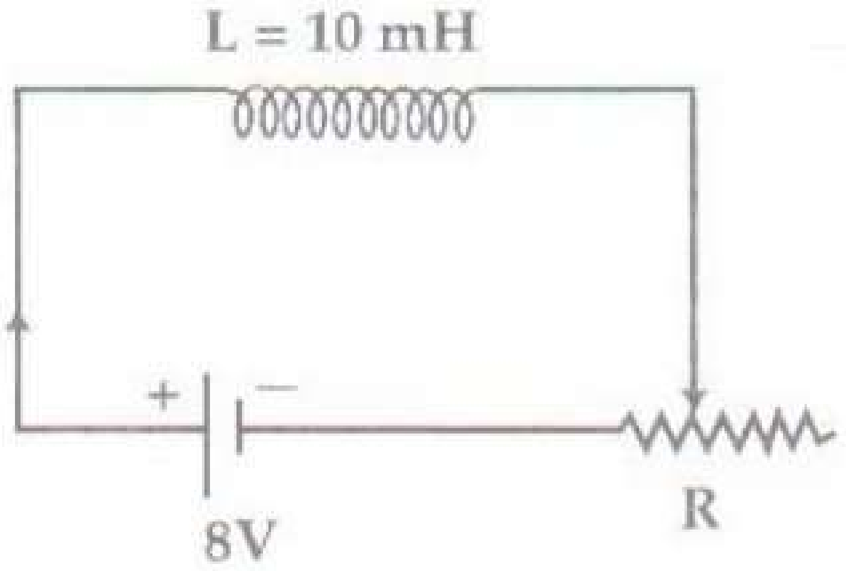
1 হেনরি = 10^3 মিলি-হেনরি = 10^6 মাইক্রো-হেনরি

1 মিলি-হেনরি = 10^{-3} হেনরি

1 মাইক্রো-হেনরি = 10^{-6} হেনরি।

অনুশীলন কাজ : চিত্রে প্রদর্শিত বর্তনীতে 8V ব্যাটারীর সাথে 10 mH স্বাবেশাঙ্কের একটি আবেশক L এবং একটি পরিবর্তনশীল রোধ R যুক্ত আছে। ঐ রোধের ভ্রাম্যমাণ তড়িৎ সংযোগ বিন্দুকে ডান দিকে সরালে রোধের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। চিত্রে যেভাবে দেখানো আছে, সেই অবস্থায় রোধ 16Ω। ঐ মুহূর্তে বর্তনীর প্রবাহ 0·5A অপেক্ষা বেশি হবে না কম হবে ?

ভ্রাম্যমাণ বিন্দুকে সরালে বর্তনীর প্রবাহমাত্রার পরিবর্তন হবে। তড়িৎচুম্বকীয় সূত্রানুসারে আবেশক-এ তড়িচ্চালক বলের উৎপত্তি হবে। প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের হার $\frac{di}{dt}$ হলে, আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল $E = -L\frac{di}{dt}$। ফলে বর্তনীর নীট তড়িচ্চালক বল হবে $= (8V - L\frac{di}{dt})$ এবং ঐ



মুহূর্তে বর্তনীর প্রবাহমাত্রা $= \left(\frac{8V - L\frac{di}{dt}}{16\Omega}\right)$ ... ... (i)

তাই ভ্রাম্যমাণ সংযোগ বিন্দুকে ডান দিকে সরাতে থাকলে, বর্তনীর রোধ ক্রমশ বৃদ্ধি পাবে অথবা বর্তনীর প্রবাহমাত্রা ক্রমশ হ্রাস পাবে অর্থাৎ $\frac{di}{dt}$ ঋণাত্মক হবে। ফলে (i)নং সমীকরণের লব 8V অপেক্ষা বেশি হবে এবং ঐ মুহূর্তে বর্তনীর প্রবাহামাত্রা $i = \frac{8V}{16\Omega} = 0{\cdot}5A$ অপেক্ষা বেশি হবে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি কুণ্ডলীতে 1·015 s সময়ে তড়িৎ প্রবাহ 0·1A থেকে 0·5A-তে পরিবর্তিত হওয়ার দরুন ঐ কুণ্ডলীতে 10V তড়িৎ চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীটির স্বকীয় আবেশাংক নির্ণয় কর।

[রা. বো. ২০১১; কু. বো. ২০০৯; চ. বো. ২০০৩; ঢা. বো. ২০০০]

আমরা জানি,

$$E = L\frac{di}{dt}$$

$$\therefore 10 = L \times \frac{0{\cdot}4}{1{\cdot}015}$$

$$\therefore L = \frac{10 \times 1{\cdot}015}{0{\cdot}4} = 25{\cdot}375 \text{ Henry}$$

এখানে,
$E = 10$ V
$di = (0{\cdot}5A - 0{\cdot}1A) = 0{\cdot}4A$
$dt = 1{\cdot}015$ s

২। 100 পাকবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীতে 4A তড়িৎ প্রবাহ চালালে 0·02 Wb চৌম্বক ফ্লাক্স উৎপন্ন হয়। কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [য. বো. ২০০৫]

$$\varphi = Li$$

$$\text{বা, } L = \frac{\varphi}{i} = \frac{2}{4} = \boxed{0{\cdot}5 \text{ Henry}}$$

এখানে,
$N = 100$
$\therefore \varphi = 100 \times 0{\cdot}02 \text{ Wb} = 2 \text{ Wb}$
$i = 4A$
$L = ?$

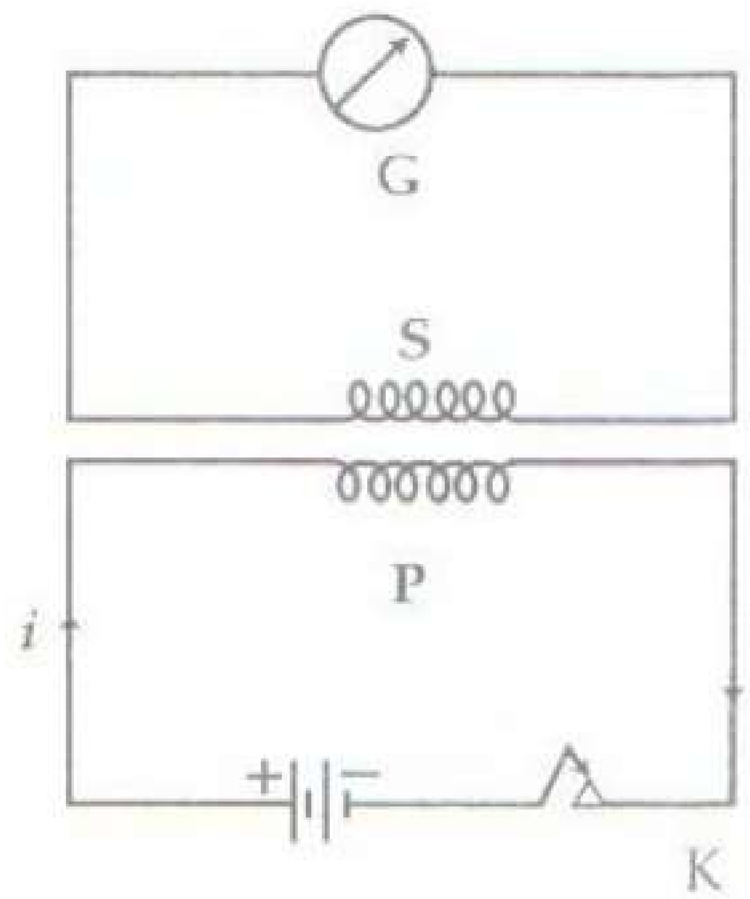
কাজ : একটি বৃত্তাকার কুণ্ডলীর অক্ষ বরাবর একটি বেলনাকার দণ্ড চুম্বক রাখা আছে। চুম্বকটিকে উহার নিজ অক্ষের সাপেক্ষে ঘুরালে ঐ কুণ্ডলীতে কোনো তড়িৎ প্রবাহ আবিষ্ট হবে কী ? যুক্তিসহ ব্যাখ্যা কর।

পারস্পরিক আবেশ
Mutual Induction

দুটি কুণ্ডলী পাশাপাশি অবস্থানে রেখে একটির ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন ঘটালে অপর কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয় এবং দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হয়। এ ঘটনাকে পারস্পরিক আবেশ বলে।

সংজ্ঞা : মুখ্য বর্তনীতে অসম তড়িৎ প্রবাহের ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে যে তড়িৎ চৌম্বক আবেশ ঘটে, তাকে পারস্পরিক আবেশ বলে। সাধারণভাবে বলা যায় যে, এক কুণ্ডলীতে অসম তড়িৎ প্রবাহে সৃষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের ফলে যদি নিকটবর্তী অপর বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িৎচৌম্বক আবেশ ঘটে তবে ঐ আবেশকে পারস্পরিক আবেশ বলে।

ব্যাখ্যা : P ও S দুটি কুণ্ডলী বিবেচনা করা যাক। এদেরকে পরস্পরের খুব কাছাকাছি অবস্থানে রাখা হয়েছে। P কুণ্ডলীর সাথে একটি ব্যাটারী ও একটি টেপা চাবি সংযুক্ত রয়েছে [চিত্র ৫·৯]। একে মুখ্য কুণ্ডলী (Primary coil) বলে। S কুণ্ডলীর সঙ্গে একটি গ্যালভানোমিটার যুক্ত রয়েছে। একে গৌণ কুণ্ডলী (Secondary coil) বলে। এখন টেপা চাবি চেপে মুখ্য কুণ্ডলী P-তে তড়িৎ সংযোগ স্থাপন করলে গৌণ কুণ্ডলী S-এর গ্যালভানোমিটারে বিক্ষেপ দেখাবে। চাবি ছেড়ে দিয়ে বর্তনী সংযোগ বিচ্ছিন্ন করলে গ্যালভানোমিটারে পুনরায় বিক্ষেপ দেখাবে। তবে এ বিক্ষেপ পূর্বের বিক্ষেপের বিপরীত দিকে হবে। মুখ্য কুণ্ডলীর বর্তনী সংযোগ বিচ্ছিন্ন করার ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের কারণ নিম্নরূপ :



চিত্র ৫·৯

টেপা চাবি চেপে ধরলে বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ শূন্য থেকে বৃদ্ধি পেয়ে একটি নির্দিষ্ট মানে পৌঁছায়। তড়িৎ প্রবাহের এ পরিবর্তনের জন্য গৌণ কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটে; ফলে ফ্যারাডের সূত্রানুসারে গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির উদ্ভব হয় যার জন্য গৌণ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। গৌণ কুণ্ডলীতে এ আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের জন্য গ্যালভানোমিটার বিক্ষেপ দেখায়। টেপা চাবি ছেড়ে দিয়ে বর্তনীর সংযোগ বিচ্ছিন্ন করলে মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ নির্দিষ্ট স্থির মান থেকে কমে শূন্যে পৌঁছায়। এ সময়ে গৌণ কুণ্ডলীতে ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটে, ফলে তড়িচ্চালক শক্তি উৎপন্ন হয়। এ তড়িচ্চালক শক্তির অভিমুখ পূর্বের তড়িচ্চালক শক্তির বিপরীতমুখী হওয়ায় আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহও বিপরীতমুখী হয়; ফলে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপও বিপরীতমুখী হয়।

মনে রাখতে হবে, তড়িৎ প্রবাহের মান যখন স্থির কিংবা শূন্য থাকে তখন গ্যালভানোমিটার কোনো বিক্ষেপ দেখাবে না; কেননা তখন গৌণ কুণ্ডলীতে ফ্লাক্সের কোনো পরিবর্তন ঘটে না।

মনে করি, মুখ্য কুণ্ডলী P-তে i তড়িৎ প্রবাহের জন্য গৌণ কুণ্ডলী S [চিত্র ৫·৯] দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্সের মান φ।

আমরা জানি, $\varphi \propto i$ ... ... (5.13)

বা, $\varphi = Mi$ ... ... (5.14)

এখানে, M একটি ধ্রুবক, একে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক বলে।

এখন ভাষায় এর সংজ্ঞা দেয়া যাক।

যদি $i = 1$ (একক) হয়, তবে সমীকরণ (5.14) হতে পাই, $\varphi = M$

অতএব, কোনো কুণ্ডলীতে একক তড়িৎ প্রবাহ চললে গৌণ কুণ্ডলীতে যত সংখ্যক চৌম্বক ফ্লাক্স আবদ্ধ হয় তাকে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক বলে।

আবার ফ্যারাডের সূত্র হতে পাই,

$$E = \frac{d\varphi}{dt} \quad [\text{ ঋণ চিহ্ন অগ্রাহ্য করে }]$$

$$\text{বা, } E = \frac{d}{dt}(Mi) = M\frac{di}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.15)$$

এখন, $\frac{di}{dt} = 1$ হলে, $E = M$ হয়।

অতএব, কোনো মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহমাত্রা প্রতি সেকেণ্ডে এক একক পরিবর্তিত হলে গৌণ কুণ্ডলীতে যে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল উৎপন্ন হয় তাকে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক বলে।

পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের একক : স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের ন্যায় পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের এস. আই. একক হেনরি (henry)। এছাড়া মিলি-হেনরি (mh) (10^{-3} henry) এবং মাইক্রো-হেনরি (μh) (10^{-6} henry)-কে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের একক ধরা হয়।

'পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক 1 হেনরি'-এর অর্থ দুটি কুণ্ডলীর একটির মধ্য দিয়ে 1 As^{-1} হারে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন ঘটলে যদি গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি 1V হয়, তবে কুণ্ডলীদ্বয়ের পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক হবে 1 হেনরি।

গাণিতিক উদাহরণ

১। কোনো মুখ্য কুণ্ডলীতে 0·05 s-এ তড়িৎ প্রবাহমাত্রা 6A হতে 1A-তে আনলে গৌণ কুণ্ডলীতে 5 ভোল্ট তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীদ্বয়ের পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক কত ? [ঢা. বো. ২০১১; ব. বো. ২০০১]

আমরা জানি,

$$E = M\frac{di}{dt}$$

$$\therefore \quad 5 = M \times \frac{5}{0{\cdot}05}$$

$$\therefore \quad M = \frac{5 \times 0{\cdot}05}{5} = \boxed{0{\cdot}05 \text{ হেনরি}}$$

এখানে,

$di = 6A - 1A = 5A$

$dt = 0{\cdot}05$ s

$E = 5$ ভোল্ট

২। পরস্পরের কাছাকাছি দুটি কুণ্ডলী A ও B-এর পাক সংখ্যা যথাক্রমে 200 ও 1000। কুণ্ডলী A দিয়ে 2A তড়িৎ প্রবাহে A কুণ্ডলীতে $2{\cdot}4 \times 10^{-4}$ Wb এবং B কুণ্ডলীতে $1{\cdot}6 \times 10^{-4}$ Wb চৌম্বক ফ্লাক্স উৎপন্ন হয়। (ক) A কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক (খ) B কুণ্ডলীর পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক এবং (গ) A-তে প্রবাহমাত্রা 0·4 s-এ থেমে গেলে B কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি নির্ণয় কর।

(ক) মনে করি, A কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক $= L$

∴ আমরা পাই

$$\varphi_A = Li \quad \cdots \quad \cdots \quad (1)$$

এখন সমীকরণ (1) হতে পাই,

$$200 \times 2{\cdot}4 \times 10^{-4} = L \times 2$$

$$\therefore \quad L = \frac{200 \times 2{\cdot}4 \times 10^{-4}}{2} = 0{\cdot}024 \text{ h}$$

এখানে,

φ_A = পাক সংখ্যা × চৌম্বক ফ্লাক্স $= 200 \times 2{\cdot}4 \times 10^{-4}$ Wb

$i = 2A$

(খ) মনে করি B-তে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক $= M$

∴ আমরা পাই

$$\varphi_B = Mi \quad \cdots \quad \cdots \quad (2)$$

এখন সমীকরণ (2) হতে পাই,

$$1000 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-4} = M \times 2$$

$$\therefore \quad M = \frac{1000 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-4}}{2} = 0{\cdot}08 \text{ h}$$

এখানে,

φ_B = পাক সংখ্যা × চৌম্বক ফ্লাক্স $= 1000 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-4}$ Wb

$i = 2A$

(গ) মনে করি B-তে গড় আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি $= E$

∴ আমরা পাই

$$E = M\frac{di}{dt} \quad \cdots \quad \cdots \quad (3)$$

এখন সমীকরণ (3) হতে পাই,

$$E = 0{\cdot}08 \times 5 = 0{\cdot}4 \text{ volt}$$

এখানে,

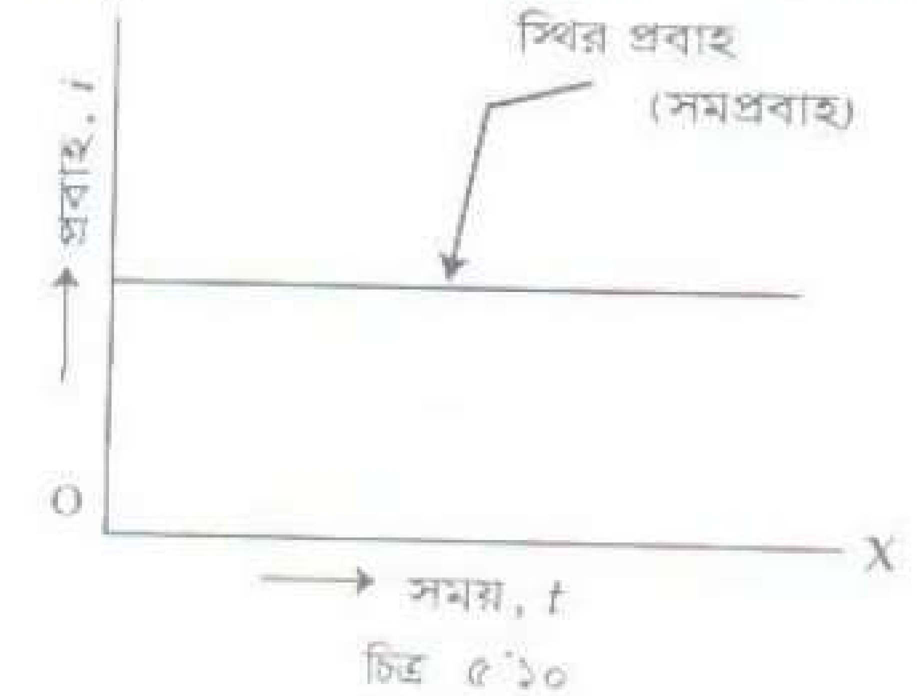
$M = 0{\cdot}08$ h

$\frac{di}{dt} = \frac{2}{0{\cdot}4} = 5 \text{ As}^{-1}$

৫·৮ দিক পরিবর্তী প্রবাহ সৃষ্টি
Generation of Alternating current

সরাসরি ও দিক পরিবর্তন প্রবাহের ধারণা
Idea about DC and AC

তড়িৎ প্রবাহ দুই ধরনের; যথা—সরাসরি প্রবাহ ও দিক পরিবর্তী প্রবাহ।

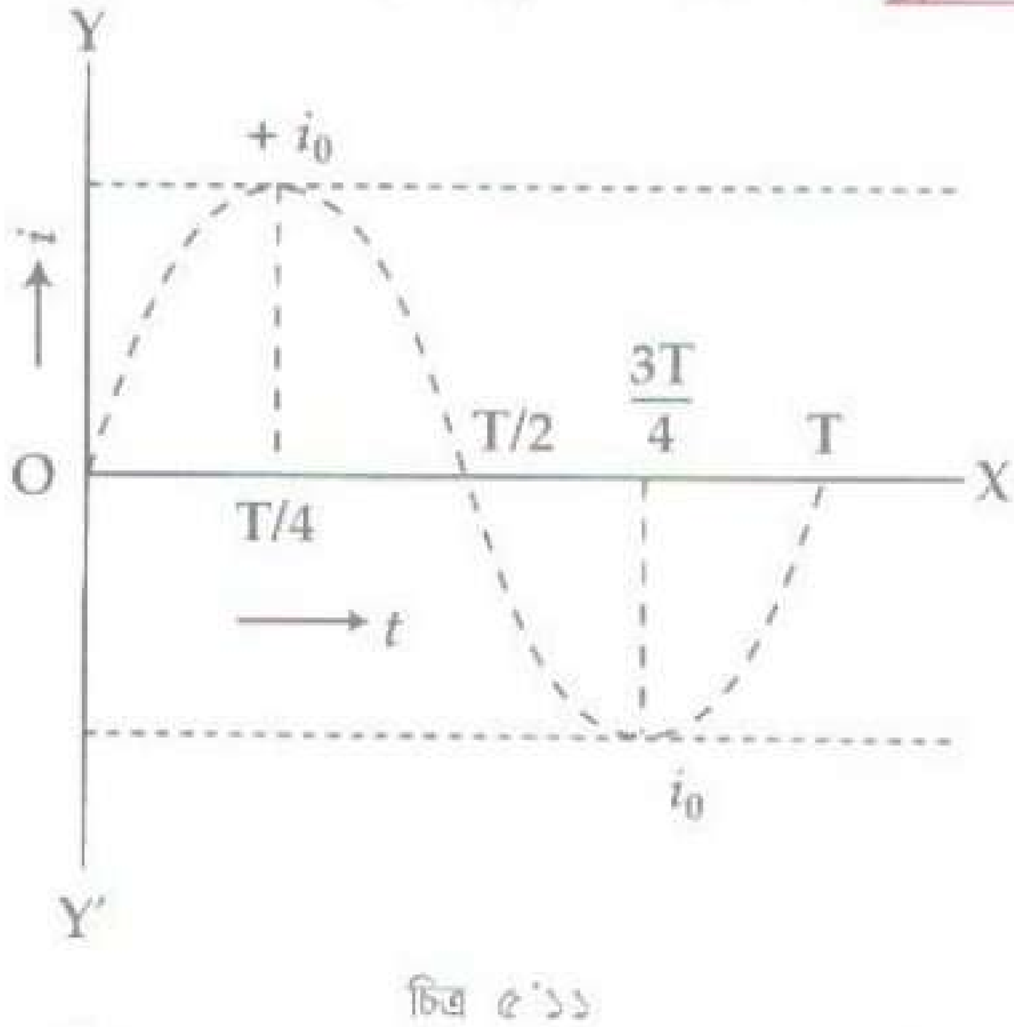


চিত্র ৫·১০

সরাসরি প্রবাহ : আমরা জানি যে, সাধারণ তড়িৎ কোষ বা ব্যাটারী হতে যে তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায় তার অভিমুখ সর্বদা একই থাকে। এই প্রবাহকে একমুখী প্রবাহ বা সমপ্রবাহ (Direct current) বলা হয়। একে সংক্ষেপে ডি. সি. (D. C.) লেখা হয়। DC কে i বনাম t দ্বারা দেখান হলো [চিত্র ৫·১০]। এই প্রবাহের মান বা মাত্রা স্থির নাও থাকতে পারে, কিন্তু দিক বা অভিমুখ কখনই পরিবর্তিত হয় না।

অর্থাৎ যে প্রবাহ সময়ের সাথে সাথে দিক বা দশা পরিবর্তন করে না তাকে সরাসরি প্রবাহ (D.C.) বলে।

দিক পরিবর্তী প্রবাহ : তড়িৎ প্রবাহের এমন উৎস আছে যা হতে বর্তনীতে যে প্রবাহ চলে তার অভিমুখ একটি নির্দিষ্ট সময় অন্তর অন্তর স্বতঃস্ফূর্তভাবে উল্টাতে থাকে, এই প্রবাহকে **প্রত্যাবর্তী** বা **দিক পরিবর্তী প্রবাহ** (Alternating current) বলে [চিত্র ৫'১১]। একে সংক্ষেপে এ. সি. (A. C.) লেখা হয়। অর্থাৎ **যে প্রবাহ সময়ের সাথে সাথে দিক বা**



চিত্র ৫'১১

দশা পরিবর্তন করে তাকে দিক পরিবর্তী প্রবাহ বলে। এই প্রবাহ কোনো এক অভিমুখে প্রবাহিত হবার সময় ক্রমশ বৃদ্ধি পেয়ে সর্বাধিক (maximum) হয়; আবার ক্রমশ হ্রাস পেয়ে অভিমুখ পরিবর্তনের সময় শূন্য মানে পৌঁছায়।

দিক পরিবর্তী প্রবাহের উৎপত্তি
Generation of alternating current

ধরি N এবং S একটি চুম্বকের দুটি মেরু যা H প্রাবল্যের একটি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্র সৃষ্টি করেছে [চিত্র ৫'১২]। মনে করি AB একটি বদ্ধ কুণ্ডলী। এটি চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব তলে অবস্থিত। কুণ্ডলীটি তার নিজস্ব অনুভূমিক অক্ষে ω কৌণিক বেগে ঘুরছে।

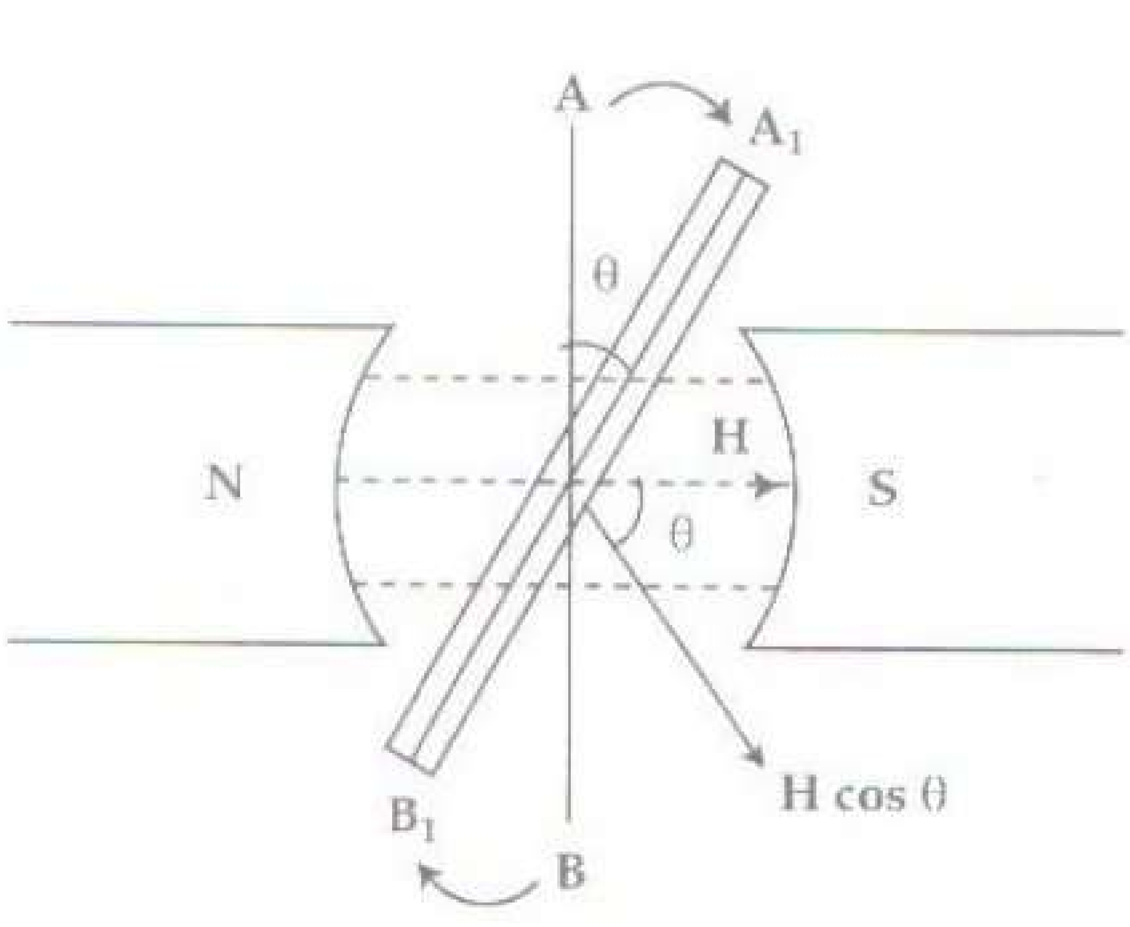
মনে করি কুণ্ডলীটির পাক সংখ্যা n এবং তার ক্ষেত্রফল A। অতএব কুণ্ডলীর তল চৌম্বক ক্ষেত্ররেখার অভিলম্ব হলে তার মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স,

$$\varphi = n\mu AH \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (5.16)$$

এখন ধরি কুণ্ডলীটি t সময়ে θ কোণে ঘুরে A_1B_1 অবস্থানে গিয়েছে। এমতাবস্থায় চৌম্বক ক্ষেত্রের অভিলম্ব উপাংশ $= H\cos\theta$

$\therefore$ অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স বা ক্ষেত্ররেখার সংখ্যা,

$$\varphi_N = n\mu AH\cos\theta$$
$$= n\mu AH\cos\omega t \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (5.17)$$
$$[\because \theta = \omega t]$$



চিত্র ৫'১২

যেহেতু কুণ্ডলীটির ঘূর্ণনের জন্য অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটবে, সেহেতু ফ্যারাডের তড়িৎ চৌম্বকীয় আবেশের ফলে কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হবে এবং আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির মান,

$$E = -\frac{d\varphi_N}{dt}$$
$$= -\frac{d}{dt}(n\mu AH\cos\omega t)$$
$$= n\mu AH\,\omega\sin\omega t$$
$$\therefore E = E_0\sin\omega t \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (5.18)$$

এখানে, $E_0 = n\mu AH\omega$ = সর্বোচ্চ তড়িচ্চালক শক্তি

সমীকরণ (5.18)-কে সাইনুসয়ডাল (sinusoidal) বা দিকপরিবর্তী প্রবাহের সমীকরণ বলা হয়। প্রবাহমাত্রার ক্ষেত্রে উক্ত সমীকরণটিকে লেখা যায় $I = I_0\sin\omega t$ আকারে। এভাবে আমরা দিক পরিবর্তী প্রবাহ পেয়ে থাকি।

কাজ : দিকপরিবর্তী প্রবাহের চক্রের জন্য অর্থাৎ $t = 0$ থেকে $t = 2T$ সময়ের জন্য তড়িচ্চালক শক্তির মান কত হবে? লেখচিত্রে সময়ের খণ্ডিত অংশ নির্দেশ করে ব্যাখ্যা কর।

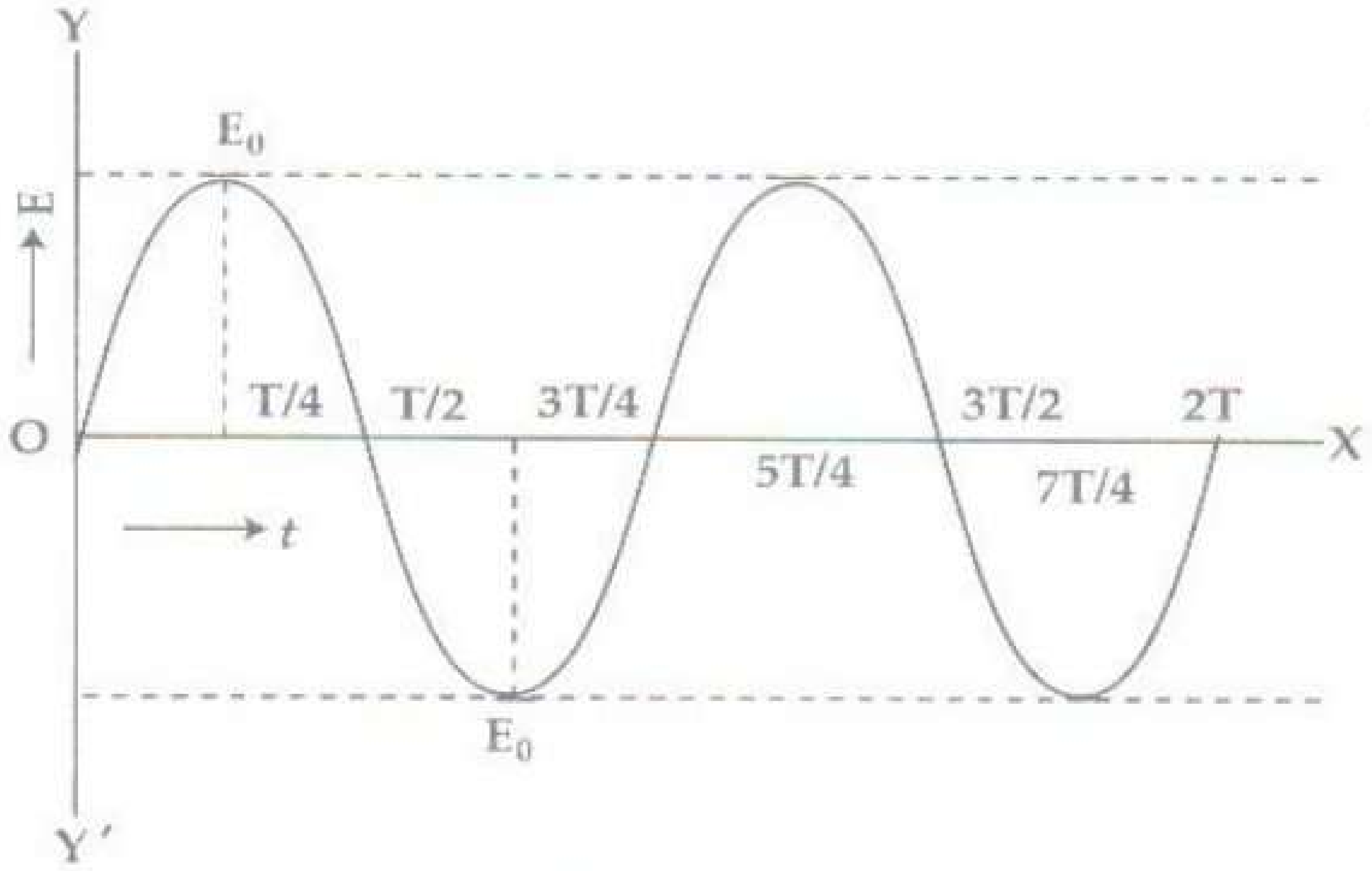
(ক) এখন কুণ্ডলীটির পর্যায় কাল T হলে $\omega = \frac{2\pi}{T}$ হবে।

(খ) সমীকরণ (5.18) হতে দেখা যায় E-এর মান ωt-এর ওপর নির্ভর করে।

(গ) যখন $t = 0, \frac{T}{2}, T, \frac{3}{2}T, 2T$ ইত্যাদি হয়, তখন তড়িচ্চালক শক্তি E শূন্য হয়।

(ঘ) $t = \frac{T}{4}, \frac{5}{4}T$ ইত্যাদি হলে $E = +E_0$ এবং $t = \frac{3}{4}T, \frac{7}{4}T$ ইত্যাদি হলে $E = -E_0$ হবে।

অতএব দেখা যাচ্ছে যে, কুণ্ডলীর সঙ্গে তড়িচ্চালক শক্তি E-এর মান শূন্য হতে বৃদ্ধি পেয়ে $+E_0$ এবং এর পর ক্রমশ হ্রাস পেয়ে পুনরায় শূন্য মানে পৌঁছায়। অতঃপর বিপরীত দিকে পুনরায় বৃদ্ধি পেয়ে $-E_0$ হয়; আবার হ্রাস পেয়ে শূন্য মানে আসে। এমনিভাবে তড়িচ্চালক শক্তির পরিবর্তনের একটি চক্র (cycle) T সময়ে সম্পন্ন হয় যা চিত্র ৫.১৩-এ দেখানো হয়েছে।

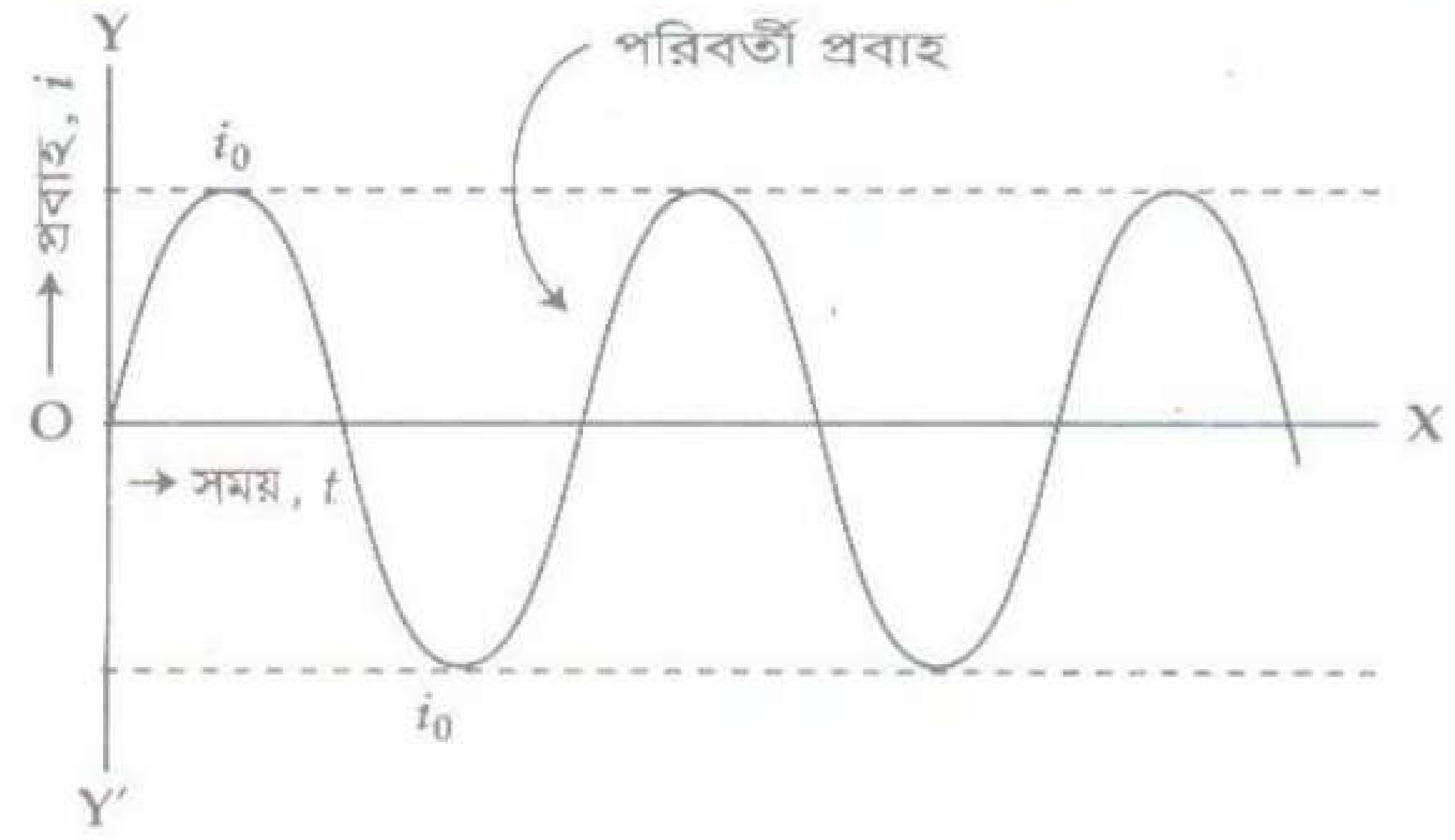


চিত্র ৫.১৩

প্রবাহমাত্রা : R রোধযুক্ত পরিবাহীর কোনো বর্তনীতে E তড়িচ্চালক শক্তির জন্য i পরিমাণ প্রবাহ t সময় ধরে চালনা করলে প্রবাহমাত্রা,

$$i = \frac{E}{R} = \frac{E_0 \sin \omega t}{R} = i_0 \sin \omega t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.19)$$

এখানে, সর্বোচ্চ প্রবাহমাত্রা, $i_0 = \frac{E_0}{R}$। তড়িচ্চালক শক্তির পরিবর্তনের ফলে প্রবাহমাত্রাও পরিবর্তিত হয়। এজন্য একে পরিবর্তী প্রবাহ (Alternating Current) সংক্ষেপে AC বলা হয়। সময়ের সাথে পরিবর্তী প্রবাহের মান ও অভিমুখ



চিত্র ৫.১৪

কিভাবে পরিবর্তিত হয় তা চিত্র ৫.১৪-এ অঙ্কিত লেখের সাহায্যে দেখানো হয়েছে। এই লেখ হতে বলা যায় যে, পরিবর্তী প্রবাহের সমীকরণকে সাইন বা কোসাইন লেখ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

দিক পরিবর্তী প্রবাহ সম্পর্কীয় কয়েকটি রাশির সংজ্ঞা :

(ক) বিস্তার (Amplitude) : যে কোনো অভিমুখে তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের সর্বোচ্চ মানকে তার বিস্তার বা শীর্ষমান বলে। চিত্র ৫.১৩ ও ৫.১৪-এ E_0 ও i_0 যথাক্রমে তড়িচ্চালক শক্তি এবং প্রবাহের শীর্ষমান।

(খ) পরিবর্তন চক্র (Cycle of variation) : দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের মান শূন্য হতে বৃদ্ধি পেয়ে শীর্ষমান, ক্রমান্বয়ে হ্রাস পেয়ে শূন্যমানে এসে বিপরীত অভিমুখে পুনরায় বৃদ্ধি পেয়ে ঐ শীর্ষমানে পৌঁছে বা হ্রাস পেয়ে শূন্যমানে উপনীত হওয়াকে তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের পরিবর্তন চক্র বলে। চিত্র ৫.১১-এ O হতে T পর্যন্ত এক পরিবর্তন চক্র দেখানো হয়েছে।

(গ) পর্যায়কাল (Time period) : যে সময়ে পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের একটি পরিবর্তন চক্র সম্পন্ন হয় তাকে পর্যায়কাল বলে। একে T দ্বারা প্রকাশ করা হয়। পর্যায় কাল, $T = \frac{2\pi}{\omega}$.

(ঘ) কম্পাঙ্ক (Frequency) : পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহ প্রতি সেকেন্ডে যত সংখ্যক পরিবর্তন চক্র সম্পন্ন করে তাকে উক্ত তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের কম্পাঙ্ক বলে। একে f বা n দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$\therefore$ কম্পাঙ্ক, f বা $n = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$

বা, $\omega = 2\pi f$

ω-কে কৌণিক কম্পাঙ্কও বলা হয়।

৫·৯ প্রবাহের গড় মান, বর্গমূলীয় গড় মান এবং শীর্ষ মান
Mean value, Root Mean Square value and Peak value of current

পরিবর্তী প্রবাহের গড় মান ও শীর্ষ মান (অর্ধচক্রের জন্য তড়িৎ প্রবাহের গড় মান)
Average or mean value and Peak value of AC

পরিবর্তী প্রবাহের পর্যায়কালে অর্থাৎ প্রবাহের পূর্ণ পরিবর্তন চক্রের কালে প্রবাহের গড় মান শূন্য হয়। সুতরাং **পরিবর্তী প্রবাহের গড় মান বলতে অর্ধ পর্যায় কালে প্রবাহের গড় মান বুঝায়।** প্রবাহের গড় মানকে $\bar{i}$ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। আমরা জানি, পরিবর্তী প্রবাহের সমীকরণ $i = i_0 \sin \omega t$.

অতএব, গড় মান,

$$\bar{i} = \frac{\int_0^{T/2} i dt}{T/2} = \frac{\int_0^{T/2} i_0 \sin \omega t . dt}{T/2} \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.20)$$

$$= i_0 \int_0^{\pi/\omega} \frac{\sin \omega t . dt}{\pi/\omega} \qquad \left[\because T = \frac{2\pi}{\omega}\right]$$

$$= \frac{i_0 \omega}{\pi}\left[\frac{-\cos \omega t}{\omega}\right]_0^{\pi/\omega} = \frac{i_0}{\pi}[\cos \omega t]_{\pi/\omega}^{0}$$

$$= \frac{i_0}{\pi}\left[1 - \cos\left(\omega \times \frac{\pi}{\omega}\right)\right]$$

$$= \frac{i_0}{\pi}[1 - \cos \pi] = \frac{i_0}{\pi}[1 - (-1)]$$

$$= \frac{2}{\pi} i_0 = 0.637 \times \text{পরিবর্তী প্রবাহের শীর্ষমান} \quad (.০৯-১০) \ldots \quad (5.21)$$

অর্থাৎ পরিবর্তী প্রবাহের গড় মান = 0.637 × পরিবর্তী প্রবাহের শীর্ষ মান।

সুতরাং পরিবর্তী প্রবাহের গড় মান শীর্ষ মানের 0.637 গুণ বা 63.7%

$$\therefore \text{শীর্ষ মান} = \frac{\text{গড় মান}}{0.637} = 1.57 \times \text{গড় মান} = 1.57 \times \bar{i} \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.22)$$

অর্থাৎ পরিবর্তী প্রবাহের শীর্ষ মান গড় মানের 1.57 গুণ।

বর্গমূলীয় গড় মান
Root mean square value

আমরা জানি দিক পরিবর্তী প্রবাহের সমীকরণ $I = I_0 \sin \omega t$. এখানে I এবং I_0 যথাক্রমে দিক পরিবর্তী প্রবাহের কার্যকর মান এবং শীর্ষ মান। পূর্ণ চক্রের জন্য দিক পরিবর্তী প্রবাহের গড় বর্গ মান

$$\overline{I^2} = \frac{1}{T}\int_0^T I^2\, dt = \frac{1}{T}\int_0^T (I_0 \sin \omega t)^2\, dt$$

$$= \frac{1}{T}\int_0^T I_0^2 \sin^2 \omega t dt = \frac{I_0^2}{T}\int_0^T \sin^2 \omega t dt$$

$$= \frac{I_0^2}{T}\int_0^T \frac{(1-\cos 2\omega t)}{2} dt \qquad \left[\because \sin^2\theta = \frac{1-\cos 2\theta}{2}\right]$$

$$= \frac{I_0^2}{2T}\left\{\int_0^T dt - \int_0^T \cos 2\omega t\, dt\right\}$$

$$= \frac{I_0^2}{2T}\left\{[t]_0^T - \frac{1}{2\omega}[\sin 2\omega t]_0^T\right\}$$

$$= \frac{I_0^2}{2T}\left\{[T] - \frac{1}{2\omega}[\sin 2\omega t - \sin 0\right\}$$

$$= \frac{I_0^2}{2T}\left\{T - \frac{1}{2\omega}[\sin\ 4\pi - \sin 0]\right\} \qquad [\because \omega = \frac{2\pi}{T}]$$

$$= \frac{I_0^2}{2T}[T - 0] = \frac{I_0^2}{2}$$

$$\therefore \sqrt{\overline{I^2}} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 0{\cdot}707 \times I_0$$

বা, $I_{rms} = 0{\cdot}707 \times I_0$ ... ... (5.23)

অতএব বলা যায় পরিবর্তী প্রবাহের বর্গমূলীয় গড় মান শীর্ষ মানের 0·707 গুণ বা 70·7%.

গড় মান, আপাত মান এবং শীর্ষ মানের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক
Mutual relation among the average value, virtual value and peak value

আমরা জানি, পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি এবং পরিবর্তী প্রবাহের

অর্ধ চক্রের জন্য গড় মান $= \frac{2}{\pi} \times$ শীর্ষ মান।

$= \frac{2}{\pi} \times (\sqrt{2} \times$ গড় বর্গের বর্গমূল মান)।

$= \frac{2 \times \sqrt{2}}{\pi} \times$ গড় বর্গের বর্গমূল মান।

$= \frac{2 \times \sqrt{2}}{\pi} \times$ আপাত মান।

$\therefore$ আপাত মান $= \frac{\pi}{2 \times \sqrt{2}} \times$ গড় মান

$= \frac{1}{\sqrt{2}} \times$ শীর্ষ মান ... ... (5.24)

সমীকরণ (5.24) হতে সহজেই বুঝতে পারা যায়,

সম প্রবাহ (D. C.) অপেক্ষা পরিবর্তী প্রবাহ (A. C.) বেশি বিপজ্জনক।

কাজ : AC 220V, DC 220V অপেক্ষা বেশি বিপজ্জনক কেন ?

আপাত তড়িচ্চালক শক্তি $= \frac{1}{\sqrt{2}} \times E_0 = 0.707 \times E_0$ এবং গড় তড়িচ্চালক শক্তি $= \frac{2}{\pi} \times E_0 = 0.637 \times E_0$

$\therefore$ আপাত তড়িচ্চালক শক্তি > গড় তড়িচ্চালক শক্তি।

220 V A. C. বললে তার কার্যকরী মান 220 V হলেও তার শীর্ষ মান $= 220 \times \sqrt{2} = 311$ V। অতএব কোনো ব্যক্তি যদি 220 V D. C. শক্ পায় তবে এটি 220 V দ্বারাই হবে। কিন্তু তিনি যদি 220 V A. C. শক্ পান, তবে সর্বাধিক শক্ পাবে 311 V যা 220 V-এর শক্ অপেক্ষা অনেক বেশি হবে। নিঃসন্দেহে 311 V দ্বারা শক্ 220 V দ্বারা শক্ অপেক্ষা অনেক বেশি বিপজ্জনক।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি পরিবর্তী বর্তনীর প্রবাহ মাত্রার শীর্ষমান 20A এবং এর কম্পাঙ্ক 50 Hz। এর গড় বর্গের বর্গমূল মান নির্ণয় কর। শূন্য থেকে শীর্ষ মানে পৌঁছাতে কত সময় লাগবে ? [ব. বো. ২০০৭]

মনে করি গড় বর্গের বর্গমূল মান $= i_{rms}$

$\therefore$ আমরা পাই,

$$i_{rms} = \frac{i_0}{\sqrt{2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

এখানে,
$i_0 = 20A$
$f = 50$ Hz

এখন সমীকরণ (1) হতে পাই,

$$i_{rms} = \frac{20}{\sqrt{2}} = 14.14 \text{ A}$$

পর্যায়কাল, $T = \frac{1}{f}$

এবং সর্বোচ্চ মানে পৌঁছার সময়, $t = \frac{T}{4} = \frac{1}{4f}$

$$\therefore t = \frac{1}{4 \times 50} = \frac{1}{200} \text{ s} = 5 \times 10^{-3} \text{s}$$

২। একটি এ. সি. উৎসের বিস্তার 160 V এবং কম্পাঙ্ক 60 Hz। এর উৎসের সাথে 20 Ω রোধ যুক্ত করা হলে, কার্যকর ভোল্টেজ, কার্যকর প্রবাহমাত্রা এবং উত্তাপজনিত শক্তিক্ষয় নির্ণয় কর। [ব. বো. ২০০৯, ২০০১]

আমরা জানি,

কার্যকর ভোল্টেজ = ভোল্টেজের গড় বর্গের বর্গমূল $= E_{rms}$

এখন, $E_{rms} = \frac{E_0}{\sqrt{2}}$

$\therefore E_{rms} = \frac{160}{\sqrt{2}} = 113.47$ Volt

এখানে,
$E_0 = 160$ Volt
$R = 20\,\Omega$

এখন, $I_0 = \frac{E_0}{R}$ $\therefore I_0 = \frac{160}{20} = 8$ Amp

কার্যকর প্রবাহমাত্রা, $I_{rms} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = \frac{8}{\sqrt{2}} = 5.67$ Amp

উত্তাপজনিত শক্তিক্ষয়ের হার $= I_{rms}{}^2 R = (5.67)^2 \times 20 = 643 \text{ Js}^{-1}$

৩। একটি দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের সমীকরণ $i = 50 \sin 628\, t$ হলে তড়িৎ প্রবাহের (i) শীর্ষ মান; (ii) কম্পাঙ্ক এবং (iii) মূল গড় বর্গের মান নির্ণয় কর। [রা. বো. ২০০৯; চ. বো. ২০০৫]

প্রদত্ত সমীকরণ, $i = 50 \sin 628\, t \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$

তড়িৎ প্রবাহের সাধারণ সমীকরণ, $i = i_0 \sin \omega t \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$

সমীকরণ (1) ও (2)-এর তুলনা করে পাই,

(i) তড়িৎ প্রবাহের শীর্ষ মান, $i_0 = 50$ Amp

(ii) $\omega = 628$

$\therefore 2\pi f = 628$

$\therefore$ কম্পাঙ্ক, $f = \frac{628}{2\pi} = \frac{628}{2 \times 3.14} = 100$ Hz

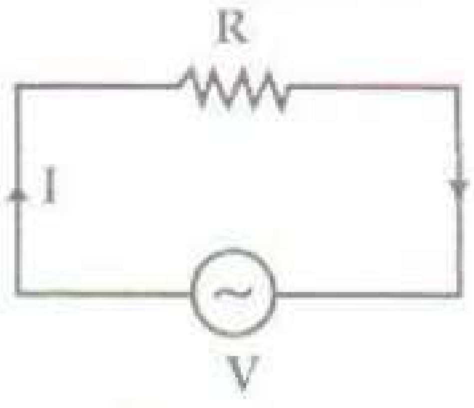
(iii) প্রবাহমাত্রার মূল গড় বর্গের মান,

$$i_{rms} = \frac{i_0}{\sqrt{2}} = \frac{50}{\sqrt{2}} = 35.35 \text{ Amp}$$

৫.১০ কার্যকর তড়িৎ প্রবাহ
Effective Current

বর্তনী চিত্র ৫.১৫(ক)-এ একটি রোধযুক্ত বর্তনী দেখানো হয়েছে। বর্তনীতে প্রযুক্ত দিক পরিবর্তী ভোল্টেজ,

$$V = V_0 \sin \omega t \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.25)$$



চিত্র ৫.১৫(ক)

এখন, ও'মের সূত্রানুসারে,

$$V = IR$$

বা, $$I = \frac{V}{R} = \frac{V_0}{R} \sin \omega t = I_0 \sin \omega t \quad \ldots \quad (5.26)$$

দিক পরিবর্তী বর্তনীতে ব্যয়িত তাৎক্ষণিক ক্ষমতা,

$$P = VI = V_0 I_0 \sin^2 \omega t$$

আমরা জানি, একটি সম্পূর্ণ পর্যায় (complete cycle)-এর জন্য $\sin^2 \omega t$ এর মান $= \frac{1}{2}$। সুতরাং, বর্তনীর গড় ক্ষমতা, $\overline{P} = \frac{1}{2} V_0 I_0 = \frac{V_0}{\sqrt{2}} \times \frac{I_0}{\sqrt{2}}$

$$\overline{P} = V_{rms} I_{rms} = (I_{rms} R) \cdot I_{rms} = I^2_{rms} R \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.27)$$

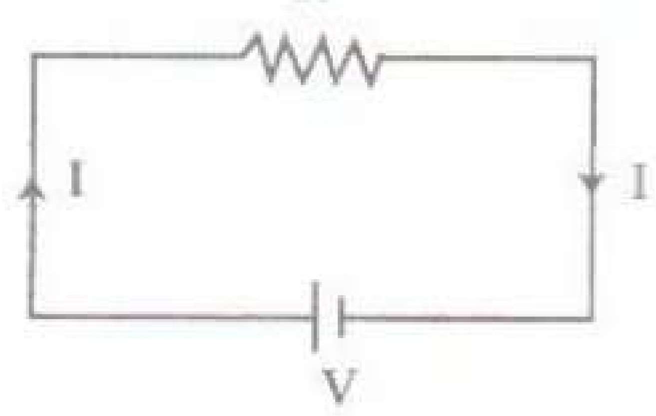
বর্তনীতে দিক পরিবর্তী ভোল্টেজের স্থলে ডি.সি. ভোল্টেজ প্রযুক্ত হলে [চিত্র ৫.১৫(খ)] ক্ষমতা,

$$P = VI = IR.I = I^2 R \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.28)$$

সমীকরণ (5.27) ও (5.28) থেকে দেখা যায় যে ডিসি প্রবাহের ক্ষেত্রে I-এর যে ভূমিকা দিক পরিবর্তী প্রবাহের ক্ষেত্রে I_{rms} এর একই ভূমিকা।

প্রকৃতপক্ষে দিক পরিবর্তী বর্তনীতে আমরা যে ভোল্টেজ এবং প্রবাহ পরিমাপ করি তা V_{rms} এবং I_{rms}।

V_{rms} এবং I_{rms} কে যথাক্রমে কার্যকর ভোল্টেজ এবং কার্যকর প্রবাহ বলে। এসি ভোল্টমিটার বা অ্যামিটারে যে পাঠ দেয় তা V বা I এর *rms* মান নির্দেশ করে।



চিত্র ৫.১৫(খ)

আকৃতি গুণাঙ্ক (Form factor) : দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহমাত্রার গড় বর্গের বর্গমূল (*rms*) মান এবং গড় মানের অনুপাতকে আকৃতি গুণাঙ্ক বলে।

অতএব, $$\text{আকৃতি গুণাঙ্ক} = \frac{\text{গড় বর্গের বর্গমূল মান বা আপাত মান}}{\text{গড় মান}}$$

$$= \frac{\frac{1}{\sqrt{2}} \times \text{শীর্ষমান}}{\frac{2}{\pi} \times \text{শীর্ষমান}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{\pi}{2} = 1.11$$

আকৃতি গুণাঙ্ক পরিবর্তী প্রবাহ বা তড়িচ্চালক শক্তির তরঙ্গ আকার নির্দেশ করে।

এখানে উল্লেখ্য যে, আকৃতি গুণাঙ্কের এই 1.11 মান শুধুমাত্র সাইনধর্মী ভোল্টেজ বা প্রবাহের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। ভিন্ন ভিন্ন তরঙ্গরূপের ক্ষেত্রে আকৃতি গুণাঙ্কের মান ভিন্ন হয়।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$$E = -N\frac{d\phi}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

$$\phi = LI \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

$$E = -L\frac{dI}{dt} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

$$E_{rms} = 0.707\, E_0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

$$I_{rms} = 0.707\, I_0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

$$P = I^2_{rms} R \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

উচ্চতর দক্ষতাসম্পন্ন নমুনা গাণিতিক উদাহরণ

১। আবির দেখল একটি বিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্রে একটি তারের কুণ্ডলীকে 12 Wb m^{-2} মানের কোনো সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে 6·28 rad s^{-1} সমকৌণিক বেগে ঘুরানো হচ্ছে। কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 150 এবং এর বৃত্তাকৃতি তলের ক্ষেত্রফল 1·5 m^2 কুণ্ডলীটি ঘূর্ণনের শুরুতে চৌম্বক ক্ষেত্রের দিকের মানের সমান্তরালে ছিল।

(ক) কুণ্ডলীতে সর্বোচ্চ কত মানের ভোল্টেজ আবিষ্ট হবে ?

(খ) যে মুহূর্তে সর্বোচ্চ মানের ভোল্টেজ আবিষ্ট হবে এবং অপর যে মুহূর্তে কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্স সর্বোচ্চ মানের হবে—এই দুই মুহূর্তের ন্যূনতম ব্যবধান নির্ণয় কর।

সমাধান :

(ক) দেওয়া আছে কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা = 150

কুণ্ডলী তলের ক্ষেত্রফল, $A = 1·5\ m^2$

চৌম্বক ক্ষেত্রের মান, $B = 12\ Wb\ m^{-2}$

কুণ্ডলীর সমকৌণিক বেগ, $\omega = 6·28\ rad\ s^{-1}$

কুণ্ডলীতে আবিষ্ট সর্বোচ্চ ভোল্টেজ, $E_{max} = ?$

E এর মান সর্বোচ্চ হবে যখন $\sin \omega t = 1$ হয়।

সুতরাং নির্ণেয় সর্বোচ্চ মানের আবিষ্ট ভোল্টেজ, $E_{max} = NBA\omega \sin \omega t = NBA\omega \times 1$

$= 150 \times 12 \times 1·5 \times 6·28$ volt $= 16956$ volt

(খ) আমরা জানি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে সমকৌণিক বেগে ঘূর্ণায়মান কুণ্ডলীতে আবিষ্ট ভোল্টেজের সমীকরণ $E = NBA\omega \sin \omega t$

E এর মান সর্বোচ্চ হবে যখন $\sin \omega t = 1$ হয়।

$\therefore \quad \omega t = \frac{\pi}{2}$ radian

বা, $t = \frac{\pi}{2\omega}\ rad = \frac{\pi\ rad}{2 \times 6·28\ rad\ s^{-1}} = 0·256\ s$

$t = 0·256$ s মুহূর্তে উক্ত কুণ্ডলীতে সর্বোচ্চ মানের ভোল্টেজ আবিষ্ট হবে।

আমরা জানি, কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্সের সমীকরণ, $\phi = NAB \cos \omega t$

ϕ এর মান সর্বোচ্চ হবে যদি $\cos \omega t = 1$ হয়।

বা, $\omega t = 0°$

$\therefore \quad t = 0$ s হয়।

সুতরাং যে মুহূর্তে কুণ্ডলীতে সর্বোচ্চ মানের ভোল্টেজ অবিষ্ট হবে এবং অপর যে মুহূর্তে কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত ফ্লাক্স সর্বোচ্চ মানের হবে, এই দুই মুহূর্তের ন্যূনতম ব্যবধান $= (0·25 - 0)\ s = 0·25\ s$

২। দ্বাদশ শ্রেণির ক্লাসে শিক্ষক পারস্পরিক আবেশ বুঝাবার জন্য দুটি কুণ্ডলীকে পাশাপাশি রেখে একটিতে প্রতি সেকেন্ডে 300 mA করে বিদ্যুৎ প্রবাহ পরিবর্তন করলেন। ফলে দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে বিদ্যুচ্চালক বল আবিষ্ট হলো। ভোল্টমিটারের সাহায্যে শিক্ষক তা পরিমাপ করে ছাত্রদের দেখালো।

(ক) ভোল্টমিটারের পাঠ 3V হলে কুণ্ডলীর পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

(খ) কুণ্ডলী দুইটির পাকসংখ্যার অনুপাত 1 : 300 হলে দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে প্রতি সেকেন্ডে যে পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ আবিষ্ট হবে তা আবেশী প্রবাহের কতগুণ হবে—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

সমাধান :

(ক) দেওয়া আছে $\frac{di}{dt} = 300\ mA\ s^{-1} = 300 \times 10^{-3}\ A\ s^{-1}$

তড়িৎচালক বল, $E_2 = 3V$

পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক, $M = ?$

আমরা জানি, $E_2 = M\frac{di}{dt}$

$\Rightarrow \quad 3 = M \times 300 \times 10^{-3}$

$\therefore \quad M = \frac{3}{300 \times 10^{-3}} = \frac{1}{100} \times 10^3 = 0·01 \times 10^3 = 10\ H$

(খ) দেওয়া আছে প্রথম কুণ্ডলীতে প্রতি সেকেন্ডে প্রবাহের পরিবর্তন $I_1 = 300\ \text{mA s}^{-1} = 300 \times 10^{-3}\ \text{A s}^{-1}$
পাকসংখ্যার অনুপাত $N_1 : N_2 = 1 : 300$
২য় কুণ্ডলীতে প্রতি সেকেন্ডে প্রবাহ পরিবর্তন, $I_2 = ?$
আমরা জানি, $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$

$$\therefore \quad I_2 = I_1 \times \frac{N_1}{N_2} = \frac{300 \times 10^{-3} \times 1}{300} = 1 \times 10^{-3}\ \text{A}$$

$\therefore \quad I_2 = 1$ mA, আবেশী প্রবাহ $I_1 = 1$ mA $\therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{1\ \text{mA}}{300\ \text{mA}}$ বা, $I_2 = I_1 \times 300$

$\therefore$ ২য় কুন্ডলীতে প্রতি সেকেন্ডে 1 mA তড়িৎ প্রবাহ আবিষ্ট হবে তা আবেশী প্রবাহের 300 গুণ হবে।

৩। একটি ট্রান্সফর্মারের মুখ্য ও গৌণ কুণ্ডলীতে পাকসংখ্যা যথাক্রমে 10,000 ও 5,000 করা হলো।
(ক) ট্রান্সফর্মারটির মুখ্য কুণ্ডলীতে কত মানের ভোল্টেজ প্রয়োগ করলে গৌণ কুণ্ডলীতে 100 V পাওয়া যাবে?
(খ) যন্ত্রটি শক্তির সংরক্ষণশীলতার নীতি মেনে চলে কি-না বিশ্লেষণ কর।

সমাধান : (ক) $N_p = 10{,}000,\ N_s = 5{,}000,\ E_s = 100\ \text{V},\ E_p = ?$
আমরা জানি, $\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$

বা, $E_p = \frac{N_p}{N_s} \times E_s = \frac{10{,}000}{5000} \times 100 = 200\ \text{V}$

(খ) ট্রান্সফর্মারের মুখ্য কুণ্ডলীর ভোল্টেজ E_p এবং তড়িৎ প্রবাহ I_p হলে তড়িৎ ক্ষমতা $= E_p I_p$ ... (i)
অপরদিকে, গৌণ কুণ্ডলীর ভোল্টেজ E_s এবং তড়িৎ প্রবাহ I_s হওয়ায় এর তড়িৎ ক্ষমতা $= E_s I_s$ ... (ii)
আবার, $\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$ এবং $\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$
$\therefore E_s = \frac{N_s}{N_p} \times E_p$ এবং $I_s = \frac{N_p}{N_s} \times I_p$

E_s ও I_s এর মান (ii) নং সমীকরণে বসিয়ে পাই,

গৌণ কুণ্ডলীর তড়িৎ ক্ষমতা $= E_s \times I_s = \frac{N_s}{N_p} \times E_p \times \frac{N_p}{N_s} \times I_p = E_p I_p$ ... (iii)

সমীকরণ (i) এবং (iii) থেকে দেখা যায় মুখ্য কুণ্ডলীর তড়িৎ ক্ষমতা = গৌণ কুণ্ডলীর তড়িৎ ক্ষমতা

প্রকৃতপক্ষে একটি ট্রান্সফর্মার কেবল ভোল্টেজ এবং তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন ঘটায়, তড়িৎ শক্তি বা তড়িৎ ক্ষমতার পরিবর্তন ঘটাতে পারে না। এক্ষেত্রে ভোল্টেজ ও কারেন্ট রাশিদ্বয় বিপরীত অনুপাতে পরিবর্তিত হয় কিন্তু ভোল্টেজ ও কারেন্টের গুণফল তথা তড়িৎ ক্ষমতা বা তড়িৎ শক্তি ধ্রুব থাকে। তাই বলা যায় ট্রান্সফর্মার শক্তির সংরক্ষণশীলতার নীতি মেনে চলে।

৪। সালমা 100 Ω রোধের একটি বৈদ্যুতিক হিটার 160 V বিস্তার প্রায় 50 Hz কম্পাঙ্কের একটি এসি উৎসের সাথে সংযুক্ত করল। পরবর্তীতে নাজমা হিটারটির 120 V ডিসি উৎসের সাথে সংযুক্ত করল। [চ. বো. ২০১৫]
(ক) এসি উৎসের গড় ভোল্টেজ নির্ণয় কর।
(খ) কোন সংযোগে হিটারটি বেশি কার্যকর — গাণিতিক বিশ্লেষণসহ মতামত দাও।
সমাধান :

(ক) আমরা জানি,

$$\bar{E} = \frac{2E_0}{\pi} = \frac{2 \times 160}{3{\cdot}14} = 101{\cdot}92\ \text{V}$$

এখানে,
এসি উৎসের বিস্তার, $E_0 = 160$ V
কম্পাঙ্ক, $\eta = 50$ Hz
গড় ভোল্টেজ, $\bar{E} = ?$

(খ) এসি উৎসের ক্ষেত্রে, $E_0 = 160$ V
ডিসি উৎসের ক্ষেত্রে, $E_0 = 120$ V
কার্যকর ভোল্টেজ, $E_{rms} = ?$
এসি উৎসের ক্ষেত্রে, $E_{rms} = \frac{E_0}{\sqrt{2}} = \frac{160}{\sqrt{2}} = 113{\cdot}14$ V

ডিসি উৎসের ক্ষেত্রে কার্যকর ভোল্টেজ, $E'_{rms} = 120$ V

এসি উৎসের সাথে যুক্ত করলে হিটারের ক্ষমতা, $P = \frac{V^2}{R} = \frac{(113.14)^2}{100} = 128$ W

ডিসি উৎসের সাথে যুক্ত করলে হিটারের ক্ষমতা, $P = \frac{V^2}{R} = \frac{(120)^2}{100} = 144$ W

$\therefore$ 144 W > 128 W, তাই ডিসি সংযোগে হিটারটি বেশি কার্যকর।

৫। 5 টেসলা চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে লম্বভাবে প্রতিটি 500 পাকযুক্ত তিনটি তার কুণ্ডলী রাখা হলো। প্রথম কুণ্ডলীটি বৃত্তাকার যার ব্যাসার্ধ 5 cm, দ্বিতীয় কুণ্ডলীটি আয়তাকার এবং 10 cm^2 ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট, তৃতীয়টি বর্গাকার এবং 45 cm^2 ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট। দ্বিতীয় ও তৃতীয় কুণ্ডলীটিকে 0.5 সেকেন্ডে ক্ষেত্র থেকে বের করে নেওয়া হলো।

(ক) প্রথম কুণ্ডলীটিতে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্সের মান কত?

(খ) উপরোক্ত কুণ্ডলীটিতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মানের তুলনা কর।

সমাধান :

(ক) প্রথম কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল, $A_1 = \pi r_1^2 = 3.146 \times (0.05)^2 = 78.54 \times 10^{-4}$ m^2

প্রথম কুণ্ডলীতে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্স, $\phi_1 = NAB \cos 0°$
$= 500 \times 78.54 \times 10^{-4} \times 5 \times 1$
$= 19.635$ Wb

A = কুণ্ডলী তলের ক্ষেত্রফলের মান
$\vec{B}$ ≡ চৌম্বক ক্ষেত্রের মান
N = পাক সংখ্যা

(খ) প্রথম কুণ্ডলীতে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন হয় না। তাই কোনো তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় না। তাই $\phi_1 = 0$

দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে প্রতি পাকে প্রথমাবস্থায় জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্স, $\phi_2 = AB \cos 0°$
$= \frac{10}{100 \times 100} \times 5 \times 1 = 50 \times 10^{-4}$ Wb

দ্বিতীয় কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল, $E_2 = \frac{Nd\phi}{dt} = \frac{500\ (50 \times 10^{-4})}{0.5} = 5$ volt

তৃতীয় কুল্ডলীতে প্রথমাবস্থায় প্রতি পাকে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্স, $\phi_3 = AB \cos 0°$
$= 45 \times 10^{-4} \times 5 = 225 \times 10^{-4}$ Wb

তৃতীয় কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল, $E_3 = 500 \frac{(0.225 \times 10^{-4})}{0.5} = 22.5$ watt.

সুতরাং ২য় কুণ্ডলী অপেক্ষা তৃতীয় কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান বেশি হবে।

৬। দুটি কুণ্ডলী A ও B এর মধ্যকার পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক 3 হেনরি। A কুণ্ডলীতে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা 0.05 s-এ 1 Amp থেকে বৃদ্ধি পেয়ে 8 Amp হলো। কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 400।

(ক) B-তে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি নির্ণয় কর।

(খ) B-তে পাকসংখ্যা দ্বিগুণ করা হলে চৌম্বক ফ্লাক্সের গড় পরিবর্তন গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর।

সমাধান :

(ক) এখানে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক, $\mu = 3H$

তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন $\Delta I = I_2 - I_1 = (8 - 1)$ Amp = 7 Amp

ক্ষুদ্র সময়কাল $\Delta t = 0.05$ sec, E = ?

$E = \frac{M\Delta I}{\Delta t} = 3H \times \frac{7\,Amp}{0.05} = 300$ volt

(খ) B-তে পাকসংখ্যা দ্বিগুণ করা হলে, $N = 2 \times 400 = 800$

Q-তে পাকসংখ্যা দ্বিগুণ করা হলে Q-তে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মানও দ্বিগুণ হবে, যার মানে E = 2 × 300 = 600 volt

চৌম্বক ফ্লাক্সের গড় পরিবর্তন $\frac{d\phi}{dt}$ হলে

$$E = -N\frac{d\phi}{dt}$$

$$\frac{d\phi}{dt} = -\frac{E}{N} = -\frac{600}{800} = -0.75 \text{ Wb/sec.}$$

সার-সংক্ষেপ

তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ	: একটি গতিশীল চুম্বক কিংবা একটি তড়িৎবাহী কুণ্ডলীর প্রভাবে একটি বন্ধ তার কুণ্ডলীতে ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক বল এবং তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয়। এ পদ্ধতিকে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ বলে।
আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি	: কোনো বন্ধ বর্তনীতে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িচ্চালক শক্তিকে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বলে।
আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ	: কোনো বন্ধ বর্তনীতে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশে সৃষ্ট ক্ষণস্থায়ী তড়িৎ প্রবাহকে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ বলে।
মুখ্য ও গৌণ কুণ্ডলী	: তড়িৎবাহী কুণ্ডলীকে মুখ্য কুণ্ডলী এবং যে তারের কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয় তাকে গৌণ কুণ্ডলী বলে।
তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের সূত্রাবলি	: তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের দুটি সূত্র আবিষ্কার করেন বিজ্ঞানী মাইকেল ফ্যারাডে। তাঁর নামানুসারে সূত্রগুলোকে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রে ফ্যারাডের সূত্র বলা হয়। সূত্রগুলো নিম্নে বিবৃত হলো :
১ম সূত্র	: যখনই কোনো বন্ধ তার কুণ্ডলীতে চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটে তখনই উক্ত কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়।
২য় সূত্র	: তার কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান সময়ের সাথে কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের হারের সমানুপাতিক।
লেনজ-এর সূত্র	: তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের ক্ষেত্রে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের দিক এমন হয় যে তা তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হবার মূল কারণের বিরুদ্ধে ক্রিয়া করে।
স্বকীয় আবেশ	: একটিমাত্র তার কুণ্ডলীতে অসম তড়িৎ প্রবাহের দরুন চৌম্বক বলরেখার পরিবর্তনের ফলে যে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ ঘটে তাকে স্বকীয় আবেশ বলে।
পারস্পরিক আবেশ	: মুখ্য বর্তনীতে অসম তড়িৎ প্রবাহের দরুন গৌণ কুণ্ডলীতে যে তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ ঘটে, তাকে পারস্পরিক আবেশ বলে।
স্বকীয় আবেশ বা স্বাবেশ গুণাঙ্ক	: কোনো কুণ্ডলীর মধ্যে একক তড়িৎ প্রবাহমাত্রা চললে তার সাথে যত সংখ্যক চৌম্বক ফ্লাক্স যুক্ত থাকে তাকে ঐ কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ বা স্বাবেশ গুণাঙ্ক বলে। একে L দ্বারা যুক্ত করা হয়।
পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক	: কোনো মুখ্য কুণ্ডলীতে একক তড়িৎ প্রবাহমাত্রা চললে গৌণ কুণ্ডলীতে যত সংখ্যক চৌম্বক ফ্লাক্স যুক্ত হয় তাকে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক বলে। একে M দ্বারা সূচিত করা হয়।
স্বকীয় ও পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের একক	: স্বকীয় ও পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের এস. আই. একক হলো হেন্‌রি। এছাড়াও মিলি হেন্‌রি ও মাইক্রোহেন্‌রি একক হিসেবে ব্যবহার করা হয়।
একমুখী প্রবাহ	: যে তড়িৎ প্রবাহের দিক বা অভিমুখ সর্বদা একই থাকে তাকে একমুখী প্রবাহ বলে।
পরিবর্তী প্রবাহ	: যে তড়িৎ প্রবাহের দিক বা অভিমুখ একটি নির্দিষ্ট সময় অন্তর অন্তর স্বতঃস্ফূর্তভাবে পরিবর্তিত হতে থাকে, তাকে পরিবর্তী বা প্রত্যাবর্তী প্রবাহ বলে।
বিস্তার	: যে কোনো অভিমুখে তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের সর্বোচ্চ মানকে বিস্তার বা শীর্ষ মান বলে।
পরিবর্তন চক্র	: পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের মান শূন্য মান হতে বৃদ্ধি পেয়ে শীর্ষ মান, তৎপর হ্রাস পেয়ে শূন্য মানে এসে বিপরীত অভিমুখে পুনরায় বৃদ্ধি পেয়ে ঐ শীর্ষ মানে পৌঁছে আবার হ্রাস পেয়ে শূন্য মানে উপনীত হওয়াকে তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহের পরিবর্তন চক্র বলে।
পর্যায়কাল	: যে সময়ে পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল বা প্রবাহের একটি পরিবর্তন চক্র সম্পন্ন হয়, তাকে পর্যায়কাল বলে। একে T দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

কম্পাঙ্ক : পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি বা প্রবাহ প্রতি সেকেন্ডে যতসংখ্যক পরিবর্তন চক্র সম্পন্ন করে, তাকে উক্ত তড়িচ্চালক বল বা প্রবাহের কম্পাঙ্ক বলে। একে f বা n দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

শক্তির গড় বর্গের বর্গমূল মান (R. M. S. Value) : কোনো পূর্ণ চক্রের বিভিন্ন সময়কার তড়িচ্চালক শক্তির বর্গের গড়ের বর্গমূলকে তড়িচ্চালক শক্তির গড় বর্গের বর্গমূল মান বলে।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। ট্রান্সফরমার এর কার্যনীতি পারস্পরিক আবেশ ক্রিয়ার ওপর প্রতিষ্ঠিত।

২। দিক পরিবর্তী প্রবাহের কার্যকর মান মূল গড় বর্গ মানের সমান।

৩। $i = i_1 \sin \omega t + i_2 \cos \omega t$ দিক পরিবর্তী প্রবাহের মূল গড় বর্গমান হলো $\sqrt{\frac{i_1^2 + i_2^2}{2}}$।

৪। কোনো কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ক্ষেত্র রেখার সংখ্যাকে বলা হয় ঐ কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স।

৫। একটি বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে তখনই যখন— (ক) কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ বৃদ্ধি পায়, (খ) কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ হ্রাস পায়।

৬। টেসলা-মি^{2} কে সংক্ষেপে ওয়েবার বলে। ইহা চৌম্বক ফ্লাক্সের SI একক।

৭। কুণ্ডলী তল ক্ষেত্রের সমান্তরাল বলে চৌম্বক ফ্লাক্স সর্বনিম্ন হবে। লম্ব হলে চৌম্বক ফ্লাক্স সর্বোচ্চ হবে।

৮। চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের হার একই রেখে কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা দ্বিগুণ করলে মোট তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয় দ্বিগুণ।

৯। আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তনের হারের সমান।

১০। চৌম্বক ক্ষেত্রে সম-দ্রুতিতে ঘূর্ণায়মান কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল দিক পরিবর্তী।

১১। গৌণ কুণ্ডলীর আবেশ রেখার পরিবর্তনের ওপর পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক নির্ভর করে না।

১২। একটি বর্তনীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির দিক লেনজের সূত্রের দ্বারা নির্ণয় করা হয়।

১৩। ট্রান্সফরমারের গৌণ কুণ্ডলীতে সৃষ্ট ফ্লাক্স মুখ্য কুণ্ডলীর তড়িৎপ্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক।

১৪। তড়িচ্চুম্বক আবেশের বেলায় চুম্বক শক্তি তড়িচ্চালক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

১৫। কোনো কুণ্ডলীর নিকট একটি দণ্ড চুম্বককে গতিশীল করলে এতে তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয়। এই প্রক্রিয়ায় কোনো যান্ত্রিক শক্তি রূপান্তরিত হয় না, তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

১৬। এক পাকের একটি কুণ্ডলীর সাথে সংশ্লিষ্ট যে পরিমাণ চৌম্বক ফ্লাক্স 1 সেকেন্ডে সুষমভাবে হ্রাস পেয়ে শূন্যে নেমে আসলে ঐ কুণ্ডলীতে 1 volt তড়িচ্চালক শক্তি আবিষ্ট হয় সেই পরিমাণ চৌম্বক ফ্লাক্সকে 1 ওয়েবার বলে।

১৭। ধারকে যেমন স্থির তড়িৎ শক্তি সঞ্চিত হয় কুণ্ডলীতে তেমনি সঞ্চিত হয় চৌম্বক শক্তি।

১৮। I_0 স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কবিশিষ্ট একটি সলিনয়েডকে টেনে এর দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করা হলো। এতে এর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক হলো $\frac{I_0}{2}$।

১৯। পর্যায়বৃত্ত তড়িচ্চালক বলের একটি পূর্ণ চক্রের গড়মান শূন্য।

২০। চৌম্বক ফ্লাক্স সর্বাধিক হবে যদি কুণ্ডলীর চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে লম্ব হয়।

২১। তড়িৎ বর্তনীর যে ধর্মের ফলে ঐ বর্তনী প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের বিরুদ্ধে বাধা সৃষ্টি করে তাকে তড়িৎ আবেশ বলে।

২২। সমপ্রবাহের ক্ষেত্রে আকৃতি গুণাঙ্কের মান 1। ট্রান্সফরমারের ক্ষেত্রে $\frac{E_p}{E_s} = \sqrt{\frac{R_p}{R_s}}$।

২৩। একটি ট্রান্সফরমার আরোহী হবে যদি $n_s > n_p$ হয় এবং $I_p > I_s$ হয় এবং $E_s > E_p$ হয়।

২৪। আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল সৃষ্টি করা যায়— (i) চৌম্বক ক্ষেত্র পরিবর্তন করে (ii) বন্ধ কুণ্ডলীর ক্ষেত্রফল পরিবর্তন করে (iii) চৌম্বক ক্ষেত্র ও বন্ধ কুণ্ডলীর তলের মধ্যবর্তী কোণ পরিবর্তন করে।

২৫। $E = -L\frac{dI}{dt}$ সমীকরণ দ্বারা বুঝায়—

(i) আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল সর্বদা প্রবাহমাত্রার পরিবর্তনের বিরোধিতা করবে।

(ii) প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পেলে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল বৃদ্ধির বিরোধিতা করবে।

(iii) প্রবাহমাত্রা হ্রাস পেতে থাকলে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল ঐ হ্রাসের বিরুদ্ধে কাজ করে।

২৬। চৌম্বক আবেশ হলো চৌম্বক ফ্লাক্স ঘনত্ব।
২৭। দিক পরিবর্তী প্রবাহের অর্ধচক্রের গড়মান উহার শীর্ষমানের শতকরা 63.7 ভাগ।
২৮। বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের দিক নির্ভরশীল—আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির উপর এবং চৌম্বক ফ্লাক্সের ওপর।
২৯। মুখ্য কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ চললে গৌণ কুণ্ডলীর সাথে জড়িত মোট ফ্লাক্স প্রবাহমাত্রার সমানুপাতিক।
৩০। ট্রান্সফর্মারের যে কুণ্ডলীতে পরিবর্তী বিভব আবিষ্ট হয় তাকে গৌণ কুণ্ডলী বলে। আর যে কুণ্ডলীতে পরিবর্তী প্রবাহ প্রয়োগ করা হয় তাকে মুখ্য কুণ্ডলী বলে।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

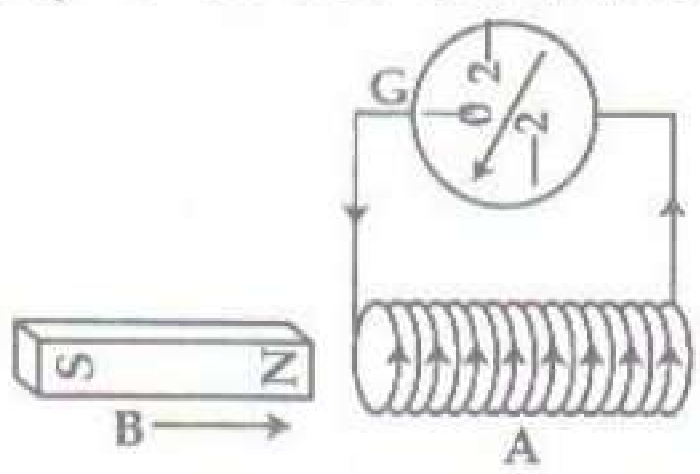
১। মুখ্য বর্তনীতে অসম তড়িৎ প্রবাহের ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে যে তড়িৎ চৌম্বক আবেশ ঘটে, তাকে কী বলে ?
- ক পারস্পরিক আবেশ
- খ পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক
- গ স্বকীয় আবেশ
- ঘ স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক

২। একটি ঋজু পরিবাহী যদি সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রে নিজ দৈর্ঘ্যের অভিলম্বে গতিশীল থাকে, তবে পরিবাহীর দুই প্রান্তে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল—
(i) চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রাবল্যের সমানুপাতিক
(ii) পরিবাহীর গতিবেগের ব্যস্তানুপাতিক
(iii) পরিবাহীর দৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক
নিচের কোনটি সঠিক ?
- ক i ও ii
- খ i ও iii
- গ ii ও iii
- ঘ i, ii ও iii

৩। বন্ধ কুণ্ডলীতে কোষ যুক্ত করে সুইচ দ্বারা বার বার অফ-অন করা অবস্থায় অন্য একটি বন্ধ কুণ্ডলীর নিকট স্থাপন করলে কুণ্ডলীতে—
- ক চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন ঘটবে না
- খ তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে
- গ তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে না
- ঘ চৌম্বক ফ্লাক্সের পরিবর্তন কোনো ভূমিকা রাখে না

৪। এক বন্ধ কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয় তখনই যখন—
(i) কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ হ্রাস পায়
(ii) কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ স্থির থাকে
(iii) কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহ বৃদ্ধি পায়
নিচের কোনটি সঠিক ?
- ক i ও ii
- খ i ও iii
- গ ii ও iii
- ঘ i, ii ও iii

৫। নিচের চিত্রে NS একটি দণ্ড চুম্বক, A একটি বন্ধ কুণ্ডলী যার সাথে গ্যালভানোমিটার G যুক্ত।



(i) চুম্বকের উত্তর মেরুকে ধীরে ধীরে কুণ্ডলীর মধ্যে প্রবেশ করালে গ্যালভানোমিটারের কাঁটা বিক্ষেপ দেখাবে
(ii) চুম্বককে থামালে গ্যালভানোমিটারের কাঁটা বিক্ষিপ্ত অবস্থানে থাকবে
(iii) চুম্বককে ধীরে ধীরে কুণ্ডলীর মধ্য হতে বাইরে আনলে গ্যালভানোমিটারের কাঁটা বিপরীত দিকে বিক্ষেপ দেখাবে
নিচের কোনটি সঠিক?
- ক i ও ii
- খ ii ও iii
- গ i ও iii
- ঘ i, ii ও iii

৬। একটি তড়িৎ বর্তনীতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের দিক নির্ণয় করা যায় কোন সূত্র দ্বারা ?
- ক ফ্যারাডের সূত্র
- খ নিউটনের সূত্র
- গ ম্যাক্সওয়েলের সূত্র
- ঘ লেনজের সূত্র

৭। আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল E-এর রাশিমালায় ঋণাত্মক চিহ্নটির উৎস হলো—
- ক ফ্যারাডের ১ম সূত্র
- খ ফ্যারাডের ২য় সূত্র
- গ শক্তির সংরক্ষণ সূত্র
- ঘ তড়িৎ আধানের সংরক্ষণ সূত্র

৮। কোনো কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ $1\ mAs^{-1}$ হারে পরিবর্তনের দরুন আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল $50\ \mu V$ হলে, কুণ্ডলীটির স্বাবেশ গুণাঙ্ক—
- ⓚ 50
- ⓚ 5
- ⓖ 0·5
- ⓖ 0·05

(ক) 50
(খ) 5
(গ) 0·5
(ঘ) 0·05

৯। স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্কের একক— [দি. বো. ২০১৫]
(i) H
(ii) $Wb\ A^{-1}$
(iii) VA^{-1}
নিচের কোনটি সঠিক ?
(ক) i ও ii
(খ) i ও iii
(গ) ii ও iii
(ঘ) i, ii ও iii

১০। লেনজের সূত্র—
(i) চার্জ সংরক্ষণের সূত্র প্রকাশ করে
(ii) শক্তির সংরক্ষণ সূত্র মেনে চলে
(iii) আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের দিক নির্ধারণ করে
নিচের কোনটি সঠিক ?
(ক) i ও ii
(খ) i ও iii
(গ) ii ও iii
(ঘ) i, ii ও iii

১১। কোনটির কার্যনীতি আবেশ ক্রিয়ার ওপর প্রতিষ্ঠিত ?
(ক) মোটর
(খ) ট্রান্সফরমার
(গ) জেনারেটর
(ঘ) ট্রানজিস্টর

১২। n পাকের একটি সলিনয়েডের দৈর্ঘ্য l এবং ব্যাসার্ধ r। সলিনয়েডটির আবেশ গুণাঙ্ক—
(i) n এর সমানুপাতিক
(ii) l এর ব্যস্তানুপাতিক
(iii) n^2 এর সমানুপাতিক
নিচের কোনটি সঠিক ?
(ক) i ও ii
(খ) i ও iii
(গ) ii ও iii
(ঘ) i, ii ও iii

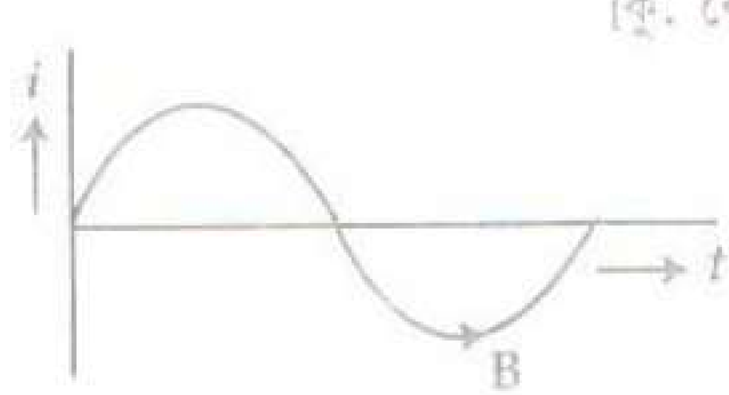
১৩। 5 H স্বাবেশ গুণাঙ্কের কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে 1 A/s হারে বিদ্যুৎ প্রবাহ চলতে থাকলে কুণ্ডলীতে কত তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে ?
(ক) 5 V
(খ) 10 V
(গ) 15 V
(ঘ) 20 V

১৪। 16 Ω রোধের মধ্য দিয়ে একটি পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ পাঠানো হলে এর *rms* মান পাওয়া যায় 10 A। রোধের দুই প্রান্তের সর্বোচ্চ বিভব পার্থক্য কত হবে ?
(ক) 226·3 V
(খ) 160 V
(গ) 260·6 V
(ঘ) 220 V

১৫। একটি দিক পরিবর্তী প্রবাহমাত্রার কম্পাঙ্ক 50 Hz শীর্ষমানে পৌঁছানোর সময় হলো—
(ক) $\frac{1}{50}$ s
(খ) $\frac{1}{100}$ s
(গ) $\frac{1}{200}$ s
(ঘ) $\frac{1}{75}$ s

১৬। একমুখী প্রবাহের ক্ষেত্রে—
(i) প্রবাহের অভিমুখ অপরিবর্তিত থাকে
(ii) প্রবাহের মান অপরিবর্তিত থাকে
(iii) প্রবাহের মানের সাথে সাথে দিকের পরিবর্তন ঘটে
নিচের কোনটি সঠিক ?
(ক) i ও ii
(খ) i ও iii
(গ) ii ও iii
(ঘ) i, ii ও iii

১৭। [কু. বো. ২০১৫]



উপরের চিত্রে B বিন্দুতে দিক পরিবর্তী প্রবাহের পর্যায়কাল কত ?
(ক) $\frac{T}{4}$
(খ) $\frac{T}{2}$
(গ) $\frac{3T}{4}$
(ঘ) $\frac{3T}{2}$

নিচের তথ্যের আলোকে ১৮ এবং ১৯নং প্রশ্নের উত্তর দাও :
যে কোনো ts সময়ে কোনো দিক পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহের সমীকরণ, $I = 10 \sin (400\ \pi t)$ A।

১৮। প্রবাহের গড় বর্গের বর্গমূল মান কত ?
(ক) 6·37 A
(খ) 7·07 A
(গ) 63·7 A
(ঘ) 70·7 A

১৯। কম্পাঙ্কের মান কত ?

ⓚ 31.4 Hz
ⓛ 250 Hz
ⓜ 200 Hz
ⓝ 225 Hz

২০। দিক পরিবর্তী প্রবাহের বর্গমূলীয় গড়মান শীর্ষ মানের—

ⓚ 70.7%
ⓛ 63.7%
ⓜ 77.7%
ⓝ 66.7%

২১। একটি দিক পরিবর্তী প্রবাহকে $I = 50 \sin 400\,\pi t$ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করলে ঐ প্রবাহের কম্পাঙ্ক কত ?

ⓚ 100 Hz
ⓛ 200 Hz
ⓜ 50 Hz
ⓝ 400 Hz

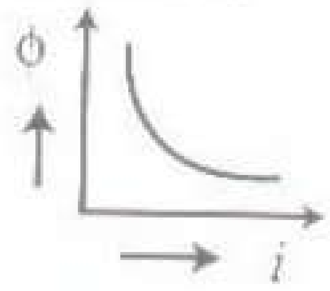
২২। 220V উৎসের শীর্ষ মান— [ঢা. বো. ২০১৫]

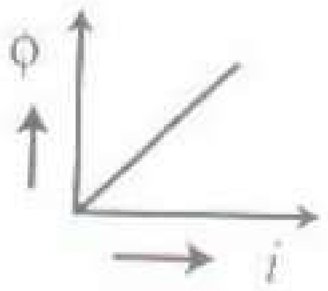
ⓚ 100V
ⓛ 220V
ⓜ 311V
ⓝ 440V

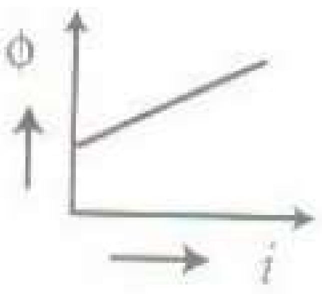
২৩। পরিবর্তী প্রবাহ, $i = 200 \sin 100\,\pi t$ দ্বারা প্রকাশ করা হলে পর্যায়কাল কত ?

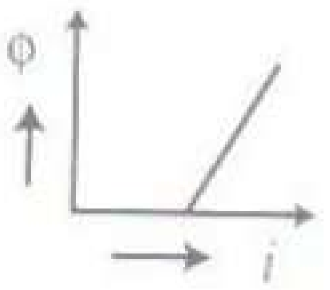
ⓚ 0.05 s
ⓛ 0.02 s
ⓜ 0.01 s
ⓝ 0.1 s

২৪। একটি কুণ্ডলীতে তড়িৎ প্রবাহের ফলে সৃষ্ট চৌম্বক ফ্লাক্স ও তড়িৎ প্রবাহের সম্পর্ক নির্দেশক সঠিক লেখচিত্র কোনটি? [য. বো. ২০১৫]

ⓚ 

ⓛ 

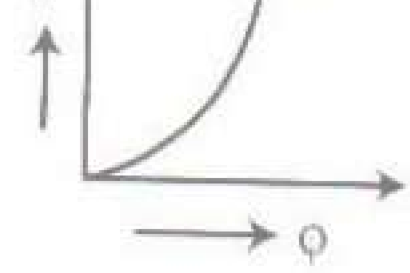
ⓜ 

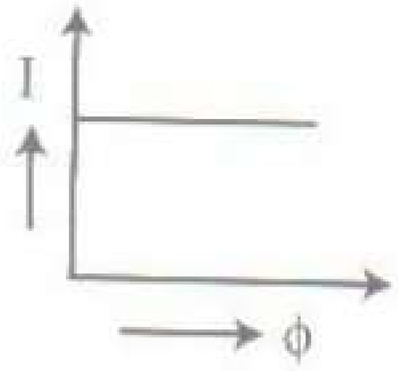
ⓝ 

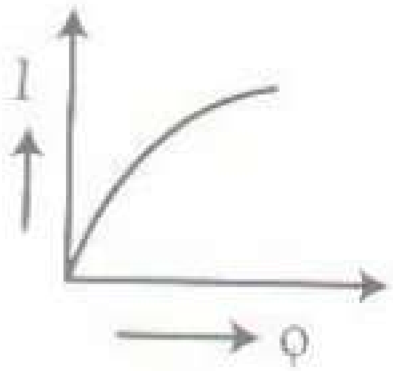
২৫। কোনো বৃত্তাকার কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ 6.28×10 এবং পাকসংখ্যা 240, কুণ্ডলীর মধ্যে দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চলছে। কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌ ক্ষেত্রের মান কত হবে? [কু. বো. ২০

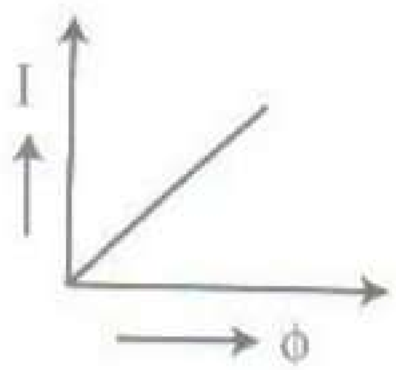
ⓚ 0.005 T
ⓛ 0.382 T
ⓜ 1.2 T
ⓝ 2.4 T

২৬। নিচের কোন লেখচিত্রটি স্বকীয় আবেশ গু নির্দেশ করে? [কু. বো. ২০

ⓚ 

ⓛ 

ⓜ 

ⓝ 

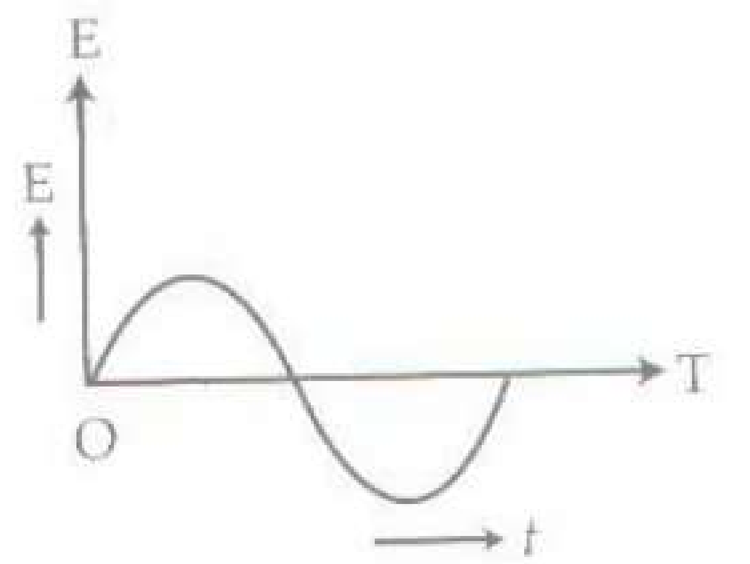
২৭। দিক পরিবর্তী প্রবাহের মান সর্বোচ্চ হতে সর্বনি পৌছাতে সময় লাগে—

ⓚ $\frac{T}{4}$
ⓛ $\frac{T}{2}$
ⓜ T
ⓝ 2T

২৮। কোনো দিক পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তির সমীকর $E = 220 \sin 314\, t$। তড়িচ্চালক শক্তির গড় বর্গের বর্গমূল মান কত? [কু. বো. ২০১৫]

ⓚ 140.14 V
ⓛ 135.54 V
ⓜ 311.17 V
ⓝ 345.36 V

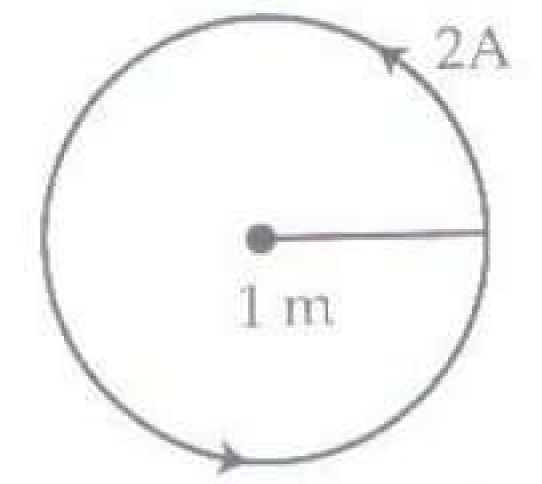
২৯।



উদ্দীপকে কোন কোন সময়ে E এর মান সর্বোচ্চ হবে?

ক) 0·3 T
খ) $\frac{T}{4}$ ও $\frac{3T}{4}$
গ) $\frac{T}{2}$ ও T
ঘ) $\frac{T}{2}$ ও $\frac{T}{4}$

৩০।



উদ্দীপকের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত?

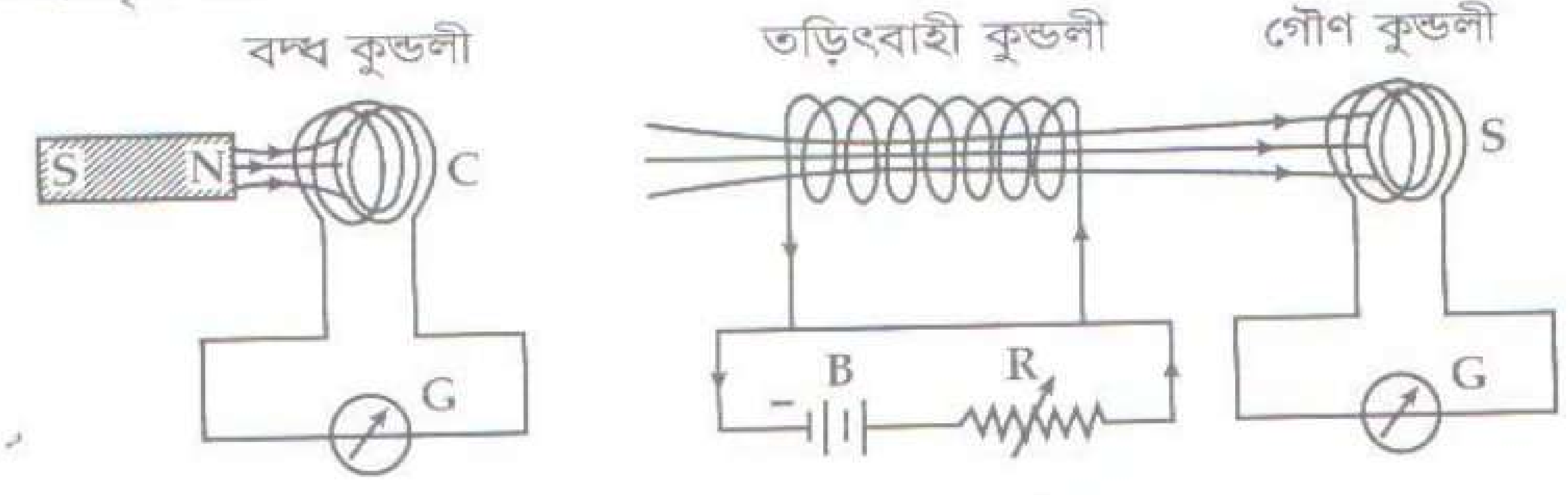
ক) $\frac{\mu_0}{2}$
খ) μ_0
গ) $2\mu_0$
ঘ) $4\mu_0$

উত্তর :

১। ক	২। গ	৩। খ	৪। খ	৫। গ	৬। ঘ	৭। খ	৮। ঘ	৯। ক	১০। গ
১১। খ	১২। গ	১৩। ক	১৪। ক	১৫। গ	১৬। ক	১৭। গ	১৮। খ	১৯। গ	২০। ক
২১। খ	২২। গ	২৩। খ	২৪। খ	২৫। গ	২৬। ঘ	২৭। ক	২৮। খ	২৯। খ	৩০। খ

(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১। নিচের চিত্রে 'ক'-এ একটি দণ্ড চুম্বক অথবা 'খ'-এ একটি তড়িৎবাহী তার কুণ্ডলী এবং একটি বন্ধ গৌণ তার কুণ্ডলীর মধ্যে আপেক্ষিক গতি দেখানো হয়েছে। এই আপেক্ষিক গতির ফলে গৌণ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি বা তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়।



(ক) (খ)

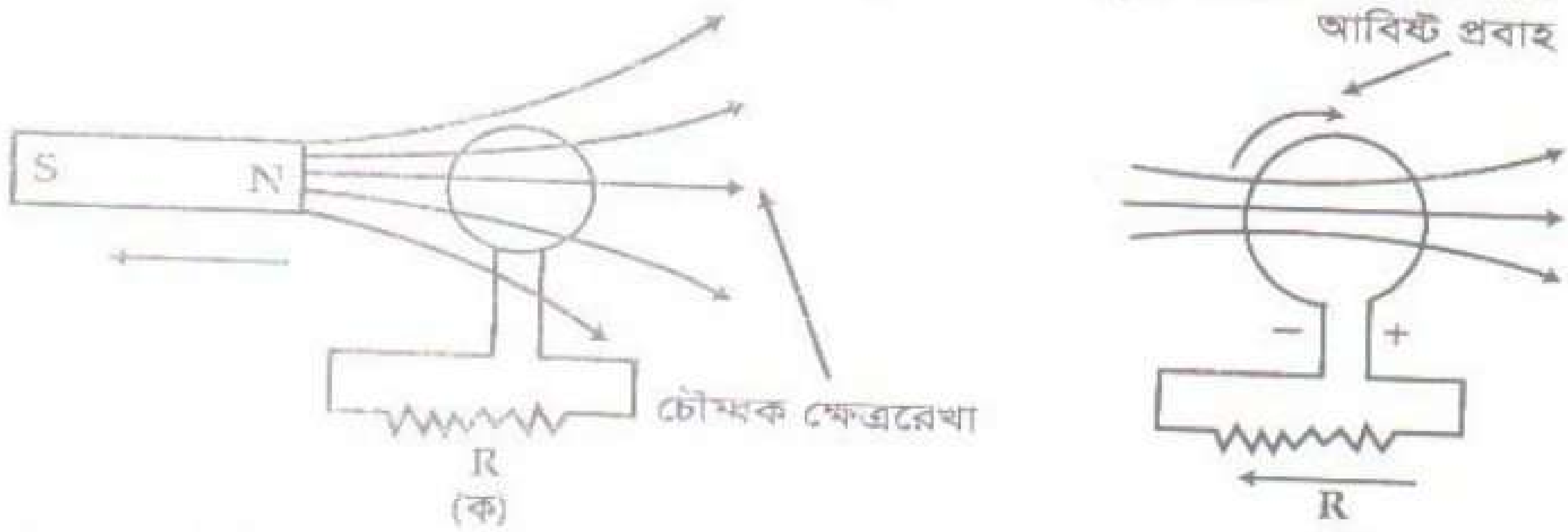
ক. তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ কী?

খ. আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি ও আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ ব্যাখ্যা কর।

গ. উদ্দীপকের চিত্রের কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 100। একে চুম্বকের নিকট হতে 0·04s-এ সরিয়ে প্রতিটি পাকের চৌম্বক ফ্লাক্স 30×10^{-5} Wb হতে 2×10^{-5} Wb-এ পরিণত করা হলো। কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি নির্ণয় কর।

ঘ. 'খ' চিত্রে গৌণ ও মুখ্য কুণ্ডলীতে ভোল্টেজের অনুপাত x এবং গৌণ ও মুখ্য কুণ্ডলীর পাক সংখ্যার অনুপাত y হলে গৌণ ও মুখ্য কুণ্ডলীর ভোল্টেজের অনুপাত নির্ণয় কর। গৌণ কুণ্ডলীতে ভোল্টেজ কী কী বিষয়ের উপর নির্ভরশীল ?

২। নিচের চিত্রে একটি দণ্ড চুম্বক NS-এর উত্তর মেরু N-কে একটি তার কুণ্ডলীর দিকে আনা হচ্ছে। কুণ্ডলীর স… বহিঃস্থ বর্তনীতে একটি রোধ R সংযোগ দেয়া হয়েছে। দণ্ড চুম্বকটি কুণ্ডলীর যত কাছে আসবে কুণ্ডলীর ভেতর দি… অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স তত বৃদ্ধি পাবে। আবার চুম্বক দণ্ডটি কুণ্ডলী থেকে দূরে সরিয়ে নিলে বিপরীত ঘটনা ঘটবে।



(ক) (খ)

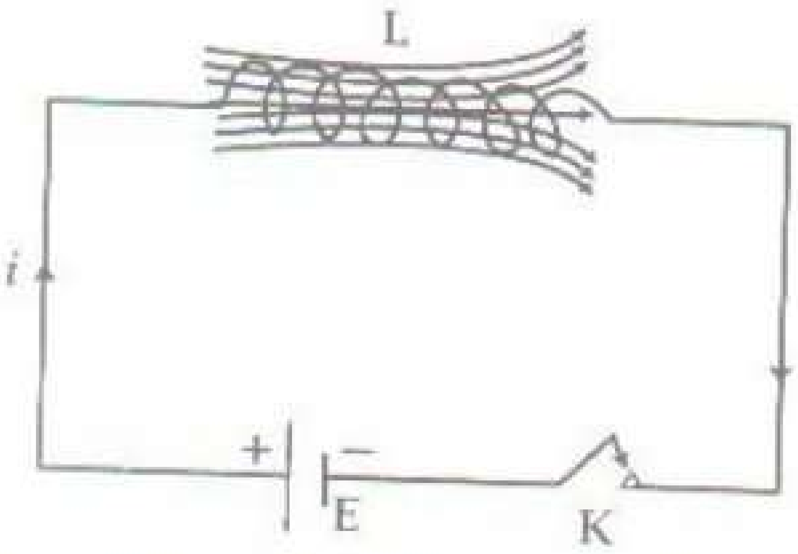
(ক) লেনজের সূত্র বিবৃত কর।

(খ) কী কী বিষয়ের পরিবর্তনে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায় ?

(গ) উদ্দীপকের কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 500। এর মধ্য দিয়ে 8×10^{-3} Wb চৌম্বক ফ্লাক্স অতিক্রান্ত হয়। 0.015s-এ ফ্লাক্স হ্রাস পেয়ে 3×10^{-3} Wb এ পরিণত হয়। আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি কত?

(ঘ) উদ্দীপকে উল্লেখিত বর্তনীতে শক্তির নিত্যতার সূত্র কার্যকর হয় কিনা বিশ্লেষণ কর।

৩। নিচের চিত্রে একটি কুণ্ডলী L, তড়িৎ কোষ E ও টেপাচাবি K দ্বারা একটি তড়িৎ বর্তনী দেখানো হয়েছে।



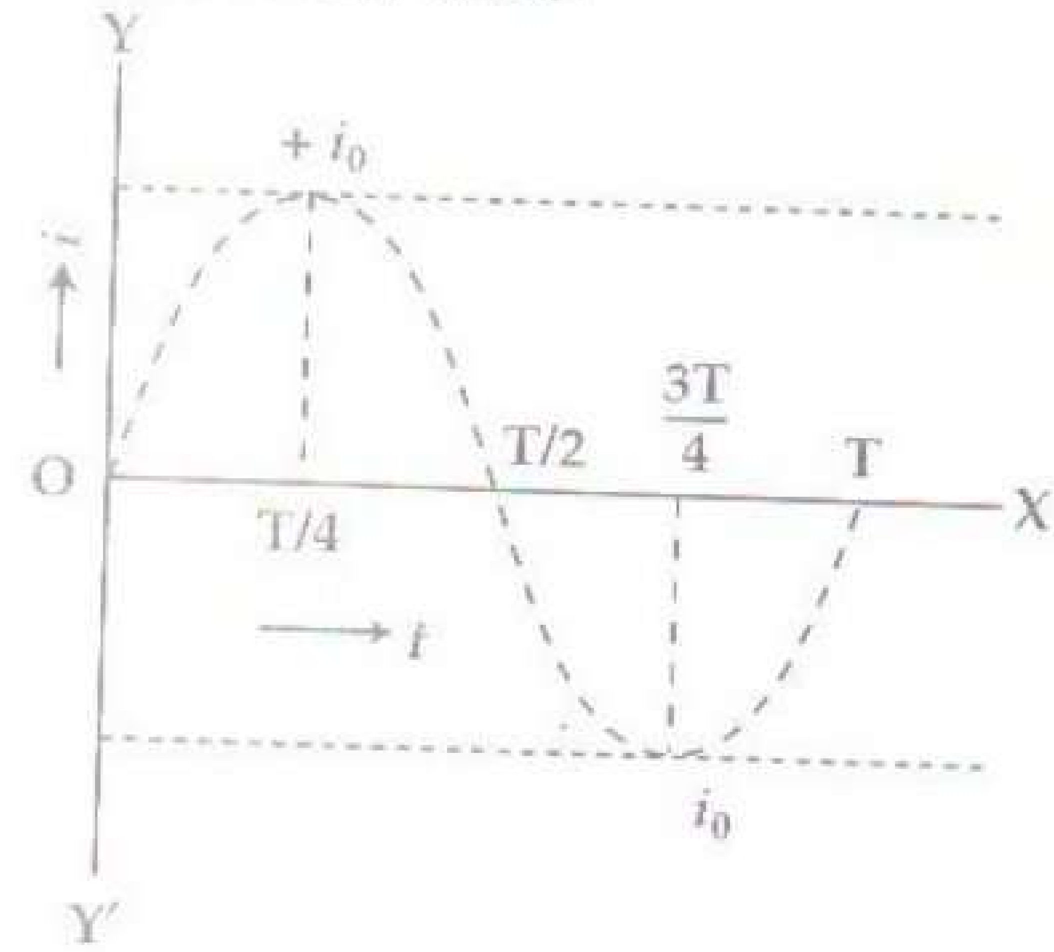
(ক) স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলতে কী বোঝ ?

(খ) দুটি কুণ্ডলীর পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক কী কী বিষয়ের উপর নির্ভর করে ?

(গ) উদ্দীপকের কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক 10 হেনরি। এর ভেতর দিয়ে 2A তড়িৎ প্রবাহ চালু আছে। আবেশকের ভেতর 100V আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি কীভাবে উৎপন্ন করা যায়?

(ঘ) গাণিতিক ব্যাখ্যাসহ স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক ব্যাখ্যা কর এবং আবেশকের ভিতর 200 V আবিষ্ট হলে তড়িচ্চালক শক্তির কী পরিবর্তন হবে ?

৪। নিচের চিত্রে একটি দিক পরিবর্তী প্রবাহ দেখানো হয়েছে।



(ক) দিক পরিবর্তী প্রবাহ বা এ. সি. প্রবাহ কী ?

(খ) ডিসি অপেক্ষা এসি বেশি বিপজ্জনক—ব্যাখ্যা কর।

(গ) উদ্দীপকের পরিবর্তী প্রবাহের সমীকরণ $i = 50 \sin 628\, t$ হলে তড়িৎ প্রবাহের (i) শীর্ষ মান (ii) কম্পাঙ্ক এবং (iii) মূল গড় বর্গের মান নির্ণয় কর।

(ঘ) T এর মান দ্বিগুণ হলে গড় বিদ্যুৎ প্রবাহের শতকরা কত পরিবর্তন হবে ?

৫। $0.5\ m^2$ ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীতল 4×10^{-5} T সুষম চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে 0.05 s ও 30° কোণ উৎপন্ন করে।

(ক) পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক কী?

(খ) লেঞ্জের সূত্রের শক্তির নিত্যতা বিধি কার্যকর হয় কীভাবে?

(গ) কুণ্ডলীতলের মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক ফ্লাক্স বের কর।

(ঘ) উদ্দীপকে উল্লেখিত কুণ্ডলীতে তড়িচ্চালক শক্তি শূন্য হতে শীর্ষ মানে পৌঁছাতে কত সময় লাগবে তা চিত্রসহ বিশ্লেষণ কর।

(গ) সাধারণ প্রশ্ন

১। তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশ বলতে কী বোঝ ? তড়িৎ চুম্বকীয় আবেশের একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

২। চুম্বক দ্বারা কীভাবে তড়িৎ শক্তি উৎপাদন করা যায় ?

৩। আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল বলতে কী বোঝ ?

৪। তড়িৎ চুম্বক আবেশ সংক্রান্ত ফ্যারাডের সূত্র বিবৃত কর ও ব্যাখ্যা কর।

৫। লেন্জ-এর সূত্র বিবৃত কর। "লেন্জ এর সূত্র শক্তির নিত্যতার সূত্র মেনে চলে"—উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।

৬। দেখাও যে, লেনজের সূত্রটি শক্তির সংরক্ষণ নীতি থেকে পাওয়া যেতে পারে।

৭। স্বকীয় আবেশ ও পারস্পরিক আবেশ বলতে কী বোঝ? চিত্রের সাহায্যে বর্ণনা কর।

৮। হেনরি কী ? স্বকীয় ও পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্কের সংজ্ঞা দাও।

৯। দিক পরিবর্তী প্রবাহ (AC) ও সরাসরি (DC) প্রবাহের সংজ্ঞা দাও।

১০। $V - t$ লেখচিত্রে উভয় প্রকার তরঙ্গ দেখাও। কীভাবে দিক পরবর্তী প্রবাহ উৎপাদন করা যায় বর্ণনা কর।

১১। গড় মান, আপাত মান ও শীর্ষ মানের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন কর।

১২। স্বকীয় আবেশ বলতে কী বোঝ ?

১৩। স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক বলেত কী বোঝ ?

১৪। 'স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক 1 H'—অর্থ কী ?

১৫। পারস্পরিক আবেশ বলতে কী বোঝ ?

১৬। 'পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক 1 H'—অর্থ কী ?

১৭। পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ কী ?

১৮। পরিবর্তী প্রবাহের শীর্ষমান ও কম্পাঙ্ক কাকে বলে ?

১৯। পরিবর্তী প্রবাহ একমুখী প্রবাহ অপেক্ষা বেশি বিপজ্জনক কেন ?

২০। সাইনধর্মী পরিবর্তী প্রবাহের গড়মান ও *rms* মান নির্ণয় কর। এদের মধ্যে সম্পর্ক কী ?

২১। আকৃতি গুণাঙ্ক বলতে কী বোঝ ?

২২। দিক পরিবর্তী প্রবাহের শীর্ষমান বলতে কী বোঝ ?

(ঘ) ক্রিয়াকর্ম

ফ্যারেড-এর এবং লেন্জ-এর সূত্র কীভাবে পরস্পর গতিশীল দুটি বন্ধ কুণ্ডলীর ক্ষেত্রে প্রয়োগ হয় তা চিত্রসহ ব্যাখ্যা করে একটি প্রতিবেদন রচনা কর এবং শ্রেণিকক্ষে তা উপস্থাপন কর।

(ঙ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। 500 পাকবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে 8×10^{-3} Wb চৌম্বক ফ্লাক্স অতিক্রম করে। 0.015 s-এ ফ্লাক্স হ্রাস পেয়ে 3×10^{-3} এ পরিণত হয়। আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি কত ? [উত্তর : 166.66 Volt]

২। 2A তড়িৎ প্রবাহমাত্রায় 400 পাকের একটি কুণ্ডলীতে 4×10^{-4} Wb চৌম্বক ফ্লাক্স উৎপন্ন হয়। কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [য. বো. ২০০৩] [উত্তর : 0.08 henry]

৩। 0.1 s-এ কোনো কুণ্ডলীর তড়িৎ প্রবাহ মাত্রা 6 A হতে হ্রাস পেয়ে শূন্য হওয়ায় আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির গড় মান 150 volt হয়। কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [উত্তর : 2.5 H]

৪। 400 পাকের একটি কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে চৌম্বক ফ্লাক্স 3×10^{-3} s এ 25×10^{-5} Wb থেকে 50×10^{-5} Wb-এ পরিবর্তিত হয়। কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তির মান নির্ণয় কর। [উত্তর : 33.33 V]

৫। একটি কুণ্ডলীতে 0.1 s-এ তড়িৎ প্রবাহ মাত্রা 10 A হতে হ্রাস পেয়ে 2A হবার ফলে গড় আবিষ্ট তড়িচ্চালক শক্তি 32 volt হলে কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [উত্তর : 0.4 H]

৬। 120V এর একটি ব্যাটারীর সাথে 5Ω রোধের একটি তার কুণ্ডলী যুক্ত আছে। বর্তনীর স্থির প্রবাহ মাত্রা 20A থেকে শূন্যে নামতে 0·04 s সময় লাগে। কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [উত্তর: 0·04H]

৭। 1000 পাকবিশিষ্ট একটি কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে 2·5A তড়িৎ প্রবাহকালে $0·5 \times 10^{-3}$ Wb চৌম্বক ফ্লাক্স উৎপন্ন হয়। কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [উত্তর : 0·2 H]

৮। একটি পরিবর্তী বর্তনীতে 110 Volt তড়িচ্চালক শক্তি ক্রিয়া করে। তড়িচ্চালক শক্তির শীর্ষমান নির্ণয় কর। [উত্তর : 172·7 Volt]

৯। একটি পরিবর্তী বর্তনীর অর্ধচক্রের জন্য গড় প্রবাহ মাত্রা 1·6 A। প্রবাহ মাত্রার শীর্ষমান কত? [উত্তর : 2·512 A]

১০। একটি পরিবর্তী তড়িচ্চালক শক্তি $E = 200 \sin 100 \pi t$-তে প্রকাশ করা হলো। এর বিস্তার, মূল গড় বর্গ মান ও কম্পাঙ্ক কত ? [উত্তর : (ক) 200 Volt ; (খ) 141·4 Volt ; (গ) 50 Hz]

১১। একটি পরিবর্তী প্রবাহকে $i = 10 \sin 100 \pi t$ দ্বারা প্রকাশ করা হলো। কম্পাঙ্ক, প্রবাহ মাত্রার শীর্ষমান এবং মূল গড় বর্গ মান নির্ণয় কর। [উত্তর : (ক) 50 Hz, (খ) 10 A ; (গ) 7·07 A]

১২। একটি পরিবর্তী বর্তনীর প্রবাহ মাত্রার শীর্ষ মান 5 A এবং কম্পাঙ্ক 50 Hz। এর গড় বর্গের বর্গমূল মান নির্ণয় কর। শূন্য থেকে শীর্ষ মানে পৌঁছাতে কত সময় লাগবে ? [উত্তর : 3·54 A; 5×10^{-3} s]

১৩। 8 MeV শক্তিসম্পন্ন একটি প্রোটন 5·0T সমচৌম্বক ক্ষেত্রে সমকোণে প্রয়োগ করা হলো। প্রোটনের উপর কার্যকর বল নির্ণয় কর। [$M_p = 1·6 \times 10^{-27}$ kg, charge = $1·6 \times 10^{-19}$ C]

[বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৬-০৭] [উত্তর : $3·2 \times 10^{-11}$ N]

১৪। হাইড্রোজেনের পরমাণুর ইলেকট্রন 5×10^{-11} m ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে প্রতি সেকেন্ডে $6·8 \times 10^{15}$ বার ঘুরছে। বৃত্তের কেন্দ্রে চৌম্বক ক্ষেত্রের মান কত হবে? [বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৯-১০] [উত্তর : 13·67 Wb]

১৫। যে কোনো সময় t-তে একটি কুণ্ডলীর সঙ্গে জড়িত চৌম্বক ফ্লাক্স $\phi = 5t^3 - 100t + 300$ হলে, $t = 2$s সময়ে কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল কত হবে ? [উত্তর : 40V]

১৬। একটি কুণ্ডলীর ভেতর দিয়ে চৌম্বকীয় ফ্লাক্স নিম্নোক্ত সম্পর্ক অনুযায়ী পরিবর্তিত হচ্ছে :

$\varphi = (4t^2 + 2t - 10)$ Wb, যেখানে ts-এ মাপা হয়। কুণ্ডলীটির রোধ যদি 5Ω হয়, তবে $t = 2$s সময়ে কুণ্ডলীটিতে আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের মান কত হবে নির্ণয় কর। [উত্তর : 3·6 A]

১৭। 0·05 s-এ একটি কুণ্ডলীতে প্রবাহ +2A থেকে পরিবর্তিত হয়ে −2A হলে কুণ্ডলীটিতে 8V তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীর স্বকীয় আবেশ গুণাঙ্ক কত ? [উত্তর : 0·1 H]

১৮। 5 H মানের আবেশ কুণ্ডলীর মধ্য দিয়ে প্রবাহ 2 A/s হারে কমতে থাকলে কুণ্ডলীটিতে কত তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হবে ? [উত্তর : 10 V]

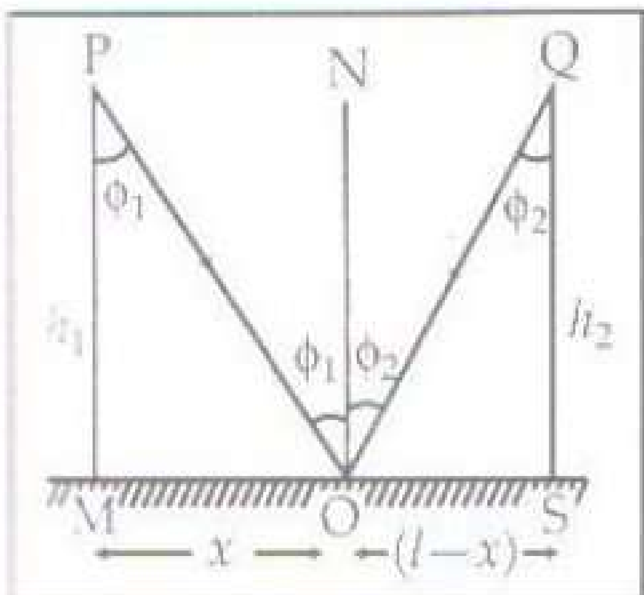
১৯। একটি কুণ্ডলীর প্রবাহ যদি 0·1 s সময়ে 10A থেকে শূন্যে নেমে আসে, তাহলে পাশের আর একটি কুণ্ডলীতে 100 mV তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। কুণ্ডলীদ্বয়ের পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক কত ? [উত্তর : 1 mH]

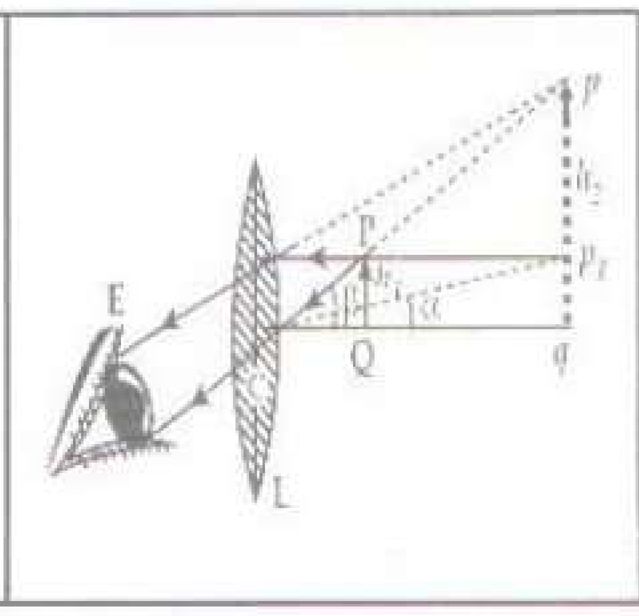
২০। একটি বর্তনীতে পারস্পরিক আবেশ গুণাঙ্ক 0·1 H। একটি বর্তনীতে 0·02 s-এ প্রবাহ শূন্য থেকে বৃদ্ধি পেয়ে 20A হলে, অন্য বর্তনীতে গড় আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের মান কত ? [উত্তর : 100 V]

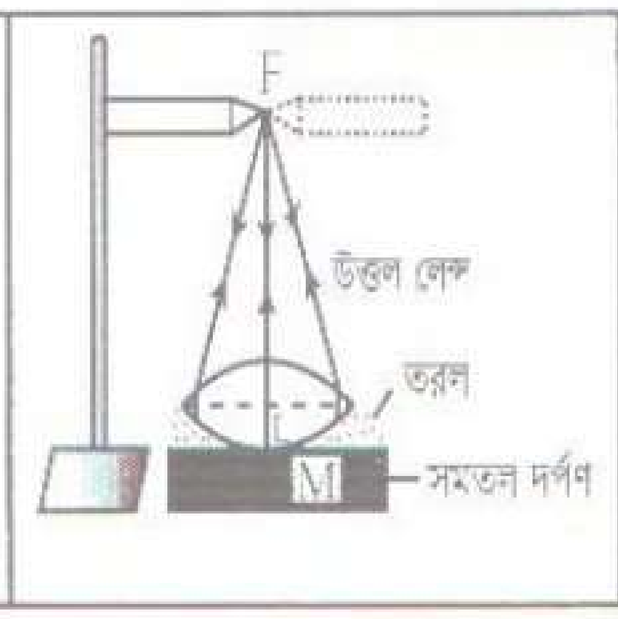
২১। একটি কুণ্ডলীর $L = 2m$H। এর মধ্য দিয়ে প্রবাহ হলো $I = t^2e^{-t}$। প্রারম্ভিক মুহূর্ত থেকে কত সময় পরে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল শূন্য হবে ? [উত্তর : 2 s পরে]

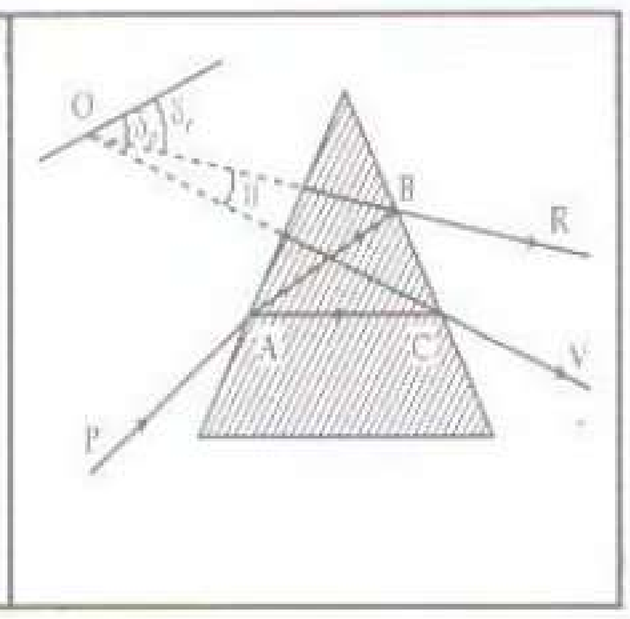
৬ জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান
GEOMETRICAL OPTICS

প্রধান শব্দ (Key Words) : ফার্মাট-এর নীতি, গোলকীয় দর্পণ, লেন্সের ক্ষমতা, লেন্সের ক্ষমতার একক, অণুবীক্ষণ যন্ত্র, দূরবীক্ষণ যন্ত্র, নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র, প্রিজম, প্রিজমের প্রতিসরণ তল, প্রিজমের শীর্ষ, প্রিজম কোণ, প্রিজমের ভূমি, বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি, ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ, বিচ্ছুরণ, বর্ণালী।









সূচনা

আমরা জানি, কোনো একটি স্বচ্ছ ও সমসত্ব মাধ্যমে আলোক সরল পথে গমন করে। কিন্তু আলোক রশ্মি এক স্বচ্ছ মাধ্যম হতে অন্য স্বচ্ছ মাধ্যমে তির্যকভাবে প্রবেশের সময় এর দিক পরিবর্তিত হয়। একে প্রতিসরণ বলে। প্রতিসরণ আলোকের একটি বিশেষ ধর্ম। এ অধ্যায়ে সমতল ও গোলকীয় তলে আলোকের প্রতিসরণ, বিচ্ছুরণ, প্রিজম, লেন্স ইত্যাদি সম্বন্ধে আলোচনা করা হবে।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- ফার্মাটের নীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- ফার্মাটের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্র বিশ্লেষণ করতে পারবে।
- লেন্স তৈরির গাণিতিক সমীকরণ প্রতিপাদন করতে পারবে।
- ব্যবহারিক :
  - দর্পণ ও উত্তল লেন্স ব্যবহার করে তরলের প্রতিসরণাঙ্ক নির্ণয় করতে পারবে।
  - লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয় করতে পারবে।
- মাইক্রোস্কোপের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- রিফ্লেক্টিং টেলিস্কোপের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- প্রিজমে আলোর প্রতিসরণ ও বিচ্ছুরণ ব্যাখ্যা করতে পারবে।

৬·১ ফার্মাট-এর নীতি
Fermat's Principle

ধারণা
Concept

আমরা জানি, আলোকরশ্মি কোনো একটি বিন্দু হতে চলে সমতল পৃষ্ঠ কর্তৃক প্রতিফলন বা প্রতিসরণ-এর পর অন্য কোনো বিন্দুতে পৌঁছতে যদি কম দূরত্ব অতিক্রম করে তাহলে যে সময় লাগে তাও সর্বাপেক্ষা কম হয়। অতএব আলোক রশ্মির ক্ষুদ্রতম পথ অতিক্রম করার অর্থ ন্যূনতম সময় লাগা। এখন ক্ষুদ্রতম পথ বা ন্যূনতম সময় বিষয়ক যে নীতি তা কেবল সমতল পৃষ্ঠের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। গোলকীয় তলে এর ব্যতিক্রম দেখা যায়। কোনো গোলকীয় তলে যখন আলোক রশ্মির প্রতিফলন বা প্রতিসরণ ঘটে, তখন আলোক রশ্মি হয় দীর্ঘতম না হয় ক্ষুদ্রতম পথ অতিক্রম করবে। তবে দীর্ঘতম বা ক্ষুদ্রতম পথ যাই অতিক্রম করুক না কেন পথ সর্বদা স্থির (stationary) থাকবে। 1650 খ্রিস্টাব্দে পিয়ারে ফার্মাট আলোক পথ সংক্রান্ত একটি নীতি আবিষ্কার করেন যা **ফার্মাটের নীতি** নামে পরিচিত। এই নীতির সাহায্যে আলোর সরলরৈখিক গতি, আলোর প্রতিফলন, প্রতিসরণের সূত্র প্রতিপাদন করা যায়। ফার্মাট-এর নীতি অনুসারে, **"যখন কোনো আলোক রশ্মি প্রতিফলন বা প্রতিসরণ-এর সূত্র মেনে কোনো সমতল পৃষ্ঠে প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হয়, তখন তা সর্বদা ক্ষুদ্রতম পথ অনুসরণ করে।"**

(Fermat's principle states that the path followed by a ray of light in moving from one point to another point after any number of reflections or refractions, would always be stationary)।

উপরোক্ত আলোচনার প্রেক্ষিতে সমতল বা গোলকীয় তল উভয়ের ক্ষেত্রে ফার্মাট-এর নীতিকে ব্যাপক অর্থে নিম্নলিখিতভাবে বিবৃত করা যায় :

এক বিন্দু হতে অপর এক বিন্দুতে যাওয়ার সময় আলোক রশ্মির প্রতিফলন বা প্রতিসরণ যত সংখ্যক বারই হোক না কেন অনুসৃত পথ সর্বদাই স্থির হবে।

সূত্রানুসারে, বস্তু ও প্রতিবিম্বের মধ্যবর্তী আলোকপথ সকল রশ্মির ক্ষেত্রে সমান হবে।

মনে করি আলোকরশ্মি বিভিন্ন মাধ্যমের মধ্য দিয়ে কয়েক বার প্রতিফলন ও প্রতিসরণের পর এক বিন্দু হতে অপর এক বিন্দুতে আসল। অতএব এর আলোক পথ হবে

$$s_0 = \mu_1 s_1 + \mu_2 s_2 + \ldots\ldots\ldots + \mu_n s_n = \sum \mu_s = \text{ধ্রুবক}$$

এখানে μ_1, μ_2, μ_3 ………… μ_n হলো মাধ্যমগুলির প্রতিসরাংক এবং s_1, s_2, s_3 ………… যথাক্রমে ঐ মাধ্যমসমূহে অতিক্রান্ত পথের দৈর্ঘ্য।

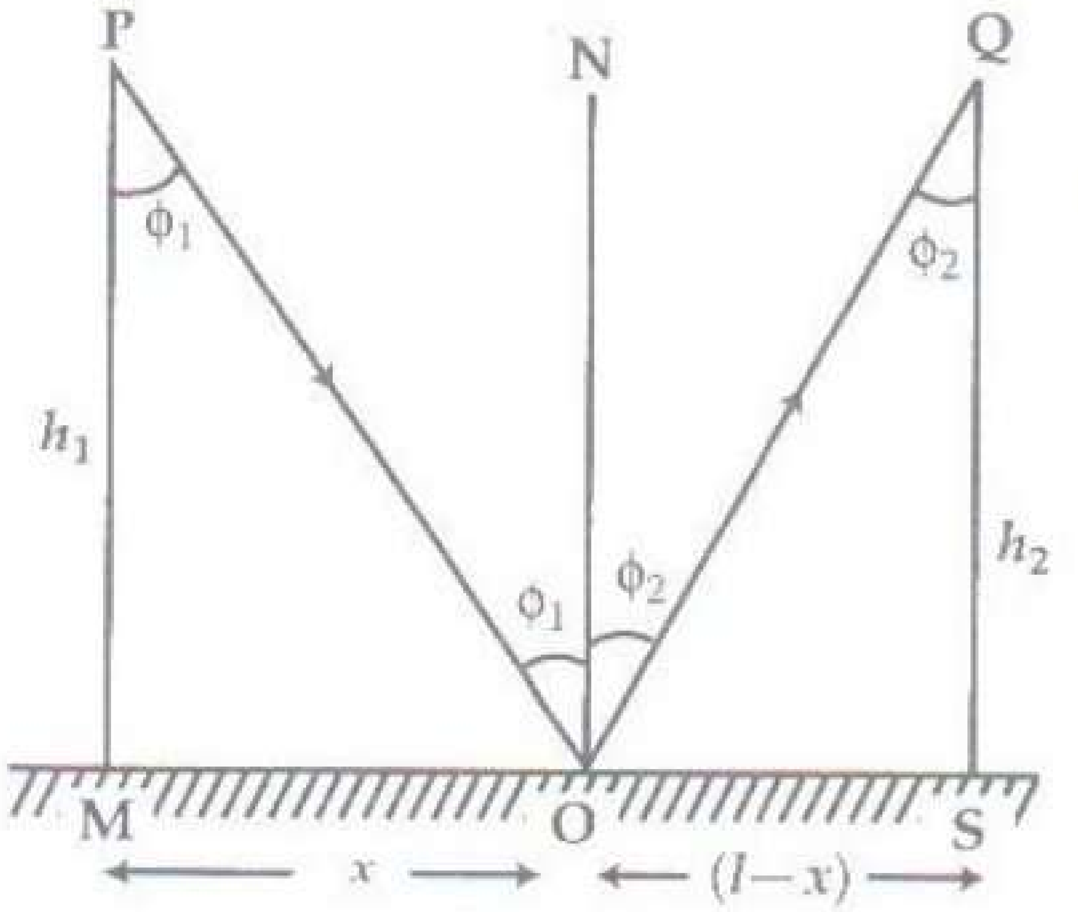
আমরা জানি, ধ্রুবকের অন্তরকলন করলে শূন্য (0) হয়। $\therefore \delta[\sum \mu_s] = 0$

$\delta[f(x)] = 0$ হলে, $f(x)$-এর চরম (maximum) মান এবং অবম (minimum) অবস্থান সূচিত করে। তাই মোট আলোক পথ (μ_s) হয় চরম না হয় অবম হবে।

ফার্মাট-এর নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্র
Law of reflection and refraction of light with the help of Fermat's principle

ক. প্রতিফলনের সূত্রাবলি
Laws of reflection

মনে করি, MS একটি সমতল প্রতিফলক। PO এবং OQ যথাক্রমে আপতিত এবং প্রতিফলিত রশ্মি [চিত্র ৬.১]। ফার্মাটের নীতি অনুসারে P ও Q এর মধ্যে POQ দূরত্ব ক্ষুদ্রতম। P এবং Q থেকে MS প্রতিফলকের উপর যথাক্রমে $PM = h_1$ এবং $QS = h_2$ অভিলম্ব টানা হলো। ধরা যাক $OM = x$ এবং $MS = l$; তাহলে $OS = (l - x)$। এখানে প্রাথমিক ও অন্তিম বিন্দু P ও Q স্থির হলে $MS = l$ দূরত্ব স্থির। যেহেতু অনিয়মিত প্রতিফলিত রশ্মি P থেকে Q-তে MO প্রতিফলকের যে কোনো বিন্দুতে আপতিত হতে পারে, সেহেতু O বিন্দু থেকে M বিন্দুর দূরত্ব x একমাত্র চলরাশি (Variable)।



চিত্র ৬.১

চিত্র ৬.১ থেকে, $POQ = s = PO + OQ$

$$= \sqrt{h_1^2 + x^2} + \sqrt{h_2^2 + (l-x)^2}$$

ফার্মাটের নীতি অনুযায়ী P থেকে আগত আলোক রশ্মি প্রতিফলনের পর O থেকে Q-তে যে পথে যায় তার জন্য s গরিষ্ঠ অথবা লঘিষ্ঠ (maximum or minimum) হবে। অর্থাৎ

$$\frac{ds}{dx} = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.1)$$

$$\therefore \quad \frac{ds}{dx} = 0 = \frac{1}{2}(h_1^2 + x^2)^{-\frac{1}{2}}\, 2x - \frac{1}{2}\{h_2^2 + (l-x)^2\}^{-\frac{1}{2}} . 2(l-x)$$

বা, $$0 = x(h_1^2 + x^2)^{-\frac{1}{2}} - (l-x)\{h_2^2 + (l-x)^2\}^{-\frac{1}{2}}$$

বা, $$0 = \frac{x}{\sqrt{h_1^2 + x^2}} - \frac{l-x}{\sqrt{h_2^2 + (l-x)^2}} = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.2)$$

বা, $$\frac{MO}{PO} - \frac{OS}{OQ} = 0$$

বা, $$\frac{MO}{PO} = \frac{OS}{OQ}$$

বা, $\sin OPM = \sin OQS$ বা, $\sin \phi_1 = \sin \phi_2$ $\quad \ldots \quad \ldots \quad (6.3)$

অর্থাৎ আপতন কোণ, $\angle PON$ = প্রতিফলন কোণ $\angle QON$

$\therefore$ আপতন কোণ = প্রতিফলন কোণ

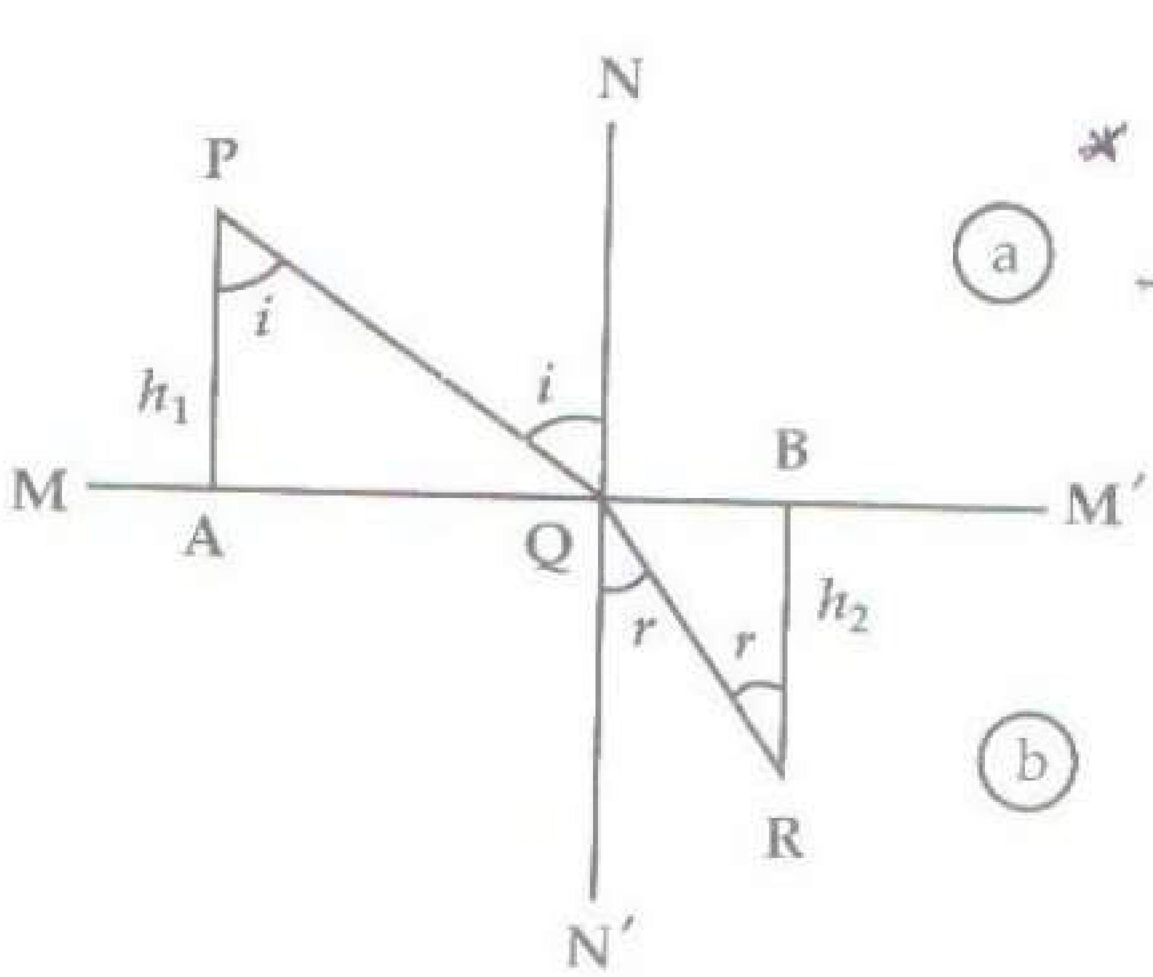
এটাই প্রতিফলনের দ্বিতীয় সূত্র।

আবার PO এবং OQ প্রতিফলকের লম্ব তলে থাকবে। পুনঃ ON সমতল প্রতিফলনের উপর লম্ব বিধায়, PO এবং OQ যে সমতল গঠন করে ON ঐ সমতলে অবস্থান করে। অর্থাৎ আপতিত রশ্মি PO, প্রতিফলিত রশ্মি OQ এবং অভিলম্ব ON একই সমতলে অবস্থান করে।

এটাই প্রতিফলনের প্রথম সূত্র।

খ. প্রতিসরণের সূত্রাবলি
Laws of refraction

ধরা যাক PQ আলোক রশ্মি স্থির বিন্দু P থেকে Q বিন্দু হয়ে অন্য একটি স্থির বিন্দু R-এ পৌছাল। PQ আলোক রশ্মি a ও b স্থির মাধ্যমের MM′ বিভেদ তলে Q বিন্দুতে i কোণে আপতিত হয়ে b মাধ্যমের r কোণে প্রতিসৃত হচ্ছে [চিত্র ৬·২]।



* সূর্যের রশ্মি হলো কালো তেজ রশ্মি -

চিত্র ৬·২

বিভেদতল MM′-এর উপর PA এবং RB লম্ব টানা হলো।

মনে করি, PA = h_1. RB = h_2. AB = d এবং AQ = x তাহলে QB = $d-x$। যদি a ও b মাধ্যমে আলোর বেগ যথাক্রমে c_a ও c_b হয় এবং PQ ও QR পথ অতিক্রম করতে আলোর t সময় লাগে, তবে

$$t = \frac{PQ}{c_a} + \frac{QR}{c_b} = \frac{\sqrt{h_1^2 + x^2}}{c_a} + \frac{\sqrt{h_2^2 + (d-x)^2}}{c_b}$$

* পানির প্রতিসরণাঙ্ক 1.33

ফার্মাটের নীতি অনুযায়ী t সময় ন্যূনতম হবে; কাজেই

* হীরকের " 2.42

$$\frac{dt}{dx} = 0 \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (6.4)$$

অতএব,
$$\frac{dt}{dx} = \frac{2x}{c_a\sqrt{h_1^2 + x^2}} - \frac{2(d-x)}{c_b\sqrt{h_2^2 + (d-x)^2}} = 0$$

* বরফের " 1.30

বা,
$$2\left\{\frac{x}{c_a\sqrt{h_1^2 + x^2}} - \frac{(d-x)}{c_b\sqrt{h_2^2 + (d-x)^2}}\right\} = 0$$

* ক্রাউন কাচের " 1.52

বা,
$$\frac{x}{c_a\sqrt{h_1^2 + x^2}} - \frac{d-x}{c_b\sqrt{h_2^2 + (d-x)^2}} = 0 \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (6.5)$$

বা,
$$\frac{\sin i}{c_a} = \frac{\sin r}{c_b}$$

$$\therefore \boxed{\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c_a}{c_b} = {}_a\mu_b} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (6.6)$$

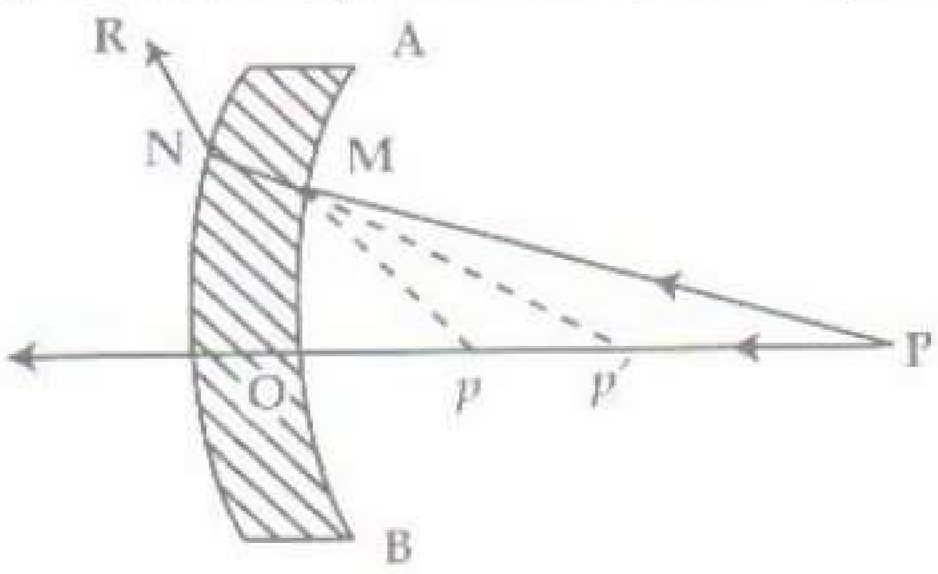
ইহাই প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্র বা স্নেলের সূত্র।

আবার PQ এবং QR রেখাদ্বয় পরস্পর Q বিন্দুতে মিলিত হয়ে একটি সমতল গঠন করে। যেহেতু PQR পথ ক্ষুদ্রতম বলে এই সমতলে বিভেদতল NN′-এর উপর লম্ব হবে। NN′ অভিলম্ব বিভেদতলের উপর লম্ব হওয়ায় PQ এবং QR যে সমতলে অবস্থিত সেই সমতলে NN′ও অবস্থিত। কাজেই আপতিত রশ্মি PQ, প্রতিসৃত রশ্মি QR এবং অভিলম্ব NN′ একই সমতলে অবস্থিত।

এটাই প্রতিসরণের প্রথম সূত্র।

৬.২ লেন্স প্রস্তুতকারকের সূত্র বা লেন্স তৈরির সমীকরণ
Lens Maker's Formula or Equation of Lens Formation

মনে করি AB একটি সরু লেন্সের প্রধান ছেদ [চিত্র ৬.৩]। এর প্রধান অক্ষ OP-এর উপর P একটি বিন্দু-বস্তু এবং O এর আলোক কেন্দ্র। ধরা যাক P হতে বায়ুর মধ্য দিয়ে আগত PM আলোক রশ্মিটি লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠে আলোক কেন্দ্র হতে সামান্য দূরে M বিন্দুতে আপতিত হওয়ায় রশ্মিটি প্রথম পৃষ্ঠে MN বরাবর এবং দ্বিতীয় পৃষ্ঠে N বিন্দু হতে NR বরাবর প্রতিসৃত হলো। আবার P হতে লেন্সের উপর আপতিত প্রধান অক্ষ বরাবর PO রশ্মিটি একই রেখায় লেন্স হতে বায়ুতে নির্গত হলো। কাজেই উপরোক্ত নির্গত রশ্মিদ্বয়ের ছেদ বিন্দু p-ই বস্তু P-এর অলীক বা অবাস্তব প্রতিবিম্ব হবে। কেননা লেন্সের অপর পার্শ্ব হতে দেখলে ঐ রশ্মি দুটি উক্ত বিন্দু হতে নির্গত হচ্ছে মনে হবে।



চিত্র ৬.৩

ধরা যাক NM-কে পশ্চাৎ দিকে বর্ধিত করায় তা PO-কে p' বিন্দুতে ছেদ করল। তা হলে প্রথম গোলকীয় পৃষ্ঠে প্রতিসরণের জন্য p'-ই P-এর অবাস্তব প্রতিবিম্ব হবে এবং দ্বিতীয় পৃষ্ঠের সাপেক্ষে p' অবাস্তব বস্তু হিসেবে ক্রিয়া করবে। সুতরাং দ্বিতীয় পৃষ্ঠে প্রতিসরণের জন্য p-ই p'-এর প্রতিবিম্ব হবে।

ধরা যাক বস্তুর দূরত্ব $OP = u$, প্রতিবিম্বের দূরত্ব $Op = v$ এবং $Op' = v'$, প্রথম ও দ্বিতীয় গোলকীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে r_1 ও r_2 এবং বায়ুর সাপেক্ষে লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $= \mu$

চিহ্নের বাস্তব ধনাত্মক প্রথা অনুযায়ী :

* চিহ্ন প্রথা অনুসারে লেন্স প্রণয়ন করা হয়।

প্রথম গোলকীয় তলে p-এর সৃষ্ট প্রতিবিম্ব p'-এর ক্ষেত্রে লেখা যায়,

$$\frac{\mu}{v'} + \frac{1}{u} = \frac{\mu - 1}{r_1} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.7)$$

দ্বিতীয় তলে p'-এর সৃষ্ট প্রতিবিম্ব p-এর ক্ষেত্রে লেখা যায়,

$$\frac{\frac{1}{\mu}}{v} + \frac{1}{-v'} = \frac{\frac{1}{\mu} - 1}{r_2}$$

[লক্ষ্যবস্তু অবাস্তব হেতু v' ঋণ রাশি।]

উভয় পক্ষকে μ দ্বারা গুণনে পাওয়া যায়,

* $\mu_1 \lambda_1 = \mu_2 \lambda_2$

$$\frac{1}{v} - \frac{\mu}{v'} = -\frac{\mu - 1}{r_2} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.8)$$

সমীকরণ (6.7) ও (6.8) যোগে পাওয়া যায়,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.9)$$

সমীকরণ (6.9) লেন্সে বস্তু দূরত্ব, প্রতিবিম্ব দূরত্ব ও বক্রতার ব্যাসার্ধের মধ্যকার সম্পর্ক নির্দেশক সমীকরণ।

লেন্সের ফোকাস দূরত্বের সমীকরণ :

লক্ষ্যবস্তু অসীম দূরত্বে অবস্থান করলে তার প্রতিবিম্ব লেন্সের দ্বিতীয় প্রধান ফোকাসে গঠিত হবে। এক্ষেত্রে $u = \infty$ এবং $v = f$

$\therefore$ সমীকরণ (6.9) হতে পাই,

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{\infty} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

বা, $\frac{1}{f} + 0 = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$

বা, $\boxed{\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.10)$

এটিই লেন্সের ফোকাস দূরত্বের সাধারণ সমীকরণ।

বেষ্টনকারী মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক μ_1 এবং লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক μ_2 হলে সমীকরণ (6.10)-এ μ-এর স্থলে μ_2/μ_1 বসিয়ে লেখা যায়,

$$\boxed{\frac{1}{f}=\left(\frac{\mu_2}{\mu_1}-1\right)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.11)$$

একে লেন্স প্রস্তুতকারকের সূত্র বলা হয়। একে লেন্সের ফোকাস দূরত্বের সূত্রও বলা হয়। এটি লেন্সের মাধ্যম, বেষ্টনকারী মাধ্যম এবং লেন্সের দুটি তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ দ্বারা নির্ধারিত।

কাজ : লেন্সের চারিপার্শ্বস্থ মাধ্যম পরিবর্তন করলে তার ফোকাস দূরত্ব পরিবর্তন হয় কেন ?

লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক যদি তার চারপাশের মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের চেয়ে বেশি হয় তাহলে আপতিত রশ্মিগুচ্ছ প্রতিসরণের পর অভিসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হবে। কিন্তু যদি লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক চারপাশের মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের চেয়ে কম হয় তাহলে উত্তল লেন্সে আপতিত রশ্মিগুচ্ছকে প্রতিসরণের পর অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত করবে। অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে বিপরীত ঘটনা ঘটবে। এভাবে ফোকাস দূরত্ব পরিবর্তন হয়।

গাণিতিক উদাহরণ

$\rightarrow {}_a\mu_w \times {}_w\mu_g \times {}_g\mu_a = 1$

১। বায়ু সাপেক্ষে পানি এবং কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে $\frac{4}{3}$ এবং $\frac{3}{2}$। দেখাও যে, পানিতে একটি কাচ লেন্সের ফোকাস দূরত্ব বায়ুতে ফোকাস দূরত্বের চার গুণ। [কু. বো. ২০০৮]

লেন্সের দুই পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ r_1 ও r_2 হলে আমরা জানি,

$$\frac{1}{f}=\left(\frac{\mu_2}{\mu_1}-1\right)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

বাতাসের ক্ষেত্রে,

$$\frac{1}{f_1}=\left(\frac{3}{2}-1\right)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$$

বা, $$\frac{1}{f_1}=\frac{1}{2}\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

এখানে,
লেন্সের কাচের প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_2=\frac{3}{2}$
ধরি,
যখন $\mu_1 = 1$ (বাতাসে),
তখন ফোকাস দূরত্ব = f_1
যখন $\mu_1=\frac{4}{3}$ (পানিতে)
তখন ফোকাস দূরত্ব = f_2

পানির ক্ষেত্রে,

$$\frac{1}{f_2}=\left(\frac{\frac{3}{2}}{\frac{4}{3}}-1\right)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)=\left(\frac{9}{8}-1\right)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$$

$\mu = \frac{u}{v}$

$$=\frac{1}{8}\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$

(2) নং সমীকরণকে (3) নং সমীকরণ দ্বারা ভাগ করে, $\frac{f_2}{f_1}=4$

$\therefore \quad f_2 = 4f_1$

$\therefore$ পানিতে একটি কাচ লেন্সের ফোকাস দূরত্ব বায়ুতে ফোকাস দূরত্বের 4 গুণ। **(প্রমাণিত)**

২। একটি উভোত্তল লেন্সের দুই পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ 15 cm এবং 30 cm। লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব 20 cm হলে এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর। [ঢা. বো. ২০০৯]

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$$

বা, $$\frac{1}{20}=(\mu-1)\left(\frac{1}{15}-\frac{1}{-30}\right)$$

$$=(\mu-1)\left(\frac{2+1}{30}\right)$$

বা, $(\mu-1)=\frac{30}{3\times20}=0{\cdot}5$

$\therefore \quad \mu = 1 - 0{\cdot}5 = 1{\cdot}5$

এখানে,
উত্তল লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_1 = +15$ cm
উত্তল লেন্সের দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_2 = -30$ cm
উত্তল লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব, $f = +20$ cm
প্রতিসরাঙ্ক, μ = ?

৩। 30 cm ফোকাস দূরত্ববিশিষ্ট একটি সমোত্তল লেন্স-এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·52 হলে এর পৃষ্ঠদ্বয়ের বক্রতার ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r}\right)$$

বা, $\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{2}{r}\right)$

বা, $\frac{1}{30} = (1{\cdot}52 - 1)\left(\frac{2}{r}\right)$

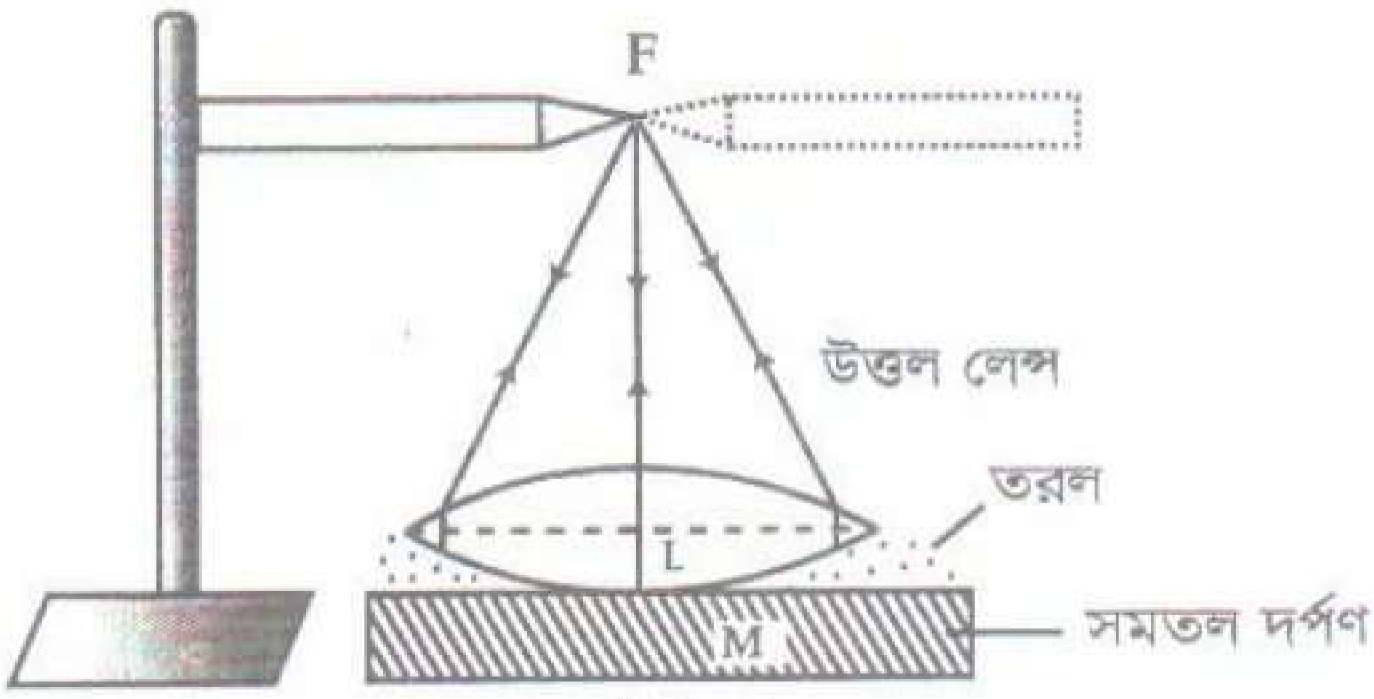
$\therefore\ r = 31{\cdot}2$ cm

এখানে,
প্রত্যেক পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ = r
উত্তল লেন্সের ১ম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_1 = r_2$
২য় পৃষ্ঠের ব্যাসার্ধ, $r_2 = -r$
$\mu = 1{\cdot}52$
ফোকাস দূরত্ব, $f = 30$ cm

৬·৩ ব্যবহারিক
Experimental

পরীক্ষণের নাম :	**তরলের প্রতিসরণাঙ্ক নির্ণয় (লেন্স ও দর্পণের সহায়ে)**
পিরিয়ড : ২	Determination of the Refractive Index of a Liquid using Plane Mirror and Convex Lens

তত্ত্ব (Theory) : কোনো সমতল দর্পণের উপর ২–৩ ফোঁটা তরল রেখে যদি এই তরল পদার্থের উপর f_1 ফোকাস দূরত্বের একটি উত্তল লেন্স স্থাপন করা হয়, তবে লেন্স ও সমতল দর্পণের মধ্যস্থিত তরল পদার্থের আবরণ f_2 ফোকাস দূরত্বের একটি সমাবতল তরল লেন্স গঠন করে। এই অবস্থায় গঠিত লেন্সের (সমাবতল) বক্রতার ব্যাসার্ধ ব্যবহৃত উত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধের সমান। লেন্সদ্বয় মিলিতভাবে একক সংযোজিত লেন্স গঠন করে যা উত্তল লেন্সের ন্যায় ক্রিয়া করে। ধরা যাক, এই লেন্সের ফোকাস দূরত্ব F।



চিত্র ৬·৪

সুতরাং আমরা লিখতে পারি

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

এখানে F এবং f_1 এর মান ঋণাত্মক।

$\therefore\ -\frac{1}{F} = -\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$

বা, $\frac{1}{f_2} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{F} = \frac{F - f_1}{F f_1}$

বা, $\frac{1}{f_2} = \frac{F - f_1}{F f_1}$

$\therefore\ f_2 = \frac{f_1 F}{F - f_1}$ ... ... (i)

পরীক্ষার সাহায্যে f_1 ও F এর মান নির্ণয় করে সমীকরণ (i)-এ বসিয়ে f_2 এর মান নির্ণয় করা যায়।

এখানে বায়ুর সাপেক্ষে তরল পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক μ, সমাবতল লেন্সের গোলকীয় তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ r_1 এবং সমতলের ব্যাসার্ধ r_2 হলে সমাবতল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f_2 কে লেখা যায়,

$$\frac{1}{f_2} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \text{... ... ... (ii)}$$

কিন্তু সমতলের বক্রতার ব্যাসার্ধ অসীম হলে, অর্থাৎ $r_2 = \infty$ হলে, সমীকরণ (ii) কে লেখা যায়,

$\frac{1}{f_2} = (\mu - 1)\frac{1}{r_1}$

বা, $f_2(\mu - 1) = r_1$

বা, $\mu - 1 = \frac{r_1}{f_2}$

$$\boxed{\therefore\ \mu = 1 + \frac{r_1}{f_2}} \quad \text{... ... ... (iii)}$$

যন্ত্রপাতি (Apparatus) : উত্তল লেন্স, সমতল দর্পণ, পিন স্ট্যান্ড, মিটার স্কেল, স্লাইড ক্যালিপার্স, স্ফেরোমিটার, পরীক্ষণীয় তরল পদার্থ ইত্যাদি।

কাজের ধারা (Experimental Procedure) :

১। স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে ব্যবহৃত উত্তল লেন্সের বেধ নির্ণয় করা হলো। তারপর এই বেধ t-কে 2 দ্বারা ভাগ করে লেন্সের উপরিতলের বেধ $\frac{t}{2}$ পাওয়া গেল।

২। টেবিলের উপর একটি সমতল দর্পণ রেখে এর উপর উত্তল লেন্সটি বসানো হলো।

৩। তারপর লক্ষ্যবস্তু পিন এমনভাবে স্ট্যান্ডের সাথে আটকানো হলো যেন পিনের ধারাল প্রান্ত লেন্সের প্রধান অক্ষের সমান্তরাল থাকে।

৪। এখন লক্ষ্যবস্তু পিনটাকে নিচ হতে ক্রমশ উপরের দিকে উঠানো হলো। যখন লম্বন ত্রুটি থাকে না এবং বাস্তব প্রতিবিম্ব গঠিত হয় তখন মিটার স্কেলের সাহায্যে লেন্সের উপরিতলের মধ্যবিন্দু হতে পিনের শীর্ষবিন্দু পর্যন্ত উচ্চতা h_1 পরিমাপ করা হলো। এখন $f_1 = \left(h_1 + \frac{t}{2}\right)$-এর সাহায্যে উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় করা হলো।

৫। সমতল দর্পণ হতে লেন্সটিকে সরিয়ে দর্পণের উপর ২–৩ ফোঁটা তরল পদার্থ ঢালা হলো। আবার সমতল দর্পণের উপর উত্তল লেন্সটিকে স্থাপন করা হলো।

৬। পুনরায় লক্ষ্যবস্তু পিনটিকে নিচ হতে ক্রমশ উপরের দিকে উঠানো হলো। যখন লম্বন ত্রুটি থাকে না এবং বাস্তব প্রতিবিম্ব গঠিত হয় তখন মিটার স্কেলের সাহায্যে লেন্সের উপরিতলের মধ্যবিন্দু হতে পিনের শীর্ষবিন্দু পর্যন্ত উচ্চতা h_2 পরিমাপ করা হলো। এখন $F = \left(h_2 + \frac{t}{2}\right)$-এর সাহায্যে সংযোজিত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় করা হলো।

৭। স্ফেরোমিটারের তিন পায়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিমাপ করা হলো এবং গড় মান D নেওয়া হলো। সমতল দর্পণের পৃষ্ঠ হতে লেন্সের পৃষ্ঠের উচ্চতা নির্ণয় করা হলো। অতঃপর $r_1 = \left(\frac{D^2}{6h} + \frac{h}{2}\right)$ সূত্রের সাহায্যে উত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ r_1 নির্ণয় করা হলো।

পরীক্ষালব্ধ উপাত্তসমূহ (Experimental data) :

ছক–১ (নমুনা)

[লেন্সের বেধ নির্ণয়ের জন্য]

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	প্রধান স্কেল পাঠ M cm	ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ V	ভার্নিয়ার পাঠের ধ্রুবক C cm	ভার্নিয়ার পাঠের মান F = V × C cm	মোট পাঠ (M + F)	গড় পাঠ t cm	লেন্সের মধ্য বিন্দুর পাঠ t/2 cm
1	0·5	3	0·01	0·03	0·53	0·54	0·27
2	0·5	4		0·04	0·54		
3	0·5	5		0·05	0·55		

ছক–২

[উচ্চতা (h) নির্ণয়ের জন্য]

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	কোন তল	রৈখিক স্কেল পাঠ M cm	বৃত্তাকার স্কেল পাঠ V	লঘিষ্ঠ ধ্রুবক C cm	বৃত্তাকার পাঠের মান F = V × C cm	মোট পাঠ (M + F) cm	গড় পাঠ t cm	$h = (x_2 - x_1)$ cm
1	সমতল দর্পণের উপর (x_1)	0	7	0·001	0·007	0·007	0·0075	0·1975
2		0	8	0·001	0·008	0·008		
1	লেন্সের উপর (x_2)	0·2	4	0·001	0·004	0·204	0·205	
2		0·2	6	0·001	0·006	0·206		

ছক–৩

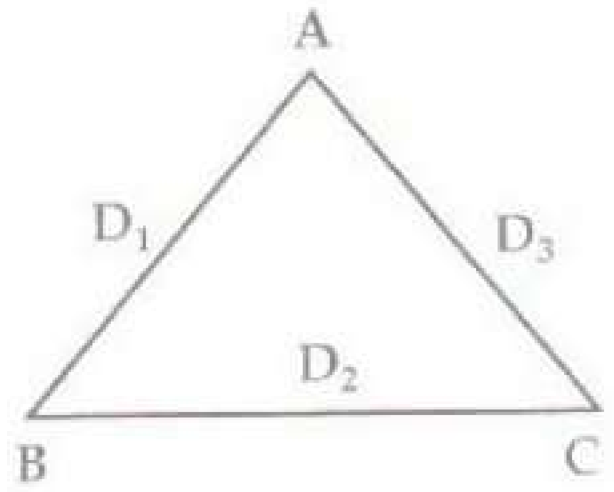
[(f_1) ও (F) এর মান নির্ণয়ের জন্য]

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	উচ্চতা h_1 cm	গড় উচ্চতা h_1 cm	ফোকাস দূরত্ব $f_1 = h_1 + \frac{t}{2}$	উচ্চতা h_2 cm	গড় উচ্চতা h_2 cm	ফোকাস দূরত্ব $f_1 = h_2 + \frac{t}{2}$
1	14.1	14.2	14.2 + 0.27 = 14.47	22.2	22.3	22.3 + 0.27 = 22.57
2	14.3			22.4		
3	14.2			22.3		

স্ফেরোমিটারের পায়ার দূরত্ব D নির্ণয় :

$$D = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{3}$$

$$D = \frac{3.9 + 3.9 + 3.9}{3} = 3.9 \text{ cm}$$



চিত্র ৬.৫

হিসাব (Calculation) :

$$r_1 = \frac{D^2}{6h} + \frac{h}{2} = \frac{3.9 \times 3.9}{6 \times 0.1975} + \frac{0.1975}{2}$$

$$= \frac{15.21}{1.185} + 0.09875 = 12.84 + 0.09875$$

$$= 12.93 \text{ cm}$$

$$f_2 = \frac{F \times f_1}{F - f_1} = \frac{22.57 \times 14.47}{22.57 - 14.47} = \frac{326.5879}{8.10} = 40.31 \text{ cm}$$

সুতরাং

$$\mu = 1 + \frac{r_1}{f_2} = 1 + \frac{12.93}{40.31} = 1 + 0.32 = 1.32$$

ফলাফল (Result) :

পানির পরীক্ষালব্ধ প্রতিসরাঙ্ক = 1.32

সতর্কতা ও আলোচনা (Precautions and discussions) :

১। লম্বন ত্রুটি যথাযথ পরিহার করা হলো।

২। পিনের অগ্রভাগ লেন্সের প্রধান অক্ষ বরাবর রাখা হলো।

৩। দর্পণে কম পরিমাণ তরল পদার্থ ব্যবহার করা হলো।

৪। লেন্সের বেধ সঠিকভাবে পরিমাপ করা হলো।

পরীক্ষণের নাম : পিরিয়ড : ২	লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয় Determination of the Focal length and power of a lens

$\frac{1}{u}$ এবং $\frac{1}{v}$ লেখচিত্রের সাহায্যে একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয় (To determine the focal length and power of a convex lens by plotting $\frac{1}{u}$ and $\frac{1}{v}$ graph.)

মূলতত্ত্ব (Theory) :

ফোকাস দূরত্ব : কোনো একটি লেন্সের আলোক কেন্দ্র হতে প্রধান ফোকাস পর্যন্ত দূরত্বকে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব বলে এবং তাকে 'f' দ্বারা প্রকাশ করা হয় এবং কোনো একটি লেন্সের ফোকাস দূরত্বকে মিটারে প্রকাশ করে তার বিপরীত রাশির চিহ্ন পরিবর্তন করলে ডায়প্টারে লেন্সের ক্ষমতা পাওয়া যায়। u এবং v যথাক্রমে বস্তু দূরত্ব এবং প্রতিবিম্ব দূরত্ব হলে, প্রকৃত প্রতিবিম্বের জন্য আমরা পাই—

$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$; এখন, $\frac{1}{u}$-কে X অক্ষের দিকে এবং $\frac{1}{v}$-কে Y-অক্ষের দিকে নির্দেশ করে একটি লেখচিত্র অঙ্কন করলে তা একটি সরলরেখা হবে। সরলরেখাটি মূলবিন্দু হতে উভয় অক্ষকে সমান দূরে ছেদ করবে। মূলবিন্দু হতে

উভয় অক্ষের ছেদবিন্দু পর্যন্ত দূরত্ব $\frac{1}{f}$-এর সমান। কারণ চিত্র ৬.৭-এ X-অক্ষে $\frac{1}{v} = 0$. অতএব, $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ সমীকরণকে লেখা যায়, $\frac{1}{u} + 0 = \frac{1}{f}$; বা, $u = f$। অনুরূপভাবে Y-অক্ষে $\frac{1}{u} = 0$, অতএব, $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ সমীকরণ হবে $0 + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$; বা, $v = f$। তবে কেন্দ্র হতে ছেদ বিন্দুদ্বয়ের দূরত্ব সমান না হলে গড় মান নিতে হবে।

ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় করার পর নিম্নের সমীকরণ ব্যবহার করে লেন্সের ক্ষমতা নির্ণয় করা যায় :

লেন্সের ক্ষমতা : কোনো লেন্স দ্বারা আলোক রশ্মিগুচ্ছের অভিসারিতা (convergence) বা অপসারিতা (divergence) উৎপাদনের সামর্থ্যকে তার ক্ষমতা বলে। লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যত কম, তা দ্বারা তত কম দূরত্বের মধ্যে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অভিসারী বা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয়। অর্থাৎ ঐ লেন্সের ক্ষমতা বেশি। এ জন্য কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্বের বিপরীত সংখ্যাকে তার ক্ষমতা বলা হয়। সুতরাং কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্ব জানা থাকলে লেন্সের ক্ষমতা নিম্নের সমীকরণ ব্যবহার করে নির্ণয় করা যায় :

লেন্সের ক্ষমতা, $P = \frac{100}{f(\text{cm})}$ ডায়প্টার (D) বা $\frac{1}{f}$

বা, $P = \frac{1}{f(\text{m})}$ ডায়প্টার (D)।

লেন্সটি যেহেতু উত্তল লেন্স অতএব এর ক্ষমতা ধনাত্মক হবে।

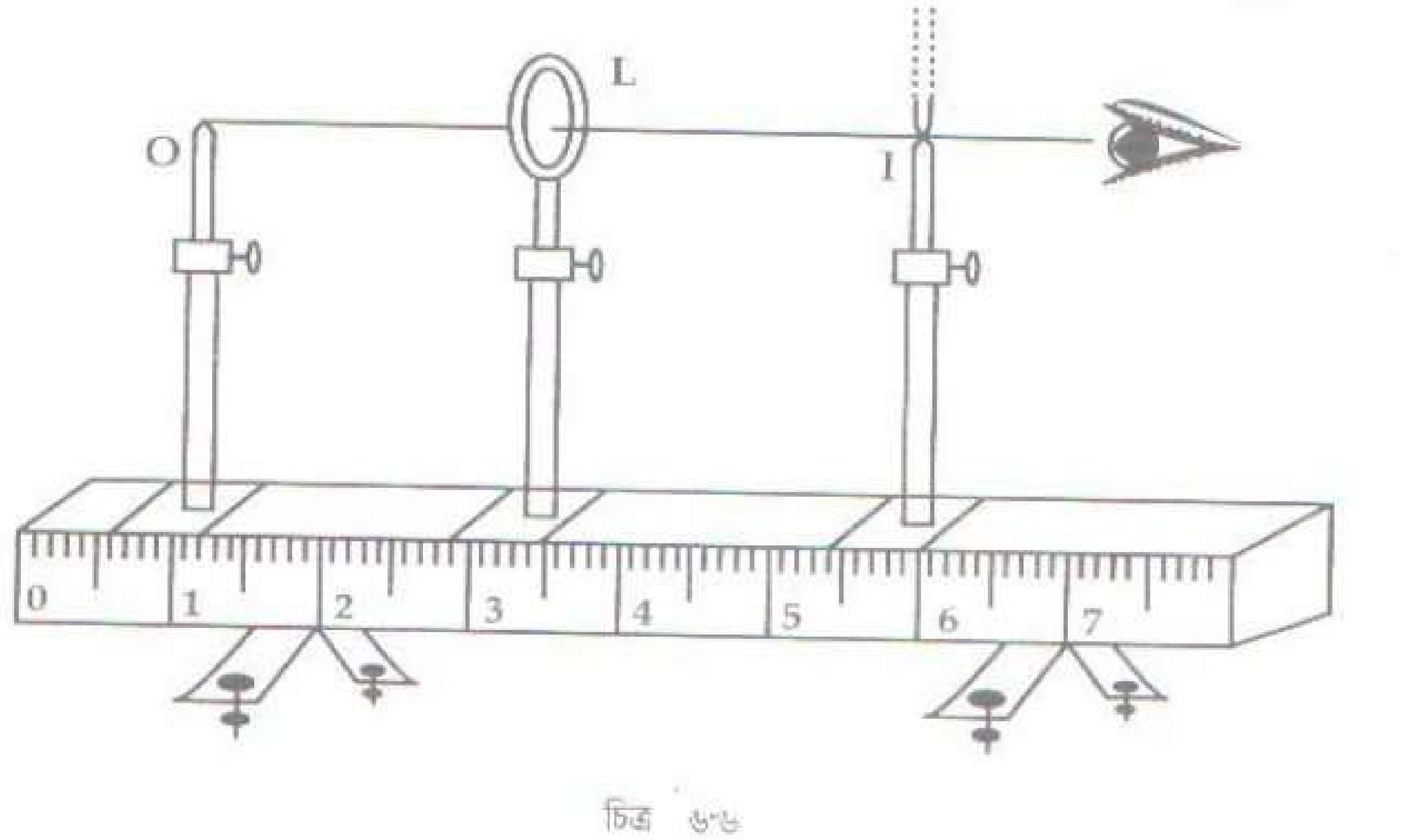
যন্ত্রপাতি এবং অন্যান্য প্রয়োজনীয় দ্রব্যাদি (Apparatus and other necessary materials) :

(১) আলোক বেঞ্চ,
(২) পরীক্ষণীয় উত্তল লেন্স,
(৩) বস্তু-আলপিন,
(৪) পর্দা আলপিন,
(৫) সূচক দণ্ড,
(৬) ছক কাগজ ইত্যাদি।

কার্যপদ্ধতি বা কাজের ধারা (Procedure)

(১) একটি উত্তল লেন্স নেয়া হয় এবং আলোক বেঞ্চের একটি দণ্ডের উপর তাকে স্থাপন করা হয়।

(২) লেন্সের সম্মুখে আলোক বেঞ্চের অপর একটি দণ্ডে একটি আলপিন স্থাপন করা হয়।



চিত্র ৬.৮

(৩) লেন্সের অপর পার্শ্বে আলোক বেঞ্চের ওপর একটি দণ্ডে অপর একটি আলপিনকে এমনভাবে স্থাপন করা হয় যেন প্রথম আলপিনের প্রকৃত প্রতিবিম্ব দৃষ্টিভ্রম ত্রুটি এড়িয়ে তার উপর সমাপতিত হয়।

(৪) আলোক বেঞ্চের স্কেল হতে লেন্স, বস্তু -আলপিন এবং প্রতিবিম্ব আলপিনের অবস্থানের পাঠ নেয়া হয় এবং u ও v-এর আপাত মান বের করা হয়।

(৫) উত্তল লেন্সের বিভিন্ন অবস্থানের জন্য উপরোক্ত প্রক্রিয়াগুলি অনুসরণ করে u ও v-এর কয়েকটি আপাত মান বের করা হয়।

(৬) বস্তু দূরত্ব এবং প্রতিবিম্ব দূরত্বের সূচক ত্রুটি বের করা হয় এবং u ও v-এর প্রকৃত মান নির্ণয় করা হয়।

(৭) প্রতি ক্ষেত্রেই $\frac{1}{u}$ এবং $\frac{1}{v}$-এর মান বের করা হয়।

(৮) লেখচিত্রের X অক্ষের দিকে $\frac{1}{u}$-কে এবং Y অক্ষের দিকে $\frac{1}{v}$-কে স্থাপন করে একটি লেখচিত্র অঙ্কন করা হয়। লেখ হতে প্রাপ্ত সরলরেখা X এবং Y অক্ষকে যে বিন্দুতে ছেদ করে লেখের মূলবিন্দু হতে এদের দূরত্ব বের করা হয় এবং গড় মান নির্ণয় করা হয় যার মান $\frac{1}{f}$-এর সমান। এর বিপরীত মানই পরীক্ষণীয় লেন্সের নির্ণেয় ফোকাস দূরত্ব।

সূচক ত্রুটি নির্ণয় :

সূচক দণ্ডের দৈর্ঘ্য = x সে. মি.

লেন্স ও বস্তুর মধ্যে আপাত দূরত্ব = y সে. মি.

লেন্স ও প্রতিবিম্বের মধ্যে আপাত দূরত্ব = z সে.মি.

∴ বস্তু দূরত্বের সূচক ত্রুটি = $(x \sim y)$ = …… সে.মি.

প্রতিবিম্ব দূরত্বের সূচক ত্রুটি = $(x \sim z)$ = …… সে.মি.

সংশোধিত দূরত্ব নির্ণয়ের সময় এই ত্রুটি যোগ বা বিয়োগ করতে হয়।

পর্যবেক্ষণ এবং সন্নিবেশন (Observation and Manipulation) :

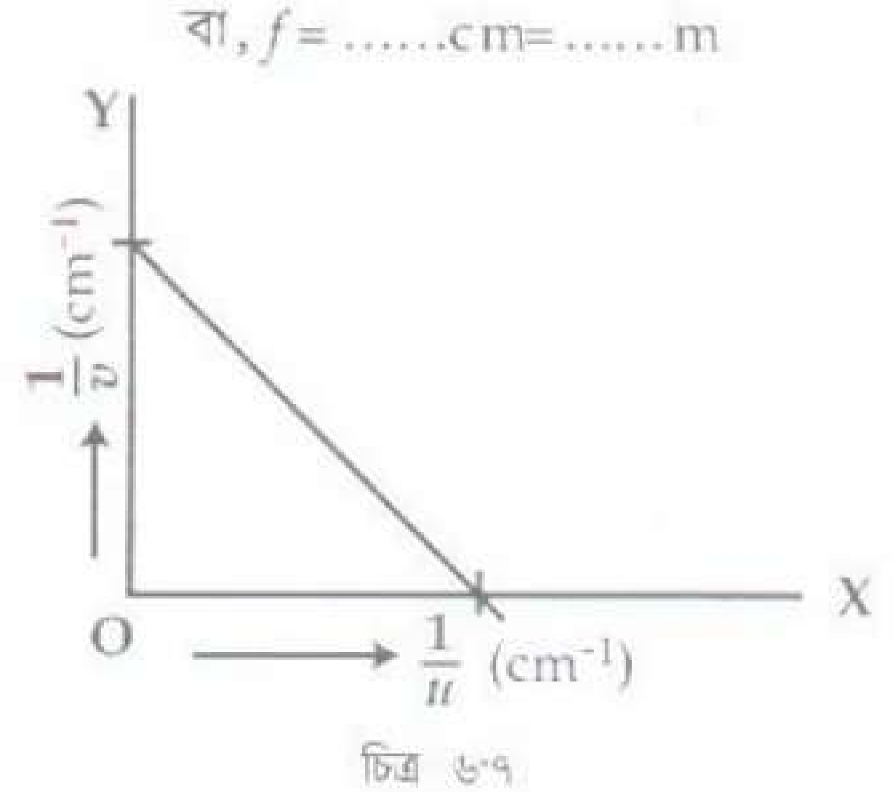
উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয়ের ছক–১

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	লেন্সের অবস্থান =L সে. মি.	বস্তুর অবস্থান =O সে. মি.	প্রতিবিম্বের অবস্থান =I সে. মি.	আপাত বস্তুর দূরত্ব =(L ~ O) সে. মি.	আপাত প্রতিবিম্ব দূরত্ব =(L ~ I) সে. মি.	বস্তু দূরত্বের সূচক ত্রুটি সে. মি.	প্রতিবিম্ব দূরত্বের সূচক ত্রুটি সে. মি	সংশোধিত বস্তু দূরত্ব $= u$ সে. মি.	সংশোধিত প্রতিবিম্ব দূরত্ব $= v$ সে. মি.	$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}$ সে. মি.$^{-1}$ (cm-1) = $\frac{1}{f}$ cm-1	$\frac{1}{v}$ সে. মি.$^{-1}$ (cm-1) = $\frac{1}{f}$ cm-1	f সে. মি. cm	গড় f সে. মি. cm	ক্ষমতা $P=\frac{1}{f(m)}D=$ —D
1														
2														
3														

হিসাব বা গণনা (Calculation) :

(১) X-অক্ষের ছেদক, $\frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ = …… cm^{-1}

বা, f = ……cm= ……m



চিত্র ৬.৭

(২) Y-অক্ষের ছেদক, $\frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ = …… cm^{-1}

বা, f = ……cm= ……m

বা, f এর গড় মান [(১) ও (২) এর গড়]

= … … … … cm= … … … m।

লেন্সের ক্ষমতা, $P = \frac{1}{f}$ D = … … … … D

ফলাফল (Result) : প্রদত্ত লেন্সের নির্ণেয় ফোকাস দূরত্ব, f = —cm= —m এবং এর ক্ষমতা P = — …… D.

সতর্কতা (Precautions) :

(১) বস্তু-আলপিন ও প্রতিবিম্ব আলপিন লেন্সের প্রধান অক্ষের সাথে একই সরলরেখায় হওয়া উচিত।

(২) বস্তু ও প্রতিবিম্বের শীর্ষভাগের মধ্যে দৃষ্টিভ্রম ত্রুটি থাকা উচিত নয়।

(৩) পাঠগুলো নির্ভুল হওয়া উচিত।

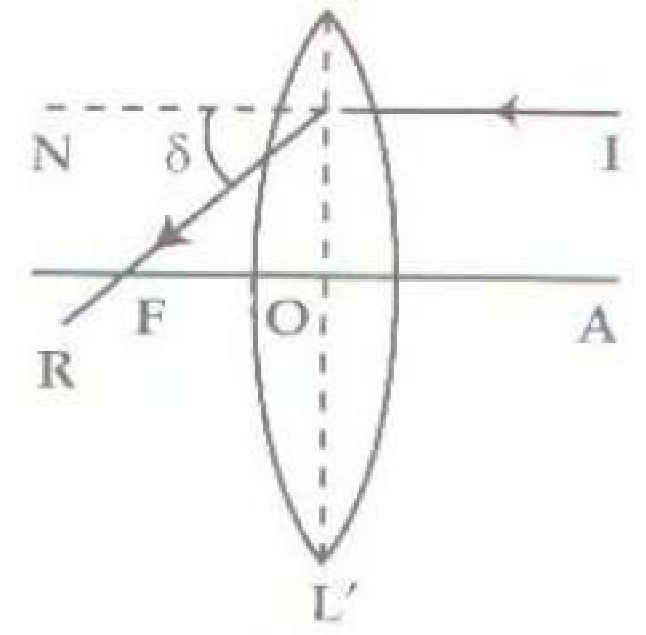
(৪) সূচক ত্রুটি নির্ণয় করা উচিত।

আলোচনা (Discussions) : (১) সূচক ত্রুটি নির্ণয় করা না হলে বস্তু-দূরত্ব এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্ব সঠিক হবে না। ফলে পরীক্ষালব্ধ ফলাফল ত্রুটিপূর্ণ হবে।

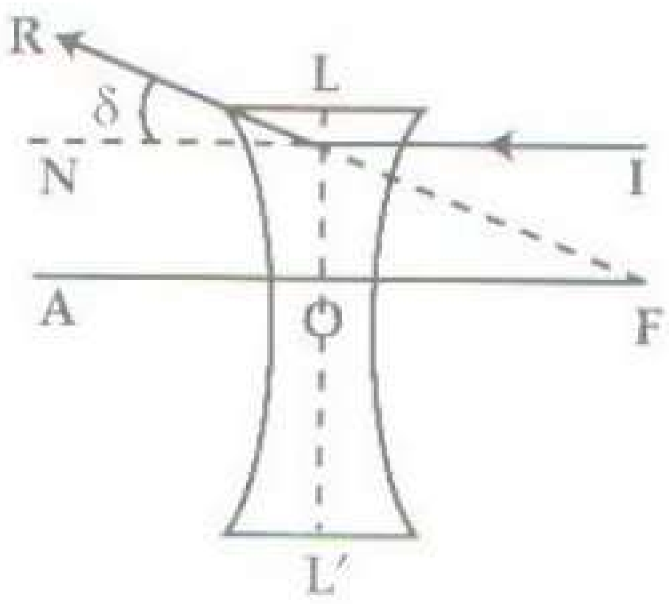
(২) পরীক্ষালব্ধ পাঠগুলো নির্ভুল না হলে ফলাফল সঠিক হবে না।

লেন্সের ক্ষমতা
Power of a lens

কোনো লেন্স দ্বারা আলোক রশ্মিগুচ্ছের অভিসারিতা (convergence) বা অপসারিতা (divergence) [চিত্র ৬.৮ ও ৬.৯] **উৎপাদনের সামর্থ্যকে তার ক্ষমতা বলে।** যদি কোনো লেন্স একগুচ্ছ সমান্তরাল আলোক রশ্মিকে বেশি পরিমাণে অভিসারিত বা অপসৃত করতে পারে, তবে তার ক্ষমতা বেশি আর যদি কম পরিমাণে অভিসারিত বা অপসৃত করতে পারে তবে তার ক্ষমতা কম। কাজেই লেন্সে আপতিত প্রধান অক্ষের সমান্তরাল আলোক রশ্মির প্রতিসরণজনিত



চিত্র ৬.৮



চিত্র ৬.৯

কৌণিক বিচ্যুতি δ দ্বারাই লেন্সের ক্ষমতা নির্ধারিত হবে। যে লেন্সের ক্ষেত্রে δ যত বেশি হবে ঐ লেন্সের ক্ষমতাও তত বেশি। আবার যে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যত কম, তা দ্বারা তত কম দূরত্বের মধ্যে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অভিসারী বা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয়। অর্থাৎ ঐ লেন্সের ক্ষমতা বেশি। এজন্য **কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্বের বিপরীত সংখ্যাকে তার ক্ষমতা বলা হয়।**

মনে করি কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্ব $= f$; অতএব এর ক্ষমতা, $\boxed{P = \frac{1}{f}}$ m→14-15
15-16

লেন্সের ক্ষমতার একক : লেন্সের ক্ষমতা একটি পরিমেয় রাশি। অতএব এর একক আছে। লেন্সের ক্ষমতার একক ডায়প্টার সংক্ষেপে 'D' দ্বারা সূচিত করা হয়। **লেন্সের ফোকাস দূরত্বকে মিটারে প্রকাশ করে তার বিপরীত রাশি নিলে ডায়প্টারে লেন্সের ক্ষমতা পাওয়া যায়।**

ধরি লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f(m)। অতএব এর ক্ষমতা,

$$\boxed{P = \frac{1}{f\,(\text{m})}\ \text{ডায়প্টার}} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (6.12)$$

P = + 2 হলে
f = ? m→ 94-95

$$P = \frac{1}{f(\text{m})}\ \text{D}$$

মাত্রা: L^{-1}

উত্তল লেন্সের ক্ষমতা ধন রাশি এবং অবতল লেন্সের ক্ষমতা ঋণ রাশি।

'একটি চশমার ক্ষমতা + 4 ডায়প্টার'—এর অর্থ কী ?

এখানে, $P = +4$ ডায়প্টার।

$\therefore \quad f = +\frac{1}{4}\text{ m} = +0.25\text{ m}$

তা হলে 'চশমার ক্ষমতা + 4 ডায়প্টার' কথাটির অর্থ হলো : **ব্যবহৃত লেন্সটি উত্তল এবং এর ফোকাস দূরত্ব** 0·25 m।

আবার কোনো লেন্সের ক্ষমতা − 2D বলতে বুঝায় লেন্সটি অবতল

এবং এর ফোকাস দূরত্ব $f = -\frac{1}{2}\text{ m} = -0.5\text{ m}$

৬·৪ মাইক্রোস্কোপ (অণুবীক্ষণ যন্ত্র)
Microscope

আমাদের সামনে এমন অনেক কিছু আছে যাদেরকে আমরা খালি চোখে দেখিনা। আবার এমন অনেক কিছু আছে যাদেরকে খালি চোখে দেখলেও খুব ছোট দেখা যায়। এই সকল বস্তুকে বিবর্ধিত করে স্পষ্টভাবে দেখার ব্যবস্থা হলো অণুবীক্ষণ যন্ত্র।

যে আলোক যন্ত্রের সাহায্যে নিকটবর্তী অতি ক্ষুদ্র বস্তুর খুঁটিনাটি প্রতিবিম্বের মাধ্যমে বর্ধিত করে দেখা যায় তাকে অণুবীক্ষণ যন্ত্র বলে। অণুবীক্ষণ যন্ত্র দুই প্রকার; যথা —

(ক) সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা বিবর্ধক কাচ (Simple Microscope or Magnifying glass) ও

(খ) জটিল বা যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র (Compound Microscope)।

সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা বিবর্ধক কাচ
Simple Microscope or Magnifying glass

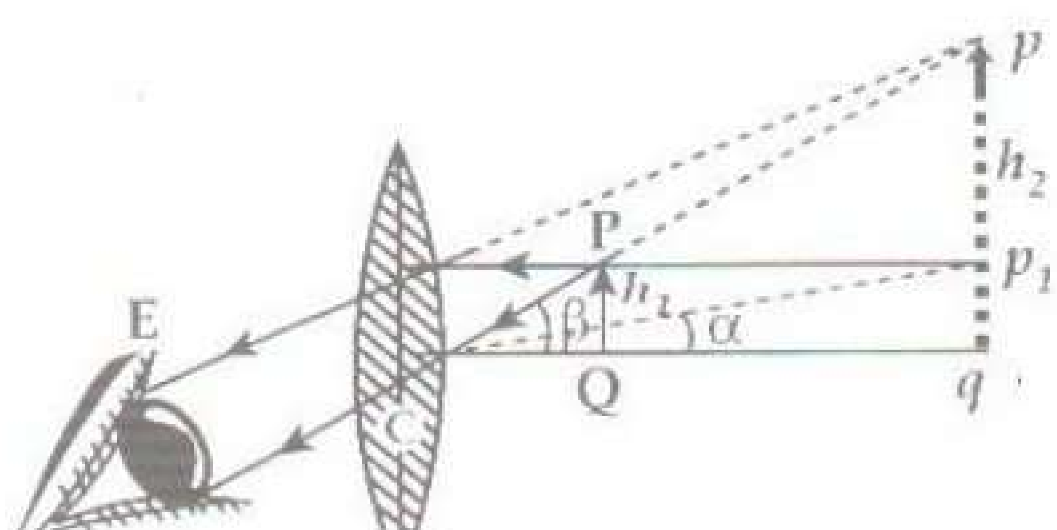
কঠিনকাচ 3.5-6 গুন

খুব বেশি বিবর্ধন প্রয়োজন না হলে এটি ব্যবহৃত হয়। এতে একটি হাতলযুক্ত ফ্রেমে অল্প ফোকাস দূরত্বের একটি উত্তল লেন্স বসানো থাকে [চিত্র ৬·১০]। সাধারণত এটি সূক্ষ্ম কারুকার্য, অতি ক্ষুদ্র লেখা, হাতের ছাপ, অতি ক্ষুদ্র যন্ত্রপাতি ইত্যাদি দেখার কাজে ব্যবহার করা হয়।

চিত্র ৬·১০

মূলনীতি : আমরা জানি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব অপেক্ষা কম দূরত্বে একটি বস্তু রাখলে লেন্সে তার একটি সিধা, অবাস্তব ও আকারে বড় প্রতিবিম্ব বস্তুর একই পার্শ্বে গঠিত হয় এবং বস্তু লেন্সের যত নিকটে অবস্থান করে বিবর্ধন তত বেশি হয় বা লেন্স হতে তত দূরে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। লেন্সের অপর পার্শ্বে চোখ রাখলে বস্তুর পরিবর্তে এই বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব দেখতে পাওয়া যায়। অবশ্য প্রতিবিম্বটি চোখের স্পষ্ট দর্শনের নিকট বিন্দুতে গঠিত হলে তাকে বিনা ক্লেশে সবচেয়ে বেশি স্পষ্ট দেখা সম্ভব হয়। এটিই সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ক্রিয়া প্রণালীর মূলনীতি।

বিবর্ধন : ধরা যাক একটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের উত্তল লেন্স L-এর ফোকাস দূরত্ব f অপেক্ষা কম দূরত্বে প্রধান অক্ষের উপর লম্বভাবে একটি বস্তু PQ স্থাপন করা হয়েছে [চিত্র ৬·১১]। এতে লেন্সের পিছনে স্থাপিত চোখ E-এর স্পষ্ট দৃষ্টির নিকট বিন্দুতে তার সিধা, অবাস্তব ও আকারে বড় প্রতিবিম্ব pq গঠিত হলো।



চিত্র ৬·১১

এখন লেন্সের সাধারণ সমীকরণ হতে অবাস্তব প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রে লেখা যায়,

$-\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ [∵ লেন্সটি উত্তল তাই f ধনাত্মক এবং প্রতিবিম্ব অবাস্তব বলে, v ঋণাত্মক]

অথবা, $\frac{1}{u}=\frac{1}{v}+\frac{1}{f}$

বা, $\frac{v}{u}=1+\frac{v}{f}$ [উভয় পক্ষকে v দ্বারা গুণ করে]

$$\therefore \quad m=\frac{v}{u}=1+\frac{v}{f} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (6.13)$$

কিন্তু $v = D$ স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব

$$\therefore \quad \boxed{m=1+\frac{D}{f}} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (6.14)$$

চক্ষু যদি লেন্স হতে a দূরত্বে অবস্থান করে, তবে $D = v + a$

∴ সমীকরণ (6.13) অনুসারে পাওয়া যায়,

$$\boxed{m=1+\frac{D-a}{f}} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (6.15)$$

উপরোক্ত সমীকরণ হতে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায় যে,

(১) লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f যত কম হবে তার বিবর্ধন ক্ষমতা তত বৃদ্ধি পাবে।

(২) স্বাভাবিক চোখ অপেক্ষা ক্ষীণ দৃষ্টিসম্পন্ন চোখে প্রতিবিম্ব ছোট এবং দূর দৃষ্টিসম্পন্ন চোখে প্রতিবিম্ব বড় দেখাবে।

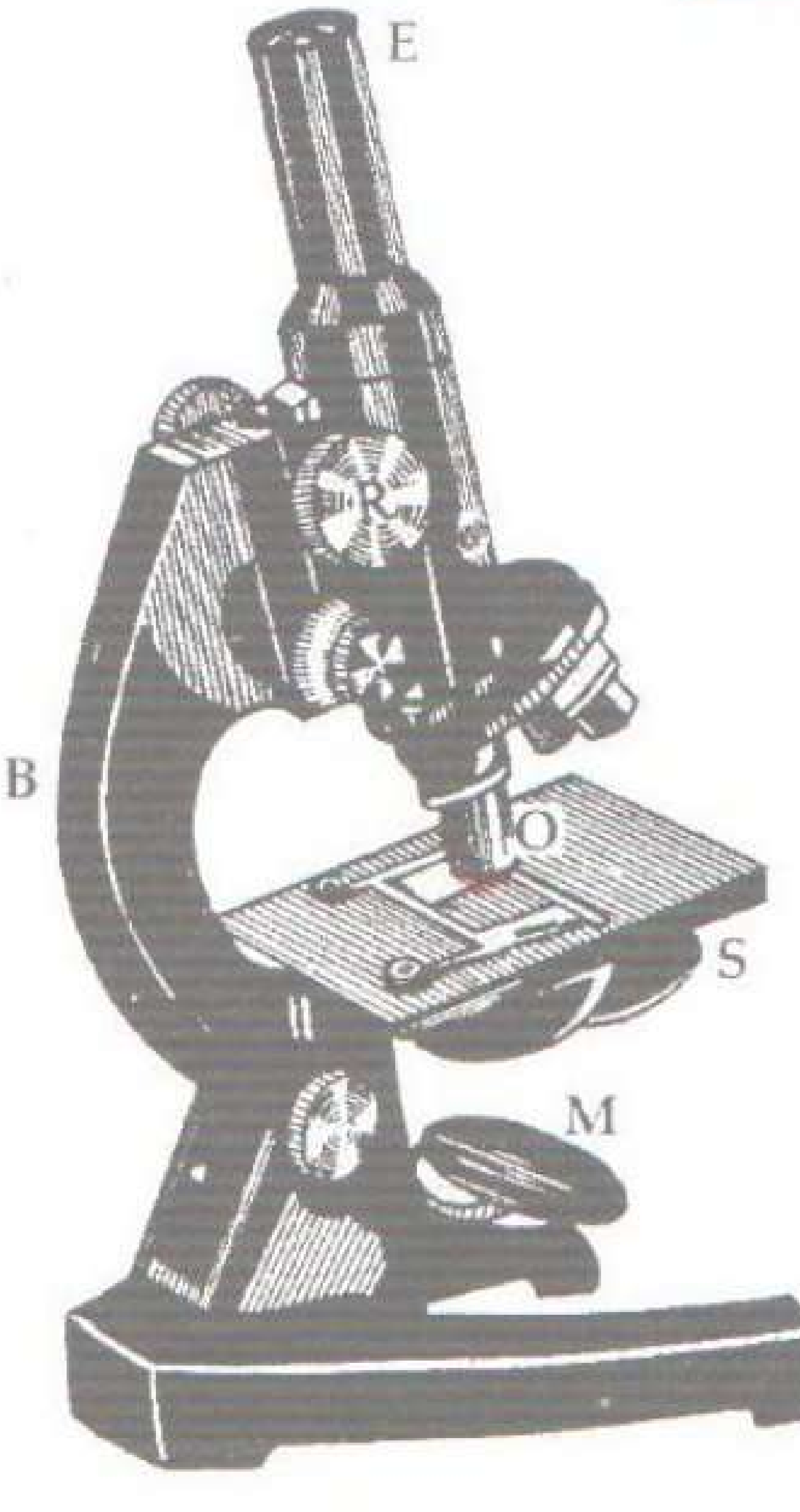
(৩) পর্যবেক্ষকের চোখ হতে লেন্সের দূরত্ব যত কম হবে বিবর্ধন তত বেশি হবে।

এ কারণে চোখ যথাসম্ভব লেন্সের নিকটে রাখলে প্রতিবিম্ব সবচেয়ে স্পষ্ট ও বিবর্ধিত দেখাবে।

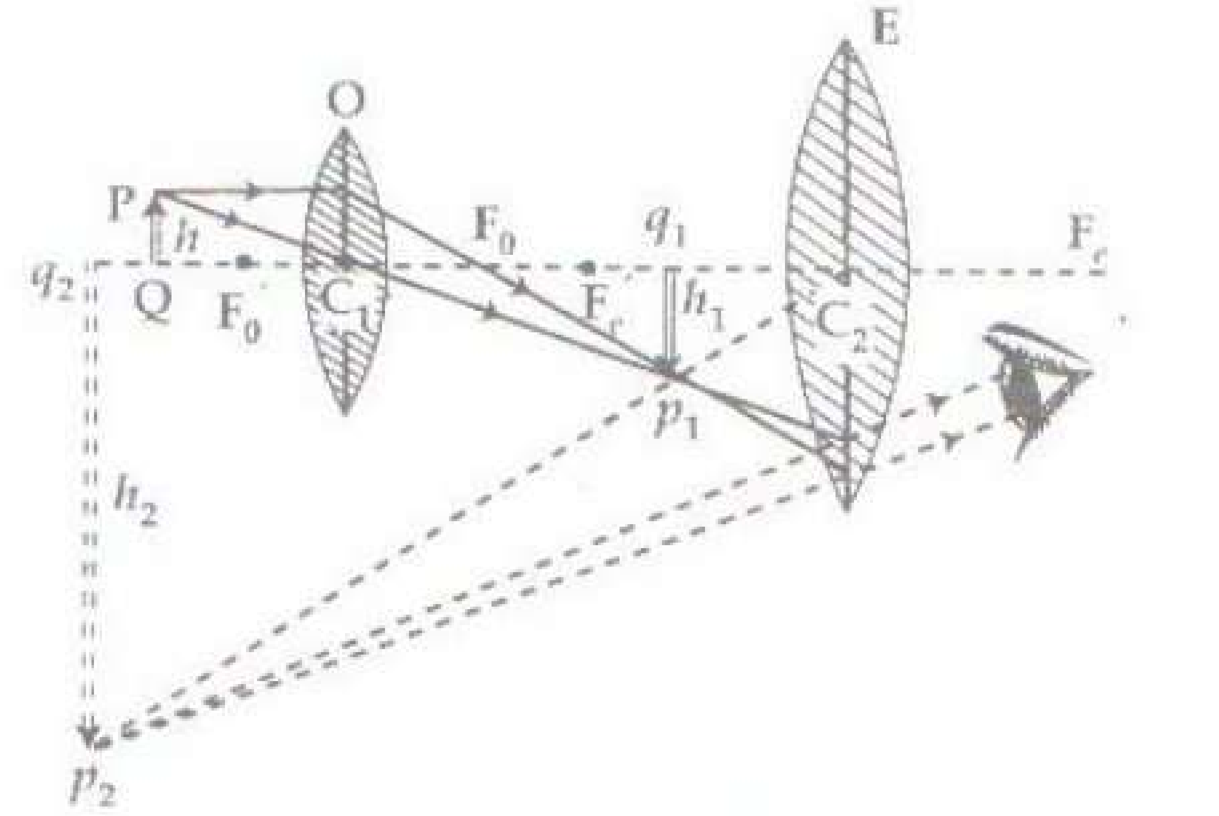
জটিল বা যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র ২০০০ কু.ব
Compound Microscope

সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন ক্ষমতা তার লেন্সের ফোকাস দূরত্বের উপর নির্ভর করে। ফোকাস দূরত্ব যত কম হবে বিবর্ধন ক্ষমতা তত বেশি হবে। ফোকাস দূরত্ব যত ইচ্ছা কমানো সম্ভব নয়। অতএব অতি ক্ষুদ্র বস্তুকে প্রয়োজনমতো বিবর্ধিত করা যায় না। সেজন্য জটিল বা যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। 1610 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী গ্যালিলিও যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র আবিষ্কার করেন। এই যন্ত্রের সাহায্যে অতি ক্ষুদ্র বস্তুকে বহুগুণে বর্ধিত করে দেখা যায়। এটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র অপেক্ষা অধিক মাত্রার বিবর্ধন ক্ষমতার অধিকারী। কোনো বস্তু থেকে আগত আলোক রশ্মি আমাদের চোখে যে কোণ করে তাকে বীক্ষণ কোণ বলে। বীক্ষণ কোণ বড় হলে বস্তু বড় দেখায় আর ছোট হলে বস্তু ছোট দেখায়।

মূলনীতি ও বর্ণনা : যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দুটি উত্তল লেন্স আছে। একটি **অভিলক্ষ্য** (Objective), O এবং অপরটি **অভিনেত্র** (Eye-piece), E [চিত্র ৬'১২]। অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ ছোট। একে সর্বদা বস্তুর দিকে রাখা হয়। অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ বড়। অভিনেত্রকে পর্যবেক্ষকের চোখের দিকে থাকে। লেন্স দুটিকে টানা নলের (Draw Tube) মধ্যে রেখে একটি মূল নলের (Main Tube) দুই প্রান্তে সমাক্ষভাবে স্থাপন করা হয় যাতে তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিবর্তন করা যায়। মূল নলটিকে একটি দণ্ড B-এর সাথে স্থাপন করা হয় এবং স্ক্রু R-এর সাহায্যে উঠানামা করা হয়। লক্ষ্যবস্তু রাখার জন্য একটি পাটাতন আছে। মনে করি এটি S। M একটি অবতল দর্পণ। এর সাহায্যে পাটাতনের উপর আলোক ফেলে বস্তুটিকে আলোকিত করা হয়। অভিনেত্রটিকে অপর একটি স্ক্রু-এর সাহায্যে উপরে উঠিয়ে বা নিচে নামিয়ে বস্তুটির একটি সুস্পষ্ট এবং বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে গঠন করা হয়।



চিত্র ৬'১২



চিত্র ৬'১৩

চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব → অবাস্তব, উল্টা, বিবর্ধিত।

অভিলক্ষ্য একটি উত্তল লেন্স-এর সামনে কোনো লক্ষ্যবস্তুকে ফোকাস দূরত্বের বাইরে রেখে দিলে, লক্ষ্যবস্তু থেকে আগত আলোক রশ্মি প্রতিসরণের পর বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠন করে। এই প্রতিবিম্ব যত বড় হবে অর্থাৎ অভিলক্ষ্যে প্রতিবিম্ব যত দূরে গঠিত হবে, শেষ প্রতিবিম্ব আকারে তত বড় হবে। আবার অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব ছোট হওয়ার জন্য সৃষ্ট প্রতিবিম্ব অনেকগুণ বড় দেখায়। ৬'১৩ চিত্রে বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব দেখানো হলো।

বিবর্ধন : বিবর্ধন বলতে প্রতিবিম্বের আকার এবং বস্তুর আকারের অনুপাতকে বুঝায়। যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র দুই পর্যায়ে বিবর্ধন সংঘটিত হয়। প্রথমে অভিলক্ষ্যের জন্য এবং পরে অভিনেত্রের জন্য।

মনে করি মোট বিবর্ধন $= m$

$\therefore$ আমরা পাই, $m = \dfrac{\text{প্রতিবিম্বের আকার}}{\text{বস্তুর আকার}}$

$$= \frac{p_2q_2}{PQ} = \frac{p_1q_1}{PQ} \times \frac{p_2q_2}{p_1q_1}$$

$$= m_1 \times m_2 \quad \ldots \quad ৭ \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.16)$$

এখানে, $m_1 = \dfrac{p_1q_1}{PQ}$ = অভিলক্ষ্য দ্বারা সৃষ্ট বিবর্ধন

এবং $m_2 = \dfrac{p_2q_2}{p_1q_1}$ = অভিনেত্র দ্বারা সৃষ্ট বিবর্ধন।

ধরি, অভিলক্ষ্য হতে PQ এবং p_1q_1-এর দূরত্ব যথাক্রমে u এবং v

$\therefore$ $m_1 = \dfrac{p_1q_1}{PQ} = -\dfrac{v}{u}$ (প্রতিবিম্ব উল্টা, তাই ঋণ চিহ্ন) $\quad \ldots \quad \ldots \quad (6.17)$

ধরি অভিনেত্র হতে p_1q_1 ও p_2q_2-এর দূরত্ব যথাক্রমে u_2 এবং v_2 অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব f_e, স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব D। স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে প্রতিবিম্ব গঠিত হলে, $v_2 = D$ হয়।

এখন, অভিনেত্র দ্বারা সৃষ্ট বিম্বের ক্ষেত্রে লেন্সের সমীকরণ হতে পাই,

$-\dfrac{1}{v_2} + \dfrac{1}{u_2} = \dfrac{1}{f_e}$ [চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব অবাস্তব বলে v_2 ঋণাত্মক]

বা, $\dfrac{v_2}{u_2} = 1 + \dfrac{v_2}{f_e} = 1 + \dfrac{D}{f_e}$

কিন্তু $m_2 = \dfrac{p_2q_2}{p_1q_1} = \dfrac{v_2}{u_2}$

অতএব, $m_2 = 1 + \dfrac{D}{f_e} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.18)$

এখন সমীকরণ (6.17) এবং (6.18) হতে m_1 ও m_2-এর মান সমীকরণ (6.16)-এ বসিয়ে পাই,

$$m = -\frac{v}{u}\left(1 + \frac{D}{f_e}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.19)$$

ঋণাত্মক বিবর্ধন দ্বারা প্রতিবিম্ব উল্টা বুঝায়।

সিদ্ধান্ত : উপরের সমীকরণ হতে নিম্নলিখিত সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায়—

(ক) u যত ছোট হবে অর্থাৎ বস্তু অভিলক্ষ্যের যত নিকটে অবস্থান করবে, প্রতিবিম্ব আকারে তত বড় দেখাবে। কিন্তু লক্ষ্যবস্তুকে সর্বদা অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্বের বাইরে রাখতে হবে। সুতরাং অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব যতদূর সম্ভব ছোট হতে হবে।

(খ) v যত বড় হবে অর্থাৎ অভিলক্ষ্যে প্রতিবিম্ব যত দূরে গঠিত হবে, শেষ প্রতিবিম্ব আকারে তত বড় হবে। এতে যন্ত্রের দৈর্ঘ্য বড় হতে হবে।

(গ) অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব f_e যত ছোট হবে, যন্ত্রে তত বড় প্রতিবিম্ব গঠিত হবে।

(ঘ) যে চোখের স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব D যত বেশি হবে, সে চোখে প্রতিবিম্ব তত বড় দেখাবে।

যন্ত্রের দৈর্ঘ্য : L = যন্ত্রের দৈর্ঘ্য $= C_1C_2 = C_1q_1 + C_2q_1 = v + C_2q_1$

= অভিলক্ষ্যে প্রতিবিম্বের দূরত্ব + অভিনেত্রে বস্তুর দূরত্ব

হিসাব করে দেখা যায়, যন্ত্রের দৈর্ঘ্য $L = v + \dfrac{D \times f_e}{D + f_e}$ হয়।

নিজে কর : অভিলক্ষ্যের ফোকাস দৈর্ঘ্য কমালে অণুবীক্ষণের বিবর্ধন ক্ষমতা কীভাবে পরিবর্তিত হয় ?

গানিতিক উদাহরণ

১। একটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে ব্যবহৃত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 0·15 m। স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব 0·25 m হলে ঐ যন্ত্রের বিবর্ধন বের কর। [ঢা. বো. ২০০৮; য. বো. ২০০২]

আমরা জানি, সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষেত্রে,

$$m = 1 + \frac{D}{f}$$

$$\therefore m = 1 + \frac{0·25}{0·15} = 2·667$$

এখানে,

$D = 0·25$ m

$f = 0·15$ m

$m = ?$

২। একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·02 m এবং 0·07 m ও তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·20 m। অভিলক্ষ্যের সামনে কত দূরে কোনো বস্তু স্থাপন করলে অভিনেত্র হতে 0·25 m দূরে তার প্রতিবিম্ব দেখা যাবে ?

আমরা জানি,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

এখানে অভিনেত্রের ক্ষেত্রে $v = -0·25$ m এবং $f = 0·07$ m

$\therefore$ সমীকরণ (i) হতে পাই,

$$-\frac{1}{0·25} + \frac{1}{u} = \frac{1}{0·07}$$

বা, $\frac{1}{u} = \frac{1}{0·07} + \frac{1}{0·25} = \frac{0·25 + 0·07}{0·07 \times 0·25}$

বা, $\frac{1}{u} = \frac{128}{7}$

$\therefore \quad u = \frac{7}{128}$ m

অভিলক্ষ্য হতে এটা দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব দূরত্ব

$$= \left(0·20 - \frac{7}{128}\right) = \frac{93}{640} \text{ m}$$

এখন অভিলক্ষ্যের জন্য, $v = \frac{93}{640}$ m এবং $f = 0·02$ m

$\therefore$ অভিলক্ষ্যের জন্য পাই, $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

বা, $\frac{640}{93} + \frac{1}{u} = \frac{1}{0·02}$

বা, $\frac{1}{u} = \frac{1}{0·02} - \frac{640}{93} = \frac{80·20}{1·86}$

$\therefore \quad u = \frac{1·86}{80·20} = 0·023$ m

অর্থাৎ অভিলক্ষ্য হতে বস্তু দূরত্ব $= 0·023$ m

৩। কোনো জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্যের ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 4 mm ও 50 mm। যদি অভিলক্ষ্য থেকে বাস্তব বিম্বের দূরত্ব 20 cm হয় এবং অভিনেত্র থেকে শেষ অবাস্তব বিম্বের দূরত্ব 25 cm হয় তবে ঐ অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন কত হবে ?

আমরা পাই,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

$$\text{এবং } m = \frac{v}{u} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$$

এখানে, অভিলক্ষ্যের জন্য

$v = 20$ cm

$f_0 = 4$ mm $= 0·4$ cm

$u = ?$

$\therefore$ সমীকরণ (i) হতে পাই,

$$\frac{1}{20} + \frac{1}{u} = \frac{1}{0·4}$$

বা, $\frac{1}{u} = \frac{1}{0·4} - \frac{1}{20} = \frac{50 - 1}{20} = \frac{49}{20}$

বা, $u = \frac{20}{49}$ cm

এবং অভিলক্ষ্যের বিবর্ধন, $m_1 = \frac{v}{u} = \frac{20}{\frac{20}{49}} = 49$

পুনঃ অভিনেত্রের ক্ষেত্রে,

সমীকরণ (i) হতে পাই,

এখানে,

$v = -25$ cm

$f_e = 50$ mm $= 5$ cm

$$-\frac{1}{25}+\frac{1}{u}=\frac{1}{5}$$

বা, $\frac{1}{u}=\frac{1}{5}+\frac{1}{25}=\frac{5+1}{25}=\frac{6}{25}$

$\therefore \quad u=\frac{25}{6}$

অভিনেত্রের বিবর্ধন, $m_2=\frac{v}{u}=\frac{25}{\frac{25}{6}}=6$

$\therefore$ যন্ত্রের মোট বিবর্ধন, $m = m_1 \times m_2 = 49 \times 6 = 294$

৬.৫ টেলিস্কোপ (দূরবীক্ষণ যন্ত্র)
Telescope

ভূমণ্ডলে বা নভোমণ্ডলে অবস্থিত দূরবর্তী বস্তু খালি চোখে স্পষ্টভাবে দেখা যায় না। এসব বস্তু দূরবীক্ষণ যন্ত্রে দেখা হয়। অতএব **দূরের বস্তুকে ভালোভাবে পর্যবেক্ষণের জন্য যে আলোক যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাকে দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে।** দূরবীক্ষণ যন্ত্র দুই প্রকার; যথা—

(১) প্রতিসরণ দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Refracting Telescope) এবং

(২) প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Reflecting Telescope)।

প্রতিসরণ দূরবীক্ষণ যন্ত্রে বড় উন্মেষ এবং ফোকাস দূরত্বের লেন্স থাকে। প্রতিসরণ দূরবীক্ষণ যন্ত্রকে তিন ভাগে ভাগ করা হয়েছে। যথা—

(ক) নভো বা জ্যোতিষ দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Astronomical Telescope),

(খ) ভূ-দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Terrestrial Telescope) এবং

(গ) গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Galilean Telescope)।

প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্য অবতল দর্পণের তৈরি। প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রকে আবার তিন ভাগে ভাগ করা হয়েছে, যথা—

(ক) নিউটনের দূরবীক্ষণ যন্ত্র, ২৮ ২৯

(খ) গ্রেগরীর দূরবীক্ষণ যন্ত্র এবং

(গ) হারসেলের দূরবীক্ষণ যন্ত্র।

এ অধ্যায়ে কয়েকটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন এবং কার্যপদ্ধতি আলোচনা করা হবে।

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র
Astronomical Telescope

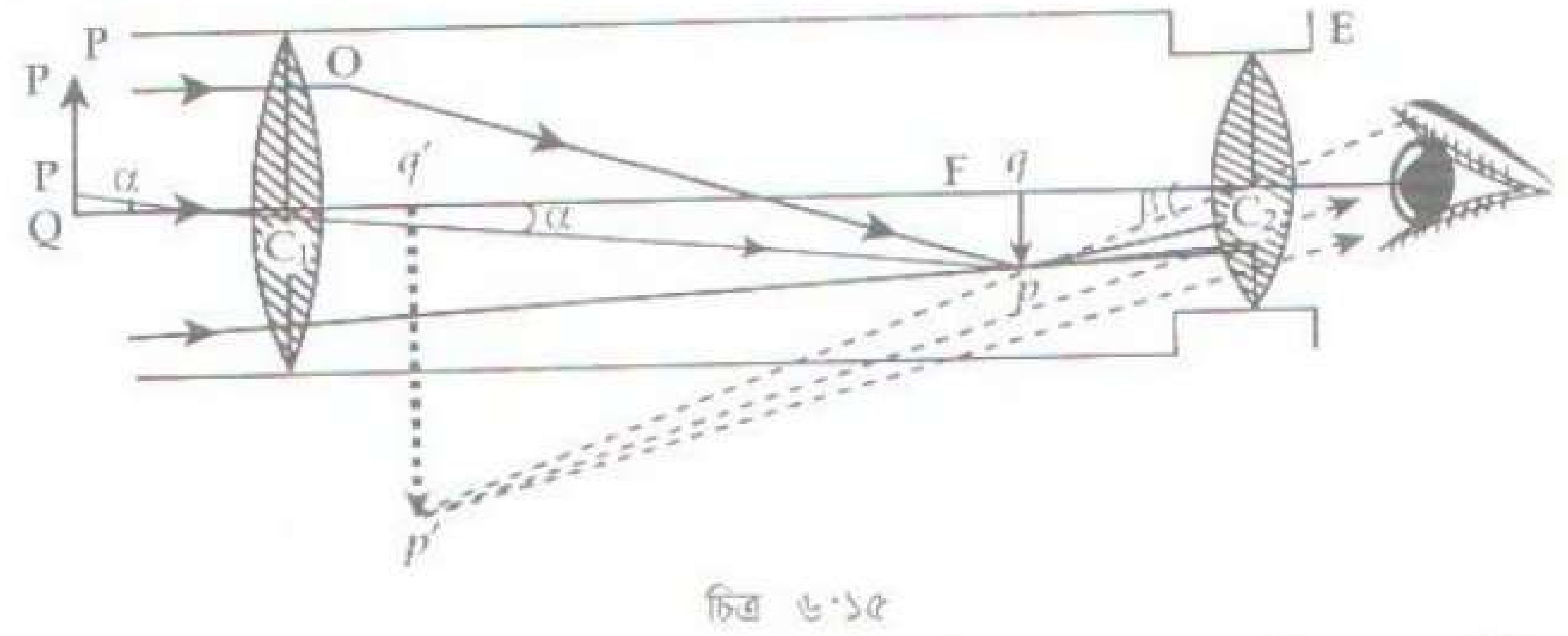
চন্দ্র, সূর্য, গ্রহ, নক্ষত্র প্রভৃতি নভোমণ্ডলীয় বস্তু পর্যবেক্ষণে **যে দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাকে নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র** বলে [চিত্র ৬.১৪]। ডেনমার্কের বিখ্যাত জ্যোতির্বিদ **কেপলার** 1611 খ্রিস্টাব্দে এটি সর্বপ্রথম উদ্ভাবন করেন।

চিত্র ৬.১৪

বর্ণনা : এই যন্ত্র প্রধানত দুটি উত্তল লেন্স দ্বারা গঠিত—একটি অভিলক্ষ্য (Objective), O এবং অপরটি অভিনেত্র (Eye-piece) E [চিত্র ৬.১৫]। অভিলক্ষ্য ক্রাউন কাচের তৈরি। একে সর্বদা লক্ষ্যবস্তুর দিকে রাখা হয়। এর ফোকাস দূরত্ব f_o এবং উন্মেষ বড়। অভিনেত্র ফ্লিন্ট কাচের তৈরি। একে দর্শক চোখের দিকে রেখে বস্তু দেখে। এর ফোকাস দূরত্ব f_e এবং উন্মেষ ছোট। লেন্স দুটিকে দুটি টানা নলের মধ্যে রেখে একটি লম্বা নলের দুই প্রান্তে সমাক্ষভাবে স্থাপন করা হয়। ফলে প্রয়োজন মতো লেন্স দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিবর্তন করা যায়।

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন বেশি, অথচ দৃষ্টিক্ষেত্র অল্প বলে তার গায়ে ভিউ ফাইন্ডার (View finder) নামে একটি ছোট যন্ত্র লাগানো থাকে। এই যন্ত্রটির বিবর্ধন অল্প, কিন্তু এর দৃষ্টিক্ষেত্র অপেক্ষাকৃত প্রশস্ত।

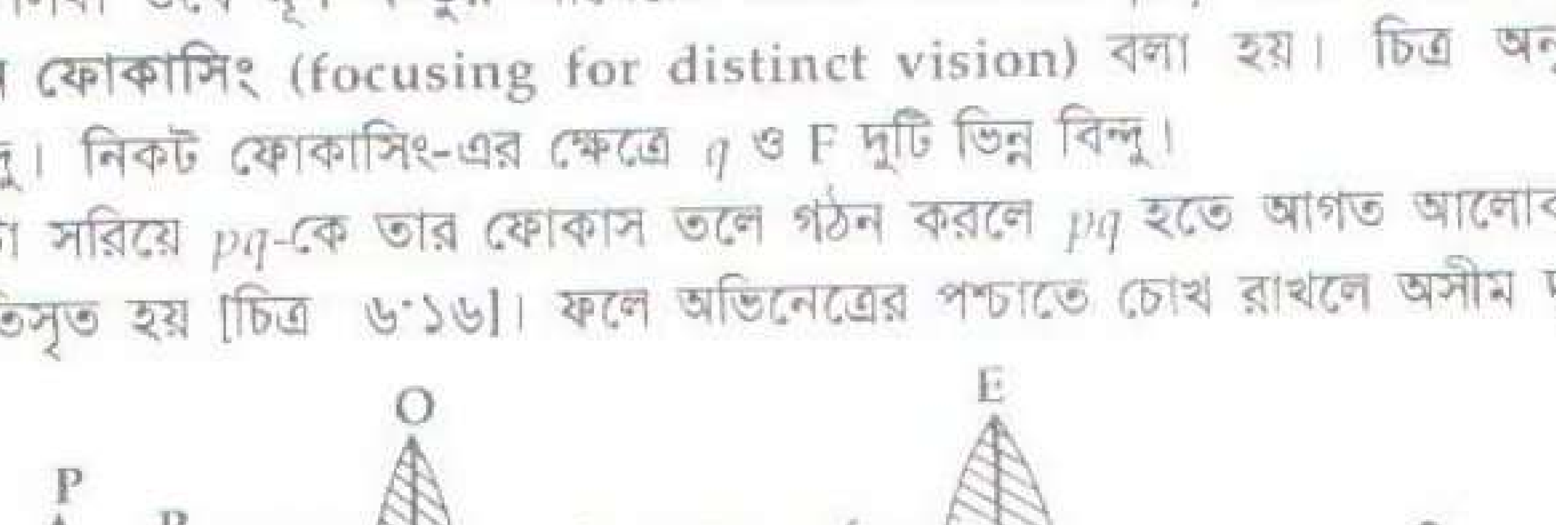
মূলনীতি (Principle) : বহুদূরবর্তী বস্তু থেকে আগত রশ্মিগুচ্ছ অভিলক্ষ্যের উপর পরস্পরের সমান্তরালে আপতিত হয়ে প্রতিসরণের পর প্রতিসৃত রশ্মিগুচ্ছ একটি বিন্দুতে মিলিত হয়। এই বিন্দুতে বস্তুর একটি বাস্তব, উল্টা ও খুবই ছোট প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। এই অবস্থায় অভিনেত্রকে এমনভাবে উপযোজন করা হয় যেন pq অভিনেত্রের ফোকাস ও আলোক কেন্দ্র C_2 এর মধ্যে থাকে। ফলে pq অভিনেত্রের জন্য লক্ষ্যবস্তুর কাজ করবে। pq থেকে নির্গত আলোকরশ্মিগুচ্ছ অভিনেত্রে প্রতিসরণের পর অভিনেত্র চোখের নিকট বিন্দুতে অর্থাৎ স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে শেষ



চিত্র ৬·১৫

অবাস্তব, বিবর্ধিত এবং সিধা তবে মূল বস্তুর সাপেক্ষে উল্টো প্রতিবিম্ব $p'q'$ গঠন করে [চিত্র ৬·১৫]। এ ধরনের ফোকাসিংকে **স্পষ্ট দর্শন ফোকাসিং** (focusing for distinct vision) বলা হয়। চিত্র অনুযায়ী F অভিনেত্র ও অভিলক্ষ্যের ফোকাস বিন্দু। নিকট ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে q ও F দুটি ভিন্ন বিন্দু।

অভিনেত্র খানিকটা সরিয়ে pq-কে তার ফোকাস তলে গঠন করলে pq হতে আগত আলোক রশ্মিগুলো অভিনেত্রে পরস্পরের সমান্তরালে প্রতিসৃত হয় [চিত্র ৬·১৬]। ফলে অভিনেত্রের পশ্চাতে চোখ রাখলে অসীম দূরত্বে এর একটি উল্টো



চিত্র ৬·১৬

অতিবিবর্ধিত প্রতিবিম্ব দৃষ্টিগোচর হয়। দূরবীক্ষণ যন্ত্রের এই ফোকাসিংকে **অসীম দূরত্বে বা স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং** বলা হয়।

এই দুই ধরনের ফোকাসিং-এর জন্য বিবর্ধন ক্ষমতা বা বিবর্ধনের রাশিমালা ভিন্নতর হবে। নিম্নে উভয় ধরনের ফোকাসিং-এর বিবর্ধন ক্ষমতার রাশিমালা প্রতিপাদন করা হলো।

(১) অসীম দূরত্বে বা স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং-এর বিবর্ধন : অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে pq ফোকাস তলে গঠিত হয়। এমতাবস্থায় q বিন্দু অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস বিন্দু। pq হতে আলোক রশ্মিগুলো পরস্পর সমান্তরালে প্রতিসৃত হয় [চিত্র ৬·১৬]। ফলে অভিনেত্রের বাম দিকে অসীম দূরত্বে একটি অবাস্তব, অতি বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হয়। অসীম ফোকাসিং-এ q এবং F একই বিন্দু। এমতাবস্থায়, C_2q = অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব $= f_e$ এবং C_1q = অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব $= f_0$। সুতরাং অসীম দূরত্বে বা স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে বিবর্ধন

$$m = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{C_1q}{C_2q} = \frac{f_0}{f_e} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (6.20)$$

সমীকরণ (6.20) হতে দেখা যায় যে অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে বিবর্ধন m দুটি উপায়ে বৃদ্ধি করা যায়—

(ক) অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব বৃদ্ধি করে এবং

(খ) অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব কমিয়ে।

(২) স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং-এর বিবর্ধন : এক্ষেত্রে $C_2q = u_2$ = অভিনেত্রে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে বস্তুর দূরত্ব। শেষ প্রতিবিম্বের অবস্থান q' ধরলে,

C_2q' = অভিনেত্র হতে শেষ প্রতিবিম্বের দূরত্ব $= v_2$ [∵ প্রতিবিম্ব অবাস্তব, তাই ঋণচিহ্ন]

$\therefore\ C_2q' = v_2 = -D$ = স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব।

অতএব, লেন্সের সমীকরণ

$$\frac{1}{v_2} + \frac{1}{u_2} = \frac{1}{f_e}$$ হতে পাই,

$$-\frac{1}{D} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f_e}$$

বা, $$\frac{1}{u} = \frac{1}{f_e} + \frac{1}{D} = \frac{D + f_e}{D \times f_e}$$

$$\therefore \quad u = \frac{D \times f_e}{D + f_e}$$

এখন, $C_1q \cong$ অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব $= f_0$

অতএব, বিবর্ধন ক্ষমতা, $m = \frac{C_1q}{C_2q} = \frac{f_0}{u} = f_0\left(\frac{D + f_e}{D \times f_e}\right) = f_0\left(\frac{1}{D} + \frac{1}{f_e}\right)$ ... ... (6.21)

বা, $m = \frac{f_0}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right)$ ... ... (6.22)

যন্ত্রের দৈর্ঘ্য : অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব হলো যন্ত্রের দৈর্ঘ্য। ধরি, যন্ত্রের দৈর্ঘ্য $= L$ এবং অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের দূরত্ব $= C_1C_2$

$\therefore$ যন্ত্রের দৈর্ঘ্য, $L = C_1C_2$

(i) অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে :

এক্ষেত্রে যন্ত্রের দৈর্ঘ্য, $L = C_1C_2 = C_1q + C_2q$

এখন, অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে q বিন্দু অভিনেত্র ও অভিলক্ষ্যের ফোকাস বিন্দু।

অতএব, $C_1q = f_e$ এবং $C_2q = f_0$

$\therefore \quad L = C_1q + C_2q = f_e + f_0$ ... ... (6.23)

অর্থাৎ, অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে যন্ত্রের দৈর্ঘ্য লেন্স দুটির ফোকাস দূরত্বের যোগফলের সমান।

(ii) স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে :

এক্ষেত্রে যন্ত্রের দৈর্ঘ্য, $L = C_1C_2 = C_1q + C_2q$

এক্ষেত্রে $C_2q = f_0$ এবং $C_1q = u$

আবার, $u = \frac{D \times f_e}{D + f_e}$

অতএব, যন্ত্রের দৈর্ঘ্য, $L = C_1q + C_2q = f_0 + u$

$$= f_0 + \frac{D \times f_e}{D + f_e} \quad \cdots \quad (6.24)$$

= অভিলক্ষ্যে প্রতিবিম্বের দূরত্ব + অভিনেত্রে বস্তুর দূরত্ব

কাজ : একটি অস্বচ্ছ কাগজ দ্বারা নভোদূরবীক্ষণের অভিলক্ষ্য লেন্সের অর্ধেক ঢেকে দিলে কি লক্ষ্যবস্তুর অর্ধেক দেখা যাবে ?

অস্বচ্ছ কাগজ দ্বারা নভোবীক্ষণের অভিলক্ষ্য লেন্সের অর্ধাংশ ঢেকে দিলে লক্ষ্যবস্তুর পূর্ণ প্রতিবিম্বই দেখা যাবে; তবে প্রতিবিম্বের উজ্জ্বলতা কিছু হ্রাস পাবে। এর কারণ হলো যে বস্তুর বিভিন্ন অংশ হতে আলোকরশ্মি এসে লেন্সের উভয় অর্ধেই পড়ে, তবে আচ্ছাদিত অর্ধাংশের উপর আপতিত হয়ে আলো প্রতিসৃত হতে পারে না কিন্তু অনাচ্ছাদিত অর্ধাংশের উপর আপতিত হয়ে আলো প্রতিসৃত হয় এবং বস্তুর পূর্ণাঙ্গ প্রতিবিম্ব গঠন করে। আপতিত মোট আলোক-রশ্মির এক অর্ধ প্রতিসৃত হতে পারে না বলে প্রতিবিম্বের উজ্জ্বলতা খানিকটা হ্রাস পায়।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যের ফোকাস দৈর্ঘ্য 200 cm এবং অভিনেত্রের ফোকাস দৈর্ঘ্য 5 cm। দূরবীক্ষণ যন্ত্র দ্বারা সৃষ্ট বিবর্ধন নির্ণয় কর, যখন বস্তুটিকে (i) অসীমে এবং (ii) 25 cm দূরে রাখা হয়। উভয় ক্ষেত্রেই লেন্স দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব নির্ণয় কর। [চ. বো. ২০০১]

এখানে

$f_0 = 200\text{ cm} = 2{\cdot}00\text{ m}$

$f_e = 5\text{ cm} = 0{\cdot}05\text{ m}$

$D = 25\text{ cm} = 0{\cdot}25\text{ m}$

মনে করি, বিবর্ধন ক্ষমতা $= m$

আমরা পাই,

(i) $m = \dfrac{f_0}{f_e} = \dfrac{2{\cdot}00}{0{\cdot}05} = 40$

এবং $L = f_0 + f_e = 2{\cdot}00 + 0{\cdot}05 = 2{\cdot}05$ m

(ii) $m = f_0 + \left(\dfrac{1}{D} + \dfrac{1}{f_e}\right) = 2 \times \left(\dfrac{1}{0{\cdot}25} + \dfrac{1}{0{\cdot}05}\right) = 48$

এবং $L = f_0 + \left(\dfrac{D \times f_e}{D + f_e}\right) = 2 + \left(\dfrac{0{\cdot}25 \times 0{\cdot}05}{0{\cdot}25 + 0{\cdot}05}\right) = 2{\cdot}04$ m

২। স্বাভাবিক দর্শনের জন্য 4 বিবর্ধনবিশিষ্ট একটি নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রের লেন্স দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·36 m (বা, 36 cm) হলে লেন্স দুটির ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর।

[সি. বো. ২০১১; রা. বো. ২০০৯; দি. বো. ২০০৯; কু. বো. ২০০৮; চ. বো. ২০০৮; ঢা. বো. ২০০৪]

মনে করি ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে f_0 এবং f_e।

∴ আমরা পাই,

$f_0 + f_e = 0{\cdot}36$ ... ... (i)

এবং $m = \dfrac{f_0}{f_e}$

বা, $4 = \dfrac{f_0}{f_e}$

∴ $f_0 = 4f_e$ ... ... (ii)

এখন সমীকরণ (i) এবং (ii) হতে পাই, $4f_e + f_e = 0{\cdot}36$

বা, $5f_e = 0{\cdot}36$

∴ $f_e = \dfrac{0{\cdot}36}{5} = 0{\cdot}072$ m

এখন সমীকরণ (ii) হতে পাই,

$f_0 = 4 \times 0{\cdot}072 = 0{\cdot}288$ m

∴ অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব = 0·288 m এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব = 0·072 m

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের সুবিধা : নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রে চারটি সুবিধা পরিলক্ষিত হয়; যথা—

(ক) এটি অধিক পরিমাণে বিবর্ধন সৃষ্টি করে,

(খ) এর দৃষ্টিক্ষেত্র প্রশস্ত,

(গ) প্রতিবিম্ব প্রায় ত্রুটি (aberration) মুক্ত এবং

(ঘ) প্রয়োজনে ক্রসওয়্যার এবং মাইক্রোমিটার স্ক্রু ব্যবহার করা হয়।

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অসুবিধা : এই যন্ত্রের দুটি অসুবিধা পরিলক্ষিত হয়; যথা—

(ক) নলটি খুবই দীর্ঘ হওয়ায় যন্ত্রটি বেশ বড় হয়, এবং

(খ) এই যন্ত্র বস্তুর উল্টা প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে বলে ভূ-পৃষ্ঠের দূরের বস্তু পর্যবেক্ষণে ব্যবহারযোগ্য হয় না।

কাজ :	**ভূ-দূরবীক্ষণ যন্ত্র কী ? বর্ণাপেরণ কী ? প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে বর্ণাপেরণের সৃষ্টি হলেও প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে বর্ণাপেরণের সৃষ্টি হয় না কেন ?**

ভূ-পৃষ্ঠের দূরবর্তী কোনো বস্তুকে দেখার জন্য যে দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করা হয় তাকে ভূ-দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে।

লেন্সের মধ্য দিয়ে সাদা আলোক রশ্মি প্রতিসরণের সময় এক এক বর্ণের আলোর দরুন লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব প্রধান অক্ষের এক এক জায়গায় গঠিত হয়ে একটি ত্রুটিপূর্ণ বর্ণিল ও ঝাপসা প্রতিবিম্ব গঠন করে। লেন্সের এ ধরনের ত্রুটির নাম বর্ণাপেরণ।

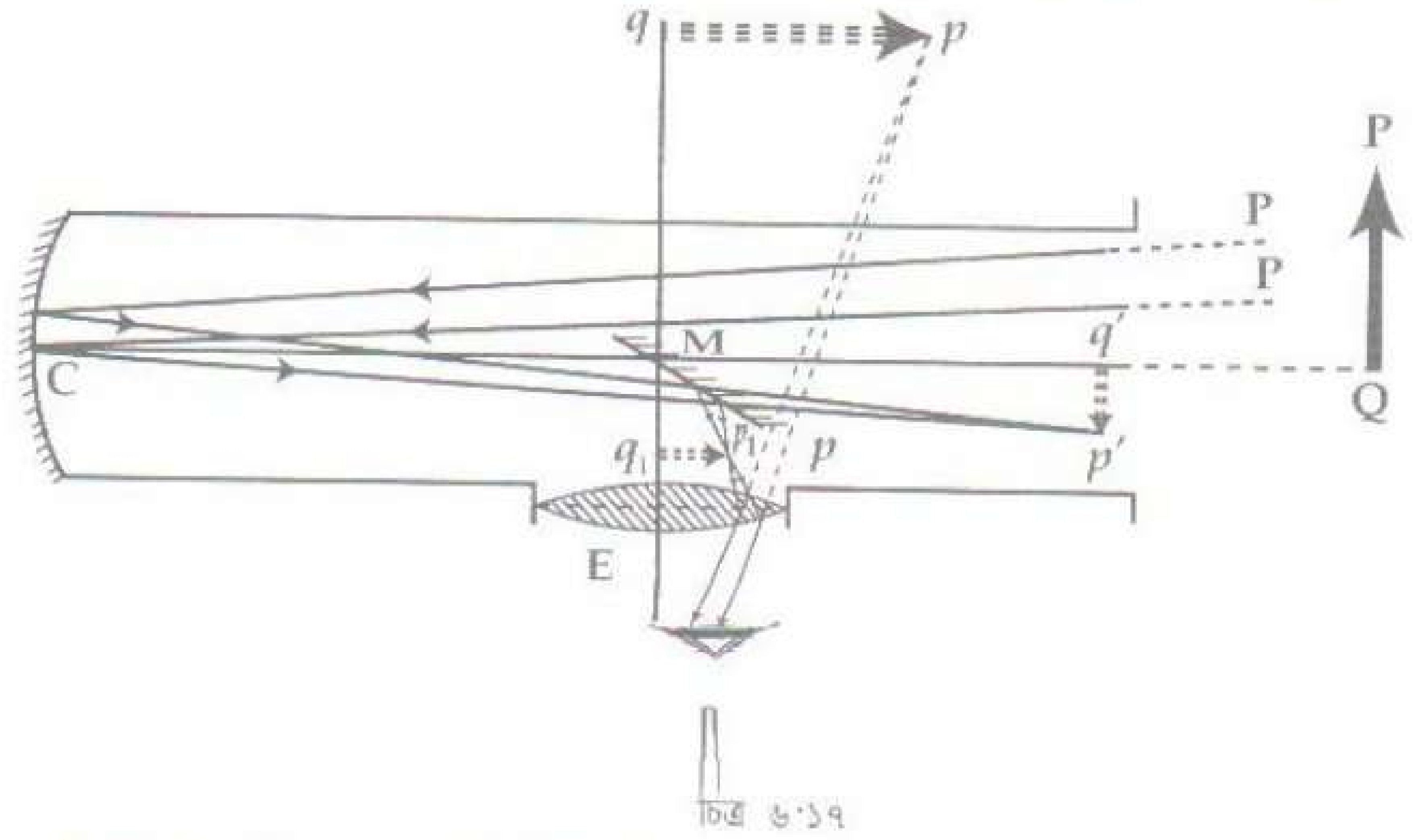
প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্য হিসেবে লেন্স ব্যবহার করা হয়। লেন্সের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণের সময় সাদা আলোক রশ্মি সাতটি বর্ণের রশ্মিতে বিশ্লিষ্ট হয়ে পড়ে। ফলে এক এক বর্ণের আলোর দরুন লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব রঙিন ও ঝাপসা প্রতিবিম্ব গঠন করে যা বর্ণাপেরণ নামে পরিচিত। অন্যদিকে প্রতিফলন দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্য হিসেবে দর্পন ব্যবহার করা হয়। ফলে এতে বর্ণাপেরণের সৃষ্টির সুযোগ থাকে না। এজন্য প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে বর্ণাপেরণের সৃষ্টি হলেও প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে বর্ণাপেরণের সৃষ্টি হয় না।

রিফ্লেক্টিং টেলিস্কোপ বা প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র
Reflecting Telescope

1663 খ্রিস্টাব্দে গ্রেগরী নামক একজন বিজ্ঞানী সর্বপ্রথম এই যন্ত্র উদ্ভাবন করেন। 1668 খ্রিস্টাব্দে স্যার আইজাক নিউটন সর্বাপেক্ষা প্রচলিত প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র প্রথম নির্মাণ করেন।

সাধারণভাবে বলা যায় যে, একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ যত বড় হবে তত লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব তত বড় ও উজ্জ্বল দেখাবে। কিন্তু বড় আকারের অভিলক্ষ্য লেন্সে সাদা আলোকের বর্ণ বিচ্ছুরণ ঘটে বলে লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্বের বর্ণ ত্রুটি ও আকার বিকৃতি ঘটে। প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে প্রতিবিম্বের এই ত্রুটিগুলো মোটামুটি বড় ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষের অবতল দর্পণের তৈরি অভিলক্ষ্য দ্বারা দূর করা হয়। এই কারণে পৃথিবীর বড় বড় মান-মন্দিরের নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রগুলো প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র—প্রতিসরণ দূরবীক্ষণ যন্ত্র নয়।

এই যন্ত্রে একটি ফাঁপা নলের এক প্রান্তে বড় ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষের একটি অবতল দর্পণ C থাকে এবং অপর প্রান্ত খোলা থাকে [চিত্র ৬.১৭]। এই নলের এক পার্শ্বে এবং অবতল দর্পণ হতে তার ফোকাস দূরত্ব অপেক্ষা কম দূরত্বে একটি ফাঁপা পার্শ্বনল থাকে। এই নলে একটি উত্তল লেন্স E অভিনেত্র হিসেবে বসানো থাকে। এ ছাড়া অবতল দর্পণ ও



চিত্র ৬.১৭

উত্তল লেন্সের প্রধান অক্ষের ছেদ বিন্দুতে একটি সমতল দর্পণ M অবতল দর্পণের প্রধান অক্ষের সাথে $45°$ কোণে আনত অবস্থায় নলের অভ্যন্তরে বসানো থাকে। দর্পণের প্রতিফলক পৃষ্ঠ অবতল দর্পণ ও লেন্সের দিকে মুখ করে থাকে।

মূলনীতি ও বর্ণনা : বহু দূরের বস্তু PQ-এর যে কোনো বিন্দু হতে আগত আলোক রশ্মি যন্ত্রের অবতল দর্পণ C-এ প্রায় পরস্পর সমান্তরালে আপতিত হয় এবং রশ্মিগুলো অবতল দর্পণ C-এ প্রতিফলিত হবার পর দর্পণের ফোকাস তলে বস্তুর আকারের চেয়ে অতি ছোট প্রতিবিম্ব $p'q'$ উৎপন্ন করার চেষ্টা করে। কিন্তু প্রতিফলিত রশ্মিগুলো প্রতিবিম্ব $p'q'$ গঠন করার পূর্বে সমতল দর্পণ M-এ প্রতিফলিত হয়ে পার্শ্ব নলে বস্তুর বাস্তব প্রতিবিম্ব p_1q_1 গঠন করে।

স্পষ্ট দর্শনে প্রতিবিম্ব গঠনের বা ফোকাসিং-এর জন্য অভিলক্ষ্য E-কে সামনে-পিছনে সরিয়ে এমন এক স্থানে রাখা হয় যাতে লেন্সের মধ্য দিয়ে তাকালে লক্ষ্যবস্তুর একটি সুস্পষ্ট বিবর্ধিত ও সিধা প্রতিবিম্ব pq চোখের স্পষ্ট দর্শনের নিকট বিন্দুতে গঠিত হয়।

অসীম দূরত্বে বা স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং-এর জন্য উত্তল লেন্সের অবস্থান এমনভাবে ঠিক করা হয় যেন প্রতিবিম্ব p_1q_1 উত্তল লেন্সটির ফোকাস তলে গঠিত হয়। এ অবস্থায় p_1q_1 হতে আগত আলোক রশ্মিগুলো উত্তল লেন্সে পরস্পরের সমান্তরালে প্রতিসৃত হয়। ফলে একটি অবাস্তব, সিধা এবং বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব অসীম দূরত্বে গঠিত হয়।

এখন, অবতল দর্পণ ও উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে f_0 ও f_e হলে স্পষ্ট দর্শণের ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে দেখানো যায় যে,

বিবর্ধন, $m = f_0\left(\frac{1}{D}+\frac{1}{f_e}\right)$ ... ... (6.25)

এখানে, D হলো স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব।

অসীম দূরত্বে বা স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে দেখানো যায় যে,

বিবর্ধন $\boxed{m = \frac{f_0}{f_e}}$ ... ... (6.26)

কাজ : দূরবীক্ষণ যন্ত্রে নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রের চেয়ে অতিরিক্ত একটি লেন্স ব্যবহার করা হয় কেন ?

অথবা, নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্র দিয়ে পৃথিবীর দূরবর্তী বস্তুকে দেখতে হলে অভিলক্ষ এবং অভিনেত্রের মাঝে একটি অতিরিক্ত উত্তল লেন্স ব্যবহার করতে হয় কেন ?

নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রে সৃষ্ট চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব লক্ষ্যবস্তুর সাপেক্ষে বাস্তব ও উল্টা হয়। নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের মাঝে একটি উত্তল লেন্স ব্যবহার করলে প্রতিবিম্বকে আরও একবার উল্টিয়ে লক্ষ্যবস্তুর সাপেক্ষে সোজা চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব গঠন করে। এজন্য অভিলক্ষ এবং অভিনেত্রের মাঝে একটি উত্তল লেন্স ব্যবহার করতে হয়।

প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রের সুবিধা :

১। এই দূরবীক্ষণে বর্ণ ত্রুটি বা গোলকীয় ত্রুটি থাকে না। ফলে উজ্জ্বল ও ত্রুটিমুক্ত প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়।

২। বড় উন্মেষের লেন্স তৈরির চেয়ে বড় উন্মেষের দর্পণ তৈরি অনেক সহজ।

অণুবীক্ষণ যন্ত্র ও দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বৈশিষ্ট্য
Characteristics of microscope and telescope

অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বৈশিষ্ট্য :

১। নিকটবর্তী অতি ক্ষুদ্র বস্তু পর্যবেক্ষণের কাজে ব্যবহৃত হয়।

২। অভিনেত্রের সাপেক্ষে অভিলক্ষ্য লেন্সের উন্মেষ ও ফোকাস দূরত্ব ছোট হয়।

৩। অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র উভয় দ্বারা প্রতিবিম্ব কম-বেশি বিবর্ধিত হয়।

৪। অভিলক্ষ্যে লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব তার ফোকাস দূরত্ব অপেক্ষা অধিক দূরত্বে গঠিত হয়।

৫। চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব লক্ষ্যবস্তুর সাপেক্ষে উল্টা হয়।

দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বৈশিষ্ট্য :

১। দূরের বস্তু দেখার কাজে ব্যবহৃত হয়।

২। অভিনেত্রের সাপেক্ষে অভিলক্ষ্য লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ বড় হয়।

৩। অভিলক্ষ্যে লক্ষ্যবস্তুর আকারের চেয়ে ছোট আকারের প্রতিবিম্ব গঠিত হয় এবং ঐ প্রতিবিম্ব অভিনেত্র দ্বারা বর্ধিত হয়।

৪। অভিলক্ষ্যে লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব তার ফোকাস তলে গঠিত হয়।

৫। চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব কোনো কোনো দূরবীক্ষণ যন্ত্রে লক্ষ্যবস্তুর সাপেক্ষে সিধা ও কোনো কোনো দূরবীক্ষণ যন্ত্রে উল্টা হয়।

৬.৬ প্রিজমে আলোর প্রতিসরণ ও বিচ্ছুরণ
Refraction and Dispersion of light in a Prism

প্রিজম
Prism

প্রিজমের সংজ্ঞা সম্পর্কে বিভিন্ন পদার্থবিদ বিভিন্ন ধারণা পোষণ করেন। এ সব ধারণার প্রেক্ষিতে প্রিজমের নিম্নলিখিত যে কোনো একটি সংজ্ঞা দেয়া যেতে পারে—

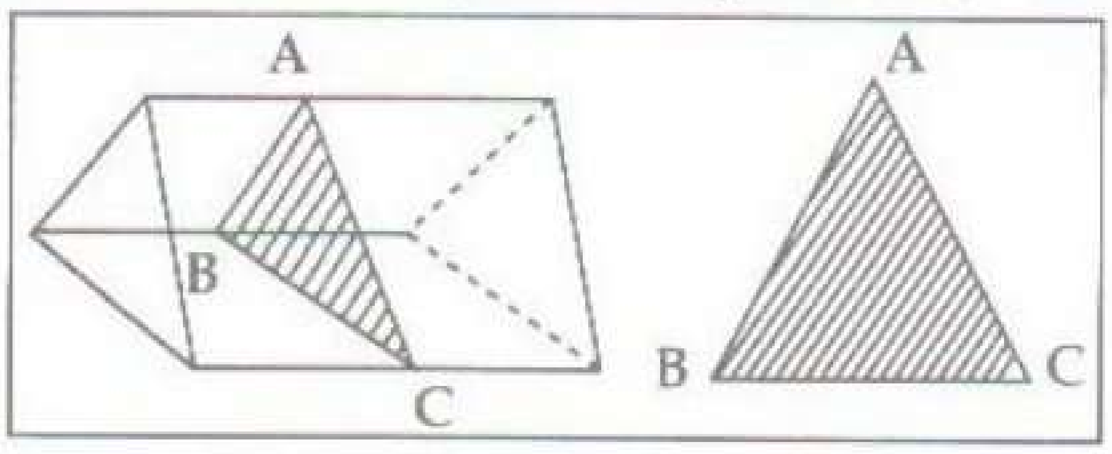
(১) তিনটি পরস্পরচ্ছেদী সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ একটি স্বচ্ছ সমসত্ত্ব মাধ্যমকে প্রিজম বলে।

(২) দুটি পরস্পর হেলানো সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ কোনো স্বচ্ছ সমসত্ত্ব প্রতিসারক মাধ্যমকে প্রিজম বলে।

(৩) তিনটি আয়তক্ষেত্রাকার এবং দুটি ত্রিভুজাকার সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ কোনো স্বচ্ছ সমসত্ত্ব প্রতিসারক মাধ্যমকে প্রিজম বলে। প্রিজমের মোট পাঁচটি তল থাকে। ৩টি আয়তক্ষেত্রাকার ও ২টি ত্রিভুজাকার।

(৪) একটি স্বচ্ছ বস্তুকে যদি ছয়টি আয়তক্ষেত্রিক তল দ্বারা এমনভাবে সীমাবদ্ধ করা হয় যে, যে কোনো দুই জোড়া বিপরীত তল সমান্তরাল, কিন্তু অপর দুটি তল সমান্তরাল না হয়ে পরস্পর আনত অবস্থায় থাকে, তা হলে তাকে প্রিজম বলে।

প্রিজমের যে তল দিয়ে আলোক রশ্মি প্রবেশ করে এবং যে তল দিয়ে আলোক রশ্মি বের হয়ে যায় তাদেরকে প্রিজমের **প্রতিসরণ তল** (Refracting surface) বলে। প্রতিসরণ তলদ্বয় যে রেখায় ছেদ করে তাকে **প্রিজমের শীর্ষ** (edge) বলে এবং তাদের মধ্যবর্তী কোণকে **প্রিজম কোণ** (Angle of the prism) বা **প্রতিসরণ কোণ** (Refracting angle) বলে। প্রিজম কোণের বিপরীত তলকে **প্রিজমের ভূমি** (Base) বলে। প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণ তলদ্বয়ের সাথে লম্ব হয় এমন যে কোনো একটি কল্পিত সমতলকে **প্রিজমের ছেদ** (Section) বলে।



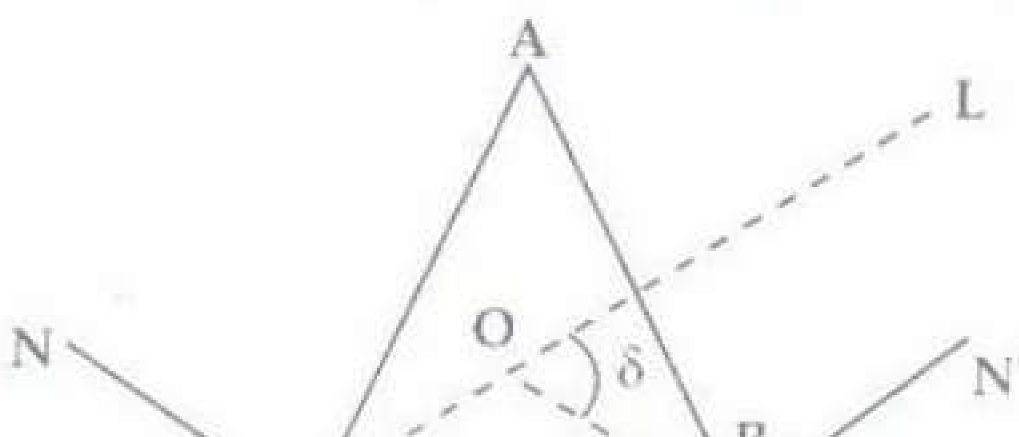
চিত্র ৬.১৮

৬.১৮নং চিত্রে AB এবং AC প্রিজমের প্রতিসরণ তল, $\angle A$ প্রিজম কোণ, BC প্রিজমের ভূমি এবং ABC প্রিজমের ছেদ।

প্রিজমের মধ্য দিয়ে আলোকের প্রতিসরণ
Refraction of light through prism

মনে করি ABC একটি প্রিজমের প্রধান ছেদ। AB এবং AC প্রতিসরণ তল, $\angle A$ প্রিজম কোণ এবং BC প্রিজমের ভূমি [চিত্র ৬.১৯]।

মনে করি PQ কোনো আপতিত রশ্মি বায়ু হতে প্রিজমের AB তলের Q বিন্দুতে তির্যকভাবে আপতিত হলো। এক্ষেত্রে আলোক রশ্মি লঘুতর মাধ্যম হতে ঘনতর মাধ্যমে প্রবেশ করার ফলে প্রতিসৃত রশ্মি Q বিন্দুতে AB তলের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব NQO′-এর অভিমুখে সরে গিয়ে QR পথে প্রতিসৃত হবে। এর পর ঐ রশ্মি AC তলের R বিন্দুতে আপতিত হবে এবং আবার বায়ু মাধ্যমে RS পথে নির্গত হবে। তা হলে আবার রশ্মিটির প্রতিসরণ ঘটবে এবং কাচ হতে বায়ুতে যাবার ফলে প্রতিসৃত রশ্মি AC তলের R বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব N′R হতে দূরে সরে যাবে। এখানে PQRS আলোক রশ্মির পথ নির্দেশ করে। যদি আলোকের পথে প্রিজমটি না থাকত তা হলে আপতিত রশ্মি PQ সোজাপথে চলে যেত। প্রিজমের উপস্থিতির ফলে আলোক রশ্মির পথ পরিবর্তিত হয়েছে অর্থাৎ আলোক রশ্মির বিচ্যুতি ঘটেছে। এখন আপতিত রশ্মি PQ-কে সামনের দিকে L পর্যন্ত এবং নির্গত রশ্মি RS-কে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে এরা O বিন্দুতে মিলিত হবে। এখানে ঐ রশ্মির জন্য $\angle SOL$ বিচ্যুতি কোণ নির্দেশ করে। এটিকে δ বা D দ্বারা সূচিত করা হয়।



চিত্র ৬.১৯

$\therefore \quad \angle SOL = \delta$ বা D.

বিচ্যুতি কোণের সংজ্ঞা : প্রিজমে আপতিত রশ্মিকে সামনের দিকে এবং নির্গত রশ্মিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে এদের অন্তর্ভুক্ত কোণকে বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি বলে। এক কথায় বলা যায়, **আপতিত রশ্মি এবং নির্গত রশ্মির অন্তর্ভুক্ত কোণকে বিচ্যুতি কোণ বলে।** একে δ বা D দ্বারা সূচিত করা হয়।

অঙ্কন : ধরি N′R-কে পিছনের দিকে বর্ধিত করায় তা NQO′-এর সাথে O′ বিন্দুতে মিলিত হলো।

বিচ্যুতির হিসাব : মনে করি $\angle PQN = i_1$, $\angle O'QR = r_1$, $\angle SRN' = i_2$ এবং $\angle O'RQ = r_2$।

তা হলে মোট বিচ্যুতি, δ = Q বিন্দুতে বিচ্যুতি + R বিন্দুতে বিচ্যুতি

বা, $\delta = x + x' = (i_1 - r_1) + (i_2 - r_2)$

বা, $\delta = (i_1 + i_2) - (r_1 + r_2)$ ... ... (6.27)

এখন, O′QR ত্রিভুজে, $\angle O' + \angle r_1 + \angle r_2$ = দুই সমকোণ ... (6.28)

পুনরায় AQO′R চতুর্ভুজে, $\angle AQO' = \angle ARO'$ = এক সমকোণ

$\therefore \quad \angle A + \angle O'$ = দুই সমকোণ ... ... (6.29)

$\therefore$ সমীকরণ (6.28) এবং (6.29) হতে আমরা পাই,

$\angle A + \angle O' = \angle O' + \angle r_1 + \angle r_2$

$\therefore \quad \boxed{\angle A = \angle r_1 + \angle r_2}$ ... ... (6.30)

এখন সমীকরণ (6.27)-এ $(r_1 + r_2)$-এর মান বসিয়ে আমরা পাই,

বিচ্যুতি, $\boxed{\delta = \angle i_1 + \angle i_2 - \angle A}$ ... ... (6.31)

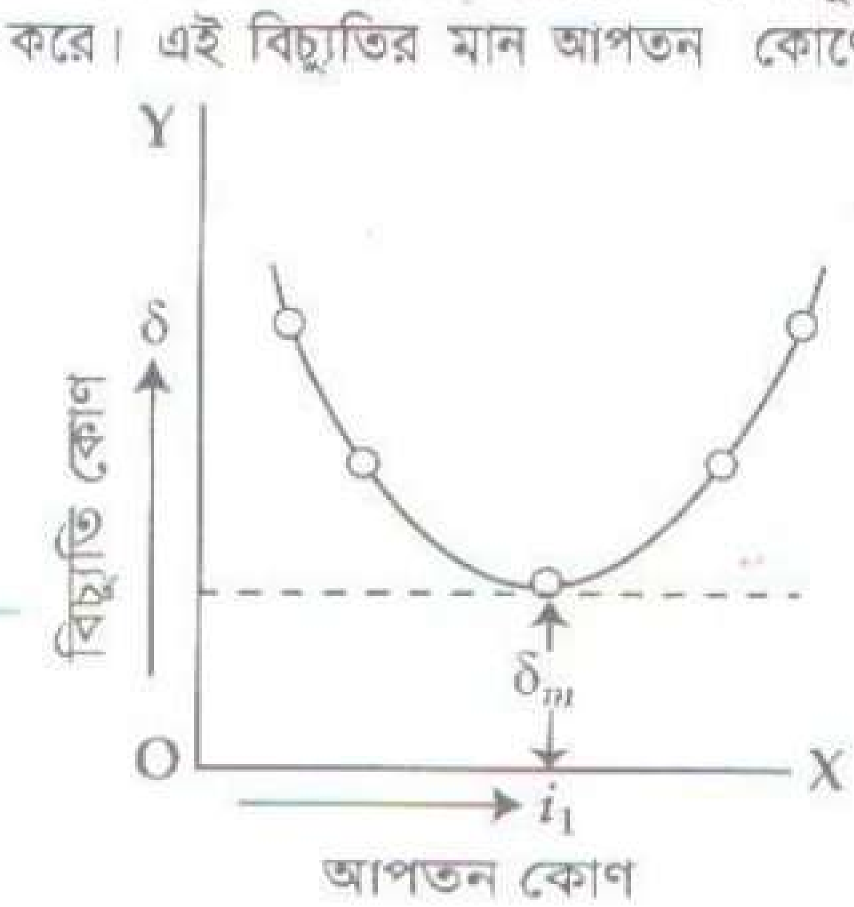
এটিই হলো প্রিজমের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মির বিচ্যুতির পরিমাণ নির্দেশক রাশিমালা।

অতএব, প্রথম আপতন কোণ, দ্বিতীয় প্রতিসরণ কোণ এবং প্রিজম কোণের মান জেনে প্রিজমের মধ্য দিয়ে অতিক্রমশীল রশ্মির বিচ্যুতি নির্ণয় করা যায়।

ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ, δ_m (Angle of minimum deviation, δ_m)

আমরা জানি, কোনো একটি প্রিজমের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মি গমন করলে প্রতিসরণজনিত কারণে তার বিচ্যুতি ঘটে এবং আপতিত ও নির্গত রশ্মির মধ্যবর্তী কোণই বিচ্যুতির পরিমাণ নির্দেশ করে। এই বিচ্যুতির মান আপতন কোণের উপর নির্ভর করে। নিম্নমান হতে শুরু করে আপতন কোণের মান ক্রমাগত বাড়াতে থাকলে বিচ্যুতির মান কমতে থাকে এবং আপতন কোণের এক নির্দিষ্ট মানের জন্য বিচ্যুতি সর্বাপেক্ষা কম হয় [চিত্র ৬·২০]। এর পর আপতন কোণ বাড়ালে বিচ্যুতি বাড়তে থাকে। **বিচ্যুতির এ সর্বনিম্ন মানকে ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ বলে** এবং একে δ_m বা D_m দ্বারা ব্যক্ত করা হয়।

সংজ্ঞা : প্রিজমে আপতিত রশ্মির আপতন কোণের একটি নির্দিষ্ট মানের জন্য বিচ্যুতি কোণের মান সর্বনিম্ন হয়। বিচ্যুতি কোণের এই সর্বনিম্ন মানকেই ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ বলে।



চিত্র ৬·২০

প্রিজমের যে অবস্থানে ন্যূনতম বিচ্যুতি হয়, সেই অবস্থানকে প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতির অবস্থান (Position of minimum deviation) বলে।

আপতন কোণ i_1-কে X-অক্ষে এবং বিচ্যুতি কোণ δ-কে Y-অক্ষে স্থাপন করে একটি লেখচিত্র অঙ্কন করলে যে আপতন কোণের জন্য বিচ্যুতি কোণের মান সবচেয়ে কম, ঐ বিচ্যুতি কোণই ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ। চিত্র ৬·২০-এ δ_m ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ।

পরীক্ষালব্ধ ফলাফল হতে দেখা যায় যে, ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে $i_1 = i_2$ ও $r_1 = r_2$। কাজেই ন্যূনতম বিচ্যুতিতে আলোক রশ্মি নিম্নের কয়েকটি শর্ত মেনে চলবে।

ন্যূনতম বিচ্যুতির শর্ত (Conditions for minimum deviation)

সরু প্রিজমের প্রতিসরণ কোণের পরিমাণ 4-6° এর মধ্যে হয়।

ন্যূনতম বিচ্যুতির তিনটি শর্ত আছে, যথা—

(১) ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে, $\boxed{\angle i_1 = \angle i_2 = \angle \frac{A + \delta_m}{2}}$ হবে ... ... (6.32)

(২) ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে, $\boxed{\angle r_1 = \angle r_2 = \angle \frac{A}{2}}$ হবে ... ... (6.33)

(৩) ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে আলোক রশ্মি প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসমভাবে (symmetrically) গমন করে অর্থাৎ প্রিজমের শীর্ষ হতে প্রথম ও দ্বিতীয় প্রতিসরণ পৃষ্ঠে আলোক রশ্মির আপতন বিন্দুর দূরত্ব সমান হবে [চিত্র ৬·১৯ AQ = AR]। এ অবস্থায় প্রতিসৃত রশ্মি সমদ্বিবাহু বা সমবাহু প্রিজমের ভূমির সমান্তরাল হবে।

প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক এবং ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণের মধ্যে সম্পর্ক
Relation between the refractive index of the material of the prism and angle of minimum deviation

মনে করি চারপাশের মাধ্যমের সাপেক্ষে প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক $= \mu$

$\therefore$ আমরা পাই, $\mu = \frac{\sin i_1}{\sin r_1} = \frac{\sin i_2}{\sin r_2}$ ... ... (6.34)

আমরা জানি, $\delta = i_1 + i_2 - A$ এবং $A = r_1 + r_2$

কিন্তু ন্যূনতম বিচ্যুতিতে আলোক রশ্মি প্রিজমের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করলে, $i_1 = i_2$ এবং $r_1 = r_2$

$\therefore \quad \delta_m = i_1 + i_2 - A = 2i_1 - A$

$\therefore \quad 2i_1 = A + \delta_m$ বা, $i_1 = \dfrac{A + \delta_m}{2}$ এবং $A = r_1 + r_2 = 2r_1$

$\therefore \quad r_1 = \dfrac{A}{2}$

এখন সমীকরণ (6.34)-এ i_1 এবং r_1-এর মান বসিয়ে আমরা পাই,

$$\boxed{\mu = \frac{\sin\frac{A + \delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.35)$$

উপরের সমীকরণ প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক এবং ন্যূনতম বিচ্যুতির মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করে।

কোনো প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতি 36° বলতে বুঝায় প্রিজমের আপতিত আলোক রশ্মির আপতন কোণের একটি নির্দিষ্ট মানের জন্য বিচ্যুতি কোণের সর্বনিম্ন মান 36° হয়। 36° কে ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণও বলে।

এখানে উল্লেখ করা যায় যে,

(i) ন্যূনতম বিচ্যুতির মান প্রিজমের উপাদান, চারপার্শ্বস্থ মাধ্যম, প্রিজমের কোণ ও আপতিত আলোকের বর্ণের উপর নির্ভর করে।

(ii) বেগুনি বর্ণের আলোকের চেয়ে লাল বর্ণের আলোকের জন্য ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ কম।

কাজ : একই উপাদানের তৈরি একটি ছোট প্রিজম ও একটি বড় প্রিজম উভয়ের প্রতিসরাঙ্ক সমান হবে কী ?

মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক এক জোড়া নির্দিষ্ট মাধ্যম ও একই বর্ণের আলোর উপর নির্ভরশীল। তাই প্রিজম দুটি যেহেতু একই উপাদানের তৈরি তাই প্রিজম ছোট বা বড় এর উপর প্রতিসরাঙ্ক নির্ভর করে না। এক্ষেত্রে তাই উভয় প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক একই হবে।

নিজে কর : লাল আলো এবং বেগুনি আলোর জন্য প্রতিসরাঙ্কের মানের কোনো তারতম্য হবে কী ?

মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর নির্ভরশীল। তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মান বেশি হলে প্রতিসরাঙ্কের মান কমে যায়। আবার তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মান কমে গেলে প্রতিসরাঙ্কের মান বেড়ে যায়। তাই লাল আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি হওয়ায় এই আলোর জন্য মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক কম হবে। অন্যদিকে বেগুনি আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কম হওয়ায় বেগুনি আলোর জন্য মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বেশি হবে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। 1·5 প্রতিসরাঙ্কের কোনো কাচ প্রিজমের এক পৃষ্ঠের উপর আলোক রশ্মি লম্বভাবে আপতিত হয় এবং প্রিজমের দ্বিতীয় পৃষ্ঠের গা ঘেঁষে নির্গত হয়। প্রিজম কোণ নির্ণয় কর।

এখানে,
$\mu = 1{\cdot}5$
$r_2 = \theta_c$
$i_1 = 0°$

আমরা জানি,

$r_1 + r_2 = A \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$

এবং $\mu = \dfrac{1}{\sin\theta_c} \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$

সমীকরণ (ii) থেকে পাই, $1{\cdot}5 = \dfrac{1}{\sin\theta_c}$

$\therefore \sin\theta_c = \dfrac{1}{1{\cdot}5}$

$\therefore \quad \theta_c = 41{\cdot}81° = r_2$

এখন, $i_1 = 0$

$\therefore \quad r_1 = 0$

সমীকরণ (i) থেকে পাই,

$0 + 41{\cdot}81° = A$

$\therefore \quad A = 41{\cdot}81°$

২। একটি প্রিজমকে ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানে স্থাপন করে আপতন কোণের মান 40° পাওয়া যায়। প্রিজমটির উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 হলে প্রিজম কোণ কত ? [য. বো. ২০০৪]

এখানে,

$i_1 = i_2 = 40°$

$\mu = 1·5$

$A = ?$

আমরা জানি,

$$\mu = \frac{\sin\frac{A+\delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

বা, $$1·5 = \frac{\sin\frac{A+i_1+i_2-A}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

বা, $$1·5 = \frac{\sin\frac{i_1+i_2}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$ [ন্যূনতম বিচ্যুতি $\delta_m = i_1 + i_2 - A$ এবং $i_1 = i_2$]

* কোনটা দিয়ে করলে — হতে পারে?

বা, $$1·5 = \frac{\sin i_1}{\sin\frac{A}{2}}$$

* আতশী কাঁচ হিসেবে [illegible] হয় — উত্তর কোনটা

বা, $$\sin\frac{A}{2} = \frac{\sin 40°}{1·5} = \frac{0·642}{1·5} = 0·4285$$

বা, $$\frac{A}{2} = \sin^{-1} 0·4284 = 25·37°$$

$$\therefore \quad A = 2 \times 25·37°$$

$$= 50·74° = 50°44'$$

৩। একটি প্রিজমে কোনো একটি রশ্মির নির্গমন কোণ প্রিজম কোণের সমান কিন্তু ঐ তলের আপতন কোণের দ্বিগুণ। প্রিজম উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{3}$ হলে দেখাও যে, প্রিজম কোণ 60°। [কু. বো. ২০০৪]

এখানে,

নির্গমন কোণ, $r_2 = A = r$

আপতন কোণ, $i_2 = \frac{r_2}{2} = \frac{A}{2} = i$

${}_a\mu_g = \sqrt{3}$

$\therefore \quad {}_g\mu_a = \frac{1}{\sqrt{3}}$

$A = ?$

আমরা জানি, আলোক রশ্মিটি কাচ থেকে বায়ুতে গেলে,

$${}_g\mu_a = \frac{\sin i}{\sin r}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sin\frac{A}{2}}{\sin A}$$

$$= \frac{\sin\frac{A}{2}}{2\sin\frac{A}{2}\cos\frac{A}{2}}$$

$$= \frac{2}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\cos\frac{A}{2}}$$

$$\therefore \cos\frac{A}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\therefore \frac{A}{2} = 30°$$

$\therefore \quad A = 60°$ (প্রমাণিত)

৪। একটি প্রিজমের প্রতিসারক কোণ $60°$ এবং এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1.48। ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ নির্ণয় কর।
[সি. বো. ২০১০; ব. বো. ২০০৯; চ. বো. ২০০...]

আমরা জানি,

$$\mu = \frac{\sin\frac{A + \delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

এখানে,
$A = 60°$
$\mu = 1.48$

বা, $1.48 = \frac{\sin\frac{60° + \delta_m}{2}}{\sin\frac{60°}{2}}$ বা, $1.48 = \frac{\sin\frac{60° + \delta_m}{2}}{\sin 30°}$

বা, $1.48 = \frac{\sin\frac{60° + \delta_m}{2}}{\frac{1}{2}}$ বা, $\sin\frac{60° + \delta_m}{2} = \frac{1.48}{2}$

বা, $\frac{60° + \delta_m}{2} = \sin^{-1}\frac{1.48}{2}$ বা, $\frac{60° + \delta_m}{2} = 47.73$

বা, $60° + \delta_m = 95.46°$

$\therefore$ $\delta_m = 35.46°$

কাজ : লেন্স এবং প্রিজমের আলোর প্রতিসরণ তুলনা কর।

লেন্সের মধ্য দিয়ে একগুচ্ছ আলোকরশ্মি গমনকালে কোথাও মিলিত হবে না (অবতল লেন্সে) অথবা কোনো কিছু থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হয় (অবতল লেন্সে)। অপর পক্ষে, প্রিজমের মধ্য দিয়ে সাদা আলোক রশ্মি প্রতিসরণের ফলে সাতটি মূল বর্ণসমূহের একটি সজ্জা পাওয়া যায় যাকে বর্ণালী বলে। বিচ্ছুরিত আলোক রশ্মিসমূহ প্রত্যেকেই একবর্ণী।

আলোর বিচ্ছুরণ
Dispersion of light

হীরা, মূল্যবান রত্ন, স্ফটিক ইত্যাদির মধ্য দিয়ে আলো প্রবেশ করলে তা বিভিন্ন উজ্জ্বল বর্ণের সৃষ্টি করে, এই অভিজ্ঞতা মানুষের প্রাচীনকাল থেকেই ছিল। বিভিন্ন উজ্জ্বল বর্ণ সৃষ্টির ক্ষমতার উপর নির্ভর করেই রত্নরাজির মূল্য কম-বেশি হতো। কিন্তু সাধারণ আলো প্রবেশে কেন উজ্জ্বল বর্ণের আলো সৃষ্টি হয় তার ব্যাখ্যা কারো জানা ছিল না। 1666 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত বিজ্ঞানী স্যার আইজাক নিউটন পরীক্ষার সাহায্যে প্রথম প্রমাণ করেন যে, **সাদা আলোর প্রকৃতি যৌগিক।**

সূর্যের সাদা রশ্মি কাচ প্রিজমের মধ্য দিয়ে গমন করলে প্রতিসৃত রশ্মি সাতটি ভিন্ন বর্ণে বিচ্ছুরিত হবার কারণ কী ? কেনই বা রশ্মিগুলি প্রিজমের দিকে বেঁকে যায় ? কাচের মতো বিচ্ছুরক মাধ্যমে বিভিন্ন বর্ণের আলোকরশ্মির গতিবেগ বিভিন্ন। লাল আলোর গতিবেগ সর্বাপেক্ষা বেশি এবং বেগুনি বর্ণের সর্বাপেক্ষা কম। বিভিন্ন গতিবেগের ফলে প্রিজমের বেধ অতিক্রম করতে লাল, নীল প্রভৃতি আলোকরশ্মি বিভিন্ন সময় নেয় এবং পরস্পর হতে পৃথক হয়ে পড়ে। শূন্য মাধ্যমে অথবা বায়ুতে বিভিন্ন বর্ণের আলোকরশ্মির গতিবেগ সমান বলে শূন্য মাধ্যম অথবা বায়ু মাধ্যম দিয়ে যাবার সময় সাদা আলোর কোনো বিচ্ছুরণ হয় না। সাদা রঙের আলোর এই সাতটি রঙে বিশ্লিষ্ট হওয়ার প্রক্রিয়াকে বিচ্ছুরণ বলে। প্রিজম হতে নির্গত রশ্মিকে পর্দার উপর ফেললে সাতটি রঙের এক মনোরম পট্টি (Band) দেখা যায়। এই রঙিন পট্টির নাম বর্ণালী (Spectrum)। সুতরাং, বিচ্ছুরণ বর্ণালীর নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়।

সংজ্ঞা : সাদা আলোক রশ্মি প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণের ফলে সাতটি মূল বর্ণের আলোকে বিভক্ত হওয়াকে আলোর বিচ্ছুরণ বলে।

সাধারণভাবে বলা যায় যে, **কোনো যৌগিক আলোক রশ্মির বিভিন্ন বর্ণে বিভক্ত হওয়াকে বিচ্ছুরণ বলে।**

বিচ্ছুরণের ফলে মূল বর্ণসমূহের যে সজ্জা পাওয়া যায় তাকে বর্ণালী বলে।

বিচ্ছুরক মাধ্যম : যে মাধ্যম এ ধরনের বিচ্ছুরণ ঘটায় তাকে বিচ্ছুরক মাধ্যম (Dispersive medium) বলে।

সাদা আলোক বিশ্লিষ্ট হলে যে সাতটি বর্ণ পাওয়া যায় এদের প্রত্যেকটির একটিমাত্র তরঙ্গদৈর্ঘ্য থাকে, তাই প্রত্যেকটিকে একবর্ণী আলোক বলে।

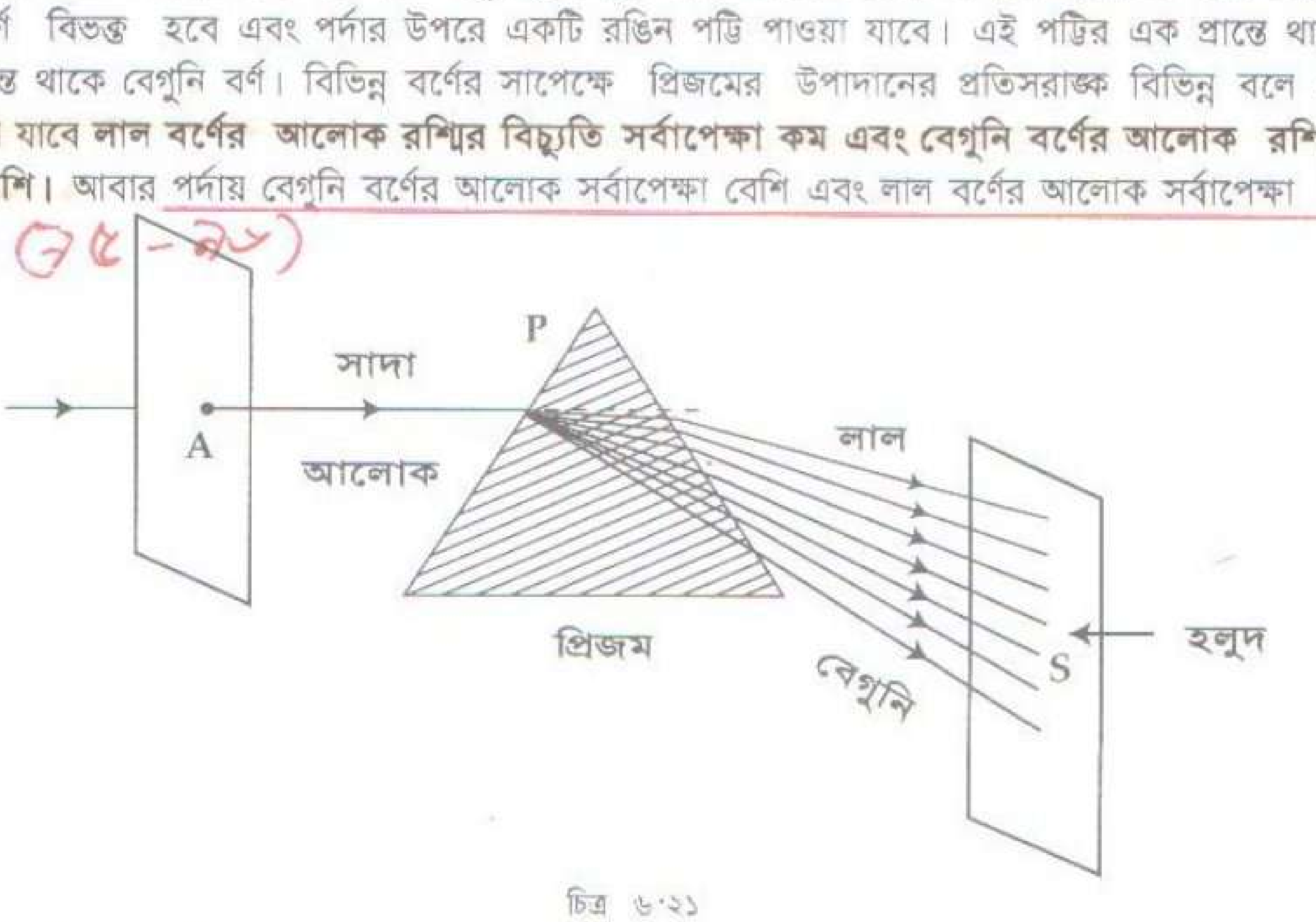
অর্থাৎ **যে আলোক রশ্মির একটিমাত্র তরঙ্গদৈর্ঘ্য থাকে তাকে একবর্ণী আলো** (monochromatic light) বলে।

আলো যখন কোনো মাধ্যমের মধ্য দিয়ে অগ্রসর হয় তখন পদার্থের ইলেকট্রন দ্বারা উক্ত বিকিরণ শোষিত হয়। ফলে ঐ সকল ইলেকট্রন অতিরিক্ত শক্তির কারণে নতুনভাবে ছন্দিত গতিসম্পন্ন হয় এবং অণু–অণু সংঘর্ষ কিংবা পুনরায় বিকিরণের মাধ্যমে এই শক্তি হ্রাস পায়। সুতরাং ছন্দিত গতিসম্পন্ন ইলেকট্রন শোষিত বিকিরণ পুনরায় স্পেসে বিকিরণ করতে পারে। এই প্রক্রিয়াকে বিকিরণের বিক্ষেপণ বলে।

সাদা আলোক বিশ্লিষ্ট হলে যে সাতটি বর্ণ পাওয়া যায় ঐ বর্ণগুলো যথাক্রমে **বেগুনি** (Violet), **নীল** (Indigo), **আসমানি** (Blue), **সবুজ** (Green), **হলুদ** (Yellow), **কমলা** (Orange) এবং **লাল** (Red)। এই বর্ণগুলোর এক প্রান্তে থাকে **লাল** এবং অপর প্রান্তে থাকে **বেগুনি।** লাল এবং বেগুনি বর্ণের মধ্যে থাকে বাকি পাঁচটি বর্ণ। বর্ণালীর বর্ণ সজ্জাকে সহজে মনে রাখার জন্য বর্ণগুলোর নামের বাংলা প্রথম অক্ষর নিয়ে **বেনীআসহকলা** পদ গঠন করা হয়েছে। ইংরেজিতে অনুরূপ পদ 'VIBGYOR'।

পরীক্ষা : (১) মনে করি, অস্বচ্ছ পর্দায় A একটি সরু ছিদ্র, P একটি কাচ প্রিজম এবং প্রিজমের অপর পার্শ্বে কিছু দূরে অবস্থিত S একটি পর্দা [চিত্র ৬·২১]। সরু ছিদ্র দিয়ে সাদা আলোক রশ্মি প্রিজমে আপতিত হলে প্রতিসৃত রশ্মিটি সাতটি মূল বর্ণে বিভক্ত হবে এবং পর্দার উপরে একটি রঙিন পট্টি পাওয়া যাবে। এই পট্টির এক প্রান্তে থাকে লাল বর্ণ এবং অপর প্রান্তে থাকে বেগুনি বর্ণ। বিভিন্ন বর্ণের সাপেক্ষে প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক বিভিন্ন বলে এই বর্ণালীর সৃষ্টি হয়। দেখা যাবে **লাল বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি সর্বাপেক্ষা কম এবং বেগুনি বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি সর্বাপেক্ষা বেশি।** আবার পর্দায় বেগুনি বর্ণের আলোক সর্বাপেক্ষা বেশি এবং লাল বর্ণের আলোক সর্বাপেক্ষা কম স্থান

(৩৫-৩৬)



চিত্র ৬·২১

দখল করে থাকে। হলুদ বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি লাল ও বেগুনি বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতির মাঝামাঝি। এজন্য এর বিচ্যুতিকে **গড় বিচ্যুতি** (Mean deviation) এবং **হলুদ** বর্ণের রশ্মিকে **মধ্য রশ্মি** (Mean ray) বলা হয়।

(২) মুখে পানি নিয়ে সূর্যকে পিছনে রেখে মুখ দিয়ে আস্তে আস্তে পানি ছিটিয়ে দিলে পানি বিন্দুর মধ্য দিয়ে সূর্য রশ্মির প্রতিসরণের ফলে সাতটি বর্ণবিশিষ্ট একটি ধনুকাকৃতি বর্ণালী দেখা যাবে।

(৩) সূর্যের আলোক রশ্মি মেঘের গোলাকৃতি পানি বিন্দুর উপর আপতিত হবার পর প্রতিসরণের ফলে আকাশের গায়ে **রংধনু** বা **রামধনু** (Rainbow) সৃষ্টি করে। আকাশের যে দিকে সূর্য তার বিপরীতে সাধারণত এই বর্ণালী দেখা যায়।

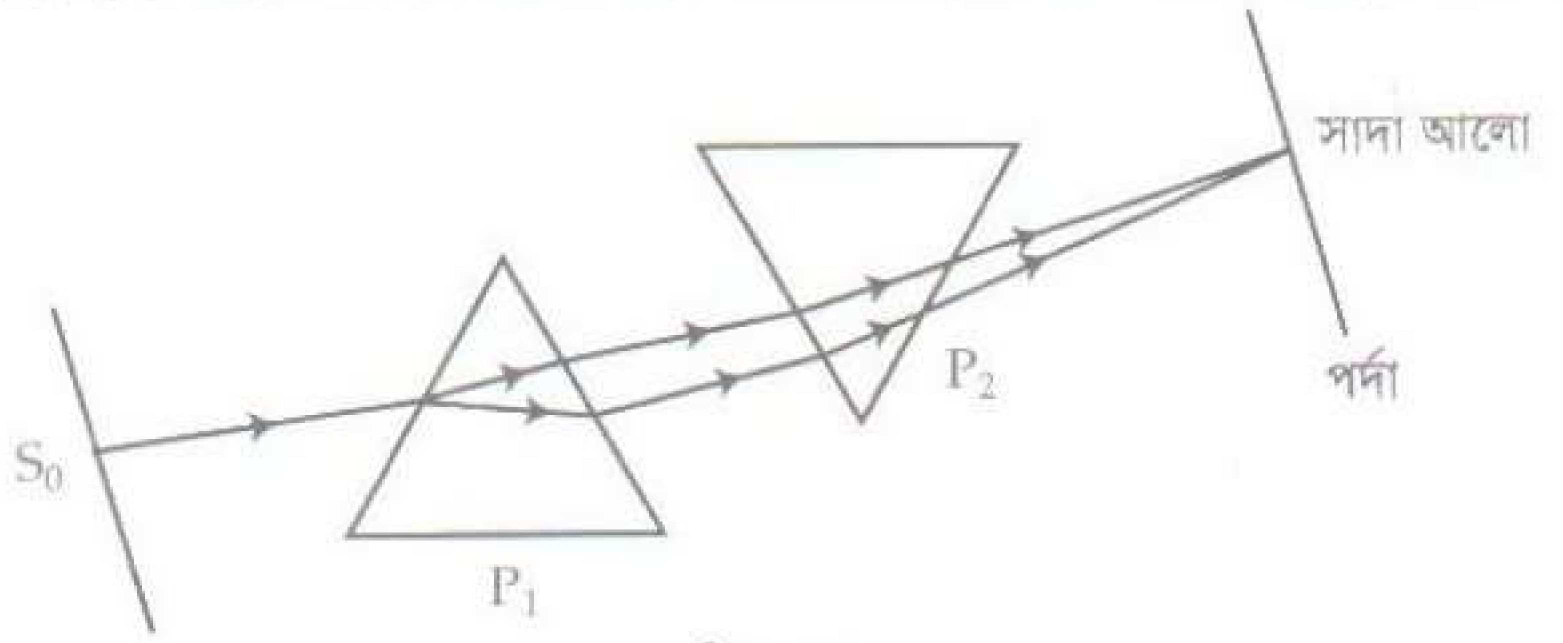
লাল, নীল, আসমানি ইত্যাদিকে মূল বর্ণ বলা হয়। এর কারণ বর্ণগুলোর যেকোনো একটি প্রিজমের মধ্য দিয়ে গমন করলে এদের কোনো বিচ্ছুরণ ঘটবে না।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : সাদা আলো কাচ প্রিজমে প্রবেশ করলে বর্ণালী সৃষ্টি হয় কেন ?

সাদা আলোতে সাতটি বর্ণের আলোক রশ্মি থাকে। প্রতিটি আলোক রশ্মির জন্য প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক ভিন্ন মানের। তাই এরা প্রিজমের মধ্য দিয়ে গমনকালে ভিন্ন ভিন্ন মানে বিচ্যুত হয়। তখন আলোক রশ্মিগুলো ভিন্ন ভিন্ন কোণে আমাদের চোখে প্রবেশ করলে সাতটি বর্ণ আমরা আলাদাভাবে বুঝতে পারি। এ কারণে সাদা আলো প্রিজমে প্রবেশ করলে বর্ণালী সৃষ্টি হয়।

পরীক্ষণ : বর্ণালীর বিভিন্ন বর্ণকে সঠিক অনুপাতে মিশালে পুনরায় সাদা আলো পাওয়া যায়।

পরীক্ষণটি করার জন্য প্রথম প্রিজম P_1-এর মতো ঠিক একই রকম অপর একটি প্রিজম P_2 নিতে হবে। একে উল্টাভাবে P_1 প্রিজমের পিছনে এমনভাবে রাখা হলো যাতে উভয় প্রিজমের প্রতিসারক ধারগুলি এবং S রেখাছিদ্র সমান্তরাল



চিত্র ৬·২২

হয় [চিত্র ৬·২২]। দেখা যায় যে, সাদা আলো প্রথম প্রিজম দ্বারা বিভিন্ন বর্ণে বিশ্লিষ্ট হওয়ার পর দ্বিতীয় প্রিজম কর্তৃক পুনর্যোজিত হয়। দ্বিতীয় প্রিজম হতে নির্গত হবার পর রশ্মিগুলি পর্দার উপর একটি সাদা পট্টি গঠন করে।

কাজ : উড্ডয়মান উড়োজাহাজের ছায়া মাটিতে পড়ে না কেন ? ব্যাখ্যা কর।

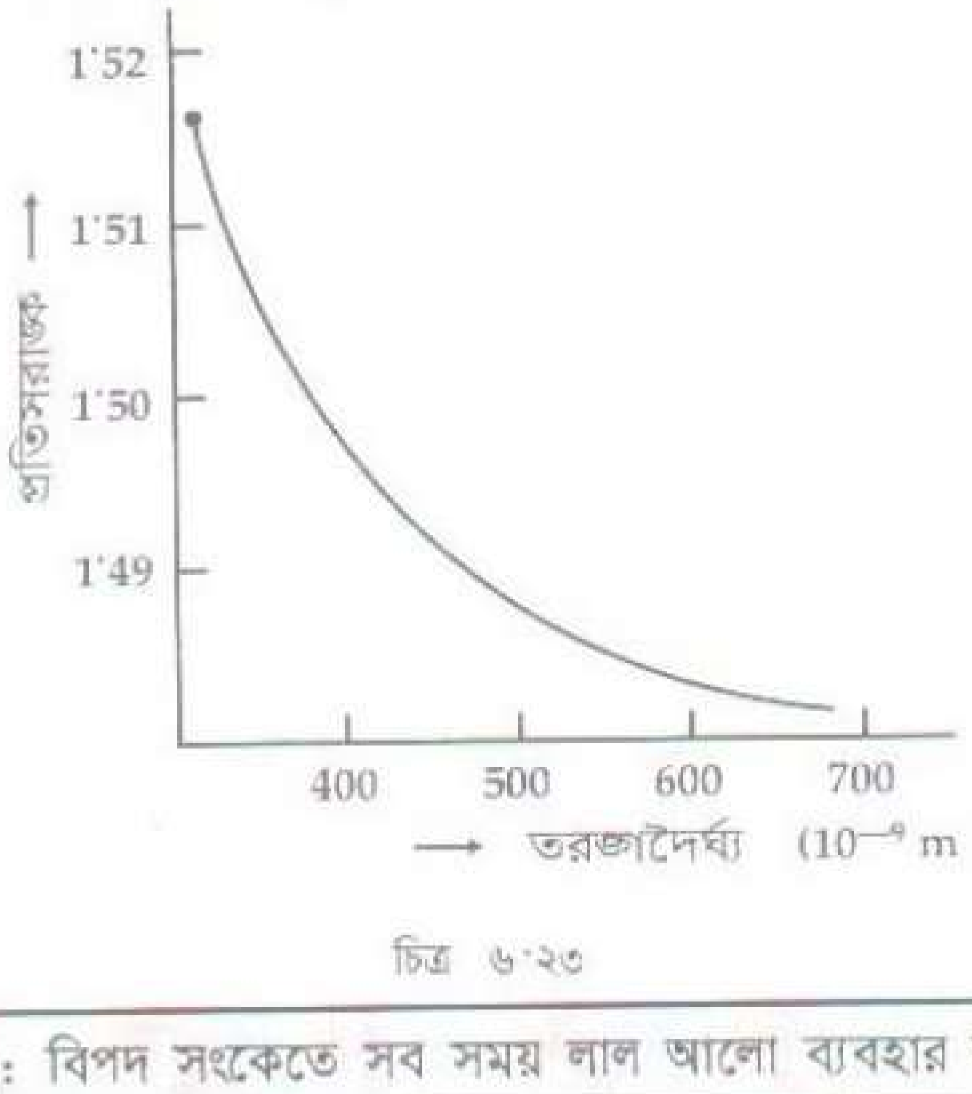
আমরা জানি, উড্ডয়মান উড়োজাহাজ মেঘের উপর দিয়ে চলাচল করে। ফলে ছায়া ভূমিতে পড়ার পূর্বেই তা মেঘের উপর পড়ে যা মেঘ ভেদ করে আর মাটিতে আসে না। এজন্যই উড্ডয়মান উড়োজাহাজের ছায়া মাটিতে পড়ে না।

বর্ণালী উৎপত্তির কারণ

Cause of formation of spectrum

প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক ছাড়াও আলোকের বর্ণের উপর নির্ভর করে। বিভিন্ন আলোক বর্ণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিভিন্ন। লাল বর্ণের আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি, প্রায় 8000 Å, তাই এর বিচ্যুতি কম হয়। বেগুনি বর্ণের আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য কম, প্রায় 4000 Å বলে প্রিজমের মধ্য দিয়ে যাবার সময় এর বিচ্যুতি বেশি হয়।

আরও বলা যায় যে, বিভিন্ন বর্ণের আলোকের **প্রতিসরণীয়তা** (Refrangibility) বিভিন্ন। উপরোক্ত ব্যাখ্যাগুলো হতে **আলোকের বিচ্ছুরণ বা বর্ণালী উৎপত্তির কারণ সম্পর্কে আমরা নিম্নলিখিত দুটি সিদ্ধান্তে উপনীত হতে পারি—**



চিত্র ৬·২৩

(১) বিভিন্ন বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের পার্থক্যভেদে বিভিন্ন হয় বলে বর্ণালী উৎপন্ন হয়।

(২) সাদা আলোকের মধ্যে যে সাতটি মূল বর্ণের আলোক আছে তাদের জন্য মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের বিভিন্নতা হেতু বর্ণালী উৎপন্ন হয়।

চিত্র ৬·২৩-এ প্রতিসরাঙ্ক বনাম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের লেখচিত্র দেখানো হয়েছে। লেখচিত্র থেকে দেখা যায় যে, যে আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি সে আলোর প্রতিসরাঙ্ক কম, ফলে কম বেঁকে যায়। এ কারণে লাল আলোর প্রতিসরণ কম হয়; পক্ষান্তরে বেগুনি আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কম, তাই প্রতিসরাঙ্ক বেশি। ফলে বেগুনি আলোর প্রতিসরণ বেশি অর্থাৎ বেশি বেঁকে যায়।

কাজ : বিপদ সংকেতে সব সময় লাল আলো ব্যবহার করা হয় কেন ?

দৃশ্যমান আলোর সাতটি বর্ণের মধ্যে লাল আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য সর্বাপেক্ষা বেশি। আবার, তরঙ্গের বিক্ষেপণ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতিক বলে বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়ে যাবার পথে অন্যান্য বর্ণের আলোর তুলনায় লাল বর্ণের আলোর বিক্ষেপণ কম হবে। এ কারণে লাল আলো বায়ুমণ্ডলে অধিক দূর পর্যন্ত বিস্তার লাভ করতে পারে।

ফলে কোনো বিপজ্জনক স্থানে আসার অনেক আগে থেকেই গাড়ির, জাহাজের বা বিমানের চালক লাল আলো দেখতে পেয়ে বিপদ সম্পর্কে সতর্ক হতে পারে। তাই বিপদ সংকেতে সর্বদা লাল আলো ব্যবহার করা হয়।

নিজে কর : সূর্যোদয় ও সূর্যাস্তের সময় দিগন্ত রেখায় আকাশের রং লাল দেখায় কেন ?

সূর্যোদয় ও সূর্যাস্তের সময় সূর্য দিগন্ত রেখার কাছাকাছি অবস্থান করে এবং এই সময় সূর্যালোককে সর্বাপেক্ষা অধিক দূরত্ব অতিক্রম করে পৃথিবীতে আসতে হয়। এতটা দীর্ঘ পথ অতিক্রমের অবকাশে বায়ুমণ্ডলের অণু ও ধূলিকণা কর্তৃক সূর্যালোক পুনঃ পুনঃ বিক্ষেপিত হয়। লাল বর্ণ এবং লাল বর্ণের কাছাকাছি বর্ণ ব্যতীত অন্যান্য বর্ণসমূহ অধিক বিক্ষেপিত হয়ে দৃষ্টি পথ হতে অন্যদিকে চলে যায়। কিন্তু লাল ও তার কাছাকাছি দীর্ঘ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বর্ণসমূহের বিক্ষেপণ কম হওয়ায় এরা পৃথিবীতে চলে আসে। তই সূর্যোদয় ও সূর্যাস্তের সময় আকাশ লাল দেখায়?

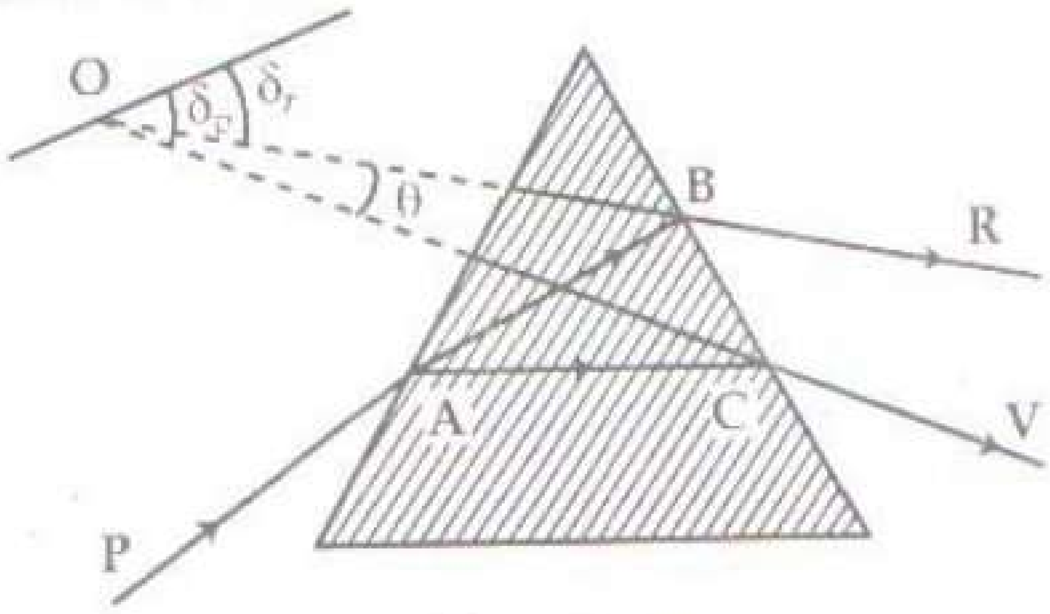
কাজ : ক্রিকেট খেলায় সাদা বল ব্যবহার করা হয় কেন ?

শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে বিভিন্ন বর্ণের আলোক রশ্মির গতিবেগ সমান বলে শূন্য মাধ্যম বা বায়ু মাধ্যম দিয়ে যাওয়ার সময় সাদা আলোর কোনো বিচ্ছুরণ হয় না। ফলে এটি অনেক দূর পর্যন্ত বিস্তার লাভ করতে পারে। তাই এটি সহজে দৃশ্যমান হয়। এজন্য ক্রিকেট খেলায় সাদা বল ব্যবহার করা হয়।

বিচ্ছুরণের পরিমাপ
Magnitude of dispersion

আমরা জানি সাদা আলোক রশ্মি কাচ প্রিজমের মধ্য দিয়ে গমন করলে প্রতিসরণের ফলে নির্গত রশ্মি সাতটি বর্ণে বিভক্ত হয় এবং এরা প্রিজমের ভূমির দিকে বেঁকে যায়। এই বর্ণসমূহের এক প্রান্তে লাল এবং অপর প্রান্তে বেগুনি বর্ণ থাকে। **প্রান্তস্থ লাল এবং বেগুনি রশ্মির কৌণিক বিচ্যুতির পার্থক্য বিচ্ছুরণের মান নির্দেশ করে।**

মনে করি, δ_rএবং δ_v যথাক্রমে লাল এবং বেগুনি বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি [চিত্র ৬·২৪] ।



চিত্র ৬·২৪

$\therefore$ বিচ্ছুরণ, $\theta = \delta_v - \delta_r$

বা, $\theta = \delta_v - \delta_r \qquad \dots \qquad \dots \qquad (6.36)$

তবে মধ্য রশ্মির বিচ্যুতিকেই মূল রশ্মির বিচ্যুতি ধরা হয়। বিচ্যুতি এবং বিচ্ছুরণ প্রিজম পদার্থের উপাদান, আপতন কোণ এবং প্রিজম কোণের উপর নির্ভর করে। প্রিজমটি ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানে স্থাপিত হলে প্রতিটি রশ্মির বিচ্যুতি ন্যূনতম হবে।

বিচ্ছুরণ ক্ষমতা

কোনো একটি স্বচ্ছ মাধ্যম কর্তৃক সৃষ্ট বর্ণালীতে দুই অন্তিম রশ্মির (বা যে কোনো দুটি বর্ণের আলোক রশ্মির) কৌণিক বিচ্যুতির পার্থক্য এবং মধ্য বা গড় রশ্মির কৌণিক বিচ্যুতির অনুপাতকে উক্ত মাধ্যমের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বলে। একে W দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$\therefore$ বিচ্ছুরণ ক্ষমতা, $W = \frac{\delta_v - \delta_r}{\delta}$, এখানে δ_v = বেগুনি বর্ণের বিচ্যুতি, δ_r = লাল বর্ণের বিচ্যুতি এবং

δ = মধ্য বা গড় রশ্মির বিচ্যুতি।

র‍্যালের বিক্ষেপণ সূত্র
Scattering Law of Rayliegh

বিখ্যাত বিজ্ঞানী র‍্যালে বিক্ষিপ্ত আলোর তীব্রতা ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য সম্পর্কিত একটা সূত্র আবিষ্কার করেন। এই সূত্র অনুসারে, বিক্ষিপ্ত আলোর তীব্রতা আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতিক। ফলে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা দীর্ঘ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর চেয়ে ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকে বেশি বিক্ষেপণ করে।

কাজ : পরিষ্কার আকাশ নীল দেখায় কেন ?

বায়ুমণ্ডলে বিভিন্ন গ্যাসের অণু কর্তৃক সূর্যালোকের বিক্ষেপণের (scattering) জন্য আকাশ নীল দেখায়। বায়ুমণ্ডলে ভাসমান ধূলিকণাও সূর্যালোককে বিক্ষিপ্ত করতে পারে; সেক্ষেত্রে ধূলিকণার আকার দৃশ্যমান আলোর দীর্ঘতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হওয়া প্রয়োজন। বিক্ষিপ্ত আলোর তীব্রতা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতে

পরিবর্তিত হয়। ফলে সূর্যালোকের নীল রশ্মিগুলি লাল রশ্মিগুলি অপেক্ষা বেশি বিক্ষিপ্ত হয়। ফলে আকাশের দিকে তাকালে আকাশ নীল দেখায়।

সম্প্রসারিত কাজ : চাঁদের আকাশ কালো দেখায় কেন ?

পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল না থাকলে বিক্ষেপণ হত না। ফলে আকাশ হতে কোনো আলো আমাদের চোখে পৌঁছাত না। তখন এমন কি দিনের বেলাতেও আকাশকে কালো দেখাত। নভোচারিগণ মহাকাশযানে বায়ুমণ্ডল অতিক্রম করার পর বস্তুত এই অভিজ্ঞতার সম্মুখীন হয়েছেন। চাঁদে কোনো বায়ুমণ্ডল নেই বলে একই কারণে চাঁদের আকাশকে কালো দেখায়।

হিসাব কর : একটি কাচের প্রিজমের প্রতিসরণ কোণ 8° এবং নীল ও লাল বর্ণের আলোর বেলায় প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·532 ও 1·514। প্রিজম যে কৌণিক বিচ্ছুরণ উৎপন্ন করে তা নির্ণয় কর। প্রিজমের উপাদানের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা কত ?

নীল ও লাল বর্ণের ভেতর কৌণিক বিচ্ছুরণ $(\mu_b - \mu_r)\,A = (1{\cdot}532 - 1{\cdot}514)\,8^\circ = 0{\cdot}144^\circ$

বিচ্ছুরণ ক্ষমতা, $W = \dfrac{\mu_b - \mu_r}{\mu - 1}$

এখন, $\mu = \dfrac{\mu_b + \mu_r}{2}$

$= \dfrac{1{\cdot}532 + 1{\cdot}514}{2} = 1{\cdot}523$

$\therefore\ W = \dfrac{1{\cdot}532 - 1{\cdot}514}{1{\cdot}532 - 1} = \dfrac{0{\cdot}018}{0{\cdot}523} = 0{\cdot}034$

* মানুষের দর্শনানুভূতি —
স্থায়িত্বকাল — $\frac{1}{10}$ sec

বর্ণালী পাঠের প্রয়োজনীয়তা (Necessity for studying spectrum)

বর্ণালী পাঠের নানারূপ প্রয়োজনীয়তা আছে। নিম্নে তা উল্লেখ করা হলো—

বর্ণালী বিশ্লেষণ দ্বারা :

(১) বিভিন্ন বর্ণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়।
(২) বিভিন্ন বর্ণের ক্ষেত্রে মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।
(৩) বিভিন্ন ধাতুর বৈশিষ্ট্য নির্ণয় করা যায়।
(৪) কোনো মিশ্রণে উপস্থিত অজ্ঞাত ধাতুর নাম ও প্রকৃতি নির্ণয় করা যায়।
(৫) বর্ণালী বিশ্লেষণ দ্বারা বিভিন্ন মৌল পদার্থ সনাক্ত করা যায়।
(৬) সূর্য নক্ষত্রের আবহমণ্ডলের গঠন সম্পর্কে ধারণা পাওয়া যায়।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (1)$$

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (2)$$

$$P = \frac{1}{f} \text{ (ডায়পটার)} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (3)$$

$$m = 1 + \frac{D}{f} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (4)$$

$$m = \frac{v}{u}\left(1 + \frac{D}{f_e}\right) \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (5)$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \ldots\ldots\ldots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6)$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots\ldots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (7)$$

$$m = \frac{f_0}{f_e} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (8)$$

$$L = f_0 + f_e \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (9)$$

$$m = f_0 + \left(\frac{1}{D} + \frac{1}{f_e}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10)$$

$$L = f_0 + \frac{D \times f_e}{D + f_e} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (11)$$

$$\delta = i_1 + i_2 - A \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (12)$$

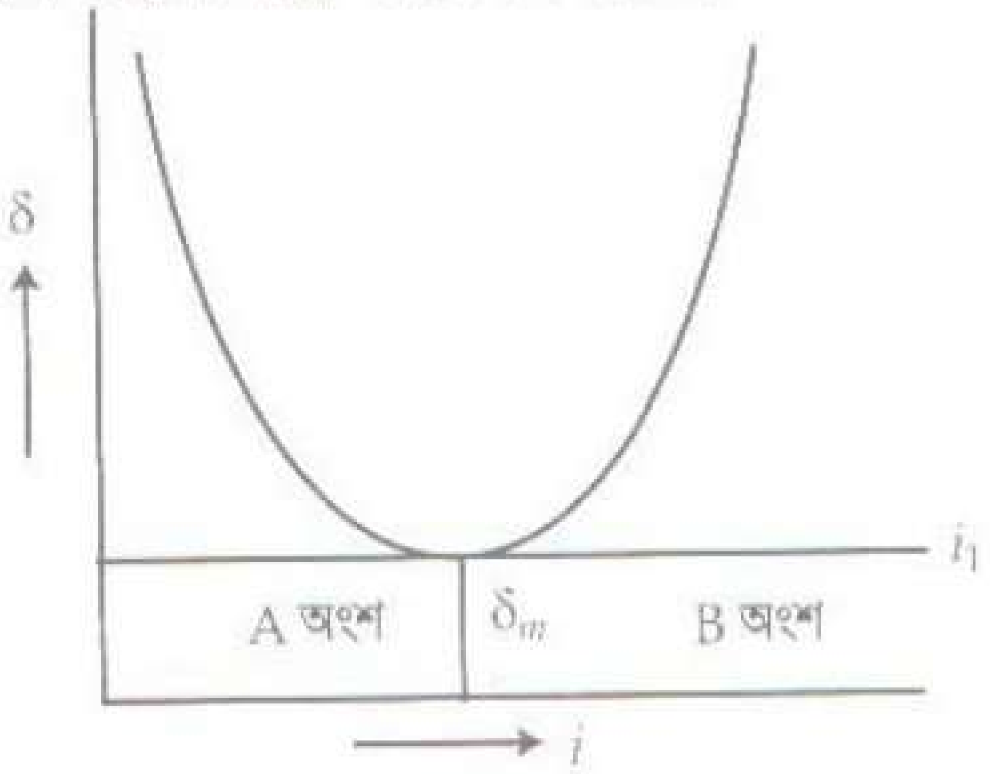
$$A = r_1 + r_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (13)$$

$$\mu = \frac{\sin\frac{A + \delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (14)$$

$$\delta = A(\mu - 1) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (15)$$

উচ্চতর দক্ষতাসম্পন্ন নমুনা গাণিতিক উদাহরণ

১। তৌফিক প্রিজম নিয়ে বিচ্যুতি কোণ পরিমাপ কালে নিম্নের লেখচিত্রটি অংকন করল এবং বিচ্যুতি কোণের মান $37'18°$ এবং শীর্ষ কোণের মান $60°$ পেল। আলোক রশ্মি প্রিজমের পৃষ্ঠে আপতিত হওয়ার পর প্রতিসৃত হয়ে দ্বিতীয় পৃষ্ঠ হতে নির্গমন হয়। ঘটনাটি তৌফিক ভালো করে পর্যবেক্ষণ করল।



(ক) প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।

(খ) $i_1 = 45°$ এর অবস্থান উদ্দীপকে প্রদর্শিত রেখার A ও B অংশদ্বয়ের কোনটিতে হবে—যুক্তি সহকারে ব্যাখ্যা কর।

(ক) এখানে প্রিজমের শীর্ষ কোণ, $A = 60°$

ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ, $\delta_m = 37'18°$

প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = ?$

আমরা জানি, $\mu = \dfrac{\sin\frac{A + \delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$

$$= \frac{\sin\frac{60° + 37'18°}{2}}{\sin\frac{60°}{2}} = \frac{\sin 48'59°}{\sin 30°} = 1'5°$$

(খ) আমরা জানি,

ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ-এর ক্ষেত্রে $i_1 = i_2$, কিন্তু $\delta = i_1 + i_2 - A$

অতএব, $\delta_m = i_1 + i_2 - A$

বা, $2i_1 = A + \delta_m$

$\therefore \quad i_1 = \dfrac{A + \delta_m}{2} = \dfrac{60° + 37'18°}{2} = 48'59°$

অর্থাৎ ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণের জন্য আপতন কোণের মান $48'59°$ যেহেতু $45° < 48'59°$

সুতরাং $i_1 = 45°$ এর অবস্থান ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানের বাম পাশে A অংশটিতে হবে।

২। উদ্ভিদবিজ্ঞান ল্যাবে সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে ব্যবহৃত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 14 cm। শিক্ষক ছাত্রদের একটি ক্ষুদ্র বস্তুকে বড় করে দেখার জন্য বস্তুটিকে উক্ত সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র হতে স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বের সমান দূরত্বে রাখল এবং অপর পাশ হতে বিবর্ধিত বিম্ব দেখার চেষ্টা করল।

(ক) ল্যাবে ব্যবহৃত সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রটির বিবর্ধন নির্ণয় কর।

(খ) যন্ত্রে বিবর্ধন 2·5 হওয়া সম্ভব— গাণিতিকভাবে বক্তব্যটির যথার্থতা বিশ্লেষণ কর।

(ক) সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষেত্রে

বিবর্ধন $m = 1 + \frac{D}{f}$

$= 1 + \frac{25}{14}$

$= 1 + 1·7857 = 2·7857$

এখানে,
$D = 25$ cm
$f = 14$ cm

(খ) লেন্সের সমীকরণ থেকে পাই

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

বা, $-\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ প্রতিবিম্ব অবাস্তব তাই v এর মান ঋণাত্মক

বা, $\frac{1}{u} = \frac{1}{v} + \frac{1}{f}$ বা, $\frac{v}{u} = 1 + \frac{v}{f}$

বিবর্ধন $m = \frac{v}{u} = 1 + \frac{v}{f}$

এখানে v = স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্ব = D

$\therefore \ m = 1 + \frac{D}{f}$

এখানে ধরে নেওয়া হয়েছে যে, চোখ লেন্সের খুব কাছাকাছি। এখন লেন্স ও চোখের মধ্যবর্তী দূরত্ব d হলে $v = D - d$

$\therefore \ m = 1 + \frac{D - d}{f}$

এই সমীকরণ থেকে দেখা যায় d কমলে m বাড়ে। $d = 0$ হলে m সর্বাধিক হয়। কাজেই বিবর্ধনের জন্য চোখ যতটা সম্ভব লেন্সের নিকটে রাখতে হবে।

উপরের প্রাপ্ত মান $m = 2·7857$ কিন্তু বাস্তবে বিবর্ধন এর কমও হতে পারে।

$m = 2·5$ হলে d এর মান শূন্য হবে না।

তখন $m = 1 + \frac{D - d}{f}$

বা, $2·5 = 1 + \frac{25 - d}{14}$

বা, $d = 4$ হয়

চোখ হতে 4 cm দূরে লেন্স রাখলে বিবর্ধন 2·5 হবে।

৩। 1·5 প্রতিসরাঙ্কের একটি উত্তল লেন্সের বক্রতর ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 0·2 m এবং 0·3 m। বায়ু সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক $\frac{3}{2}$ এবং পানির প্রতিসরাঙ্ক $\frac{4}{3}$। [য. বো. ২০১৫]

(ক) বায়ু মাধ্যমে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) পানিতে লেন্সটির ফোকাস দূরত্বের তারতম্য হবে কী ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(ক) আমরা জানি,

$$\frac{1}{f_a} = ({}_a\mu_g - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= (1·5 - 1)\left(\frac{1}{0·2} - \frac{1}{-0·3}\right)$$

$$= 4·167 \text{ m}^{-1}$$

$$\therefore \ f_a = \frac{1}{4·167} \text{ m} = 0·24 \text{ m}$$

এখানে,
${}_a\mu_g = 1·5$
$r_1 = 0·2$ m
$r_2 = -0·3$ m
বায়ুতে ফোকাস দূরত্ব, $f_a = ?$

(খ) পানিতে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব f_w হলে,

$$\frac{1}{f_w} = ({}_a\mu_g - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \left(\frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_w} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \left(\frac{3/2}{4/3} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \left(\frac{1}{8}\right)\left(\frac{1}{0{\cdot}2} - \frac{1}{-0{\cdot}3}\right)$$

$$\frac{1}{f_w} = \frac{1}{8} \times \frac{25}{3} = \frac{25}{24}$$

$$\therefore \quad f_w = \frac{24}{25} = 0{\cdot}96 \text{ m}$$

এখানে,

${}_a\mu_g = \frac{3}{2}$

${}_a\mu_w = \frac{4}{3}$

যেহেতু $f_w \neq f_a$ কাজেই পানিতে লেন্সটির ফোকাস দূরত্বের তারতম্য হবে।

৪। সুন্দরবন বেড়াতে গিয়ে তামান্না একটি নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করে, যার অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 20 cm এবং 5 cm। সে যন্ত্রটিকে অসীমে এবং স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব উভয় ক্ষেত্রে ফোকাসিং করে প্রাকৃতিক দৃশ্য অবলোকন করে। [কু. বো. ২০১৫]

(ক) তামান্না যখন যন্ত্রটিকে অসীমে ফোকাসিং করে তখন যন্ত্রের দৈর্ঘ্য কত ?

(খ) উভয় ক্ষেত্রে ফোকাসিং-এর জন্য তামান্নার পর্যবেক্ষণকৃত বিবর্ধনের তুলনামূলক গাণিতিক ব্যাখ্যা কর।

(ক) অসীমে ফোকাসিং এর জন্য নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের দৈর্ঘ্য,

$$L' = f_0 + f_e$$
$$= (20 + 5) \text{ cm} = 25 \text{ cm}$$

এখানে,

$f_0 = 20$ cm

$f_e = 5$ cm

(খ) অসীম ফোকাসিং এর জন্য প্রাপ্ত বিবর্ধন,

$$m' = \frac{f_0}{f_e} = \frac{20}{5} = 4$$

স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে (D = 25 cm) ফোকাসিং এর ক্ষেত্রে প্রাপ্ত বিবর্ধন,

$$m = f_0\left(\frac{1}{D} + \frac{1}{f_e}\right) = 20\left(\frac{1}{25} + \frac{1}{5}\right)$$

$$= 20 \times \frac{(1+5)}{25} = \frac{20 \times 6}{25} = 4{\cdot}8$$

প্রাপ্ত $m > m'$ অর্থাৎ দেখা যায় যে স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং এর ক্ষেত্রে বেশি বিবর্ধন পাওয়া যায়।

৫। রুবেল পদার্থবিজ্ঞান ল্যাবরেটরিতে একটি উভোত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ 55 cm এবং 60 cm নির্ণয় করল। অতঃপর লেন্সের 50 cm সামনে বস্তু রেখে দেখল 200 cm পিছনে প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হয়েছে।

(ক) লেন্সটির ক্ষমতা কত ?

(খ) লেন্সটির বক্রতার ব্যাসার্ধদ্বয় সমান হলে ফোকাস বিন্দু কোথায় পাওয়া যেতে পারে তা উদ্দীপকের আলোকে গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(ক) আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$
$$= \frac{1}{200} + \frac{1}{50} = \frac{1+4}{200} = \frac{5}{200} = \frac{1}{40}$$

$$\therefore \quad f = 40 \text{ cm} = 0{\cdot}4 \text{ m}$$

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{0{\cdot}4} = 2{\cdot}5 \text{ D}$$

এখানে,

$u = 50$ cm

$v = 200$ cm

$P = ?$

(খ) লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধদ্বয় সমান অর্থাৎ r এবং লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক μ হলে,

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= (\mu - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r}\right)$$

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{2}{r}\right) \quad \dots \quad \dots \quad (i)$$

এখানে,

$r_1 = +r$

$r_2 = -r$

$f = ?$

আবার, উদ্দীপকে লেন্সটির বক্রতার ব্যাসার্ধদ্বয় যথাক্রমে 55 cm এবং 60 cm, লেন্সের 50 cm সামনে বস্তু রাখলে 20 cm পিছনে বিম্ব গঠিত হয়,

$\therefore \quad \frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{55} - \frac{1}{60}\right)$. 'ক' থেকে প্রাপ্ত $f = 40$ cm

বা, $\frac{1}{40} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{660}\right)$

বা, $(\mu - 1) = \frac{33}{2}$

$\therefore \quad \mu = 17{\cdot}5$

(i)নং সমীকরণ থেকে পাই,

$$\frac{1}{f} = (17{\cdot}5 - 1) \times \frac{2}{r} = 16{\cdot}5 \times \frac{2}{r} = \frac{33}{r}$$

$\therefore \quad f = 33\,r$

বক্রতার ব্যাসার্ধদ্বয় সমান হলে, ফোকাস দূরত্ব আলোক কেন্দ্র বক্রতার ব্যাসার্ধের 33 গুণ দূরে হবে।

সার-সংক্ষেপ

ফার্মাট-এর নীতি : যখন কোনো আলোক রশ্মি প্রতিফলন বা প্রতিসরণ-এর সূত্র মেনে কোনো সমতল পৃষ্ঠে প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হয় তখন তা সর্বদা ক্ষুদ্রতম পথ অনুসরণ করে।

গোলকীয় দর্পণ : কোনো দর্পণের প্রতিফলন তল যদি কোনো গোলকের অংশবিশেষ হয় বা গোলকীয় হয় তবে তাকে গোলকীয় দর্পণ বলে।

লেন্সের ক্ষমতা : কোনো লেন্স দ্বারা আলোক রশ্মিগুচ্ছের অভিসারিতা বা অপসারিতা উৎপাদনের সামর্থ্যকে তার ক্ষমতা বলে। কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্বের বিপরীত সংখ্যাকে তার ক্ষমতা বলা হয়।

লেন্সের ক্ষমতার একক : লেন্সের একক ডায়াপটার। লেন্সের ফোকাস দূরত্বকে মিটারে প্রকাশ করে তার বিপরীত রাশি নিলে ডায়াপটারে লেন্সের ক্ষমতা পাওয়া যায়।

অণুবীক্ষণ যন্ত্র : যে আলোক যন্ত্রের সাহায্যে নিকটবর্তী অতি ক্ষুদ্র বস্তুর খুঁটিনাটি প্রতিবিম্বের মাধ্যমে বর্ধিত করে দেখা যায় তাকে অণুবীক্ষণ যন্ত্র বলে।

দূরবীক্ষণ যন্ত্র : দূরের বস্তুকে ভালোভাবে পর্যবেক্ষণের জন্য যে আলোক যন্ত্র ব্যবহার হয় তাকে দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে।

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র : চন্দ্র, সূর্য, গ্রহ, নক্ষত্র প্রভৃতি নভোমণ্ডলীয় বস্তু পর্যবেক্ষণে যে দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাকে নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে।

প্রিজম : তিনটি পরস্পরচ্ছেদী সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ একটি স্বচ্ছ সমসত্ত্ব মাধ্যমকে প্রিজম বলে।

প্রিজমের প্রতিসরণ তল : প্রিজমের যে তল দিয়ে আলোক রশ্মি প্রবেশ করে এবং যে তল দিয়ে আলোক রশ্মি বের হয় তাদেরকে প্রিজমের প্রতিসরণ তল বলে।

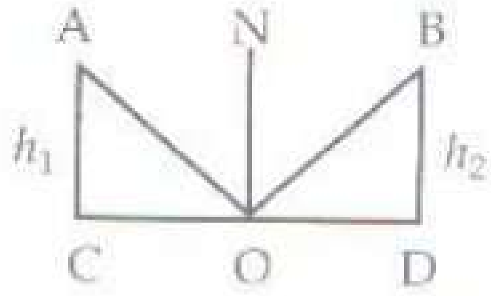
প্রিজমের শীর্ষ : প্রিজমের তলদ্বয় যে রেখায় ছেদ করে তাকে প্রিজমের শীর্ষ বলে।

প্রিজম কোণ : প্রতিসরণ তলদ্বয়ের মধ্যবর্তী কোণকে প্রিজম কোণ বলে।

প্রিজমের ভূমি	:	প্রিজম কোণের বিপরীত তলকে প্রিজমের ভূমি বলে।
বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি	:	প্রিজমে আপতিত রশ্মিকে সামনের দিকে এবং নির্গত রশ্মিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে এদের অন্তর্ভুক্ত কোণকে বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি বলে।
ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ	:	প্রিজমে আপতিত রশ্মির আপতন কোণের একটি নির্দিষ্ট মানের জন্য বিচ্যুতি কোণের মান সর্বনিম্ন হয়। বিচ্যুতি কোণের এই সর্বনিম্ন মানকেই ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ বলে।
বিচ্ছুরণ	:	সাদা আলোক রশ্মি প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণের ফলে সাতটি মূল বর্ণের আলোকে বিভক্ত হওয়াকে আলোর বিচ্ছুরণ বলে।
বর্ণালী	:	বিচ্ছুরণের ফলে মূল বর্ণসমূহের যে সজ্জা পাওয়া যায় তাকে বর্ণালী বলে।
বিচ্ছুরণ ক্ষমতা	:	কোনো একটি স্বচ্ছ মাধ্যম কর্তৃক সৃষ্ট বর্ণালীতে দুই অন্তিম রশ্মির কৌণিক বিচ্যুতির পার্থক্য এবং মধ্য বা গড় রশ্মির কৌণিক বিচ্যুতির অনুপাতকে উক্ত মাধ্যমের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বলে।
একবর্ণী আলো	:	যে আলোক রশ্মির একটি মাত্র তরঙ্গদৈর্ঘ্য থাকে তাকে একবর্ণী আলো বলে।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। ফার্মাটের নীতির সাহায্যে আলোর সরলরৈখিক গতি নির্ণয় করা যায়। চরম বা অবম দৈর্ঘ্যের পথের নীতি হলো ফার্মাট নীতি।

২। 

চিত্র অনুযায়ী ফার্মাটের নীতির সাহায্যে সময় $t=\sqrt{\frac{x_1^2+h_2^2}{v}}$

৩। উপরের চিত্রে ফার্মাটের নীতি অনুযায়ী প্রযোজ্য $\frac{dt}{dx}=0$.

৪। লেন্স প্রস্তুতকারকের সমীকরণ হলো $\frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$.

৫। পয়েন্টিং ভেক্টর হলো, $\vec{E}\times\vec{H}$.

৬। গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র হলো প্রতিসরণ দূরবীক্ষণ যন্ত্র। গ্যালিলিও জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের আবিষ্কারক।

৭। একটি জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের বিবর্ধন যথাক্রমে $m_1 \propto m_2$.

৮। তুল্য লেন্সের দ্বারা সৃষ্ট প্রতিবিম্ব সোজা ও সমান দেখায়।

৯। একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f। উত্তল লেন্সটি n গুণ বিবর্ধিত সদ প্রতিবিম্ব গঠন করলে বস্তুর দূরত্ব হবে $\frac{(n+1)f}{n}$.

১০। প্রতিসরাঙ্ক বেশি হলে আলো কম বেগে চলে। কোয়ার্টজ হলো দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যম।

১১। আলোর বিভিন্ন বর্ণের কারণ হলো—তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য।

১২। আলো ঘনতর মাধ্যম থেকে হালকা মাধ্যমে প্রবেশ করলে বেগ বেশি হয়।

১৩। লাল আলোর বেগ বেগুনি আলোর বেগের চেয়ে 1.8 গুণ বেশি।

১৪। বেগুনি রঙের আলোর জন্য নির্দিষ্ট মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের মান সবচেয়ে বেশি হয়।

১৫। স্বাভাবিক ফোকাসিং-এর জন্য টেলিস্কোপে বিবর্ধনের মান $\frac{f_0}{f_e}\left(1+\frac{f_e}{D}\right)$.

১৬। 1.5 প্রতিসরাঙ্কের উত্তল লেন্সের উভয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ সমান হলে $f=r$ হয়।

১৭। লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও বক্রতার ব্যাসার্ধের মধ্যে সম্পর্ক হলো $f=\frac{r}{2}$.

১৮। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে ২ বার প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিনেত্রে সৃষ্ট প্রতিবিম্ব অবাস্তব ও বিবর্ধিত হয়।

১৯। বেতার তরঙ্গ পর্যবেক্ষণের জন্য ব্যবহৃত হয় রেডিও টেলিস্কোপ।

২০। কোনো নির্দিষ্ট সময়ে μ প্রতিসরাঙ্কের কোনো মাধ্যমের ভেতর দিয়ে x দূরত্ব অতিক্রম করলে আলোকীয় পথ হবে μx.

২১। প্রতিফলক টেলিস্কোপের ক্ষেত্রে বর্ণ ত্রুটি থাকে না, গোলকীয় ত্রুটি থাকে।

২২। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন বাড়ানোর জন্য যা কারণীয়—(i) অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব কমাতে হবে (ii) লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব কমাতে হবে (iii) অভিলক্ষ্য দ্বারা সৃষ্ট বিম্বের দূরত্ব বাড়াতে হবে।

২৩। আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণ সূত্র প্রতিপাদন করা যায় (i) ফার্মাট নীতির সাহায্যে (ii) হাইগেনস নীতির সাহায্যে।

২৪। প্রতিসরাঙ্কের মান নির্ভর করে (i) স্বচ্ছ মাধ্যম দুটির প্রকৃতির ওপর, (ii) আলোক রশ্মির বর্ণের ওপর।

২৫। মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের পরিবর্তন হলে প্রতিবিম্বের পরিবর্তন হয়।

২৬। বাস্তব বিম্ব গঠিত হয় অবতল দর্পণে এবং উত্তল লেন্সে। আর অবাস্তব বিম্ব গঠিত হয় উত্তল দর্পণে, সমতল দর্পণে এবং অবতল লেন্সে।

২৭। অবাস্তব প্রতিবিম্ব—পর্দায় ফেলা যায় না, চোখে দেখা যায়।

২৮। নিউটনের দূরবীক্ষণ যন্ত্রে সমতল দর্পণ অবতল দর্পণের অক্ষের সাথে 45° কোণে আনত থাকে।

২৯। টেলিস্কোপে স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং এ অভিলক্ষ্য দ্বারা সৃষ্ট বিম্ব—(i) অভিলক্ষ্যের ফোকাস তলে গঠিত হয়, (ii) অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্বের মধ্যে গঠিত হয়।

৩০। নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রে স্বাভাবিক ফোকাসিং-এর জন্য নলের দৈর্ঘ্য হবে অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্বদ্বয়ের যোগফল।

৩১। একটি লেন্সকে পানির মধ্যে রাখলে লেন্সের ফোকাস দূরত্বের এবং লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের পরিবর্তন ঘটে।

৩২। লাল বর্ণের আলোর বিচ্যুতি সর্বনিম্ন।

৩৩। সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন, $m = \frac{v}{u}$, $m = 1 + \frac{D}{f}$, $m = 1 \pm \frac{D-a}{f}$.

৩৪। লেন্সের ক্ষমতার মাত্রা L^{-1}.

৩৫। পাতলা প্রিজমের ক্ষেত্রে $\delta = A(\mu - 1)$ প্রযোজ্য।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। আলো 'a' মাধ্যম থেকে 'b' মাধ্যমে প্রবেশ করলে 'b' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ককে কীভাবে সূচিত করবে?
- ⓚ μ_B
- ⓛ ${}_b\mu_a$
- ⓜ ${}_a\mu_b$
- ⓝ μ_a

২। ফার্মাটের নীতির সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়—
- ⓚ আলোর অপবর্তন
- ⓛ আলোর সমবর্তন
- ⓜ আলোর প্রতিফলনের সূত্র
- ⓝ আলোর ব্যতিচার

৩। ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে কোনটি সঠিক?
- ⓚ $i_1 = r_1$
- ⓛ $\angle i_1 = \angle i_2 = \angle\frac{A}{2}$
- ⓜ $\angle r_1 = \angle r_2 = \angle\frac{A+\delta_m}{2}$
- ⓝ $r_1 = r_2$

৪। — বর্ণের রশ্মিকে মধ্যরশ্মি বলা হয়।
- ⓚ সবুজ
- ⓛ নীল
- ⓜ হলুদ
- ⓝ আসমানি

৫। কোন রং এর বিচ্যুতি সবচেয়ে বেশি ?
- ⓚ হলুদ
- ⓛ লাল
- ⓜ বেগুনি
- ⓝ কমলা

৬। 20 cm ফোকাস দূরত্ববিশিষ্ট উত্তল লেন্সের ক্ষমতা—
- ⓚ $5\,m^{-1}$
- ⓛ $5\,cm^{-1}$
- ⓜ $2\,m^{-1}$
- ⓝ $1\,m^{-1}$

৭। লেন্সের চারপাশে বায়ুর পরিবর্তে অন্য কোনো ঘন মাধ্যম থাকলে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব—
- ⓚ হ্রাস পায়
- ⓛ বৃদ্ধি পায়
- ⓜ একই থাকে
- ⓝ পরিবর্তিত হবে কিনা বলা যায় না

৮। সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে কী ধরনের প্রতিবিম্ব গঠিত হয়?
- ⓚ সোজা ও খর্বিত
- ⓛ সোজা ও বিবর্ধিত
- ⓜ উল্টো ও বিবর্ধিত
- ⓝ উল্টো ও খর্বিত

৯। সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধনের রাশি কোনটি ?
ⓚ $m = \frac{v}{u}$
ⓚ $m = 1 + \frac{D}{f}$
ⓖ $m = 1 + \frac{D - a}{f}$
ⓖ সবকটি

১০। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে গঠিত চূড়ান্ত বিম্ব কী রকম হয়? [য. বো. ২০১৫]
ⓚ উল্টো ও খর্বিত
ⓚ সোজা ও বিবর্ধিত
ⓖ উল্টো ও বিবর্ধিত
ⓖ সোজা ও খর্বিত

১১। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে অভিনেত্র—
(i) চূড়ান্ত বিম্ব তৈরি করে
(ii) প্রাথমিক বিম্ব তৈরি করে
(iii) অসদ বিম্ব তৈরি করে
নিচের কোনটি সঠিক?
ⓚ i
ⓚ iii
ⓖ i ও iii
ⓖ i, ii ও iii

১২। যখন সাদা আলো প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরিত হয় আলোর বিচ্যুতি— [ঢা.বি. ২০০২-০৩]
ⓚ নীল অপেক্ষা লালের জন্য বেশি
ⓚ হলুদ অপেক্ষা বেগুনির জন্য বেশি
ⓖ লালের চেয়ে সবুজের জন্য কম
ⓖ কমলার চেয়ে বেগুনির জন্য কম

১৩। একটি সরু প্রিজমের ক্ষেত্রে বিচ্যুতি কোণ, প্রিজম কোণ এবং প্রতিসরাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক হলো—
(ক) $\delta = \mu A$
(খ) $A = \delta(\mu - 1)$
(গ) $\delta = \frac{\mu - 1}{A}$
(ঘ) $\delta = (\mu - 1)A$

১৪। নভোবীক্ষণ যন্ত্রে গঠিত চূড়ান্ত বিম্ব কী রকম হয়?
ⓚ সোজা ও খর্বিত
ⓚ সোজা ও বিবর্ধিত.
ⓖ উল্টো ও খর্বিত
ⓖ উল্টো ও বিবর্ধিত

১৫। একটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে ব্যবহৃত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 0.15 m। স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব 0.25 m হলে ঐ যন্ত্রের বিবর্ধন কত ?
ⓚ 1.5
ⓚ 2.667
ⓖ 1.667
ⓖ 3.65

একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0.5 m ও 0.05 m। ১৬ ও ১৭নং প্রশ্নের উত্তর দাও :

১৬। যন্ত্রটির বিবর্ধন কত ?
ⓚ 10
ⓚ 12
ⓖ 16
ⓖ 20

১৭। যন্ত্রটির নলের দৈর্ঘ্য কত ? [চ. বো. ২০১৫]
ⓚ 0.60 m
ⓚ 0.50 m
ⓖ 0.55 m
ⓖ 0.64 m

১৮। নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রে স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে বিবর্ধন—
ⓚ $m = \frac{f_e}{f_0}$
ⓚ $m = \frac{f_0}{f_e}$
ⓖ $m = \frac{f_0}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right)$
ⓖ $m = \frac{f_e}{f_0}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right)$

১৯। দূরবীক্ষণ যন্ত্রে ব্যবহার করা হয়—
ⓚ উত্তল লেন্স
ⓚ উভোত্তল লেন্স
ⓖ অবতল লেন্স
ⓖ উভাবতল লেন্স

২০। একটি নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0.8m ও 0.04m হলে স্বাভাবিক দৃষ্টির জন্য যন্ত্রটির বিবর্ধন কত হবে ?
ⓚ 0.05
ⓚ 20.0
ⓖ 2.0
ⓖ 200.0

২১। একটি নভোবীক্ষণের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 200 cm এবং 10 cm। যন্ত্রটি দিয়ে স্বাভাবিক চোখে চাঁদকে পর্যবেক্ষণ করার সময় লেন্স দুটির মধ্যে দূরত্ব হবে—
ⓚ 190 cm
ⓚ 210 cm
ⓖ 20 cm
ⓖ 1000 cm

২২। কোনটি বিচ্ছুরক মাধ্যম নয় ?
ⓚ পানি
ⓚ কাচ
ⓖ গ্লিসারিন
ⓖ বায়ু

২৩। যে দুটি আলোর জন্য কৌণিক বিচ্ছুরণ সর্বাধিক তা হলো—
- ⓚ সবুজ ও লাল
- ⓚ লাল ও নীল
- ⓖ হলুদ ও সবুজ
- ⓖ নীল ও কমলা

২৪। দুটি বর্ণের আলোক রশ্মির জন্য একটি প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·66 ও 1·64। প্রিজমের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা কত ?
- ⓚ 0·02
- ⓚ 0·012
- ⓖ 0·03
- ⓖ 0·010

২৫। প্রিজমের ক্ষেত্রে বলা যায়—
(i) ন্যূনতম বিচ্যুতিতে $i_1 = i_2$ এবং $r_1 = r_2$
(ii) বিচ্যুতি কোণ আপতন কোণের ওপর নির্ভর করে
(iii) আলোর দুই বার প্রতিসরণ হয়
নিচের কোনটি সঠিক ?
- ⓚ i ও ii
- ⓚ i ও iii
- ⓖ ii ও iii
- ⓖ i, ii ও iii

২৬। প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানে— [দি. বো. ২০১৫]
(i) $\delta_m = 2i_1 - A$
(ii) $r_1 = r_2$
(iii) $i_1 = i_2$
নিচের কোনটি সঠিক ?
- ⓚ i ও ii
- ⓚ i ও iii
- ⓖ ii ও iii
- ⓖ i, ii ও iii

২৭। একটি প্রিজমের প্রিজম কোণ এবং ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ যথাক্রমে 60° ও 30°। প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক কত ? [রা. বো. ২০১৫]
- ⓚ 1·45
- ⓚ 1·53
- ⓖ 1·41
- ⓖ 1·23

২৮। প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক নির্ভর করে—
(i) আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য
(ii) আলোর বর্ণ
(iii) প্রিজম কোণ
নিচের কোনটি সঠিক ?
- ⓚ i ও ii
- ⓚ i ও iii
- ⓖ ii ও iii
- ⓖ i, ii ও iii

২৯। যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে বেশি বিবর্ধন পেতে হলে—
- ⓚ অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব বেশি হবে এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব কম হবে
- ⓚ অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব কম হবে এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব বেশি হবে
- ⓖ অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র উভয়ের ফোকাস দূরত্ব বেশি হবে
- ⓖ অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র উভয়ের ফোকাস দূরত্ব কম হবে

৩০। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন ক্ষমতা 100। এর অভিনেত্র দ্বারা বিবর্ধন 5 হলে অভিলক্ষ্য দ্বারা বিবর্ধন কত ?
- ⓚ 40
- ⓚ 30
- ⓖ 20
- ⓖ 10

৩১। একটি নভোদূরবীক্ষণের অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব f_0 এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব f_e হলে যন্ত্রের বিবর্ধন—
- ⓚ $f_e + f_0$
- ⓚ $f_e \times f_0$
- ⓖ $\frac{f_0}{f_e}$
- ⓖ $\frac{1}{2}(f_0 + f_e)$

৩২। একটি নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের স্বাভাবিক ফোকাসিং এর ক্ষেত্রে চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব গঠিত হয়—
- ⓚ অভিনেত্রের ফোকাসে
- ⓚ স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে
- ⓖ অভিলক্ষ্যের ফোকাসে
- ⓖ অসীমে

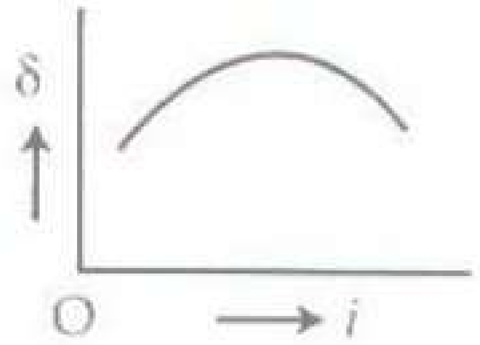
৩৩। একটি নভোদূরবীক্ষণের লেন্স দুটির ক্ষমতা 0·5 D এবং 20 D। যন্ত্রটির বিবর্ধন ক্ষমতা হবে—
- ⓚ 8
- ⓚ 20
- ⓖ 30
- ⓖ 40

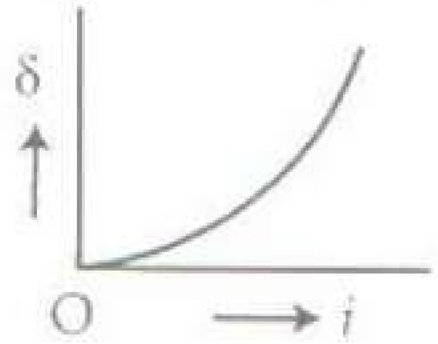
৩৪। কাচের মধ্য দিয়ে বিভিন্ন বর্ণের আলো পরিভ্রমণ করলে কোন বর্ণের আলোর বেগ বেশি হবে ?
- ⓚ লাল
- ⓚ নীল
- ⓖ হলুদ
- ⓖ বেগুনি

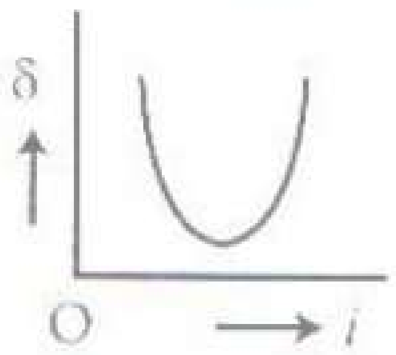
৩৫। একটি সমবাহু প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$ হলে এর ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ কত ?

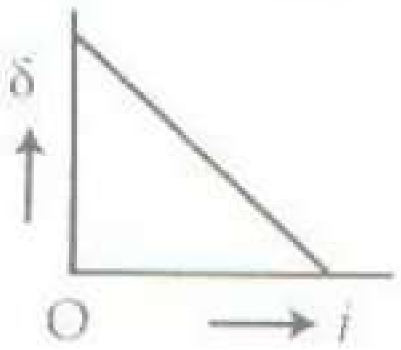
ক $15°$
খ $30°$
গ $45°$
ঘ $60°$

৩৬। প্রিজমে $i \sim \delta$ লেখচিত্র নিচের কোনটি ? [রা. বো. ২০১৫]

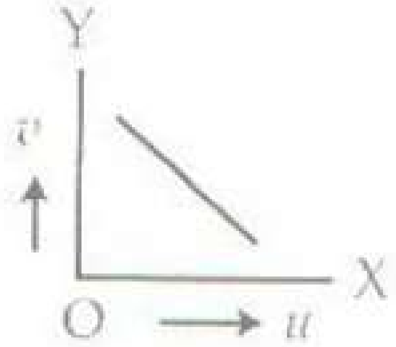
ক


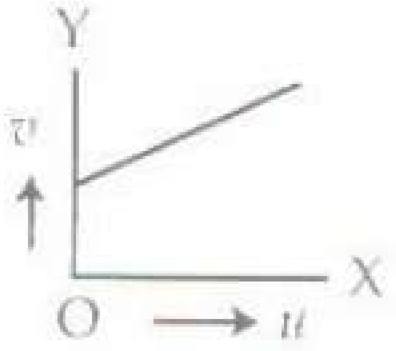
খ


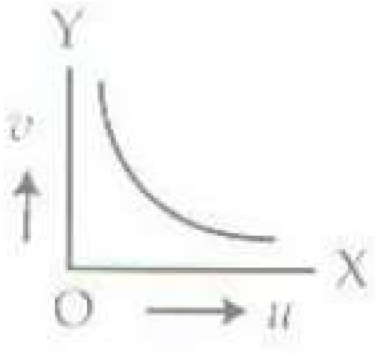
গ


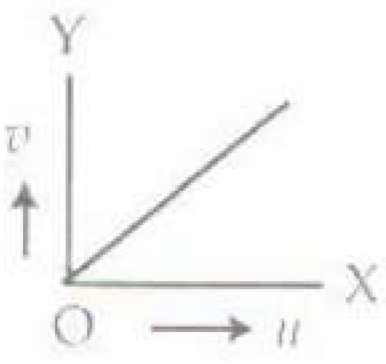
ঘ


৩৭। উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে কোন লেখচিত্রটি সঠিক ?

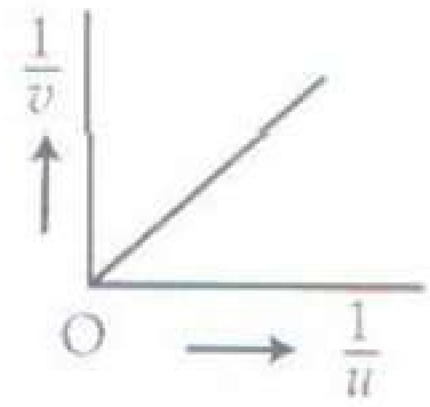
ক


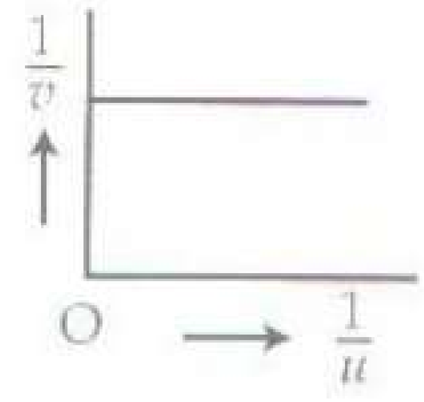
খ


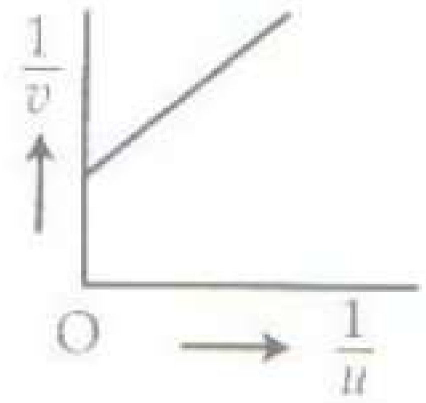
গ


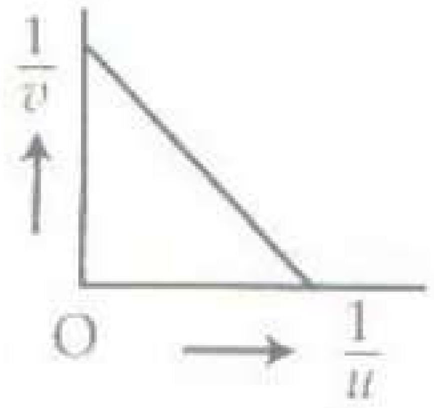
ঘ


৩৮। $\frac{1}{u} \sim \frac{1}{v}$ লেখচিত্র কীরূপ হবে ? [ঢা. বো. ২০১৫]

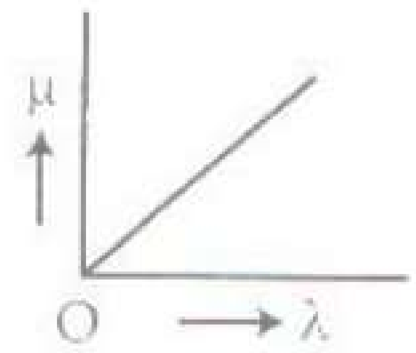
ক


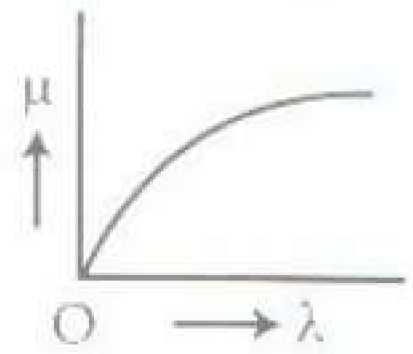
খ


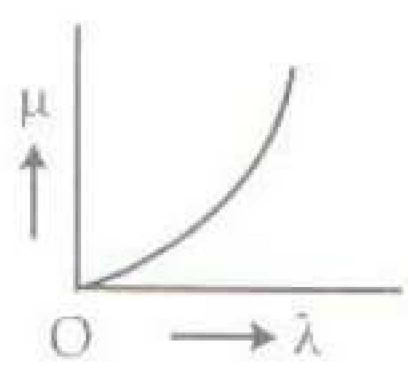
গ


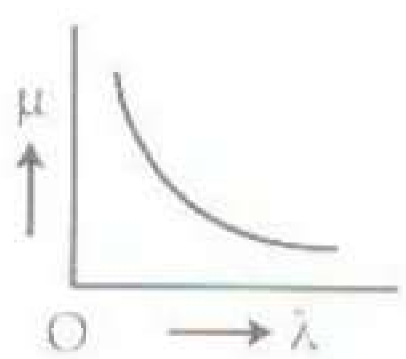
ঘ


৩৯। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সাথে প্রতিসরাঙ্কের লেখচিত্র নিচের কোনটি ?

ক


খ


গ


ঘ


৪০। পানি ও কাঁচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1.33 ও 1.52 হলে, কাঁচে আলোর দ্রুতি কত ? পানিতে আলোর দ্রুতি 2.28×10^8 cms^{-1} [ঢা. বো. ২০১৫]

(ক) 1.52×10^8 ms^{-1}
(খ) 2.61×10^8 ms^{-1}
(গ) 2.02×10^8 ms^{-1}
(ঘ) 1.99×10^8 ms^{-1}

৪১। নভো দূরবীক্ষণ নলের দৈর্ঘ্য হলো— [ঢা. বো. ২০১৫]

(i) $L = f_0 + f_e$
(ii) $L = f_0 + u_e$
(iii) $L = v_0 + u_e$

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

উদ্দীপকটি পড় এবং ৪২ ও ৪৩নং প্রশ্নের উত্তর দাও :
একজন হস্তরেখাবিদ হাতের রেখা পরীক্ষা করার জন্য যে লেন্সটি ব্যবহার করেন তার ফোকাস দূরত্ব 12.5 cm। তিনি একজন লোকের হাতের রেখা দেখার জন্য হাতটিকে লেন্স হতে একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে রাখলেন এবং স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে বিবর্ধিত বিম্ব পেলেন।

৪২। হস্তরেখাবিদ লেন্সটির সাহায্যে কতগুণ বিবর্ধিত বিম্ব পেয়েছিলেন ?

(ক) 0.5
(খ) 1.5
(গ) 2
(ঘ) 3

৪৩। উক্ত যন্ত্রটির সাহায্যে পূর্বের অবস্থানে 2.5 গুণ বিবর্ধিত বিম্ব পেতে হলে লেন্সটিকে পূর্বের অবস্থান থেকে কত দূরে সরাতে হবে ?

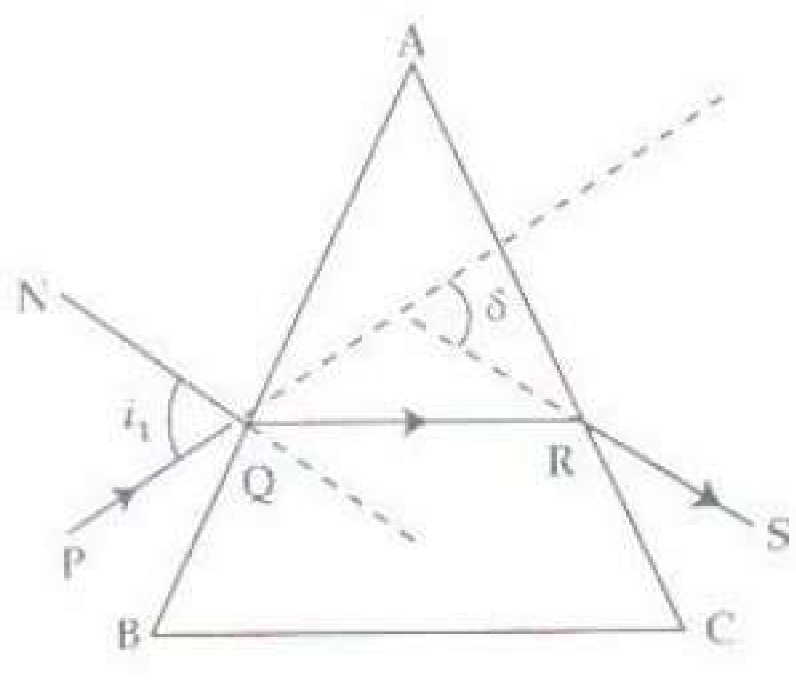
(ক) 2.5 cm
(খ) 6.25 cm
(গ) 16.66 cm
(ঘ) 20 cm

উত্তর :

১। গ	২। গ	৩। ঘ	৪। গ	৫। গ	৬। ক	৭। খ	৮। খ	৯। ঘ	১০। গ
১১। গ	১২। খ	১৩। ঘ	১৪। খ	১৫। খ	১৬। খ	১৭। গ	১৮। খ	১৯। ক	২০। খ
২১। খ	২২। ঘ	২৩। খ	২৪। গ	২৫। ঘ	২৬। ঘ	২৭। গ	২৮। ক	২৯। ঘ	৩০। গ
৩১। গ	৩২। ঘ	৩৩। ঘ	৩৪। ক	৩৫। খ	৩৬। গ	৩৭। গ	৩৮। ঘ	৩৯। ঘ	৪০। গ
৪১। ক	৪২। ঘ	৪৩। খ							

(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১। চিত্রে একটি কাচ প্রিজমের মধ্য দিয়ে একটি আলোক রশ্মির প্রতিসরণ দেখানো হয়েছে। এখানে A প্রিজম কোণ এবং δ বিচ্যুতি কোণ।



(ক) প্রিজম কোণ কী ?
(খ) আপতন কোণের সাথে বিচ্যুতি কোণ কীভাবে পরিবর্তিত হয়?
(গ) $A = 60°$ এবং ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ $\delta_m = 30°$ হলে প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।
(ঘ) উদ্দীপকের প্রিজমটি 1.33 প্রতিসরাঙ্কের পানিতে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত করলে ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণের কী পরিবর্তন হবে গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর।

২। পাশের চিত্রে একটি বিবর্ধক কাচ দেখানো হয়েছে। সাধারণত যেখানে খুব বেশি বিবর্ধনের প্রয়োজন হয় না সেখানে এটি ব্যবহৃত হয়। যেমন— লেখা, হাতের ছাপ, অতি ক্ষুদ্র যন্ত্রপাতি ইত্যাদি দেখার কাজে এটি ব্যবহার করা হয়।

(ক) অণুবীক্ষণ যন্ত্র কী ?
(খ) বিবর্ধক কাচ কি বস্তুর যে কোনো অবস্থানে বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠন করে ? — ব্যাখ্যা কর।
(গ) উদ্দীপকের বিবর্ধক কাচে সৃষ্ট প্রতিবিম্বের দূরত্ব 25 cm এবং ফোকাস দূরত্ব 15 cm হলে বিবর্ধন কত?
(ঘ) গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে দেখাও যে বিবর্ধক কাচের ফোকাস দূরত্ব যত কম হবে তার বিবর্ধন ক্ষমতা তত বৃদ্ধি পাবে।

৩। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 4×10^{-3} m এবং 5×10^{-2} m। অভিলক্ষ্য দ্বারা গঠিত কোনো বস্তুর প্রতিবিম্ব এটি হতে 22×10^{-2} m দূরে অবস্থিত। অভিনেত্র হতে চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব 25×10^{-2} m দূরে অবস্থিত।

(ক) অণুবীক্ষণ যন্ত্র কী?

(খ) অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বের বৈশিষ্ট্য লিখ। রিফ্লেক্টিং টেলিস্কোপের সুবিধা কী ?

(গ) অণুবীক্ষণ যন্ত্রটির অভিনেত্রের বিবর্ধন নির্ণয় কর।

(ঘ) উদ্দীপকে অণুবীক্ষণ যন্ত্রটির মোট বিবর্ধন অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের বিবর্ধনের গুণফলের সমান। গাণিতিক-ভাবে বিশ্লেষণ কর।

৪। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0.02m এবং 0.05m ও তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0.16m। 0.5 mm দীর্ঘ বস্তু অভিলক্ষ্যের সামনে 0.24m দূরে স্থাপন করা হলো।

(ক) স্পষ্ট দৃষ্টির নিকটতম ও দূরতম দূরত্ব কী ?

(খ) লেন্সের চারিপার্শ্বস্থ মাধ্যম পরিবর্তন করলে উহার ফোকাস দূরত্ব পরিবর্তন হয় কেন ?

(গ) অণুবীক্ষণ যন্ত্রটির বিবর্ধন নির্ণয় কর।

(ঘ) অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব অর্ধেক করা হলে বিবর্ধন পূর্বের তুলনায় কীরূপ পরিবর্তন হবে ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

৫। ঢাকা বিশ্ববিদ্যালয়ের বোস সেন্টারে রক্ষিত নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব 60.5 cm এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব 6.5 cm। পদার্থবিজ্ঞানের ছাত্রী ঝিমি একদিন চন্দ্রগ্রহণ দেখার জন্য অসীম দূরে ফোকাসিং করল। কিন্তু সে চন্দ্রগ্রহণের দৃশ্য একেবারে কাছ থেকে দেখতে চায়। তাই যন্ত্রটিকে নিকট ফোকাসিং করে নিল।

(ক) নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র কী?

(খ) অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের মধ্যে কোনটির বিবর্ধন ক্ষমতা বেশি এবং কেন? বীক্ষণ কোণ কী ?

(গ) অসীমে রক্ষিত বস্তুর ক্ষেত্রে যন্ত্রের বিবর্ধন নির্ণয় কর।

(ঘ) স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে রক্ষিত বস্তুর ক্ষেত্রে বিবর্ধনের রাশিমালা প্রতিপাদন কর। ঝিমি যন্ত্রটির দৈর্ঘ্যের কীরূপ পরিবর্তন করে নিকট বিন্দুতে ফোকাসিং করেছিল ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(গ) সাধারণ প্রশ্ন

১। ফার্মাটের নীতি বর্ণনা কর।

২। ফার্মাটের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিফলন সূত্র ব্যাখ্যা কর।

৩। লেন্স তৈরির সমীকরণ প্রতিপাদন কর।

৪। একজন সাঁতারু পানির তলায় খালি চোখে বস্তুর প্রতিচ্ছবি ঘোলাটে দেখে। কিন্তু মুখোশ পরে খুবই পরিষ্কার দেখতে পায় কেন ?

৫। কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1.5; কাচে আলোর বেগ কত ?

৬। একটি সমতল কাচ ফলকে ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা কত ?

৭। লেন্সকে বায়ু থেকে পানিতে নিমজ্জিত করলে এর ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা বাড়ে না কমে ?

৮। কাচের প্রতিসরাঙ্ক কোন বর্ণের আলোর জন্য সবচেয়ে কম ?

৯। আলোর কম্পাঙ্ক বাড়লে মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের কী পরিবর্তন হয় ?

১০। টেলিস্কোপের মূলনীতি লিখ।

১১। আলোর প্রতিসরণের সময় আলোর কোন ধর্মটি অপরিবর্তিত থাকে ?

১২। মাইক্রোস্কোপের মূলনীতি লিখ।

১৩। সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন কিসের উপর নির্ভর করে ?

১৪। যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে নলের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করলে বিবর্ধন বৃদ্ধি পায়—উক্তিটি ভুল না ঠিক ?

১৫। যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব অভিক্ষেত্রের ফোকাস দূরত্ব অপেক্ষা বড় নয় ছোট ?

১৬। একটি প্রতিফলক দূরবীক্ষণে অভিলক্ষ্য হিসেবে কী ব্যবহৃত হয় ?

১৭। অভিলক্ষ্যের ফোকাস দৈর্ঘ্য কমালে অণুবীক্ষণের বিবর্ধন ক্ষমতা কীভাবে পরিবর্তিত হয়? দূরবীক্ষণের ক্ষেত্রে কি হবে ? দুটি উত্তরের পার্থক্য দেখাও।

১৮। একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্র কী অণুবীক্ষণ যন্ত্রের কাজ করতে পারে ?

১৯। কাচের প্রতিসরাঙ্ক কী আলোর বর্ণের উপর নির্ভর করে। যদি করে কীভাবে ?

২০। কী শর্তে কোনো প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসারিত রশ্মির চ্যুতি ন্যূনতম হবে ?

২১। প্রিজমের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় কোন বর্ণের আলো সবচেয়ে বেশি বাঁকে এবং কোন বর্ণের আলো সবচেয়ে কম বাকে ?

২২। প্রিজম কী বর্ণ সৃষ্টি করে ?

২৩। একটি প্রিজমের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা কী প্রিজমের কোণের উপর নির্ভর করে ?

২৪। প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতির শর্তগুলি লিখ।

২৫। রংধনু কীভাবে সৃষ্টি হয়?

২৬। হলুদ ও নীল রঙ একত্রে মেশালে সবুজ রঙ প্রস্তুত হয়; কিন্তু পর্দার উপর ফেললে সাদা দেখায় কেন ?

২৭। শূন্যস্থানে কী আলোর বিচ্ছুরণ হয় ?

(ঘ) ক্রিয়াকর্ম

আকাশ নীল দেখার ঘটনা এবং অস্তগামী সূর্যের লাল দেখানো ঘটনার পার্থক্যের উপর একটি প্রতিবেদন রচনা কর।

(ঙ) কাজ (গানিতিক সমস্যা)

১। একটি উভাবতল লেন্সের দু পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 0·20 m এবং 0·40 m। তার ফোকাস দূরত্ব 0·20 m হলে ঐ লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক কত ? [উত্তর : 1·66]

২। একটি সরু উভোত্তল লেন্স হতে 0·24 m দূরে একটি বস্তু রেখে লেন্সের বিপরীত পার্শ্বে 0·30 m দূরে বাস্তব প্রতিবিম্ব পাওয়া গেল। লেন্সের প্রথম ও দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ 0·16 m ও 0·20 m হলে লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর। [উত্তর : 1·66]

৩। 0·05 m দীর্ঘ একটি বস্তু একটি উত্তল লেন্সের সামনে অবস্থিত এবং লেন্সের অপর পার্শ্বে 1 m দূরে একটি পর্দার উপর 0·25 m দীর্ঘ একটি প্রতিবিম্ব পাওয়া গেল। লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর। [উত্তর : 0·166 m]

৪। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·20m এবং 0·05m ও তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·16m। অভিলক্ষ্যের সামনে 0·024 m দূরে বস্তু স্থাপন করলে অভিনেত্র হতে কত দূরে প্রতিবিম্ব গঠিত হবে ? [উত্তর : 0·20 m]

৫। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·02 m এবং 0·05 m ও তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·16 m। অভিলক্ষ্যের সামনে কত দূরে বস্তু স্থাপন করলে অভিনেত্র হতে 0·20 m দূরে প্রতিবিম্ব গঠিত হবে ? [উত্তর : 0·024 m]

৬। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 5 mm এবং 6 cm। অভিলক্ষ্য দ্বারা গঠিত কোনো বস্তুর প্রতিবিম্ব এটি হতে 25 cm দূরে অবস্থিত। অভিনেত্র হতে শেষ অবাস্তব প্রতিবিম্ব 30 cm দূরে অবিস্থিত। বিম্বের মোট বিবর্ধন বের কর। [উত্তর : 294]

৭। একটি নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·30 m এবং 0·02 m। স্বাভাবিক দর্শনের জন্য যন্ত্রের (i) কৌণিক বিবর্ধন এবং (ii) দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

[উত্তর : (i) 15, (ii) 0·32 m]

৮। একটি নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের স্বাভাবিক ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে বিবর্ধন ক্ষমতা 8 এবং দৈর্ঘ্য 36 cm। লেন্সদ্বয়ের ফোকাস দূরত্ব বের কর। [ব. বো. ২০০৯; কু. বো. ২০০৮] [উত্তর : $f_e = 4$ cm; $f_o = 32$ cm]

৯। একটি নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·20 m এবং 0·02 m। অসীম দূরত্ব ফোকাস এর ক্ষেত্রে অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের মধ্যে দূরত্ব ও সৃষ্ট বিবর্ধন নির্ণয় কর।

[উত্তর : 0·22m ; 10]

১০। একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 80 cm ও 5 cm। যখন স্বাভাবিক দর্শনের জন্য ফোকাস করা হয়। তখন এর বিবর্ধন ক্ষমতা কত ?

Hints. $\mu = f_o\left(\frac{1}{D} + \frac{1}{f}\right)$ [য. বো. ২০০০] [উত্তর : 19·2]

১১। কোনো নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 400 cm ও 4 cm। এর বিবর্ধন ও দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উত্তর : 100; 4·04m]

১২। একটি প্রিজমের কোণ 45° এবং উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{5}$। এই প্রিজমের এক প্রতিসরণ পৃষ্ঠে আলোক রশ্মির কত কোণে আপতিত হলে রশ্মিটির দ্বিতীয় প্রতিসরণ পৃষ্ঠ ঘেঁষে নির্গত হবে ? [উত্তর : $i_1 = 58{\cdot}87°$]

১৩। কোনো একটি আলোক রশ্মির জন্য একটি সমবাহু প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$। প্রিজমের প্রথম প্রতিসরণ তলে আলোক রশ্মি 45° কোণে আপতিত হলে দেখাও যে, রশ্মিটি ন্যূনতম বিচ্যুতিতে নির্গত হবে।

[উত্তর : প্রমাণ করতে হবে $i_1 = i_2 = 45°$ ও $r_1 = r_2 = 30°$]

১৪। A উপাদানবিশিষ্ট একটি প্রিজম লাল বর্ণের রশ্মিকে 10° কোণে এবং নীল বর্ণের রশ্মিকে 16° কাণে বিচ্যুত করে। B উপাদানের অপর একটি প্রিজম লাল আলোকে 8° কোণে এবং নীল আলোকে 14° কোণে বিচ্যুত করে। কোন উপাদানের কৌণিক বিচ্ছুরণ এবং বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বেশি?

[উত্তর : Hints. $\delta_A = 16—10 = 6°$, $\delta_B = 14 - 8 = 6°$; A প্রিজমের মধ্যবর্তী রশ্মির বিচ্যুতি

$$\delta_1 = \frac{16+10}{2} = 13°, \delta_2 = \frac{14+8}{2} = 11°, W_A = \frac{\delta_A}{\delta_1} = \frac{6}{13}; W_B = \frac{\delta_B}{\delta_2} = \frac{6}{11}, W_B > W_A \text{]}$$

১৫। লাল ও নীল বর্ণের আলোক রশ্মির জন্য ক্রাউন কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে $\mu_r = 1{\cdot}517$ এবং $\mu_b = 1{\cdot}523$। এই বর্ণদ্বয়ের সাপেক্ষে ক্রাউন কাচের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা নির্ণয় কর। [উত্তর : 0·0115]

১৬। কাচ দ্বারা তৈরি একটি দ্বি-উত্তল লেন্সের উভয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ সমান। কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 হলে দেখাও যে, লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব তার বক্রতার ব্যাসার্ধের সমান।

[Hints. $r_1 = r, r_2 = -r, \frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right), (\therefore f = r)$]

১৭। একটি সমোত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 30 cm। এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·52 হলে এর পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। [উত্তর : 15·6 cm]

১৮। একটি উভাবতল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 5 cm এবং 15 cm। লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 হলে, এর ফোকাস দূরত্ব কত ? [উত্তর : – 7·5 cm (অবতল লেন্স)]

১৯। একটি প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক কোণের মান 60° এবং সোডিয়াম আলোকরশ্মির জন্য এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·5। ওই আলোক রশ্মি প্রিজমটির মধ্য দিয়ে গেলে বিচ্যুতি কোণের ন্যূনতম মান কত হবে ? [উত্তর : 37·18°]

২০। $\mu = \sqrt{3}$ প্রতিসরাঙ্কযুক্ত একটি কাচের প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক কোণের সমান। প্রিজমের কোণের মান কত ? [উত্তর : 60°]

২১। একটি সমবাহু ফাঁপা প্রিজম একটি নির্দিষ্ট তরল দ্বারা পূর্ণ আছে। ঐ প্রিজমে প্রতিসরণের জন্য কোনো আলোক রশ্মির ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ 60° হলে তরলের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর। [উত্তর : 1·732]

২২। খুব পাতলা একটি প্রিজম আলোক রশ্মির 5° বিচ্যুতি ঘটায়। প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 হলে প্রিজমের কোণ কত ? [উত্তর : 9·98°]

২৩। প্রিজম কোণ 60° এবং ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ 48°30′ হলে প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক কত হবে ?

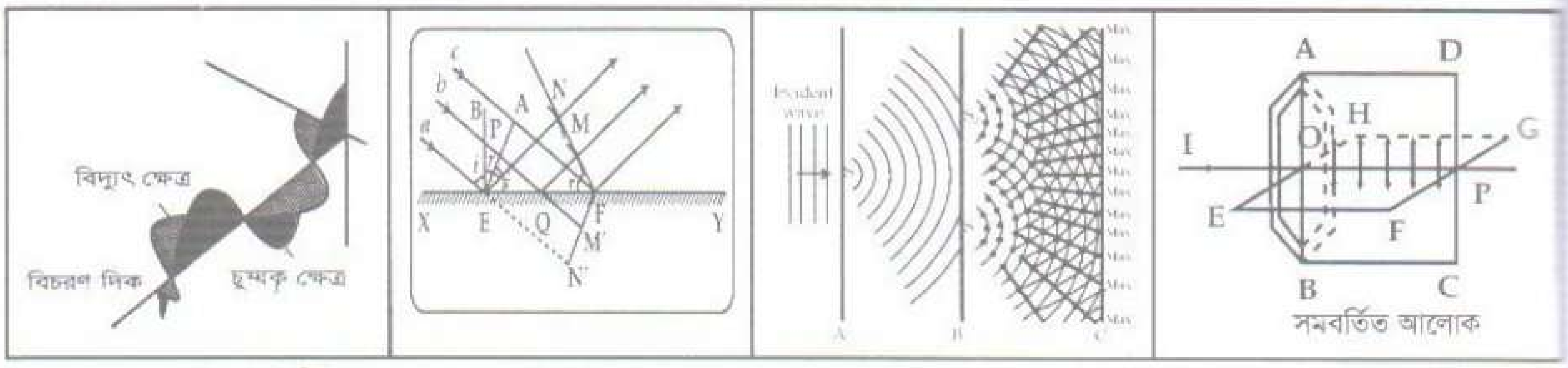
[উত্তর : 1·623]

২৪। কোনো একটি প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$। ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ 30° হলে প্রিজমটির প্রতিসরাঙ্ক কোণের মান কত হবে ? [উত্তর : 60°]

LASER → Light Amplification Stimulated by Emission of → [illegible]
Radiation

৭ ভৌত আলোকবিজ্ঞান
PHYSICAL OPTICS

প্রধান শব্দ (Key Words) : তড়িৎচৌম্বকীয় তরঙ্গ, পয়েন্টিং ভেক্টর, তড়িৎচৌম্বকীয় স্পেকট্রাম, তরঙ্গমুখ, আলোর ব্যতিচার, ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষা, ব্যতিচার [illegible], অপবর্তন, অপবর্তন গ্রেটিং, আলোর সমবর্তন, কম্পন তল, সরলাক্ষ, সমবর্তন তল।



সমবর্তিত আলোক

সূচনা
Introduction

আমরা জানি, আলোক এক প্রকার শক্তি যা দর্শনানুভূতি জাগায় এবং তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ আকারে এক স্থান থেকে অন্য স্থানে মাধ্যম ছাড়াও চলাচল করতে পারে। আলোর প্রকৃতি বা আচরণ ব্যাখ্যার কণাতত্ত্ব, তরঙ্গতত্ত্ব, তড়িৎ চুম্বকীয় তত্ত্ব, কোয়ান্টাম ও দ্বৈত তত্ত্ব উদ্ভাবিত হয়েছে। এই সকল তত্ত্বের সাহায্যে আলোর প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার ও অপবর্তন ঘটনার ব্যাখ্যা দেওয়া সম্ভব হয়েছে। এই অধ্যায়ে আমরা আলোকের তরঙ্গ তত্ত্বের সাহায্যে উল্লেখিত ঘটনাগুলো ব্যাখ্যা করতে সক্ষম হব। হাইগেন, ফারমাট, ইয়ং প্রমুখ বিজ্ঞানীদের বিভিন্ন পরীক্ষালব্ধ ফলাফল দ্বারা আলোকীয় বিভিন্ন ঘটনা ব্যাখ্যা ও প্রমাণ করা যায়।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- তড়িৎচৌম্বকীয় তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- আলোক তরঙ্গ তড়িৎচৌম্বকীয় স্পেকট্রামের অংশ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- তরঙ্গমুখের ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- তরঙ্গমুখ সৃষ্টিতে হাইগেনসের নীতির ব্যবহার করতে পারবে।
- হাইগেনসের নীতি ব্যবহার করে আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্র বিশ্লেষণ করতে পারবে।
- আলোর ব্যতিচার ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- আলোর অপবর্তন ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- আলোর সমবর্তন ব্যাখ্যা করতে পারবে।

৭.১ তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ
Electromagnetic wave

আমরা জানি, আলো এক প্রকারের শক্তি। স্বাভাবিকভাবে প্রশ্ন জাগে যে এক স্থান থেকে অন্য স্থানে আলোর শক্তি কীভাবে স্থানান্তরিত হয় এবং শক্তির বিস্তার কীভাবে ঘটে ? শক্তির স্থানান্তর প্রক্রিয়া সম্পর্কে সপ্তদশ শতাব্দীতে দুটি মতবাদ উপস্থাপন করা হয়। প্রথমটি হলো নিউটনের কণিকা তত্ত্ব এবং দ্বিতীয়টি হাইগেন্স-এর তরঙ্গ তত্ত্ব।

তরঙ্গ তত্ত্বের বিভিন্ন অসঙ্গতি লক্ষ করে পরবর্তীকালে ম্যাক্সওয়েল 1860 খ্রিস্টাব্দে তড়িৎ চুম্বকীয় তত্ত্বের প্রবর্তন করেন। তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ আলোচনা করার পূর্বে আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব সম্পর্কে জানব।

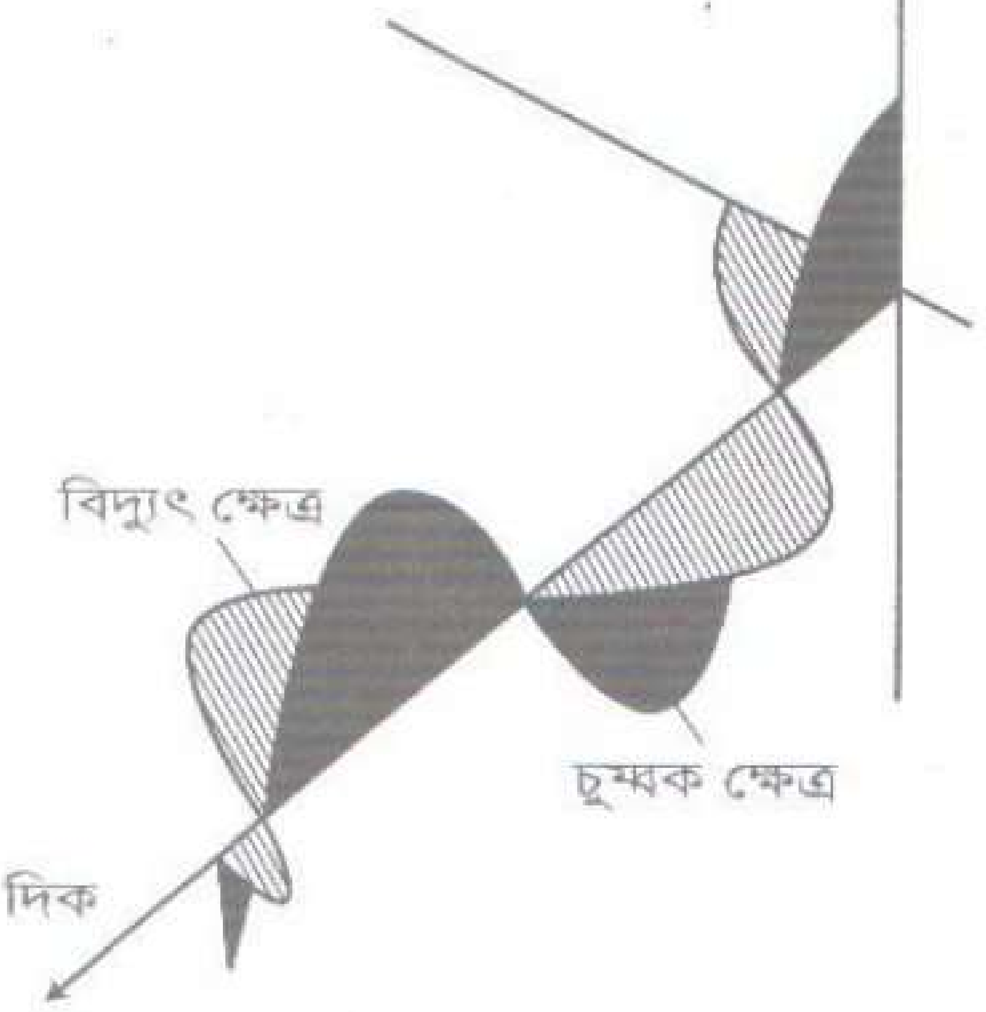
আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব (Wave theory of light) :

স্যার আইজাক নিউটনের সমসাময়িক ডাচ বিজ্ঞানী হাইগেন্স (Huygens) প্রথম 1678 খ্রিস্টাব্দে আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব উপস্থাপন করেন। পরে ইয়ং, ফ্রেনেল এবং আরও অনেক বিজ্ঞানী এ তত্ত্বকে সুপ্রতিষ্ঠিত করেন। এই তত্ত্ব অনুসারে আলো ইথার নামক এক অলীক মাধ্যমের মধ্য দিয়ে তরঙ্গ আকারে সঞ্চারিত হয়ে এক জায়গা থেকে অন্য জায়গায় যায় এবং চোখে পৌঁছালে দর্শনানুভূতি সৃষ্টি করে।

এই তত্ত্বের সাহায্যে আলোর প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, অপবর্তন ব্যাখ্যা করা যায় কিন্তু সমবর্তন ফটো-তড়িৎ ক্রিয়া ব্যাখ্যা করা যায় না। পরবর্তীকালে মাইকেলসন-মর্লির পরীক্ষায় প্রতিষ্ঠিত হয় যে, প্রকৃতিতে ইথার নামক কোনো বস্তুর অস্তিত্ব নেই।

তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্ব (Electromagnetic theory) :

1845 খ্রিস্টাব্দে ফ্যারাডে আবিষ্কার করেন যে একটি প্রবল চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে সমবর্তন তল ঘুরে যায়। এ ঘটনা ফ্যারাডে ক্রিয়া নামে পরিচিত। ফ্যারাডে ক্রিয়া আবিষ্কারের পরে বিজ্ঞানীরা সর্বপ্রথম ধারণা করলেন যে আলোকের সঙ্গে চুম্বকত্বের একটা গভীর সম্পর্ক রয়েছে। তড়িৎ-চৌম্বক সম্পর্কীয় ফ্যারাডের সূত্রানুসারে, পরিবর্তন-শীল চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা তড়িৎ ক্ষেত্র উৎপন্ন হয়। তাই বলা যায় আলো এক ধরনের তড়িৎ চৌম্বক বিকিরণ। এই বিকিরণের সাথে দুইটি ক্ষেত্র জড়িত। একটি হলো পরিবর্তনশীল তড়িৎ ক্ষেত্র এবং অপরটি পরিবর্তনশীল চৌম্বক ক্ষেত্র। সুতরাং আলোকের সাথে তড়িতের এবং চুম্বকত্বের নিবিড় সম্পর্ক থাকা অস্বাভাবিক নয়। জেমস ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল 1864 খ্রিস্টাব্দে পরাবিদ্যুৎ (Dielectric) মাধ্যমে সরণ প্রবাহ (displacement current)-এর উপর পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে প্রস্তাব করেন যে পরিবর্তনশীল তড়িৎ ক্ষেত্র দ্বারাও চৌম্বক ক্ষেত্র উৎপন্ন হয় [চিত্র ৭.১]। সংযুক্ত পরিবর্তনশীল তড়িৎ ক্ষেত্র $(\vec{E})$ ও চৌম্বক ক্ষেত্র $(\vec{B})$ শূন্যস্থানে এক প্রকার আলোড়ন সৃষ্টি করে। এ আলোড়নের তরঙ্গ গুণ রয়েছে। তরঙ্গ গুণসম্পন্ন এ আলোড়নকে তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গ বলে। ম্যাক্সওয়েল এ সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে, স্পন্দন দ্বারা সৃষ্ট তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গের তড়িৎ ক্ষেত্র $(\vec{E})$ এবং চৌম্বক ক্ষেত্র $(\vec{B})$ একই সমতলে পরস্পরের উপরে লম্ব এবং সমতল ক্ষেত্রের অভিলম্ব বরাবর তরঙ্গের শক্তি সঞ্চালিত হয়। এ তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গ শূন্যস্থানের মধ্য দিয়ে,



চিত্র ৭.১

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.1)$$

বেগে চলে। এখানে ϵ_0, শূন্য মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা এবং এর মান,

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9} \text{ coul}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}।$$

এবং μ_0 হলো শূন্য মাধ্যমে প্রবেশ্যতার ধ্রুবক এবং এর মান $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ NA^{-2}।

সমীকরণ (7.1)-এ ϵ_0 ও μ_0-এর মান বসালে c-এর মান পাওয়া যায় 3×10^{10} ms^{-1}।

অর্থাৎ তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গ শূন্যস্থানে আলোর বেগে চলে। সুতরাং আলোক তরঙ্গ এবং তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গ অভিন্ন, পার্থক্য শুধু তরঙ্গদৈর্ঘ্যের। ম্যাক্সওয়েল এও প্রমাণ করেন যে, এ তরঙ্গ অনুপ্রস্থ (Transverse) তরঙ্গ। সংক্ষেপে বলা যায়, **শূন্যস্থান দিয়ে আলোর দ্রুতিতে গতিশীল তড়িৎ ও চৌম্বক আলোড়ন, যাতে তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্র পরস্পর লম্ব এবং এরা উভয়ে তরঙ্গ সঞ্চালনের অভিমুখের সাথে লম্ব বরাবর থাকে তাকে তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গ** বলে। চৌম্বক ক্ষেত্র B এবং তড়িৎ ক্ষেত্র E এর তরঙ্গ সমীকরণ,

$$B = B_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) \text{ এবং } E = E_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)$$

ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎ চৌম্বকীয় তত্ত্ব অনুসারে তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্রের বিস্তারের মধ্যে নিম্নোক্ত সম্পর্ক রয়েছে,

$E_0 = cB_0$ বা, $c = \frac{E_0}{B_0}$; এখানে, E_0 = তড়িৎ ক্ষেত্রের বিস্তার, . B_0 = চৌম্বক ক্ষেত্রের বিস্তার এবং c = আলোর বেগ।

ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎ চৌম্বকীয় তত্ত্ব অনুসারে বস্তুর গুণবিশিষ্ট কাল্পনিক ইথারের পরিবর্তে বৈদ্যুতিক গুণবিশিষ্ট তড়িৎ চৌম্বক ক্ষেত্রের মাধ্যমে আলোর তরঙ্গ সঞ্চালিত হয়ে থাকে। ম্যাক্সওয়েল দোলায়মান বৈদ্যুতিক কুণ্ডলী থেকে আলোর গতিবেগের প্রায় সমান গতিবেগবিশিষ্ট তরঙ্গের নির্গমন লক্ষ করেন। ম্যাক্সওয়েলের এ আবিষ্কারের কয়েক

বছর পরে জার্মান বিজ্ঞানী হাইনরিখ হার্জ ছোট আকারের স্পন্দিত বৈদ্যুতিক কুণ্ডলী হতে আলোক তরঙ্গের গুণাবলিসম্পন্ন ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তরঙ্গ সৃষ্টি করতে সক্ষম হন এবং দেখান যে আলোর সব ধর্মই এই তরঙ্গের রয়েছে। এতে প্রমাণিত হয় যে, আলো তড়িৎ চৌম্বক তরঙ্গ ব্যতীত অন্য কিছু নয়। এ ভাবেই আলোকের তড়িৎ চৌম্বকীয় তত্ত্বের উৎপত্তি ঘটে।

পয়েন্টিং ভেক্টর (Poynting vector) :

তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গের একটি প্রধান বৈশিষ্ট্য হলো এই যে এই তরঙ্গ এক স্থান থেকে অন্য স্থানে শক্তি বহন করতে পারে। কোনো তড়িৎ চৌম্বক তরঙ্গের গতিপথে লম্বভাবে স্থাপিত কোনো একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে যে পরিমাণ শক্তি অতিক্রম করে তাকে **পয়েন্টিং ভেক্টর** বলে। একে ($\vec{S}$) দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$, চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ এবং পয়েন্টিং ভেক্টর $\vec{S}$-এর মধ্যে গাণিতিক সম্পর্ক হলো

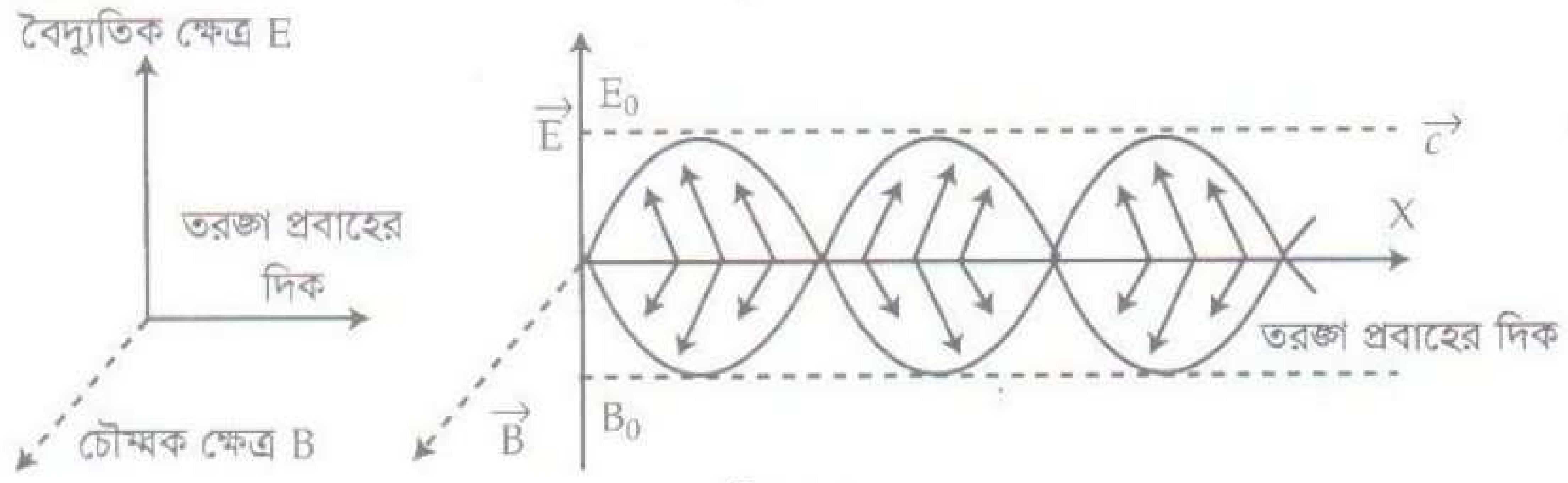
$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}\vec{E} \times B \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.2)$$

অর্থাৎ, $$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.3)$$

এবং একক হলো ওয়াট/মিটার^2। যেহেতু S একটি ভেক্টর রাশি এর দিক হবে যে দিকে শক্তি স্থানান্তরিত হয় সেদিকে। সমীকরণ (7.2) $\vec{E}$ এবং $\vec{B}$ এর তাৎক্ষণিক মান ও দিক নির্দেশ করে।

ম্যাক্সওয়েলের বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তত্ত্বে বলা হয়েছে যে একটি পরিবর্তী চৌম্বক ক্ষেত্রের সাথে একই সঙ্গে সর্বদা সমদশায় কিন্তু সমকোণে একটি পরিবর্তী বিদ্যুৎ ক্ষেত্র স্পন্দনশীল হলে একটি বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ উক্ত ক্ষেত্রের সমকোণে তীব্র বেগে গমন করে।

চিত্র ৭·২-এ ভেক্টর $\vec{E}$ বিদ্যুৎ ক্ষেত্র ও ভেক্টর $\vec{B}$ চৌম্বক ক্ষেত্র নির্দেশ করছে এবং তরঙ্গের বেগ ভেক্টর $\vec{c}$ পরস্পর সমকোণে প্রদর্শিত হয়েছে।



চিত্র ৭·২

তড়িৎ চুম্বকীয় তত্ত্বের সাহায্যে আলোর সমবর্তন ক্রিয়া ব্যাখ্যা করা যায়। কিন্তু আলোক তড়িৎ ক্রিয়া ব্যাখ্যা করা যায় না। আলোক তড়িৎ ক্রিয়া, কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণ ইত্যাদি ব্যাখ্যা করার জন্য 1900 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত জার্মান বিজ্ঞানী ম্যাক্স প্লাঙ্ক কোয়ান্টাম তত্ত্ব উপস্থাপন করেন।

কাজ : আলোর প্রকৃতি সম্বন্ধে বিভিন্ন তত্ত্বের উল্লেখ কর।

আলোকের প্রকৃতি সম্বন্ধে যেসব তত্ত্ব উদ্ভাবিত হয়েছে সেগুলি হলো—

(i) নিউটনের কণিকা তত্ত্ব
(ii) হাইগেনের তরঙ্গ তত্ত্ব
(iii) ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎচুম্বকীয় তত্ত্ব এবং
(iv) আইনস্টাইনের কোয়ান্টাম তত্ত্ব।

তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য

১। তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E}$ ও চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ -এর পর্যায়বৃত্ত পরিবর্তনের ফলে উৎপন্ন হয়।

২। তরঙ্গ সঞ্চালনের অভিমুখ $\vec{E}$ ও $\vec{B}$ উভয়ের উপর লম্ব। তাই তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ আড় তরঙ্গ।

৩। তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের সঞ্চালনের জন্য কোনো মাধ্যমের প্রয়োজন হয় না।

৪। তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণের তীব্রতা দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতে হ্রাস পায়। অর্থাৎ

$E \propto \frac{1}{r^2}$, এখানে E হলো তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণের তীব্রতা এবং r হলো উৎস হতে দূরত্ব। সুতরাং, দূরত্ব দ্বিগুণ বৃদ্ধি পেলে তীব্রতা চারগুণ হ্রাস পাবে।

৫। তড়িচ্চুম্বকীয় সকল বিকিরণের জন্য তরঙ্গের বেগ c, তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ ও কম্পাঙ্ক υ-এর মধ্যে নিম্নোক্ত সম্পর্ক প্রযোজ্য :

$$c = \upsilon\lambda$$

৬। শূন্য মাধ্যমে এ তরঙ্গের বেগ $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ 20 MHz কম্পাঙ্কসহ মুক্ত স্থানে Z অক্ষ বরাবর সঞ্চালিত হচ্ছে। কোনো নির্দিষ্ট বিন্দুতে এর তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E} = 5\hat{i} \text{ Vm}^{-1}$ হলে, ঐ বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এর মান কত?

আমরা জানি,

$$B = \frac{E}{c}$$

বা, $B = \frac{5}{3 \times 10^8}$

$= 1.67 \times 10^{-8} \text{ T}$

এখানে,

তড়িৎ ক্ষেত্রের মান, $E = 5\text{Vm}^{-1}$

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

চৌম্বক ক্ষেত্রের মান, $B = ?$

২। পানির আপেক্ষিক ভেদনযোগ্যতা ও আপেক্ষিক চৌম্বক প্রবেশ্যতা যথাক্রমে 80 ও 0.022 হলে পানিতে আলোর দ্রুতি নির্ণয় কর। (শূন্য মাধ্যমে আলোর দ্রুতি = $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$)

আমরা জানি,

$$c_w = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{1}{\sqrt{K_m\mu_0K_e\epsilon_0}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{K_mK_e}} \times \frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{K_mK_e}} \times c \qquad \left[\because c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}}\right]$$

$$= \frac{1}{\sqrt{0.022 \times 80}} \times 3 \times 10^8 = 2.28 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

এখানে,

আপেক্ষিক ভেদনযোগ্যতা, $K_e = 80$

আপেক্ষিক চৌম্বক প্রবেশ্যতা, $K_m = 0.022$

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

পানিতে আলোর দ্রুতি, $c_w = ?$

৭.২ তড়িৎচুম্বকীয় স্পেকট্রাম বা বর্ণালী

Electromagnetic spectrum

যে কোনো পর্যাবৃত্ত (Periodic) তরঙ্গের কম্পাঙ্ক f এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ রয়েছে। পর্যাবৃত্ত তরঙ্গের কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সঙ্গে তরঙ্গের গতিবেগের সম্পর্ক হলো,

$$v = \lambda\upsilon \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7.4)$$

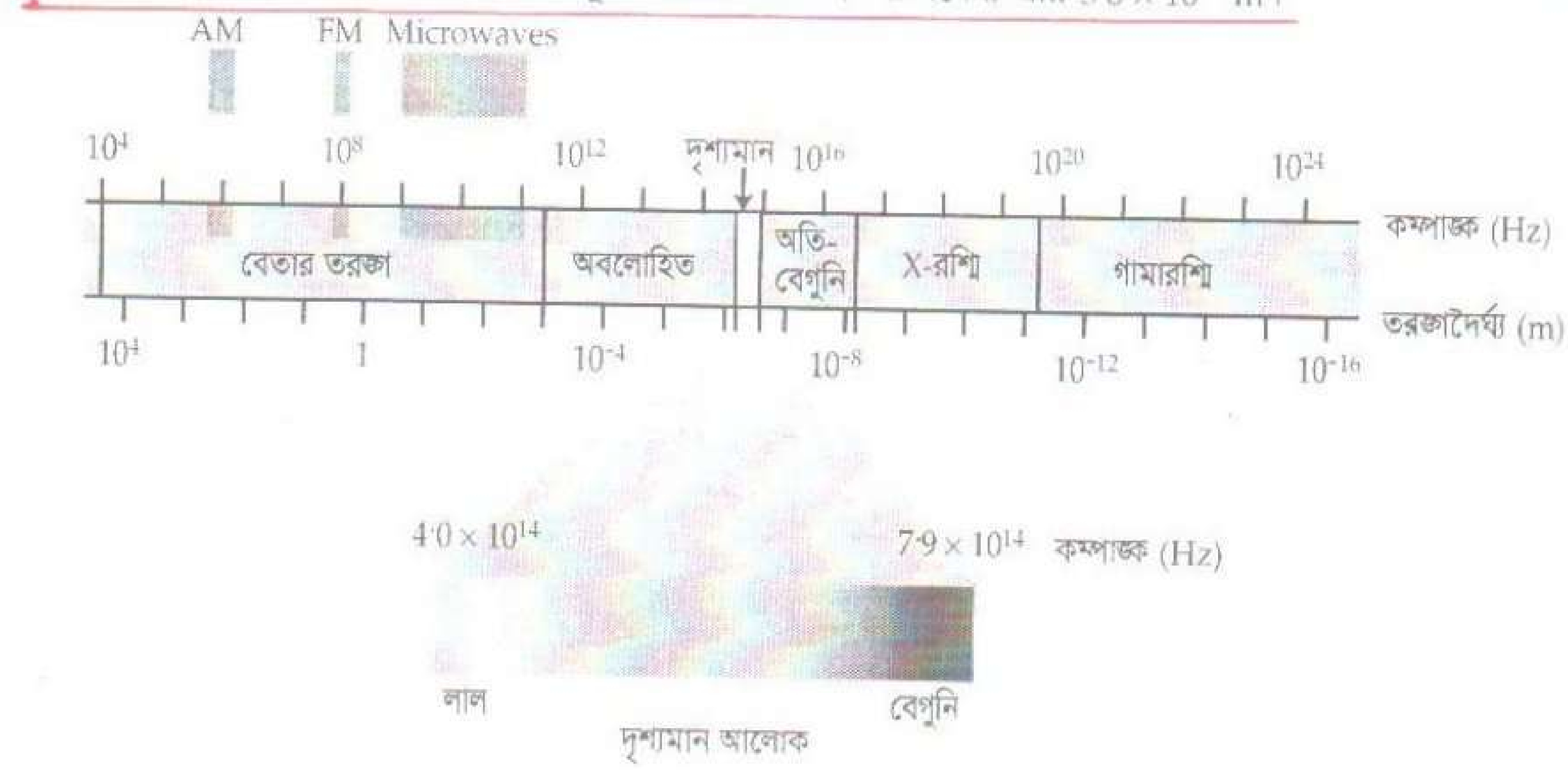
তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গের শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে সঞ্চালন ক্ষেত্রে তরঙ্গের গতিবেগ আলোর গতিবেগের সমান। অর্থাৎ $v = c$। সুতরাং,

$$c = \lambda\upsilon \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7.5)$$

তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গের কম্পাঙ্কের প্রসার বা পাল্লা (range) অত্যন্ত বেশি। এর প্রসারতা 10^4 Hz বা সাইকেল/সেকেন্ড-এর কম মান থেকে শুরু করে 10^{23} Hz বা সাইকেল/সেকেন্ড-এর উর্ধ্বে পর্যন্ত বিস্তৃত। এই পরিসরকে তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালী (Electromagnetic spectrum) বলে। তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য অনুসারে বহু আগে থেকেই বিভিন্ন নামকরণ প্রচলিত আছে। যেমন রেডিও তরঙ্গ, অবলোহিত তরঙ্গ, দৃশ্যমান তরঙ্গ, এক্স রশ্মি, গামা রশ্মি ইত্যাদি। অবশ্য এদের মধ্যে সুনির্দিষ্ট সীমারেখা নেই; বরং আংশিক উপরিপাত রয়েছে। নামকরণ এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য অনুসারে বিভিন্ন তরঙ্গের পরিসর চিত্র ৭.৩ ও সারণি ১-এ দেয়া হলো।

তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালীর মধ্যে আমাদের সবচেয়ে পরিচিত অংশ হলো দৃশ্যমান আলোক। এর ব্যাপ্তি খুবই সামান্য। মাত্র 7.8×10^{-7} m থেকে 3.9×10^{-7} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বা 3.8×10^{14} Hz থেকে 7.7×10^{14} Hz কম্পাঙ্কের মধ্যে। আমাদের চোখ শুধুমাত্র এটুকু তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বা কম্পাঙ্কের তড়িৎ চৌম্বক তরঙ্গের প্রতি সংবেদনশীল। আমাদের

চোখ বা মস্তিষ্ক ভিন্ন ভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক রশ্মিকে ভিন্ন ভিন্ন রঙ-এ দেখে থাকে। যেমন লাল রঙ-এর আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় 7.5×10^{-7} m, আবার বেগুনি রঙ-এর আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় 3.8×10^{-7} m।



চিত্র ৭.৩

উৎস : পদার্থের অণু-পরমাণু সব ধরনের বর্ণালীর মূল উৎস। যখন কোনো বস্তুর উপর কোনো নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের আলোক আপতিত হয় তখন এ আলোকের তড়িৎ চৌম্বক ক্ষেত্র এবং আণবিক পরিবর্তন, পরমাণুর ইলেকট্রনের কক্ষীয় অবস্থানের পরিবর্তন বা নিউক্লীয় পরিবর্তন দ্বারা উৎপন্ন তড়িৎ বা চৌম্বক ক্রিয়ার মধ্যে এক ধরনের পারস্পরিক কর্মকাণ্ড সংঘটিত হয়। এরূপ কর্মকাণ্ডের ফলে সৃষ্ট শক্তির পরিবর্তন ঘটে এবং বর্ণালী সৃষ্টি হয়। এভাবে বিভিন্ন ধরনের বর্ণালীর সৃষ্টি হয়। [সারণি ১ : তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালীর বৈশিষ্ট্যমূলক ছক দ্রষ্টব্য]

সারণি ১ : তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালীর বৈশিষ্ট্যমূলক ছক

তরঙ্গ পট্টি	তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিসর	নিঃসরণকারী উৎস	নিঃসরণের কারণ	বৈজ্ঞানিক প্রয়োগ / ব্যবহার
বেতার তরঙ্গ	10^{-4}m থেকে 5×10^{4} m	(i) এ্যান্টেনার মধ্যে দোলায়িত তড়িৎ আধান (ii) স্পন্দিত তড়িৎ বর্তনী (oscillating electric circuit)	(i) উচ্চ কম্পাঙ্কের স্পন্দিত তড়িৎ প্রবাহ (ii) পরমাণুস্থ ইলেকট্রনের খুবই ক্ষুদ্র পরিমাণ শক্তির পরিবর্তনের জন্য	বিভিন্ন ধরনের বেতার যোগাযোগ ব্যবস্থা অর্থাৎ দূরবর্তী স্থানে স্পন্দিত ছবি প্রেরণের জন্য বেতার তরঙ্গ ব্যবহৃত হয়।
মাইক্রোওয়েভ তরঙ্গ	10^{-1}m থেকে 10^{-3}m	(i) ক্লাইস্ট্রন (Klystron) ও ম্যাগনেট্রন (Magnetron) নামে বিশেষ ধরনের বালব। (ii) মেসার (Microwave Amplifications by Stimulated Emission of Radiation এর সংক্ষিপ্ত নাম MASER)। মেসার অর্থ হলো বিকিরণের উদ্দীপিত নিঃসরণ দ্বারা মাইক্রো-ওয়েভ বিবর্ধন।	স্থায়ী তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক-সম্পন্ন দ্বিপরমাণুর ঘূর্ণনের ফলে মাইক্রোওয়েভ বর্ণালীর উৎপত্তি হয়।	রাডার যন্ত্রে, নৌ ও বিমান চালনায়, রেডিও যোগাযোগ ব্যবস্থায়, শিল্প কারখানায় এই তরঙ্গ ব্যবহৃত হয়। এই ছাড়া খাবার গরম করা ও রান্নার কাজে মাইক্রোওভেন ব্যবহৃত হয়।

* অবলোহিত রশ্মি হতে [illegible] →

M→ ৭১, ৭৬, ৮৯

তরঙ্গ পট্টি	তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিসর	নিঃসরণকারী উৎস	নিঃসরণের কারণ	বৈজ্ঞানিক প্রয়োগ / ব্যবহার
অবলোহিত রশ্মি	10^{-3}m থেকে 4×10^{-7}m	(i) উত্তপ্ত সকল বস্তু হতে কমবেশি অবলোহিত রশ্মি নির্গত হয়। (ii) আই.আর. (IR) ল্যাম্প নামে বিশেষ ধরনের বাতি থেকে পাওয়া যায়। (iii) সূর্যরশ্মি থেকে পাওয়া যায়।	(i) পরমাণুস্থ ইলেকট্রনের ক্ষুদ্র পরিমাণ শক্তির পরিবর্তনের জন্য। (ii) স্থায়ী তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামকসম্পন্ন দ্বিপরমাণুর কম্পনের ফলে	বিভিন্ন রোগের চিকিৎসায়, জ্যোতির্বিদ্যায়, শিল্প কারখানায় এই রশ্মি ব্যবহৃত হয়। অন্ধকারে দেখার জন্য গগলস এবং অন্ধকারে ছবি তোলার জন্য এই রশ্মির ক্যামেরা ব্যবহার করা হয়।
দৃশ্যমান আলো বেগুনি.......... নীল .... আসমানী....... সবুজ........... হলুদ .... কমলা.......... লাল............	7×10^{-7}m থেকে 4×10^{-7}m 3.8×10^{-7}m–4.25×10^{-7}m 4.25×10^{-7}m –4.45×10^{-7}m 4.45×10^{-7}m– 5×10^{-7}m 5×10^{-7}m–5.75×10^{-7}m 5.75×10^{-7}m– 5.85×10^{-7}m 5.85×10^{-7}m–6.20×10^{-7}m 6.20×10^{-7}m –7.8×10^{-7} m	বিভিন্ন ধরনের বাতি, অগ্নিশিখা, লেসার, ভাস্বর যে কোনো বস্তু, সূর্যরশ্মি ইত্যাদি হতে পাওয়া যায়।	(i) পরমাণুস্থ ইলেকট্রনের উত্তেজিত অবস্থান হতে স্থায়ী অবস্থানে ফিরে আসার সময় নির্গত বিকিরণ হতে দৃশ্যমান আলো পাওয়া যায়।	যে কোনো কিছু দেখার কাজে আমাদের চোখ এই আলো ব্যবহার করে। উদ্ভিদে সালোক সংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রাখে। ফটোগ্রাফিক ফিল্ম প্রভাবিত করে।
অতিবেগুনি রশ্মি	5×10^{-7} m থেকে 5×10^{-9}m	খুবই উত্তপ্ত বস্তু যেমন তড়িৎ বিচ্ছুরণ (electric arc). কোয়ার্টজ টিউবের ভেতরে পারদ গ্যাসের মধ্য দিয়ে তড়িৎক্ষরণের ফলে এবং সূর্য রশ্মি হতে পাওয়া যায়।	পরমাণুস্থ ইলেকট্রনের বিভিন্ন স্তরের মধ্যে উচ্চ শক্তির পরিবর্তনের জন্য।	আয়নায়ন ঘটানোর কাজে, প্রতিপ্রভ সৃষ্টিতে ব্যবহৃত হয়। রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটানোর কাজে, ফটো-ইলেকট্রিক ক্রিয়া সংঘটনে, ফটোগ্রাফিক ফিল্ম প্রভাবিত করার কাজে, অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণ ক্ষমতা বৃদ্ধির কাজে এবং শরীরে ভিটামিন D তৈরির কাজে ব্যবহৃত হয়।
এক্স-রে (X-ray)	5×10^{-9} m থেকে 5×10^{-12}m	এক্সরে টিউব	(i) এক্সরে টিউবে উচ্চ গতির ইলেকট্রনকে মন্দন সৃষ্টির মাধ্যমে এই রশ্মি তৈরি করা হয়। (ii) ভারী মৌলের পরমাণুকে উচ্চ শক্তির ইলেকট্রন দ্বারা আঘাত করলে পরমাণুর গভীরে অবস্থিত ইলেকট্রনের উত্তেজনার দ্বারা এই রশ্মি সৃষ্টি হয়।	চিকিৎসা ক্ষেত্রে, গবেষণা কাজে, শিল্প কারখানায়, নিরাপত্তার কাজে, চোরা-চালান নিরোধে এক্সরে ব্যবহৃত হয়।
গামা রশ্মি →. ০৭-০৮	5×10^{-11}m থেকে 5×10^{-15}m বা এর চেয়ে কম।	(i) তেজস্ক্রিয় বস্তু হতে (ii) নিউক্লীয় ফিশন ও ফিউশন বিক্রিয়ায় (iii) মৌলিক কণার মিথস্ক্রিয়ায় এই রশ্মি নির্গত হয়।	(i) পরমাণুর নিউক্লিয়াস উত্তেজিত হয়ে উচ্চ শক্তি স্তর হতে নিম্ন শক্তি স্তরে স্থানান্তরের ফলে এই রশ্মি নির্গত হয়। (ii) তেজস্ক্রিয় পরমাণুর বিশ্লেষণের সময় এই রশ্মি নির্গত হয়। (iii) সূর্যের মধ্যে ফিউশন বিক্রিয়ার কারণে গামা রশ্মি উৎপন্ন হয়।	চিকিৎসা ক্ষেত্রে বিভিন্ন রোগ নির্ণয়ে, বিজ্ঞানাগারে গবেষণার কাজে, ধাতব পদার্থের খুঁত নির্ণয়ে এই রশ্মি ব্যবহৃত হয়। মানব দেহে ক্যান্সার আক্রান্ত সেলকে ধ্বংস করতে এই রশ্মি ব্যবহৃত হয়। M– ০৭-০৮

কাজ : নিম্নলিখিত বিস্তৃত শ্রেণির তরঙ্গসমূহকে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ক্রম অনুযায়ী সাজাও (বড় থেকে ছোট)।
দৃশ্যমান আলোক রশ্মি, অতিবেগুনি রশ্মি, অবলোহিত রশ্মি, টিভি ও রেডিও তরঙ্গ, γ-রশ্মি, X-রশ্মি।

(i) রেডিও এবং টিভি তরঙ্গ, (ii) অবলোহিত রশ্মি, (iii) দৃশ্যমান আলোক রশ্মি, (iv) অতিবেগুনী রশ্মি, (v) X-রশ্মি এবং (vi) γ-রশ্মি।

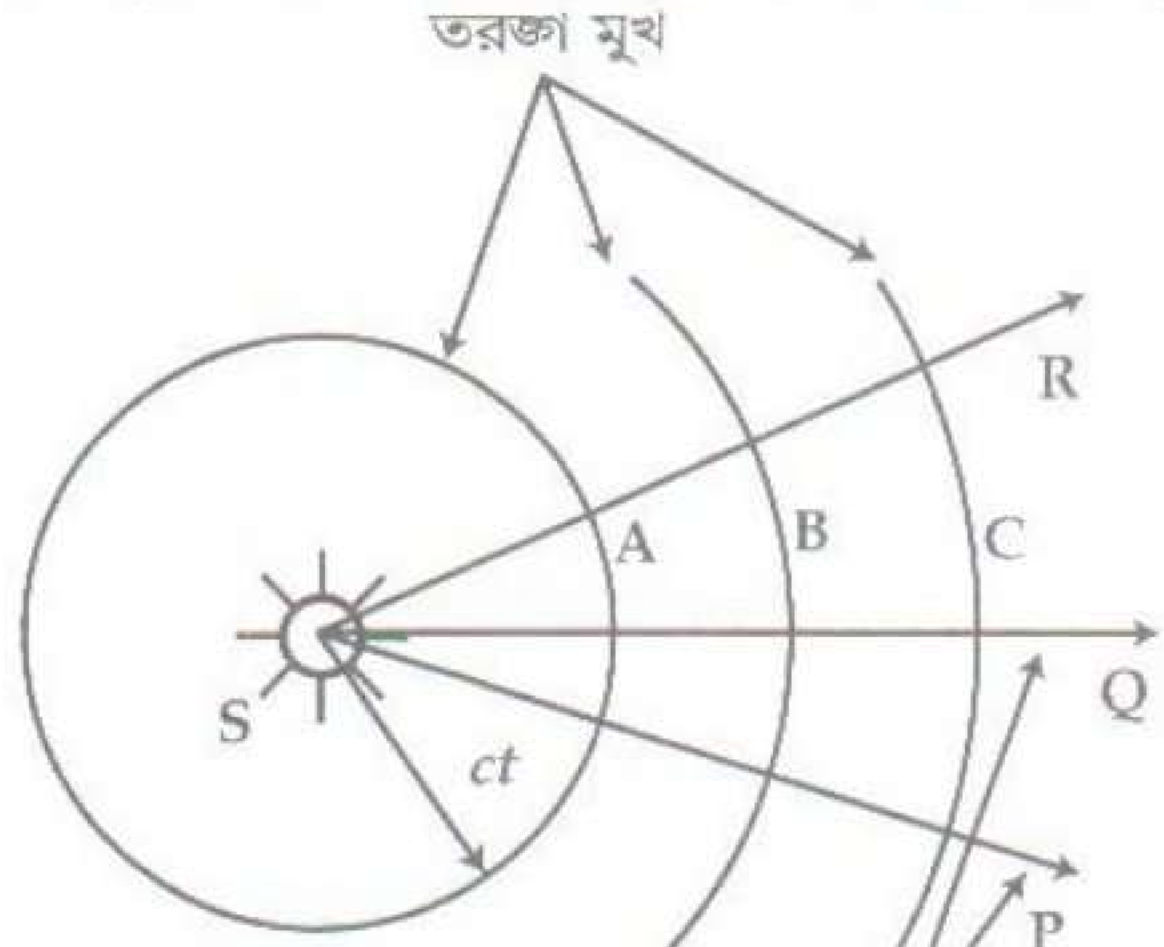
৭.৩ তরঙ্গমুখ
Wave front

আমরা জানি কোনো একটি মাধ্যমের বিভিন্ন কণার সম্মিলিত কম্পনের ফলে মাধ্যমে একটি আলোড়ন সৃষ্টি হয়। এই আলোড়নকে তরঙ্গ বলে। যেমন—পুকুরের স্থির পানিতে ঢিল ছুঁড়লে তরঙ্গ উৎপন্ন হয় যা উৎপন্ন স্থান থেকে চারদিকে ছড়িয়ে পড়ে। তরঙ্গমুখের নিম্নলিখিত যে কোনো একটি সংজ্ঞা দেয়া যেতে পারে—

(ক) **তরঙ্গস্থিত সমদশাসম্পন্ন কণাগুলো যে তলে অবস্থান করে, তাকে সৃষ্ট তরঙ্গের তরঙ্গমুখ বলে।**

(খ) **যে কোনো সময়ে সমসত্ত্ব মাধ্যমে তরঙ্গস্থিত সমদশাসম্পন্ন কণাগুলোর সঞ্চারপথকে তরঙ্গমুখ বলে।**

ব্যাখ্যা : মনে করি কোনো সমসত্ত্ব (isotropic) মাধ্যমে অবস্থিত S একটি ক্ষুদ্র আলোক উৎস। উৎসের অণুগুলোর কম্পনে উৎপন্ন আড় তরঙ্গ মাধ্যমের চারদিকে ছড়িয়ে পড়বে। আলোকের বেগ c হলে t সেকেন্ড সময়ে আলোর তরঙ্গ S হতে বিভিন্ন দিকে ct পরিমাণ দূরত্ব অতিক্রম করবে। এখন S-কে কেন্দ্র করে ct ব্যাসার্ধ নিয়ে একটি গোলক অঙ্কন করলে ঐ গোলকের উপরিতলে অবস্থিত প্রতিটি বিন্দুর দশা একই হবে। গোলকের উপরিতলই সমদশাগ্রস্ত কণাগুলোর অবস্থান নির্দেশ করবে। সুতরাং, ঐ মুহূর্তে গোলকের গোলীয় পৃষ্ঠটি আলোর তরঙ্গমুখ। অতএব A হলো তরঙ্গমুখ। সময় অতিবাহিত হওয়ার সাথে সাথে আলো দূরে সরে যাবে এবং তরঙ্গমুখের নতুন নতুন অবস্থান পাওয়া যাবে। চিত্র ৭.৪-এ B ও C যথাক্রমে t_1 ও t_2 সময়ে তরঙ্গমুখের নতুন অবস্থান দেখানো হয়েছে। তরঙ্গমুখের উল্লম্ব বরাবর অঙ্কিত SP, SQ, SR প্রভৃতি রেখা বিভিন্ন দিকে আলোর সঞ্চারণের দিক নির্দেশ করে।



চিত্র ৭.৪

গোলকীয় তরঙ্গমুখ : আমরা জানি, তরঙ্গস্থিত সমদশাসম্পন্ন কণাগুলোর সঞ্চারপথ হলো তরঙ্গমুখ। উৎস হতে উৎপন্ন আলোর তরঙ্গমুখ উৎসের কাছাকাছি অবস্থানে গোলকীয়। চিত্র ৭.৪-এ A, B, C ইত্যাদি গোলকীয় তরঙ্গমুখ। গোলকীয় তরঙ্গমুখের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়—

তরঙ্গস্থিত সমদশাসম্পন্ন কণাগুলোর সঞ্চারপথ গোলকীয় হলে তাকে গোলকীয় তরঙ্গমুখ বলে। গোলকীয় তরঙ্গমুখসম্পন্ন তরঙ্গকে গোলকীয় তরঙ্গ বলে।

সমতল তরঙ্গমুখ : উৎস হতে দূরবর্তী অঞ্চলে তরঙ্গমুখের বক্রতা কমতে থাকে। বহু দূরের উৎস হতে আগত তরঙ্গমুখ সমতল হবে। এজন্য সূর্যের বা অন্য কোনো নক্ষত্রের তরঙ্গমুখকে সমতল বিবেচনা করা হয়। পরবর্তী ৭.৪ অনুচ্ছেদের চিত্র ৭.৫ (ক)-এ AB ও CD সমতল তরঙ্গমুখ অর্থাৎ **তরঙ্গস্থিত সমদশাসম্পন্ন কণাগুলোর সঞ্চারপথ সমতল হলে তাকে সমতল তরঙ্গমুখ বলে। সমতল তরঙ্গমুখসম্পন্ন তরঙ্গকে সমতল তরঙ্গ বলে।**

নিজে কর : তরঙ্গমুখের গঠন ও বিস্তার সম্পর্কিত হাইগেনসের নীতি বিবৃত কর।

৭.৪ হাইগেনস-এর নীতি এবং এ নীতিতে আলোক তরঙ্গের বিস্তার কৌশল
Huygens's principle and propagation of light waves on the basis of this principle

ধারণা
Concept

উৎস জানা থাকলে সাধারণ নিয়মে তরঙ্গমুখের যে কোনো সময়ের অবস্থান নির্ণয় করা যায়। উৎস জানা না থাকলেও কোনো এক সময়ের তরঙ্গমুখের অবস্থান ও আকৃতি জানা থাকলে হাইগেনস-এর নীতি অনুসরণ করে অন্য যে কোনো সময়ে তরঙ্গমুখের অবস্থান ও আকৃতি নির্ণয় করা যায়। হাইগেনস-এর নীতি অনুসারে তরঙ্গমুখের প্রতিটি বিন্দুকে গোলকীয় তরঙ্গের উৎস হিসেবে গণ্য করা যায়। এসব তরঙ্গকে গৌণ তরঙ্গ (secondary waves) বলে।

গৌণ তরঙ্গগুলো মূল তরঙ্গের সমান বেগে সামনের দিকে অগ্রসর হয়। হাইগেনস-এর নীতিকে আমরা নিম্নোক্তভাবে বিবৃত করতে পারি।

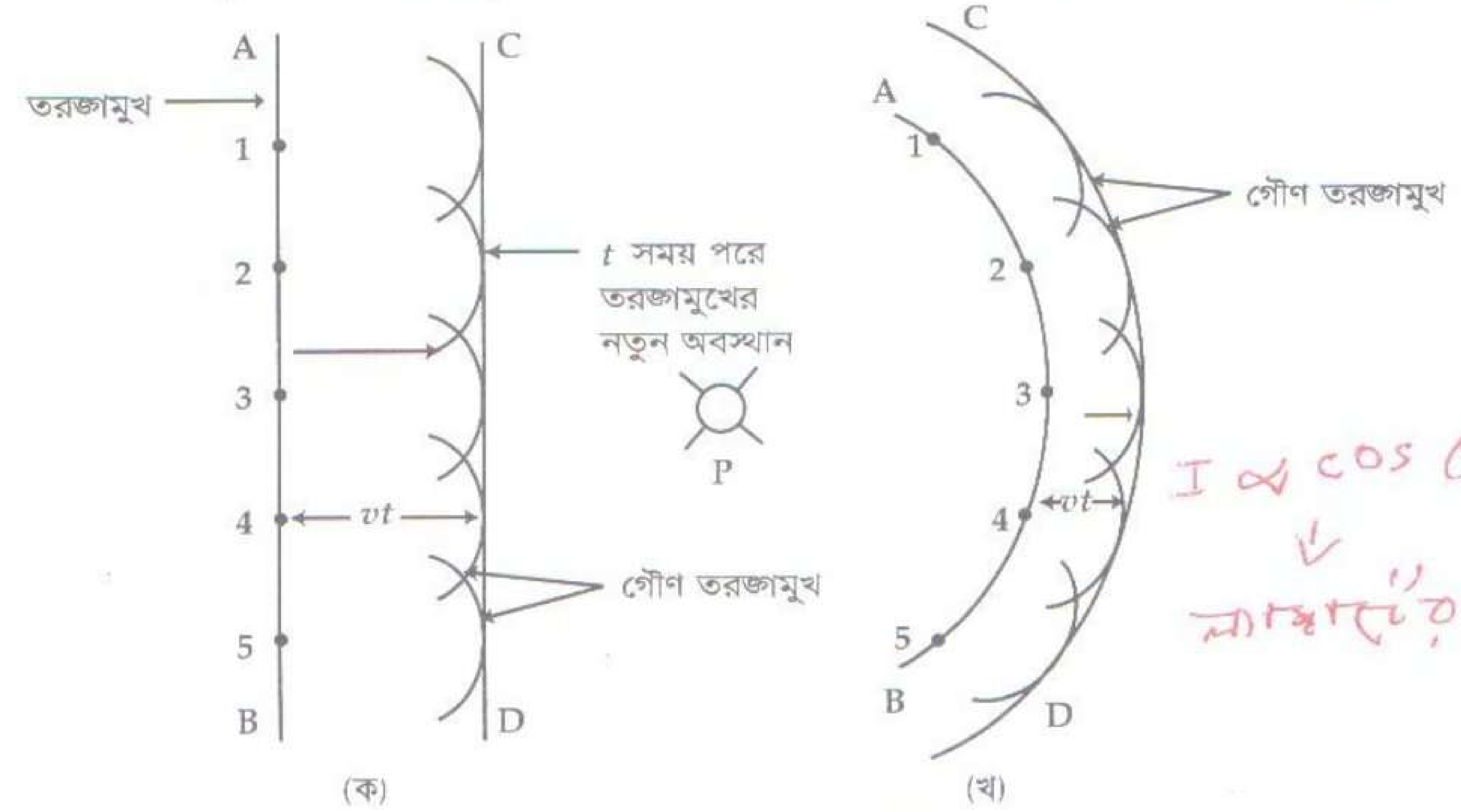
বিবৃতি : কোনো একটি তরঙ্গমুখের উপর অবস্থিত প্রতিটি বিন্দু কম্পন বা আন্দোলনের এক একটি উৎস হিসেবে বিবেচিত হয়। ঐ গৌণ উৎসগুলো থেকে সৃষ্ট তরঙ্গমালা মূল তরঙ্গের সমান বেগে সামনের দিকে অগ্রসর হয়। যে কোনো সময়ে ঐ সব গৌণ তরঙ্গমালাকে স্পর্শ করে একটি তল অঙ্কন করলে ঐ তলই ঐ সময়ের তরঙ্গমুখের নতুন অবস্থান নির্দেশ করে।

তরঙ্গমুখ
Wave front

0°

চিত্র ৭.৫(ক) ও (খ)-এ যথাক্রমে সমতল তরঙ্গের ক্ষেত্রে এবং গোলকীয় তরঙ্গের ক্ষেত্রে গৌণ তরঙ্গমুখ এবং তরঙ্গমুখের নতুন অবস্থান দেখানো হয়েছে।

মনে করি কোনো সমসত্ত্ব মাধ্যমে P একটি বিন্দু আলোক উৎস [চিত্র ৭.৫(খ)]। P-এর অণুগুলোর কম্পনে উৎপন্ন তরঙ্গ চারদিকে ছড়িয়ে পড়েছে। কোনো এক সময়ে তরঙ্গমুখের অবস্থান AB। হাইগেনস-এর নীতি অনুসারে t সময়ে তরঙ্গমুখের অবস্থান বের করতে হবে। তরঙ্গমুখের AB অবস্থানে 5টি বিন্দু 1, 2, 3, 4 ও 5 ধরা হলো। (এরূপ অসংখ্য বিন্দু কল্পনা করা যায়।) হাইগেনস-এর নীতি অনুসারে প্রতিটি বিন্দু নতুন আলোড়নের উৎস হিসেবে ক্রিয়া করে নতুন তরঙ্গ সৃষ্টি করবে। আলোকের বেগ v হলে t সময়ে তরঙ্গগুলি vt দূরত্ব অতিক্রম করবে। বিন্দুগুলিকে কেন্দ্র ধরে vt ব্যাসার্ধ নিয়ে বৃত্তচাপ আঁকি। চাপগুলোর একটি সাধারণ স্পর্শক CD আঁকি। এখন CD হলো তরঙ্গমুখের নতুন



$I \propto \cos\theta$

চিত্র ৭.৫ : (ক) সমতল তরঙ্গের বেলায় ; (খ) গোলকীয় তরঙ্গের বেলায়।

অবস্থান। বিন্দুগুলি হতে অঙ্কিত বৃত্ত বা গোলকীয় চাপই হলো গৌণ উৎস হতে উৎপন্ন তরঙ্গের t সময় পরের অবস্থান। এখানে উল্লেখ্য যে, ত্রিমাত্রিক স্থানে বিন্দুগুলো vt ব্যাসার্ধের গোলকীয় চাপ রচনা করবে। ঐ চাপগুলোর একটি সাধারণ স্পর্শক বা মোড়ক (envelope) CD একটি গোলীয় তল হবে।

সময়ের সাথে সাথে আলোক তরঙ্গ দূরে সরে যাবে এবং গোলীয় তলের বক্রতা কমতে থাকবে। বহু দূরে একে সমতল ধরা যায়।

চিত্র ৭.৫ (ক)-এ অসীম দূর হতে আগত তরঙ্গমুখের কোনো এক সময়ের অবস্থান AB দেখানো হয়েছে। এই তরঙ্গমুখের উপর কয়েকটি বিন্দু নিয়ে উপরের নিয়মে vt ব্যাসার্ধ নিয়ে বৃত্ত গোলীয় চাপ এঁকে একটি সাধারণ স্পর্শক CD আঁকলে CD হবে তরঙ্গমুখের নতুন অবস্থান। হাইগেনসের নীতি অনুসারে এটি সমতল তরঙ্গমুখ নির্দেশ করে।

সংজ্ঞা : কোনো তরঙ্গের উপর অবস্থিত সমদশাসম্পন্ন কণাগুলোর গতিপথকে তরঙ্গমুখ বলে।

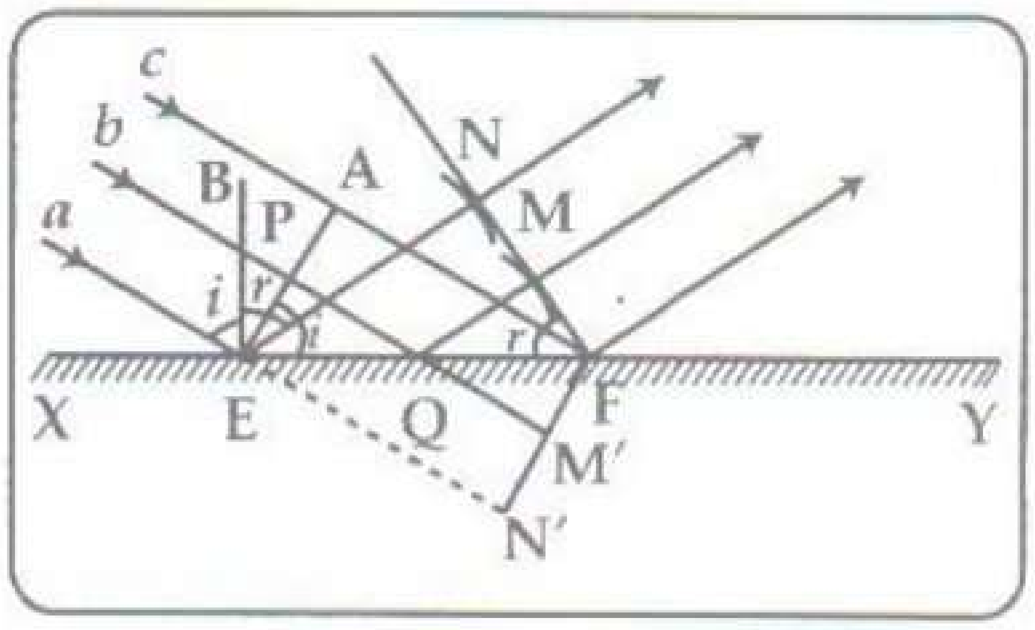
তরঙ্গমুখের উপর অঙ্কিত অভিলম্বকে রশ্মি (ray) বলা হয়। তরঙ্গের শক্তি এই রশ্মি বরাবর শূন্যস্থান বা মাধ্যমের এক অংশ থেকে অন্য অংশে স্থানান্তরিত হয়।

হাইগেনসের নীতির ভিত্তিতে আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণ
Laws of Reflection and Refraction of light on the basis of Huygens's Principle

হাইগেনসের নীতি ব্যবহার করে আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্র বিশ্লেষণ করা যায়। নিম্নে তা বর্ণনা করা হলো—

আলোর প্রতিফলন
Reflection of light

মনে করি XY একটি সমতল প্রতিফলক তল। a, b, c তিনটি সমান্তরাল আলোক রশ্মি। এরা তির্যকভাবে XY তলের উপর আপতিত হলো [চিত্র ৭·৬]। ধরি EPA এই সমান্তরাল রশ্মিগুলোর তরঙ্গমুখ। এর প্রত্যেকটি বিন্দু আলোড়ন কেন্দ্র হিসেবে ক্রিয়া করবে এবং ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র গৌণ তরঙ্গ উৎপন্ন করবে। এই গৌণ তরঙ্গগুলো চারদিকে ছড়িয়ে পড়বে। মনে করি A বিন্দু হতে একটি আলোক রশ্মি t সময়ে XY পৃষ্ঠের F বিন্দুতে পৌঁছল। ইতিমধ্যে E-এর আলোড়ন N বিন্দুতে এবং Q-এর আলোড়ন M বিন্দুতে পৌঁছবে। ফলে প্রতিফলিত তরঙ্গমুখ FMN পাওয়া যাবে। যদি বাতাসে আলোকের বেগ v হয়, তবে $FA = vt$। এখন E-কে কেন্দ্র করে এবং $FA = vt$-কে ব্যাসার্ধ করে একটি বৃত্তচাপ অঙ্কন করলে FMN পাওয়া যাবে। FMN-এর স্পর্শক অঙ্কন করে নতুন তরঙ্গমুখ পাওয়া যাবে। এটাই হলো প্রতিফলিত তরঙ্গমুখ।



চিত্র ৭·৬

প্রতিফলনের সূত্রাবলি প্রমাণ :

ΔAEF ও ΔNEF-এর মধ্যে $\angle EAF = \angle ENF = 1$ সমকোণ, $AF = EN = vt$ এবং EF তাদের সাধারণ বাহু।

$\therefore$ ত্রিভুজদ্বয় সর্বসম এবং $\angle AEF = \angle EFN$ ... ... (7.6)

এখন আপতন বিন্দু E-তে EB লম্ব হলে,

$\angle a EB + \angle BEA = \angle BEA + \angle AEF = 1$ সমকোণ

$\therefore$ $\angle a EB = \angle AEF =$ আপতন কোণ, $\angle i$ ... ... (7.7)

আবার, $\angle NEB + \angle NEF = \angle EFN + \angle NEF = 1$ সমকোণ

$\therefore$ $\angle NEB = \angle EFN =$ প্রতিফলন কোণ, $\angle r$ ... ... (7.8)

সমীকরণ (7.6), (7.7) ও (7.8) হতে লেখা যায়, আপতন কোণ, $\angle i =$ প্রতিফলন কোণ, $\angle r$। **এ দ্বারা আলোকের প্রতিফলনের দ্বিতীয় সূত্র প্রমাণিত হলো।**

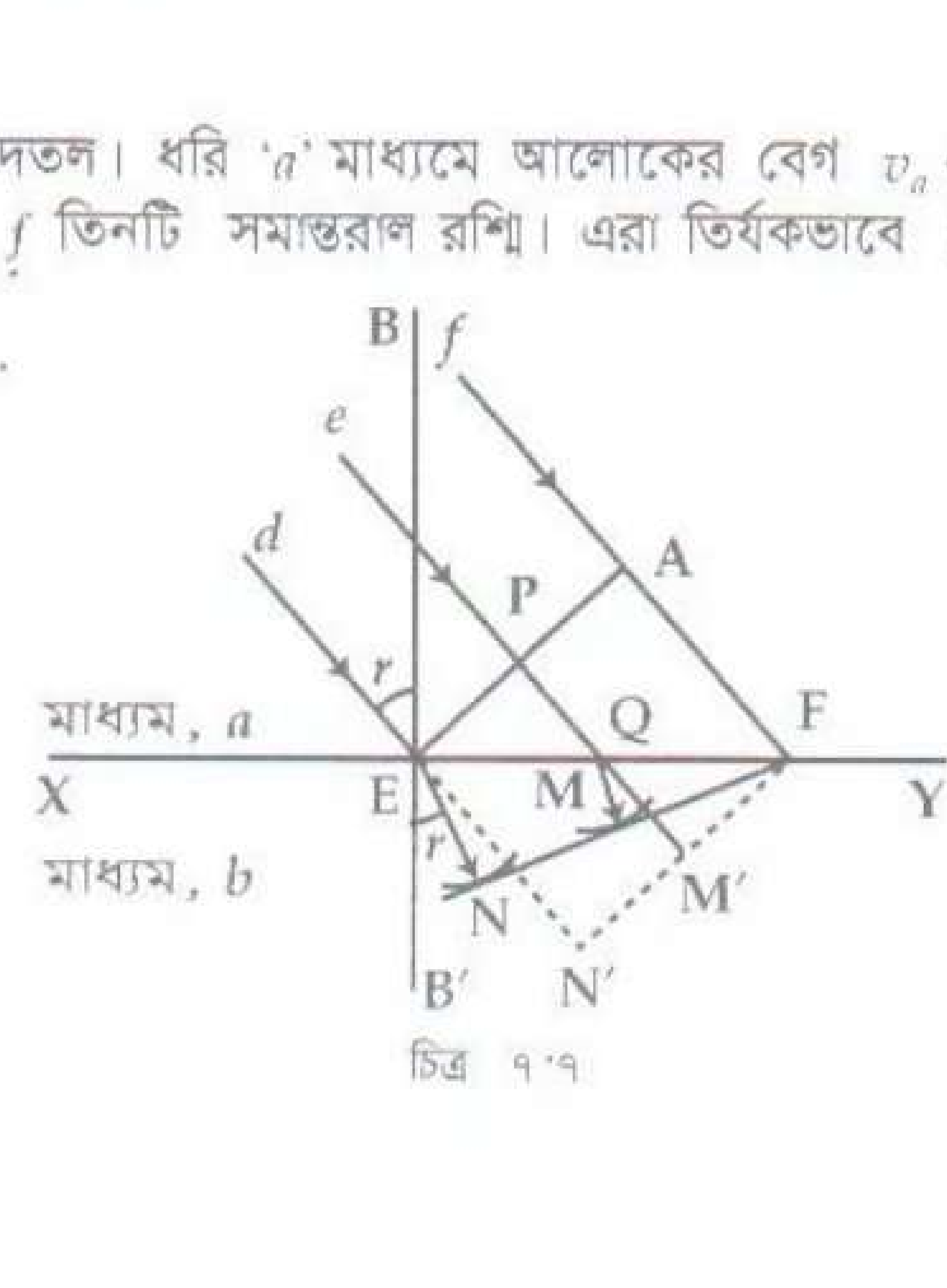
আবার, আপতিত রশ্মি aE, প্রতিফলিত রশ্মি EN এবং আপতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব EB কাগজের একই সমতলে অবস্থিত। **এটি দ্বারা আলোকের প্রতিফলনের প্রথম সূত্রটি প্রমাণিত হলো।**

অতএব **আলোকের তরঙ্গ তত্ত্বকে ভিত্তি করে প্রতিফলনের দুটি সূত্রই প্রমাণিত হলো।**

আলোর প্রতিসরণ
Refraction of light

মনে করি, 'a' ও 'b' দুটি স্বচ্ছ সমসত্ত্ব মাধ্যম। XY এদের বিভেদতল। ধরি 'a' মাধ্যমে আলোকের বেগ v_a এবং 'b' মাধ্যমে আলোকের বেগ v_b। এখানে $v_a > v_b$। মনে করি d, e, f তিনটি সমান্তরাল রশ্মি। এরা তির্যকভাবে XY তলে আপতিত হলো [চিত্র ৭·৭]। APE রশ্মিসমূহের তরঙ্গমুখ। মনে করি EPA তরঙ্গমুখ প্রথমে বিভেদ তলের E বিন্দুতে স্পর্শ করে। হাইগেনস-এর নীতি অনুসারে ঐ E বিন্দুতে অবস্থিত এর কণাটি আলোড়িত হয়ে গৌণ তরঙ্গ উৎপন্ন করে এবং 'a' ও 'b' মাধ্যমে যথাক্রমে v_a ও v_b বেগে ছড়িয়ে পড়ে। এখন A বিন্দু হতে আলোড়নটির F বিন্দুতে পৌঁছতে যদি t সময় লাগে তা হলে $FA = v_a.t$। উক্ত সময়ে E বিন্দুর আলোক তরঙ্গ 'b' মাধ্যমে EN দূরত্ব অতিক্রম করবে। অতএব $EN = v_b.t$ হবে।

A-কে কেন্দ্র করে এবং $EN = v_b.t$-কে ব্যাসার্ধ করে একটি বৃত্তচাপ অঙ্কন করি এবং তার উপর FN স্পর্শক টানলে FMN প্রতিসৃত তরঙ্গমুখ নির্দেশ করবে।



চিত্র ৭·৭

প্রতিসরণের সূত্রাবলি প্রমাণ : E বিন্দু দিয়ে XY-এর উপর লম্ব BEB′ অঙ্কন করি।

এখন, $\angle dEB + \angle BEA = \angle BEA + \angle AEF = 1$ সমকোণ

$\therefore \quad \angle dEB = \angle AEF =$ আপতন কোণ, $\angle i$

আবার, $\angle B'EN + \angle NEF = \angle NEF + \angle EFN = 1$ সমকোণ

$\therefore \quad \angle B'EN = \angle EFN =$ প্রতিসরণ কোণ, $\angle r$

সুতরাং $$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \angle dEB}{\sin \angle B'EN} = \frac{\sin \angle AEF}{\sin \angle EFN}$$
$$= \frac{AF/EF}{EN/EF} = \frac{AF}{EN} = \frac{v_a t}{v_b t} = \frac{v_a}{v_b} = \text{একটি ধ্রুব সংখ্যা} = {}_a\mu_b \quad \ldots \quad (7.9)$$

${}_a\mu_b$ হলো a মাধ্যম সাপেক্ষে b মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক।

এটি দ্বারা **স্নেলের সূত্র বা প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্রটি প্রমাণিত হলো।**

আবার আপতিত রশ্মি dE, প্রতিসৃত রশ্মি EN এবং আপতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব BEB′ কাগজের একই সমতলে অবস্থিত। এটি দ্বারা **আলোকের প্রতিসরণের প্রথম সূত্রটি প্রমাণিত হলো।** অতএব **তরঙ্গ তত্ত্বের ভিত্তিতে আলোকের প্রতিসরণের দুটি সূত্র প্রমাণিত হলো।**

গাণিতিক উদাহরণ

১। পানি ও হীরকের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1.33 এবং 2.4 হলে, হীরকে আলোর বেগ নির্ণয় কর। পানিতে আলোর বেগ 2.24×10^8 ms^{-1}।

আমরা জানি,

$${}_w\mu_d = \frac{v_w}{v_d}$$

$$\therefore \quad v_d = \frac{v_w}{{}_w\mu_d}$$

$$\text{বা,} \quad v_d = \frac{2.28 \times 10^8}{1.805}$$

$$= 1.26 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

এখানে,

$${}_a\mu_w = 1.33$$
$${}_a\mu_d = 2.4$$
$${}_w\mu_d = \frac{{}_a\mu_d}{{}_a\mu_w} = \frac{2.4}{1.33}$$
$$= 1.805$$
$$v_w = 2.28 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$
$$v_d = ?$$

* কোনটা কেন? কেন্দ্রে ঝামেলা ৭/৪

৭.৫ আলোকের ব্যতিচার 00 – 01
Interference of light

ধারণা
Concept

আমরা জানি, যখন দুটি সমান বিস্তার ও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের শব্দ চলতে চলতে একে অপরের উপর আপতিত হয় তখন শব্দের প্রাবল্যের পর্যায়ক্রমিক হ্রাস বা বৃদ্ধি ঘটে। এ অধ্যায়ে আমরা লক্ষ করব আলোর ক্ষেত্রেও একই ঘটনা ঘটে। ইহাই আলোর ক্ষেত্রে ব্যতিচার। আলোকের ব্যতিচার আলোচনা করার পূর্বে (ক) **তরঙ্গের উপরিপাতন** এবং (খ) **সুসঙ্গত আলোক উৎস কী**—তাই আলোচনা করব।

(ক) তরঙ্গের উপরিপাতন (Superposition of waves) : দুটি তরঙ্গ কোনো মাধ্যমের কোনো একটি কণাকে একই সঙ্গে অতিক্রম করলে প্রতিটি তরঙ্গই কণাটিকে স্থানান্তরিত করবে। ফলে কণাটির একটি লব্ধি সরণ ঘটবে। এই লব্ধি সরণ তরঙ্গ দুটি কর্তৃক পৃথক পৃথক সরণের বীজগাণিতিক যোগফলের সমান হবে। **একে তরঙ্গের উপরিপাতন বলে।**

মনে করি দুটি তরঙ্গ কোনো মাধ্যমের কোনো একটি কণাকে একই সঙ্গে অতিক্রম করল। ধরি, তরঙ্গ দুটি কর্তৃক কণাটির পৃথক পৃথক সরণ যথাক্রমে y_1 ও y_2।

যদি **তরঙ্গ দুটি একই দশায় আপতিত হয়, তবে কণাটির লব্ধি সরণ** $y = y_1 + y_2$

আর **তরঙ্গ দুটি যদি বিপরীত দশায় আপতিত হয় তবে লব্ধি সরণ** $y = y_1 \sim y_2$

(খ) সুসঙ্গত উৎস (Coherent source) : **দুটি উৎস হতে সমদশাসম্পন্ন বা কোনো নির্দিষ্ট দশা পার্থক্যের একই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুটি আলোক তরঙ্গ নিঃসৃত হলে তাদেরকে সুসঙ্গত উৎস বলে।** 28

সুসঙ্গত আলোক উৎস তৈরির জন্য সাধারণত একটি উৎস থেকে নির্গত আলোকে দুটি অংশে এমনভাবে বিভক্ত করা হয় যেন প্রতিটি বিভক্ত অংশই একটি স্বতন্ত্র উৎস হয়। এই দুটি বিভক্ত অংশকে দুটি সুসঙ্গত উৎস হিসেবে ধরা হয়। পরীক্ষাগারে সাধারণ আলো হতে এই পদ্ধতিতে সুসঙ্গত আলোক উৎস উৎপন্ন করা হয়।

ব্যতিচার (Interference) :

দুটি সুসঙ্গত উৎস হতে নিঃসৃত সমান কম্পাঙ্ক ও বিস্তারের দুটি আলোক তরঙ্গ কোনো মাধ্যমের কোনো একটি বিন্দুর মধ্য দিয়ে একই সঙ্গে গমন করলে তরঙ্গ দুটির উপরিপাতনের ফলে বিন্দুটি কখনও কখনও খুব উজ্জ্বল ও কখনও কখনও অন্ধকার দেখায়। আলোকের এ ঘটনাকে ব্যতিচার বলে।

কোনো বিন্দুতে ঐ তরঙ্গ দুটি একই দশায় আপতিত হলে অর্থাৎ ঐ বিন্দুতে উভয় তরঙ্গের তরঙ্গশীর্ষ বা তরঙ্গপাদ আপতিত হলে ঐ বিন্দুতে লব্ধি বিস্তার তরঙ্গ দুটির বিস্তারের সমষ্টির সমান হবে।

যেহেতু প্রাবল্য বিস্তারের বর্গের সমানুপাতিক, সেহেতু বিন্দুটি উজ্জ্বল দেখাবে। আবার, কোনো বিন্দুতে তরঙ্গ দুটি বিপরীত দশায় আপতিত হলে অর্থাৎ ঐ বিন্দুতে একটি তরঙ্গের তরঙ্গশীর্ষ অপরটির তরঙ্গপাদ বা প্রথমটির তরঙ্গপাদ দ্বিতীয়টির তরঙ্গশীর্ষের সাথে মিলিত হলে লব্ধি বিস্তার শূন্য হবে। ফলে বিন্দুটি অন্ধকার দেখাবে। এটাই আলোকের ব্যতিচার। আলোকের ব্যতিচার আলোকের তরঙ্গ তত্ত্ব সমর্থন করে। 1801 খ্রিস্টাব্দে টমাস ইয়ং (Thomas Young) আলোকের ব্যতিচার আবিষ্কার করেন। ব্যতিচার দুই ধরনের— (১) গঠনমূলক ব্যতিচার ও (২) ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার।

গঠনমূলক ব্যতিচার (Constructive interference) : দুটি উৎস হতে সমান কম্পাঙ্ক ও বিস্তারের দুটি আলোক তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে উজ্জ্বল বিন্দু পাওয়া গেলে তাকে গঠনমূলক ব্যতিচার বলে।

ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার (Destructive interference) : দুটি উৎস হতে সমান কম্পাঙ্ক ও বিস্তারের দুটি আলোক তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে অন্ধকার বিন্দু পাওয়া গেলে তাকে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার বলে।

কাজ : গঠনমূলক ও ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের শর্ত কী ?

যেসব বিন্দুতে উপরিপাতিত তরঙ্গদ্বয়ের পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$ এর অযুগ্ম গুণিতক, অর্থাৎ পথ পার্থক্য $= (2n+1)\frac{\lambda}{2}$, যখন $n = 0, \pm 1, \pm 2 ......$ ইত্যাদি সেসব বিন্দুতে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের সৃষ্টি হবে।

আবার যেসব বিন্দুতে উপরিপাতিত তরঙ্গদ্বয়ের পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$ এর যুগ্ম গুণিতক, অর্থাৎ পথ পার্থক্য $= 2n.\frac{\lambda}{2}$. যখন $n = 0, \pm 1, \pm 2 ......$ ইত্যাদি সেসব বিন্দুতে গঠনমূলক ব্যতিচারের সৃষ্টি হবে।

ব্যতিচার ঝালর (Interference fringe) : কোনো তলে বা পর্দায় ব্যতিচার ঘটানো হলে সেখানে অনেকগুলো পরস্পর সমান্তরাল উজ্জ্বল ও অন্ধকার রেখা বা পট্টি পাওয়া যায়। এই উজ্জ্বল ও অন্ধকার রেখা বা ডোরাগুলোকে এক সঙ্গে আলোকের ব্যতিচার ঝালর বলে।

চিড় বা স্লিট (Slit) : দৈর্ঘ্যের তুলনায় খুবই ক্ষুদ্র প্রস্থবিশিষ্ট আয়তাকার সরু ছিদ্রকে চিড় বা স্লিট বলে।

ব্যতিচারের শর্তাবলি : ব্যতিচারের জন্য নিম্নলিখিত শর্তাবলির প্রয়োজন–

১। আলোক উৎস দুটি সুসঙ্গত হতে হবে।
২। উৎস দুটি ক্ষুদ্র ও সূক্ষ্ম হতে হবে।
৩। উৎস দুটি পরস্পরের খুব নিকটে হতে হবে।
৪। তরঙ্গ দুটির বিস্তার সমান বা প্রায় সমান হতে হবে।
৫। পর্যায়ক্রমিক উজ্জ্বল ও অন্ধকার বিন্দুর জন্য পথ-পার্থক্য যথাক্রমে অর্ধতরঙ্গদৈর্ঘ্যের যুগ্ম ও অযুগ্ম গুণিতক হতে হবে।

উপরোক্ত শর্তসমূহ পালিত হলে ব্যতিচার পাওয়া যাবে।

আলোকের ব্যতিচারের বৈশিষ্ট্য :

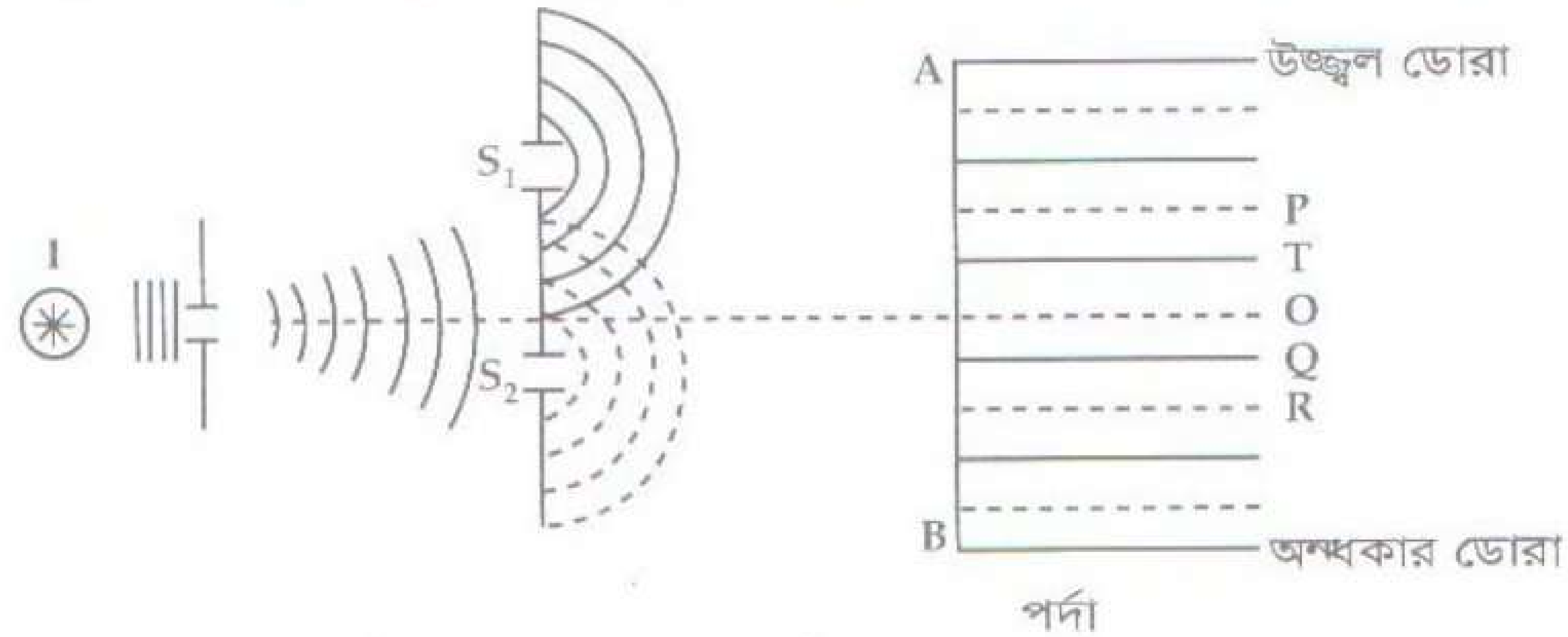
১। দুটি সুসঙ্গত উৎস হতে একই মাধ্যমের কোনো বিন্দুতে আলোক তরঙ্গমালার উপরিপাতনের ফলে ব্যতিচার সৃষ্টি হয়।
২। ব্যতিচার ঝালরে সাধারণত পট্টিগুলোর বেধ সমান হয়।
৩। ব্যতিচারে উজ্জ্বল পট্টি ও অন্ধকার পট্টিগুলোর অন্তর্বর্তী দূরত্বগুলো সমান থাকে।
৪। ব্যতিচারে অন্ধকার পট্টিতে কোনো আলো থাকে না। এরা সম্পূর্ণ অন্ধকার থাকে।
৫। ব্যতিচারে সব উজ্জ্বল পট্টিগুলোর আলোক প্রাবল্য সমান থাকে।

আলোকের ব্যতিচারের ক্ষেত্রে ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষা
Young's Double Slit Experiment on Interference of Light

1807 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী ইয়ং আলোকের ব্যতিচার প্রদর্শনের নিমিত্তে একটি পরীক্ষা সম্পাদন করেন। তাঁর নামানুসারে এই পরীক্ষাকে **ইয়ং-এর পরীক্ষা** বলা হয়। এই পরীক্ষায় বিজ্ঞানী ইয়ং সাদা আলোর উৎস ব্যবহার করেন।

পরীক্ষা : মনে করি S একটি সরুরেখা ছিদ্রপথ। L একটি একবর্ণী আলোক উৎস। S-এর মধ্য দিয়ে একবর্ণী আলোক গমন করছে।

S_1 এবং S_2 খুবই কাছাকাছি দুটি রেখা ছিদ্র বা রেখা চিড় [চিত্র ৭·৮]। এদেরকে S-এর সামনে সমান্তরালভাবে স্থাপন করা হয়েছে। আলোক S হতে বের হয়ে S_1 ও S_2 এর উপর পতিত হবে এবং এর পর সেগুলো এরকম তরঙ্গের আকারে নির্গত হবে। নির্গত তরঙ্গ দুভাবে বিভক্ত হয়ে মাধ্যমের মধ্য দিয়ে গমনকালে ব্যতিচার গঠন করে। বিজ্ঞানী



চিত্র ৭·৮·

ইয়ং এরকম পর্দায় রঙিন ব্যতিচার পট্টি দেখতে পান। তরঙ্গ দুটি যদি পর্দার কোনো বিন্দুতে একই দশায় মিলিত হয় তবে সে স্থান উজ্জ্বল দেখাবে। এর নাম **গঠনমূলক ব্যতিচার।** আর তরঙ্গ দুটি যদি পর্দার কোনো বিন্দুতে বিপরীত দশায় মিলিত হয়, তবে সে স্থান অন্ধকার দেখাবে। এর নাম **ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার।** চিত্রে AB **পর্দার ড্যাস ড্যাস স্থানে উজ্জ্বল বিন্দু** এবং **নিরবচ্ছিন্ন স্থানে অন্ধকার বিন্দু** সৃষ্টি হবে।

ইয়ং আরো উল্লেখ করেন যে যদি S উৎস সরিয়ে নেয়া হয় কিংবা S_1 ও S_2-এর দূরত্ব বাড়িয়ে দেয়া হয়, তবে ব্যতিচার ডোরা অর্থাৎ রঙিন পট্টি দেখা যাবে না। সাদা আলোর পরিবর্তে একবর্ণী (monochromatic) আলো নিলে পর্যায়ক্রমিক উজ্জ্বল ও অন্ধকার ডোরা দেখা যায়।

ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষার ব্যাখ্যা
Explanation of Young's Double Slit Experiment

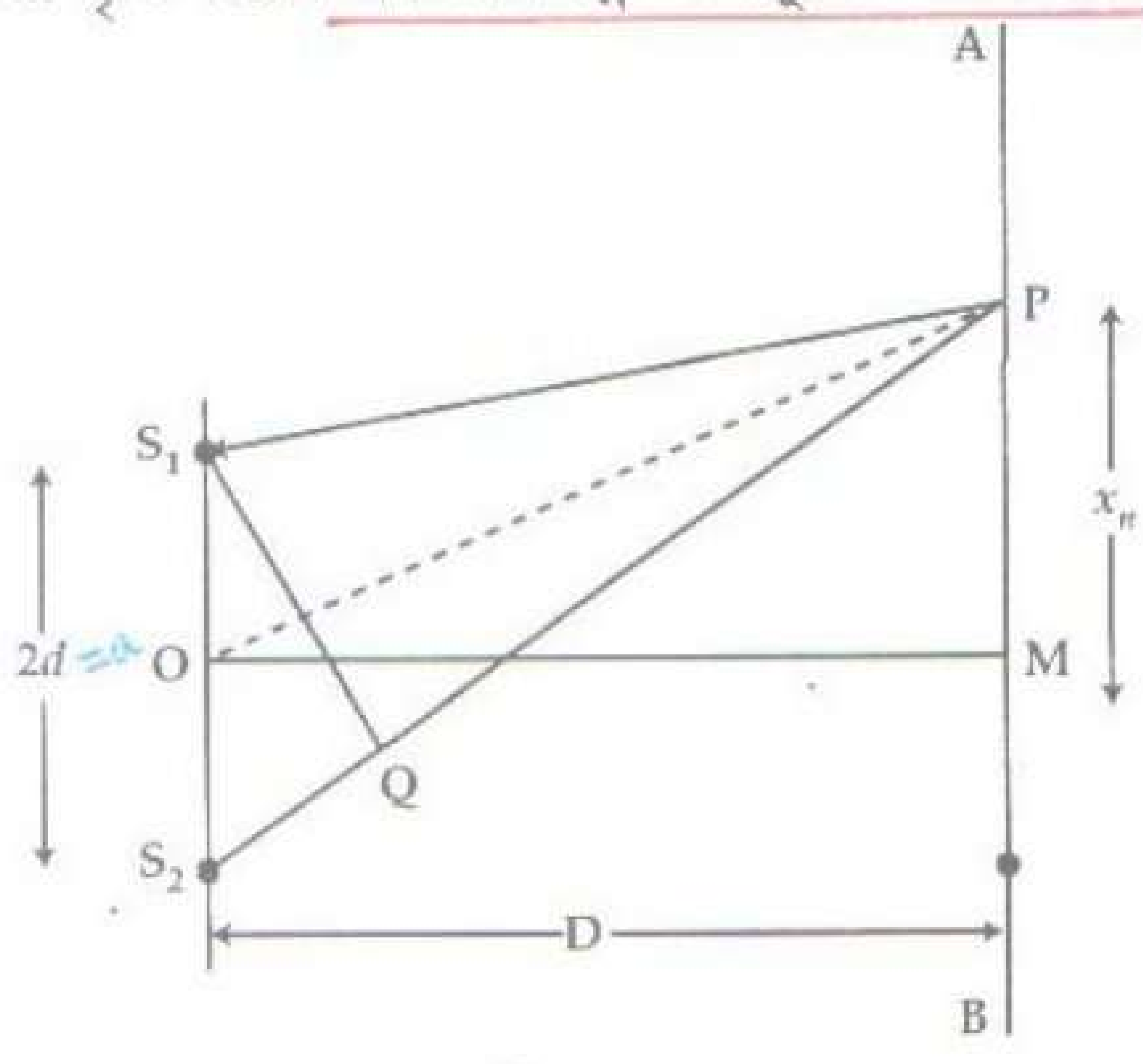
হাইগেনসের নীতি ব্যবহার করে ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় সৃষ্ট ব্যতিচার ব্যাখ্যা করা যায়। চিড় S গোলীয় তরঙ্গমুখ প্রেরণ করে। S_1 ও S_2 থেকে S এর দূরত্ব সমান হওয়ায় একই সময়ে একই তরঙ্গমুখ S_1 ও S_2-তে এসে পৌঁছায়। এই তরঙ্গমুখের উপর অবস্থিত S_1 ও S_2 বিন্দু এখন গৌণ তরঙ্গ নিঃসৃত করে যেগুলো পরস্পরের সাথে একই দশায় থাকে। সুতরাং S_1 ও S_2 চিত্র থেকে নিঃসৃত গৌণ তরঙ্গসমূহ সুসঙ্গত কেননা তাদের কম্পাঙ্ক ও বিস্তার একই। এখন S_1 ও S_2 থেকে নিঃসৃত তরঙ্গ দুটি উপরিপাতিত হয়ে ব্যতিচার সৃষ্টি করে। সমদশাসম্পন্ন কণাগুলো উপরিপাতিত হয়ে গঠনমূলক এবং বিপরীত দশাসম্পন্ন কণাগুলোর উপরিপাতনের ফলে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার সৃষ্টি হয়। ৭·৮ চিত্রে ড্যাস লাইন দ্বারা গঠনমূলক এবং সলিড লাইন দ্বারা ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার বুঝানো হয়েছে।

ধরা যাক, একটি সূক্ষ্ম চিড় S, λ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণী আলোক দ্বারা আলোকিত। S হতে নির্গত গোলাকৃতির আলোক তরঙ্গ S-এর কাছাকাছি এবং সমদূরত্বে অবস্থিত দুটি সমান্তরাল চিড় S_1 ও S_2-কে আলোকিত করে।

ধরা যাক, S_1 চিড় হতে P বিন্দুতে [চিত্র ৭·৯] আপতিত আলোক তরঙ্গের সমীকরণ

$$y_1 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} vt \qquad \dots \dots \dots \qquad (7.10)$$

এখানে, y_1 = আলোক তরঙ্গের সরণ, v = তরঙ্গের বেগ, λ = তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং a = তরঙ্গের বিস্তার।



চিত্র ৭·৯

এখন, S_2 চিড় হতে P বিন্দুতে আপতিত আলোক তরঙ্গের সরণ y_2 এবং S_1 ও S_2 হতে আগত রশ্মিদ্বয়ের পথ পার্থক্য x হলে, S_2 হতে আগত তরঙ্গের সমীকরণ লেখা যায়,

$$y_2 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt + x) \qquad \dots \qquad \dots \qquad \dots \qquad (7.11)$$

P বিন্দুতে এই দুটি তরঙ্গের উপরিপাতন ঘটায়, লব্ধি সরণ y হবে—

$$y = y_1 + y_2 = a \sin\frac{2\pi}{\lambda} vt + a \sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt + x)$$

$$= 2a \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\cdot\frac{x}{2}\right) \sin\frac{2\pi}{\lambda}\left(vt + \frac{x}{2}\right) \quad \left[\because \sin A + \sin B = 2\sin\left(\frac{A+B}{2}\right)\cos\left(\frac{A-B}{2}\right)\right]$$

এটি সরল ছন্দিত স্পন্দনের সমীকরণ। এর বিস্তার

$$A = 2a\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\cdot\frac{x}{2}\right) = 2a\cos\left(\frac{\pi x}{\lambda}\right)$$

আমরা জানি, আলোর তীব্রতা বা প্রাবল্য $I = A^2$। সুতরাং, বিস্তার সর্বনিম্ন বা সর্বোচ্চ হলে প্রাবল্যও যথাক্রমে সর্বনিম্ন বা সর্বোচ্চ হবে।

(i) উজ্জ্বল বিন্দুর শর্ত : বিস্তার তথা আলোর তীব্রতা সর্বোচ্চ হবে, অর্থাৎ গঠনমূলক ব্যতিচার হবে, যখন—

$$\cos\frac{\pi x}{\lambda} = 1$$

বা, $\frac{\pi x}{\lambda} = 0, \pi, 2\pi \ldots\ldots\ldots n\pi$

বা, $x = n\lambda = 2n\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ ... ... (7.12)

সুতরাং, আলোর তীব্রতা সর্বোচ্চ অর্থাৎ উজ্জ্বল হওয়ার শর্ত হলো পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$-এর যুগ্ম গুণিতক হতে হবে।

(ii) অন্ধকার বিন্দুর শর্ত : বিস্তার তথা প্রাবল্য সর্বনিম্ন অর্থাৎ ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার হবে, যখন—

$$\cos\frac{\pi x}{\lambda} = 0$$

বা, $\frac{\pi x}{\lambda} = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2} \ldots\ldots\ldots (2n+1)\frac{\pi}{2}$

বা, $x = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$ ... ... (7.13)

এখানে $n = 0, 1, 2, 3$ ইত্যাদি

অতএব, আলোর তীব্রতা সর্বনিম্ন অর্থাৎ অন্ধকার হওয়ার শর্ত হলো পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$-এর অযুগ্ম গুণিতক হতে হবে।

পরপর দুটি উজ্জ্বল বা অন্ধকার ডোরার কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব এবং ডোরার প্রস্থ

ডোরার বিস্তার বা প্রস্থ :

চিত্র ৭.৯ হতে আমরা পাই,

$$(S_1P)^2 = D^2 + (x_n - d)^2$$

এবং $(S_2P)^2 = D^2 + (x_n + d)^2$

$$\therefore (S_2P)^2 - (S_1P)^2 = \{D^2 + (x_n + d)^2\} - \{D^2 + (x_n - d)^2\}$$
$$= (x_n + d)^2 - (x_n - d)^2$$

বা, $(S_2P + S_1P)(S_2P - S_1P) = 4x_nd$

এখন P বিন্দু M বিন্দুর খুবই সন্নিকটে অবস্থিত বলে

$S_1P \simeq S_2P \simeq D$ ধরা যায়।

অতএব, $(S_2P - S_1P) = \frac{4x_nd}{(S_2P + S_1P)} \simeq \frac{4x_nd}{2D} = \frac{2x_nd}{D}$

এখন S_1 হতে S_2P এর উপর S_1Q লম্ব টানি। সুতরাং এই দুটি তরঙ্গের পথ পার্থক্য

$$\sigma = S_2Q = (S_2P - S_1P) = \frac{2x_nd}{D} \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.14)$$

এখন সমীকরণ (7.12) হতে জানি, n-তম উজ্জ্বল ডোরার জন্য পথ পার্থক্য $n\lambda$-এর সমান হতে হবে।

$\therefore \frac{2x_nd}{D} = n\lambda$, এখানে $n = 0, 1, 2, 3 \ldots\ldots$

বা, $x_n = \frac{D}{2d}n\lambda$

ডোরা ব্যবধান = $\frac{\lambda D}{d}$

অনুরূপভাবে M বিন্দু হতে $(n+1)$-তম উজ্জ্বল ডোরার দূরত্ব

$$x_{n+1} = \frac{D}{2d}(n+1)\lambda$$

$\therefore$ পরপর দুটি উজ্জ্বল ডোরার কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব বা ব্যবধান

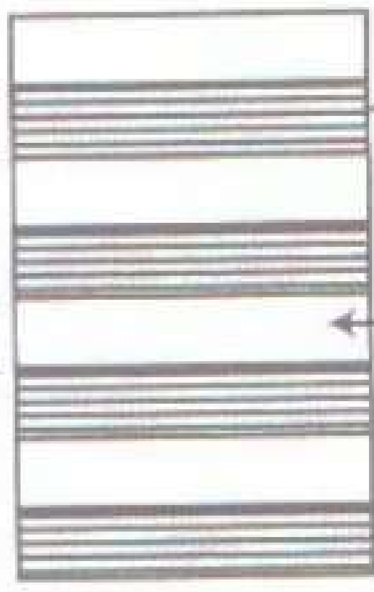
$$\text{অর্থাৎ } \beta = x_{n+1} - x_n = \frac{D}{2d}(n+1)\lambda - \frac{D}{2d}n\lambda = \frac{D}{2d}\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.15)$$

আবার, অন্ধকার ডোরার জন্য পথ পার্থক্য $(2n+1)\frac{\lambda}{2}$-এর সমান হতে হবে [সমীকরণ (7.13)]

$$\therefore \frac{2x_n d}{D} = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$$

অনুরূপভাবে, M হতে $(n+1)$-তম অন্ধকার ডোরার দূরত্ব

$$x_{n+1} = \frac{D}{2d}[(2(n+1)+1]\frac{\lambda}{2} = \frac{D}{2d}(2n+3)\frac{\lambda}{2}$$



চিত্র ৭.১০

$\therefore$ পরপর দুটি অন্ধকার ডোরার কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব বা ব্যবধান

$$\text{অর্থাৎ, } \beta = (x_{n+1}) - x_n = \frac{D}{2d}(2n+3)\frac{\lambda}{2} - \frac{D}{2d}(2n+1)\frac{\lambda}{2} = \frac{D}{2d}\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.16)$$

সিদ্ধান্ত : সমীকরণ (7.15) ও (7.16) হতে দেখা যায় যে, (i) ব্যতিচারের ক্ষেত্রে 2টি উজ্জ্বল বা অন্ধকার ডোরার কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব বা ঝালরের প্রস্থ সমান [চিত্র ৭.১০। (ii) D এর মান বাড়ালে অর্থাৎ চিড় দুটি এবং পর্দার মধ্যবর্তী ব্যবধান বাড়লে ডোরার প্রস্থ বাড়ে। 2d এর মান কমালে অর্থাৎ চির দুটি কাছাকাছি থাকলে ডোরার প্রস্থ বাড়ে। এই পরীক্ষা তরঙ্গ দুটিকে সমর্থন করে।

এখন একটি উজ্জ্বল বা অন্ধকার ডোরার প্রস্থ বা বেধ (width) দুটি অন্ধকার ডোরা বা দুটি উজ্জ্বল ডোরার ব্যবধানের অর্ধেক। সুতরাং ডোরার প্রস্থ বা বেধ,

$$b = \frac{\lambda D/2d}{2} = \frac{\lambda D}{4d} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.17)$$

সমীকরণ (7.17) হতে দেখা যায় যে, (i) D-এর মান বাড়ালে অর্থাৎ উৎসদ্বয় ও পর্দার মধ্যবর্তী দূরত্ব বাড়ালে ডোরার প্রস্থ বৃদ্ধি পায়, (ii) d-এর মান কমলে অর্থাৎ উৎসদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব কমলে ডোরার প্রস্থ বাড়ে।

হিসাব : ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় চিড় দুটির মধ্যে দূরত্ব 0.8 mm এবং চিড়গুলি থেকে পর্দার দূরত্ব 1 m। চিড়গুলিকে 5890×10^{-10} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণী আলো দ্বারা আলোকিত করা হলে উজ্জ্বল ডোরার প্রস্থ নির্ণয় কর।

Hints : ডোরার প্রস্থ, $b = \frac{D\lambda}{2 \times 2d} = \frac{1 \times 5890 \times 10^{-10}}{2 \times 0.8 \times 10^{-3}} = 0.37 \times 10^{-3} \text{ m} = 0.37 \text{ mm}$

গানিতিক উদাহরণ

১। 0.4 mm ব্যবধানবিশিষ্ট দুটি চিড় হতে 1m দূরত্বে অবস্থিত পর্দার উপর ব্যতিচার সজ্জা সৃষ্টি হলো। ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গাউদর্ঘ্য 5000 Å হলে পরপর দুটি উজ্জ্বল ও অন্ধকার পট্টির কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব কত?

আমরা জানি,

$$x_n = \frac{D\lambda}{2d} = \frac{1 \times 5000 \times 10^{-10}}{4 \times 10^{-4}} = 1.25 \times 10^{-3} \text{ m} = 1.25 \text{ mm}$$

এখানে,

$2d = 0.4$ mm $= 4 \times 10^{-4}$ m

D $= 1$ m

$\lambda = 5000$ Å $= 5000 \times 10^{-10}$ m

$x_n = ?$

২। একটি ইয়ং এর দ্বিচিড় পরীক্ষায় চিড় দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·4 মিমি। চিড়ের সমান্তরালে 1 মিটার দূরে স্থাপিত পর্দায় ডোরা সৃষ্টি করা হলে দেখা যায় কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল ডোরা থেকে 12-তম উজ্জ্বল ডোরার দূরত্ব 9·3 মিমি। ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ?

আমরা জানি,

$$x_n = \frac{n\lambda D}{2d}$$

বা, $\lambda = \frac{x_n \times 2d}{nD}$

$$\therefore \lambda = \frac{9.3 \times 10^{-3} \times 0.4 \times 10^{-3}}{12 \times 1}$$

$$= 0.31 \times 10^{-6} \text{ m} = 3100 \text{ Å}$$

এখানে,

$n = 12$

$x_n = 9.3 \text{ mm} = 9.3 \times 10^{-3} \text{ m}$

$D = 1 \text{ m}$

$2d = 0.4 \text{ mm} = 0.4 \times 10^{-3} \text{ m}$

৩। ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় আলোর কম্পাঙ্ক 6×10^{14} Hz। পার্শ্ববর্তী দুটি ডোরার কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·75 mm। পর্দাটি যদি 1·55 m দূরে থাকে তাহলে চিড় দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব কত ?

মনে করি চিড় দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব $= 2d$

আমরা জানি,

$$c = \upsilon\lambda$$

$$\therefore \lambda = \frac{c}{\upsilon} = \frac{3 \times 10^8}{6 \times 10^{14}} = 5 \times 10^{-7} \text{m}$$

আবার, $2d = \frac{D\lambda}{\beta} = \frac{1.55 \times 5 \times 10^{-7}}{0.75 \times 10^{-3}}$

$$= 1.03 \times 10^{-3} \text{m} = 1.03 \text{mm}$$

এখানে,

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

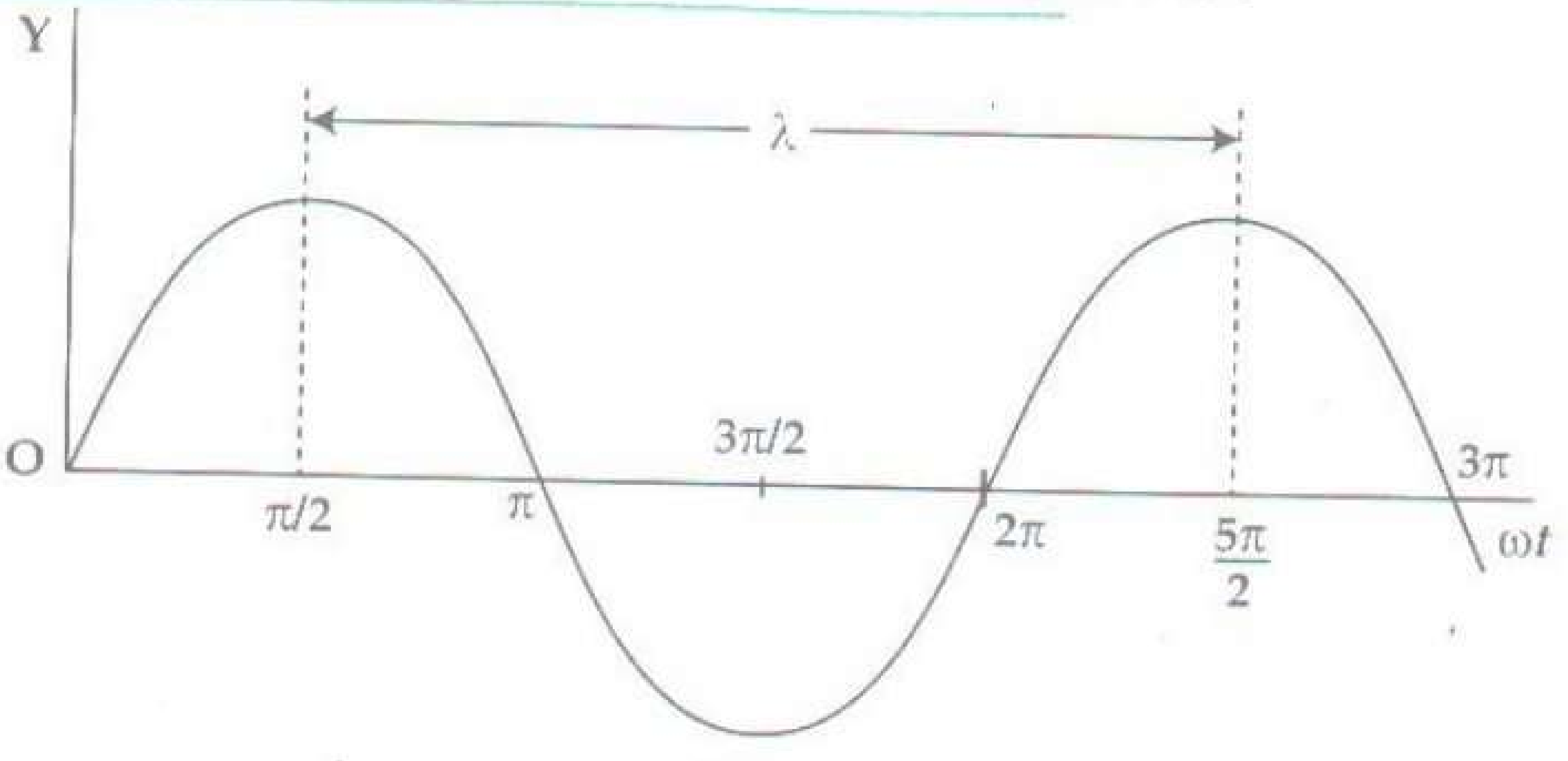
$\upsilon = 6 \times 10^{14}$ Hz

$D = 1.55$ m

$\beta = 0.75$ mm $= 0.75 \times 10^{-3}$m

$2d = ?$

পথ পার্থক্য ও দশা পার্থক্যের মধ্যে সম্পর্ক : আমরা জানি, কোনো তরঙ্গের দুটি তরঙ্গশীর্ষ বা তরঙ্গ পাদ-এর দূরত্ব হচ্ছে তরঙ্গদৈর্ঘ্য, λ এবং ঐ দুটি বিন্দুর মধ্যে দশা পার্থক্য $= 2\pi$ [চিত্র ৭.১১]



চিত্র ৭.১১

অতএব, পথ পার্থক্য λ-এর জন্য দশা পার্থক্য $= 2\pi$

পথ পার্থক্য 1-এর জন্য দশা পার্থক্য $= \frac{2\pi}{\lambda}$

$\therefore$ পথ পার্থক্য x-এর জন্য দশা পার্থক্য $= \frac{2\pi}{\lambda}x = \frac{2\pi}{\lambda} \times$ পথ পার্থক্য

অতএব, $\boxed{\delta = \frac{2\pi}{\lambda}x}$ ... ... (7.18)

সমীকরণ (7.18) দশা ও পথ পার্থক্যের মধ্যে সম্পর্ক নির্দেশ করে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে পথ-পার্থক্য $\frac{\lambda}{4}$। বিন্দুদ্বয়ের দশা পার্থক্য কত ?

আমরা, জানি,

দশা পার্থক্য, $\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \times$ পথ-পার্থক্য

$= \frac{2\pi}{\lambda} \times \frac{\lambda}{4} = \frac{\pi}{2}$

এখানে,

পথ-পার্থক্য $= \frac{\lambda}{4}$

দশা পার্থক্য = ?

কাজ : দুটি আলাদা উৎস ব্যতিচার সৃষ্টি করতে পারে না কেন ? —ব্যাখ্যা কর।

সম্প্রসারিত কাজ : ব্যতিচার সৃষ্টিকারী দুটি তরঙ্গের একটির পথে একটি পাতলা কাঁচ প্লেট রাখলে ঝালরের কি পরিবর্তন হবে ?

ব্যতিচার সৃষ্টিকারী দুটি তরঙ্গের যে কোনো একটির পথে t বেধের একটি পাতলা কাঁচ প্লেট রাখলে তরঙ্গদ্বয়ের মধ্যে $(\mu - 1)t$ পরিমাণ অতিরিক্ত পথ-পার্থক্যের সৃষ্টি হবে। এখানে μ = কাঁচের প্রতিসরাঙ্ক। ফলে সমগ্র ব্যতিচার ঝালর, কাঁচ প্লেটের যেদিকে রাখা হয়েছে সেদিকে সরে যাবে। কিন্তু ব্যতিচার ঝালরে সরণ ঘটলেও ঝালর প্রস্থের কোনো পরিবর্তন হবে না।

৭.৬ আলোকের অপবর্তন

ব্যবর্তন ০৮–০৯

Diffraction of light

আমরা জানি স্বচ্ছ সমসত্ত্ব মাধ্যমে আলোক সরল পথে গমন করে কিন্তু আলোকের পথে একটি অস্বচ্ছ বস্তু স্থাপন করলে, অস্বচ্ছ বস্তুর পিছনে একটি কালো জায়গা পরিলক্ষিত হয়। এর নাম ছায়া। এই ছায়া সৃষ্টিই আলোকের রৈখিক গতির প্রমাণ। তবে ছায়াকে বিশেষভাবে লক্ষ করলে দেখা যাবে যে, আলোকের রৈখিক গতির নিয়মানুসারে ছায়া যেমন হওয়া উচিত তা হয় না। ছায়ার কিনারা বরাবর কিছু অংশ আলোকিত দেখায়। এটি হতে প্রতীয়মান হয় যে, আলোক বস্তুর কিনারা দিয়ে সরল পথে গমন না করে সামান্য ঘুরে বাঁকা পথে চলে। **বস্তুর কিনারা ঘেঁষে আলোকের খানিকটা বেঁকে যাওয়াকে অপবর্তন বলে। তরঙ্গদৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পেলে এই ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়।**

অপবর্তনের শর্ত : অপবর্তন সৃষ্টির দুটি শর্ত রয়েছে; যথা—

(১) **খাড়া ধারের (straight edge) ক্ষেত্রে :** ধার খুব তীক্ষ্ণ হতে হবে এবং এর প্রস্থ আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ-এর সমান বা কাছাকাছি মানের হতে হবে।

(২) **সরু ছিদ্রের ক্ষেত্রে :** ছিদ্র খুবই সরু হতে হবে যাতে এর ব্যাস তরঙ্গদৈর্ঘ্যের λ-এর সমান বা কাছাকাছি মানের হতে হয়।

আলোকের অপবর্তন দুই প্রকার; যথা—

(১) ফ্রেনেল শ্রেণি অপবর্তন (Fresnel's class of diffraction) এবং

(২) ফ্রনহফার শ্রেণি অপবর্তন (Fraunhofer's class of diffraction)।

ফ্রেনেল শ্রেণি অপবর্তন : যখন উৎস এবং পর্দা তাদের মধ্যবর্তী বাধা হতে অল্প দূরত্বের মধ্যে অবস্থান করে তখন ঐ বাধার দরুন পর্দায় আলোকের যে অপবর্তন পরিলক্ষিত হবে তাকে ফ্রেনেল শ্রেণি অপবর্তন বলে।

খাড়া ধারে (Straight edge), **সরু তারে** (Narrow wire) এবং **অল্প পরিসর ছিদ্রে** (Narrow slit) সূচে এই ধরনের অপবর্তন ঘটে। এক্ষেত্রে আপতিত তরঙ্গমুখ গোলীয় বা সিলিন্ডার আকৃতির হয়। সুই, পিন

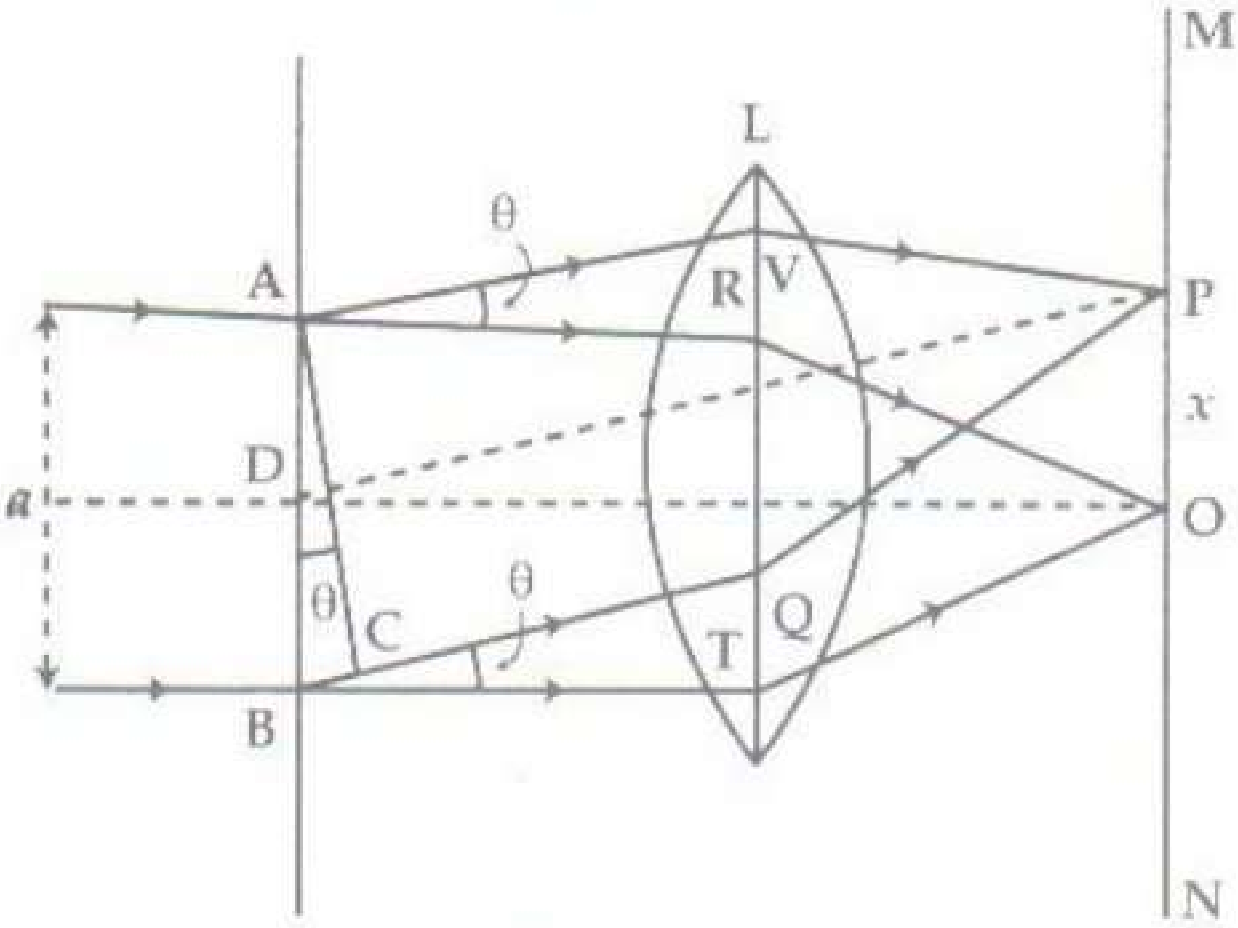
ফ্রনহফার শ্রেণি অপবর্তন : যখন উৎস এবং পর্দা তাদের মধ্যবর্তী বাধা হতে অসীম দূরত্বে অবস্থান করে তখন ঐ বাধার দরুন পর্দায় যে অপবর্তন পরিলক্ষিত হবে তাকে ফ্রনহফার শ্রেণি অপবর্তন বলে। এই অপবর্তনের ক্ষেত্রে তরঙ্গমুখ সমতল হয়ে থাকে। কোনো উত্তল লেন্সের ফোকাস তলে একটি আলোক উৎস স্থাপন করলে লেন্সে প্রতিসরণের পর সমান্তরাল রশ্মি গুচ্ছ উৎপন্ন হয় সেগুলোকে কোনো প্রতিবন্ধক বা চিরের ওপর আপাতিত করে এ ধরনের অপবর্তন পাওয়া যায়। **একক রেখা ছিদ্র বা চিড়ের** (Single slit), **যুগ্ম রেখা** ছিদ্র (Double slit) এবং **গ্রেটিং বা ঝাঁঝরি** (Grating) দ্বারা এই অপবর্তন সৃষ্টি করা হয়।

কাজ : একক রেখাচিত্রে ফ্রেনেল ও ফ্রনহফার অপবর্তন ঝালরের মধ্যে কোনো পার্থক্য আছে কী ?

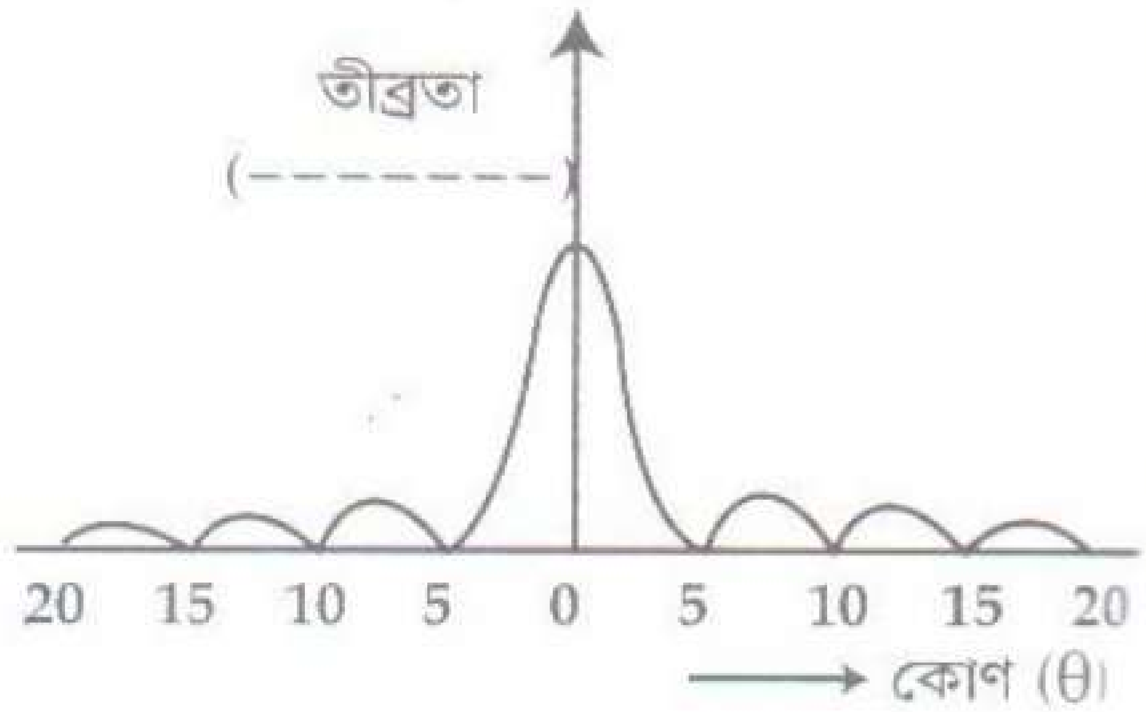
একক রেখাচিত্রে ফ্রনহফার ব্যতিচার ঝালরে কেন্দ্রীয় পট্টি সর্বদা উজ্জ্বল। কিন্তু ফ্রেনেল ব্যতিচার ঝালরের কেন্দ্রীয় পট্টি উজ্জ্বল কিংবা অন্ধকার হতে পারে। যা নির্ভর করে একক রেখাচিত্রে অর্ধপর্যায় কাল অঞ্চলের সংখ্যার উপর।

একক রেখাছিদ্র বা চিড়ের জন্য অপবর্তন
Diffraction at a single slit

একক রেখা চিড়ে ফ্রনহফার অপবর্তন (Fraunhofer diffraction at a single slit) : মনে করি AB একটি রেখাচিড় যার বেধ $= a$ [চিত্র ৭.১২]। ধরি λ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক রঙা সমান্তরাল আলোক গুচ্ছ সমতল তরঙ্গমুখে AB ছিদ্রের উপর লম্বভাবে আপতিত হলো। AB-এর মধ্য দিয়ে নির্গত আলোকগুচ্ছকে একটি উত্তল লেন্স L দ্বারা এর ফোকাস তলে MN পর্দার উপর একত্রীভূত করা হয়। ফলে আপতনের অভিমুখে রেখাছিদ্রের মুখোমুখি একটি উজ্জ্বল কেন্দ্রীয় পট্টি এবং এর দুই পার্শ্বে এর সমান্তরালে একান্তরভাবে সজ্জিত অন্ধকার ও কম উজ্জ্বল কয়েকটি পট্টি সৃষ্টি হয়।



চিত্র ৭.১২



চিত্র ৭.১৩

কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল পট্টির তুলনায় অন্যান্য উজ্জ্বল পট্টির ঔজ্জ্বল্য অনেক কম এবং বাইরের দিকে দ্রুত হ্রাস পায়। শুধু তাই নয় পট্টিগুলোর বেধ সমান থাকে না [চিত্র ৭.১৩]।

ব্যাখ্যা : AB রেখাচিত্রে অবস্থিত সমতল তরঙ্গমুখের প্রতিটি কণা সমদশাসম্পন্ন। ঐ সব কণা হতে গৌণ তরঙ্গ উৎপন্ন হয়। যে সব আড় তরঙ্গ ব্যবর্তিত না হয়ে সোজা DO-এর সমান্তরালে গমন করে L লেন্স দ্বারা পর্দার O বিন্দুতে একত্রিত হয় তারা ঐ বিন্দুকে খুব উজ্জ্বল বিন্দুতে পরিণত করে, এখানে AB রেখার ঠিক মধ্য বিন্দু D। কারণ O বিন্দুতে পৌঁছতে তরঙ্গসমূহের কোনো পথ-পার্থক্য থাকে না। তারা সমদশায় O বিন্দুতে পৌঁছে গঠনমূলক ব্যতিচার সৃষ্টি করে। এখানে O বিন্দুকে **মুখ্য চরম বিন্দু** (Principal maxima) বলা হয়। এই বিন্দুর ঔজ্জ্বল্য সর্বাধিক।

আবার কিছু সংখ্যক আড় তরঙ্গ θ কোণে ব্যবর্তিত হয়ে DP অভিমুখের সমান্তরালে চলে L লেন্স দ্বারা P বিন্দুতে একত্রিত হয়। এ ক্ষেত্রে আড় তরঙ্গসমূহ সমান পথ অতিক্রম করে না বলে P বিন্দুতে ঐ সব তরঙ্গের দশা সমান হয় না। এই পথ-পার্থক্য নির্ণয়ের জন্য B বিন্দু হতে θ কোণে ব্যবর্তিত BQ রেখার উপর AC লম্ব টানি। তা হলে, $\angle PDO = \theta$

$\therefore$ A ও B বিন্দু হতে নির্গত তরঙ্গের মধ্যে পথ পার্থক্য $= BC$

কিন্তু $BC = AB \sin\theta = a \sin\theta$

কাজেই, **উজ্জ্বল বিন্দুর জন্য :**

$$a \sin\theta = (2n+1)\lambda/2 \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7.19)$$

এবং **অন্ধকার বিন্দুর জন্য :**

$$a \sin\theta = n\lambda \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7.20)$$

এখানে n একটি সংখ্যা এবং $n = 1, 2, 3, 4$ ইত্যাদি।

এখন $a \sin\theta = \lambda$ হলে, সব তরঙ্গের দরুন P বিন্দুতে লব্ধি সরণ শূন্য হবে। কারণ A বিন্দু হতে নির্গত তরঙ্গ ও রেখাছিদ্রের মধ্যবিন্দু D হতে নির্গত তরঙ্গের মধ্যে পথ পার্থক্য হবে $\lambda/2$ এবং পরস্পরের প্রভাব নাকচ করে দিবে। এমনিভাবে তরঙ্গমুখের উভয় অর্ধের প্রতি দুটি অনুরূপ বিন্দুর (Corresponding points) মধ্যে পথ পার্থক্য $\lambda/2$ হয়ে ঐ সব বিন্দু হতে নির্গত তরঙ্গগুলো পরস্পরের প্রভাব নাকচ করবে।

$\therefore$ O বিন্দুর উভয় পার্শ্বে প্রথম অবম বিন্দুর ($n = 1$) ক্ষেত্রে অপবর্তন কোণ θ হলে,

$$a \sin\theta = \lambda$$

বা, $\sin\theta = \lambda/a.$

তেমনি O বিন্দুর উভয় পার্শ্বে n-তম অবম বিন্দুর ক্ষেত্রে অপবর্তন কোণ θ_n হলে,

$$a \sin\theta_n = n\lambda \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7.21)$$

L লেন্স হতে AB রেখাছিদ্র খুব নিকটে থাকলে অথবা L লেন্স হতে পর্দা বেশ দূরে থাকলে $x_n = OP_n$ = মুখ্য চরম বিন্দু O হতে n-তম অবম বিন্দুর দূরত্ব এবং লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f হলে আমরা পাই,

$$\sin\theta_n = \frac{n\lambda}{a} = \frac{x_n}{f}$$

$$\text{বা, } x_n = \frac{n\lambda f}{a} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7.22)$$

উক্ত সমীকরণের সাহায্যে মুখ্য চরম বিন্দু হতে বিভিন্ন অবম বিন্দুর ($n = 1, 2, 3$ ইত্যাদি) অবস্থান পাওয়া যায়।

$$\text{পুনঃ, } a\sin\theta = \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}, \frac{7\lambda}{2} \ldots\ldots\ldots (2n+1)\lambda/2 \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7.23)$$

হলে ব্যাখ্যা করা যায় যে তারা O বিন্দুর উভয় পার্শ্বে আরও কতগুলো চরম বিন্দু উৎপন্ন করবে এবং পর্যায়ক্রমে তারা প্রতি দুটি অবম বিন্দুর মধ্যে অবস্থান করবে। এ সব চরম বিন্দুকে **গৌণ বা সম্পূরক চরম বিন্দু** (Secondary or Subsidiary maxima) বলে।

n-তম গৌণ চরম বিন্দুর ক্ষেত্রে অপবর্তন কোণ θ'_n এবং O হতে ঐ বিন্দুর দূরত্ব x_n' হলে,

$$a\sin\theta'_n = (2n+1)\lambda/2 = \frac{a.x'_n}{f} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7.24)$$

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে মুখ্য চরম বিন্দুর উভয় পার্শ্বে অপবর্তনের দরুন পর্যায়ক্রমে অন্যান্য অবম ও চরম বিন্দু গঠিত হচ্ছে। গৌণ চরম বিন্দুগুলোর উজ্জ্বলতা বা দীপন মাত্রা ক্রমশ হ্রাস পায়।

হিসাব : একটি ফ্রনহফার শ্রেণির একক চিত্রের অপবর্তন পরীক্ষায় 5890 Å তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করা হলো। চিড়টির বেধ 0·2 mm হলে প্রথম অবমের জন্য অপবর্তন কোণ নির্ণয় কর।

Hints : অবমের শর্তানুসারে $a\sin\theta = n\lambda$

$$\therefore \quad \sin\theta = \frac{n\lambda}{a} = \left(\frac{1\times 5890\times 10^{-10}}{2\times 10^{-4}}\right) = 2945\times 10^{-6}$$

$\therefore \quad \theta$ = ·17° প্রায়, অবমের জন্য অপবর্তন কোণ 0·17°

কাজ : একক রেখাছিদ্র দ্বারা সৃষ্ট ফ্রনহফার অপবর্তন ঝালরের চরম ও অবম বিন্দুর শর্ত কী ?

একক রেখাছিদ্র দ্বারা সৃষ্ট ফ্রনহফার অপবর্তন ঝালরে চরম ও অবম বিন্দুর শর্ত হলো— কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল পট্টি ($\theta = 0$) এর উভয় দিকে গৌণ চরম বিন্দুগুলির ক্ষেত্রে পথ পার্থক্য $a\sin\theta = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$, যখন রেখাছিদ্রের বেধ $= a$, আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য $= \lambda$, অপবর্তন কোণ θ এবং $n = 1, 2, 3, \ldots\ldots$। সঠিক হিসাব অনুযায়ী $a\sin\theta = \pm 1{\cdot}43\lambda$, $\pm 2{\cdot}46\lambda$, …… ইত্যাদি। অর্থাৎ গৌণ চরম বিন্দুগুলির মধ্যে দূরত্ব সমান নয়।

আবার অবম বিন্দুগুলির ক্ষেত্রে পথ পার্থক্য $a\sin\theta = \pm n\lambda$, অর্থাৎ অবম বিন্দুগুলি পরস্পর সমদূরবর্তী, যখন $n = 1, 2, 3 \ldots\ldots$ ইত্যাদি।

আলোকের অপবর্তনের বৈশিষ্ট্য :

১। একটি তরঙ্গমুখের বিভিন্ন অংশ হতে নির্গত গৌণ তরঙ্গসমূহের ব্যতিচারের ফলে অপবর্তন সৃষ্টি হয়।

২। অপবর্তন ঝালরে পট্টিগুলোর বেধ কখনও সমান হয় না।

৩। অপবর্তনের ক্ষেত্রে উজ্জ্বল পট্টি ও অন্ধকার পট্টিগুলোর অন্তর্বর্তী দূরত্বগুলো ক্রমাগত কমতে থাকে।

৪। অপবর্তনে অন্ধকার পট্টিগুলো সম্পূর্ণ অন্ধকার থাকে না। এতে সর্বদা কিছু আলো থেকে যায়।

৫। অপবর্তনে উজ্জ্বল পট্টিগুলোর প্রত্যেকটিতে আলোক প্রাবল্য কখনই সমান থাকে না। এই প্রাবল্যের মান কেন্দ্রীয় পট্টিতে সর্বাধিক হয় এবং উভয় পার্শ্বস্থ পট্টিগুলোতে এই প্রাবল্য ক্রমশ হ্রাস পায়।

অপবর্তন গ্রেটিং (বড় প্রশ্নের চিত্র সহকারে পড়ো)

Diffraction grating

অপবর্তন সৃষ্টি করার জন্য একটি বিশেষ ব্যবস্থার নাম গ্রেটিং বা ঝাঁঝরি। অনেকগুলো সমপ্রস্থের রেখাছিদ্র পাশাপাশি স্থাপন করে গ্রেটিং বা ঝাঁঝরি গঠন করা হয়। গ্রেটিং প্রধানত দুই প্রকার, যথা—

১। **নিঃসরণ বা নির্গমন গ্রেটিং** (Transmission grating) এবং

২। **প্রতিফলন গ্রেটিং** (Reflection grating)।

অপবর্তন গ্রেটিং - ক্যাভিটিয়ে বাবহার → M-08-09

এখানে আমরা নিঃসরণ গ্রেটিং বিশদভাবে আলোচনা করব।

সমতল নিঃসরণ গ্রেটিং
Plane transmission grating

আলোক উৎসকে বিশ্লেষণের একটি অতি প্রয়োজনীয় যন্ত্রাংশ হলো অপবর্তন গ্রেটিং। একটি সূচালো অগ্র বিশিষ্ট হীরার টুকরা দিয়ে একটি স্বচ্ছ সমতল কাচ পাতে দাগ কেটে গ্রেটিং তৈরি করা হয়। গ্রেটিং-এ প্রতি সেন্টিমিটারে প্রায় 10,000টি দাগ কাটা থাকে। এক একটি চিড়ের প্রস্থ প্রায় 10^{-4} cm।

সংজ্ঞা : পাশাপাশি স্থাপিত অনেকগুলো সমপ্রস্থের সূক্ষ্ম চিড়সম্পন্ন পাতকে অপবর্তন গ্রেটিং বলে।

সাধারণ কাজের জন্য পরীক্ষাগারে আর এক প্রকারের নিঃসরণ গ্রেটিং ব্যবহার করা হয়। প্রকৃত রেখাঙ্কিত গ্রেটিং হতে সেলুলয়েড ফিল্মের উপর ঢালাই পদ্ধতিতে এই গ্রেটিং প্রস্তুত করা হয়। এর নাম **প্রতিলিপি গ্রেটিং** (Replica grating)।

গ্রেটিং ধ্রুবক (Grating constant) : যে কোনো একটি চিড়ের শুরু থেকে পরবর্তী চিড়ের শুরু পর্যন্ত দূরত্বকে গ্রেটিং ধ্রুবক বলা হয়। অন্যভাবে বলা যায় যে কোনো চিড়ের শেষ প্রান্ত থেকে পরবর্তী চিড়ের শেষ প্রান্তের দূরত্বকে গ্রেটিং ধ্রুবক বলে।

ব্যাখ্যা : মনে করি, একটি গ্রেটিং-এর প্রতিটি চিড়ের বেধ বা প্রস্থ $= a$

এবং প্রতিটি রেখার বেধ বা প্রস্থ $= b$

সংজ্ঞানুসারে, গ্রেটিং ধ্রুবক, $d = a + b$

d-কে অনেক সময় গ্রেটিং উপাদান (Grating element) বলা হয়।

গ্রেটিং-এর 'd' দৈর্ঘ্যে রেখার সংখ্যা = 1টি

অতএব, একক দৈর্ঘ্যে রেখার সংখ্যা, $N = \frac{1}{d} = \frac{1}{a+b}$ ... ... (7.25)

গ্রেটিং-এর $(a + b)$ ব্যবধানে অবস্থিত দুটি বিন্দুকে বলা হয় অনুরূপ বিন্দু (corresponding points)।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি ফ্রনহফার শ্রেণির একক চিড়ের দরুন অপবর্তন পরীক্ষায় 5600 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করা হলো। প্রথম ক্রমের অন্ধকার পট্টির জন্য অপবর্তন কোণ নির্ণয় কর। [চিড়ের বিস্তার 0·22 mm]

আমরা, জানি,

অবমের শর্ত অনুসারে,

$$a \sin\theta = n\lambda \quad \therefore \quad \sin\theta = \frac{n\lambda}{a}$$

$$\text{বা, } \theta = \sin^{-1}\left(\frac{1 \times 5600 \times 10^{-10}}{2 \cdot 2 \times 10^{-4}}\right)$$

$$= 0{\cdot}145^\circ \text{ (প্রায়)}$$

এখানে,

$a = 0{\cdot}22$ mm $= 2{\cdot}2 \times 10^{-4}$ m

$n = 1$

$\lambda = 5600$ Å $= 5600 \times 10^{-10}$ m

$\theta = ?$

২। কোনো অপবর্তন গ্রেটিং-এ প্রতি সেন্টিমিটারে 4200 রেখা রয়েছে। এর উপর সোডিয়াম আলোর সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অভিলম্বভাবে আপতিত হলে বর্ণালী রেখার দ্বিতীয় ক্রম 30° অপবর্তন কোণ উৎপন্ন করে। সোডিয়াম আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$(a + b)\sin\theta_n = n\lambda$$

$$\text{বা, } \frac{1}{N}\sin\theta_n = n\lambda \quad \text{বা, } \lambda = \frac{\sin\theta_n}{Nn}$$

$$= \frac{\sin 30^\circ}{2{\cdot}38 \times 10^{-6} \times 2} = 1{\cdot}05 \times 10^{5}\text{ m}$$

এখানে,

$N = \frac{1}{a+b} = \frac{1\text{ cm}}{4200} = \frac{1 \times 10^{-2}\text{ m}}{4200} = 2{\cdot}38 \times 10^{-6}$

$n = 2$

$\theta_n = 30^\circ$

$\lambda = ?$

গ্রেটিং-এর ব্যবহার
Uses of grating

গ্রেটিং বিভিন্ন কাজে ব্যবহৃত হয়। নিম্নে এর ব্যবহার উল্লেখ করা হলো—

(১) আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়।

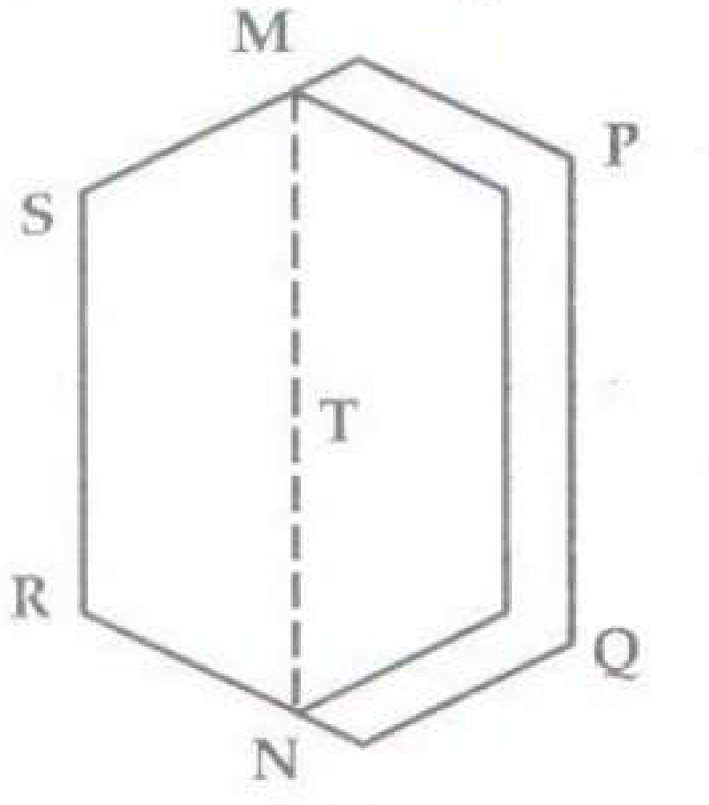
(২) একই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুটি বর্ণালী রেখা পৃথক করা যায়।

(৩) তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সাপেক্ষে অপবর্তন কোণের পরিবর্তনের হার নির্ণয় করা যায়।

৭.৭ আলোকের সমবর্তন ০২-০৬

Polarisation of Light

আমরা জানি আলোক এক প্রকার শক্তি যা দৃষ্টির অনুভূতি জন্মায়। আলোকের প্রকৃতি নির্ণয়ের জন্য পাঁচটি তত্ত্ব আছে। এদের মধ্যে আলোকের তরঙ্গ তত্ত্ব অন্যতম। বিজ্ঞানী হাইগেনস 1678 খ্রিস্টাব্দে এই তত্ত্ব আবিষ্কার করেন। তাঁর মতে আলোক তরঙ্গের আকারে এক স্থান হতে অন্য স্থানে গমন করে। এ তত্ত্বের সাহায্যে আলোকের প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, অপবর্তন প্রভৃতি ঘটনাবলি ব্যাখ্যা করা যায়। কিন্তু আলোক কি ধরনের তরঙ্গ—আড় তরঙ্গ না অনুদৈর্ঘ্যিক তরঙ্গ তা উপরোক্ত আলোকীয় ঘটনাবলি হতে জানা যায় না। তবে পরবর্তীকালে আলোক সংক্রান্ত এমন কতকগুলো ফলাফল পাওয়া গেছে যা বিশ্লেষণ করলে দেখা যায় যে, আলোক তরঙ্গ কখনই অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ নহে, এটি আড় তরঙ্গ। এক জোড়া টুর্ম্যালিন কেলাসের পরীক্ষা এই ব্যাপারে বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। এ পরীক্ষা হতে নিঃসন্দেহে প্রমাণিত হয় যে, আলোক আড় তরঙ্গ। আলোকের সমবর্তন আড় তরঙ্গের একটি প্রকৃষ্ট প্রমাণ। এখন আলোচনা করা যাক আলোকের সমবর্তন কী ?



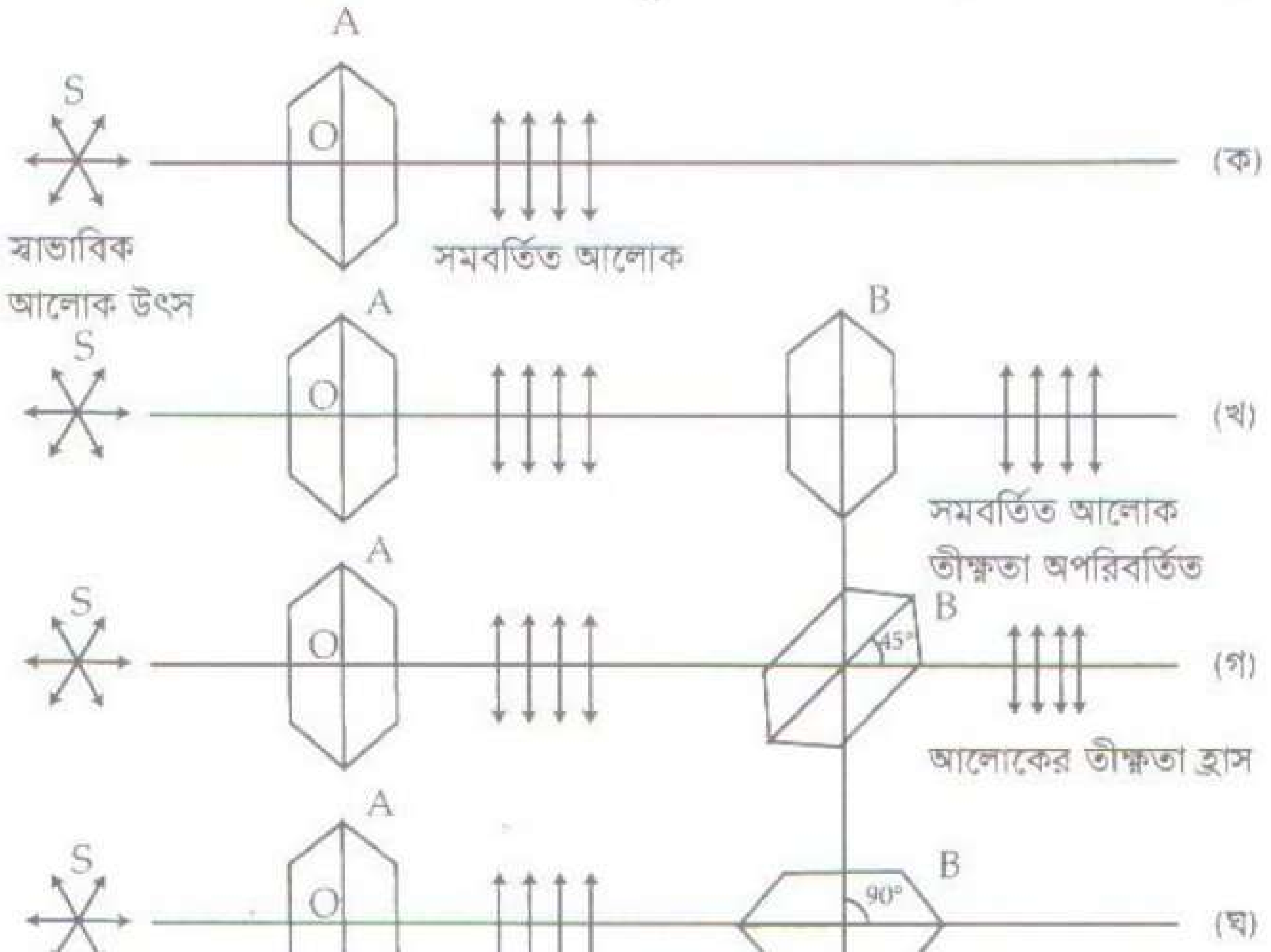
চিত্র ৭.১৪

টুর্ম্যালিন কেলাসের পরীক্ষা আলোচনা করার পূর্বে টুর্ম্যালিন কেলাস কী তা-ই জানা যাক। এটি ছয় বাহুবিশিষ্ট হালকা সবুজ রঙের একটি কেলাস PQRS যা প্রায় স্বচ্ছ [চিত্র ৭.১৪]। এটি অনেকগুলো ধাতুর অক্সাইডের রাসায়নিক সংমিশ্রণে গঠিত। এর সর্বাপেক্ষা বড় (MN) কর্ণটির নাম **সরলাক্ষ** (Optic axis)। নিম্নের টুর্ম্যালিন কেলাস পরীক্ষার দ্বারা আলোর সমবর্তন ব্যাখ্যা করা হলো।

টুর্ম্যালিন কেলাস পরীক্ষা এবং আলোকের সমবর্তন

Tourmaline crystal experiment and polarisation of light

মনে করি S একটি আলোক উৎস। S হতে নির্গত আলোক তরঙ্গসমূহ এদের গতিপথের অভিলম্ব তলে চারদিকে সমান বিস্তারে কম্পিত হবে। A একটি টুর্ম্যালিন কেলাস যা আলোক তরঙ্গের গতিপথে স্থাপন করা হয়েছে। S হতে আলোক তরঙ্গ কেলাসের যে কোনো একটি সমতল পৃষ্ঠে আপতিত হবে [চিত্র ৭.১৫ (ক)]।



চিত্র ৭.১৫

কেলাসের অপর দিকে নজর করলে একই প্রাবল্যের বা তীক্ষ্ণতার আলোক দেখা যাবে। কেলাস হতে নির্গত আলোক কেলাসের প্রকৃতির উপর নির্ভর করবে এবং যৎসামান্য রঙিন দেখাবে। এ অবস্থায় A কেলাসটিকে O বিন্দুর সাপেক্ষে ঘুরাতে থাকলে একই প্রাবল্যের আলোক দেখা যাবে। এখন A কেলাসের সমান্তরাল আলোকের গতিপথে আর একটি টুর্ম্যালিন কেলাস B এমনভাবে স্থাপন করি যাতে এর সরলাক্ষ আলোকের গতিপথের সাথে লম্বভাবে অবস্থান করে [চিত্র ৭.১৫ (খ)]। এমতাবস্থায় B কেলাসের অপর পার্শ্ব হতে নজর করলে একই প্রাবল্যের আলোক দেখা যাবে।

এখন A কেলাসটিকে স্থির রেখে B কেলাসটিকে O বিন্দু বরাবর ধীরে ধীরে ঘুরাতে থাকলে দেখা যাবে যে, B কেলাস হতে নির্গত আলোকের প্রাবল্য ধীরে ধীরে কমছে [চিত্র ৭.১৪ (গ)]। যখন B কেলাসটি A কেলাসের সাথে সমকোণে স্থাপন করা হবে তখন B কেলাস হতে কোনো আলোক নির্গত হবে না [চিত্র ৭.১৪ (ঘ)]। B কেলাসটিকে 90°-এর বেশি কোণে ঘুরাতে থাকলে পুনরায় B হতে আলোক নির্গত হবে এবং এর প্রাবল্য ধীরে ধীরে বৃদ্ধি পেতে থাকবে। B কেলাস-এর সরলাক্ষ পুনরায় A কেলাসের সরলাক্ষের সমান্তরাল হলে B হতে নির্গত আলোকের প্রাবল্য সর্বাপেক্ষা বেশি হবে অর্থাৎ প্রাবল্য পূর্বের অবস্থানে ফিরে আসবে।

M> 01-02

এই পরীক্ষা হতে নিশ্চিতভাবে প্রমাণিত হলো যে, **আলোক তরঙ্গ লম্বিক বা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ নহে, আলোক তরঙ্গ আড় তরঙ্গ বা তির্যক তরঙ্গ।** কেননা, A কেলাস হতে নির্গত হবার পর আলোক তরঙ্গ কেবল একটি নির্দিষ্ট তলে কম্পিত হচ্ছে। সেজন্য A হতে নির্গত আলোককে **সমবর্তিত আলোক** (polarised light) বলে।

সংজ্ঞা : যে প্রক্রিয়ায় বিভিন্ন তলে কম্পমান আলোক তরঙ্গকে একটি নির্দিষ্ট তল বরাবর কম্পনক্ষম করা যায় তাকে আলোকের সমবর্তন বা পোলারায়ন বলে।

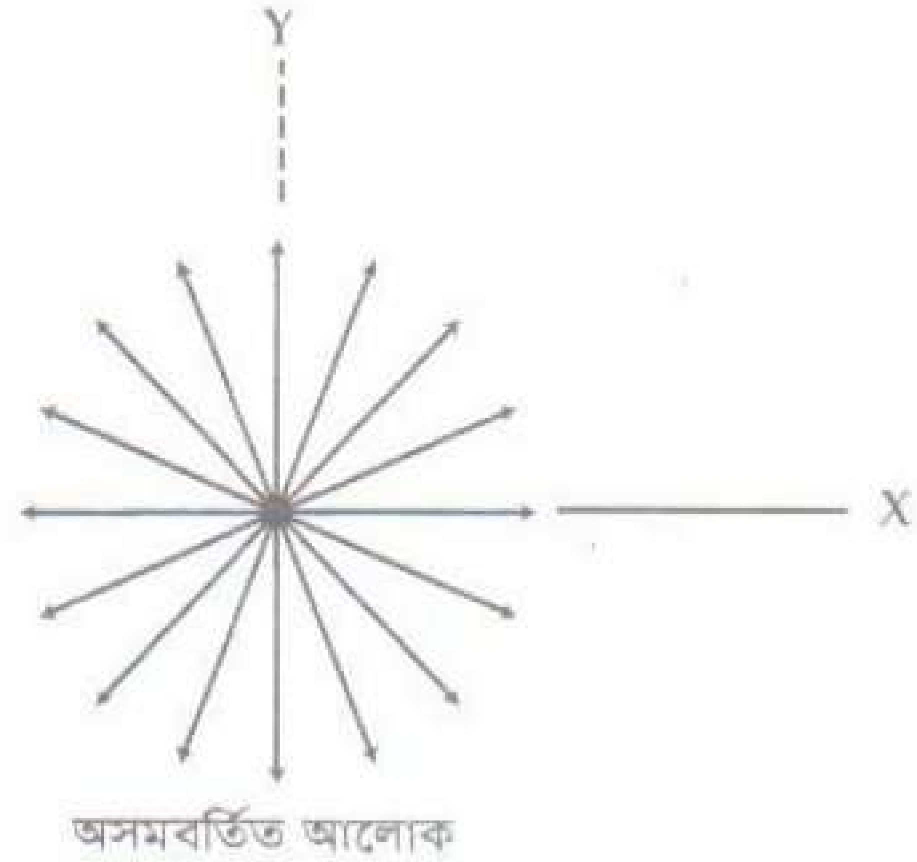
S হতে নির্গত আলোক তরঙ্গ চারদিকে কম্পিত হচ্ছে। S হতে A পর্যন্ত আলোক তরঙ্গের এই অবস্থাই চলবে। অতএব S ও A-এর মধ্যবর্তী স্থানে আলোক **অসমবর্তিত** বা **অপোলারায়িত** (unpolarised)। কিন্তু A হতে B পর্যন্ত স্থানে আলোক তরঙ্গকে একটি নির্দিষ্ট তল বরাবর আনয়ন করা হয়েছে। সুতরাং এই স্থানের আলোক **সমবর্তিত** বা **পোলারায়িত** (polarised)। যখন A ও B কেলাস-এর সরলাক্ষ পরস্পরের সমান্তরালে থাকে তখন B-এর পরের অংশে আলোক সমবর্তিত হয়। এখানে A-কে সমবর্তক (polarizer) ও B-কে বিশ্লেষক (analyzer) বলে। 1690 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী হাইগেনস আলোকের সমবর্তন আবিষ্কার করেন।

উপরে বর্ণিত সমবর্তনে আলোক তরঙ্গের কম্পন একটি নির্দিষ্ট সমতলে সীমাবদ্ধ করা হয়েছে। এজন্য একে **সমতল** (plane) বা **রৈখিক** (linear) **সমবর্তন** বলা হয়।

সমবর্তন বিষয়ক কতকগুলো রাশি
Some terms relating polarisation

(০৯–১০)

(ক) অসমবর্তিত আলোক (Unpolarised light) : সাধারণ আলোক যার কম্পন গতিপথের লম্ব অভিমুখে চারদিকে সমান বিস্তারে কম্পিত হয় তাকে অসমবর্তিত আলোক বলে [চিত্র ৭.১৬]।

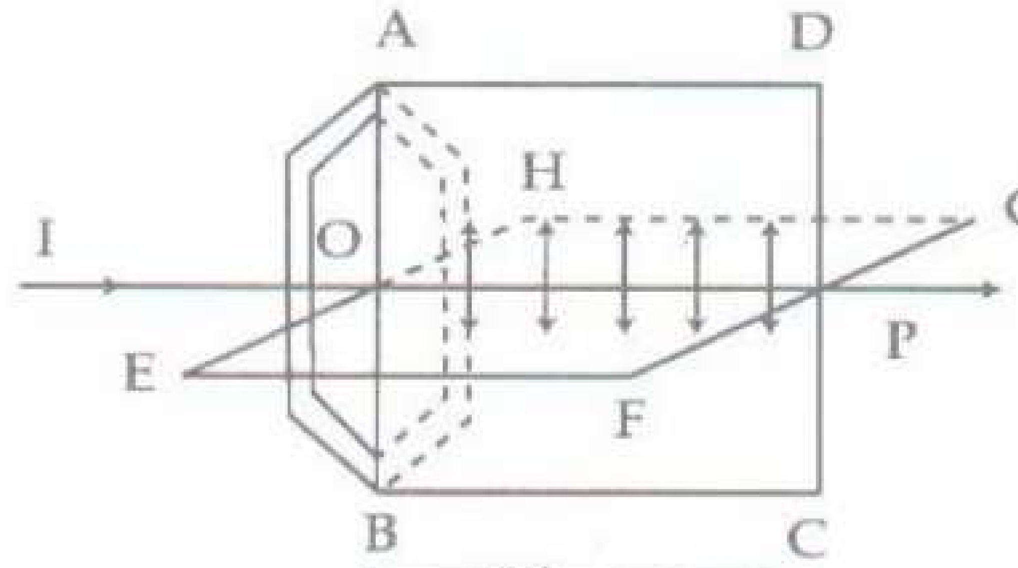


অসমবর্তিত আলোক

চিত্র ৭.১৬

(খ) সমবর্তিত আলোক (Polarised light) : একটি তলে বা এর সমান্তরাল তলে কম্পমান আড় তরঙ্গবিশিষ্ট আলোককে সমবর্তিত আলোক বলে।

(গ) রেখা সমবর্তিত আলোক (Plane polarised light) : কোনো আলোক তরঙ্গের কণাগুলোর কম্পন কেবলমাত্র একটি তলে সীমাবদ্ধ থাকলে একে রেখা সমবর্তিত আলোক বলে।



সমবর্তিত আলোক

চিত্র ৭.১৭

(ঘ) কম্পন তল (Plane of vibration) : আলোক তরঙ্গের কণাসমূহ যে সমতলে কম্পিত হয় তাকে কম্পন তল বলে। চিত্র ৭.১৭-এ ABCD কম্পন তল।

(ঙ) সমবর্তিত কোণ (Polarising angle) : কোনো প্রতিফলক মাধ্যমে আপতন কোণ ধীরে ধীরে পরিবর্তন করলে এমন একটি কোণ পাওয়া যাবে যার জন্য সমবর্তন সর্বাধিক হবে, সেই কোণটিকে সমবর্তন কোণ বলে।

(চ) সমবর্তন তল (Plane of polarisation) : কম্পন তলের সাথে যে তলটি লম্বভাবে অবস্থান করে তাকে সমবর্তন তল বলে। চিত্র ৭.১৭-এ EFGH সমবর্তন তল।

(ছ) দ্বৈত প্রতিসরণ (Double refraction) : এমন কতকগুলো কেলাস আছে যাদের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মি গমন করলে তা দুটি প্রতিসৃত রশ্মিতে বিভক্ত হয়। এই পদ্ধতিকে দ্বৈত প্রতিসরণ বলে এবং এসব কেলাসকে দ্বৈত প্রতিসারক কেলাস বলে। কোয়ার্টজ ও ক্যালসাইট দ্বৈত প্রতিসারক কেলাস।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$${}_a\mu_b = \frac{c_a}{c_b} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

$${}_a\mu_g = \frac{\lambda_a}{\lambda_g} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

$$\frac{\delta}{\lambda} = \frac{\sigma}{2\pi} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

$$c = \frac{E}{B} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

$$\beta = \frac{D}{2d}\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

$$\Delta x = \lambda \frac{d}{a} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

$$a \sin\theta = n\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

$$(a + b)\sin\theta = n\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9)$$

$$\frac{1}{N}\sin\theta_n = n\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10)$$

$$a \sin\theta = (2n+1)\lambda/2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (11)$$

$$\lambda = \frac{\sin\theta}{nN} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (12)$$

উচ্চতর দক্ষতাসম্পন্ন নমুনা গাণিতিক উদাহরণ

১। নওশিন পদার্থবিজ্ঞান গবেষণাগারে দুটি সুসংগত উৎস ব্যবহার করে ব্যতিচারের পরীক্ষা করছিল। সে দেখল তরঙ্গ দুটি একই দশায় নিঃসৃত হলো। প্রত্যেকটি তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6000 Å।

(ক) যেকোনো একটি তরঙ্গ কাঁচে প্রবেশ কালে তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং তরঙ্গস্থিত ফোটনের শক্তি কত হবে?

(খ) বায়ু মাধ্যমে তরঙ্গদ্বয়ের মধ্যকার পথ-পার্থক্য 15000Å হলে এদের শেষ বিন্দু দুটির মধ্যে দশা পার্থক্য কত হবে? এই দশা পার্থক্য নিয়ে উপরিপাতন ঘটলে কী ধরনের ব্যতিচার হবে মতামত ব্যক্ত কর।

সমাধান : (ক) বায়ু সাপেক্ষে কাঁচের প্রতিসরাঙ্ক $= {}_a\mu_g = 1{\cdot}5$

বস্তুতে তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda_a = 6000\text{Å}$

কাঁচে তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda_g = ?$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_a}{{}_a\mu_g} = \frac{6000\text{Å}}{1{\cdot}5} = 4000\text{Å}$$

মাধ্যম স্থান পরিবর্তন করলে তরঙ্গের কম্পাঙ্ক পরিবর্তিত হয় না।

তরঙ্গস্থিত ফোটনের শক্তি, $E = h\upsilon = h\frac{c}{\lambda} = h \times \frac{c_a}{\lambda_a}$

$$= \frac{h \times 3 \times 10^8}{6000 \times 10^{-10}} = 3{\cdot}315 \times 10^{-19}\text{ J} = 2{\cdot}072\text{ eV}$$

(খ) এখানে তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 6000\text{Å}$

পথ-পার্থক্য, $\delta = 15000\text{Å}$

দশা পার্থক্য, σ হলে,

আমরা জানি,

$$\frac{\delta}{\lambda} = \frac{\sigma}{2\pi}$$

বা, $\sigma = \frac{\delta}{\lambda} \times 2\pi = \frac{15000\text{Å}}{6000\text{Å}} \times 2\pi = 5\pi = (4\pi + \pi)$

4π দশা পার্থক্য এবং শূন্য দশা পার্থক্য একই কথা।

সুতরাং 5π বা $(4\pi + \pi)$ দশা পার্থক্য এবং $(0 + \pi)$ দশা পার্থক্য একই কথা।

অতএব বায়ু মাধ্যমে তরঙ্গদ্বয়ের মধ্যকার পথ-পার্থক্য 15000Å হলে এদের শেষ বিন্দু দুটির মধ্যকার দশা পার্থক্য হবে π radian দশা পার্থক্য এরূপ হওয়ার ফলে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার সৃষ্টি হবে।

২। রুবেল বিভিন্ন তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ছকটি পর্যবেক্ষণ করে দেখল নির্দিষ্ট মাধ্যমে বিভিন্ন তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ভিন্ন ভিন্ন। শুধু তাই নয় একটি তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ যখন মাধ্যম পরিবর্তন করে, তখন এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য পরিবর্তিত হয়। যেমন হীরকে একটি তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 200Å। স্পষ্টত শূন্য মাধ্যমে উক্ত বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ভিন্ন মানের হবে।

(ক) হীরকের পরম প্রতিসরাঙ্ক 2·4 হলে শূন্য মাধ্যমে উক্ত বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে ?

(খ) উক্ত তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণের এবং গামা রশ্মি বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য সীমা তুলনা কর এবং উভয়ের ব্যবহার আলোচনা কর।

সমাধান : (ক) এখানে হীরক তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণটির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, $\lambda_d = 200\text{Å}$

হীরকের পরম প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_d = 2{\cdot}4$

শূন্য মাধ্যমে বিকিরণটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda_0 = ?$

আমরা জানি, $\mu_d = \dfrac{\lambda_0}{\lambda_d}$

$$\therefore \quad \lambda_0 = \lambda_d \times \mu_d$$
$$= 200\text{Å} \times 2{\cdot}4 = 480\text{Å}$$

সুতরাং শূন্য মাধ্যমে তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য $= 480\text{Å}$

(খ) শূন্য মাধ্যমে কোনো তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য $1{\cdot}4\text{Å}$ হতে 1000Å মানের হলে বিকিরণটিকে এক্স-রশ্মি হিসেবে চিহ্নিত করা হয়। সুতরাং উদ্দীপকে বর্ণিত তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণটিকে এক্স-রশ্মি হিসেবে সনাক্ত করা যায়। কারণ শূন্য মাধ্যমে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 480Å যা $1{\cdot}4\ \text{Å}$ ও 1000Å এর মাঝামাঝি স্থানে বিদ্যমান।

এক্স-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা 5×10^{-8} m হতে 5×10^{-15} m এর মধ্যে।

অন্যদিকে গামা রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা 5×10^{-11} m হতে 5×10^{-15} m বা এর চেয়ে কম।

এক্স-রশ্মির ব্যবহার : চিকিৎসা ক্ষেত্রে, গবেষণা কাজে, শিল্পে কলকারখানায় নিরাপত্তার কাজে, চোরা চালান নিরোধে এক্স-রে ব্যবহৃত হয়। এছাড়া দেহের ক্ষতিকর সেল, টিউমার ধ্বংস করতে ও হাড়ভাঙ্গা ও দেহের অভ্যন্তরে কোনো অঙ্গ-প্রত্যঙ্গের ছবি তুলতে এক্সরে ব্যবহৃত হয়। ধাতব পাতে কোনো ফাটল আছে কিনা তা নির্ধারণেও এক্স-রশ্মি ব্যবহৃত হয়।

গামা রশ্মির ব্যবহার : মানব দেহে ক্যান্সার আক্রান্ত সেল ধ্বংস করতে বিভিন্ন রোগ নির্ণয়ে, বিজ্ঞানাগারে গবেষণার কাজে ও ধাতব বস্তুতে ফাটল নির্ণয়ে গামা রশ্মি ব্যবহৃত হয়।

৩। প্রতি মিটারে 6×10^5 সংখ্যক রেখাসম্পন্ন কোনো অপবর্তন গ্রেটিং-এর মধ্য দিয়ে 450 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো কোনো ফিল্টারের সাহায্যে লম্বভাবে আপতিত করা হলো। [রা. বো. ২০১৫]

(ক) 450 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর প্রথম ক্রমের অপবর্তন কোণ কত ?

(খ) উদ্দীপকের আলোকে চতুর্থ ক্রমের অপবর্তন সম্ভব কি-না বিশ্লেষণ কর।

সমাধান :

(ক) অপবর্তন কোণ θ হলে,

$$d \sin \theta = n\lambda$$

বা, $\sin \theta = \dfrac{n\lambda}{d}$

বা, $\sin \theta = Nn\lambda = 6 \times 10^5 \times 1 \times 450 \times 10^{-9}$

বা, $\sin \theta = 0{\cdot}27$

$\therefore \quad \theta = \sin^{-1} (0{\cdot}27) = 15{\cdot}66°$

এখানে,

$\lambda = 450 \text{ nm} = 450 \times 10^{-9} \text{ m}$

$n = 1$

$N = 6 \times 10^5$

(খ) চতুর্থ ক্রমের জন্য $n = 4$

$$\sin \theta = nN\lambda$$

বা, $\sin \theta = 4 \times 6 \times 10^5 \times 450 \times 10^{-9}$

বা, $\sin \theta = 1{\cdot}08$. $\sin \theta$ এর সর্বোচ্চ মান $= +1$

$\therefore \quad \sin \theta \neq 1{\cdot}08$

অর্থাৎ চতুর্থ ক্রমের অপবর্তন সম্ভব নয়।

৪। আলোর ব্যতিচার পরীক্ষণে পরীক্ষার্থীরা প্রথম দুটি সুসংগত উৎস ব্যবহার করলো যেগুলো থেকে সমদশাবিশিষ্ট 5500 $\mathring{A}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক তরঙ্গ নির্গত হয়। পর্দায় মিলিত তরঙ্গদ্বয়ের পথ পার্থক্য 11000 $\mathring{A}$ লক্ষ করলো। [চ. বো. ২০১৫]

(ক) উৎস হতে নির্গত প্রতিটি ফোটনের শক্তি হিসাব কর।

(খ) শিক্ষার্থীরা উক্ত পরীক্ষণে কোন ধরনের ব্যতিচার লক্ষ করল ? —গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

সমাধান : উৎস থেকে নির্গত প্রতিটি ফোটনের শক্তি E = ?

(ক) আমরা জানি, $E = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda}$ $[\because c = \upsilon\lambda]$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{5500 \times 10^{-10}}$$

$$= 3.62 \times 10^{-19}\ \text{J} = 2.26\ \text{eV}$$

(খ) দেওয়া আছে, $\lambda = 5500\ \mathring{A} = 5500 \times 10^{-10}\ \text{m}$

পথ পার্থক্য $= 11000\ \mathring{A} = 11000 \times 10^{-10}\ \text{m}$

আমরা জানি, দশা পার্থক্য $= \frac{2\pi}{\lambda} \times$ পথ পার্থক্য

$$= \frac{2\pi}{5500 \times 10^{-10}} \times 11000 \times 10^{-10} = 4\pi$$

অর্থাৎ 4π দশা পার্থক্য এবং শূন্য দশা পার্থক্য একই কথা। তরঙ্গদ্বয়ের মধ্যে দশা পার্থক্য শূন্য হলে গঠনমূলক ব্যতিচার হয়। তাই এক্ষেত্রে গঠনমূলক ব্যতিচার পর্যবেক্ষণ করবে।

৫। ইয়ং এর দ্বিচিড় পরীক্ষার জন্য রাসেল 5.5×10^{14} Hz কম্পাঙ্কবিশিষ্ট আলো ব্যবহার করে চিড় হতে 1.55 m দূরত্বের পর্দায় ব্যতিচার ঝালর সৃষ্টি করল। যার পর পর দুটি উজ্জ্বল ডোরার মধ্যবর্তী দূরত্ব 0.75 mm। অন্যদিকে আরিফের পরীক্ষায় চিড় দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব ছিল 2.0 mm। চিড় হতে 1 m দূরে পরপর দুটি উজ্জ্বল ডোরার ব্যবধান 0.295 mm।

(ক) রাসেলের পরীক্ষায় চিড় দুটির মধ্যবর্তী ব্যবধান কত ছিল ?

(খ) রাসেল ও আরিফের মধ্যে কে বেশি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করেছে, গাণিতিক যুক্তি দাও।

সমাধান :

(ক) $\Delta z = \frac{\lambda D}{a} = \frac{cD}{na}$

$$\therefore\ a = \frac{cD}{n\Delta z} = \frac{3 \times 10^{8} \times 1.55}{55 \times 10^{14} \times 0.75 \times 10^{-3}}$$

$$= 1.127 \times 10^{-3}\ \text{m} = 1.127\ \text{mm}$$

$D = 1.55$ m

$\Delta z = 0.75\ \text{mm} = 0.75 \times 10^{-3}\ \text{m}$

$n = 5.5 \times 10^{-14}$ Hz

$a = ?$

ধরি, $c =$ আলোর বেগ

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

(খ) রাসেলের ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = \frac{c}{n}$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^{8}}{5.5 \times 10^{14}} = 5.45 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

আরিফের পরীক্ষায় চিড়দ্বয়ের মধ্যকার দূরত্ব,

$a = 2\ \text{mm} = 2 \times 10^{-3}\ \text{m}$

$D = 1\ \text{m},\ \Delta z = 0.296\ \text{mm} = 0.295 \times 10^{-3}\ \text{m}$

$$\Delta z = \frac{\lambda' D}{a}$$

$$\lambda' = \frac{a \times \Delta z}{D} = \frac{2 \times 10^{-3}\ \text{m} \times 0.295 \times 10^{-3}\ \text{m}}{1}$$

$$= 5.9 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

যেহেতু $\lambda' > \lambda$ কাজেই আরিফ রাসেল অপেক্ষা বেশি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করেছে।

সার-সংক্ষেপ

পয়েন্টিং ভেক্টর	:	কোনো একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে যে পরিমাণ শক্তি অতিক্রম করে তাকে পয়েন্টিং ভেক্টর বলে। একে $\vec{S}$ দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। $\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$ ।
তড়িৎ চৌম্বকীয় বর্ণালী	:	তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গের কম্পাঙ্কের বা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা বিস্তৃত। এর প্রসারতা 10^4 Hz-এর কম থেকে 10^{23} Hz-এর বেশি পর্যন্ত বিস্তৃত। বিস্তৃত এ পরিসরকে তড়িৎ চৌম্বকীয় বর্ণালী বলে।
তরঙ্গমুখ	:	তরঙ্গস্থিত সমদশাসম্পন্ন বিন্দুগুলি যে তলে অবস্থান করে তাকে উক্ত তরঙ্গের তরঙ্গমুখ বলে।
হাইগেনসের নীতি	:	কোনো একটি তরঙ্গমুখের উপর অবস্থিত প্রতিটি বিন্দু কম্পন বা আন্দোলনের এক একটি উৎস হিসেবে বিবেচিত হয়। ঐ গৌণ উৎসগুলো হতে সৃষ্ট তরঙ্গমালা মূল তরঙ্গের সমান বেগে সামনের দিকে অগ্রসর হয়। যে কোনো সময়ে ঐ সব গৌণ তরঙ্গমালাকে স্পর্শ করে একটি তল অংকন করলে ঐ তলই ঐ সময়ের তরঙ্গমুখের নতুন অবস্থান নির্দেশ করে।
প্রতিফলনের সূত্র— ১ম সূত্র	:	আপতিত রশ্মি, আপতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব এবং প্রতিফলিত রশ্মি একই সমতলে অবস্থান করে।
২য় সূত্র	:	আপতন কোণ $\angle i$ = প্রতিফলন কোণ $\angle r$ ।
প্রতিসরণের সূত্র— ১ম সূত্র	:	আপতিত রশ্মি, আপতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব এবং প্রতিসৃত রশ্মি একই সমতলে অবস্থান করে।
২য় সূত্র	:	এক জোড়া নির্দিষ্ট মাধ্যম এবং একটি নির্দিষ্ট বর্ণের আলোক রশ্মির জন্য আপতন কোণের সাইন এবং প্রতিসরণ কোণের সাইন-এর অনুপাত একটি ধ্রুব রাশি। একে μ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এর নাম প্রতিসরাঙ্ক।
আলোকের ব্যতিচার	:	একই রং-এর সমান কম্পাঙ্ক ও বিস্তারের দুটি আলোক তরঙ্গ কোনো মাধ্যমের কোনো একটি বিন্দুর মধ্য দিয়ে একই সঙ্গে গমন করলে তরঙ্গ দুটির উপরিপাতনের ফলে বিন্দুটি কখনো খুব উজ্জ্বল ও কখনো কখনো অন্ধকার দেখায়। আলোকের এই ঘটনাকে ব্যতিচার বলে।
ব্যতিচার ঝালর	:	সমান কম্পাঙ্ক ও বিস্তারের দুটি আলোক তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে ব্যতিচার সৃষ্টি হয়। ফলে কোনো তলে বা পর্দায় অনেকগুলো পরস্পর সমান্তরাল উজ্জ্বল ও অন্ধকার রেখা পাওয়া যায়। এই উজ্জ্বল ও অন্ধকার রেখা বা ডোরাগুলোকে আলোকের ব্যতিচার ঝালর বলে।
অপবর্তন	:	কোনো অস্বচ্ছ ধার বা কিনারা ঘেঁষে বেঁকে আলোকের অগ্রসর হওয়ার ধর্মকে আলোকের অপবর্তন বলে। অপবর্তন দুই প্রকার; যথা—**(ক) ফ্রেনেল শ্রেণি অপবর্তন** ও **(খ) ফ্রনহফার শ্রেণি অপবর্তন**।
অপবর্তন গ্রেটিং	:	অপবর্তন সৃষ্টির জন্য একটি বিশেষ পন্থা বা উপায়ের নামই অপবর্তন গ্রেটিং। অনেকগুলো সমপ্রস্থ রেখাছিদ্র পাশাপাশি স্থাপন করে অপবর্তন গ্রেটিং গঠন করা হয়।
ফ্রেনেল শ্রেণি অপবর্তন	:	যখন উৎস এবং পর্দা তাদের মধ্যবর্তী বাধা হতে অল্প দূরত্বের মধ্যে অবস্থান করে তখন ঐ বাধার দরুন পর্দায় আলোকের যে অপবর্তন পরিলক্ষিত হবে তাকে ফ্রেনেল শ্রেণি অপবর্তন বলে।
ফ্রনহফার শ্রেণি অপবর্তন	:	যখন উৎস এবং পর্দা তাদের মধ্যবর্তী বাধা হতে অসীম দূরত্বে অবস্থান করে তখন ঐ বাধার দরুন পর্দায় যে অপবর্তন পরিলক্ষিত হবে তাকে ফ্রনহফার শ্রেণি অপবর্তন বলে।
সমতল নিঃসরণ গ্রেটিং	:	সমতল নিঃসরণ গ্রেটিং বলতে একটি কাচ বা অনুরূপ কোনো পদার্থের একটি পাত বুঝায় যার উপর সূঁচালো হীরক বিন্দু দ্বারা সমব্যবধানে সমান্তরালভাবে খুবই কাছাকাছি বহু সংখ্যক দাগ কাটা থাকে।
অপবর্তনের শর্ত	:	অপবর্তনের দুটি শর্ত রয়েছে; যথা—

(ক) **খাড়া ধারের ক্ষেত্রে** : ধার খুব তীক্ষ্ণ হতে হবে এবং এর প্রস্থ আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ-এর সমান বা কাছাকাছি মানের হতে হবে।

(খ) **সরু ছিদ্রের ক্ষেত্রে** : ছিদ্র খুবই সরু হতে হবে যাতে এর ব্যাস তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সমান বা কাছাকাছি মানের হয়।

গ্রেটিং উপাদান বা গ্রেটিং ধ্রুবক : কোনো সমতল নিঃসরণ গ্রেটিং এর অস্বচ্ছ রেখার বেধ 'b' এবং স্বচ্ছ অংশের বেধ 'a' হলে $(a + b)$ দূরত্বকে গ্রেটিং উপাদান বা গ্রেটিং ধ্রুবক বলে।

আলোকের সমবর্তন : যে প্রক্রিয়ায় বিভিন্ন তলে কম্পমান আলোক তরঙ্গকে একটি নির্দিষ্ট তল বরাবর কম্পনক্ষম করা যায় তাকে আলোকের সমবর্তন বলে।

সমবর্তিত আলোক : একটি তলে কিংবা এর সমান্তরাল তলে কম্পমান আড় তরঙ্গবিশিষ্ট আলোককে সমবর্তিত আলোক বলে।

অসমবর্তিত আলোক : যে আলোকের কণাগুলোর কম্পন গতিপথের লম্ব অভিমুখে চারদিকে সমান বিস্তারে কম্পিত হয় তাকে অসমবর্তিত বা সাধারণ আলোক বলে।

কম্পন তল : কোনো তরঙ্গের কণাসমূহ যে সমতলে কম্পিত হয় তাকে কম্পন তল বলে।

সমবর্তন কোণ : কোনো প্রতিফলক মাধ্যমে আপতন কোণের যে সুনির্দিষ্ট মানের জন্য সমবর্তন সর্বাধিক হবে সেই আপতন কোণকে সমবর্তন কোণ বলে।

সমবর্তন তল : কম্পন তলের সাথে যে তল লম্বভাবে অবস্থান করে, তাকে সমবর্তন তল বলে।

দ্বৈত প্রতিসরণ : এমন কতকগুলো কেলাস আছে যাদের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মি গমন করলে এটি দুটি প্রতিসৃত রশ্মিতে বিভক্ত হয়। এই পদ্ধতিকে দ্বৈত প্রতিসরণ বলে।

সরলাক্ষ : সকল দ্বৈত প্রতিসারক কেলাসের এমন একটি নির্দিষ্ট অভিমুখ থাকে যে দ্বৈত প্রতিসরণ দ্বারাই আলোক প্রতিসৃত হয়। কেলাসের এই অভিমুখকে সরলাক্ষ বলে।

প্রধান তল : কোনো রশ্মির সাপেক্ষে প্রধান তল বলতে আমরা এমন একটি তলকে বুঝি যা ঐ রশ্মি এবং কেলাসের সরলাক্ষের মধ্য দিয়ে গমন করে।

প্রধান ছেদ : কোনো কেলাসের সরলাক্ষ বরাবর এবং এর দুই বিপরীত পৃষ্ঠের সমকোণে বিবেচিত তলকে ঐ কেলাসের প্রদান ছেদ বলে।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। আলো এক প্রকার তড়িৎচুম্বক তরঙ্গ। তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ লম্বিক তরঙ্গ বা অনুপ্রস্থ তরঙ্গ তা সমবর্তন পরীক্ষা থেকে জানা যায়।

২। তড়িৎ চৌম্বক বর্ণালীতে অবলোহিত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি।

৩। আলোক হলো বিকিরণ কোয়ান্টা, ফোটন কণা। ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 3000 $\mathring{A}$ এবং কম্পাঙ্ক 10^{15} Hz।

৪। হাইগেনের তরঙ্গমুখ গঠনের তত্ত্ব দিয়ে বর্ণালীর উৎপত্তির ব্যাখ্যা করা যায় না।

৫। দৃশ্যমান বর্ণালীর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিমাণ 4×10^{-7} m — 7×10^{-7} m এবং শক্তি পাল্লা (2-3) eV হয়।

৬। আলোর কম্পন বলতে বোঝায়— (i) $\vec{E}$ এর কম্পন (ii) $\vec{B}$ এর কম্পন (iii) $\vec{E}$ ও $\vec{B}$ এর মধ্যবর্তী কোণ 90°।

৭। তিনটি বর্ণের জন্য $\lambda_R > \lambda > \lambda_v$ [য. বো. ২০১৫]

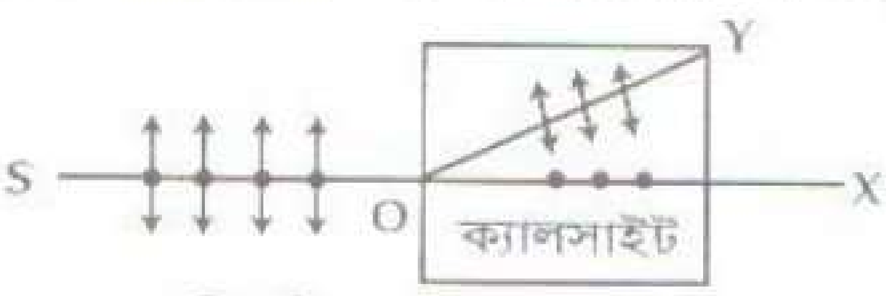
৮। ব্যতিচার এক ধরনের উপরিপাতন। শব্দ তরঙ্গের পোলারণ সম্ভব না।

৯। সমবর্তন নামক আলোকীয় ঘটনা মাধ্যমের পরিবর্তনের কারণে প্রভাবিত হয় না।

১০। সূর্যের আলোর তরঙ্গগুলোর আকৃতি সমতল, সমবর্তন ঘটে আড় তরঙ্গে।

১১। মাইকেলসন-মর্লির পরীক্ষায় ইথারের অস্তিত্ব ভুল প্রমাণিত হয়।

১২।



চিত্রে OY প্রতিসরিত রশ্মি।

১৩। একক চিড়ের দরুন অপবর্তনের ক্ষেত্রে অবমের শর্ত হলো $d \sin \theta = (2n)\lambda/2$। আবার ফ্রনহফার অপবর্তনের জন্য আপতিত আলোক তরঙ্গমুখ হতে হবে সমতল।

১৪। তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে ঘটে ব্যতিচার।

১৫। তরঙ্গমুখে কণাগুলোর দশা পার্থক্য 0°। α-কণা তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ নয়।

১৬। পথ পার্থক্য দশা পার্থক্যের $\frac{\lambda}{2\pi}$ গুণ। সম্পর্কটি হলো $\frac{\delta}{\lambda} = \frac{\sigma}{2\pi}$ এখানে σ= দশা পার্থক্য, δ = পথ পার্থক্য।

১৭। গঠনমূলক ব্যতিচারের জন্য পথ পার্থক্য $n\lambda$। আর ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের জন্য পথ পার্থক্য $(2n + 1)\lambda/2$।

১৮। $\mathring{A}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণী X-ray শক্তি $= 2 \times 10^{15}$ J।

১৯। ইয়ং এর দ্বি–চিড় পরীক্ষায় চিড়দ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব ক্রমান্বয়ে বাড়ালে ডোরা প্রস্থ ক্রমান্বয়ে কমবে।
২০। মাইকেলসন-মর্লি পরীক্ষা ইথার তত্ত্বকে বর্জন করে। বেতার তরঙ্গ, দৃশ্যমান আলো, X-রে তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ।
২১। যে স্থানে আলোর তীব্রতা কম সেস্থানে সংঘটিত হয়—ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার।
২২। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{4}$, দশা পার্থক্য হবে $\frac{\pi}{2}$। আবার একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে দশা পার্থক্য π হলে বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$ এবং একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর দশা পার্থক্য $\frac{\pi}{2}$ হলে বিন্দুদ্বয়ের পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{4}$। আবার পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$ হলে দশা পার্থক্য π।
২৩। দুটি চিড়ের ব্যবধান a ও চিড় হতে পর্দার দূরত্ব D হলে ব্যতিচার ঝালরে পরপর দুটি উজ্জ্বল ও অন্ধকার ডোরার ব্যবধান হবে $\Delta z = \frac{D}{a} \times \lambda$।
২৪। আলোর ব্যতিচারের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য—(i) একাধিক তরঙ্গমুখ (ii) পথ পার্থক্য (iii) সুসঙ্গত আলোক উৎস।
২৫। দ্বি-চিড় পরীক্ষায় চিড়গুলোর দূরত্ব অধিক এবং চিড় ও পর্দার দূরত্ব দ্বিগুণ করা হলে ডোরা প্রস্থ চারগুণ হবে।
২৬। আলোর তরঙ্গ তত্ত্বের প্রবক্তা হাইগেন, কণা তত্ত্বের প্রবর্তক নিউটন। আলোর কোয়ান্টা তত্ত্ব আবিষ্কার করেন প্ল্যাঙ্ক।
২৭। ফ্রনহোফার শ্রেণির অপবর্তন সৃষ্টির করা যায়—(i) গ্রেটিং দ্বারা (ii) একক চিড় দ্বারা (iii) যুগ্ম চিড় দ্বারা।
২৮। সুসঙ্গত উৎসের ক্ষেত্রে (i) উৎস দুটি ক্ষুদ্র হবে (ii) উৎস হতে সমান তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তরঙ্গ নির্গত হবে (iii) তরঙ্গদ্বয় সমদশাসম্পন্ন বা নির্দিষ্ট দশায় থাকবে।
২৯। কাঁচে অসমবর্তিত আলো 57.5° কোণে আপতিত হলে প্রতিফলিত রশ্মি সমবর্তিত হয়।
৩০। একই তরঙ্গমুখের বিভিন্ন অংশ হতে নির্গত গৌণ তরঙ্গমুখের উপরিপাতনের ফলে সৃষ্টি হয় অপবর্তন।
৩১। ফ্রনহফার শ্রেণির অপবর্তনে আলোক রশ্মিসমূহ ও তরঙ্গমুখ যথাক্রমে সমান্তরাল ও সমতল হয়।
৩২। গ্রেটিং ব্যবহৃত হয়—(i) আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয়ে (ii) একই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুটি বর্ণালী রেখা পৃথক করতে (iii) তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সাপেক্ষে অপবর্তন কোণের পরিবর্তনের হার নির্ণয়ে।
৩৩। ব্যতিচারের ক্ষেত্রে অন্ধকার ডোরা সৃষ্টি হবে যখন—(i) দশা পার্থক্য π এর অযুগ্ম গুণিতক হয় (ii) প্রাবল্য সর্বনিম্ন হয়।
৩৪। ব্যতিচারের ক্ষেত্রে উজ্জ্বল ডোরা সৃষ্টি হবে যখন—(i) দশা পার্থক্য π এর যুগ্ম গুণিতক হয় (ii) তরঙ্গদ্বয়ের প্রাবল্য সর্বোচ্চ হয়।
৩৫। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে পথ পার্থখ্য $\frac{5\lambda}{4}$। বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে দশা পার্থক্য $\frac{\pi}{2}$। একটি আলপিনের প্রতিবিম্ব ফেললে তীক্ষ্ণ শীর্ষের প্রতিবিম্ব পাওয়া না যাবার কারণ অপবর্তন।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য হলো—
(i) এরা আড় তরঙ্গ
(ii) এরা তড়িৎক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্রের লম্ব সমবায়
(iii) তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের সঞ্চালনের জন্য মাধ্যম প্রয়োজন হয়
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓛ i ও iii
ⓜ ii ও iii
ⓝ i, ii ও iii

২। কোনটি তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ নয় ?
ⓚ দৃশ্যমান আলো
ⓛ এক্স-রশ্মি
ⓜ গামা রশ্মি
ⓝ আলফা রশ্মি

৩। তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের ক্ষেত্রে—
(i) মাধ্যমের প্রয়োজন হয় না
(ii) কম্পাঙ্ক ধ্রুব থাকে
(iii) তরঙ্গের বেগ $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓛ i ও iii
ⓜ ii ও iii
ⓝ i, ii ও iii

৪। তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের ক্ষেত্রে তড়িৎক্ষেত্র $\vec{E}$ এবং চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ পরস্পর কত ডিগ্রী কোণে থাকে ?
ⓚ 45°
ⓛ 180°
ⓜ 120°
ⓝ 90°

৫। একটি তরঙ্গমুখে কণাগুলোর মধ্যে দশা পার্থক্য— [ঢা. বো. ২০১৫]

ক) $0°$
খ) $90°$
গ) $45°$
ঘ) $180°$

৬। তরঙ্গমুখের ধর্ম হলো—

(i) তরঙ্গমুখের যে কোনো বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব ঐ বিন্দুতে তরঙ্গের বেগের অভিমুখ নির্দেশ করে
(ii) কোনো তরঙ্গের বেগ বলতে তরঙ্গমুখের বেগ বোঝায়
(iii) পরপর দুটি সমদশাসম্পন্ন তরঙ্গমুখের লম্ব দূরত্বকে ওই তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলে

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

৭। হাইগেনের আলোক তত্ত্বের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়—

(i) আলোর ব্যতিচার
(ii) আলোর সমবর্তন
(iii) আলোর প্রতিসরণ

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

৮। হাইগেনের নীতির সাহায্যে—

ক) প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্রগুলো প্রমাণ করা যায় না
খ) প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্রগুলো প্রমাণ করা যায়
গ) প্রতিফলনের সূত্রগুলো প্রমাণ করা যায়; কিন্তু প্রতিসরণের সূত্রগুলো প্রমাণ করা যায় না
ঘ) প্রতিসরণের সূত্রগুলো প্রমাণ করা যায়; কিন্তু প্রতিফলনের সূত্রগুলো প্রমাণ করা যায় না

৯। মাধ্যমের পরিবর্তন হলে আলোর বৈশিষ্ট্যের কী পরিবর্তন ঘটে ?

ক) তরঙ্গদৈর্ঘ্য
খ) কম্পাঙ্ক
গ) বর্ণ
ঘ) কোনোটাই নয়

১০। সুসঙ্গত আলোক উৎসের ক্ষেত্রে—

(i) উৎস দুটি ক্ষুদ্র হবে
(ii) উৎস হতে সমান তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তরঙ্গ নির্গত হবে
(iii) তরঙ্গদ্বয়ের দশা পার্থক্য সর্বদা নির্দিষ্ট থাকবে

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

১১। আলোর ব্যতিচারের শর্ত—

(i) আলোক উৎস দুটি সুসঙ্গত হতে হবে
(ii) উৎস দুটি ক্ষুদ্র ও সূক্ষ্ম হতে হবে
(iii) উৎস দুটি পরস্পর থেকে দূরে হতে হবে

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

১২। ইয়ং-এর দ্বি চিড় পরীক্ষায় চিড় থেকে 1m দূরে একটা উজ্জ্বল ডোরার প্রস্থ 0.5 mm। চিড় দুটির মধ্যে দূরত্ব 0.2mm হলে আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত?

ক) 7m
খ) 10^{-7} m
গ) 10^{-8} m
ঘ) 0.2 m

১৩। টমাস ইয়ং দ্বি-চিড় পরীক্ষার মাধ্যমে কী প্রদর্শন করেন ?

ক) আলোর সমবর্তন
খ) আলোর প্রতিসরণ
গ) আলোর ব্যতিচার
ঘ) আলোর বিচ্ছুরণ

১৪। দুটি সুসঙ্গত একবর্ণী আলো গঠনমূলক ব্যতিচার সৃষ্টি করে যখন তাদের দশা পার্থক্য হয়—

ক) $\frac{3}{2}\pi$
খ) 2π
গ) π
ঘ) $\frac{\pi}{2}$

১৫। ইয়ং-এর পরীক্ষায় দুইটি চিড় থাকার কারণ হলো—

ক) দুইটি সুসঙ্গত উৎস সৃষ্টির জন্য
খ) একটি চিড় কম্পাংকের জন্য এবং অপরটি তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের জন্য
গ) পথের দূরত্বের পার্থক্য সৃষ্টির জন্য
ঘ) একটি চিড় $\vec{E}$ ক্ষেত্রের জন্য এবং অপরটি $\vec{B}$ ক্ষেত্রের জন্য

১৬। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে দশা পার্থক্য $\frac{\pi}{2}$। বিন্দুদ্বয়ের পথ পার্থক্য কত ? [ঢা. বো. ২০১৫]

ক) $\frac{\lambda}{2}$
খ) $\frac{\lambda}{4}$
গ) $\frac{3\lambda}{4}$
ঘ) λ

১৭। পথ পার্থক্য δ, দশা পার্থক্য σ এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ হলে,

(i) $\sigma = \frac{2\pi}{\delta}\lambda$

(ii) $\frac{2\pi}{\lambda}\delta = \sigma$

(iii) $\frac{\lambda}{\delta} = \frac{2\pi}{\sigma}$

নিচের কোনটি সঠিক ?

ⓚ i ও ii
ⓚ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

১৮। কোনো তলের বা পর্দার উপর ব্যতিচার ঘটানো হলে—

(i) অনেকগুলো সমান্তরাল আলোক রেখা দেখা যায়
(ii) পর্দায় উজ্জ্বল ও অন্ধকার ডোরা দেখা যায়
(iii) অন্ধকার ও উজ্জ্বল ডোরাগুলোকে ব্যতিচার ঝালর বলে

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

১৯। নিচের কোন তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য সবচেয়ে বেশি?

(ক) অবলোহিত রশ্মি
(খ) বেতার তরঙ্গ
(গ) গামা রশ্মি
(ঘ) এক্স-রশ্মি

২০। একটি ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য $3000\mathring{A}$। এর কম্পাঙ্ক কত ?

(ক) 10^{15} Hz
(খ) 10^{10} Hz
(গ) 10^{8} Hz
(ঘ) 10^{6} Hz

২১। একটি গ্রেটিং-এর প্রতি একক দৈর্ঘ্যে রেখার সংখ্যা এবং গ্রেটিং ধ্রুবক d-এর মধ্যে সম্পর্ক হলো—

(ক) $N = \frac{1}{d}$
(খ) $N = d$
(গ) $N = \frac{1}{d^2}$
(ঘ) $N = \frac{1}{\sqrt{d}}$

২২। ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় চিড়গুলোর দূরত্ব অর্ধেক এবং চিড় ও পর্দার দূরত্ব দ্বিগুণ করা হলে ডোরা প্রস্থ কত হবে ?

(ক) দ্বিগুণ হবে
(খ) অর্ধেক হবে
(গ) চারগুণ হবে
(ঘ) কোনোটি নয়

২৩। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$। বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে দশা পার্থক্য কত ?

[য. বো. ২০১৫]

(ক) π
(খ) $\frac{\pi}{3}$
(গ) $\frac{\pi}{2}$
(ঘ) $\frac{\pi}{4}$

২৪। প্রতিসরণের সময় আলো এক মাধ্যম থেকে অন্য মাধ্যমে গেলে আলোর—

(i) বেগের পরিবর্তন হয়
(ii) কম্পাঙ্কের পরিবর্তন হয়
(iii) তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিবর্তন হয়

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

২৫। ব্যতিচার ঝালরের প্রস্থ—

(i) ঝালর সংখ্যার উপর নির্ভর করে
(ii) আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক
(iii) উৎসদ্বয় হতে পর্দার দূরত্ব এবং উৎসদ্বয়ের মধ্যে দূরত্বের উপর নির্ভর করে

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

২৬। আলোর অপবর্তনের বৈশিষ্ট্য হলো—

(i) অপবর্তন ঝালরের বেধ সমান হয়
(ii) অপবর্তনের ক্ষেত্রে উজ্জ্বল পট্টি ও অন্ধকার পট্টিগুলোর অন্তর্বর্তী দূরত্বগুলো ক্রমাগত কমতে থাকে
(iii) অপবর্তনে উজ্জ্বল পট্টিগুলোর প্রত্যেকটিতে আলোর প্রাবল্য সমান থাকে না

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

২৭। নিচের কোন ঘটনাটি অনুপ্রস্থ তরঙ্গের বেলায় ঘটে কিন্তু অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের বেলায় ঘটে না।

(ক) সমবর্তন
(খ) অপবর্তন
(গ) প্রতিসরণ
(ঘ) ব্যতিচার

২৮। সমবর্তিত আলোর ক্ষেত্রে কোনটি সত্য ?
ক) $\vec{E}$-এর কম্পন তল নির্দিষ্ট এবং $\vec{B}$ থাকে না
খ) $\vec{E}$-এর কম্পন তল এবং $\vec{B}$ এর কম্পন তল পরস্পর লম্ব হয়
গ) $\vec{E}$-এর কম্পন তল নির্দিষ্ট নয়
ঘ) $\vec{E}$ ও $\vec{B}$ কোনোটাই নির্দিষ্ট থাকে না

২৯। দুটি উৎস হতে সমদশায় একই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুটি আলোক তরঙ্গ নিঃসৃত হলে তাদের কী বলে ?
ক) গৌণ উৎস
খ) সুসঙ্গত উৎস
গ) প্রধান উৎস
ঘ) এর সবগুলো

৩০। কিনারা বা প্রান্ত দিয়ে আলোর বেঁকে যাওয়াকে বলা হয়—
ক) সমবর্তন
খ) ব্যতিচার
গ) অপবর্তন
ঘ) দ্বৈত প্রতিসরণ

৩১। অপবর্তনের দ্বারা আলোর কোন ধর্মটি প্রমাণিত হয়?
ক) তরঙ্গরূপ
খ) তির্যকরূপ
গ) অনুদৈর্ঘ্য রূপ
ঘ) কোয়ান্টাম প্রকৃতি

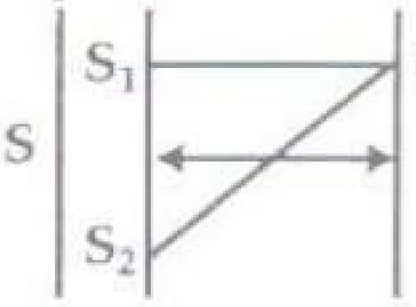
৩২। নিচের কোনটির ক্ষেত্রে অপবর্তন সবচেয়ে বেশি হয়?
ক) গামা রশ্মি
খ) অতি বেগুনি রশ্মি
গ) অবলোহিত রশ্মি
ঘ) রেডিও তরঙ্গ

৩৩। আলোক তরঙ্গের তির্যক প্রকৃতি জানা গেছে আলোর যে ধর্মের জন্য তা হলো—
ক) প্রতিসরণ
খ) অপবর্তন
গ) ব্যতিচার
ঘ) সমবর্তন

৩৪। ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের শর্ত হলো পথ পার্থক্য সমান—
ক) $n\lambda$
খ) $n(\lambda + 1)$
গ) $(n + 1)\frac{\lambda}{2}$
ঘ) $(2n + 1)\frac{\lambda}{2}$

৩৫। কম্পন তল ও সমবর্তিত আলোর সমবর্তন তলের মধ্যবর্তী কোণের মান হলো—
ক) 0
খ) $\frac{\pi}{4}$
গ) $\frac{\pi}{2}$
ঘ) π

নিচের উদ্দীপকটি পড়ে ৩৬ ও ৩৭নং প্রশ্নের উত্তর দাও :



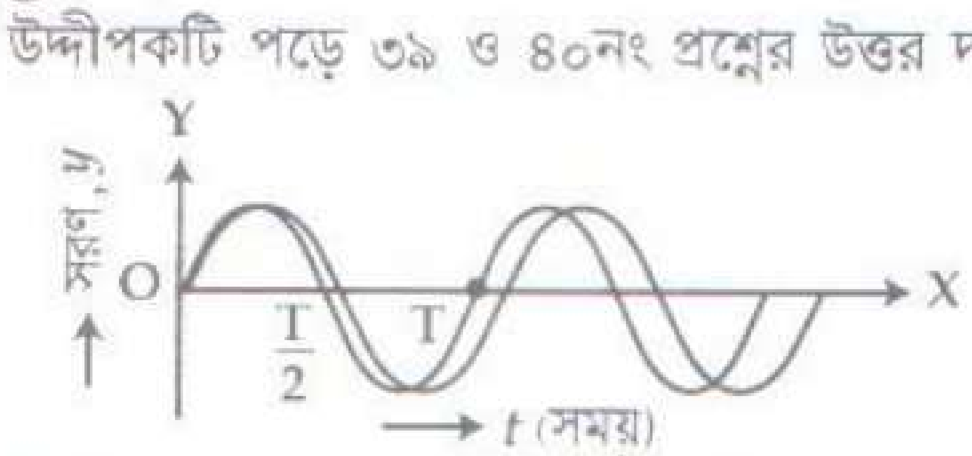
চিত্রটি ইয়ং এর দ্বিচিড় পরীক্ষা নির্দেশ করে।

৩৬। উদ্দীপক অনুসারে P বিন্দুতে গঠনমূলক ব্যতিচার তৈরি হলে যদি S_1, S_2 উৎসদ্বয় থেকে নিঃসৃত তরঙ্গ দুটোর মধ্যে দশা পার্থক্য হয়—
ক) $\frac{3\pi}{2}$
খ) 2π
গ) π
ঘ) $\frac{\pi}{2}$

৩৭। উদ্দীপকে S_1, S_2 উৎসদ্বয়ের মধ্যে দূরত্ব অর্ধেক করে দিয়ে এবং চিড় হতে পর্দার দূরত্ব D এর মান দ্বিগুণ করা হলে পর্দায় সৃষ্ট ব্যতিচার ঝালরের প্রস্থ হবে পূর্বের মানের—
ক) অর্ধেক
খ) দ্বিগুণ
গ) সমান
ঘ) চারগুণ

৩৮। দুটি সোজা ও সমান্তরাল চিড় পরস্পর হতে a দূরে অবস্থিত। একটি একবর্ণী আলো দ্বারা এদের আলোকিত করায় চিড় হতে D দূরে অবস্থিত পর্দায় ডোরা সৃষ্টি হলো। প্রতি ডোরার প্রস্থ X পরবর্তীতে a ও D উভয়টিকে দ্বিগুণ করা হলো। নতুন ডোরার প্রস্থ হবে— [ঢা. বো. ২০১৫]
ক) $\frac{1}{2}$
খ) 4
গ) 2
ঘ) 1

নিচের উদ্দীপকটি পড়ে ৩৯ ও ৪০নং প্রশ্নের উত্তর দাও:



চিত্রটি ইয়ং এর দ্বিচিড় পরীক্ষা নির্দেশ করে।

৩৯। তরঙ্গদ্বয়ের দোলনকাল হতে দশা পার্থক্য পরিমাপ করলে পাওয়া যায়—
ক) $\frac{\pi}{4}$
খ) $\frac{\pi}{2}$
গ) $\frac{3\pi}{4}$
ঘ) π

৪০। তরঙ্গদ্বয়ের পথ পার্থক্য কত হবে ?

ⓚ $\frac{\pi}{2}$

ⓚh $\frac{\pi}{4}$

ⓖ $\frac{\pi}{8}$

ⓖh 0

নিচের উদ্দীপকের আলোকে ৪১ ও ৪২নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [চ. বো. ২০১৫]

10 cm প্রস্থের একটি চিড়ের ভিতর দিয়ে একটি তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ প্রথম অবম বিন্দুর জন্য 30° অপবর্তন কোণ সৃষ্টি করে।

৪১। তরঙ্গটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ?

(ক) 5×10^{-2} cm

(খ) $3{\cdot}33\times10^{-3}$ cm

(গ) 5×10^{-4} cm

(ঘ) $3{\cdot}33\times10^{-4}$ cm

৪২। তরঙ্গটি নিচের কোন প্রকারের ?

(ক) অবলোহিত

(খ) বেতার তরঙ্গ

(গ) দৃশ্যমান তরঙ্গ

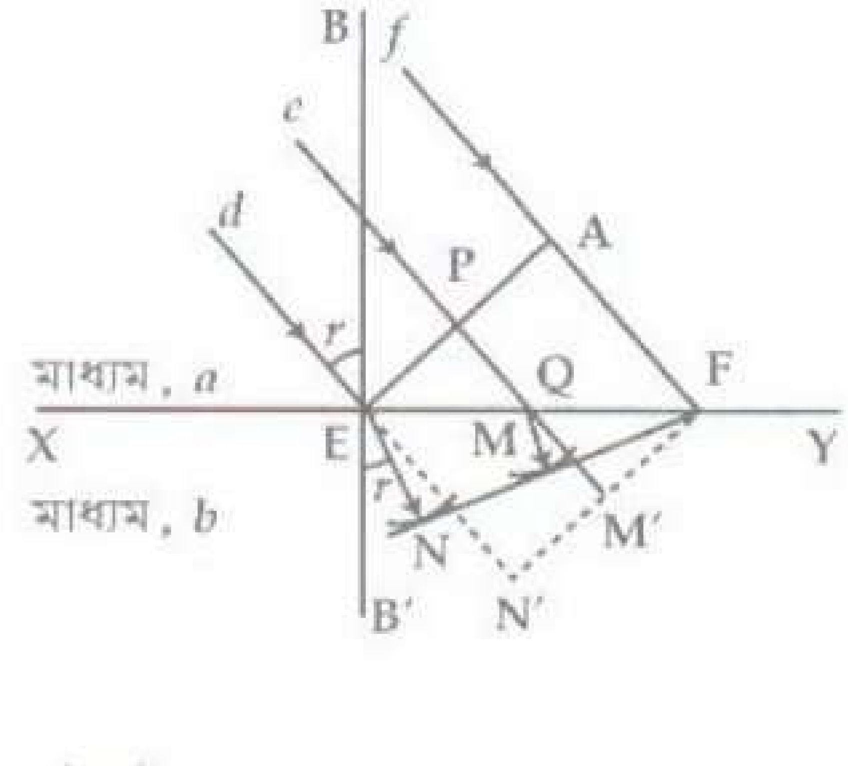
(ঘ) অতি বেগুনি

উত্তর :

১। ক	২। ঘ	৩। খ	৪। ঘ	৫। ক	৬। ঘ	৭। গ	৮। খ	৯। ক	১০। ঘ
১১। ক	১২। খ	১৩। গ	১৪। খ	১৫। ক	১৬। খ	১৭। গ	১৮। ঘ	১৯। খ	২০। ক
২১। ক	২২। গ	২৩। গ	২৪। খ	২৫। গ	২৬। গ	২৭। ক	২৮। খ	২৯। খ	৩০। গ
৩১। খ	৩২। ঘ	৩৩। ঘ	৩৪। ঘ	৩৫। গ	৩৬। খ	৩৭। ঘ	৩৮। খ	৩৯। ক	৪০। গ
৪১। গ	৪২। ক								

(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১। নিচের চিত্রে 'a' ও 'b' দুটি স্বচ্ছ সমসত্ত্ব মাধ্যম। 'a' মাধ্যমে আলোকের বেগ v_a এবং 'b' মাধ্যমে আলোকের বেগ v_b। d, e, f তিনটি সমান্তরাল রশ্মি তির্যকভাবে XY বিভেদ তলে আপতিত হয়েছে।



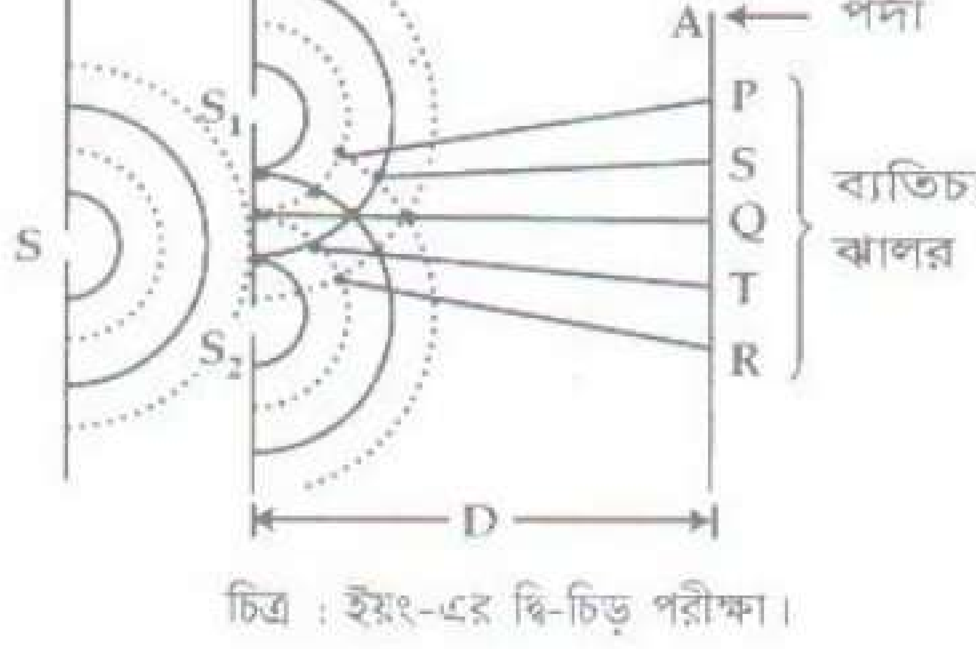
(ক) তরঙ্গমুখ কী ?

(খ) চিত্রসহ সমতল ও গোলকীয় তরঙ্গমুখ ব্যাখ্যা কর। ফ্রনহোফার কালো রেখার উৎপত্তির কারণ কী ?

(গ) একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে দশা পার্থক্য $\frac{\pi}{2}$। বিন্দুদ্বয়ের পথ পার্থক্য কত ?

(ঘ) উদ্দীপকের চিত্রটি হাইগেনের নীতির ওপর ভিত্তি করে অঙ্কিত। চিত্রটির সাহায্যে আলোর কোন ধর্মের প্রমাণ করা যায় ? জ্যামিতিক বর্ণনার সাহায্যে বিশ্লেষণ কর।

২। নিচে ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষার চিত্র দেয়া হলো।



চিত্র : ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষা।

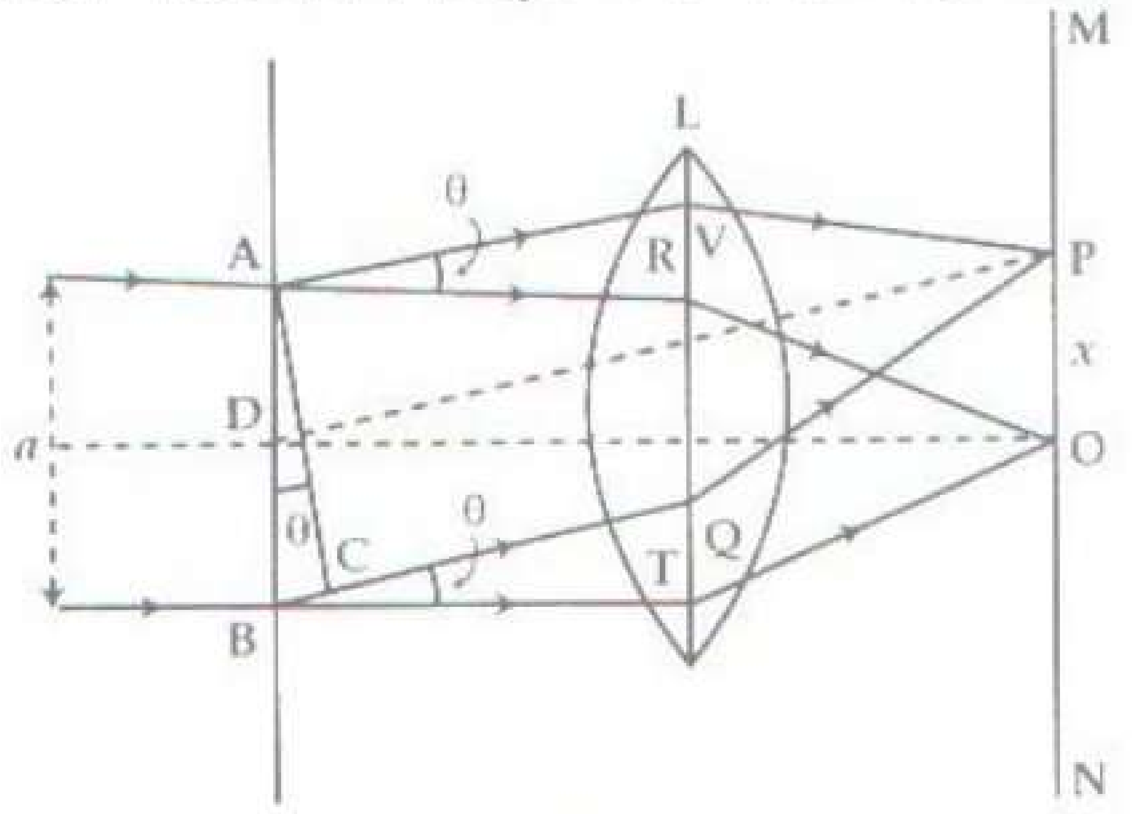
(ক) ব্যতিচারের সংজ্ঞা দাও।

(খ) পর্দার P, Q, R, S, T ইত্যাদি বিন্দুগুলির কোনটিতে কোন ধরনের ব্যতিচার সংঘটিত হয় ব্যাখ্যা কর। চিত্র হতে পর্দার দূরত্ব খুব কম হলে অপবর্তন লক্ষ করা যায় না কেন ?

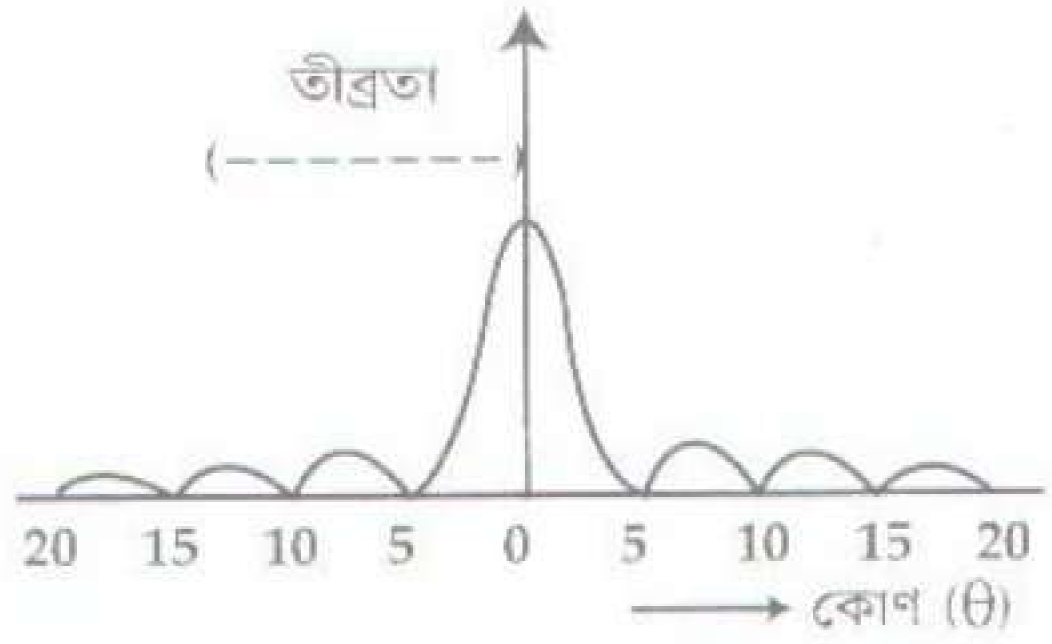
(গ) T বিন্দুতে S_1 ও S_2 উৎসদ্বয় হতে আগত তরঙ্গদ্বয়ের পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$ হলে তাদের মধ্যে দশা পার্থক্য কত?

(ঘ) উৎসদ্বয় পরস্পরের নিকটবর্তী হলে এবং উৎসদ্বয় ও পর্দার মধ্যবর্তী দূরত্ব বৃদ্ধি পেলে ব্যতিচার ঝালরের কীরূপ পরিবর্তন ঘটবে ব্যাখ্যা কর।

৩। নিচের চিত্রে একক চিড়ের জন্য অপবর্তন দেখানো হয়েছে।



(ক)



(খ)

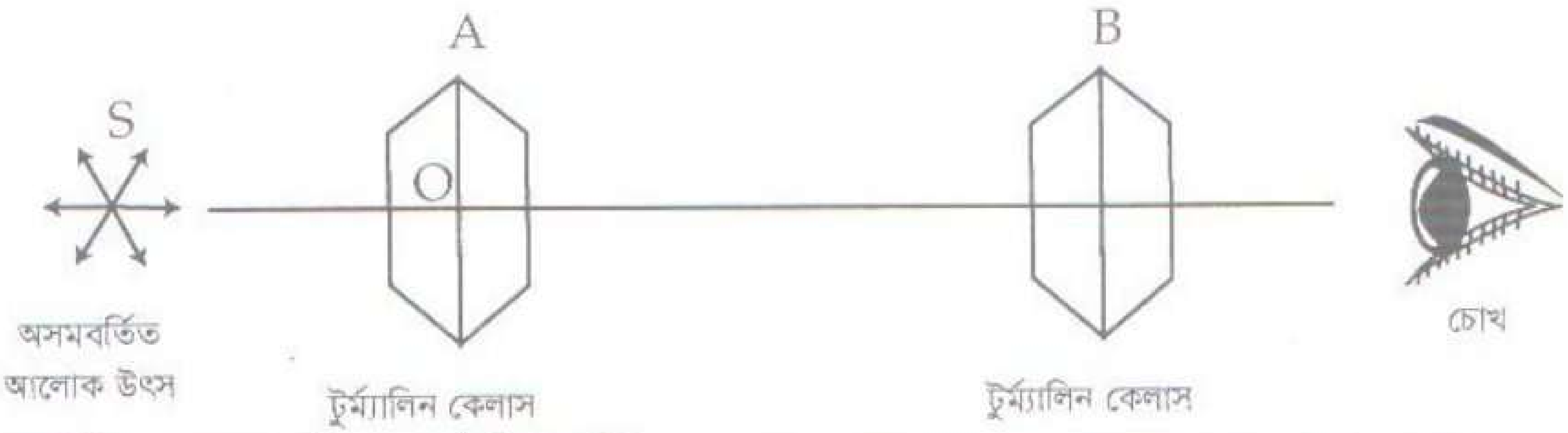
(ক) অপবর্তনের সংজ্ঞা দাও।

(খ) অপবর্তনের শর্তগুলো লিখ। অপবর্তন ঝালরে উজ্জ্বল পট্টিগুলোর প্রত্যেকটিতে আলোর তীব্রতা একই থাকে, না ভিন্ন হয় ব্যাখ্যা কর।

(গ) উদ্দীপকের অপবর্তন পরীক্ষায় 5890 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করা হয়েছে। চিড়টির বেধ 0.2 mm। প্রথম অবমের জন্য অপবর্তন কোণ নির্ণয় কর।

(ঘ) উদ্দীপকে উল্লেখিত অপবর্তনের পরিবর্তে গ্রেটিং দ্বারা অপবর্তন সৃষ্টি হলো। যেখানে চিড়ের ও পর্দার দাগের বেধ যথাক্রমে 0.0004 cm এবং 0.00015 cm। একে 7000Å এর সোডিয়াম আলো ব্যবহার করা হলে একক চিড়ের অপবর্তনের সাথে উল্লেখিত অপবর্তন একই কিনা ? —গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে দেখাও।

৪।



অসমবর্তিত আলোর গতিপথে দুইটি টুর্ম্যালিন কেলাস এমনভাবে স্থাপন করা হয়েছে যে কেলাসদ্বয়ের সরলাক্ষ আলোকের গতিপথের সাথে লম্বভাবে অবস্থান করে।

(ক) অসমবর্তিত আলোকের সংজ্ঞা দাও।

(খ) সুসঙ্গত উৎসের বৈশিষ্ট্য ব্যাখ্যা কর। বিপদ সংকেতে সব সময় লাল আলো ব্যবহার করা হয় কেন ?

(গ) B কেলাসকে এমনভাবে ঘুরানো হলো যে এর সরলাক্ষ A এর সরলাক্ষের সাথে 45° কোণ উৎপন্ন করল। A ও B হতে নির্গত আলোকের তীব্রতার অনুপাত বের কর।

(ঘ) A কেলাসকে স্থির রেখে B কেলাসকে ঘুরালে আলোকের তীব্রতার কীরূপ পরিবর্তন হবে চিত্রসহকারে বিশ্লেষণ কর।

৫। রিয়াদ ল্যাবরেটরীতে একক চিড়ের পরীক্ষায় 5600 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করে দেখল 0.5 mm বেধের চিড়ের ওপর পড়লে 0.4° কোণে অপবর্তন ঘটে।

(ক) আলোর দ্বৈত প্রতিসরণ বলতে কী বুঝ ?

(খ) "সুসঙ্গত আলো ছাড়া স্থায়ী ব্যতিচার সম্ভব নয়"—ব্যাখ্যা কর।

(গ) কততম অন্ধকার পট্টির জন্য এই অপবর্তন ঘটল ?

(ঘ) কেন্দ্রীয় চরম বিন্দু হতে উভয় দিকে ১০ম এবং ১২শ বিন্দুদ্বয়ের মধ্যবর্তী কৌণিক দূরত্ব বেশি হবে —গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(গ) সাধারণ প্রশ্ন

১। তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গ বলতে কী বুঝ ? তড়িৎ চৌম্বকীয় তত্ত্বটি লিখ।
২। তড়িৎ চৌম্বকীয় স্পেকট্রামে বিভিন্ন প্রকার তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য ও সীমা উল্লেখ কর।
৩। তরঙ্গামুখ কী ? হাইগেনের নীতিটি লিখ ও ব্যাখ্যা কর।
৪। তরঙ্গামুখে অবস্থিত যে কোনো দুটি বিন্দুর দশা পার্থক্য কত ?
৫। একটি আলোকরশ্মি তরঙ্গামুখের সাথে কত ডিগ্রী কোণে আনত থাকে ?
৬। একই তরঙ্গের দুটি তরঙ্গামুখ কী পরস্পরকে ছেদ করতে পারে ?
৭। উত্তল লেন্সের ফোকাস বিন্দুতে আলোক উৎস রাখলে লেন্স থেকে নির্গত আলোর তরঙ্গামুখ কীরকম হবে ?
৮। হাইগেনের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিফলন সূত্রগুলি ব্যাখ্যা কর।
৯। হাইগেনের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিসরণ সূত্রের প্রমাণ কর।
১০। আলোর ব্যতিচার বলতে কী বুঝ ? ব্যতিচারের শর্তগুলি লিখ।
১১। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় উজ্জ্বল ও অন্ধকার ডোরা সৃষ্টির শর্ত ব্যাখ্যা কর।
১২। আলোর ব্যতিচার সংক্রান্ত ইয়ং-এর পরীক্ষায় ধ্বংসাত্মক ও গঠনমূলক ব্যতিচার সৃষ্টির শর্তগুলি উল্লেখ কর।
১৩। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় উৎপন্ন ব্যতিচার ঝালরের বেধ সম্পর্কিত রাশিমালা প্রতিষ্ঠা কর।
১৪। ব্যতিচার ঝালরের বেধ কী কী বিষয়ের উপর নির্ভর করে ?
১৫। আলোর ব্যতিচার প্রদর্শনের সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ শর্ত কী ?
১৬। পথ পার্থক্য λ হলে দশা পার্থক্য কত হবে ?
১৭। আলোর ব্যতিচার আলোর কোন ধর্ম প্রমাণ করে ?
১৮। আলোর অপবর্তন বলতে কী বুঝ ? ফ্রেনেল ও ফ্রনহফার শ্রেণির অপবর্তন বলতে কী বুঝ ?
১৯। একক চিড়ের দরুন অপবর্তন ব্যাখ্যা কর।
২০। আলোর সমবর্তন বলতে কী বুঝ ?
২১। অপবর্তন এবং ব্যতিচারের বৈশিষ্ট্যগুলো লিখ।
২২। আলোক তরঙ্গের অপবর্তনকে প্রধানত কয়টি শ্রেণিতে ভাগ করা হয় এবং কী কী ?
২৩। ফ্রেনেল ও ফ্রনহফার শ্রেণির অপবর্তনের মধ্যে পার্থক্য লেখ।
২৪। প্রতিবন্ধকের ধার ঘেঁষে যাওয়ার সময় আলোর বেঁকে যাওয়ার ঘটনাকে কী বলে ?
২৫। একক রেখাছিদ্রে কোন ধরনের অপবর্তন লক্ষ করা যায় ?
২৬। আলোর তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গের পোলারায়ন বা সমবর্তন কীভাবে ঘটে ?
২৭। আলোর সমবর্তন আলোর প্রকৃতি সম্বন্ধে কী প্রমাণ করে ?
২৮। সমবর্তন হয় না এমন একটি তরঙ্গের নাম লেখ।
২৯। অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের সমবর্তন হয় কী ?
৩০। একটি দ্বি-প্রতিসারক কেলাসের নাম লেখ।
৩১। দ্বি-প্রতিসরণ কাকে বলে ? E-রশ্মি ও O-রশ্মির সংজ্ঞা দাও।

(ঘ) ক্রিয়াকর্ম

আলোর ব্যতিচার, অপবর্তন ও সমবর্তনের উপর সংক্ষিপ্ত প্রতিবেদন রচনা করে শ্রেণিকক্ষে উপস্থাপন কর।

(ঙ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। কোনো বেতার তরঙ্গের $E_0 = 5 \times 10^{-4}\ Vm^{-1}$। B_0-এর মান বের কর। [উত্তর : 1.67×10^{-12} T]

২। পানি ও কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1.33 ও 1.15 হলে, কাচে আলোর বেগ কত ? {পানিতে আলোর বেগ $2.28 \times 10^8\ ms^{-1}$) [উত্তর : $2.63 \times 10^8\ ms^{-1}$]

৩। বায়ু সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1.5। বায়ুতে এক আলোক বছর 9.4×10^{12} km হলে, কাচে এক আলোক বছর কত ? [উত্তর : 6.266×10^{12} km]

৪। 0.2 mm ব্যবধানবিশিষ্ট দুটি চিড় হতে 50 cm দূরত্বে অবস্থিত পর্দার উপর ব্যতিচার সজ্জা সৃষ্টি হলো। পরপর দুটি উজ্জ্বল পট্টির মধ্যবর্তী দূরত্ব 1.42 mm হলে আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উত্তর : 5680 Å]

৫। দুটি আলোক উৎসের ইয়ং-এর পরীক্ষাতে দুটি রেখা চিড়ের 0.9 m পিছনে ডোরা পরিমাপ করা হয়েছে। 20টি ডোরা 10.91×10^{-3} m দূরত্ব জুড়ে থাকলে দুটি চিড়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব কত ? [λ = 5890Å] [উত্তর : 9.72×10^{-4} m]

৬। 0.6×10^{-3} m ব্যবধানে দুটি ছিদ্র হতে 1.50 m দূর অবস্থিত একটি পর্দার উপর ব্যতিচার ঝালর সৃষ্টি হলো। ব্যতিচার ঝালরের বেধ 1.5×10^{-3} m হলে আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উত্তর : 6000 Å]

৭। দুটি সুসংগত উৎস হতে দুটি তরঙ্গ একই দশায় নিঃসৃত হলো। প্রত্যেকটি তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6000 Å। এদের মধ্যে পথ পার্থক্য 12000 Å হলে, (ক) তরঙ্গদ্বয়ের শেষ বিন্দু দুটির মধ্যে দশা পার্থক্য কত ? (খ) এ দশা পার্থক্য নিয়ে উপরিপাতন হলে কি ধরনের ব্যতিচার হবে ? [উত্তর : (ক) 4π বা শূন্য; (খ) গঠনমূলক ব্যতিচার]

৮। ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় পর পর দুটি উজ্জ্বল ডোরার মধ্যবর্তী দূরত্ব 6.25×10^{-5} m। চিড় দুটি হতে পর্দার দূরত্ব 0.8m। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6.25×10^{-7} m হলে চিড় দুটির মধ্যে দূরত্ব কত ?

[ঢা. বি. ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৮-০৯] [উত্তর : 8 mm]

৯। ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় চিড় দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 2.0 mm। এ চিড় হতে 1 মিটার দূরে পর্দার উপর ডোরার প্রস্থ 0.295 পাওয়া গেল। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [ঢা. বি. ভর্তি পরীক্ষা, ২০১০-১১] [উত্তর : 5900Å]

১০। I এবং 4I প্রাবল্যের দুটি তরঙ্গ ব্যতিচার তৈরি করে। গঠনমূলক ব্যতিচার তৈরির প্রাবল্য কত হবে ?

[বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০১০-১১] [উত্তর : 5I]

১১। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে পথ পার্থক্য $\lambda/2$। বিন্দুদ্বয়ের দশা পার্থক্য নির্ণয় কর। [উত্তর : π]

১২। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে পথ পার্থক্য $\frac{5\lambda}{4}$। বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে দশা পার্থক্য কত ? [উত্তর : $\frac{5\pi}{2}$ বা $\frac{\pi}{2}$]

১৩। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর দশা পার্থক্য $\frac{\pi}{4}$। বিন্দুদ্বয়ের পথ পার্থক্য কত ? [উত্তর : $\frac{\lambda}{8}$]

১৪। একটি সমতল নিঃসরণ গ্রেটিং-এর দ্বারা সৃষ্ট বর্ণালী রেখার ৩য় ক্রম 30° অপবর্তন কোণ উৎপন্ন করে। গ্রেটিং-এর প্রতিমিটার দৈর্ঘ্যে 3000×10^{2} সংখ্যক রেখা থাকলে আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উত্তর : 5556 Å]

১৫। 6438 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক বর্ণী আলোকের ক্ষেত্রে একটি গ্রেটিং দ্বিতীয় ক্রমের বা পর্যায়ের বর্ণালী রেখার ক্ষেত্রে 15°8′ অপবর্তন কোণ উৎপন্ন করে। গ্রেটিং-এর প্রতিমিটার দৈর্ঘ্যে রেখার সংখ্যা নির্ণয় কর।

[উত্তর: 2028×10^{2}]

১৬। 2×10^{-4} m বেধের একক রেখাচিড়ের দরুন পর্দায় সৃষ্ট অপবর্তন ঝালরের কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল রেখার বিপরীত দুপাশের অন্ধকার রেখার মধ্যে দূরত্ব 28×10^{-4} m হলে আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উত্তর : 56×10^{-8} m]

১৭। একটি সমতল গ্রেটিং-এ 6×10^{-7}m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক রশ্মি প্রথম বা ক্রমে 30° অপবর্তন কোণ উৎপন্ন করে। গ্রেটিং-এর প্রতি মিটার দৈর্ঘ্যে রেখার সংখ্যা এবং গ্রেটিং ধ্রুবক নির্ণয় কর। [উত্তর : 8333×10^{2}, 12×10^{-7} m]

১৮। 5.46×10^{-7} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকের আলোকিত 0.1×10^{-3} m দূরে অবস্থিত দুটি সমান্তরাল চিড় হতে 0.8 m দূরে পর্দায় ফ্রনহফারের অপবর্তন লক্ষ করা গেল। কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল রেখা হতে ৩য় উজ্জ্বল রেখার দূরত্ব কত?

[উত্তর : 1.31×10^{-2} m]

১৯। একটি সমতল গ্রেটিং-এর প্রতি সেন্টিমিটারে দাগের সংখ্যা 6000। 5000 Å তরঙ্গ দৈর্ঘ্যর আলো লম্বভাবে গ্রেটিং তলের উপর আপতিত হচ্ছে। প্রথম ক্রমের উজ্জ্বল রেখার জন্য অপবর্তন কোণ নির্ণয় কর। [উত্তর : 22°57′]

২০। কোনো অপবর্তন গ্রেটিং–এ প্রতি সেন্টিমিটারে 5000 রেখা রয়েছে। এর ভেতর দিয়ে 5896 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ফেললে দ্বিতীয় চরমের জন্য অপবর্তন কোণ বের কর। [উত্তর : 36°]

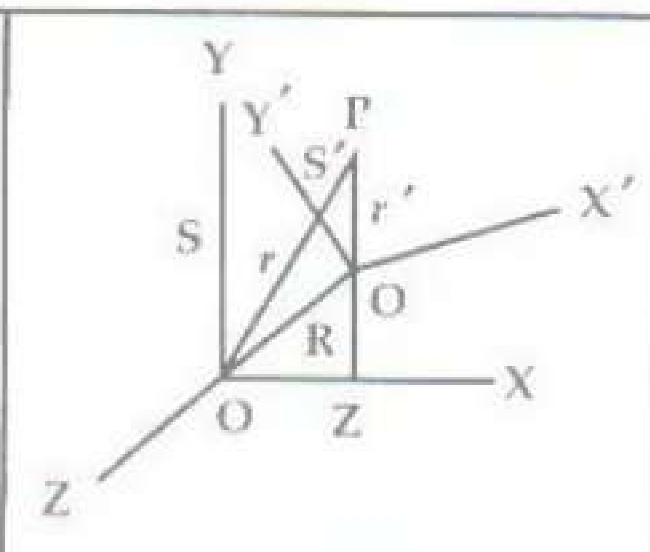
২১। একটি নিঃসরণ সমতল গ্রেটিং–এ 8×10^{-7} m তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট আলোর প্রথম ক্রমে 30° অপবর্তন কোণ উৎপন্ন করে। গ্রেটিং–এ প্রতি মিটারে রেখার সংখ্যা কত ? [উত্তর : 6.25×10^{5} /m]

২২। একটি ফ্রনহফার শ্রেণির একক চিড়ের দরুন অপবর্তন পরীক্ষায় 5.890 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করা হলো। চিড়টির বেধ 0.2 mm হলে প্রথম অবমের জন্য অপবর্তন কোণ নির্ণয় কর। [উত্তর : 0.17°]

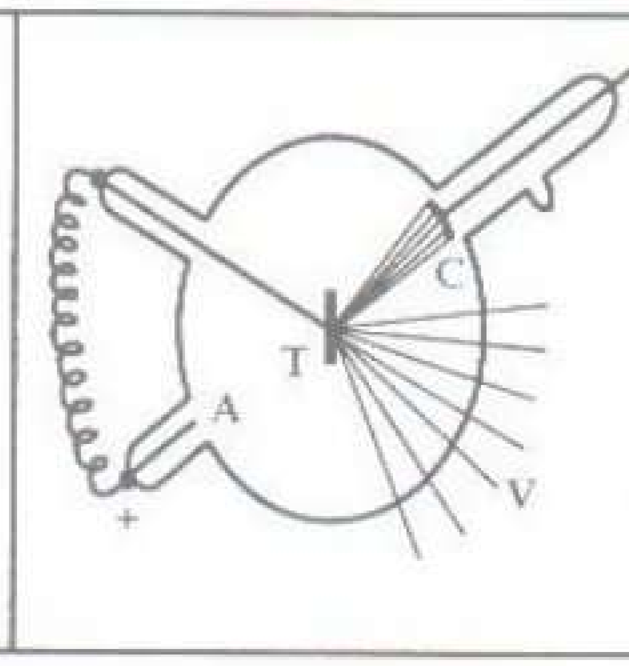
৮

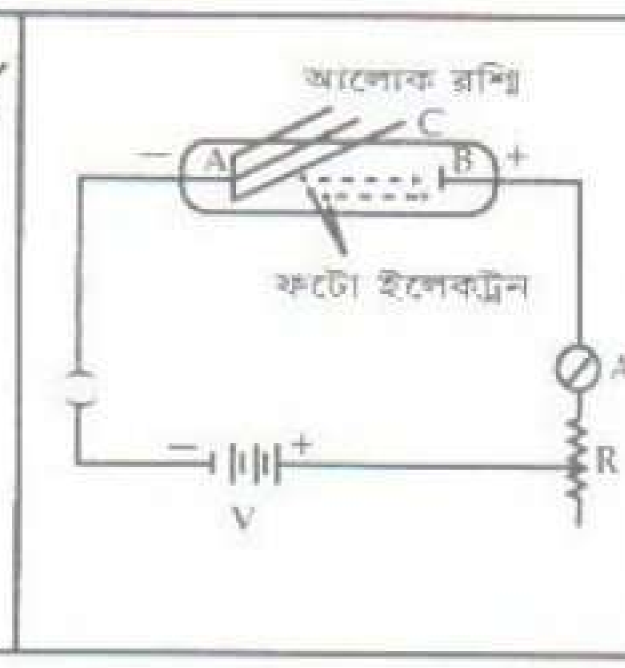
আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের সূচনা
INTRODUCTION OF MODERN PHYSICS

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



$E = mc^2$





সূচনা
Introduction

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

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

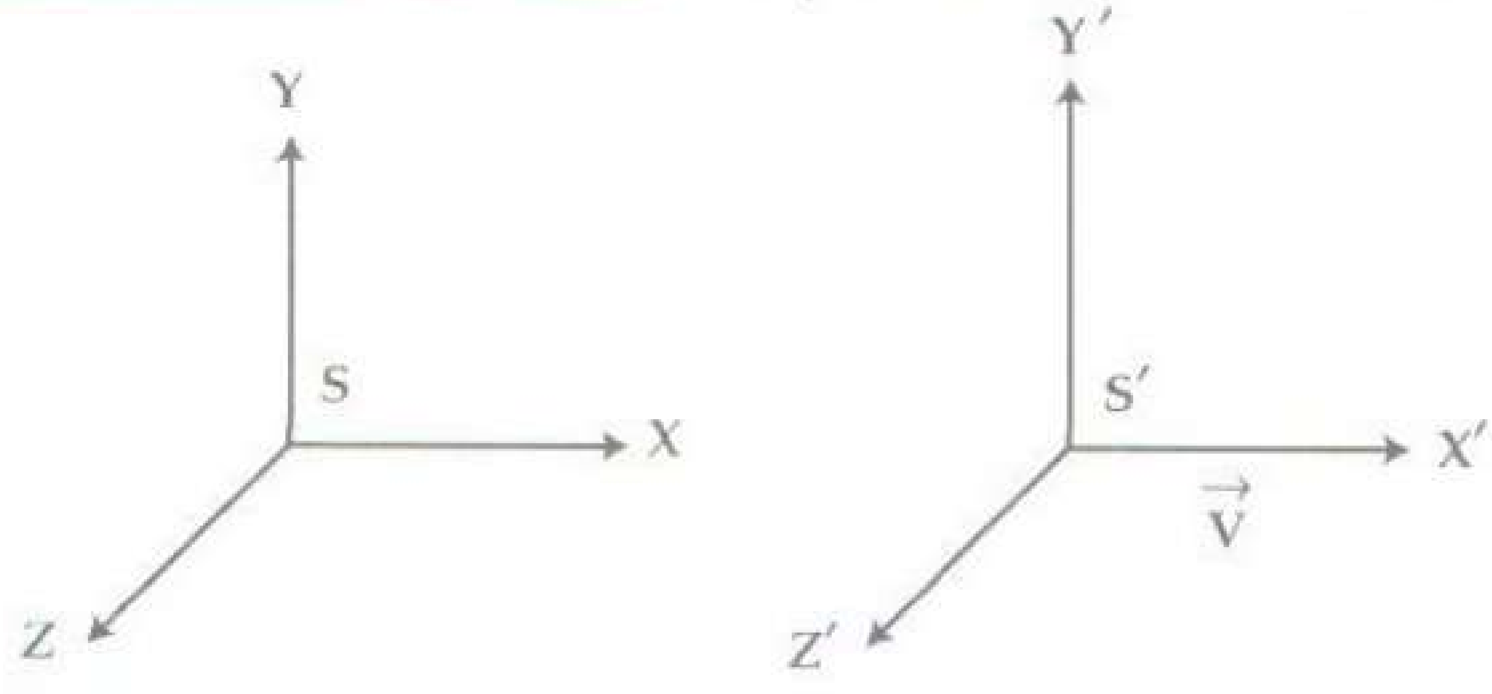
- আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- জড় কাঠামো ও অজড় কাঠামো ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- মাইকেলসন-মর্লির পরীক্ষার ফলাফল বিশ্লেষণ করতে পারবে।
- আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতা তত্ত্ব ব্যাখ্যা কররতে পারবে।
- গ্যালিলিওর রূপান্তরণ ও লরেনজ রূপান্তরণ ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসারে সময়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

৮·১ জড় প্রসঙ্গ কাঠামো ও অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো
Inertial and non-inertial frame of reference

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

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

যে সব প্রসঙ্গ কাঠামোতে জড়তার সূত্র এবং নিউটনের গতির প্রথম সূত্র প্রযোজ্য হয় তাকে জড় কাঠামো বা জড়তার কাঠামো বলে। একে অভ্যন্তরীণ কাঠামো বা গ্যালিলিও কাঠামোও বলা হয়। ভূপৃষ্ঠের তুলনায় সমবেগে গতিশীল সকল বস্তুর সাথে যুক্ত কাঠামোতে নিউটনের জড়তার সূত্র প্রযোজ্য হলে এরাও প্রত্যেকে একটি জড়তার কাঠামো। কিন্তু ঘূর্ণায়মান বস্তু জড় কাঠামো নয়। বস্তুর গতির হ্রাস/বৃদ্ধি ঘটানোর জন্য মন্দন/ত্বরণ সৃষ্টি হয় বলে অর্থাৎ সমবেগে চলে না বলে এটি জড় কাঠামো নয়। অর্থাৎ ভূপৃষ্ঠের তুলনায় সমবেগ সম্পন্ন হলে কাঠামোটি জড় কাঠামো। ৮·১ চিত্রে জড় প্রসঙ্গ কাঠামো দেখান হলো।



চিত্র ৮·১ : জড় প্রসঙ্গ কাঠামো।

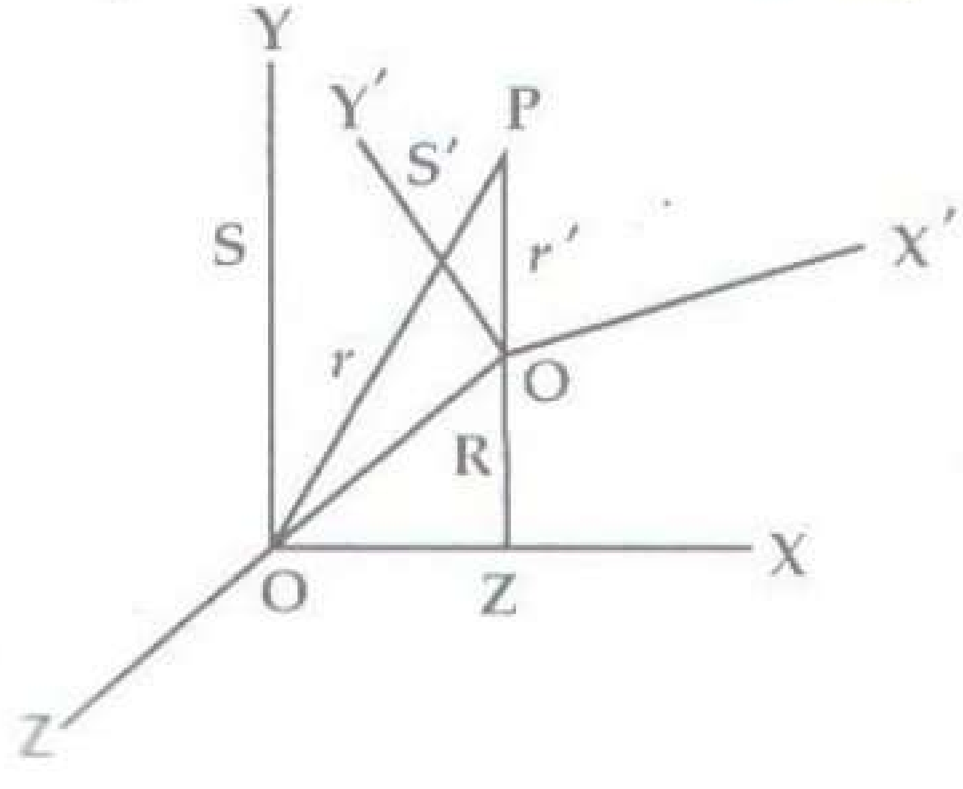
এই ধরনের কাঠামোতে ত্বরণ,

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

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

আবার **যে কাঠামোতে জড়তার সূত্র এবং নিউটনের গতির প্রথম সূত্র প্রযোজ্য হয় না তাকে অজড় কাঠামো বলে। ঘূর্ণায়মান এবং অসমবেগে চলমান প্রসঙ্গ কাঠামো অজড় কাঠামো। এই ধরনের কাঠামোতে কাল্পনিক বল দ্বারা ত্বরণ ঘটে।**

উদাহরণ : সমবেগে চলমান একটি বাসের ভেতরে একটি বল রয়েছে। বাসটি ব্রেক কষলে মনে হবে বলটির সামনের দিকে ত্বরণ হচ্ছে। কোনো বাহ্যিক বল বলটির উপর ক্রিয়া করে নি; কিন্তু আমরা বলটিকে বাসের ভেতরে একটি ত্বরিত প্রসঙ্গ কাঠামো হতে দেখি বলে মনে হয় একটি বাহ্যিক বল ক্রিয়া করছে।



চিত্র ৮·২

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 উপর ক্রিয়াশীল বল পাওয়া যায়।

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

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

ধরি, $m\vec{a_0} = \vec{F_0}$

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

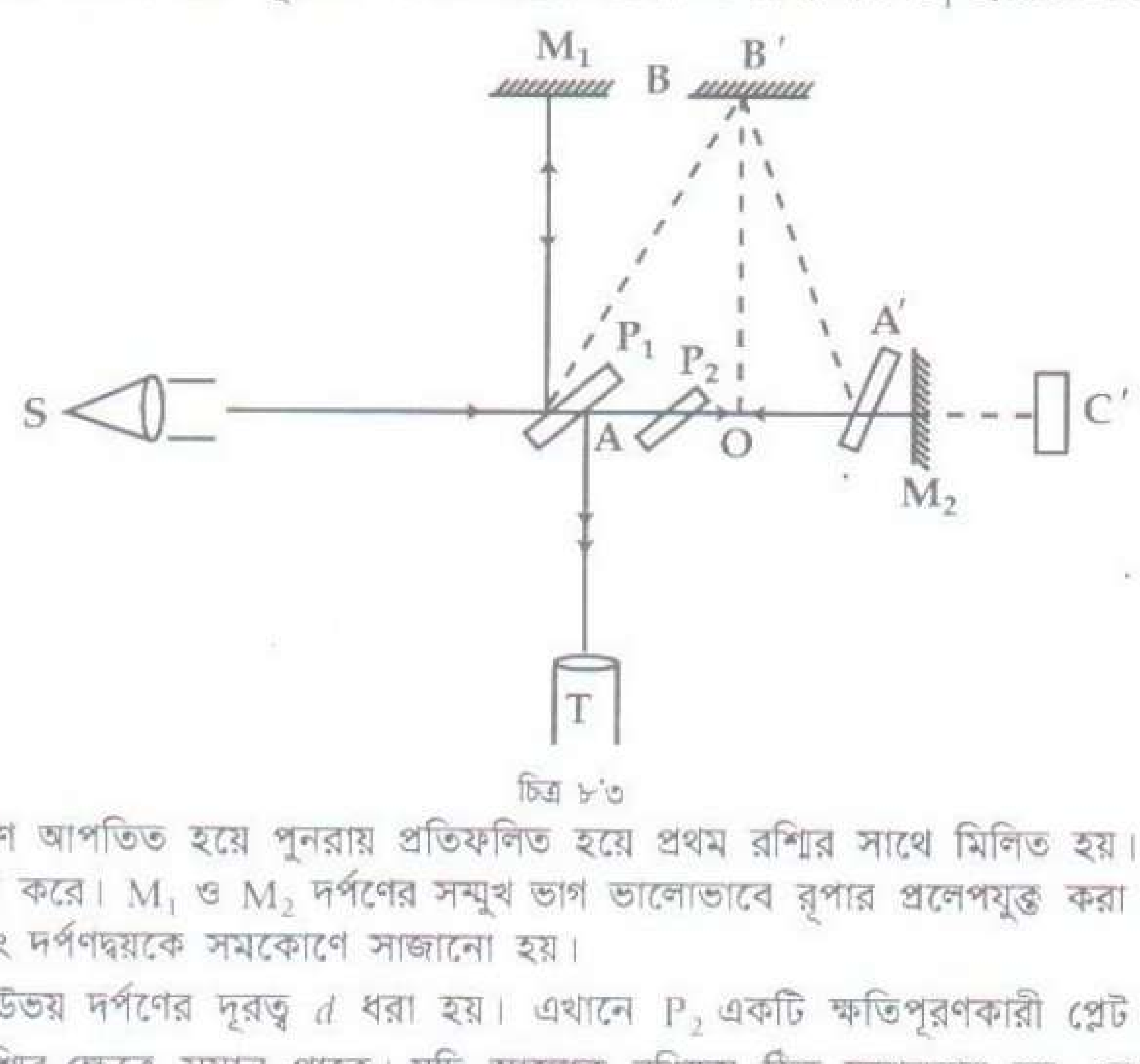
অর্থাৎ, S কাঠামোতে কণাটির উপর কোনো বল ক্রিয়াশীল না হলেও $\vec{F_0} = m\vec{a_0}$ কাল্পনিক বল S′ কাঠামো সাপেক্ষে কণাটি ক্রিয়াশীল রয়েছে। সুতরাং S′ কাঠামো অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো।

৮·২ মাইকেলসন-মর্লির পরীক্ষা
Michelson-Morley Experiment

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

পৃথিবী ও ইথারের মধ্যে আপেক্ষিক বেগ পরিমাপের জন্য অনেক বিজ্ঞানী অনেক পরীক্ষা-নিরীক্ষা করেন কিন্তু মাইকেলসন-মর্লির পরীক্ষাটিও না-ধর্মী পরীক্ষা। তাই এই পরীক্ষা বিজ্ঞানী মহলে যথেষ্ট আলোড়নের সৃষ্টি করে। এই না-ধর্মী পরীক্ষায় প্রকৃতির ইথার মাধ্যম বিষয়ক রহস্য উদ্‌ঘাটিত হয়। মাইকেলসন তাঁর পরীক্ষার জন্য এক অভূতপূর্ব সূক্ষ্ম যন্ত্র আবিষ্কার করেন যার ফলে তিনি নোবেল পুরস্কারের সম্মান লাভ করেন। তাই তাঁর যন্ত্রের নাম করা হয় মাইকেলসন ব্যতিচার মাপক যন্ত্র [চিত্র ৮·৩]। এই পরীক্ষাটি পদার্থবিদ্যার ইতিহাসে এক শ্রেণির পরীক্ষা যা হতে ইথার মাধ্যমের যে অস্তিত্ব নেই তা পরিষ্কারভাবে বুঝা যায়।

এই যন্ত্রে S একটি এক রঙবিশিষ্ট আলোক রশ্মি যা হতে লেন্সের মাধ্যমে সমান্তরাল হয়ে একটি রশ্মি 45° কোণে হেলান একটি অর্ধস্বচ্ছ কাঁচের প্লেট P_1-এর উপর আপতিত হয়। এই আপতিত রশ্মি A বিন্দুতে সমকোণে দুই অংশে বিভক্ত হয়। একটি অংশ P_1-এর উপরিতল হতে প্রতিফলিত হয়ে আড়াআড়িভাবে M_1 দর্পণে আপতিত হয় এবং পুনরায় প্রতিফলিত হয়ে একই পথে দূরবীণ T-তে ফিরে আসে। অপর রশ্মিটি P_1 প্লেটের ভেতর দিয়ে প্রতিসরিত হয়ে



চিত্র ৮·৩

লম্বিকভাবে M_2 দর্পণে আপতিত হয়ে পুনরায় প্রতিফলিত হয়ে প্রথম রশ্মির সাথে মিলিত হয়। এই আলোক রশ্মিদ্বয় প্রায় সমান পথ অতিক্রম করে। M_1 ও M_2 দর্পণের সম্মুখ ভাগ ভালোভাবে রূপার প্রলেপযুক্ত করা হয় যাতে পৌনঃপুনিক প্রতিফলন না ঘটে এবং দর্পণদ্বয়কে সমকোণে সাজানো হয়।

P_1 প্লেট হতে উভয় দর্পণের দূরত্ব d ধরা হয়। এখানে P_2 একটি ক্ষতিপূরণকারী প্লেট যা দ্বারা কাঁচের মধ্যে অতিক্রান্ত দূরত্ব দুই রশ্মির ক্ষেত্রে সমান থাকে। যদি আলোক রশ্মিদ্বয় ঠিক সমান্তরাল হয় এবং P_1 প্লেট হতে AB ও

AC-এর দূরত্ব d-এর সমান হয় তবে M_1 ও M_2 হতে প্রতিফলিত রশ্মিদ্বয় একই দশায় থাকে এবং দূরবীন T-তে উজ্জ্বল আলোর ব্যতিচার নকশা দেখা যায়। যদি M_1 ও M_2-এর মধ্যে কোণ এক সমকোণ হয় তবে ব্যতিচার নকশাটি বৃত্তাকার সমকেন্দ্রিক রেখার সমষ্টি হয় আর যদি M_1 ও M_2-এর মধ্যে কোণ এক সমকোণের চেয়ে কম রাখা যায় যা পরীক্ষায় রাখা হয়েছিল, তবে ব্যতিচার নকশাটি কয়েকটি সমান্তরাল সরলরেখার সমষ্টি হয়। মনে করি ইথার মাধ্যমের সাপেক্ষে যন্ত্রের বেগ ডান দিকে v এবং বিপরীতে $-v$, যদি আলোর সঠিক বেগ c হয় তবে যন্ত্রের সাপেক্ষে আলোর বেগ হবে $(c-v)$ AC বরাবর এবং A হতে C-তে যেতে সময় t_1 হলে সময় $t_1 = \frac{d}{c-v}$।

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

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

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

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

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

অতএব $AB'A' = AB' + B'A' = 2AB'$

আবার $AB'^2 = AO^2 + OB'^2$

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

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

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

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

আড়াআড়িভাবে ও লম্বিকভাবে আলোক রশ্মি চলাচল করবার জন্য দুই রকম সময় পাওয়া গেল। এই দুই রকম সময় t ও t'-এর পার্থক্যের ফলে ব্যতিচার নকশার সৃষ্টি হয়। যদি যন্ত্রটি স্থির থাকে বলে ধরা হয় তবে $\frac{v^2}{c^2}$ 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 $v << c$ হয় তবে বাইনোমিয়ালের তত্ত্ব দ্বারা সম্প্রসারিত করলে পাই

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

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

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

যেহেতু এক তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ-এর সমান পথ পার্থক্যে নকশার অপসারণ হয় ১ ব্যতিচার

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

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

মাইকেলসন ও মর্লি দূরত্ব 'd'-কে বাড়িয়ে 11 m ধরেছিলেন। পৃথিবীর কক্ষপথের বেগ, v = 30 km-s^{-1} বা 3×10^6 cms^{-1}.

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

এবং ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = 6 \times 10^{-5}$ cms^{-1} হলে উক্ত সমীকরণ অনুসারে ব্যতিচার নকশার অপসারণের পরিমাণ দাঁড়ায়,

$$n = \frac{2dv^2}{\lambda c^2} = \frac{2 \times 1100 \times 9 \times 10^{12}}{9 \times 10^{20} \times 6 \times 10^{-5}} = 0{\cdot}37 \approx 0{\cdot}4$$

পরীক্ষার ফলাফল বিশ্লেষণ :

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

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

বিজ্ঞানী মাইকেলসন এবং বিজ্ঞানী মর্লি ইথারের অস্তিত্ব প্রমাণের জন্যে পরীক্ষা সম্পাদন করেন এবং তাদের পরীক্ষা হতে নিম্নলিখিত সিদ্ধান্তে উপনীত হওয়া গিয়েছে—

(ক) ইথার বলতে এ মহাবিশ্বে কিছু নেই।

(খ) গ্যালিলিয় রূপান্তর সঠিক নয়।

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

৮·৩ আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতা তত্ত্ব ০২ – ০৬ → M

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 উপর 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 নয়। এই তিনটি বিষয়ের প্রত্যেকটি অন্য কোনো কিছুর সাপেক্ষে বিবেচিত হয়। **অর্থাৎ কোনো বিষয় অন্য কোনো কিছুর সাপেক্ষে বিবেচিত হবার নামই আপেক্ষিকতা। আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব অনুসারে পরম গতি নিরর্থক, সব গতিই আপেক্ষিক।**

আপেক্ষিক তত্ত্ব মূলত দুভাগে বিভক্ত, যথা—(১) আপেক্ষিকতার সাধারণ বা সার্বিক তত্ত্ব (The general theory of relativity) এবং (২) আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব (The special theory of relativity)।

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

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

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

আপেক্ষিকতার মৌলিক স্বীকার্য : 1905 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী আইনস্টাইন আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব প্রবর্তন করেন যা নিম্নলিখিত দুটি মৌলিক স্বীকার্যের উপর 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—

স্বীকার্যসমূহ

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

২. দ্বিতীয় স্বীকার্য : শূন্যস্থানে সকল পর্যবেক্ষকের নিকট আলোকের বেগ সর্বদা সমান থাকে। এ বেগ আলোক প্রবাহের দিক, উৎস এবং পর্যবেক্ষকের আপেক্ষিক বেগের উপর নির্ভর করে না।

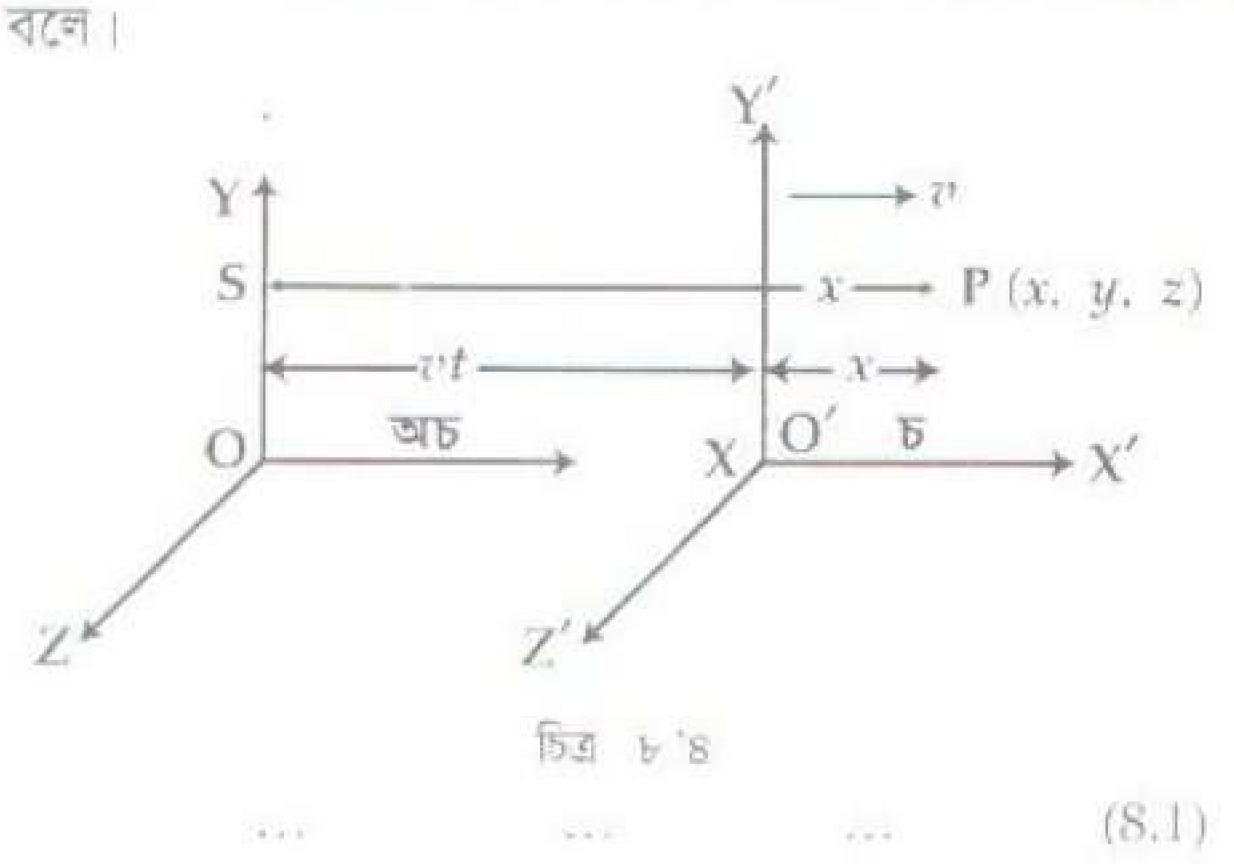
ব্যাখ্যা : এই স্বীকার্যের পরিপ্রেক্ষিতে ইথারের অস্তিত্ব স্বীকার করা কোনো মতেই সম্ভব হয় না। তাছাড়া ইথার মাধ্যমের ওজন বা সান্দ্রতা কিছুই নির্ণয় করা যায় না। আইনস্টাইনের মতে আলোক পরিবাহী ইথারের প্রবর্তন অনাবশ্যক। মাইকেলসন-মর্লির পরীক্ষা এবং পরবর্তী যুগে বহু পরীক্ষা-নিরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণিত হয়েছে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

৮.৪ গ্যালিলিওর রূপান্তরণ
Galilean transformation

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

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

মনে করি ভূ-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 ঐ বিন্দুর স্থানাঙ্ক **চ**-কাঠামোতে,



চিত্র ৮.৪

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

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

$y' = y$ ... ... (8.2)

$z' = z$ ... ... (8.3)

পূর্বে সকল কাঠামোতে সময় অভিন্ন বলে,

$t' = t$ ... ... (8.4)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

৮.৫ লরেন্‌জ-এর রূপান্তরণ
Lorentz's transformation

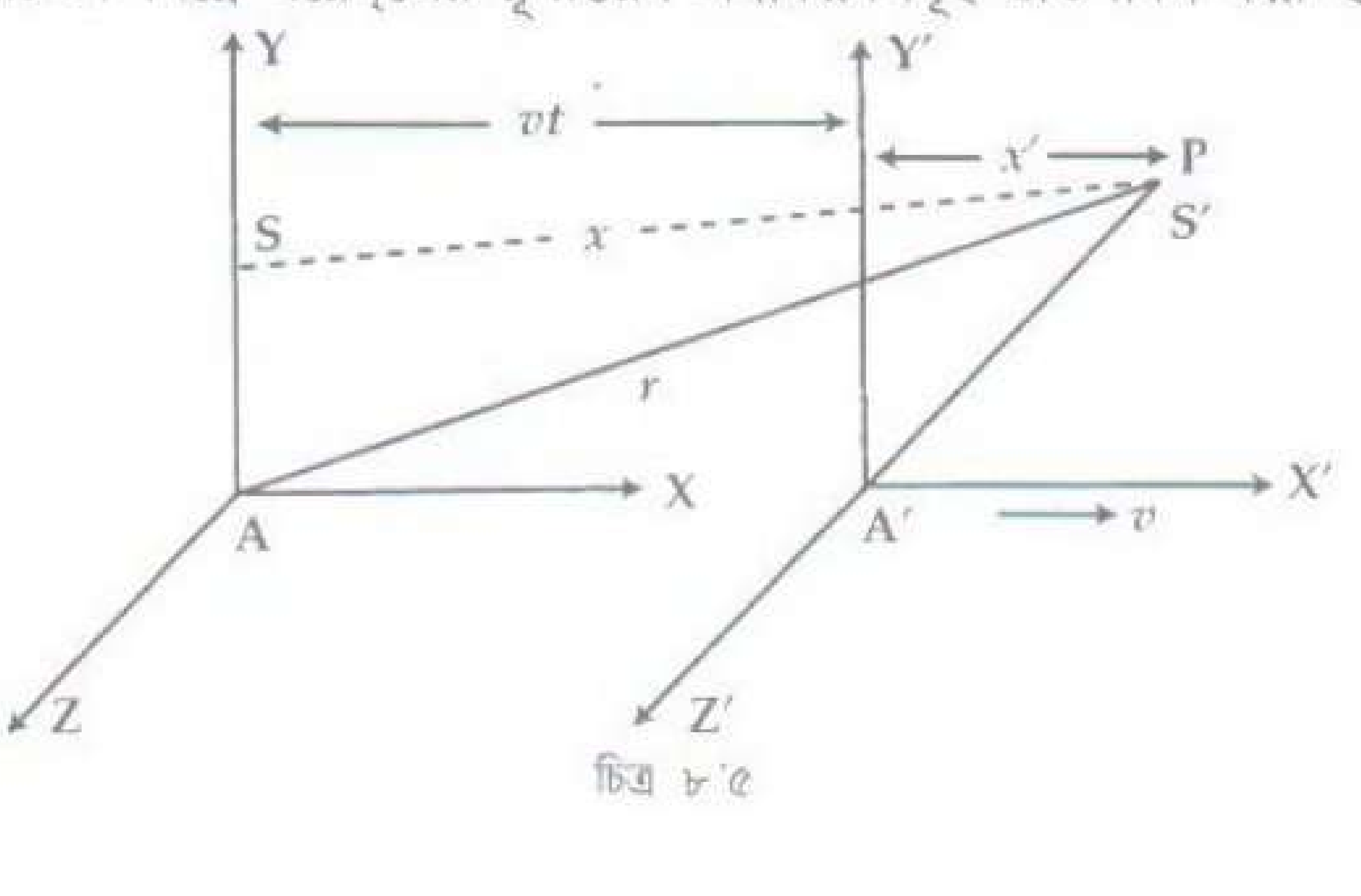
যে রূপান্তরণ সূত্র প্রয়োগে বিদ্যুৎ চুম্বকীয় সমীকরণ এক জড় কাঠামো থেকে অন্য কাঠামোতে নিলে অভিন্নরূপে প্রকাশিত হয় তা লরেন্‌জ রূপান্তরণ সূত্র নামে পরিচিত।

লরেন্‌জ-এর রূপান্তর সূত্র বা সমীকরণ নিম্নলিখিত দুটি স্বীকার্যের উপর প্রতিষ্ঠিত।

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

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

উপরোক্ত স্বীকার্যের ভিত্তিতে লরেন্‌জ নতুন রূপান্তরণ সমীকরণ আবিষ্কার করেন যা **লরেন্‌জ সমীকরণ** নামে পরিচিত। নিম্নে লরেন্‌জের রূপান্তরণ সমীকরণসমূহ প্রতিপাদন করা হলো।



চিত্র ৮.৫

ধরা যাক দুটি কাঠামো S এবং S′-এ দুজন পর্যবেক্ষক A এবং A′ রয়েছে। S কাঠামো সাপেক্ষে কাঠামো S′ ধনাত্মক X অক্ষ বরাবর v সমবেগে গতিশীল [চিত্র ৮.৫]। মনে করি, কাঠামো দুটি $t = 0$ সময়ে একই অবস্থানে রয়েছে। এ অবস্থায় একটি ঘটনা, মনে করা যাক একটি আলোক স্ফুলিঙ্গ (pulse) তরঙ্গমুখ সৃষ্টি করা হলো। এভাবে সৃষ্ট তরঙ্গমুখ সময়ের পরিবর্তনের সঙ্গে বর্ধিত গোলীয় আকারে প্রসারিত হতে থাকবে। t সময় পরে স্থির কাঠামো S-এর পর্যবেক্ষক

A দেখবে যে তরঙ্গমুখ P বিন্দুতে পৌঁছেছে। A পর্যবেক্ষকের নিকট P বিন্দুর দূরত্ব হবে

$r = ct$ ... ... (8.8)

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

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

S′ কাঠামোর পর্যবেক্ষকের কাছে P বিন্দুর দূরত্ব হবে,

$r' = ct'$ ... ... (8.10)

S′ কাঠামোর সাপেক্ষে,

$r'^2 = x'^2 + y'^2 + z'^2 = c^2t'^2$ ... ... (8.11)

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

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

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

অতএব, সমীকরণ (8.12) থেকে,

$x^2 - c^2t^2 = x'^2 - c^2t'^2$ ... ... (8.13)

এখন x এবং x'এর রূপান্তরণ সমীকরণ নিম্নোক্তভাবে লেখা যায়

$x' = k(x - vt)$ ... ... (8.14)

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

অনুরূপভাবে, ধরা যায়,

$t' = a(t - bx)$ ... ... (8.15)

এখানে a ও b উভয়ই ধ্রুব।

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

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

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

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

অর্থাৎ

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

সমীকরণ (8.17) সমাধান করে, আমরা পাই,

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

এই সমীকরণগুলোই লরেন্‌জের রূপান্তরণ সমীকরণ নামে পরিচিত।

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

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

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

এবং $t' = t - vx/c^2$

এগুলো গ্যালিলীয় রূপান্তরণ সমীকরণ মাত্র। সুতরাং উপরের আলোচনা থেকে এটা স্পষ্ট যে আপেক্ষিক বেগ আলোকের বেগের মানের কাছাকাছি না হলে আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব হতে প্রাপ্ত ফলাফল পরিমাপযোগ্য হবে না, সেক্ষেত্রে সনাতন ধারণাই বলবৎ থাকবে।

বিপরীত লরেঞ্জ রূপান্তর (Inverse Lorentz Transformation)

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

বিপরীত লরেঞ্জ রূপান্তর সমীকরণগুলো হলো,

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

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

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

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

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

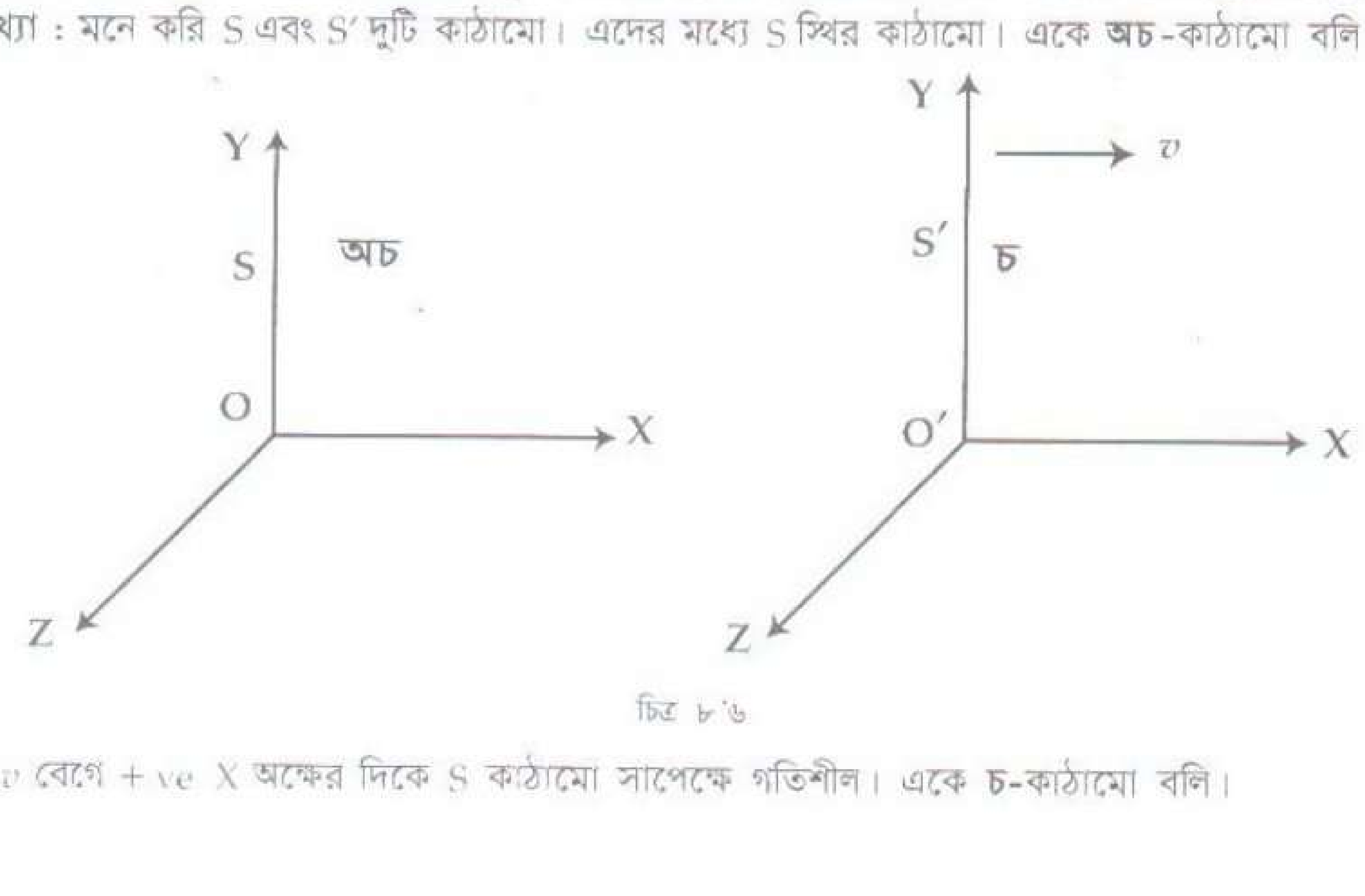
Time Dilation, Length contraction and Increase of Mass according to the Theory of Relativity

আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসারে সময় সম্প্রসারণ

Length contraction 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 কাল দীর্ঘায়ন বা সময় প্রসারণ বলে।

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



চিত্র ৮.৬

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

ধরি চ-কাঠামোর x' বিন্দুতে একটি ঘড়ি রয়েছে। উক্ত কাঠামোতে স্থিতিশীল একজন পর্যবেক্ষক কোনো ঘটনার সময় t'_1 নির্ণয় করলেন। **অচ**-কাঠামোর একজন পর্যবেক্ষক v বেগে গতিশীল হওয়ায় ঐ ঘটনার সময় t_1 নির্ণয় করলেন। এখন লরেন্জ-এর উল্টো রূপান্তরণ সমীকরণ অনুসারে (Lorentz's Inverse transformation)

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

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

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

সুতরাং এই পর্যবেক্ষকের কাছে ঘটনার সময় কাল

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

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

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

সিদ্ধান্ত : দৈর্ঘ্যের মতো আপেক্ষিক বেগের সাথে সময়েরও পরিবর্তন ঘটে। তাই কোনো ঘড়িকে গতিশীল রাখলে স্থিতিশীল অবস্থার চাইতে ধীরে চলবে অর্থাৎ এই ঘড়িতে সময় $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ পরিমাণ বৃদ্ধি পাবে।

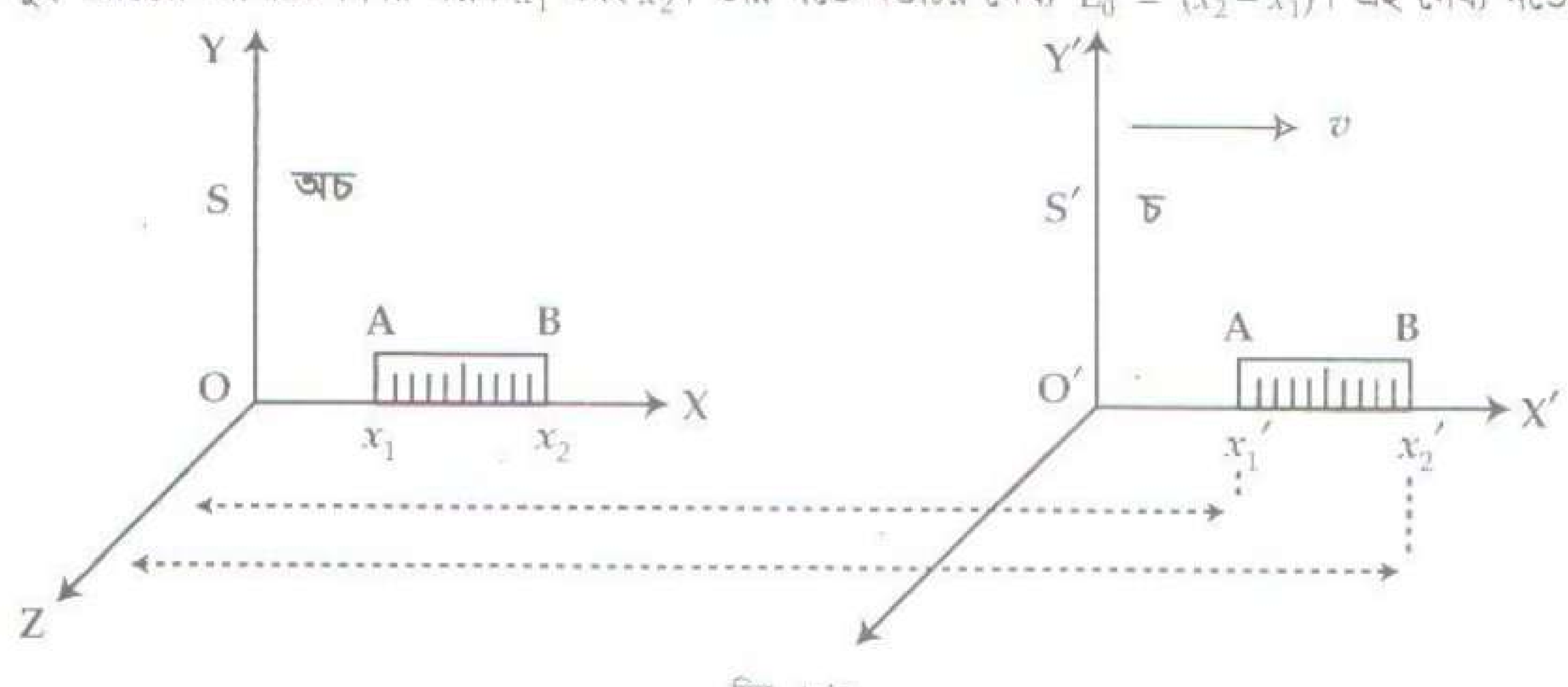
দৈর্ঘ্য সংকোচন
Length Contraction

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

কোনো বস্তুর গতিশীল অবস্থার দৈর্ঘ্য, ঐ বস্তুর স্থির অবস্থার দৈর্ঘ্যের চেয়ে ছোট হওয়াকে দৈর্ঘ্য সংকোচন বলে।

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

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



চিত্র ৮·৭

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

অতএব লরেন্‌জ-এর রূপান্তরণ সমীকরণ অনুসারে

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

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

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

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

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

$$L = L_0\sqrt{1 - v^2/c^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.31)$$

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

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

গাণিতিক উদাহরণ

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

[কু. বো. ২০১১; য. বো. ২০০৮, ২০০১]

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

আমরা জানি,

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

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

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

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

বা, $v^2 = \frac{8}{9}c^2$

$$\therefore \quad v = \sqrt{\frac{8}{9} \times c^2} = \sqrt{\frac{8}{9} \times (3 \times 10^8)^2} = \sqrt{\frac{8}{9} \times 9 \times 10^{16}} = 2{\cdot}83 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

২। ভূ-পৃষ্ঠের একটি রকেটের দৈর্ঘ্য 100 m। রকেটটি ভূ-পৃষ্ঠের কোনো স্থির পর্যবেক্ষকের সাপেক্ষে চলতে থাকলে এটির দৈর্ঘ্য 99·5 m মনে হয়। রকেটটির গতি নির্ণয় কর। [রা. বো. ২০০১]

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

আমরা জানি,

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

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

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

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

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

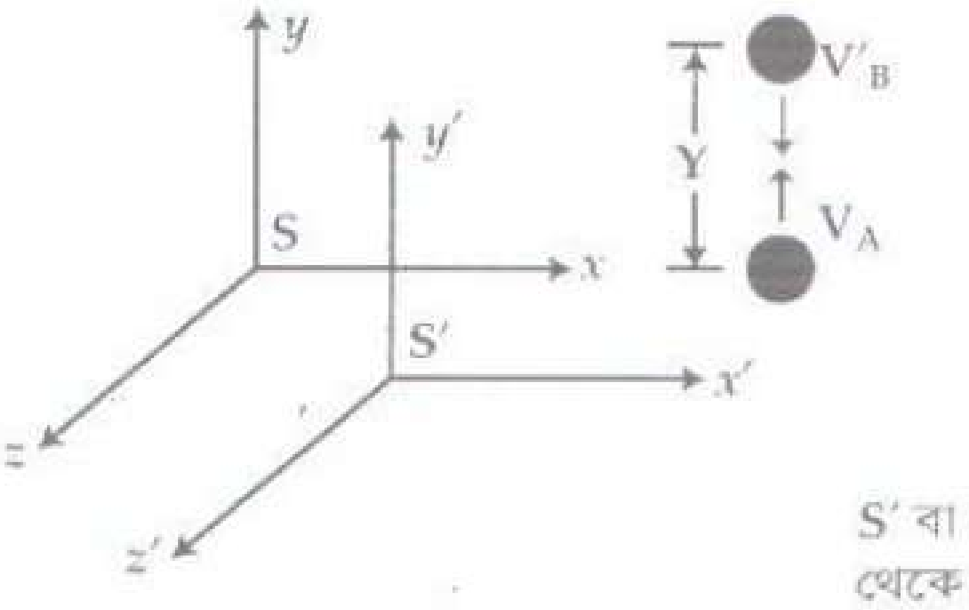
বা, $\frac{v}{c} = 0{\cdot}0998$

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

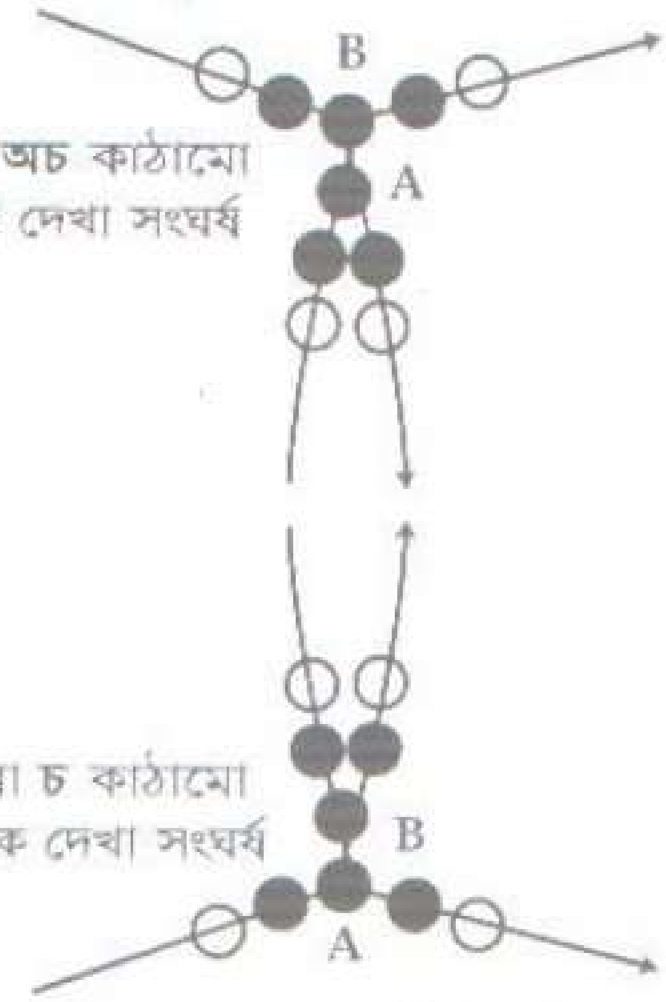
ভর বৃদ্ধি
Increase of Mass

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

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



চিত্র ৮.৮



চিত্র ৮.৯

ধরি সংঘর্ষের পূর্বে A কণাটি S কাঠামোতে এবং B কণাটি S′ কাঠামোতে স্থির অবস্থায় রয়েছে। একই মুহূর্তে A কণাটি v_A বেগে +Y অক্ষের দিকে এবং B কণাটি v_B' বেগে −Y′ অক্ষের দিকে নিক্ষেপ করা হলো [চিত্র ৮.৮]। এখানে $v_A = v_B'$। সুতরাং, S′ কাঠামোতে A কণার আচরণ S′ প্রসঙ্গ কাঠামোতে B কণার আচরণ অভিন্ন। সংঘর্ষের পর A কণাটি −Y-অক্ষের দিকে v_A বেগে এবং B কণাটি +Y′-অক্ষের দিকে v_B বেগে ফিরে আসে। নিক্ষেপের মুহূর্তে কণা দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব y হলে উভয় পর্যবেক্ষক দেখবেন যে সংঘর্ষটি $\frac{1}{2}y$ দূরে সংঘটিত হচ্ছে। সুতরাং **অচ**-কাঠামোতে A-এর মোট যাতায়াতের সময়

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

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

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

অচ-কাঠামোতে ভরবেগ সংরক্ষিত হলে,

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

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

অচ-কাঠামোতে B-এর ভ্রমণকাল t হলে,

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

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

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

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

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

এবং সমীকরণ (8.32) হতে পাই

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

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

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

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

সুতরাং, সমীকরণ (8.36) হতে প্রমাণিত হয় যে,

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

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

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

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

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

এখানে $\beta^2 = v^2/c^2$

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

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

কাজ : আপেক্ষিক তত্ত্বের সাহায্যে দেখাও যে, কোনো বস্তুর বেগ আলোর বেগের সমান হতে পারে না।

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

$v = c$ হলে, $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{c^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - 1}} = \frac{m_0}{0} = \infty$ হয়, যা অসম্ভব। তাই বস্তুর বেগ আলোর বেগের সমান বা বেশি হতে পারে না।

গাণিতিক উদাহরণ

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

[ঢা. বো. ২০১১; চ. বো. ২০১০, ২০০২; য. বো. ২০০৯; দি. বো. ২০০৯; সি. বো. ২০০৮; রা. বো. ২০০৬; ব. বো. ২০০৪; কু. বো. ২০০৩, ২০০০]

প্রশ্নানুসারে, $mc^2 = 2m_0c^2$

বা, $\frac{m}{m_0} = 2$

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

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

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

বা, $\frac{v^2}{c^2} = \frac{3}{4}$ বা, $\frac{v^2}{c^2} = 0.75$

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

২। একটি ইলেকট্রন $0.99c$ দ্রুতিতে গতিশীল হলে এর চলমান ভর কত?

[সি. বো. ২০১১; য. বো. ২০০৮, ২০০৭, ২০০৪]

আমরা জানি,

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{9.1\times10^{-31}}{\sqrt{1-\frac{(0.99)^2c^2}{c^2}}}$$

$$= \frac{9.1\times10^{-31}}{\sqrt{1-0.9801}} = \frac{9.1\times10^{-31}}{0.1410}$$

$$= 6.45\times10^{-30}\text{kg}$$

এখানে,

$m_0 = 9.1\times10^{-31}$kg
$v = 0.99\,c$
$m = ?$

৮.৭ ভর-শক্তি সম্পর্ক
Relation between Mass and Energy

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

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

আপেক্ষিক তত্ত্ব হতে আমরা জানি ভর এবং বেগ উভয়ই পরিবর্তনশীল।

$$\therefore\ F = \frac{d}{dt}(mv)$$

$$= m\frac{dv}{dt} + v\frac{dm}{dt} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (8.39)$$

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

$$\therefore\ dE_k = F.\,dx$$

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

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

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

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

এখন ভর ও বেগের সম্পর্ক হতে পাই,

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

উভয় পার্শ্বকে বর্গ করে পাই,

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

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

বা, $m^2c^2 - m^2v^2 = {m_0}^2c^2$

বা, $m^2c^2 = m^2{_0}c^2 + m^2v^2 \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (8.42)$

উভয় পার্শ্বকে অন্তকলন বা ব্যবকলন করে পাই,

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

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

এখন সমীকরণ (8.40) এবং (8.43) হতে পাই,

$$dmc^2 = dE_k$$

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

উক্ত সমীকরণ হতে প্রমাণিত হয় যে গতিশক্তির পরিবর্তন ভরের পরিবর্তনের সমানুপাতিক

অর্থাৎ $dE_k \propto dm$

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

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

অতএব সমীকরণ (8.44)-কে সমাকলন করে পাই

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

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

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

$$\text{বা, } E_k = c^2 [m - m_0]$$

$$\text{বা, } E_k = mc^2 - m_0c^2 \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (8.45)$$

এটিই হলো আপেক্ষিকতার গতিশক্তির সমীকরণ।

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

∴ বস্তুর মোট শক্তি

E = গতিশক্তি + স্থির ভর শক্তি।

$$\text{বা, } E = E_k + m_0 c^2$$

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

$$\text{বা, } \boxed{E = mc^2} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (8.46)$$

০৮ – ০৯ ,.. ০২ – ০৬

এটিই হলো বিজ্ঞানী আইনস্টাইন-এর ভর-শক্তি সমীকরণ।

পারমাণবিক ভর একক
Atomic mass unit or amu

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

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

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

নিউট্রন, প্রোটন প্রভৃতি কণার ভর amu এককে প্রকাশ করা যায়। এই এককে প্রোটন ও নিউট্রনের ভর যথাক্রমে 1·007277 amu ও 1·008665 amu

1 amu ভরের সমতুল্য শক্তি = 934 MeV

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি ইলেকট্রনের নিশ্চল ভর $9{\cdot}028 \times 10^{-31}$ kg। এর শক্তি সমতুল নির্ণয় কর। ইলেকট্রন ভোল্ট (eV)-এ মান কত হবে?

[ঢা. বো. ২০১১; কু. বো. ২০০৩; রা. বো. ২০০১]

ধরি সমতুল শক্তি = E

আমরা পাই,

$$E = m_0c^2$$

এখানে,
$m_0 = 9{\cdot}028 \times 10^{-31}$ kg
$c = 3 \times 10^8$ ms^{-1}

∴ শক্তি সমতুল, $E = 9{\cdot}028 \times 10^{-31}\text{ kg} \times (3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1})^2$

$$= 8{\cdot}125 \times 10^{-14}\text{ J} = \frac{8{\cdot}125 \times 10^{-14}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}}\text{ eV}$$

$$= 5{\cdot}078 \times 10^5\text{ eV} = 0{\cdot}5078\text{ MeV}$$

২। একটি গতিশীল কণার মোট শক্তি এর স্থিরাবস্থার শক্তির 2·5 গুণ হলে বস্তুটির দ্রুতি কত?

[ঢা. বো. ২০০৯; চ. বো. ২০০৭; রা. বো. ২০০৪; ব. বো. ২০০২]

প্রশ্নানুসারে,

$mc^2 = 2{\cdot}5\, m_0c^2$

$\therefore \quad \dfrac{m}{m_0} = 2{\cdot}5$

আবার,

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

বা, $(2{\cdot}5)^2 = \dfrac{1}{\frac{c^2 - v^2}{c^2}}$ বা, $6{\cdot}25 = \dfrac{c^2}{c^2 - v^2}$

বা, $6{\cdot}25c^2 - 6{\cdot}25v^2 = c^2$ বা, $5{\cdot}25c^2 = 6{\cdot}25v^2$

বা, $v^2 = \dfrac{5{\cdot}25c^2}{6{\cdot}25} = \dfrac{5{\cdot}25 \times (3 \times 10^8)^2}{6{\cdot}25}$ বা, $v^2 = 7{\cdot}56 \times 10^{16}$

$\therefore \quad v = 2{\cdot}75 \times 10^8\ \text{ms}^{-1}$

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

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

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

(ক) আমরা জানি,

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

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

বা, $37{\cdot}54 \times 10^{-31} = m$

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

এখানে,

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

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

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

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

$m = ?$

(খ) আমরা জানি,

(i) $E = mc^2$

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

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

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

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

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

এখানে,

$m = 12$ a. m. u.

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

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

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

৮·৮ মৌলিক বল
Fundamental Forces

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

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

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

১। মহাকর্ষ বল (Gravitational force)

২। তড়িৎ-চুম্বকীয় বল (Electromagnetic force)

৩। সবল নিউক্লীয় বল (Strong nuclear force)

৪। দুর্বল নিউক্লীয় বল (Weak nuclear force)

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

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

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

৪। **দুর্বল নিউক্লীয় বল** : প্রকৃতিতে বেশ কিছু মৌলিক পদার্থ (elements) রয়েছে যাদের নিউক্লিয়াস স্বতঃস্ফূর্তভাবে ভেঙ্গে যায় (যেমন ইউরেনিয়াম, থোরিয়াম ইত্যাদি)। এই সমস্ত নিউক্লিয়াসকে বলা হয় তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াস। তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াস থেকে তিন ধরনের রশ্মি বা কণা নির্গত হয় যাদেরকে আলফা-রশ্মি (α-rays), বিটা-রশ্মি (β-rays) এবং গামা-রশ্মি (γ-rays) বলা হয়।

তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াস থেকে যখন বিটা কণা নির্গত হয় তখন একই সঙ্গে শক্তিও নির্গত হয়। কিন্তু পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে দেখা যায় যে, নিউক্লিয়াস থেকে যে পরিমাণ শক্তি নির্গত হয় তা বিটা কণার গতিশক্তির চেয়ে বেশি। স্বাভাবিকভাবেই বিজ্ঞানীদের মাঝে প্রশ্ন ওঠে যে β-কণা যদি শক্তির সামান্য অংশ বহন করে, তবে অবশিষ্ট শক্তি যায় কোথায় ? 1930 সালে ডব্লিউ. পৌউলি (W. Pauli) প্রস্তাব করেন যে অবশিষ্ট শক্তি অন্য এক ধরনের কণা বহন করে যা β-কণার সঙ্গেই নির্গত হয়। এই কণাকে বলা হয় নিউট্রিনো (neutrino)। এই β-কণা এবং নিউট্রিনো কণার নির্গমন চতুর্থ একটি মৌলিক বলের কারণে ঘটে যাকে বলা হয় **দুর্বল নিউক্লীয় বল**। এই বল সবল নিউক্লীয় বা তড়িৎ-চুম্বকীয় বলের তুলনায় খুবই দুর্বল। এই বলের কারণে অনেক নিউক্লিয়াসের ভাঙ্গন প্রক্রিয়া সংঘটিত হয় এবং নিউক্লিয়াস হতে β ক্ষয় হয়। বিজ্ঞানীরা ধারণা করেন বোসন নামক এক প্রকার কণার বিনিময়ের দ্বারা এই বল কার্যকর হয়।

মৌলিক বলসমূহের তীব্রতার তুলনা :

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

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

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

সারণি ৮.১

মৌলিক বলসমূহের তুলনা

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

বলের একীভূতকরণ (Unification of Forces) :

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

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

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

৮.৯ মহাকাশ ভ্রমণে আপেক্ষিকতা তত্ত্ব
Theory of Relativity for Journey to Space

কাল দীর্ঘায়নের ও দৈর্ঘ্য সংকোচনের কৌতূহলী দিক মহাকাশ ভ্রমণে ঘটে থাকে। প্রচুর দূরত্ব অন্তর্ভুক্তির কারণে এমনকি আমাদের সৌরজগতের বাইরের নিকটতম তারায় গমন করতেও অনেক সময় লাগবে। আলফা সেন্টোরাই (Alpha Centauri) আমাদের গ্যালাক্সির নিকটতম তারা যা 4.3 আলোকবর্ষ দূরে অবস্থিত। অর্থাৎ এই তারায় আলো পৌঁছাতে পৃথিবীতে অবস্থিত ব্যক্তি কর্তৃক পরিমাপকৃত সময় 4.3 বছর। ধরি একটি রকেট পৃথিবীর সাপেক্ষে 0.95c বেগে আলফা সেন্টোরাই-এর দিকে গমন করল। এখানে দুটি বিষয় জড়িত রয়েছে একটি হলো পৃথিবী থেকে গমন এবং অপরটি আলফা সেন্টোরাই-এ আগমন। গমনের ঠিক পূর্ব মুহূর্তে পৃথিবী মহাকাশযানের বাইরে এবং গন্তব্যে পৌঁছার ঠিক পর মুহূর্তে আলফা সেন্টোরাই মহাকাশযানের বাইরে। সুতরাং মহাকাশযাত্রীর নিকট দুটো ঘটনা একই স্থানে সংঘটিত হয়, অর্থাৎ মহাকাশযানের বাইরে।

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

$$\Delta t = \frac{4.3}{0.95} \text{ বছর} = 4.5 \text{ বছর}$$

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

$$\Delta t_0 = \Delta t\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} = 4.5 \times \sqrt{1-\left(\frac{0.95\,c}{c}\right)^2}$$

$$= 1.4 \text{ বছর}$$

সুতরাং, যখন মহাকাশযাত্রী আলফা সেন্টোরাইতে পৌঁছবে তখন তার বয়স বাড়বে 1.4 বছর। কিন্তু পৃথিবীর পর্যবেক্ষক কর্তৃক নির্ণীত 4.5 বছর নয়।

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

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

এখানে v = রকেটের বেগ

c = আলোর বেগ

> **হিসাব কর :** একজন মহাশূন্যচারী 40 বছর বয়সে $2.4 \times 10^8\ ms^{-1}$ বেগে গতিশীল মহাশূন্যযানে চড়ে ছায়াপথ অনুসন্ধানে গেলেন এবং 50 বছর পর ফিরে এলেন। মহাশূন্যচারীর বয়স তখন কত হবে ?

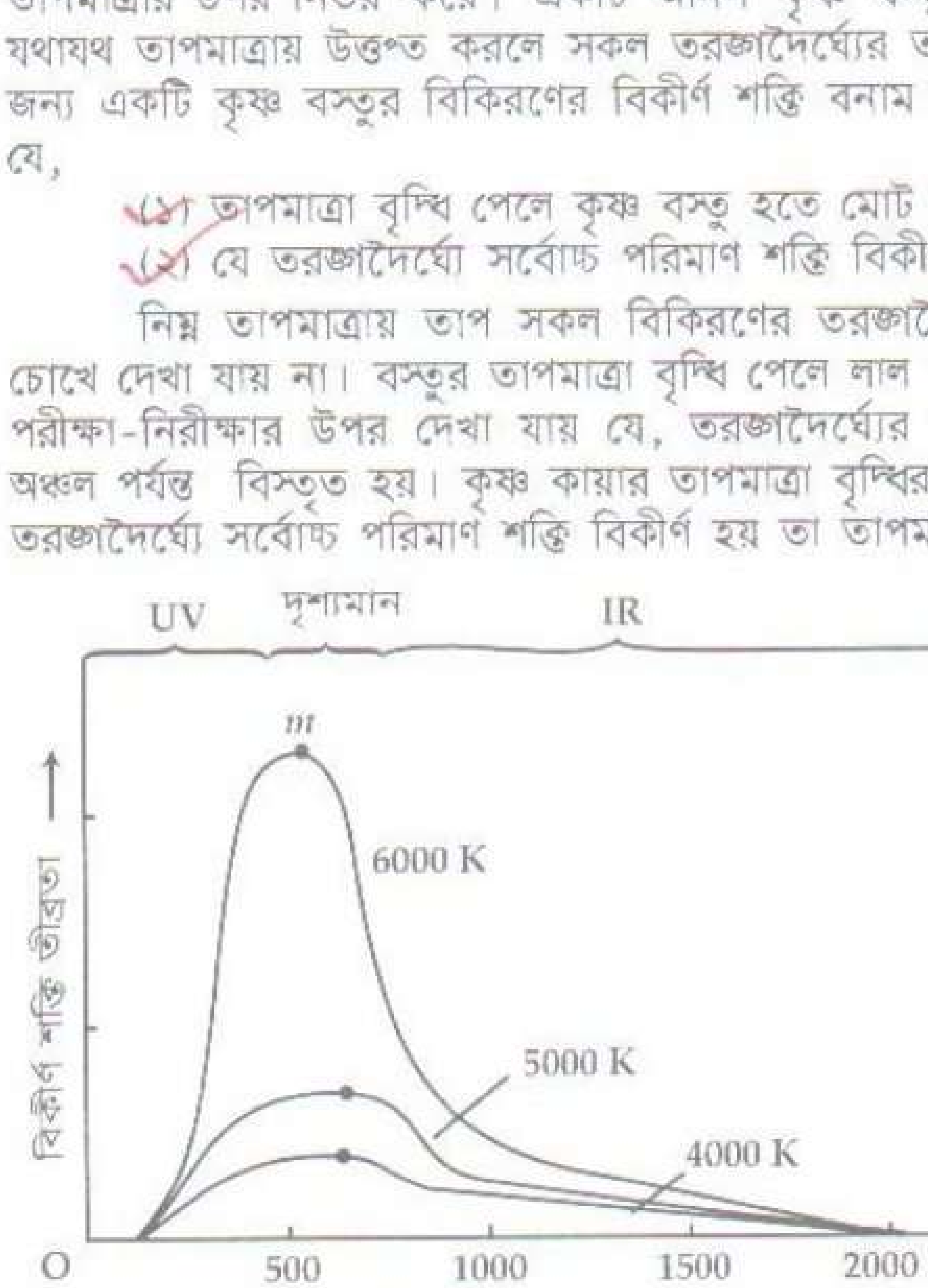
> **হিসাব কর :** একটি রকেট কত বেগে চললে এর দৈর্ঘ্য সংকুচিত হয়ে নিশ্চল দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হবে ?

৮·১০ প্ল্যাঙ্ক-এর কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণ
Planck's Black Body Radiation

আমরা জানি তাপমাত্রার কারণে কোনো বস্তু থেকে বিকিরণ নিঃসৃত হয়। তাপ বিকিরণের বৈশিষ্ট্য বস্তুর ধর্ম ও তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে। একটি আদর্শ কৃষ্ণ বস্তু সকল তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তাপশক্তি শোষণ করতে পারে। আবার যথাযথ তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলে সকল তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তাপশক্তি বিকিরণ করতে পারে। চিত্র ৮·১০-এ তিনটি তাপমাত্রার জন্য একটি কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণের বিকীর্ণ শক্তি বনাম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের লেখচিত্র দেখান হয়েছে। লেখচিত্র হতে দেখা যায় যে,

(১) তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে কৃষ্ণ বস্তু হতে মোট বিকীর্ণ শক্তি বৃদ্ধি পায় এবং
(২) যে তরঙ্গদৈর্ঘ্যে সর্বোচ্চ পরিমাণ শক্তি বিকীর্ণ হয় তা তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে হ্রাস পায়।

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



চিত্র ৮·১০

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

$$\varepsilon = h\nu \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (8.47)$$

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

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

ফোটনের ধর্মাবলি

***

ফোটন কণার প্রধান ধর্মগুলি হলো—

১। প্রতিটি ফোটন কণাই চার্জহীন অর্থাৎ নিস্তড়িৎ।
২। প্রতিটি ফোটন কণা আলোর বেগে চলে। এই বেগের কোনো হ্রাস-বৃদ্ধি নেই।
৩। একটি ফোটন কণার শক্তি $E = h\nu$, এখানে ν = বিকিরণের কম্পাঙ্ক, h = প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক।
৪। ফোটন কণার স্থির ভর শূন্য।
৫। ফোটন ভরহীন কণা হলেও এর সুনির্দিষ্ট ভরবেগ আছে। এর ভরবেগ, $p = \frac{h\nu}{c}$।

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

প্রথম পৃষ্ঠে আলো পড়লে e⁻ নিঃসৃত হয়।

m—14—15

৮-১১ এক্স-রে বা রঞ্জন রশ্মি
X-rays or Röntgen rays

শরীরের কোনো অঙ্গ যেমন হাত, পা ভেঙ্গে গেলে আমরা চিকিৎসকের কাছে যাই। চিকিৎসক আমাদের এক্স-রে করার পরামর্শ দেন। এক্স-রে ফিল্মের রিপোর্ট দেখে আমরা জানতে পারি কি ধরনের সমস্যা হয়েছে। তাহলে এই এক্স-রে কী ? কীভাবে তা উৎপন্ন হয় ? এ ব্যাপারে আমারা বিস্তারিত আলোচনা করব।

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

বিজ্ঞানী	দেশ	আবিষ্কার	সাল
রনজেন	জার্মান	এক্সরে/রনজেন রশ্মি	1895
গোল্ডস্টাইন	-	ধনরশ্মি	1886
প্লাঙ্ক	-	আলোকের কোয়ান্টাম তত্ত্ব/তেজকণাবাদ	1900
ডব্লিউস্মিথ	-	আলোক তড়িৎ ক্রিয়া	1873

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

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

(১) কোমল এক্স-রে ও (২) কঠিন এক্স-রে।

(১) কোমল এক্স-রে (Soft X-rays) : গ্যাস নলের ভেতরে গ্যাসের চাপ যদি অপেক্ষাকৃত বেশি হয়, [illegible] বিভব পার্থক্যেও এক্স-রশ্মি উৎপন্ন করা যায়। এই ধরনের এক্স-রশ্মিকে কোমল এক্স-রে বলে। কোমল এক্স-[illegible] দৈর্ঘ্য প্রায় 1·0 Å এর কাছাকাছি হয়। এর ভেদন ক্ষমতা অত্যন্ত কম। তবে চিকিৎসাবিজ্ঞানে কোমল এক্স-রে[illegible] প্রচুর।

(২) কঠিন এক্স-রে (Hard X-rays) : নলের ভেতর গ্যাসের চাপ কম হলে অধিক বিভব পার্থক্য প্রয়ো[illegible] রশ্মি উৎপন্ন হয়। এই এক্স-রশ্মিকে কঠিন এক্স-রে বলে। কোমল এক্স-রের তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় 0·01 Å মানের [illegible] রশ্মির ভেদন ক্ষমতা খুবই বেশি। পদার্থের গঠন প্রকৃতি নির্ণয়ে এবং বিভিন্ন গবেষণা কার্যে এর ব্যবহার সর্বাধি[illegible]

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

এক্স-রে উৎপাদন
Production of X-rays

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

এক্স-রে উৎপাদনের জন্য তিনটি পদ্ধতি আছে; যথা—

(১) **গ্যাস নল পদ্ধতি** (Gas tube method) ;

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

(৩) **বিটাট্রন পদ্ধতি** (Betatron method) ।

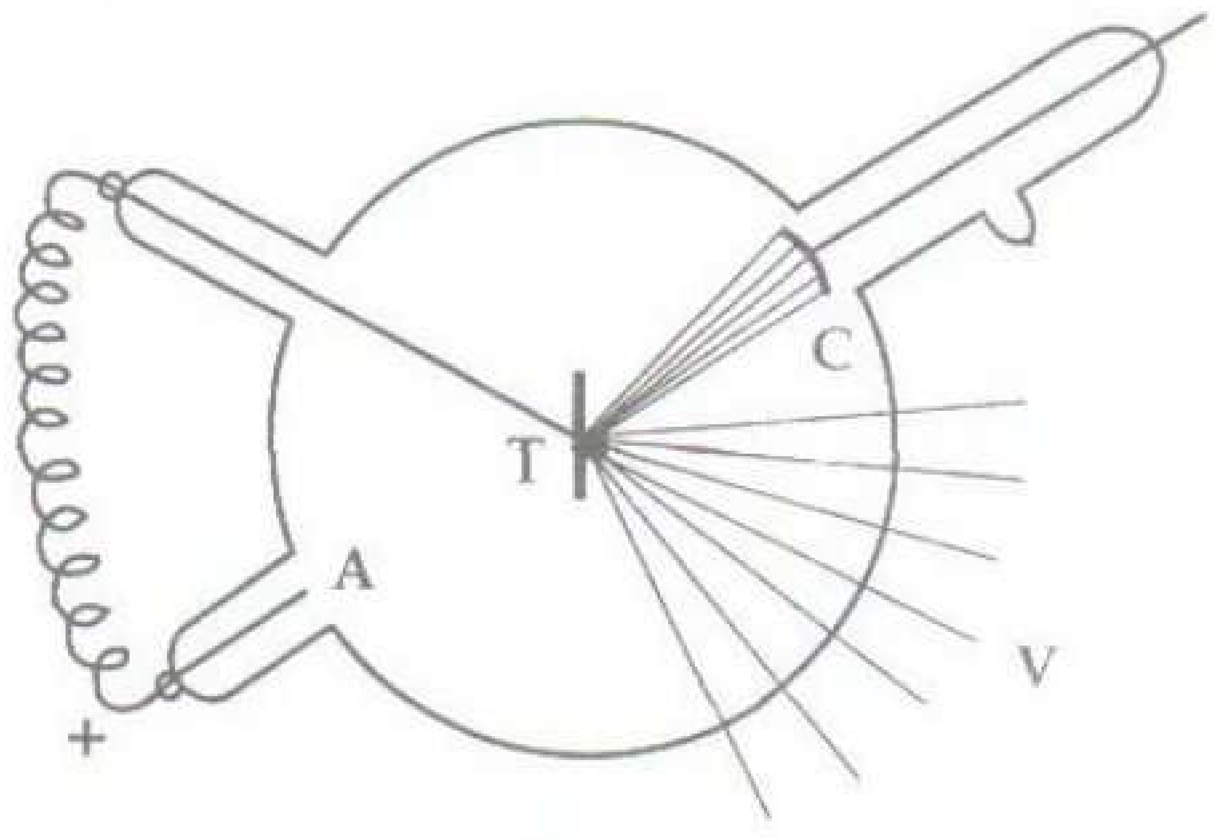
এক্স-রে উৎপাদনের জন্য এখানে আমরা শুধু গ্যাস নল পদ্ধতি আলোচনা করব ।

গ্যাস [illegible] নল একটি বিশেষ ধরনের ক্ষরণ নল। এতে একটি নিষ্কাশিত কাচের শক্ত বাল্ব আছে। এই ব[illegible] [illegible] আকৃতির ক্যাথোড C থাকে

Ans | B | Solve লেজারের বৈশিষ্ট্যসমূহ হল:

i) এ রশ্মির তীব্রতা খুব বেশি। ii) এ রশ্মি প্রায় নিখুতভাবে সমান্তরাল হয়।
iii) এ রশ্মি একবর্ণী হয়। iv) এ রশ্মি দশা সুসঙ্গত।
v) পানি দ্বারা এ রশ্মি শোষিত হয় না।

[চিত্র ৮.১১]। ক্যাথোডের ঠিক বিপরীত দিকে অ্যানোড A থাকে। ক্যাথোড অবতল হওয়ায় ক্যাথোড রশ্মি একটি বিন্দুতে কেন্দ্রীভূত হয়।



চিত্র ৮.১১

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

নলের মধ্যে বায়ুর চাপ 10^{-3} mm হতে 10^{-5} mm এবং অ্যানোড ও ক্যাথোডের মধ্যে বিভব পার্থক্য 30,000 V হতে 50,000 V হলে ক্যাথোড হতে ইলেকট্রন তীব্র বেগে ধাবিত হয়ে টারগেট বা লক্ষ্যবস্তুর ওপর পড়বে এবং তা হতে এক্স-রে উৎপন্ন হবে।

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

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

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

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

এটিই হলো উৎপন্ন এক্স রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য।

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

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-চুম্বকীয় আড় তরঙ্গ।

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

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

(৬) এর ভেদন ক্ষমতা অত্যধিক।

(৭) ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর এর প্রতিক্রিয়া আছে।

(৮) এটি প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে।

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

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

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

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

(১৩) এটি জীবন্ত কোষকে ধ্বংস করতে পারে ।

(১৪) এর প্রভাবে জীবন কোষের জিনের (genes) চারিত্রিক গুণাবলির পরিবর্তন ঘটে ।

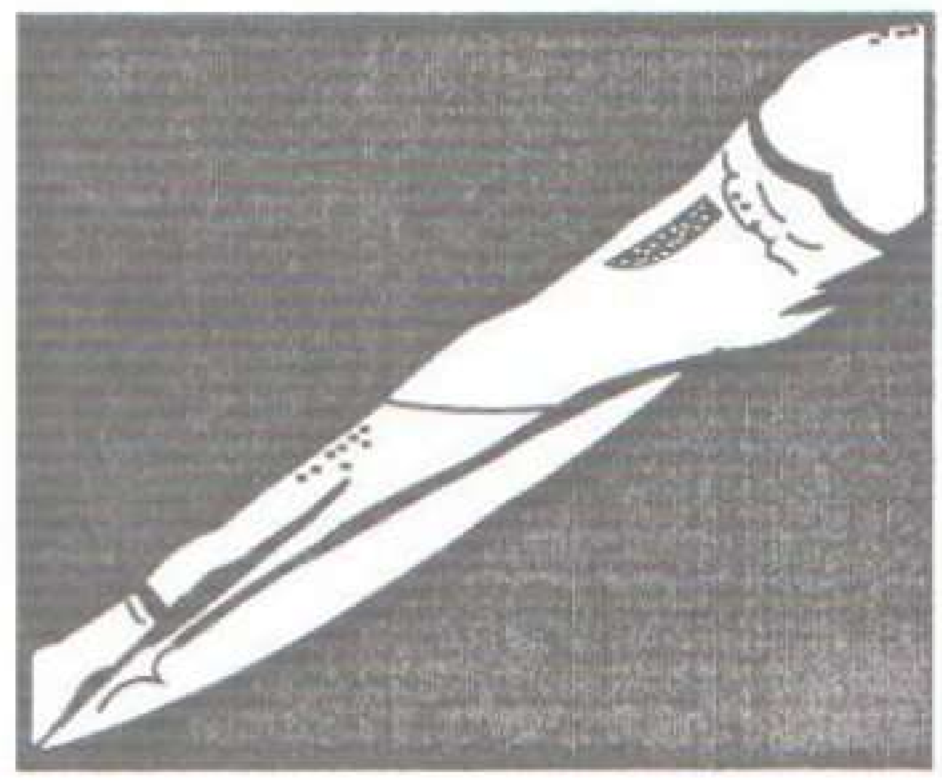
(১৫) চামড়ার উপর অনেকক্ষণ ধরে এটি আপতিত হলে শরীরের ক্ষতিসাধন করে। তখন এটি রক্তের শ্বেত-কণিকা ধ্বংস করে।

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

এক্স-রের ব্যবহার * প্লাজমা অবস্থায় তাপমাত্রা প্রায় 10000K
Uses of X-rays

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

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



চিত্র ৮.১২

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

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

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

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

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

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

৮.১২ ফটো তড়িৎ ক্রিয়া Photo Electric Cell → তিন প্রকার।
Photo Electric Effect

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

পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেছে যে ধাতব পদার্থের উপর দৃশ্যমান আলোক কিংবা অন্য কোনো বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ আপতিত হলে ঐ পদার্থ হতে ইলেকট্রন নির্গত হয়। আলোক রশ্মি যতক্ষণ পর্যন্ত ধাতব পদার্থে আপতিত হয়, ততক্ষণই ইলেকট্রন নির্গত হয়। ধাতব পদার্থ হতে নির্গত ইলেকট্রনকে বলা হয় **ফটো ইলেকট্রন** (Photo-electron) বা **আলোক ইলেকট্রন**। আলোকের প্রভাবে ধাতব পদার্থ হতে ইলেকট্রনের নির্গমনের প্রক্রিয়াকে বলা হয় **আলোক তড়িৎ নির্গমন** (Photo-electric emission) এবং এই ক্রিয়াকে বলা হয় **ফটো-ইলেকট্রিক ক্রিয়া** বা **আলোক তড়িৎ ক্রিয়া**

(Photo-electric effect)। নির্গত ইলেকট্রন প্রবাহিত হবার ফলে যে বিদ্যুৎ উৎপন্ন হয় তাকে বলা হয় **আলোক তড়িৎ** (Photo-electricity) এবং যে বিদ্যুৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয়, তাকে বলা হয় ফটো-ইলেকট্রিক প্রবাহ বা **আলোক তড়িৎ প্রবাহ** (Photo-electric current)। **সোডিয়াম, পটাশিয়াম, সিজিয়াম, লিথিয়াম, রুবিডিয়াম** প্রভৃতি ক্ষারধর্মী পদার্থের উপর দৃশ্যমান আলোক আপতিত হলে অধিক পরিমাণে ফটো ইলেকট্রন নির্গত হয়। অর্থাৎ ক্ষারধর্মী পদার্থের আলোক তড়িৎ সংবেদনশীলতা বেশি। তবে এক্স-রশ্মি বা গামা-রশ্মির প্রভাবে সব ধাতব পদার্থে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া পরিলক্ষিত হয়। আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়।

ধাতব পদার্থের উপর উপযুক্ত কম্পাঙ্ক বা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক আপতিত হলে ঐ পদার্থ হতে ইলেকট্রন নির্গত হয়। এই পদ্ধতিকে আলোক-তড়িৎ নির্গমন এবং এই ক্রিয়াকে আলোক-তড়িৎ বা আলোক বিদ্যুৎ ক্রিয়া বলে। আলোকের প্রভাবে নির্গত ইলেকট্রনকে আলোক ইলেকট্রন, ইলেকট্রনের নিঃসরণকে আলোক তড়িৎ এবং ইলেকট্রনের নিঃসরণের ফলে যে বিদ্যুৎ প্রবাহ সৃষ্টি হয় তাকে আলোক তড়িৎ প্রবাহ বলে।

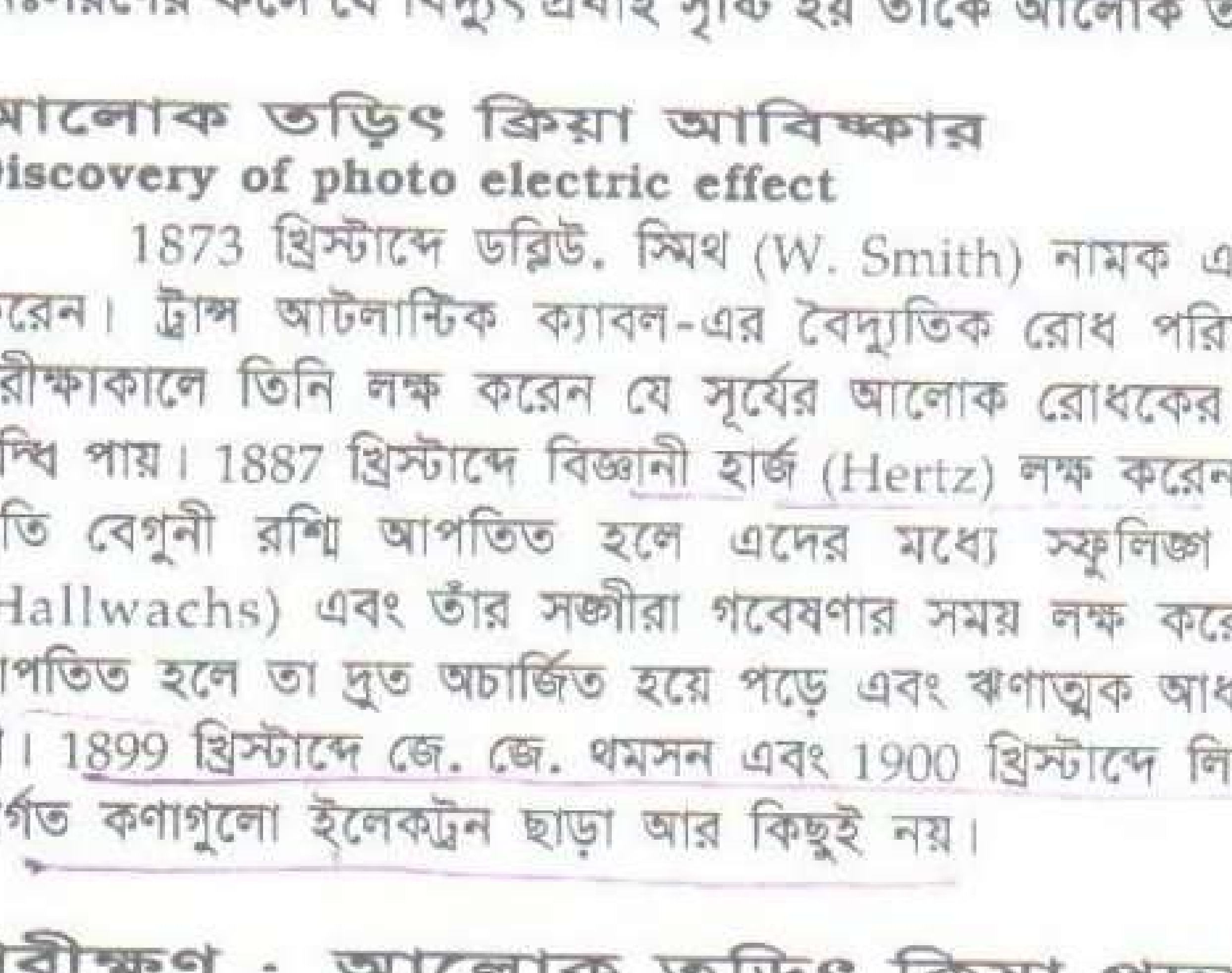
আলোক তড়িৎ ক্রিয়া আবিষ্কার
Discovery of photo electric effect

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

পরীক্ষণ : আলোক তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন
Demonstration of photo electric effect

একটি কোয়ার্টজ নল, দস্তার দুটি পাত, ক্যাথোড ও অ্যানোড পাত, অ্যামিটার, চাবি, একটি ব্যাটারী ও একটি পরিবর্তনশীল রোধ নিয়ে পরীক্ষণটি সম্পন্ন কর।

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



চিত্র ৮·১৩

এখন A পাতের উপর আলোক আপতিত হলে তা হতে ইলেকট্রন নির্গত হবে। B পাত ধনাত্মক হওয়ায় ইলেকট্রন আকৃষ্ট হবে এবং বর্তনীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ চলবে। ফলে অ্যামিটার বিক্ষেপ দেখাবে। আলোক না পড়লে অ্যামিটারের কোনো বিক্ষেপ হবে না। তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা আপতিত আলোকের তীব্রতার উপর 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 পৌঁছাবে। এরপর বিভব পার্থক্য বৃদ্ধি করলেও প্রবাহমাত্রা অপরিবর্তিত থাকবে।

এখন A ধন ও B-কে ঋণ বিভবে রাখি। A-এর উপর আলোক আপতিত হলে নির্গত ইলেকট্রন 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 **নিবৃত্তি বিভব** (Stopping Potential) বলে। নিবৃত্তি বিভব আপতিত আলোকের প্রাবল্যের উপর নির্ভর করে না। কিন্তু আপতিত আলোকের কম্পাঙ্কের উপর নির্ভর করে। এছাড়া নিঃসারক (emitter) পদার্থের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেছে যে আপতিত আলোকের কম্পাঙ্ক একটি মানের নিচে হলে তা ধাতু হতে ইলেকট্রন নির্গত করতে সক্ষম হয় না। এই কম্পাঙ্ককে প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক বা সূচন কম্পাঙ্ক (Threshold frequency) বলে।

উপরের আলোচনা থেকে প্রারম্ভ বা সূচন কম্পাঙ্ক, নিবৃত্তি 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 ঐ ধাতু থেকে ইলেকট্রন নির্গত করতে পারে না। ঐ ন্যূনতম কম্পাঙ্ককে ঐ ধাতুর প্রারম্ভ বা সূচন কম্পাঙ্ক বলে।

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

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

আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার বৈশিষ্ট্য
Characteristics of photo electric effect

আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য রয়েছে—

(১) আলোক রশ্মি আপতিত হওয়ার সঙ্গে সঙ্গেই আলোক তড়িৎ ক্রিয়া আরম্ভ হয় এবং আলোক রশ্মির আপতন বন্ধ হওয়ার সঙ্গে সঙ্গেই এই ক্রিয়া বন্ধ হয় অর্থাৎ এটি একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা।

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

(৩) বিভিন্ন ধাতুর ক্ষেত্রে প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক বিভিন্ন।

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

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

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

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

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

আলোক তড়িৎ নির্গমনের সূত্রাবলি
Laws of photo electric emission

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

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

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

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

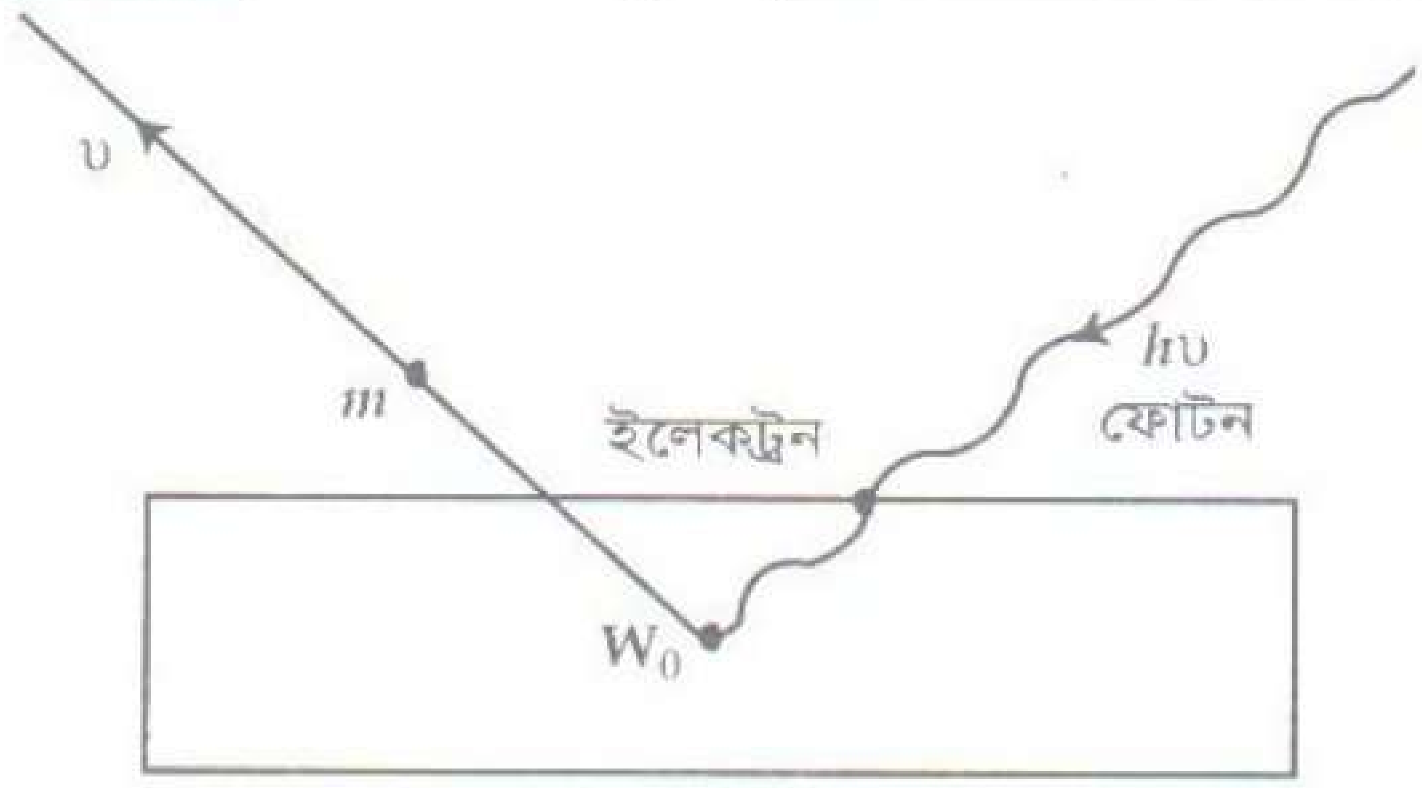
এখানে i = তড়িৎ প্রবাহমাত্রা এবং I = আলোকের প্রাবল্য।

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

আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ সমীকরণ

Einstein's photo electric equation

1905 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত বিজ্ঞানী আইনস্টাইন আলোক তড়িৎ ক্রিয়া ব্যাখ্যার জন্য প্ল্যাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব প্রয়োগ করেন। কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুসারে যে কোনো বিকিরণ অসংখ্য ফোটনের সমষ্টি অর্থাৎ বিকিরণ ফোটনের একটি ঝাঁক বা ঝরনা। একে ফোটন হাইপোথেসিস বলে। যদি υ ফোটনের কম্পাঙ্ক হয়, তবে প্রতিটি ফোটনের শক্তি হবে $= h\upsilon$, এখানে h হলো প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক। মনে করি $h\upsilon$ শক্তিবিশিষ্ট একটি ফোটন কোনো একটি ধাতব পাতের পরমাণুর ওপর আপতিত হলো [চিত্র ৮.১৪]। ফোটনের সাথে পরমাণুর একটি সংঘাত হবে এবং এই সংঘাত একটি স্থিতিস্থাপক সংঘাত হবে। এই সংঘাতের ফলে পরমাণুস্থ একটি ইলেকট্রন ফোটনের সমুদয় শক্তি গ্রহণ করবে এবং কোনো শক্তি স্থানান্তরিত হবে না। এখন ইলেকট্রনটি নিউক্লিয়াসের সঙ্গে আবদ্ধ থাকায় এই শক্তির কিছু অংশ (W) ইলেকট্রনকে নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ হতে মুক্ত করতে ব্যয় হবে। অবশিষ্ট শক্তি নিয়ে ইলেকট্রন v বেগে নির্গত হবে। যদি ইলেকট্রনের ভর m হয় তবে এর গতিশক্তি $= \frac{1}{2}mv^2$।



ধাতব পাত

চিত্র ৮.১৪

অতএব শক্তির নিত্যতা সূত্র হতে পাই,

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

বা, $$\frac{1}{2}mv^2 = h\upsilon - W \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.48)$$

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 (8.48)-কে লেখা যায়

$$\frac{1}{2}mv_m^2 = h\upsilon - W_0 \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.49)$$

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

সমীকরণ (8.48) ও (8.49) হলো আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ সমীকরণ। উপরের সমীকরণে, $v_m = 0$ হলে, $h\upsilon = W_0$। সুতরাং কার্য অপেক্ষকের নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়।

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

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

হিসাব : কোনো পদার্থের কার্য অপেক্ষক 1·85 eV হলে ঐ পদার্থের সূচন কম্পাঙ্ক কত ?

Hints : $W_0 = h\upsilon_0$

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

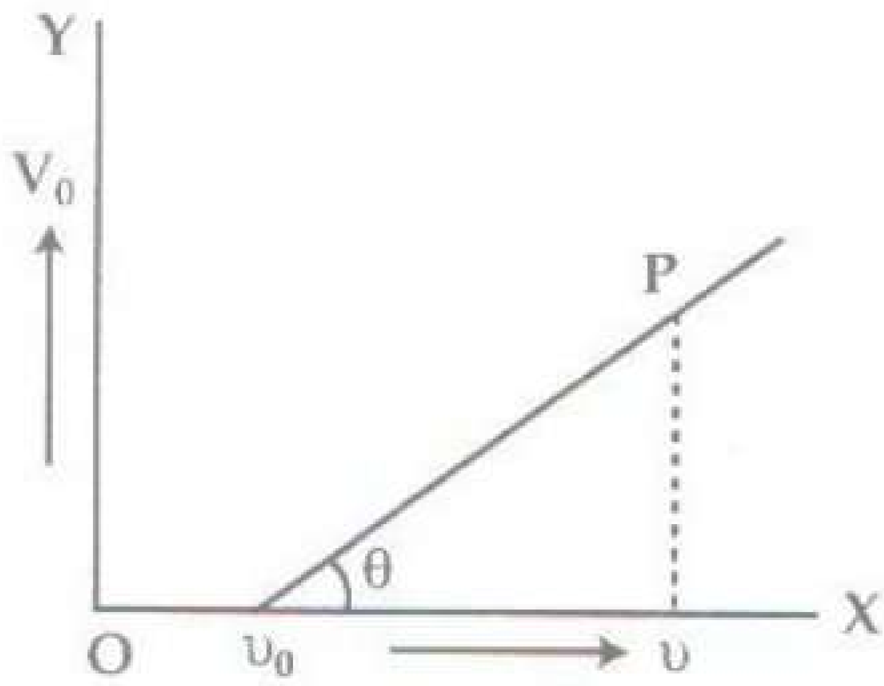
কাজ : আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় উৎপন্ন ইলেকট্রনের গতিশক্তি আপতিত ফোটনের চেয়ে কম হয় কেন ?

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

লেখচিত্র হতে ফটো ইলেকট্রিক ক্রিয়ার সমীকরণ প্রতিপাদন (Deduction of the equation of photoelectric effect from the graph) : পরীক্ষাভিত্তিক যুক্তির ভিত্তিতে আইনস্টাইনের আলোক তড়িৎ সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করা যায়। মনে করি ধাতব পাত হতে সর্বাধিক বেগে নির্গত ইলেকট্রনের চার্জ = e এবং নিবৃত্তি বিভব = V_0। তা হলে আলোক ইলেকট্রনের সর্বাধিক শক্তি হবে = eV_0। পুনঃ, নির্গত ইলেকট্রনের সর্বাধিক বেগ v_m হলে, সর্বাধিক গতিশক্তি = $\frac{1}{2}mv_m^2$

$$\therefore \text{ আমরা পাই, } \frac{1}{2}mv_m^2 = eV_0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.50)$$

কম্পাঙ্ক বৃদ্ধির সাথে সাথে eV_0 বৃদ্ধি পায়। এখন বিকিরণের কম্পাঙ্ক υ-কে X-অক্ষে এবং eV_0-কে Y-অক্ষে বসিয়ে একটি লেখচিত্র অঙ্কন করি। $eV_0 - \upsilon$ লেখটি একটি সরলরেখা হবে যা X-অক্ষকে υ_0-তে ছেদ করবে [চিত্র ৮·১৫]। এক্ষেত্রে υ_0 কম্পাঙ্ককে সূচন কম্পাঙ্ক বা প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক বলা হয়। এই সূচন কম্পাঙ্কের কোনো বিকিরকের তল হতে আলোক ইলেকট্রনের নির্গমন শুরু হবে। উল্লেখ থাকে যে বিভিন্ন বিকিরকের সূচন কম্পাঙ্ক বিভিন্ন হবে। সরলরেখাটির উপর যে কোনো একটি বিন্দু নিই। মনে করি এটি P। ধরি সরলরেখাটি X-অক্ষের সাথে θ কোণ উৎপন্ন করে।



চিত্র ৮·১৫

$$\therefore \text{ আমরা পাই, } \tan\theta = \frac{eV_0}{\upsilon - \upsilon_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.51)$$

কিন্তু $\tan\theta$ = সরলরেখাটির ঢাল = h = ধ্রুব সংখ্যা

$$\therefore \quad h = \frac{eV_0}{\upsilon - \upsilon_0}$$

$$\text{বা, } \quad eV_0 = h(\upsilon - \upsilon_0) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.52)$$

$$\text{বা, } \quad \frac{1}{2}mv_m^2 = h(\upsilon - \upsilon_0) \qquad [\text{ সমীকরণ (8.50) ব্যবহার করে }]$$

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

$$\text{বা, } \quad \frac{1}{2}mv_m^2 = h\upsilon - W_0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.53)$$

এখানে, $h\upsilon_0 = W_0$ = আলোক তড়িৎ কার্য অপেক্ষক (photo-electric work function)। অর্থাৎ কোনো একটি ইলেকট্রনকে বিকিরকের নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ বন্ধন হতে মুক্ত করতে যে পরিমাণ কাজ সম্পাদন করতে হয়, তাকে আলোক তড়িৎ কার্য অপেক্ষক বলে। সমীকরণ (8.53) আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের একটি গুরুত্বপূর্ণ সমীকরণ।

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

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

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

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

(ঘ) আলোকের কম্পাঙ্ক υ-এর মান ক্রমশ হ্রাস পেতে থাকলে ইলেকট্রনের বেগ হ্রাস পায় এবং একটি ন্যূনতম কম্পাঙ্ক υ_0-এর জন্য বেগ শূন্য হয়। ফলে এর নিচের কম্পাঙ্কে কোনো আলোক ইলেকট্রন নির্গত হয় না। অতএব

প্রত্যেক ধাতব বস্তুর জন্য একটি ন্যূনতম কম্পাঙ্ক থাকে যাকে প্রারম্ভ বা সূচন কম্পাঙ্ক বলে। একে υ_0 দ্বারা সূচিত করা হয়। সুতরাং কোয়ান্টাম তত্ত্ব আলোক তড়িৎ ক্রিয়া বিশদভাবে ব্যাখ্যা করতে সক্ষম।

সারণি ৮.২

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

কাজ : আপতিত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য হ্রাস পেলে নির্গত আলোক ইলেকট্রনের বেগের উপর কি প্রভাব হবে ?

আইনস্টাইনের আলোক-তড়িৎ সমীকরণ থেকে পাওয়া যায় যে,

আলোক ইলেকট্রনের গতিশক্তি $= \frac{1}{2}mv^2 = h\upsilon - \upsilon_0 = \frac{hc}{\lambda} - \upsilon_0$

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

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

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

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

কার্য অপেক্ষক ϕ এবং প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ_0 হলে,

$$\lambda_0 = \frac{hc}{\phi_0}$$

সোডিয়ামের ক্ষেত্রে, $\lambda_0 = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{2{\cdot}3 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}}$

$= 5{\cdot}4049 \times 10^{-7}\ \text{m} = 5405\ \text{Å}$

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

গাণিতিক উদাহরণ

১। 6630×10^{-10} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটনের শক্তি নির্ণয় কর। [চ. বো. ২০১০, ২০০৬, ২০০১; দি. বো. ২০০৯; ঢা. বো. ২০০৮, ২০০৪; কু. বো. ২০০৮, ২০০৬; ব. বো. ২০০৬]

আমরা জানি, $E = h\upsilon$

যেহেতু, $c = \upsilon\lambda$

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

$\therefore E = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{6630 \times 10^{-10}}$

$= 3{\cdot}0 \times 10^{-19}$ J

এখানে,

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

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

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

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

ধরা যাক, তিনি n সংখ্যক এক্সরে 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,

ফোটনের শক্তি $= 40,000\ eV$

$= 40,000 \times 1.6 \times 10^{-19}$ J

$= 6.4 \times 10^{-15}$ J

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

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

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

আমরা জানি,

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

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

$$\therefore v = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 10000}{9.1 \times 10^{-31}}}$$

$$= 59.29 \times 10^6\ \text{ms}^{-1}$$

এখানে,

$V = 10$ kilo volt

$= 10000$ volt

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

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

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

[কু. বো. ২০০৫; চ. বো. ২০০১; রা. বো. ২০০০]

আমরা জানি, কার্য অপেক্ষক,

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

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

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

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

এখানে,

$\lambda_0 = 6800$ Å

$= 6800 \times 10^{-10}$ m

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

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

৫। কোনো ধাতুর উপর 2500 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতিবেগুনী রশ্মি ফেলা হলো। ধাতুর কার্য অপেক্ষক 2·3 eV হলে নিঃসৃত ফটো ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ বেগ কত হবে ? [কু. বো. ২০১০; রা. বো. ২০০৭, ২০০৫; ব. বো. ২০০৬]

আমরা জানি,

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

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

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

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

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

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

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

এখানে,

$\lambda = 2500$ Å

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

$W_0 = 2.3\ eV$

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

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

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

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

৮.১৩ ডি-ব্রগলীর বস্তু তরঙ্গ
de-Broglie's Matter Waves

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

কোয়ান্টাম তত্ত্ব হতে প্রমাণিত হয়েছে যে বিকিরণ বা শক্তির দ্বৈত ধর্ম রয়েছে—একটি **কণা ধর্ম**, অপরটি **তরঙ্গ ধর্ম**। এ মতবাদ আবিষ্কৃত হওয়ার তেইশ বছরের মধ্যে কোনো বিজ্ঞানীর মাথায় আসে নি যে শক্তির ন্যায় পদার্থের দুটি ধর্ম থাকতে পারে অর্থাৎ **পদার্থেরও তরঙ্গ প্রকৃতি থাকতে পারে**। 1924 খ্রিস্টাব্দে ফরাসি বিজ্ঞানী **লুইস ডি-ব্রগলী** (Louis de-Broglie) *এ মতবাদ প্রচার করেন। তিনি উল্লেখ করেন যে, পদার্থ যা অণু, পরমাণু, প্রোটন, নিউট্রন, ইলেকট্রন প্রভৃতি* ভিন্ন ভিন্ন কণার সমন্বয়ে গঠিত নিশ্চয়ই কোনো যথোপযোগী পরিস্থিতির মধ্যে তরঙ্গ প্রকৃতি প্রদর্শন করবে। এক কথায় বলা যায়—পদার্থেরও ঠিক তরঙ্গের মতো দ্বৈত প্রকৃতি রয়েছে। অতএব, **প্রত্যেকটি চলমান পদার্থ কণার সাথে একটি তরঙ্গ যুক্ত থাকে। আবিষ্কারকের নাম অনুসারে এই তরঙ্গ ডি-ব্রগলী বস্তু তরঙ্গ** (de-Broglie's matter waves) **নামে পরিচিত** এবং এই তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে **ডি-ব্রগলী তরঙ্গদৈর্ঘ্য** (de-Broglie's wavelength) বলে।

ব্যাখ্যা : ডি-ব্রগলী বস্তু তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে ডি-ব্রগলী তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলে।

প্ল্যাঙ্কের কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুসারে একটি ফোটনের শক্তি,

$$E = h\upsilon \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.54)$$

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

$$E = mc^2 \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.55)$$

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

$\therefore$ সমীকরণ (8.54) এবং (8.55) হতে পাই

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

$$\therefore \quad m = \frac{h\upsilon}{c^2} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.56)$$

মনে করি ফোটনের ভরবেগ $= p$

$\therefore \quad p$ = ফোটনের ভর × ফোটনের বেগ

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

$$= \frac{h\upsilon}{c} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.57)$$

পুনঃ, $c = \lambda\upsilon \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.58)$

বা, $\lambda = \dfrac{c}{\upsilon} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.59)$

$\therefore$ সমীকরণ (8.57) এবং (8.58) হতে পাই,

$$p = \frac{h\upsilon}{c} = \frac{h\upsilon}{\lambda\upsilon} = \frac{h}{\lambda} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.60)$$

বা, $\lambda = \dfrac{h}{p} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.61)$

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

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

$$\boxed{\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.62)$$

এখানে, m = পদার্থ কণিকার ভর,
v = পদার্থ কণিকার বেগ
এবং mv = পদার্থ কণিকার ভরবেগ।

এটাই বিখ্যাত ডি-ব্রগলী সমীকরণ, এটি দ্বারা পদার্থ কণিকার তরঙ্গ ধর্ম প্রকাশিত হয়েছে। উক্ত সমীকরণ হতে গতিশীল কণার তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়।

অনুসন্ধান কর : কণিকা-তরঙ্গ কী তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ ?

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

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

তরঙ্গ-কণা দ্বৈততা

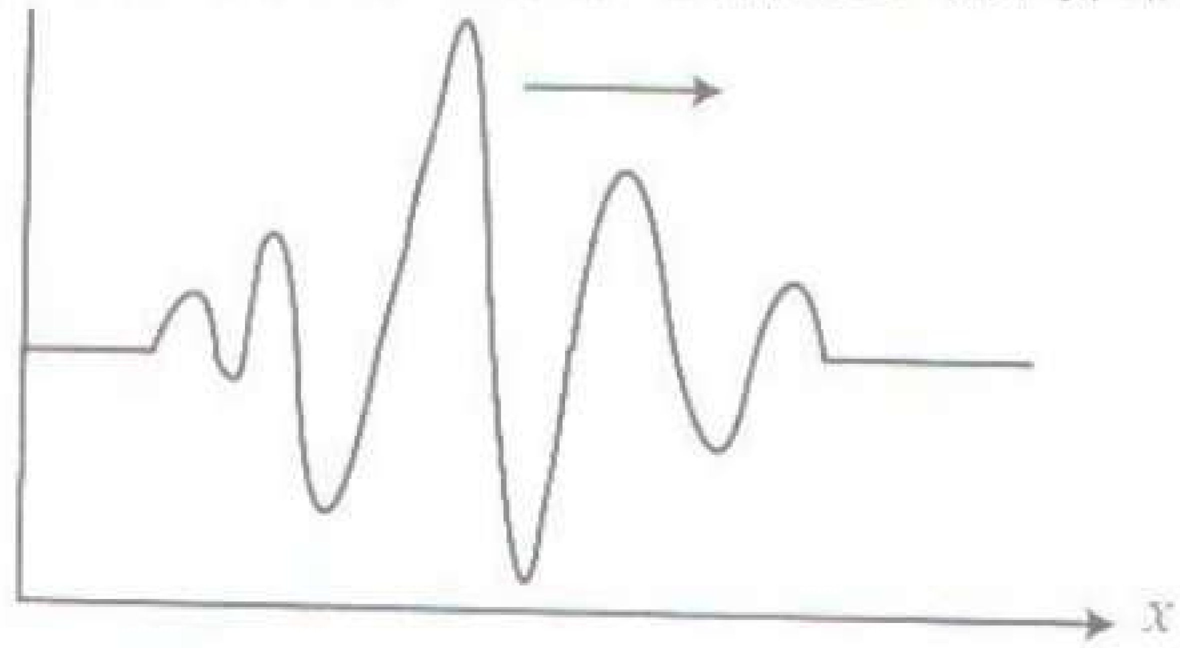
তড়িৎচুম্বকীয় বিকিরণকে ফোটন কণার স্রোত হিসেবে ধরে নিলে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া, কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণ, পরমাণবিক বর্ণালি ইত্যাদির ব্যাখ্যা পাওয়া যায়; তবে এই তত্ত্ব দিয়ে ব্যতিচার, অপবর্তন, সমবর্তন ইত্যাদি আলোকীয় ঘটনাবলি বিশ্লেষণ করা যায় না। অপরদিকে, বিকিরণের তরঙ্গতত্ত্ব সঠিকভাবেই ব্যতিচার, অপবর্তন, সমবর্তন ইত্যাদি ঘটনাগুলিকে ব্যাখ্যা করতে পারে। তাই আধুনিক মতে, পরীক্ষা ভেদে বিকিরণ কখনও তরঙ্গের মতো, আবার কখনও কণার স্রোতের মতো আচরণ করে। অর্থাৎ বিকিরণের দুটি রূপ রয়েছে—তরঙ্গরূপ ও কণারূপ। সুতরাং তরঙ্গতত্ত্ব এবং কণাতত্ত্ব পরস্পর বিরোধী তো নয়ই, বরং একই মুদ্রার এপিঠ-ওপিঠের মতোই পরস্পরের পরিপূরক। একেই তরঙ্গ কণিকা দ্বৈততা বলে।

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

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

গুচ্ছ বেগ (Group velocity) : ভিন্ন কম্পাঙ্কের একাধিক সাইন ধর্মী তরঙ্গের উপরিপাত হলে তরঙ্গ রূপটি পরিবর্তিত হয়। এভাবে ক্রমশ পরিবর্তনশীল কম্পাঙ্কের বহু সংখ্যক সাইন ধর্মী তরঙ্গের উপরিপাতের ফলে যে লব্ধি তরঙ্গ গঠিত হয়, তার সাধারণ রূপটি দেখানো হলো [চিত্র ৮.১৬]। একেই তরঙ্গ গুচ্ছ বা সমষ্টি বলে এবং তরঙ্গ-গুচ্ছের বেগকে গুচ্ছ বেগ বা সমষ্টি বেগ (Group velocity) বলা হয়।

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



চিত্র ৮.১৬

উদাহরণ : পুকুরের পানিতে ঢিল ছুড়লে অল্প কয়েকটি মাত্র তরঙ্গ শীর্ষ ও তরঙ্গ পাদ নিয়ে চিত্র ৮.১৫-এর অনুরূপ একটি তরঙ্গগুচ্ছ উৎপন্ন হয়। এটি পানি তলের ওপর দিয়ে বৃত্তের আকারে বিস্তার লাভ করে। এই তরঙ্গগুচ্ছের বেগ কণার বেগের সমান।

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

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

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

$$\therefore \quad P = \frac{h}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{2 \times 10^{-12}}$$

আবার,

$$E = \frac{P^2}{2m} = \frac{\left(\frac{6.63 \times 10^{-34}}{2 \times 10^{-12}}\right)^2}{2 \times 9.1 \times 10^{-31}} = 6.04 \times 10^{-14}\,\text{J}$$

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

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

মনে করি একটি ইলেকট্রনের বেগ $10^7\ ms^{-1}$। তাহলে ইলেকট্রনটির ডি ব্রগলী তরঙ্গদৈর্ঘ্য হবে, $\lambda = \frac{h}{mv}$

$= \frac{6.63 \times 10^{-34}}{(9.1 \times 10^{-31}) \times 10^7} = 0.73\ \mathring{A}$। এই তরঙ্গদৈর্ঘ্য এক্স-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমতুল।

এখন মনে করি একটি গতিশীল বস্তুর ভর 20 gm এবং বেগ $20\ ms^{-1}$। তাহলে বস্তুটির ডি ব্রগলী তরঙ্গদৈর্ঘ্য হবে, $\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{0.02 \times 20} = 3.15 \times 10^{-33}$ m। এই মান এতই ক্ষুদ্র যে একে পরিমাপের কোনো ব্যবস্থা নেই এবং এত ক্ষুদ্র তরঙ্গের কোনো বাস্তব অস্তিত্ব নেই। সুতরাং, ডি-ব্রগলী কণিকা-তরঙ্গ শুধুমাত্র পারমাণবিক পর্যায়ের কণার ক্ষেত্রেই গুরুত্বপূর্ণ।

গাণিতিক উদাহরণ

১। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6000 এ ইউ (A.U.) হলে একটি ফোটনের শক্তি নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$E = h\nu$$

$$E = h\frac{c}{\lambda} \quad (\because \nu = \frac{c}{\lambda})$$

$$\therefore \quad E = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{6000 \times 10^{-10}}$$

$$= 3.31 \times 10^{-19}\ J = 2.07\ eV$$

এখানে,

$\lambda = 6000$ A. U. $= 6000 \times 10^{-10}$ m

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

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

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

আমরা জানি,

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

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

এখানে,

$m = 1.673 \times 10^{-27}$ kg

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

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

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

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

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

বা, $mv^2 = 2K$

বা, $m^2v^2 = 2mK$

বা, $mv = \sqrt{2mK} = p$

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

বা, $mK = \frac{h^2}{2\lambda^2}$

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

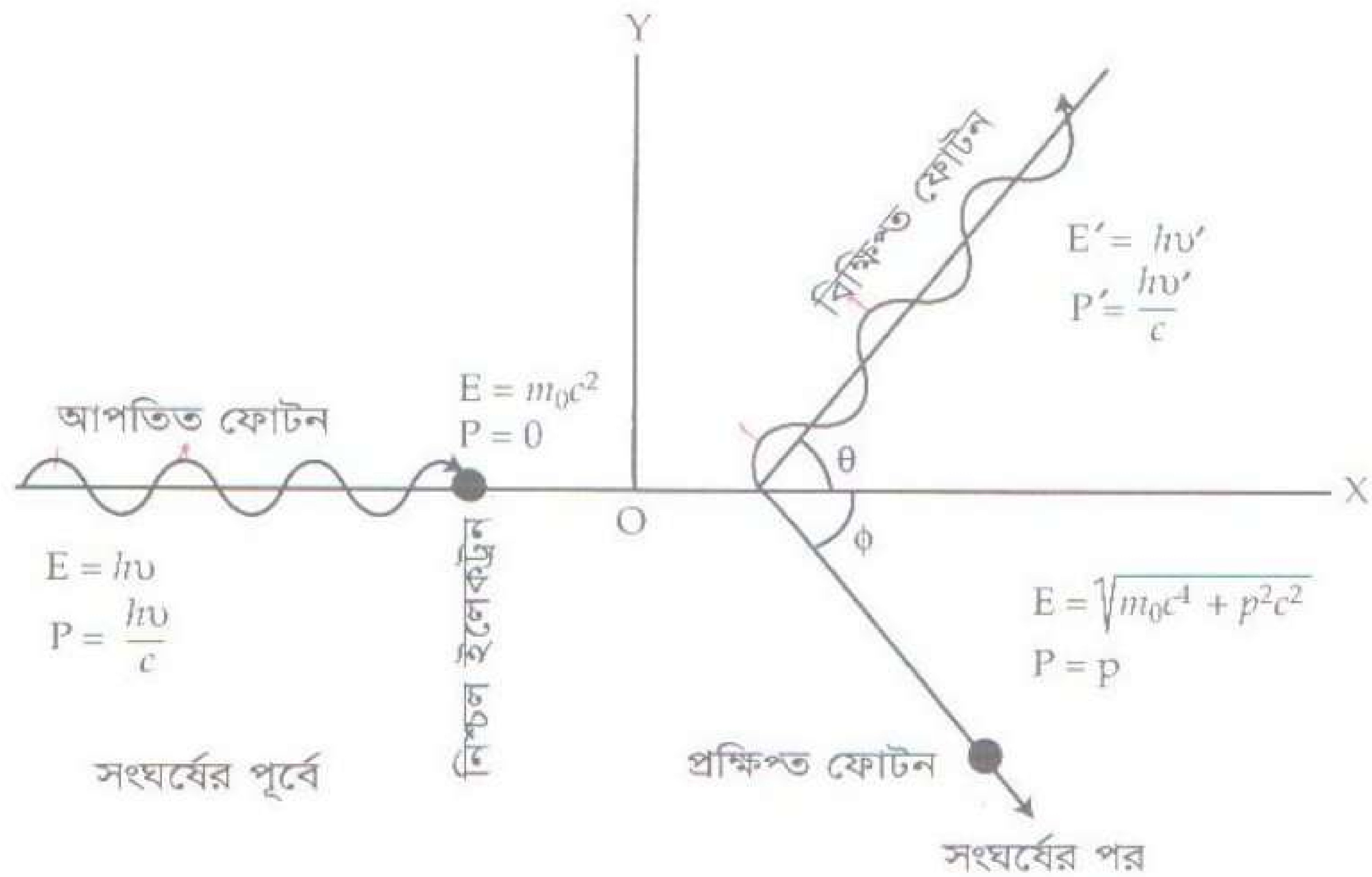
$$\frac{K_e}{K_p} = \sqrt{\frac{m_p}{m_e}} > 1 \qquad [\because m_p > m_e]$$

অর্থাৎ ইলেকট্রনের গতিশক্তি বেশি।

৮·১৪ কম্পটন ক্রিয়া
Compton Effect

আলোকের তেজকণা প্রতিষ্ঠিত হবার পর বিজ্ঞানী কম্পটন (Compton) 1925 খ্রিস্টাব্দে প্রস্তাব করেন যে, কোনো একটি শক্তিশালী ফোটনের সাথে পদার্থের কণিকা ইলেকট্রনের সংঘর্ষ ঘটলে ফোটনটি ইলেকট্রনকে কিছু শক্তি প্রদান করে। ফলে ফোটনের নিজস্ব শক্তি কিছু পরিমাণ হ্রাস পায়। এভাবে ফোটনের নিজস্ব শক্তি ব্যয় হবার ফলে বিক্ষিপ্ত ফোটনের শক্তি (scattered photon energy) আপতিত ফোটনের (incident photon) চেয়ে কম হয়। অর্থাৎ বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য আপতিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চেয়ে বেশি হবে। তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এই পরিবর্তনকে কম্পটন প্রভাব বা **কম্পটন ক্রিয়া** বলে।

বিজ্ঞানী কম্পটন পদার্থের এক্স-রশ্মির বিক্ষেপণ প্রক্রিয়াকে ফোটনের সাথে ইলেকট্রনের সংঘর্ষ কল্পনা করে ফোটনের ও ইলেকট্রনের শক্তি ও গতিবেগের নিত্যতার নিয়ম প্রয়োগের মাধ্যমে ফোটনের কম্পন হার বা তরঙ্গদৈর্ঘ্য পরিবর্তন গণনা করেন। কার্বন, অ্যালুমিনিয়াম প্রভৃতি হালকা মৌলিক পদার্থের ইলেকট্রন দ্বারা একবর্ণী এক্স-রশ্মি বিক্ষিপ্ত হলে বিক্ষিপ্ত রশ্মির ভেতর আপতিত তরঙ্গদৈর্ঘ্য ছাড়াও কিছু পরিবর্তিত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্মি পাওয়া যায়। এই পরিবর্তিত তরঙ্গদৈর্ঘ্যগুলি প্রাথমিক এক্স-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা দীর্ঘতর হয়। কম্পটন ক্রিয়া চিত্র ৮·১৭-এ দেখান হলো।



চিত্র ৮.১৭ : কম্পটন ক্রিয়া

সংঘর্ষে ফোটনের হারানো শক্তি ইলেকট্রনের গতিশক্তির সমান হবে। বিক্ষিপ্ত ফোটনের শক্তি ফোটনের চেয়ে কম হবে। অর্থাৎ বিক্ষিপ্ত ফোটনের কম্পাংক υ' আপতিত ফোটনের কম্পাংক υ অপেক্ষা কম হবে ($\upsilon > \upsilon'$)। সুতরাং ইলেকট্রনের অর্জিত গতিশক্তির পরিমাণ হবে,

$$h\upsilon - h\upsilon' = E_k \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.63)$$

এখানে h = প্লাঙ্কের ধ্রুবক, E_k = ইলেকট্রনের গতিশক্তি।

ইলেকট্রনের নিশ্চল m_0 হলে শক্তির নিত্যতার সূত্র অনুযায়ী সংঘর্ষের পূর্বের মোট শক্তির পরিমাণ সংঘর্ষ পরবর্তী মোট শক্তির পরিমাণের সমান হবে। অর্থাৎ

$$h\upsilon + m_0c^2 = h\upsilon' + \sqrt{m_0^2c^4 + p^2c^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8.64)$$

আপতিত ফোটনের শক্তি + ইলেকট্রনের নিশ্চল ভর শক্তি = বিক্ষিপ্ত ফোটনের শক্তি + বিক্ষিপ্ত ইলেকট্রনের সমগ্র শক্তি।
সংঘর্ষের আগে সংঘর্ষের পরে

কম্পটন ক্রিয়ায় আপতিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) এবং বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ') এর পরিবর্তন $\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta)$ হয়। এই সমীকরণে h, m_0, c এর মান বসিয়ে কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়।

অর্থাৎ, কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda_c = \frac{h}{m_0 c} = \frac{6.63 \times 10^{-34}\ \text{Js}}{9.1 \times 10^{-31}\ \text{kg} \times 3 \times 10^{8}\ \text{ms}^{-1}}$

$= 0.02468 \times 10^{-10}\ \text{m} = 0.02468 \text{Å}$

ইলেকট্রনের কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0.02468Å বলতে বুঝায় ইলেকট্রনের সাথে কোনো ফোটনের সংঘর্ষ হলে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য সর্বোচ্চ 0.02468Å পরিমাণ বৃদ্ধি পায়।

অনুসন্ধান কর : কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য কী ? কম্পটন ক্রিয়ায় বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য সর্বদা আপতিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা বড় হয়। বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে ?

গাণিতিক উদাহরণ

১। 3×10^{19} হার্জ আদি কম্পাঙ্কের একটি X-রশ্মি ফোটন একটি ইলেকট্রনের সাথে সংঘর্ষের ফলে 90° কোণে বিক্ষিপ্ত হয়। এর নতুন কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। (ইলেকট্রনের কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য 8×10^{-12} m)

এখানে,
$\upsilon_0 = 3 \times 10^{19}/\text{s}$
$\phi = 90°$

আমরা জানি,

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

আবার, $\frac{h}{m_0 c} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^{8}} = 2.43 \times 10^{-12}\ \text{m}$

$$\therefore \quad \lambda' = 2.43 \times 10^{-12}\ (1 - \cos 90°) + \frac{c}{\upsilon_0}$$

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

$$\therefore \quad \lambda' = 2.43 \times 10^{-12} + 0.1 \times 10^{-12} = 2.44 \times 10^{-12}\ \text{m}$$

এবং $\upsilon' = \frac{c}{\lambda'} = \frac{3 \times 10^{8}}{2.44 \times 10^{-12}}\ \text{s}^{-1} = 1.23 \times 10^{20}\ \text{s}^{-1}$

২। 0.240×10^{-9} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক্স রশ্মি কোনো ইলেকট্রনের উপর আপতিত হয়ে 60° কোণে বিক্ষিপ্ত হয়। বিক্ষিপ্ত এক্স রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। ($\lambda_c = 0.00243 \times 10^{-9}$ m)

আমরা জানি,

$$\begin{aligned} \lambda' &= \lambda + \lambda_c (1 - \cos\phi) \\ &= 0.240 \times 10^{-9} + 0.00243 \times 10^{-9} (1 - \cos 60°) \\ &= 0.2412 \times 10^{-9}\ \text{m} \\ &= 0.2412\ \text{nm}. \end{aligned}$$

৮.১৫ হাইসেনবার্গ-এর অনিশ্চয়তা নীতি
Heisenberg's Uncertainty Principle

ডি-ব্রগলীর 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। সুতরাং বিজ্ঞানী হাইসেনবার্গ তরঙ্গধর্মী বস্তুর অবস্থান ও ভরবেগ নির্ণয়ে অনিশ্চয়তার ধারণা পোষণ করেন। তাঁর মতে কোনো কণার অবস্থান ও ভরবেগ একই সাথে সঠিকভাবে নির্ণয় করা সত্যই অসম্ভব। অর্থাৎ কোনো নির্দিষ্ট দিকে কোনো কণার অবস্থানের পরিমাপ যতই নির্ভুল হবে তার ভরবেগের পরিমাপের ভুলের মাত্রা ততই বেশি হবে। আবার ভরবেগের পরিমাপ যতই নির্ভুল হবে, অবস্থানের পরিমাপ ততই অনিশ্চিত হবে। একেই **হাইসেনবার্গ-এর অনিশ্চয়তা সূত্র** বলা হয়। সূত্রটি নিম্নে বিবৃত হলো :

"কোনো কণার অবস্থান এবং ভরবেগ যুগপৎ পরিমাপ করা যায় না।" নিম্নের গাণিতিক সম্পর্ক দ্বারা অনিশ্চয়তা নীতি প্রকাশ করা যায়।

$$\Delta x . \Delta p \geq \frac{\hbar}{2},$$ এখানে $\frac{h}{2\pi} = \hbar$ প্ল্যাঙ্কের হ্রাসকৃত ধ্রুবক।

অতএব, কোনো নির্দিষ্ট দিকে কোনো কণার অবস্থান ও ভরবেগকে একই সাথে নির্ণয় করতে হলে অনিশ্চয়তার পরিমাণদ্বয়ের গুণফল $\frac{\hbar}{2}$ এর চেয়ে বৃহত্তর বা সমান। কোনো বস্তুর শক্তি ও সময়ের ক্ষেত্রেও এ সম্পর্ক প্রযোজ্য। সময় শক্তি অনিশ্চয়তা হলো

$$\Delta E . \Delta t \geqslant \frac{\hbar}{2}$$

কাজ : অনিশ্চয়তা নীতি থেকে তুমি কীভাবে দেখাবে যে নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে ইলেকট্রন থাকতে পারে না।

পরমাণুর নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ 10^{-14} m প্রায়। সুতরাং ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের অভ্যন্তরে আবদ্ধ থাকতে হলে এর অবস্থানের অনিশ্চয়তা অবশ্যই 2×10^{-14} m অধিক হবে না।

এখন Δx এবং Δp যথাক্রমে অবস্থান ও ভরবেগের অনিশ্চয়তা হলে,

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

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

এখন ভরবেগ অনিশ্চয়তা এই মানের হলে ইলেকট্রনের ভরবেগ অবশ্যই ন্যূনতম পক্ষে এই মানের সমতুল্য হবে, অর্থাৎ $p = 2.64 \times 10^{-21}$ kg ms^{-1}

তাহলে ইলেকট্রনের গতিশক্তি,

$$E = \frac{p^2}{2m} = \frac{(2.64 \times 10^{-21})^2}{2 \times 9.1 \times 10^{-31}} = 3.83 \times 10^{-12} J$$

$$= \frac{3.83 \times 10^{-12}}{1.6 \times 10^{-19}} eV = 23.93437 \times 10^6 eV$$

$$= 23.93 \text{ M}eV$$

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

নিজে কর : হাইসেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি অনুযায়ী আমরা জানি $\Delta x . \Delta p \geqslant \frac{h}{2\pi}$, যদি Δx এর মান শূন্য হয় তবে Δp এর মান কিরূপ হবে ?

যেহেতু Δx ও Δp এর গুণফল-এর মান $\geqslant \frac{h}{2\pi}$, কাজেই একটি অনিশ্চয়তা শূন্য হলে অপরটির অনিশ্চয়তা অসীম হবে। তাই এক্ষেত্রে অবস্থানের অনিশ্চয়তা শূন্য হলে ভরবেগের অনিশ্চয়তা সর্বাধিক বা অসীম হবে।

গানিতিক উদাহরণ

১। একটি ইলেকট্রনের অবস্থানের অনিশ্চয়তা 0.4×10^{-10} m। এর ভরবেগের অনিশ্চয়তা কত ?

আমরা জানি,

$$\Delta P . \Delta x = \frac{\hbar}{2} = \frac{h}{2 \times 2\pi}$$

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

$$\therefore \quad \Delta P = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{5.024 \times 10^{-10}}$$

$$= 1.31 \times 10^{-24} \text{ kg ms}^{-1}$$

এখানে,

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

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

$\Delta P = ?$

২। একটি মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে পরমাণুর মধ্যকার ইলেকট্রনের অবস্থান 0·25 Å দূরত্বের মধ্যে নির্ণয় করার সময় ইলেকট্রনের ভরবেগ নিরূপণে অনিশ্চয়তা কত ?

আমরা জানি,

$$\Delta x \,.\, \Delta P = \frac{\hbar}{2} = \frac{h}{2 \times 2\pi}$$

বা, $$\Delta P = \frac{1}{\Delta x} \times \frac{h}{2\pi \times 2}$$

$$= \frac{6·63 \times 10^{-34}}{4 \times 3·14 \times 0·25 \times 10^{-10}}$$

$$\therefore \Delta P = \frac{6·63 \times 10^{-34}}{5·024 \times 10^{-10}} = \frac{6·63 \times 10^{-34}}{3·14 \times 10^{-10}}$$

$$= 2·11 \times 10^{-24} \text{ kg ms}^{-1}$$

এখানে,

ইলেকট্রনের অবস্থানের অনিশ্চয়তা,

$\Delta x = 0·25 \text{ Å} = 0·25 \times 10^{-10}$ m

প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, $h = 6·67 \times 10^{-34}$ Js

ইলেকট্রনের ভরবেগের অনিশ্চয়তা, $\Delta P = ?$

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

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

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

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

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

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

$$E = h\upsilon \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

$$\frac{1}{2} m v_{max}^2 = h\upsilon - W_0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

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

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

$$\frac{1}{2} m v^2_{max} = eV \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10)$$

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

$$\Delta x . \Delta p \geqslant \frac{\hbar}{2}, \quad \hbar = \frac{h}{2\pi} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (12)$$

উচ্চতর দক্ষতাসম্পন্ন নমুনা গাণিতিক উদাহরণ

১। বিজ্ঞানী আইনস্টাইন পটাসিয়াম ধাতু নিয়ে ফটো ইলেকট্রিক পরীক্ষা চালানোর সময় দেখতে পান ঐ ধাতু পৃষ্ঠ হতে ইলেকট্রন নিঃসরণের জন্য সর্বোচ্চ 4400Å তরঙ্গদৈর্ঘের আলোর প্রয়োজন। পরীক্ষণের সময় ধাতব পাতের উপর 1500Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতিবেগুনি রশ্মি আপতিত হলো।

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

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

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

সূচন কম্পাঙ্ক, $\upsilon_0 = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{4400 \times 10^{-10}} = 6·82 \times 10^{14}$ Hz

আপতিত তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 1500 \times 10^{-10}$ m

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

আবার, $h\upsilon = h\upsilon_0 + K_{max}$

বা, $K_{max} = h\upsilon - h\upsilon_0 = h(\upsilon - \upsilon_0)$

$= 6.63 \times 10^{-34} \times (2 \times 10^{15} - 6.82 \times 10^{14})$

$= 8.74 \times 10^{-19}$ J

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

এখানে,
K_{max} = নিঃসৃত ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি

(খ) কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুযায়ী, একটি ফোটনের সাথে কেবলমাত্র একটি ইলেকট্রনই সংঘর্ষে লিপ্ত হয় এবং ইলেকট্রনটি তার গৃহীত শক্তি অন্যান্য ইলেকট্রনকে দেয় না। সুতরাং এই সংঘর্ষে শক্তি সংরক্ষিত থাকে এবং একে স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ বলে। স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষে শক্তির তাৎক্ষণিক স্থানান্তর হয় বলে আলোক রশ্মির আপতন ও ইলেকট্রন নির্গমন এই দুইয়ের মাঝে কোনো কালবিলম্ব ঘটে না।

সুতরাং পটাসিয়ামের ধাতব পাতটিতে আলোক রশ্মি আপতিত হওয়ার সাথে সাথে ইলেকট্রন নিঃসৃত হবে।

২। মহাকাশে গ্রহ-নক্ষত্রের উপর গবেষণা চালাবার জন্য পৃথিবী থেকে একটি মহাকাশযানে কয়েকজন জ্যোতির্বিজ্ঞানী 0.8 c বেগে চলছিল। ঐ সময়ে মহাকাশযানে কোনো নভোচারী বায়ুস্তরের উচ্চতা প্রকৃত উচ্চতা থেকে ভিন্ন অনুমান করলেন।

(ক) মহাকাশযানটি ভূমি থেকে 10 km উচ্চতায় থাকলে নভোচারীর নিকট এই বায়ুস্তরের উচ্চতা কত মনে হবে ?

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

(ক) এখানে বায়ুর বেগ, $v = 0.8\,c$

ভূমি থেকে মহাকাশযানের প্রকৃত উচ্চতা, $l_0 = 10000$ m

নভোচারীর কাছে এ উচ্চতা, $l = ?$

আলোর বেগ $= c$ ধরি

আমরা জানি,

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

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

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

নভোচারীর নিকট এই উচ্চতা 6000 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।

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

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

$\therefore \quad l < l_0$

সুতরাং 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

৩। ফটো তড়িৎ ক্রিয়া পরীক্ষণে দেখা গেল পটাশিয়াম ধাতুর উপর 4400 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো আপতিত হলে শুধুমাত্র ইলেকট্রন নির্গত হয় কিন্তু গতিপ্রাপ্ত হয় না। যদি 1500 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো আপতিত হয় তবে ইলেকট্রন নিঃসরিত হয় এবং গতিশক্তিপ্রাপ্ত হয়। [ঢা. বো. ২০

(ক) পটাশিয়ামের কার্য অপেক্ষক নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকে নিঃসরিত ইলেকট্রনের গতিশক্তিপ্রাপ্ত হওয়া না হওয়ার কারণ কী? গাণিতিক উল্লেখসহ মতামত দাও।

(ক) আমরা জানি,

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

এখানে,
$\lambda_0 = 4400\ \text{Å} = 4400 \times 10^{-10}$ m
$h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js
কার্য অপেক্ষক, $W_0 = ?$

(খ) ইলেকট্রনসমূহ কক্ষপথে নির্দিষ্ট পরিমাণ শক্তি নিয়ে ঘুরে। এদেরকে কক্ষপথ হতে বিচ্যুত করতে হলে ন্যূনতম মানের শক্তির প্রয়োজন হয়। এই শক্তি পাওয়া যেতে পারে ফোটন হতে। ফোটনের শক্তি এর কম্পাঙ্কের সমানুপাতিক এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ব্যস্তানুপাতিক। সেজন্য ইলেকট্রন অবমুক্ত করতে হলে ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য একটি সর্বোচ্চ মানের চেয়ে বেশি হতে পারে না। এই মানকে সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য বলে। উদ্দীপকে সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য 4400 Å। এর চেয়ে কম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটন আপতিত হলে অবমুক্ত ইলেকট্রন গতিশক্তিপ্রাপ্ত হবে এবং যে শক্তির প্রয়োজন তা হলো,

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

এখানে,
$\lambda = 1500\ \text{Å} = 1500 \times 10^{-10}$ m
$E = ?$

(ক) থেকে প্রাপ্ত $W_0 = 2.825\ eV$

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

$$K_{max} = 8.2875\ eV - 2.825\ eV$$
$$= 5.4625\ eV$$

অর্থাৎ আপতিত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কম বা কম্পাঙ্ক বেশি হওয়ায় আপতিত গতিশক্তি পটাশিয়ামের কার্য অপেক্ষকের চেয়ে অনেক বেশি। ফলে ধাতু হতে উচ্চ গতিশক্তির ইলেকট্রন নির্গত হয়।

৪। 2500 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্মি কোনো লক্ষ্যবস্তুকে আঘাত হেনে 60° কোণে বিক্ষিপ্ত হলো। ইলেকট্রনের নিশ্চল ভর 9.1×10^{-31} kg, $h = 6.67 \times 10^{-34}$ Js।

(ক) বিক্ষিপ্ত এক্স-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(খ) এক্স রশ্মির পরিবর্তে 2500 Å এবং 3500 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট দুটি তড়িৎচুম্বক তরঙ্গ আলাদাভাবে কোনো ধাতব পৃষ্ঠে পতিত হওয়ায় ইলেকট্রন নির্গত হলো। ধাতুটির সূচন কম্পাঙ্ক 5.5×10^{14} Hz হলে উভয় ক্ষেত্রে নিবৃত্তি বিভবের তুলনামূলক গাণিতিক বিশ্লেষণ কর।

(ক) আমরা জানি,

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\phi)$$
$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\phi)$$

এখানে,
$\lambda = 0.2500$ nm
$= 0.2500 \times 10^{-9}$ m
$\lambda' = ?$

$$= 0.2500 \times 10^{-9} + \frac{6.63 \times 10^{-34}}{9.1 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^8}(1 - \cos 60°)$$
$$= 0.251214 \times 10^{-9}\ \text{m} = 0.251214\ \text{m}$$

(খ) ১ম ক্ষেত্রে তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda_1 = 2500\ \mathring{A} = 2500 \times 10^{-10}$ m

২য় ক্ষেত্রে তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda_2 = 3500\ \mathring{A} = 3500 \times 10^{-10}$ m

আমরা জানি,

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

$$\frac{hc}{\lambda_1} = eV_0 + h\upsilon_0$$

ধাতুর সূচন কম্পাঙ্ক, $\upsilon_0 = 5.5 \times 10^{14}$ Hz

বা, $$V_0 = \frac{hc}{e\lambda_1} - \frac{h\upsilon_0}{e} = \frac{h}{e}\left(\frac{c}{\lambda_1} - \upsilon_0\right)$$

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

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে

$$V_0' = \frac{hc}{e\lambda_2} - \frac{h\upsilon_0}{e} = \frac{h}{e}\left(\frac{c}{\lambda_2} - \upsilon_0\right)$$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34}}{1.6 \times 10^{-19}}\left[\frac{3 \times 10^8}{3500 \times 10^{-10}} - 5.5 \times 10^{14}\right] = 1.27 \text{ volt}$$

$\therefore$ $V_0 : V_0' = 2.69 : 1.27$ এক্ষেত্রে 2500 $\mathring{A}$ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য নিবৃত্তি বিভবের মান বেশি হবে।

৫। 20 kg ভরের ও 10 m দৈর্ঘ্যের কোনো একটি বস্তু স্থিরাবস্থা থেকে 0.5 c বেগে চলা আরম্ভ করল। [ব. বো. ২০১৫]

(ক) বস্তুটির গতিশীল অবস্থার দৈর্ঘ্য কত ?

(খ) নিউটনীয় বলবিদ্যা হতে প্রাপ্ত গতিশক্তি ও আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে গতিশক্তি এক নয়—উদ্দীপকে প্রদত্ত তথ্যের আলোকে বিশ্লেষণ কর।

(ক) আমরা জানি,

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

$$= 10 \times \sqrt{1 - \left(\frac{(0.5\, c)^2}{c}\right)} = 8.66 \text{ m}$$

এখানে,
$L_0 = 10$ m
$v = 0.5\, c$
চলমান দৈর্ঘ্য $L = ?$

(খ) নিউটনীয় বলবিদ্যা হতে প্রাপ্ত গতিশক্তি,

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

$$= \frac{1}{2} \times 20 \times (0.5 \times 3 \times 10^8)^2$$

$$= 2.25 \times 10^{17} \text{ J}$$

এখানে,
$v = 0.5\, c = 0.5 \times 3 \times 10^8$ m
$E = ?$

আপেক্ষিক তত্ত্ব থেকে প্রাপ্ত গতিশক্তি,

$$E' = (m - m_0)c^2$$

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

$$= \left(\frac{20}{\sqrt{1 - \left(\frac{0.5\, c}{c^2}\right)}} - 20\right) \times (3 \times 10^8)^2 = 2.7846 \times 10^{17} \text{ J}$$

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

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

সার-সংক্ষেপ

প্রসঙ্গ কাঠামো : বস্তুর অবস্থান বা গতি বর্ণনার জন্য যে প্রসঙ্গ স্থানাঙ্ক নির্দেশ ব্যবস্থা 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 রূপান্তর সূত্র : যে রূপান্তর সূত্রে বিদ্যুৎ চুম্বকীয় সমীকরণ বিভিন্ন কাঠামোতে অভিন্ন থাকে, তাকে লরেঞ্জের রূপান্তর সূত্র বলে।

দৈর্ঘ্য সংকোচন : কোনো বস্তুর গতিশীল অবস্থার দৈর্ঘ্য, ঐ বস্তুর স্থির অবস্থার দৈর্ঘ্যের চেয়ে ছোট হওয়াকে দৈর্ঘ্য সংকোচন বলে।

সময় প্রসারণ বা কাল দীর্ঘায়ন : কোনো ঘড়িকে গতিশীল রাখলে স্থিতিশীল অবস্থার চাইতে ধীরে চলবে। অর্থাৎ এই ঘড়িতে সময়ের পরিমাণ বৃদ্ধি পাবে। এই ঘটনাকে সময় প্রসারণ বা কাল দীর্ঘায়ন বলে।

ভরের আপেক্ষিকতা : দৈর্ঘ্য ও সময়ের মত বস্তুর ভর ও গতিশীলতার উপর নির্ভরশীল; আপেক্ষিক তত্ত্বানুসারে বস্তুর ভর বেগের সাথে বৃদ্ধি পায়।

ভর-শক্তি সম্পর্ক : আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্বের সাহায্যে আইনস্টাইন বস্তুর ভর ও শক্তির মধ্যে নিম্নরূপ সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা করেন :
$E = mc^2$, এখানে E = শক্তি ; m = বস্তুর ভর এবং c = আলোর বেগ।

মৌলিক বল : যে বল মূল বা অকৃত্রিম তাকে মৌলিক বল বলে। মৌলিক বল চার ধরনের। যথা—(১) মহাকর্ষ বল, (২) তড়িৎ-চৌম্বকীয় বল, (৩) সরল নিউক্লিয় বল এবং (৪) দুর্বল নিউক্লিয় বল।

এক্স-রে : দৃশ্যমান আলোকের মতোই এক্স-রে বিদ্যুৎচুম্বকীয় তরঙ্গ। কিন্তু এরা অদৃশ্য রশ্মি। এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য আলোকের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য অপেক্ষা কম।

এক্স-রের একক : এর এককের নাম রন্‌জেন বলতে আমরা সেই পরিমাণ এক্সরে বিকিরণ বুঝি যা সাধারণ চাপ এবং তাপমাত্রায় 1 mm বায়ুতে $3{\cdot}33 \times 10^{-10}$ C চার্জের সমান চার্জ উৎপন্ন করতে পারে।

প্ল্যাঙ্ক-এর কোয়ান্টাম তত্ত্ব : কোনো বস্তু হতে শক্তির বিকিরণ বা বিভিন্ন বস্তুর মধ্যে শক্তির বিনিময় নিরবচ্ছিন্নভাবে ঘটে না। তেজশক্তি বিচ্ছিন্নভাবে খণ্ড খণ্ড আকারে এক একটি প্যাকেটে নির্গত বা শোষিত হয়।

লরেঞ্জ রূপান্তর সূত্রের স্বীকার্যসমূহ

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

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

কোমল এক্সরে : গ্যাস নলের ভেতরে গ্যাসের চাপ যদি অপেক্ষাকৃত বেশি হয়, তবে কম বিভব পার্থক্যেও এক্স রশ্মি উৎপন্ন করা যায়। এই ধরনের এক্স রশ্মিকে কোমল এক্সরে বলে। কোমল এক্স রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় 10 Å এর কাছাকাছি হয়। এর ভেদন ক্ষমতা অত্যন্ত কম।

কঠিন এক্স-রে : নলের ভেতর গ্যাসের চাপ কম হলে অধিক বিভব পার্থক্য প্রয়োগে এক্স রশ্মি উৎপন্ন হয়। এই এক্স রশ্মিকে কঠিন এক্স-রে বলে। কঠিন এক্স রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় 0·01 Å মানের হয়। এই রশ্মির ভেদন ক্ষমতা খুবই বেশি।

ফটো ইলেকট্রন : আলোক রশ্মির আপতনের ফলে ধাতব পদার্থ হতে নির্গত ইলেকট্রনকে ফটো ইলেকট্রন বলে।

আলোক তড়িৎ : ধাতব পদার্থ হতে নির্গত ইলেকট্রন প্রবাহিত হওয়ার ফলে যে বিদ্যুৎ উৎপন্ন হয় তাকে আলোক তড়িৎ বলা হয়।

আলোক তড়িৎ প্রবাহ : নির্গত ইলেকট্রন প্রবাহের ফলে যে বিদ্যুৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয় তাকে আলোক তড়িৎ প্রবাহ বলে।

আলোক তড়িৎ নির্গমনের সূত্রাবলি :

১ম সূত্র : আলোক তড়িৎ নির্গমন একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা।

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

৩য় সূত্র : আপতিত আলোকের কম্পাঙ্ক প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক অপেক্ষা অধিক হলে আলোক তড়িৎ প্রবাহমাত্রা আপতিত আলোকের প্রাবল্যের সমানুপাতিক।

৪র্থ সূত্র : আলোক ইলেকট্রনের গতিবেগ তথা গতিশক্তি আপতিত আলোকের প্রাবল্যের উপর নির্ভর করে না; বরং আপতিত আলোকের কম্পাঙ্ক এবং নিঃসারক-এর প্রকৃতির ওপর নির্ভর করে।

তরঙ্গ কণা দ্বৈততা : সকল শক্তি তরঙ্গ সদৃশ এবং কণা সদৃশ উভয় ধর্ম প্রদর্শন করে। ইহাই তরঙ্গ কণা দ্বৈততা।

আলোক তড়িৎ ক্রিয়া : আলোকের প্রভাবে ধাতব হতে ইলেকট্রনের নির্গমনের প্রক্রিয়াকে আলোক তড়িৎ নির্গমন ও এ ক্রিয়াকে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া বলে।

নিবৃত্তি বিভব : আলোক তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন যন্ত্রে যে ধাতব পাতের উপর আলোক রশ্মি আপতিত করে আলোক তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করা হয়, ঐ পাত ন্যূনতম যে ধনাত্মক বিভবে রাখলে আলোক তড়িৎ প্রবাহ সম্পূর্ণ বন্ধ হয়ে যায়, ঐ বিভবকে নিবৃত্তি বিভব বলে।

সূচন কম্পাঙ্ক : প্রতিটি আলোক ইলেকট্রন নির্গমনের ক্ষেত্রে আপতিত আলোক রশ্মির একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম কম্পাঙ্ক রয়েছে; এই কম্পাঙ্ককে সূচন কম্পাঙ্ক বলে।

কার্য অপেক্ষক : কোনো একটি ইলেকট্রনকে নিঃসারকের নিউক্লিয়াসের আকর্ষণ বন্ধন হতে মুক্ত করতে যে পরিমাণ কাজ সম্পাদন করতে হয়, তাকে আলোক তড়িৎ কার্য অপেক্ষক বলে।

ডি ব্রগলী তরঙ্গ : প্রত্যেক চলমান পদার্থ কণার সাথে একটি তরঙ্গ যুক্ত থাকে। এ তরঙ্গকে ডি ব্রগলী তরঙ্গ বলে।

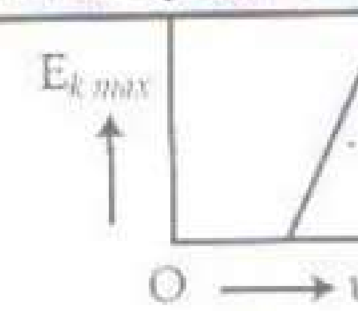
কম্পটন ক্রিয়া : হালকা পদার্থের ইরেকট্রন দ্বারা এক্স-রশ্মি বিক্ষিপ্ত হলে বিক্ষিপ্ত রশ্মির ভেতর আপতিত তরঙ্গদৈর্ঘ্য ছাড়াও কিছু পরিবর্তিত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্মি পাওয়া যায়। এই পরিবর্তিত তরঙ্গদৈর্ঘ্যগুলো প্রাথমিক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা দীর্ঘতর হয়। এই ঘটনাকে কম্পটন ক্রিয়া বলে।

হাইসেনবার্গের অনিশ্চয়তা সূত্র : যদি কোনো কণার কোনো নির্দিষ্ট সময়ে অবস্থানের অনিশ্চয়তা Δx এবং ভরবেগের অনিশ্চয়তা Δp হয়, তবে এদের গুণফল প্ল্যাংকের ধ্রুবকের সমান বা বড় হবে। একেই হাইসেনবার্গের অনিশ্চয়তা সূত্র বলে।

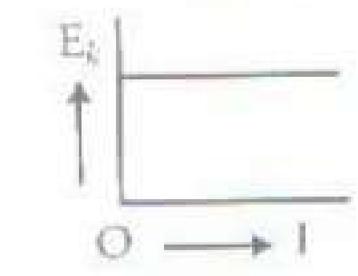
বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। আধুনিক পদার্থবিজ্ঞানের অন্যতম স্রষ্টা আইনস্টাইন এবং ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক।

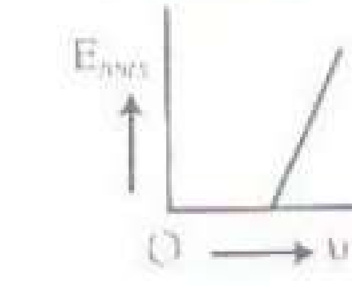
২। বিকিরণের কম্পাঙ্কের সাথে সর্বাধিক গতিশক্তির পরিবর্তনের লেখচিত্রের ঢাল প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক নির্দেশ করে এবং লেখচিত্রটি হলো—



৩। ফটো তড়িৎ ক্রিয়ার সর্বোচ্চ গতিশক্তি (E_k) এবং আলোর তীব্রতা (I) এর সম্পর্ক সূচক লেখচিত্র হলো—



৪। ফটো ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তির সাথে আপতিত আলোর কম্পাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক লেখচিত্রের সাহায্যে প্রকাশ করা যায়। উক্ত লেখচিত্রের ঢাল প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক (h) নির্দেশ করে।



৫। প্রতি সেকেন্ডে 1টি তেজস্ক্রিয় ভাঙনকে 1 বেকেরেল বলে।

৬। X-রে (i) তড়িৎ চৌম্বক তরঙ্গ (ii) এর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সীমা 10^{-12} m — 10^{-8} m (iii) আলোক তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন করে (iv) এর কোন চার্জ নেই (v) প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে।

৭। X-রে তড়িৎ চৌম্বক তরঙ্গ দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয় এবং এটি সরলরেখায় গমন করে।

৮। ফোটনের ক্ষেত্রে (i) স্থির ভর শূন্য (ii) এর শক্তি $E = h\upsilon$, (iii) এর বেগ 3×10^8 ms^{-1}, (iv) এর নির্দিষ্ট ভরবেগ আছে।

৯। কোনো বস্তু আলোর সমান বেগে গতিশীল হলে কোনো স্থির কাঠামোর সাপেক্ষে তার দৈর্ঘ্য অসীম হবে, সময় অসীম হবে।

১০। আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব আইনস্টাইন কর্তৃক 1905 সালে প্রকাশিত হয়।

১১। ফটো ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ গতিশক্তি নির্ভর করে — আলোর কম্পনের ওপর এবং ধাতুর কার্যাপেক্ষকের ওপর।

১২। প্ল্যাঙ্কের তত্ত্ব অনুসারে কালো বস্তু হতে—(i) শক্তির বিকিরণ বিচ্ছিন্নভাবে ঘটে। (ii) শক্তি নির্গমনের কোনো ধারাবাহিকতা নেই।

১৩। ফটো তড়িৎ ক্রিয়ার ক্ষেত্রে— (i) ফটো তড়িৎ প্রবাহ আলোর তীব্রতার উপর নির্ভর করে। (ii) ফটো ইলেকট্রনের বেগ আলোর কম্পাঙ্ক নির্ভর।

১৪। $\frac{c}{\sqrt{2}}$ বেগে চলমান কোনো কণার ভরবেগ m_0c। ফোটনের ক্ষেত্রে $E = m_0c^2$ প্রযোজ্য নয়।

১৫। ঘূর্ণায়মান প্রসঙ্গ কাঠামো—অজড় প্রসঙ্গ কাঠামো।

১৬। আপেক্ষিকতা জনিত বস্তুর গতিশক্তি নিশ্চল শক্তির তিনগুণ হতে হলে বস্তুর বেগ 0·97 c হবে।

১৭। 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।

১৮। নিবৃত্তি বিভব V ও ইলেকট্রনের বেগ v এর মধ্যে সম্পর্ক হলো : $v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$

১৯। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ এবং ফোটনের শক্তি $\vec{E}$ এর মধ্যে সম্পর্ক হলো : $E = \frac{hc}{\lambda}$। আইনস্টাইনের স্থির ভরশক্তি সূত্র হলো, $E_0 = m_0c^2$ এবং ভরশক্তি সমীকরণ হলো $E = mc^2$.

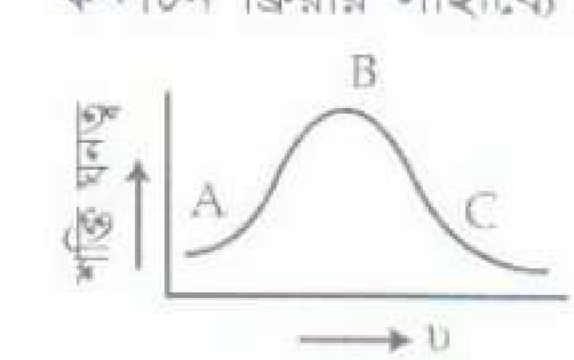
২০। আলোক বর্ষ দূরত্বের একক। $E = h\upsilon$ সূত্র প্রদান করেন ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক। ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক শক্তির ক্ষুদ্র এককের নাম দেন কোয়ান্টা।

২১। গতিশীল ঘড়ি নিশ্চল ঘড়ির চেয়ে ধীরে চলে। কোনো বস্তু আলোর বেগ প্রাপ্ত হলে এর ভর হবে সসীম।

২২। একটি মহাকাশ যান $\frac{\sqrt{3}c}{2}$ বেগে চললে এর দৈর্ঘ্য প্রকৃত দৈর্ঘ্যের অর্ধেক মনে হবে।

২৩। ইলেকট্রনের গতিশক্তির 0·1% হতে 0·2% এক্স রশ্মিতে পরিণত হবে।

২৪। কম্পটন ক্রিয়ার সাহায্যে কোয়ান্টাম তত্ত্বের ব্যাখ্যা প্রদান করা যায়।

২৫। 

লেখচিত্রের BC অংশের সাহায্যে র‍্যালি-জিন্সের সূত্র ব্যাখ্যা করা যায়।

২৬। নিবৃত্তি বিভব এবং ইলেকট্রনের সর্বোচ্চ বেগের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করা যায় $eV_0 = \frac{1}{2}mV^2_{max}$ সমীকরণের সাহায্যে।

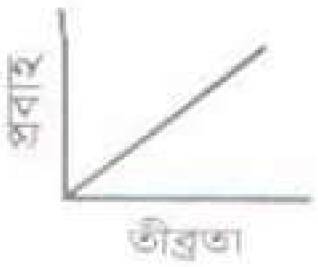
২৭। $E = \sqrt{p^2c^2 + m^2{}_0c^4}$ সম্পর্কীয় লেখচিত্র হলে—

২৮। একটি সরু রড এর দৈর্ঘ্যের লম্ব বরাবর আলোর বেগ চললে গতিশীল অবস্থায় একে একই দৈর্ঘ্যের মনে হবে।

২৯। সর্বাধিক কম্পটন অংশ আপতিত তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ এর জন্য প্রযোজ্য $\Delta\lambda_{max}$ আপতিত তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ-এর উপর নির্ভরশীল নয়।

৩০। কম্পটন ক্রিয়ার আপতিত রশ্মি ও বিক্ষিপ্ত রশ্মির মধ্যে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমান হলে তাদের মধ্যবর্তী কোণ 90°।

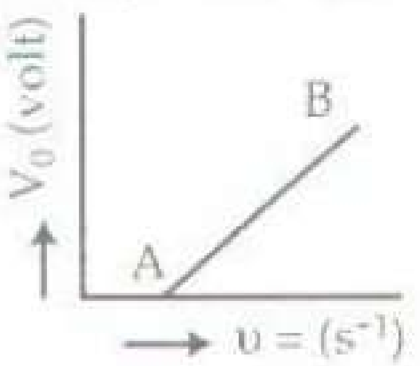
৩১। আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার সমীকরণ হলো $\frac{1}{2}mV^2_{max} + W_0 = h\upsilon$ এবং কম্পাঙ্ক অপরিবর্তিত রেখে তীব্রতা—প্রবাহের লেখচিত্র হবে।



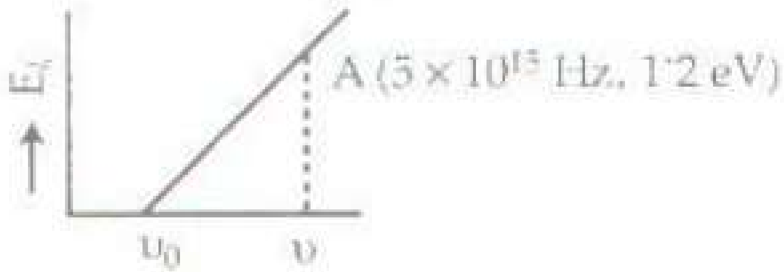
৩২। কম্পটন প্রভাবে অপরিবর্তিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য, বিক্ষিপ্ত হবার পর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য—বৃদ্ধি পায়।

৩৩। আলোক তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন করে—(i) ইলেকট্রন তরঙ্গ প্রকৃতি (ii) আলোর তরঙ্গ প্রকৃতি (iii) আলোর কণা প্রকৃতি।

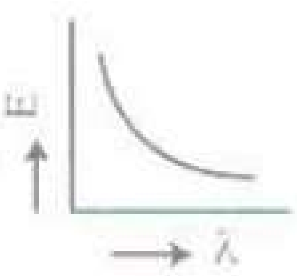
৩৪। ঋণাত্মক পাত হতে ধনাত্মক পাতের দিকে একটি ইলেকট্রন ত্বরিত করলে ইলেকট্রনের গতিশক্তি হবে $4eV$।

৩৫। 

লেখচিত্রটির ঢাল h।

৩৬। 

লেখচিত্রটির সূচন কম্পাঙ্ক $4{\cdot}7 \times 10^{15}$ Hz এর উপর 1000 Hz কম্পাঙ্কের আলো পড়লে ইলেকট্রন নির্গত হবে না।

৩৭। ফোটনের শক্তি বনাম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের লেখচিত্র হলো— 

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। (i) ইথার বলতে এ মহাবিশ্বে কিছু নেই
(ii) গ্যালিলিও রূপান্তর সঠিক নয়
(iii) আলোকের বেগ উৎস অথবা পর্যবেক্ষণের গতির উপর নির্ভর করে না

নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓚh i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖh i, ii ও iii

২। মাইকেলসন-মর্লির পরীক্ষা হতে জানা যায়—
(i) ইথারের অস্তিত্ব বলে কিছু নেই
(ii) শূন্যস্থানে সকল জায়গায় আলোর বেগ একই
(iii) আলোর বেগ পর্যবেক্ষণের গতির উপর নির্ভরশীল

নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৩। 1 eV সমান কত জুল ?
ক $6{\cdot}7 \times 10^{-34}$ J
খ $1{\cdot}9 \times 10^{-31}$ J
গ $1{\cdot}6 \times 10^{-31}$ J
ঘ $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ J

৪। একটি ইলেকট্রন $0{\cdot}99$ C দ্রুতিতে গতিশীল হলে এর চলমান ভর কত ?
ক $5{\cdot}46 \times 10^{-30}$ kg
খ $6{\cdot}45 \times 10^{-30}$ kg
গ $6{\cdot}45 \times 10^{-31}$ kg
ঘ $5{\cdot}46 \times 10^{-31}$ kg

৫। আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতা তত্ত্ব অনুসারে বেগ বাড়লে ভর—
ক একই থাকবে
খ কমবে
গ বাড়বে
ঘ বেগের সমানুপাতে বাড়বে

৬। ফোটনের ধর্ম—
(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

৭। ফোটনের ভরবেগ—

ক $p = \frac{h}{\lambda}$

খ $p = \frac{ch}{\lambda}$

গ $p = \frac{\lambda}{h}$

ঘ $p = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$

৮। ভর–শক্তির সম্পর্ক হলো—

ক $E = \frac{m}{c^2}$

খ $E = \frac{c^2}{m}$

গ $E = mvc^2$

ঘ $E = mc^2$

৯। গতিশীল ঘড়ি নিশ্চল ঘড়ির চেয়ে—

ক ধীরে চলে

খ দ্রুত চলে

গ একই থাকে

ঘ দ্বিগুণ দ্রুত চলে

১০। কোনো বস্তু আলোর বেগে চললে এর ভর—

ক শূন্য হবে

খ অসীম হবে

গ বৃদ্ধি পাবে

ঘ হ্রাস পাবে

১১। এক্স-রের একক হলো—

ক ব্যাকেরেল

খ নিউটন

গ রন্‌জেন

ঘ ভোল্ট

১২। এক্স রশ্মি—

(i) তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ

(ii) তড়িৎক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয়

(iii) আলোর বেগে চলে

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii

খ i ও iii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

১৩। υ কম্পাঙ্কের একটি ফোটনের ভরবেগ কত ?

ক $\frac{h\upsilon}{c}$

খ $\frac{h\lambda}{c}$

গ $\frac{hc}{\lambda}$

ঘ $h\upsilon$

১৪। একটি পদার্থের কার্য অপেক্ষক $4{\cdot}0\ eV$। সর্বোচ্চ কত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ওই বস্তু থেকে আলোক তড়িৎ নিঃসরণ ঘটাতে পারে ?

ক 540 nm

খ 400 nm

গ 310 nm

ঘ 220 nm

১৫। একটি ধাতুর প্রারম্ভ তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5200 Å। এই ধাতু থেকে ইলেকট্রন নিঃসরণ ঘটাতে হলে নিচের কোন উৎস থেকে আলো ফেলতে হবে ?

ক 50 W অবলোহিত

খ 1 W অবলোহিত

গ 50 W লাল আলো

ঘ 1 W অতি বেগুনি

১৬। কোনো ধাতব পৃষ্ঠে আপতিত ফোটনের শক্তি কার্য অপেক্ষকের দ্বিগুণ। আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কতগুণ করলে দ্রুততম ফটো ইলেকট্রনের গতি-শক্তি দ্বিগুণ হবে ?

ক $\frac{3}{2}$ গুণ

খ $\frac{2}{3}$ গুণ

গ $\frac{1}{2}$ গুণ

ঘ 2 গুণ

১৭। আলোক তড়িৎ ক্রিয়া সংক্রান্ত আইনস্টাইনের সমীকরণটি হলো—

ক $E_{max} = h\upsilon + W_0$

খ $eV_0 + h\upsilon = W_0$

গ $\frac{1}{2}mv_{max}^2 + W_0 = h\upsilon$

ঘ $E_{max} + h\upsilon = W_0$

১৮। আলোক তড়িৎ নিবৃত্তি বিভব $0{\cdot}75\ eV$ হলে, দ্রুততম ফটোইলেকট্রনের গতিশক্তি কত ?

ক $0{\cdot}75\ eV$

খ $4\ eV$

গ $0{\cdot}75$ V

ঘ $1{\cdot}2 \times 10^{-17}$ J

১৯। সূচন কম্পাঙ্কের আলোর জন্য ধাতু থেকে নির্গত ইলেকট্রনের বেগ হচ্ছে—

ক শূন্য

খ অসীম

গ কম

ঘ বেশি

২০। স্পিন 1 বিশিষ্ট কণার একবার পূর্ণ আবর্তনে আবর্তন কোণের মান কত ?

ক 360°

খ 270°

গ 180°

ঘ 90°

২১। একটি ধাতুর কার্য অপেক্ষক $h\upsilon_0$। এর উপর υ কম্পাঙ্কের আলো আপতিত হলে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া ঘটবে যদি—

ⓚ $\upsilon \geq \upsilon_0$
ⓚh $\upsilon \geq 2\upsilon_0$
ⓖ $\upsilon < \upsilon_0$
ⓖh $\upsilon < \upsilon_0/2$

২২। সোডিয়ামের সূচন তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6800Å হলে এর কার্য অপেক্ষক কত?

ক) 1.83 eV
খ) 1.81 eV
গ) 1.9 eV
ঘ) 1.6 eV

২৩। ইলেকট্রনের বেগ (v) এবং প্রযুক্ত বিভব পার্থক্যের (নিবৃত্তি বিভব V) মধ্যে সম্পর্ক হলো— [সি. বো. ২০১৫]

ক) $v = \sqrt{\dfrac{eV}{m}}$
খ) $v = \sqrt{\dfrac{2eV}{m}}$
গ) $v = \dfrac{eV^2}{m}$
ঘ) $v = \dfrac{1}{2}mV^2$

২৪। শক্তি ও সময়ের অনিশ্চয়তা হলো—

ক) $\Delta E . \Delta t \simeq h$
খ) $\Delta E . \Delta t \simeq \hbar$
গ) $\Delta E . \Delta t \geq \hbar$
ঘ) $\Delta E . \Delta t < \hbar$

২৫। ডি ব্রগলী তরঙ্গদৈর্ঘ্য—

(i) $\lambda = mv$
(ii) $\lambda = \dfrac{h}{p}$
(iii) $\lambda = \dfrac{h}{mv}$

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

২৬। কম্পটন ক্রিয়ার বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য আপতিত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায়—

ক) কমে যায়
খ) বেড়ে যায়
গ) একই থাকে
ঘ) দ্বিগুণ হয়

২৭। সর্বাপেক্ষা দুর্বল বল কোনটি ?

ক) মহাকর্ষ বল
খ) নিউক্লিয় দুর্বল বল
গ) তড়িচ্চুম্বকীয় বল
ঘ) নিউক্লীয় সবল বল

২৮। 60 g ভরের একটি বস্তু $10\ ms^{-1}$ বেগে গতিশীল। বস্তুটির ডি ব্রগলি তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় ($h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js)

ক) 10^{-35} m
খ) 10^{-25} m
গ) 10^{-33} m
ঘ) 10^{-23} m

২৯। একটি নিউক্লিয়াসের ভর সংখ্যা—

ক) সর্বদা এর পারমাণবিক সংখ্যার থেকে কম
খ) সর্বদা এর পারমাণবিক সংখ্যার চেয়ে বেশি
গ) সর্বদা এর পারমাণবিক সংখ্যার সমান
ঘ) কখনও এর পারমাণবিক সংখ্যার সমান এবং কখনও বেশি

৩০। এক্স রশ্মির জন্য কোনটি সঠিক ?

ক) এটির কোনো চার্জ নেই
খ) এটি তড়িৎ ক্ষেত্র দিয়ে বিচ্যুত হয়
গ) এটি চুম্বক ক্ষেত্র দিয়ে বিচ্যুত হয়
ঘ) এর ভেদনক্ষমতা কম

৩১। আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার বৈশিষ্ট্য হলো—

(i) আলোক তড়িৎ প্রবাহমাত্রা আপতিত আলোর তীব্রতার সমানুপাতিক
(ii) বিভিন্ন ধাতুর জন্য আলোক তড়িৎ ক্রিয়ার প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক বিভিন্ন হয়
(iii) আলোক তড়িৎ ক্রিয়ায় ইলেকট্রন নিঃসরণ ধাতব পদার্থের উষ্ণতার উপরে নির্ভর করে

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

৩২। পদার্থ-তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য হলো—

(i) কেবলমাত্র গতিশীল কণার সঙ্গেই তরঙ্গ জড়িত
(ii) পদার্থ তরঙ্গ তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ
(iii) কণার ভরবেগ বাড়লে তরঙ্গদৈর্ঘ্য হ্রাস পায়

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

৩৩। একটি ইলেকট্রনের গতিশক্তি 500 eV হলে এর ডি ব্রগলী তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ?

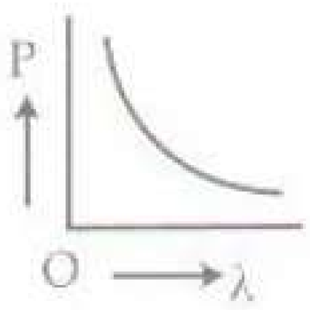
ক) 2.55 Å
খ) 2 Å
গ) 1.5 Å
ঘ) 0.55 Å

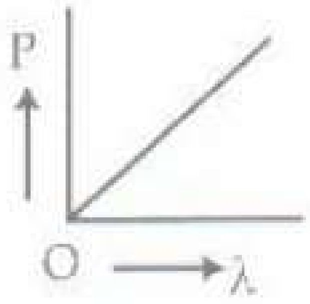
৩৪। এক্সরে-এর বৈশিষ্ট্য হচ্ছে এটি— [দি. বো. ২০১৫]
(i) চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয়
(ii) একটি আড় তরঙ্গ
(iii) সরলরেখায় গমন করে
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓚ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

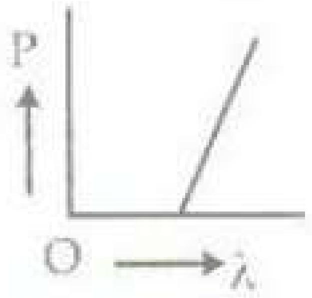
৩৫। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ এবং ফোটনের শক্তি E এর মধ্যে সম্পর্ক—
ⓚ $E = \frac{hc}{\lambda^2}$
ⓚ $E = \frac{hc}{\lambda}$
ⓖ $E = \frac{h\lambda}{c}$
ⓖ $E = \frac{h\lambda^2}{c}$

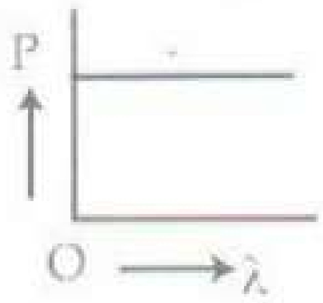
৩৬। ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং কম্পাঙ্ক কত ? যদি ফোটনের শক্তি 100 MeV হয়—
ⓚ 1.24×10^{-14} m, 2.41×10^{22} Hz
ⓚ 1.50×10^{-14} m, 2.5×10^{22} Hz
ⓖ 1.75×10^{-14} m, 3×10^{22} Hz
ⓖ 2.0×10^{-14} m, 3.52×10^{22} Hz

৩৭। দ্য-ব্রগলীর প্রস্তাব অনুসারে নিচের কোন গ্রাফের সাহায্যে দ্য ব্রগলীর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়? [চ. বো. ২০১৫]

ⓚ 

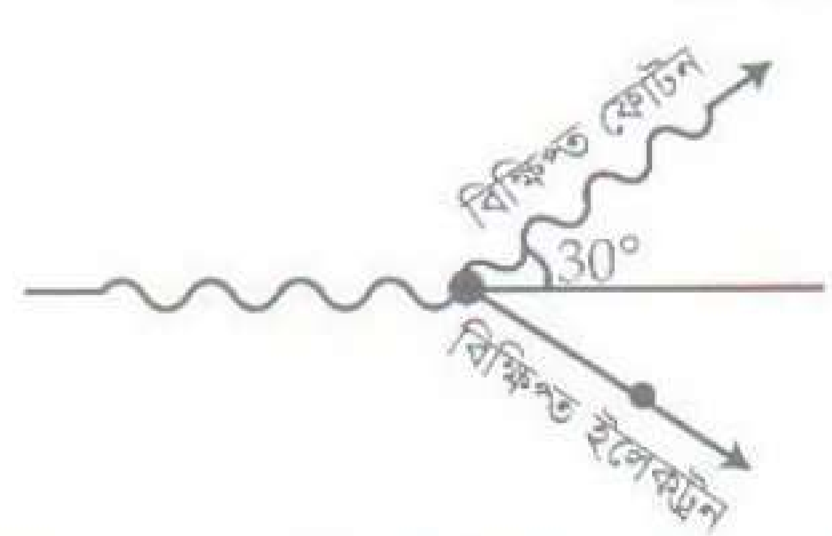
ⓚ 

ⓖ 

ⓖ 

৩৮। 6650×10^{-10} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ফোটনের শক্তি কত ? [রা. বো. ২০১৫]
ⓚ 4.4×10^{-10} J
ⓚ 9.97×10^{-28} J
ⓖ 2.99×10^{-13} J
ⓖ 2.99×10^{49} J

৩৯। নিচের চিত্রটি কম্পটন ক্রিয়া নির্দেশ করে। [দি. বো. ২০১৫]



বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ? ইলেকট্রনের ভর 9.1×10^{-31} kg।
ⓚ 3.26×10^{-13} m
ⓚ 3×10^{-11} m
ⓖ 3.03×10^{-11} m
ⓖ 2.43×10^{-12} m

৪০। একজন মহাকাশচারী তাঁর গতির সাহায্যে 60 Ly দূরত্বকে 48 Ly অপেক্ষা কম দূরত্বে পরিণত করলেন। এজন্য তাঁর গতিবেগ হতে হবে— [রা. বো. ২০১৫]
ⓚ 0.6 c অপেক্ষা বেশি
ⓚ 0.6 c অপেক্ষা কম
ⓖ 0.8 c অপেক্ষা বেশি
ⓖ 0.8 c অপেক্ষা কম

উত্তর :

১। ঘ	২। ক	৩। ঘ	৪। খ	৫। গ	৬। ঘ	৭। ক	৮। ঘ	৯। খ	১০। খ
১১। গ	১২। খ	১৩। ক	১৪। গ	১৫। ঘ	১৬। খ	১৭। গ	১৮। ক	১৯। ক	২০। ক
২১। ক	২২। ক	২৩। খ	২৪। গ	২৫। গ	২৬। খ	২৭। ক	২৮। গ	২৯। ঘ	৩০। ক
৩১। ক	৩২। খ	৩৩। ঘ	৩৪। গ	৩৫। ক	৩৬। খ	৩৭। ক	৩৮। গ	৩৯। গ	৪০। খ

(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১। একটি বস্তুণার ভর 10^{-30} kg। কণাটি $0.5\ c$ বেগে গতিশীল।

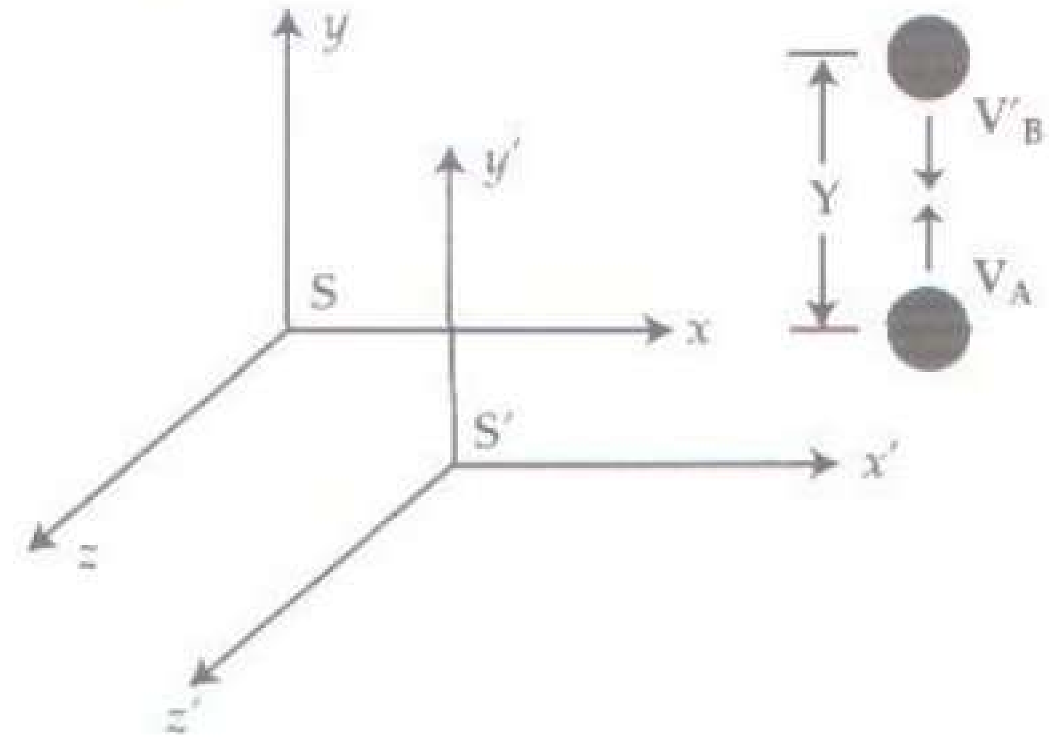
(ক) ভরের আপেক্ষিকতা কী ?

(খ) নিশ্চল ভর ও চলমান ভরের মধ্যে পার্থক্য কী ?

(গ) বস্তুকণাটির মোট শক্তি নির্ণয় কর।

(ঘ) বস্তুকণাটি কী আলোর বেগে গতিশীল হতে পারবে ? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে ব্যাখ্যা কর।

২। নিচের চিত্রে S এবং S′ দুটি প্রসঙ্গ কাঠামো। S′ কাঠামোটি X অক্ষের অভিমুখে S কাঠামোর সাপেক্ষে v বেগে গতিশীল। কাঠামোগুলোতে অবস্থিত দুই জন পর্যবেক্ষক দুটি কণা A ও B এর স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ পর্যবেক্ষণ করছেন।



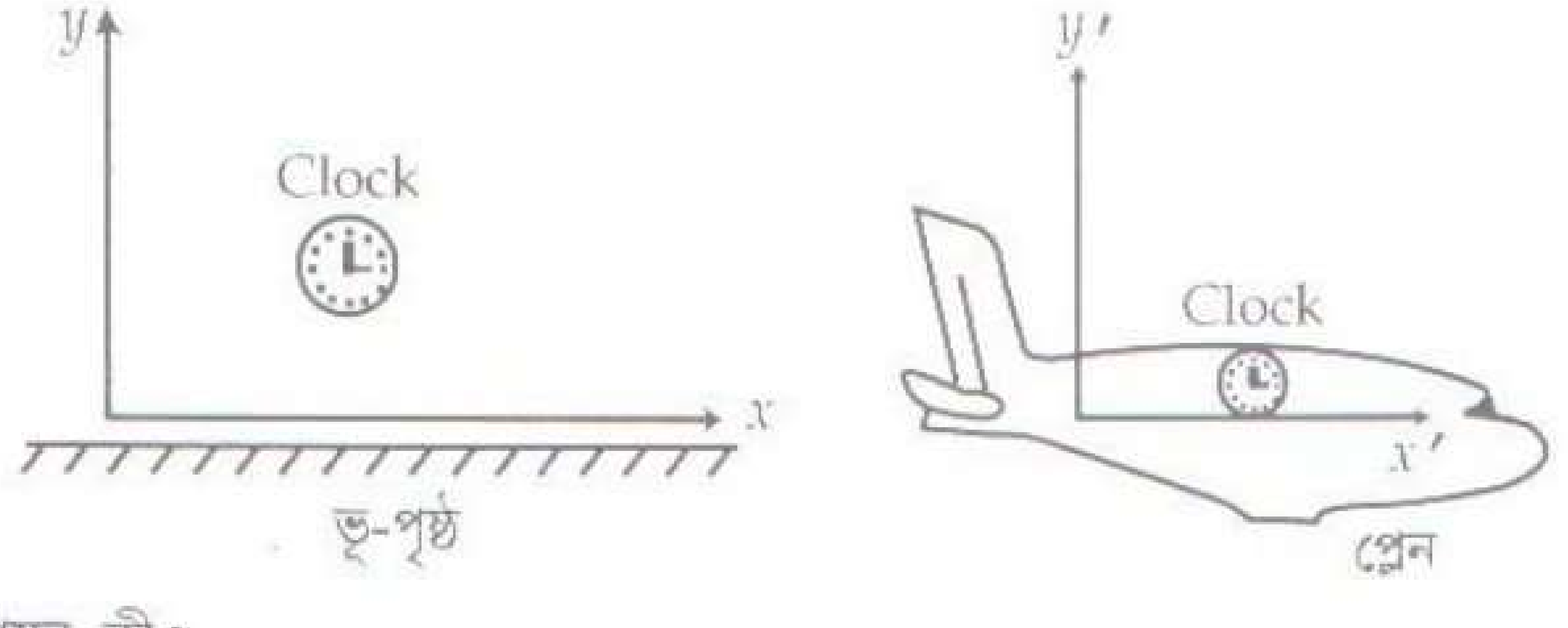
(ক) ভরের আপেক্ষিকতা কী ?

(খ) আপেক্ষিকতার সাধারণ ও বিশেষ তত্ত্বের পার্থক্য লিখ।

(গ) একটি ইলেকট্রন 0.99% c দ্রুতিতে গতিশীল হলে এর চলমান ভর কত ?

(ঘ) বস্তুর বেগ আলোর বেগের সমান বা বেশি হওয়া সম্ভব নয়—উদ্দীপকের আলোকে সত্যতা যাচাই কর।

৩।



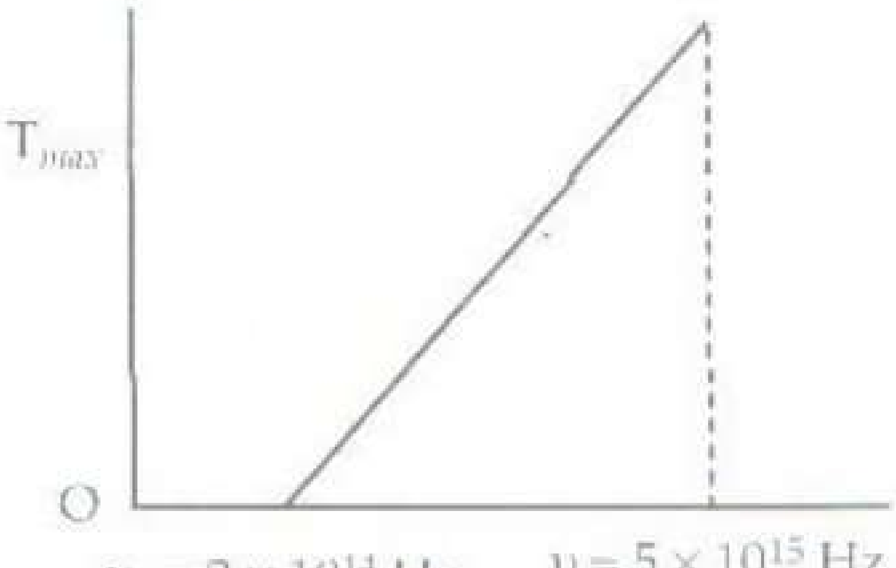
(ক) কাল দীর্ঘায়ন কী?

(খ) দৈর্ঘ্য সংকোচন এবং কাল দীর্ঘায়ন কেন হয়?

(গ) প্লেনের ভর 720 kg। পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল অতিক্রমের পর 3.72×10^5 ms^{-1} বেগে গতিশীল অবস্থায় ভূপৃষ্ঠের বিজ্ঞানী প্লেনটিকে 30 দিন পর্যবেক্ষণ করলেন। বায়ুমণ্ডল অতিক্রমের পর প্লেনের ভর কত বাড়বে ?

(ঘ) প্লেনের বেগ কত হলে একই ঘটনার সময় ব্যবধান প্লেনে রক্ষিত ঘড়ির চেয়ে ভূ-পৃষ্ঠে রক্ষিত ঘড়িতে দ্বিগুণ হবে?

৪। নিচের চিত্রে আলোক তড়িৎ ক্রিয়া প্রদর্শন করা হয়েছে।



(ক) নিবৃত্তি বিভব কী ?

(খ) স্থান কাল ভেদে মাইকেলসন-মোরলের পরীক্ষার ফলাফল পরিবর্তন হবে না কেন ?

(গ) কোনো পদার্থের কার্য অপেক্ষক 1.85 eV হলে ঐ পদার্থের কম্পাঙ্ক এবং সর্বোচ্চ গতিশক্তি কত হবে ?

(ঘ) উদ্দীপকের কম্পাঙ্ক υ_0 হতে υ তে পরিবর্তন করলে নিবৃত্তি বিভবের কিরূপ পরিবর্তন হবে ?

৫। নিচের চিত্রে একটি গ্যাস নল দেখানো হয়েছে। এটি বিশেষ ধরনের গ্যাস নল। এতে C ক্যাথোড, A অ্যানোড। নলে নিম্ন বায়ু চাপে এবং ক্যাথোড ও অ্যানোডের মধ্যে অতি উচ্চ বিভব পার্থক্য প্রয়োগে এক্স-রে উৎপন্ন হয়।

(ক) এক্স-রে কী ?

(খ) ক্যাথোড রশ্মি ও এক্স রশ্মির মধ্যে পার্থক্যসূচক বৈশিষ্ট্য লিখ।

(গ) উদ্দীপকের ক্যাথোড ও অ্যানোডের মধ্যে 7 kV বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করলে স্থির অবস্থা থেকে একটি ইলেকট্রন যে চূড়ান্ত বেগ প্রাপ্ত হবে তার মান নির্ণয় কর।

(ঘ) উদ্দীপকে সৃষ্ট এক্স-রের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য যদি 0·25 nm হয় এবং কোনো লক্ষ্যবস্তুকে আঘাত করে $60°$ কোণে বিক্ষিপ্ত হলো। সেখানে ইলেকট্রনের নিশ্চল ভর $9·1 \times 10^{-31}$ kg এবং প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক $6·63 \times 10^{-34}$ Js বিক্ষিপ্ত এক্স রশ্মিটির শক্তি আপতিত রশ্মিটির চেয়ে সামান্য কম—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করে এর সত্যতা যাচাই কর।

(গ) সাধারণ প্রশ্ন

১। জড় কাঠামো ও অজড় কাঠামো বলতে কী বোঝ ?
২। মাইকেলসন মর্লির পরীক্ষার ফলাফল বর্ণনা কর।
৩। আপেক্ষিকতা কী ? আইনস্টাইনের আপেক্ষিকতার বিশেষ স্বীকার্যগুলো লিখ।
৪। লরেঞ্জ রূপান্তর সমীকরণগুলি লিখ।
৫। আপেক্ষিকতার তত্ত্ব অনুসারে কাল দীর্ঘায়ন ব্যাখ্যা কর।
৬। আইনস্টাইনের ভর শক্তি সম্পর্কে প্রতিষ্ঠা কর।
৭। কাল দীর্ঘায়ন কী ?
৮। ভরের আপেক্ষিকতা বলতে কী বোঝ ?
৯। দৈর্ঘ্য সংকোচন কী ?
১০। কাল দীর্ঘায়নের সমীকরণটি লিখ।
১১। দৈর্ঘ্য সংকোচনের সমীকরণটি লিখ।
১২। প্লাঙ্কের কাল বস্তু বিকিরণ ব্যাখ্যায় চিরায়ত বলবিদ্যার ব্যর্থতা আলোচনা কর।
১৩। মৌলিক বল কী ? এই বল কোথায় কোথায় কার্যকর হয় ?
১৪। আলোক তড়িৎ ক্রিয়া বলতে কী বোঝ ?
১৫। সূচন কম্পাঙ্ক কাকে বলে ?
১৬। নিবৃত্তি বিভব বলতে কী বোঝ ?
১৭। এক্স রশ্মি কী ?
১৮। এক্স রশ্মির একক কী ?
১৯। এক্স রশ্মির ধর্ম উল্লেখ কর।
২০। এক্সরে উৎপাদন পদ্ধতি ও এর ধর্ম বর্ণনা কর।
২১। কার্য অপেক্ষক কী ?
২২। তরঙ্গ কণা দ্বৈততা কী ?
২৩। ডি-ব্রগলী তরঙ্গ কী ?
২৪। তরঙ্গ-কণা দ্বৈততা কাকে বলে ? গুচ্ছ বেগ ও দশা বেগ কী ?
২৫। হাইসেনবার্গের অনিশ্চয়তা নীতি কী ব্যাখ্যা কর।
২৬। কম্পটন ক্রিয়া কী ? কম্পটন বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের মান কত ?

(ঘ) ক্রিয়াকর্ম

আইনস্টাইনের আপেক্ষিক তত্ত্বের উপর একটি প্রতিবেদন রচনা কর এবং এই তত্ত্বের পক্ষে ও বিপক্ষে তোমার মতামত ব্যক্ত কর।

(ঙ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। 3000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অতি বেগুনি আলোর প্রতিটি ফোটনের শক্তি eV এককে প্রকাশ কর। [উত্তর : 4·1 eV]

২। একটি ফোটনের শক্তি 1·77eV, ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উত্তর : 7023 Å]

৩। একটি ইলেকট্রনের বেগ $3·8 \times 10^6 \text{ ms}^{-1}$ হলে এর গতিশক্তি ইলেকট্রন ভোল্ট এককে প্রকাশ কর।
[$m = 9·1 \times 10^{-31}$ kg, $1 eV = 1·6 \times 10^{-19}$ J] [উত্তর : 41 eV]

৪। $7·5 \times 10^{14}$ Hz কম্পাঙ্কের বিকিরণ কোনো ধাতব পৃষ্ঠে আপতিত হলে সর্বোচ্চ 0·4eV শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন নির্গত হয়। ঐ ধাতুর সূচন কম্পাঙ্ক কত ? [উত্তর : $6·535 \times 10^{14}$ Hz]

৫। 7kV বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করলে স্থির অবস্থা থেকে একটি ইলেকট্রন যে চূড়ান্ত বেগ প্রাপ্ত হবে তার মান নির্ণয় কর। [উত্তর : $4·96 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$)

৬। কত ভোল্ট বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করলে স্থির অবস্থা থেকে একটি ইলেকট্রন $5 \times 10^7 \text{ ms}^{-1}$ চূড়ান্ত বেগ প্রাপ্ত হবে ? [উত্তর : 7·1 kV]

৭। একটি এক্স-রশ্মি নল হতে 60 kV-এ চালনা করলে সর্বোচ্চ কত কম্পাঙ্কের এক্স-রশ্মি বর্ণালী উৎপন্ন হবে ?
[$h = 6·63 \times 10^{-34}$ J–s ও $e = 1·6 \times 10^{-19}$ C] [উত্তর : $1·448 \times 10^{19}$ Hz]

৮। একটি এক্স-রে নলে সর্বনিম্ন কত ভোল্টেজ প্রয়োগ করলে 1·1Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যে এক্স-রে পাওয়া যাবে ?
[$e = 1·6 \times 10^{-19}$C, $h = 6·63 \times 10^{-34}$ Js] [উত্তর : 11·3 kV]

৯। কোনো ধাতুর সূচন কম্পাঙ্ক 5000Å। ইলেকট্রন ভোল্টে এর কার্য অপেক্ষক বের কর। ধাতুটিকে যদি 4000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো দ্বারা আলোকিত করা হয়, তবে নিঃসৃত ইলেকট্রনের গতিশক্তি কত ?
[উত্তর : 2·4 eV, 0·62 eV]

১০। একটি ধাতব পৃষ্ঠ হতে নিঃসৃত ইলেকট্রনের সর্বাধিক বেগ কত হলে নিবৃত্তি বিভব পার্থক্য 0·9 V হবে ?
[$m = 9·1 \times 10^{-31}$ kg ও $e = 1·6 \times 10^{-19}$ C] [উত্তর : $5·625 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$]

১১। 5000Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো কোনো ধাতব পৃষ্ঠে আপতিত হলে যে ইলেকট্রন নির্গত হয় তার সর্বোচ্চ গতিশক্তির মান 0·6 eV। ঐ ধাতুর কার্য অপেক্ষক নির্ণয় কর। [উত্তর : 1·887 eV]

১২। টাংস্টেনের আলোক-তড়িৎ নিঃসরণের প্রারম্ভিক তরঙ্গদৈর্ঘ্য 2300 Å। কত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক আপতিত হলে সর্বোচ্চ 1·5 eV শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন নির্গত হবে ?
[$h = 6·63 \times 10^{-34}$ J–s ও $1 eV = 1·6 \times 10^{-19}$J] [উত্তর : $1·8 \times 10^{-7}$ m]

১৩। ভিন্ন গ্রহের একটি নভোযান 0·6 c গতিতে বুয়েট ফুটবল মাঠের দৈর্ঘ্য বরাবর অতিক্রম করে। ফুটবল মাঠটি 110 মিটার লম্বা এবং 50 মিটার প্রশস্ত। নভোযানের ভিন্ন গ্রহবাসীর পরিমাপ অনুযায়ী ফুটবল মাঠটির দৈর্ঘ্য ও প্রস্থ কত হবে ? [বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৯-১০] [উত্তর : 88 m এবং 50 m]

১৪। আলোর অর্ধেক বেগে গতিশীল একটি ইলেকট্রনের ভর কত হবে ?
[বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৯-১০] [উত্তর : $\frac{2}{\sqrt{3}} m_0$]

১৫। একজন মহাশূন্যচারী 25 বছর বয়সে $1·8 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ বেগ গতিশীল একটি মহাশূন্যযানে চড়ে মহাকাশ ভ্রমণে গেলেন। পৃথিবীর হিসেবে তিনি 30 বছর মহাকাশে কাটিয়ে এলেন। তার বয়স কত ?
[বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৮-০৯] [উত্তর : 49 বছর]

১৬। একজন মহাশূন্যচারী 40 বছর বয়সে $1·8 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$ বেগে ধাবমান মহাকাশ যানে চড়ে ছায়াপথ অনুসন্ধানে গেলেন। 10 বছর পর পৃথিবীতে ফিরে আসলেন; তাঁর বর্তমান বয়স কত ? [উত্তর : 48 বছর]

১৭। একটি কাল্পনিক রকেট কত দ্রুতিতে চললে এর চলমান দৈর্ঘ্য স্থির অবস্থার দৈর্ঘ্যের এক তৃতীয়াংশ হবে ?
[উত্তর : $2·8 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$]

১৮। একটি রকেট কত বেগে চললে এর দৈর্ঘ্য সংকুচিত হয়ে নিশ্চল দৈর্ঘ্যের অর্ধেক হবে ?
[উত্তর : $2·598 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$]

১৯। 1 g ভরের সমতুল্য শক্তির পরিমাণ (i) জুলে নির্ণয় কর, (ii) MeV-তে নির্ণয় কর, (iii) eV-তে প্রকাশ কর।
[উত্তর : (i) 9×10^{13} J (ii) $5·625 \times 10^{26}$ MeV (iii) $5·625 \times 10^{32}$ eV]

২০। 10 a.m.u. সমতুল্য শক্তি eV-তে প্রকাশ কর। [উত্তর : $9·34 \times 10^9$ eV]

২১। একটি এক্স-রশ্মি নলে 60 kV ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হলে সর্বোচ্চ কত কম্পাঙ্কের এক্স-রশ্মি উৎপন্ন হবে ? [উত্তর : 1.448×10^{19} Hz]

২২। 0.3 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক্স রশ্মি ইলেকট্রন কর্তৃক 60° কোণে বিক্ষিপ্ত হলো। বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উত্তর : 0.3121 Å]

২৩। একটি এক্স রশ্মি নলে 50 kV শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন দ্বারা সৃষ্ট এক্স রশ্মির সর্বনিম্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উত্তর : 0.2486 Å]

২৪। ইলেকট্রনের বেগ আলোর বেগের 0.2 গুণ হলে, এর সাথে সংশ্লিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উত্তর : 1.21 Å]

২৫। একটি ইলেকট্রনের অবস্থানের অনিশ্চয়তা 0.5×10^{-10} m। এর ভরবেগের অনিশ্চয়তা কত ? [উত্তর : 1.33×10^{-23} kg ms^{-1}]

২৬। একটি পরমাণবিক নিউক্লিয়াসের ব্যাসার্ধ 5×10^{-15} m। নিউক্লিয়াসটির ভরবেগের অনিশ্চয়তা নির্ণয় কর। [উত্তর : 1.1×10^{-20} kg ms^{-1}]

২৭। 1 KeV একটি ইলেকট্রনের অবস্থান ও ভরবেগ একই সাথে নির্ণয় করা হলো। যদি অবস্থান 1 Å এর মধ্যে নির্ধারিত হয় তবে ভরবেগের অনিশ্চয়তার শতকরা হার নির্ণয় কর। [উত্তর : 3.09%]

২৮। একটি ইলেকট্রনের গতিশক্তি 1 eV হলে, ডি ব্রগলী তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে ? [উত্তর : 1.2×10^{-9} m]

২৯। একটি প্রোটন ও একটি ইলেকট্রনের গতিশক্তি সমান। কার ক্ষেত্রে ডি ব্রগলী তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি ? [উত্তর : ইলেকট্রনের ক্ষেত্রে]

৩০। হিলিয়াম পরমাণুর গড় গতিবেগ 1.635×10^3 ms^{-1} হলে পরমাণুটির ডি ব্রগলী তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ?
[$h = 6.625 \times 10^{-34}$ Js, হিলিয়াম পরমাণুর ভর 6.65×10^{-27} kg] [উত্তর : 6.09×10^{-11} m]

৩১। কোনো কারণে একটি গতিশীল কণার সঙ্গে সংশ্লিষ্ট ডি ব্রগলী তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0.2 Å থেকে 0.4 Å-তে পরিবর্তিত হলো। কণাটির ভরবেগের পরিবর্তন নির্ণয় কর। [উত্তর : 16.6×10^{-24} kg ms^{-1}]

৩২। একটি গতিশীল ইলেকট্রনের ডি ব্রগলী তরঙ্গদৈর্ঘ্যে 1Å। ইলেকট্রনটির (i) ভরবেগ দ্বিগুণ হলে, (ii) গতিশক্তি দ্বিগুণ হলে ডি ব্রগলী তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে ? [উত্তর : (i) 0.5Å, (ii) 0.707 Å]

৩৩। একটি গতিশীল কণার বেগ 0.99 c হলে কণাটির ডি ব্রগলী তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ? [উত্তর : 3.45×10^{-13} m]

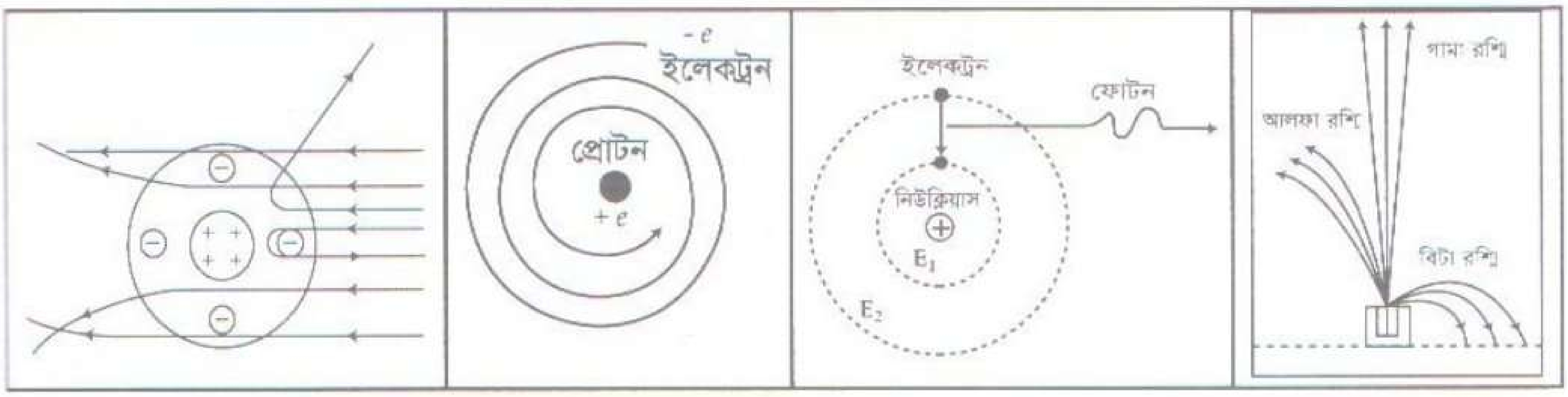
৩৪। 0.40 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একটি এক্স–রে ফোটন একটি নিশ্চল ইলেকট্রনকে আঘাত করলে ফোটন 90° কোণে বিক্ষিপ্ত হয়। বিক্ষিপ্ত ফোটনের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উত্তর : 0.424 Å]

৩৫। প্রোটনের কম্পটন তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ? [উত্তর : 1.32×10^{-15} m]

৯

পরমাণুর মডেল এবং নিউক্লিয়ার পদার্থবিজ্ঞান
ATOMIC MODEL AND NUCLEAR PHYSICS

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



সূচনা
Introduction

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

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

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

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

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

৯.১ পরমাণু গঠনের ধারণার ক্রমবিকাশ
Successive Development of Ideas on Atomic Structure

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

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

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

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

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

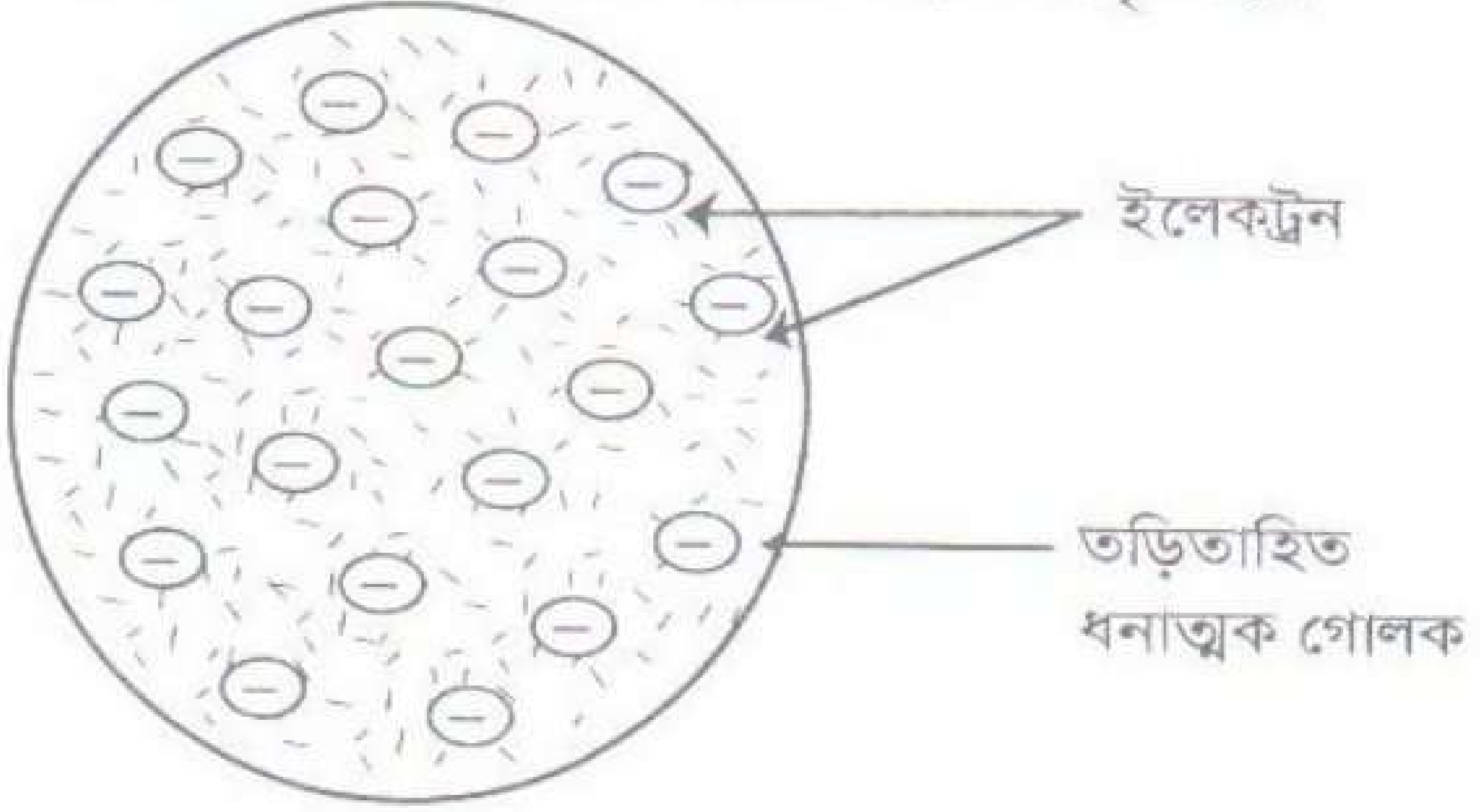
(৩) রাসায়নিক বিক্রিয়ায় এই পরমাণুগুলো অংশগ্রহণ করে। দুই বা ততোধিক পরমাণুর সংযোজনের ফলে নতুন একটি পদার্থ সৃষ্টি হয়। এর নাম যৌগিক পদার্থ। যেমন—হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন পরমাণুর দ্বারা পানি উৎপন্ন হয়।

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

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

থমসনের পরমাণু মডেল
Thomson's Atom Model

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



চিত্র ৯.১

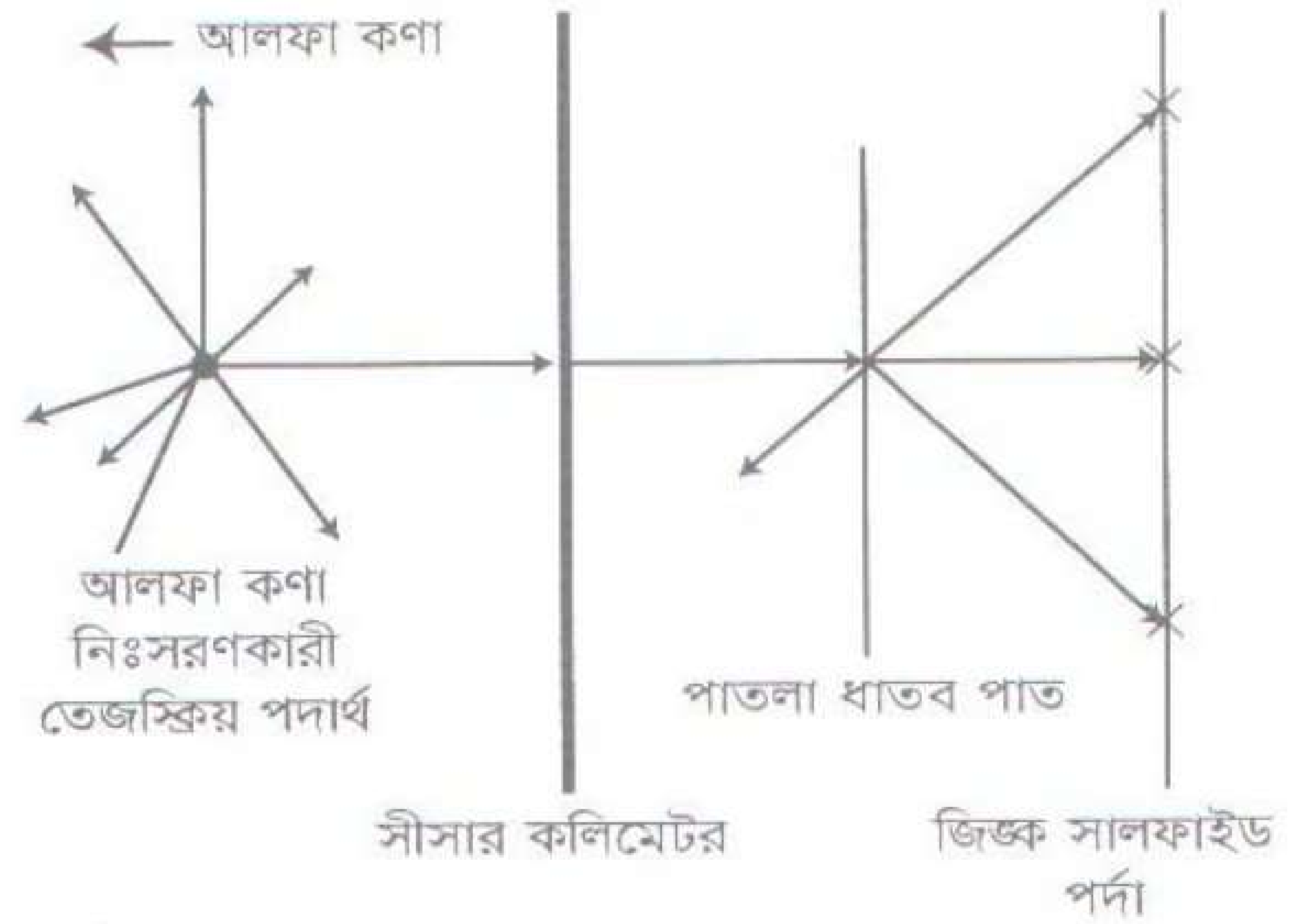
থমসন মডেলের মূল বক্তব্য হলো যে পরমাণু একটি ধনাত্মক তড়িতাহিত গোলক এবং ইলেকট্রনগুলো এর মধ্যে সর্বত্র ছড়ানো ছিটানো রয়েছে [চিত্র ৯.১]। অনেকটা ময়দার লেই বা কেক যার মধ্যে কিসমিস্ যেমন সর্বত্র ছড়ানো-ছিটানো থাকে সেরকম। এখানে লেই বা কেক হলো ধনাত্মক তড়িতাহিত গোলক এবং কিস্‌মিস্‌গুলো হলো ইলেকট্রন। কেকের মধ্যে কিস্‌মিসের ভর যেমন সামান্য তেমনি পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রনের ভর খুবই সামান্য এবং তাঁর মতে গোলকটির ভরই পরমাণুর সম্পূর্ণ ভর; কিন্তু লর্ড রাদারফোর্ড এবং তাঁর সহকারীদের দ্বারা সম্পন্ন বিক্ষেপণ পরীক্ষার ফলাফল (পরের অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য) কোনোভাবেই থমসনের মডেল ব্যাখ্যা করতে সমর্থ না হওয়ায় এর গ্রহণযোগ্যতা আর রইল না।

৯.২ রাদারফোর্ডের আলফা কণা পরীক্ষা
Rutherford's Alpha Particle Experiment

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

1909 খ্রিস্টাব্দে রাদারফোর্ডের নির্দেশে বিজ্ঞানী **গাইগার** (Geiger) এবং বিজ্ঞানী **মার্সডেন** (Marsden) একটি 6×10^{-7} m পুরু স্বর্ণপাতের ওপর তেজস্ক্রিয় পলোনিয়াম হতে নির্গত 7.68 MeV গতিশক্তিবিশিষ্ট আলফা কণার বিক্ষেপণ

পরীক্ষা পরিচালনা করেন [চিত্র ৯.২] যা **রাদারফোর্ডের আলফা বিক্ষেপণ পরীক্ষা** নামে পরিচিত। এই পরীক্ষায় তাঁরা প্রত্যক্ষ করেন যে, কিছু সংখ্যক আলফা কণা স্বর্ণপাতের মধ্য দিয়ে সোজাসুজি ভেদ করে, কিছু সংখ্যক কণা সামান্য

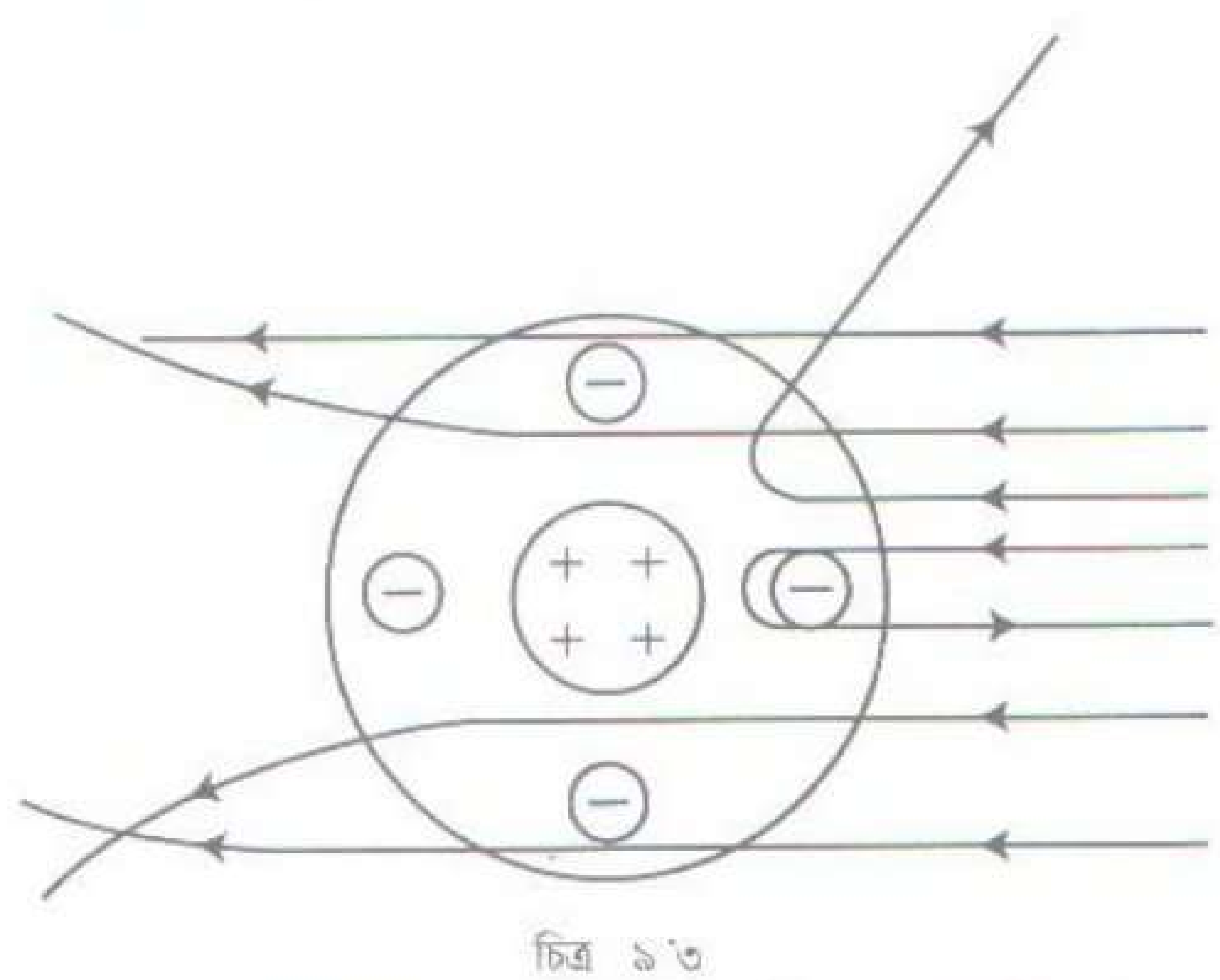


চিত্র ৯.২

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

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

পরীক্ষার ফলাফলের ব্যাখ্যা (Explanation of the results of the experiment) : রাদারফোর্ডের মতে পরমাণুর কেন্দ্রে রয়েছে নিউক্লিয়াস যেখানে পরমাণুর সমস্ত ধন আধান এবং ভর কেন্দ্রীভূত [চিত্র ৯.৩]। এই নিউক্লিয়াসের চারদিকেই বিক্ষিপ্ত অবস্থায় রয়েছে ইলেকট্রনসমূহ। ধন আধানযুক্ত আলফা কণা স্বর্ণপাতের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় নিউক্লিয়াসের খুব নিকটে আসার সম্ভাবনা কম। তাই অধিকাংশ আলফা কণাই প্রায় শূন্য জায়গার মধ্য দিয়ে সোজা পথেই বের হয়ে আসবে। আবার যেসব আলফা কণা নিউক্লিয়াসের প্রায় কাছাকাছি আসবে তারা নিউক্লিয়াসের ধন আধান দ্বারা বিকর্ষিত হবে এবং এদের আদি গতিপথ হতে বিচ্যুত হবে। উপরন্তু যেসব আলফা কণিকা নিউক্লিয়াসের দিকে মুখোমুখি অগ্রসর হবে তারাই নিউক্লিয়াসের সর্বাপেক্ষা নিকটবর্তী হবে এবং কুলম্বের বিপরীত বর্গীয় সূত্রানুযায়ী এই সব কণা অধিক বল দ্বারা বিকর্ষিত হয়ে আদি গতিপথের সাথে 180° কোণে ফিরে আসবে।



চিত্র ৯.৩

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

উল্লেখ থাকে যে, আলফা কণা ইলেকট্রন অপেক্ষা প্রায় 7000 গুণ ভারী এবং এরা প্রচণ্ড বেগে স্বর্ণপাতে আঘাত করে। সেহেতু স্বর্ণপাতের পরমাণুর অভ্যন্তরস্থ ইলেকট্রনের সঙ্গে ধাক্কা খেয়ে 180° কোণে বা অন্য যে কোনো কোণে ফিরে আসার সম্ভাবনা নেই বলে ধরে নেয়া যেতে পারে। তাই বলা যায় আলফা কণা সোজাসুজি তার চেয়ে ভারী ও

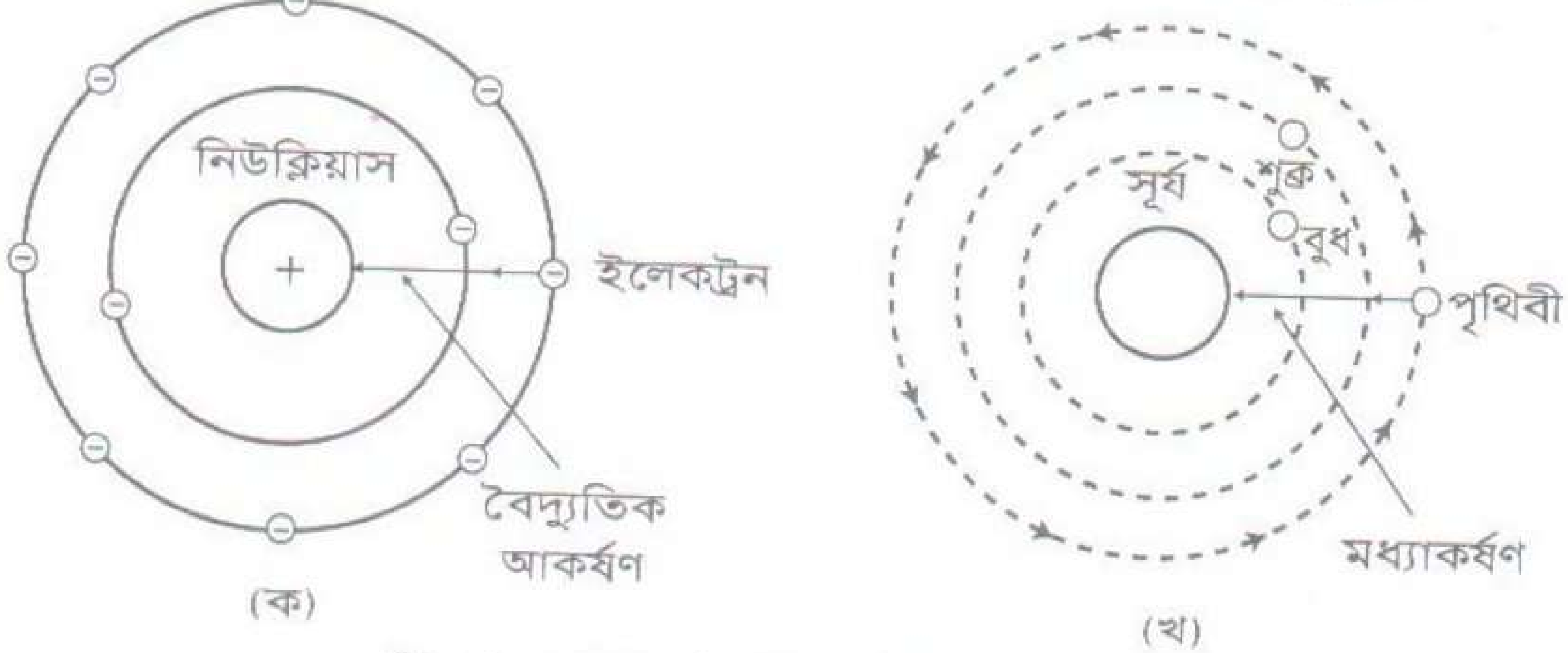
ধনাত্মক চার্জযুক্ত কোনো বিন্দুর সাথে সংঘর্ষে লিপ্ত হয় এবং বিকর্ষিত হয়। তিনি পরমাণুর কেন্দ্রে ভারী ধনাত্মক চার্জযুক্ত বস্তুকে নিউক্লিয়াস নামে অভিহিত করেন।

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

৯·৩ রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল
Rutherford's Atom Model

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

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



চিত্র ৯·৪ : রাদারফোর্ড মডেল অনুযায়ী পরমাণুর আকৃতি।

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

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

৯·৪ রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলের সীমাবদ্ধতা
Limitation of Rutherford's Atom Model

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

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

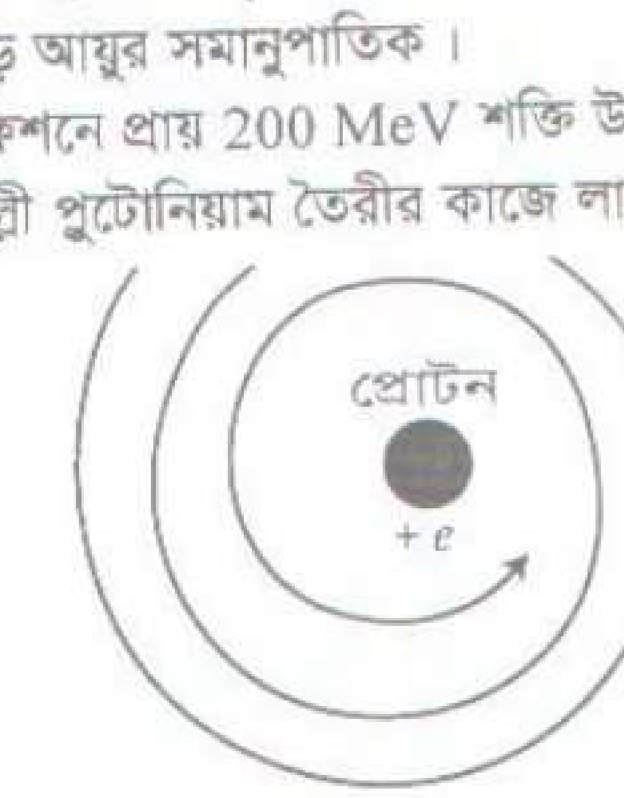
বিশেষ তথ্যঃ
০১. আলফা কণা ইলেক্ট্রন অপেক্ষা 7000 গুণ ভারী।
০২. প্রোটন সমৃদ্ধ স্থায়ী নিউক্লিয়াস হল বিসমাথ।
০৩. α, β, γ রশ্মির অস্তিত্ব প্রমাণ করেন বিজ্ঞানী মাদাম কুরী।
০৪. অর্ধায়ু গড় আয়ুর সমানুপাতিক।
০৫. প্রতিটি ফিশনে প্রায় 200 MeV শক্তি উৎপন্ন হয়।
০৬. ব্রিডার চুল্লী প্লুটোনিয়াম তৈরীর কাজে লাগে।

পরমাণুর মডেল এবং নিউক্লি...

বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ হিসেবে শক্তি বিকিরণ করবে। ফলশ্রুতিতে এদের বৃত্তাকার পথের ব্যাসার্ধ হ্রাস পাবে। সুতরাং একটি সর্পিল নিকটবর্তী হয়ে পরিশেষে নিউক্লিয়াসের উপর এসে পড়বে ও এ... বিলীন হয়ে যাবে এবং পরমাণুর স্থায়িত্ব বিনষ্ট হবে।

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

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



চিত্র ৯.৫

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

৯.৫ বোরের পরমাণু মডেল
Bohr's Atom Model

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

বোর-এর স্বীকার্য (Bohr's postulat...

প্রথম স্বীকার্য : কোনো স্থায়ী কক্ষপথে... গুণিতক হবে, এখানে h হলো প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক...

এর অর্থ এই যে r ব্যাসার্ধের স্থায়ী কক্ষ... $mvr = L = \frac{nh}{2\pi}$, এখানে n একটি পূর্ণ সংখ্যা। ... সাপেক্ষে ১ম, ২য়, ৩য় ইত্যাদি স্থায়ী কক্ষপ... **কোয়ান্টাম সংখ্যা** (Principal quantum nun...

হিসাব : একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর মধ্যে...
$h = 6.6 \times 10^{-34}$ Js

বোরের স্বীকার্য অনুযায়ী ইলেকট্রনের...

$$L = \frac{nh}{2\pi} = \frac{3 \times 6.63 \times 10^{-34}}{2\pi}$$

$$= 3.15 \times 10^{-34}\ kg\ m^2s^{-1}$$

দ্বিতীয় স্বীকার্য : পরমাণুস্থ ইলেকট্র... নিউক্লিয়াসের চারদিকে পরিভ্রমণ করতে পা... পরিভ্রমণ করে। এই কক্ষপথগুলোকে স্থায়ী...

পরমাণুর গঠনঃ

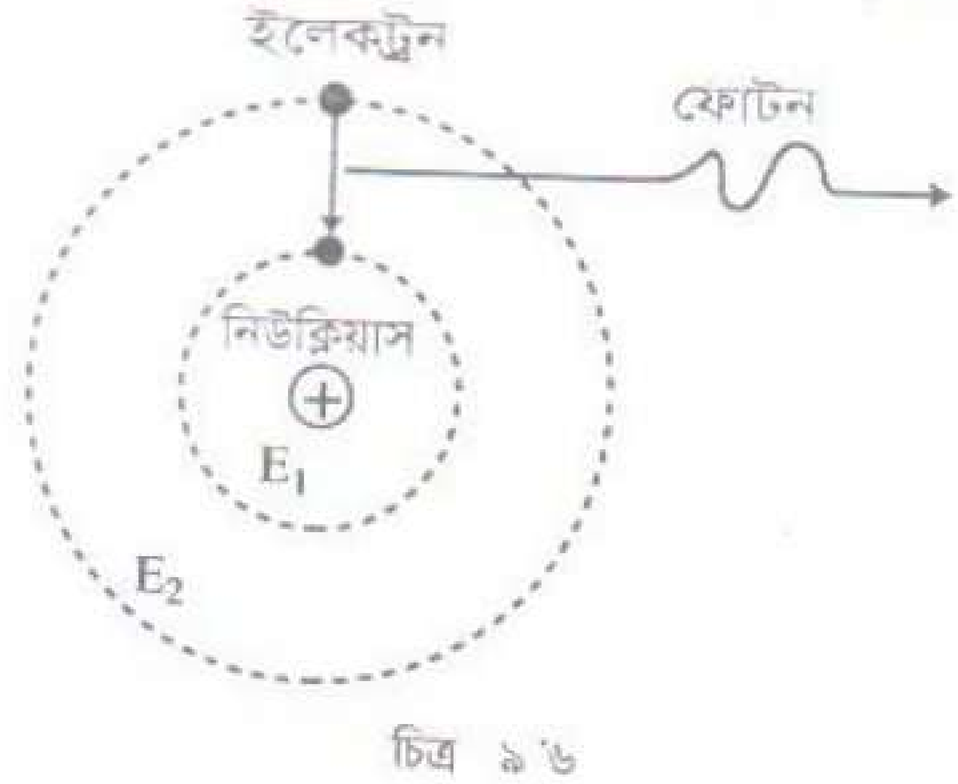
নাম	ব্যাসার্ধ	চার্জ	ভর	আবিষ্কার
পরমাণু	10^{-10} m/10^{-8}m	নিরপেক্ষ	$10^{-27}/10^{-25}$kg	ডেমোক্রিটাস
নিউক্লিয়াস	10^{-14} m/10^{-15}m	ধনাত্মক	প্রায় পরমাণুর সমান	লর্ড রাদারফোর্ড ১৯১১
ইলেকট্রন	1.4×10^{-15}m	-4.8×10^{-10} e.s.u	9.1×10^{-31} kg/9.1085×10^{-28}g	জে,জে,থমসন, ১৮৯৭
প্রোটন	1.4×10^{-15}m	$+4.8\times10^{-10}$e.s.u	1.673×10^{-27} kg	গোল্ডস্টাইন, ১৮৮৬
নিউট্রন	1.4×10^{-15}m	নিরপেক্ষ	1.673×10^{-27} kg	চ্যাডউইক, ১৯৩২

পজিট্রনঃ ১৯৩২ সালে অ্যান্ডারসন আবিষ্কার করেন।
→ ধনচার্জযুক্ত ইলেকট্রন
→ একেক অ্যান্টি ইলেকট্রন বলে।

□ ইলেকট্রনঃ
(ক) অপর নাম নেগাট্রন
(খ) নিউক্লিয়াস ধনচার্জযুক্ত, ইলেকট্রন ঋণচার্জযুক্ত
(গ) কোন সুস্থির পরমাণুতে প্রোটন এবং ইলেকট্রনের সংখ্যা সমান
(ঘ) ইলেকট্রনের ভর হাইড্রোজেনের ভরের 1/1836
(ঙ) কোন কক্ষপথে সর্বাধিক ইলেকট্রনের সংখ্যা হতে পারে $2n^2$
যেখানে n = কক্ষপথের সংখ্যা।

□ ভারী মৌলিক পদার্থ যাদের পারমাণবিক ওজন 206 এর অধিক তাদের অস্থায়ী নিউক্লিয়াস বলে। যেমন-ইউরেনিয়াম, প্লুটোনিয়াম ইত্যাদি নিউক্লিয়াস।

ইলেকট্রনসমূহ কখনও শক্তি বিকিরণ করে না এবং ইলেকট্রনের গতিপথ সর্পিল আকারে ক্রমশ নিউক্লিয়াসের দিকে এগিয়ে আসে না। ফলে বোরের পরমাণু মডেল রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেলের সীমাবদ্ধতাকে অতিক্রম করে।



চিত্র ৯.৬

তৃতীয় স্বীকার্য : যখনই কোনো ইলেকট্রন একটি সুবিধাযুক্ত কক্ষপথ হতে অপর একটি সুবিধাযুক্ত কক্ষপথে লাফ দেয়, তখনই শক্তির বিকিরণ বা শোষণ ঘটে। যদি ইলেকট্রন উচ্চতর সুবিধাযুক্ত কক্ষপথ হতে নিম্নতর সুবিধাযুক্ত কক্ষপথে লাফ দেয়, তবে শক্তির বিকিরণ ঘটে [চিত্র ৯.৬]। আর যদি ইলেকট্রন নিম্নতর সুবিধাযুক্ত কক্ষপথ হতে উচ্চতর সুবিধাযুক্ত কক্ষপথে লাফ দেয় তবে শক্তির শোষণ ঘটে। এই বিকিরিত বা শোষিত শক্তির পরিমাণ ঐ দুটি কক্ষপথের শক্তির বিয়োগফলের সমান এবং এর মান এক কোয়ান্টাম অর্থাৎ $h\upsilon$।

$$\therefore \quad E = E_2 \sim E_1 = h\upsilon \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (9.1)$$

এখানে, E = বিকিরিত বা শোষিত শক্তি

E_1 = নিম্নতর কক্ষপথের শক্তি ও

E_2 = উচ্চতর কক্ষপথের শক্তি।

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

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

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

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

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

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

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

ইলেকট্রন নিজ নিজ কক্ষপথে আবর্তনকালে কোনো শক্তি বিকিরণ করবে না। আবার শোষণও করবে না। তবে যখনই কোনো ইলেকট্রন একটি সুবিধাযুক্ত কক্ষপথ হতে অপর একটি সুবিধাযুক্ত কক্ষপথে লাফ দেয় তখনই শক্তির বিকিরণ বা শোষণ ঘটে। যদি ইলেকট্রন উচ্চতর সুবিধাযুক্ত কক্ষপথ হতে নিম্নতর সুবিধাযুক্ত কক্ষপথে লাফ দেয়, তখন শক্তির বিকিরণ ঘটে। আর নিম্নতর সুবিধাজনক কক্ষপথ হতে উচ্চতর সুবিধাজনক কক্ষপথে লাফ দেয় তখন শক্তির

শোষণ ঘটে। এই বিকিরণ বা শোষণের শক্তির পরিমাণ, ঐ দুটি কক্ষপথের শক্তির বিয়োগফলের সমান এবং এর মান এক কোয়ান্টা বা $h\upsilon$।

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

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

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি হাইড্রোজেন পরমাণু উত্তেজিত অবস্থা থেকে ভূমি অবস্থায় আসলে যে ফোটন নিঃসরণ করবে তার কম্পাঙ্ক কত হবে ? উত্তেজিত এবং ভূমি অবস্থার শক্তি যথাক্রমে -3.4 eV এবং -13.6 eV।

আমরা জানি,

$$h\upsilon = E_2 - E_1$$

$$\upsilon = \frac{E_2 - E_1}{h} = \frac{-3.4-(-13.6)}{6.63\times10^{-34}}$$

$$= 2.46\times10^{15}\ \text{Hz}$$

এখানে,
নিম্ন শক্তিস্তর, $E_1 = -13.6$ eV
উচ্চ শক্তিস্তর, $E_2 = -3.4$ eV
কম্পাঙ্ক, $\upsilon = ?$
প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক, $h = 6.63\times10^{-34}$ J-s

বোর মডেল অনুসারে হাইড্রোজেন পরমাণুর ব্যাসার্ধ ও শক্তির রাশিমালা
Expression for Radius and Energy of the Hydrogen Atom According to Bohr Model

ব্যাসার্ধের রাশিমালা :

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

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.2)$$

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

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{r^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.3)$$

স্থির তড়িৎ বলই কেন্দ্রমুখী বল সরবরাহ করে, সুতরাং

$$F_c = F_e \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.4)$$

সমীকরণ (9.2) ও (9.3) থেকে পাই

$$mv^2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{r}$$

বা, $$v = \frac{e}{\sqrt{4\pi\varepsilon_0 mr}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.5)$$

$\therefore$ n-তম কক্ষপথের জন্য, $$v_n = \frac{e}{\sqrt{4\pi\varepsilon_0 mr_n}} \quad \ldots \quad \ldots \quad [9.5(a)]$$

বোরের ১ম স্বীকার্য থেকে আমরা জানি,

$mv_n r_n = \dfrac{nh}{2\pi}$, 9.5(a) সমীকরণ থেকে v_n-এর মান বসিয়ে পাই,

বা, $$r_n = \frac{n^2h^2\varepsilon_0}{\pi me^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad [9.5(b)]$$

[9.5(b)] সমীকরণ হলো n-তম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ। $n = 1$ বসিয়ে হাইড্রোজেন পরমাণুর ১ম কক্ষপথের ব্যাসার্ধ পাওয়া যায় $r_1 = \dfrac{h^2\varepsilon_0}{\pi me^2}$

শক্তির রাশিমালা :

হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটিমাত্র ইলেকট্রন আছে। ধরি ইলেকট্রনের মোট শক্তি

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

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

$$E = \frac{1}{2}mv_n^2 - \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{r_n} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.6)$$

এই সমীকরণে v_n এবং r_n-এর মান বসিয়ে সমাধান করে n-তম কক্ষপথের শক্তি পাওয়া যায়,

$$E_n = -\frac{me^4}{8\epsilon_0^2 n^2 h^2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.7)$$

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

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

(9.7) সমীকরণে মান বসিয়ে প'ওয়া যায় $E_1 = -13{\cdot}6$ eV। ইহা হাইড্রোজেন পরমাণুর ভূমি অবস্থার শক্তি নির্দেশ করে।

গাণিতিক উদাহরণ

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

আমরা জানি,

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

প্রথম অক্ষের ব্যাসার্ধ,

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

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

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

$$= 0{\cdot}532\ \mathring{A}$$

এখানে,
$n = 1$
$\epsilon_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-11}\ C^2\ N^{-1}\ m^{-2}$
$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ J s
$m = 9{\cdot}11 \times 10^{-31}$ kg
$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C
$r = ?$

২। হাইড্রোজেন পরমাণুর দ্বিতীয় কক্ষের ইলেকট্রনের শক্তি নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

হাইড্রোজেন পরমাণুর n-তম কক্ষের ইলেকট্রনের শক্তি,

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

∴ দ্বিতীয় কক্ষের শক্তি,

$$E_2 = \frac{-9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19})^4}{8 \times (8{\cdot}85 \times 10^{-12})^2 \times (2)^2 \times (6{\cdot}63 \times 10^{-34})^2}$$

$$= -5{\cdot}41 \times 10^{-19}\ J$$

এখানে,
$n = 2$
$m = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg
$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C
$\epsilon_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}\ C^2\ N^{-1}\ m^{-2}$
$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ J s

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

আমরা জানি,

$$h\upsilon = \frac{E_0 - E_1}{h}$$

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

$$= 2{\cdot}46 \times 10^{15}\ Hz$$

এখানে,
$E_1 \ -13{\cdot}6$ eV
$E_0 = -3{\cdot}4$ eV
$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-3}$ Js
কম্পাঙ্ক, $\upsilon = ?$

কাজ : বোর কক্ষপথগুলিকে স্থায়ী কক্ষপথ বলা হয় কেন ?

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

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

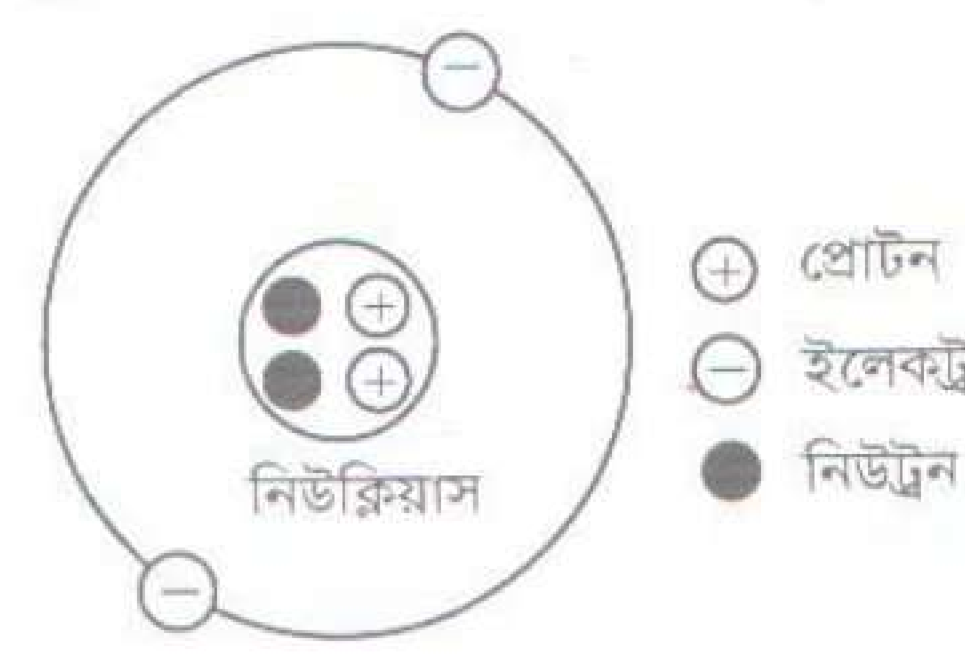
নিউক্লিয়াসের চারদিকে ইলেকট্রনের ঘূর্ণনের জন্য প্রয়োজনীয় কেন্দ্রমুখী বলের উৎস নিউক্লিয়াসে অবস্থিত ধনচার্জ এবং এর চারদিকে ঘূর্ণায়মান ঋণচার্জযুক্ত ইলেকট্রনের ওপর কুলম্বীয় আকর্ষণ বল। অর্থাৎ স্থির তড়িৎ বলই কেন্দ্রমুখী বল সরবরাহ করে।

৯.৬ নিউক্লিয়াসের গঠন
Structure of the Nucleus

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

প্রোটন-নিউট্রন তত্ত্ব : 1932 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী **চ্যাডউইক** নিউট্রন আবিষ্কার করেন। নিউট্রন হলো একটি চার্জহীন কণা যার ভর প্রায় প্রোটনের ভরের সমান। নিউট্রন আবিষ্কৃত হওয়ার পর বিজ্ঞানিগণ সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে হাইড্রোজেন ব্যতীত সকল পরমাণুর নিউক্লিয়াস প্রোটন-নিউট্রনের সমন্বয়ে গঠিত। এটি হলো প্রোটন-নিউট্রন তত্ত্ব। একটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াস ধরা যাক। এর নিউক্লিয়াসে 2টি প্রোটন ও 2টি নিউট্রন রয়েছে। দুটি প্রোটনের ধনচার্জ নিউক্লিয়াসের বাইরে দুটি ইলেকট্রনের ঋণচার্জ দ্বারা প্রশমিত হবে, ফলে হিলিয়াম পরমাণুটি তড়িৎ নিরপেক্ষ হবে। এই মতবাদ অনুযায়ী হিলিয়াম নিউক্লিয়াসের গঠন দেখান হলো [চিত্র ৯.৭]।

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



চিত্র ৯.৭ : প্রোটন, নিউট্রন মতবাদ অনুসারে হিলিয়াম নিউক্লিয়াসের গঠন।

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

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

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

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

নিউক্লিয়াসের গঠন সম্পর্কে প্রোটন-নিউট্রন তত্ত্বের সাহায্যে পরমাণু ও নিউক্লিয়াসের অনেক জটিল সমস্যা ব্যাখ্যা করা সম্ভব হয়েছে।

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

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

নিউক্লিয় বলের বৈশিষ্ট্য : নিউক্লিয় বলের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্য রয়েছে—

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

২। এটি শুধুই আকর্ষণ বল।

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

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

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

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

তেজস্ক্রিয়তা
Radioactivity

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

তেজস্ক্রিয়তা একটি স্বতঃস্ফূর্ত স্বীয় বিচ্ছিন্নকারী (disruptive) প্রক্রিয়া। যেসব মৌলিক পদার্থের পারমাণবিক ভর 206-এর অধিক তাদের ক্ষেত্রে এই প্রক্রিয়া ঘটে থাকে। 1896 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত ফরাসি বিজ্ঞানী **হেনরী বেকরেল** (Henry Becquerel) সর্বপ্রথম তেজস্ক্রিয়া আবিষ্কার করেন। তিনি লক্ষ করেন যে, ইউরেনিয়াম এবং তাদের যৌগ হতে আপনা-আপনি এক প্রকার রহস্যজনক কণা এবং রশ্মি নির্গত হতে থাকে। এর পর **পিয়ারে কুরী** এবং তাঁর স্ত্রী **মাদাম কুরী** থোরিয়ামের মধ্যে এই একই গুণ আবিষ্কার করেন। পরবর্তীকালে **রেডিয়াম, পলোনিয়াম** এবং **অ্যাকটিনিয়াম** প্রভৃতি ভারী মৌলিক পদার্থের এই গুণ আবিষ্কৃত হয়। **কোনো পদার্থ হতে স্বতঃস্ফূর্তভাবে কণা এবং রশ্মি নির্গত হওয়ার প্রক্রিয়াকে তেজস্ক্রিয়তা (Radioactivity) বলে এবং যে সমস্ত পদার্থ হতে এই কণা এবং রশ্মি নির্গত হয় এদেরকে যথাক্রমে তেজস্ক্রিয় পদার্থ (Radioactive substance) ও তেজস্ক্রিয় রশ্মি (Radioactive rays) বলে। তেজস্ক্রিয়তা একটি নিউক্লীয় ঘটনা।**

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

তেজস্ক্রিয়তার ব্যবহার
Uses of radioactivity

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

(১) এটা তেজস্ক্রিয় প্রদর্শক হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

(২) এটা কৃষি বিদ্যায় ব্যবহৃত হয়।

(৩) এটা চিকিৎসা বিদ্যায় ব্যবহৃত হয়।

(৪) এটা রসায়ন বিদ্যায় ব্যবহৃত হয়।

(৫) শিল্প ক্ষেত্রেও এর ব্যবহার সমধিক।

তেজস্ক্রিয়তার বৈশিষ্ট্য
Characteristics of radioactivity

তেজস্ক্রিয়ার নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যসমূহ দেখা যায় :

১। যে সব মৌলের পারমাণবিক সংখ্যা 83-এর বেশি সেসব পদার্থই তেজস্ক্রিয় ধর্ম দেখায়।

২। তেজস্ক্রিয়া স্বাভাবিক ও স্বতঃস্ফূর্ত নিউক্লীয় ঘটনা। এটি অবিরাম প্রক্রিয়া, সবিরাম নয়।

৩। তাপমাত্রা বা চাপের পরিবর্তন, পারিপার্শ্বিক যে কোনো বিকিরণ, বিদ্যুৎ বা চৌম্বক ক্ষেত্র, বাহ্যিক কোনো বল ইত্যাদি তেজস্ক্রিয়াকে প্রভাবিত করে না।

৪। তেজস্ক্রিয় পদার্থ থেকে সাধারণত আলফা, বিটা, গামা রশ্মি নিঃসরণ হয়।

তেজস্ক্রিয়তার একক (Unit of radioactivity)

তেজস্ক্রিয়া পরিমাপের জন্য দুটি একক রয়েছে, যথা—

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

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

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

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

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

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

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

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

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

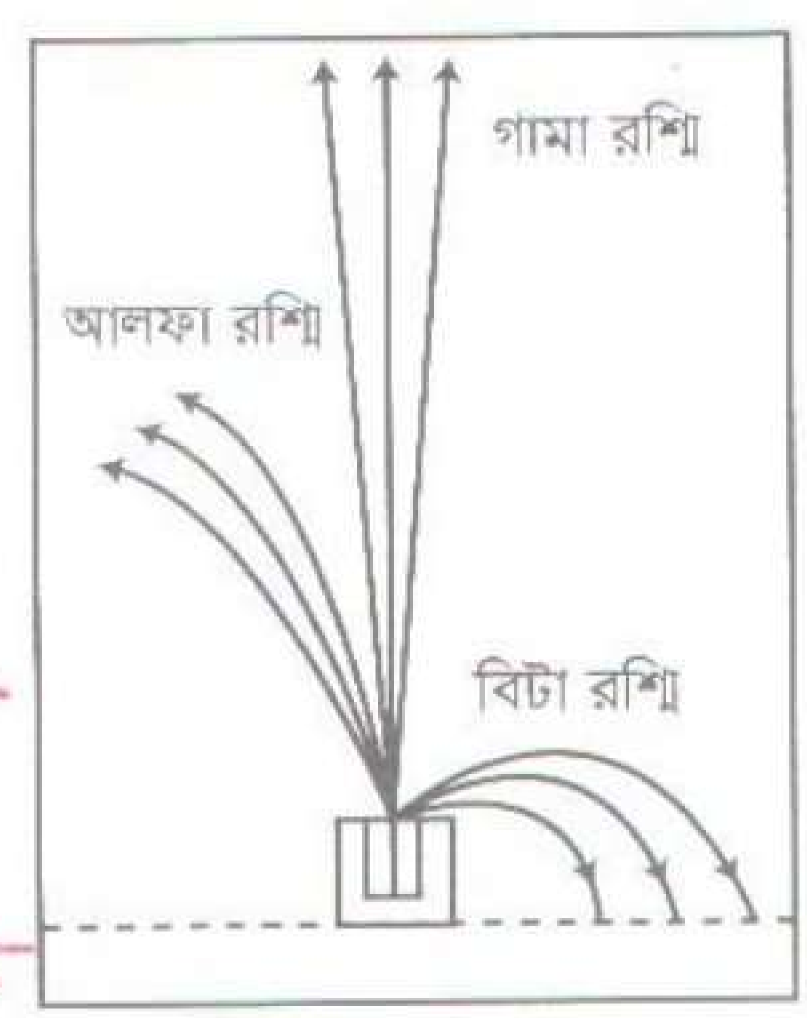
তেজস্ক্রিয় রশ্মি
Radioactive rays

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

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

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

তিনি একটি সীসার ব্লক বা খণ্ড নেন [চিত্র ৯.৮]। সীসার খণ্ডে লম্বা একটি সরু ছিদ্র করে তার মধ্যে এক টুকরা রেডিয়াম স্থাপন করেন। ছিদ্র হতে সামান্য দূরে অনুভূমিকভাবে বা কাগজের তলের অভিলম্বভাবে একটি ফটোগ্রাফিক প্লেট স্থাপন করেন যাতে রেডিয়াম হতে নির্গত রশ্মিসমূহ এতে পতিত হয়। তারপর সম্পূর্ণ ব্যবস্থাকে একটি বায়ুরুদ্ধ কক্ষে স্থাপন করে ভেতরের বায়ু বের করে নেন এবং নির্গত রশ্মির অভিলম্ব বরাবর একটি চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করেন। এতে ফটোগ্রাফিক প্লেটের **তিনটি** স্থানে **তিনটি** পরিষ্কার দাগ লক্ষ করেন—একটি বাম দিকে, একটি ডান দিকে এবং অপরটি ঠিক মাঝখানে।



চিত্র ৯.৮

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

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

...ন রশ্মি	আলফা রশ্মি	বিটা রশ্মি	গামা রশ্মি
... ভর নেই।	৩.ভর আছে। এর মান 6.6×10^{-27}kg।	৩. ভর আছে। এর মান9.1×10^{-31}kg।	৩.ভর নেই।
২. চার্জহীন	৪. ধনচার্জে চার্জিত। এর মান 3.2×10^{-19}C।	৪. ঋণচার্জে চার্জিত। এর মান1.6×10^{-19}C	৪. চার্জহীন।
৩. বেগ 3×10^{8}ms^{-1}	৬. বেগ 1.4 হতে 2.4ms^{-1}	৬. বেগ 1.10 হতে 2.96×10^{-18}ms^{-1}।	৬. বেগ 3×10^{8}ms^{-1}
৪. তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 10^{-11}m হতে 10^{-13}m	৭. কণা ধর্মী, তরঙ্গ দৈর্ঘ্য নেই।	৭. কণা ধর্মী, তরঙ্গ দৈর্ঘ্য নেই।	৭. 1.37×10^{-10}m হতে 7.1×10^{11} m।
৫.ভেদন ক্ষমতা মানুষের শরীরে 0.2 m এর কম	৮. ভেদন ক্ষমতা .027-.0862m বায়ু।	৮. ভেদন ক্ষমতা 1× 10^{-4}m সীসা কিংবা 5×10^{-4}m অ্যালুমিনিয়াম।	৮. ভেদন ক্ষমতা .30m লোহা।

দ্বিতীয় পত্র

হলে যে নতুন মৌল-পরমাণু তৈরি হয় তার ভর স...
ণবিক সংখ্যা অপেক্ষা যথাক্রমে 4 একক ও 2 এক...

র সংখ্যা একই থাকে; কিন্তু পারমাণবিক সংখ্যা ...

বিক সংখ্যার কোনো পরিবর্তন হয় না।

... α এবং β-কণা নিঃসৃত হয় বের কর।

আমরা জানি,

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

এখানে,

ভর সংখ্যার হ্রাস $= 222 - 210 = 12$

পারমাণবিক সংখ্যার হ্রাস $= 86 - 84 =$ ...

এখন, α-কণার ভর সংখ্যা 4

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

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

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

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

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

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

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

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

তেজস্ক্রিয় রশ্মির ধর্ম
Properties of radioactive rays

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

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

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

(৩) এরা দ্বি-আয়নিত হিলিয়াম পরমাণু।

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

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

(৬) এরা ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর বিক্রিয়া করে।

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

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

(৯) বাতাসে এদের গম্যতার (Range) সীমা $\cdot027$ m হতে প্রায় $\cdot09$ m।

(১০) বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় বস্তু হতে আলফা রশ্মি বিভিন্ন বেগে নির্গত হয়। এই বেগ 1.4×10^7 ms^{-1} হতে 1.9×10^7 ms^{-1} হয়।

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

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

বিটা রশ্মির ধর্ম : (১) বিটা রশ্মি খুবই হালকা। এরা ইলেকট্রন প্রবাহ।

(২) এদের ভর 9.1×10^{-31} kg।

(৩) এরা ঋণ চার্জ বহন করে। এই চার্জের মান 1.6×10^{-19} C।

(৪) বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় বস্তু হতে বিটা রশ্মি প্রচণ্ড বেগে নির্গত হয়। এই বেগ 0.9×10^8 ms^{-1} হতে 2.9×10^8 ms^{-1} হতে পারে।

(৫) এরা ফটোগ্রাফিক প্লেটের উপর প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে।

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

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

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

(৯) এরা বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয়।

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

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

(১২) এদের গতিশক্তি আছে।

গামা রশ্মির ধর্ম : (১) গামা রশ্মি অতি ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ।

(২) গামা রশ্মির কোনো ভর নেই।

(৩) গামা রশ্মির কোনো চার্জ নেই।

(৪) গামা রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য দৃশ্যমান আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় অনেক কম।

(৫) গামা রশ্মি 3×10^8 ms^{-1} বেগে গমন করে।

(৬) গামা রশ্মি বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয় না।

(৭) গামা রশ্মি চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয় না।

(৮) গামা রশ্মি ফটোগ্রাফিক প্লেটে প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে।

(৯) এরা কোনো পদার্থের উপর আপতিত হয়ে প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করে।

(১০) গামা রশ্মির আয়নায়ন ক্ষমতা আছে। এই ক্ষমতা আলফা এবং বিটা রশ্মির তুলনায় অনেক কম।

(১১) গামা রশ্মির ভেদন ক্ষমতা আছে। আলফা এবং বিটা রশ্মির তুলনায় এই ভেদন ক্ষমতা অনেক বেশি।

(১২) এটা আলোকের মতো বিদ্যুৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গ বলে গামা রশ্মির প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, অ ইত্যাদি সব আলোকীয় ধর্ম আছে।

রশ্মি বা কণা	আপেক্ষিক চার্জ	আপেক্ষিক ভর	রশ্মি বা কণার প্রকৃতি	ভেদন ক্ষমতা
α-রশ্মি	+2	4 একক	দ্বিধনাত্মক	1 গুণ হলে
β-রশ্মি	−1	0	একক ঋণাত্মক	1000গুণ
γ-রশ্মি	0	0	বিদ্যুৎচুম্বকীয় তরঙ্গ	10000গুণ

ক্ষয়
Decay

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

তেজস্ক্রিয় ক্ষয়ের সূত্র
Radioactive decay law

তেজস্ক্রিয়া একটি স্বতঃস্ফূর্ত এবং আকস্মিক ঘটনা। তেজস্ক্রিয় ধর্মের পরিবর্তনের কারণ পরমাণুর ভাঙন বা অবক্ষয়। এই ভাঙন বা অবক্ষয় অবিরাম চলতে থাকবে যতক্ষণ পর্যন্ত এটি একটি অতেজস্ক্রিয় স্থায়ী মৌল পরমাণুতে

পরিণত না হয়। ভাঙ্গানের সময় আলফা বা বিটা কণা নির্গত হয়। 1902 খ্রিস্টাব্দে রাদারফোর্ড এবং সডি তেজস্ক্রিয় অবক্ষয় সূত্র আবিষ্কার করেন। সূত্রটি নিম্নে বিবৃত হলো—

কোনো মুহূর্তে তেজস্ক্রিয় পরমাণুর ভাঙন বা অবক্ষয়ের হার ঐ সময়ে উপস্থিত অক্ষত পরমাণুর সমানুপাতিক।

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

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

বা, $\frac{dN}{dt} = -\lambda N$ বা, $\frac{dN}{N} = -\lambda.dt$ ... ... (9.8)

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

সমীকরণ (9.8)-কে সমাকলন করে পাই,

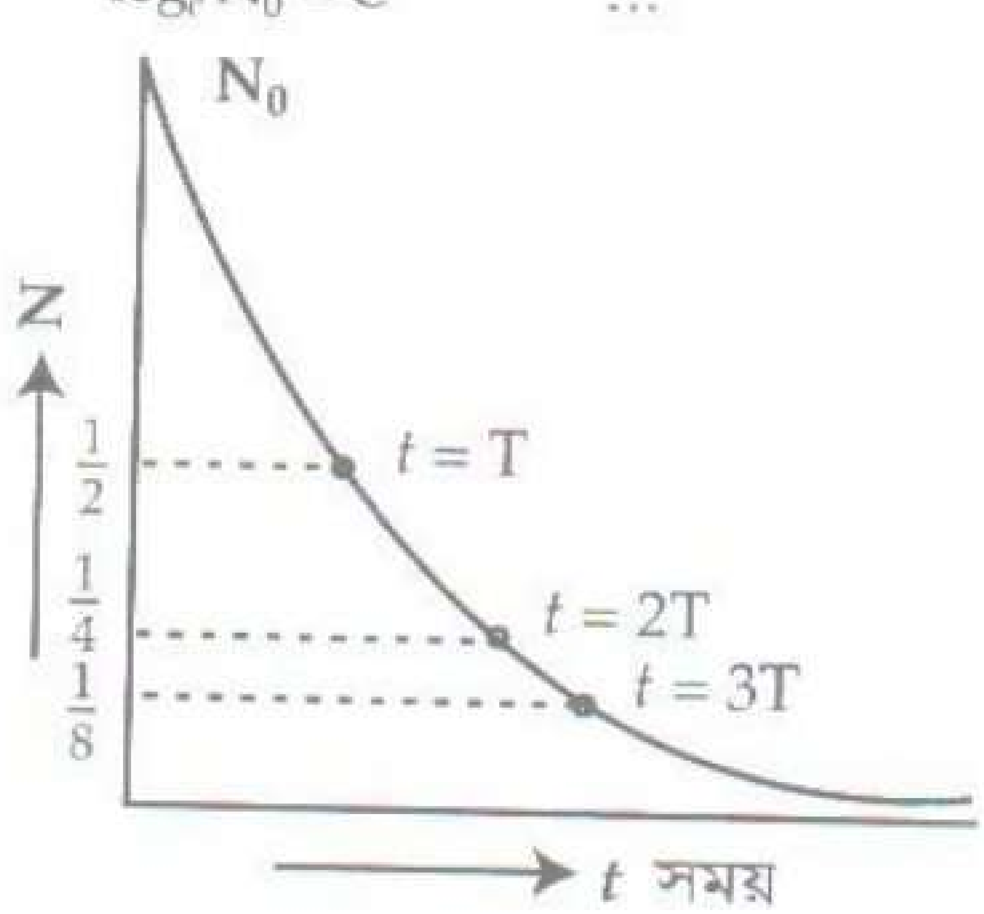
$\log_e N = -\lambda t + C$ ... ... (9.9)

এখানে, C একটি সমাকলন ধ্রুবক। এর মান নির্ণয় করতে হবে।

মনে করি শুরুতে অর্থাৎ যখন, $t = 0$, তখন $N = N_0$

$\therefore$ সমীকরণ (9.9) হতে পাই

$\log_e N_0 = C$ ... ... (9.10)



চিত্র ৯.৯

এখন সমীকরণ (9.9) এবং (9.10) হতে আমরা পাই,

$\log_e N = -\lambda t + \log_e N_0$

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

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

$\therefore$ $\mathbf{N = N_0 e^{-\lambda t}}$ ... ... (9.11)

এটিই তেজস্ক্রিয় ক্ষয়ের সূত্র।

এ সূত্রটি **সূচকীয় সূত্র** (Exponential law) মেনে চলে [চিত্র ৯.৯]। এর লেখ অর্থাৎ সময় t-এর সাথে অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা N-এর লেখ পার্শ্বের চিত্রের মতো হবে।

চিত্র ৯.৯ হতে দেখা যায় যে, শুরুতে অর্থাৎ ($t = 0$ সময়ে) কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থে নির্দিষ্ট পরিমাণ পরমাণু থাকলে, T সময় পরে ঐ তেজস্ক্রিয় পদার্থের পরিমাণ অর্ধেক হয়ে যায়; 2T সময় পরে ঐ অবশিষ্ট পরিমাণ আবার অর্ধেক হয়ে যায় অর্থাৎ তখন প্রারম্ভিক পরিমাণের $\frac{1}{4}$ অংশ অবশিষ্ট থাকে। $N-t$ লেখচিত্র হতে প্রমাণিত হয় যে, পরমাণু ভাঙার জন্য **কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের অসীম সময় লাগে।**

ক্ষয় ধ্রুবক বা অবক্ষয় ধ্রুবক বা ভাঙন ধ্রুবক :

সমীকরণ (9.8) হতে পাই,

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

বা, $\lambda = -\frac{dN/dt}{N}$

এখন, N = 1 হলে উপরের সমীকরণ থেকে পাই,

$$\lambda = -dN/dt$$

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

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

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

গাণিতিক উদাহরণ

১। রেডনের অর্ধায়ু 3·82 দিন। রেডনের তেজস্ক্রিয় ধ্রুবকের মান কত এবং কত দিন পর রেডনের প্রারম্ভিক মানের $\frac{1}{20}$ অংশ অপরিবর্তিত থাকবে ? [কু. বো. ২০১০, ২০০৩, ২০০০; ঢা. বো. ২০০৯; ব. বো. ২০০৮]

এখানে, $T = 3{\cdot}82\ d$

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

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

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

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

প্রশ্নানুসারে, $N = \frac{N_0}{20}$

আমরা জানি, $N = N_0 e^{-\lambda t}$

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

বা, $\frac{1}{20} = e^{-\lambda t}$

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

বা, $0 - \ln 20 = -\lambda t$

বা, $\ln 20 = \lambda t$

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

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

২। প্রারম্ভিক অবস্থায় কোনো বস্তু খণ্ডে যদি 10^8 সংখ্যক রেডন পরমাণু থাকে তাহলে একদিনে কত সংখ্যক পরমাণু ভেঙে যাবে? রেডনের অর্ধায়ু 4 দিন। [য. বো. ২০০৫]

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

$\Delta N = N_0 - N$ ... ... (1)

আবার আমরা জানি, $N = N_0 e^{-\lambda t}$ ... ... (2)

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

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

সমীকরণ (2) থেকে পাই,

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

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

অর্ধজীবন বা অর্ধায়ু
Half life

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

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

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

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

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

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

$= \frac{0{\cdot}693}{\lambda}$ ... ... (9.12)

অর্থাৎ তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু এর ক্ষয় ধ্রুবকের ব্যস্তানুপাতিক।

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

গাণিতিক উদাহরণ

১। এক খণ্ড রেডনের 60% ক্ষয় হতে কত সময় লাগবে ? রেডনের অর্ধায়ু 3.82 দিন।

[ঢা. বো. ২০১১; রা. বো. ২০১০, ২০০৬; য. বো. ২০০৭, ২০০০; চ. বো. ২০০৬; সি. বো. ২০০৮, ২০০৪; কু. বো. ২০০৩; ব. বো. ২০০২]

আমরা জানি,

অর্ধায়ু, $T = \frac{0.693}{\lambda}$

বা, $3.82 = \frac{0.693}{\lambda}$

$\therefore \lambda = \frac{0.693}{3.82} = 0.1814$ দিন

এখানে,

$T = 3.82$ দিন

রেডনের 60% ক্ষয় হলে অবশিষ্ট থাকে 40% অর্থাৎ 100% প্রাথমিক পরমাণু সংখ্যার 60% ক্ষয় হলে অবশিষ্ট থাকে 40% । সুতরাং $\frac{N}{N_0} = \frac{40}{100}$

যেখানে N_0 = প্রাথমিক পরমাণু সংখ্যা এবং

N = অবশিষ্ট পরমাণু সংখ্যা

আমরা জানি, $N = N_0 e^{-\lambda t}$

$\therefore \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$ বা, $\frac{40}{100} = e^{-0.1814t}$

বা, $\frac{2}{5} = e^{-0.1814t}$ বা, $\ln\left(\frac{2}{5}\right) = -0.1814t$

$$\therefore t = \frac{\ln\left(\frac{2}{5}\right)}{-0.1814} = \frac{-0.9163}{-0.1814} = 5.05 \text{ দিন}$$

উত্তর : 5.05 দিন।

গড় আয়ু
Mean life or average life

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

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

গড় আয়ুকে সাধারণত τ দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

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

গাণিতিকভাবে দেখানো যায় যে, গড় আয়ু, $\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{0.693}$ ... ... (9.13)

সমীকরণ (9.13) হতে দেখা যায়, গড় আয়ু অর্ধায়ুর সমানুপাতিক।

গাণিতিক উদাহরণ

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

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

আমরা জানি,

গড় আয়ু, $\tau = \frac{1}{\lambda}$

আবার, অর্ধায়ু, $T = \frac{0.693}{\lambda}$

$\therefore \tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T}{0.693} = \frac{45 \times 10^8}{0.693}$ বছর $= 64.9 \times 10^8$ বছর

এখানে,

অর্ধায়ু, $T = 45 \times 10^8$ বছর

গড় আয়ু, $\tau = ?$

কতগুলো প্রয়োজনীয় রাশি
Some important terms

নিম্নে কতগুলো প্রয়োজনীয় রাশি আলোচনা করা হলো :

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

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

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

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

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

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

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

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

(চ) **রেডিও-আইসোটোপ (Radio-Isotopes) : কতকগুলো আইসোটোপে বা একস্থানিকে অল্প সময়ের জন্য কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা দেখা যায়। এদেরকে রেডিও-আইসোটোপ বা তেজস্ক্রিয় একস্থানিক বলে।**

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

নিম্নে একটি উদাহরণ দেওয়া হলো :

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

$$^{14}_{6}C \rightarrow ^{14}_{7}N + \beta^- \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (9.14)$$

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

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

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

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

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

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

(ছ) **পারমাণবিক শক্তি (Atomic energy) :** 1905 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত বিজ্ঞানী **আলবার্ট আইনস্টাইন** (Albert Einstein) দেখান যে, পদার্থ এবং শক্তি প্রকৃতপক্ষে অভিন্ন। পদার্থকে শক্তিতে রূপান্তরিত করা যায়। m ভরবিশিষ্ট কোনো

পদার্থকে সম্পূর্ণরূপে শক্তিতে রূপান্তরিত করলে প্রাপ্ত শক্তির পরিমাণ হবে, $E = mc^2$, এখানে c হলো আলোকের বেগ $= 3 \times 10^8\ ms^{-1}$।

একেই আইনস্টাইনের পদার্থ ও শক্তির অভিন্নতা বিষয়ক সূত্র বলা হয়।

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

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

ভর ত্রুটি
Mass defect

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

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

M = প্রোটনের ভর + নিউট্রনের ভর

বা, $M = ZM_p + NM_n$

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

$\therefore$ ভর-ত্রুটি, $\Delta m = ZM_p + NM_n - M$

বা, $\Delta m = ZM_p + (A - Z)M_n - M$ ... ... (9.15)

এখানে, A = ভরসংখ্যা এবং $N = (A - Z)$।

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

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

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

* প্রোটনের ভর = 1·007825 a.m.u.

নিউট্রনের ভর = 1·008665 a.m.u.

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

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

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

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

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

$\Delta E = \Delta m \times 931$ [$\because$ 1 a.m.u. = 931 MeV]

= 0·002388 × 931 = 2·23 MeV

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

বন্ধন শক্তি
Binding Energy

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

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

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

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

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

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

বা, $\quad$ B.E. $= [ZM_p + (A - Z)M_n - M]c^2 \quad \ldots \quad \ldots \qquad (9.16)$

এটাই হলো নিউক্লিয় বন্ধন শক্তির চূড়ান্ত রাশিমালা।

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

$\therefore \quad$ B.E. $= \Delta m.c^2 = (M - A)\, c^2$]

উদাহরণ : ডিউটেরন নিউক্লিয়াসের ভর-ত্রুটি

$\Delta m = 0{\cdot}002388$ a.m.u.

কিন্তু 1 a.m.u. $= 931$ MeV

$\therefore$ ডিউটেরনের বন্ধন শক্তি

B.E. $= 0{\cdot}002388 \times 931 = 2{\cdot}23$ MeV

প্রতি নিউক্লিয়নে বন্ধন শক্তি
Binding Energy per Nucleon

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

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

$$\therefore \text{গড় বন্ধন শক্তি} = \frac{\text{মোট বন্ধন শক্তি}}{\text{মোট নিউক্লিয়ন সংখ্যা}} = \frac{\text{B.E.}}{\text{A}} = \frac{\Delta mc^2}{\text{A}}\ \text{MeV/nucleon.}$$

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

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি হিলিয়াম ($_2He^4$) নিউক্লিয়াসের (i) ভর ত্রুটি, (ii) বন্ধন শক্তি এবং (iii) কণা প্রতি বন্ধন শক্তি বের কর। [একটি প্রোটনের ভর $= 1{\cdot}00728$ a.m.u., একটি নিউট্রনের ভর $= 1{\cdot}00876$ a.m.u. এবং 1 a.m.u. $= 931$ MeV].

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

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

2টি নিউট্রনের ভর $= 2 \times 1{\cdot}00867 = 2{\cdot}01734$ a.m.u.

$\therefore$ এদের মোট ভর $= 2{\cdot}014556 + 2{\cdot}01734 = 4{\cdot}03190$ a.m.u.

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

(i) ভর ত্রুটি Δm = 4˙03190 — 4˙00276 = 0˙02914 a.m.u.

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

(iii) হিলিয়াম নিউক্লিয়াসে কণার সংখ্যা A = 4

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

২। $_3Li^7$ নিউক্লিয়াসের ভরত্রুটি ও বন্ধন শক্তি নির্ণয় কর।

m_n = 1˙006665 amu, m_p = 1˙007277 amu, লিথিয়াম নিউক্লিয়াসের ভর = 7˙016005 amu এবং 1 amu = 1˙66 × 10^{-27} kg.

আমরা জানি,

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

বা, Δm = {3 × 1˙007277 + (7 — 3) × 1˙006665} — 7˙016005

= (3˙021831 + 4˙026660) — 7˙016005

= 7˙048491 — 7˙016006

= 0˙032486 amu

= 0˙032486 × 1˙66 × 10^{-27} kg

≅ 0˙044 × 10^{-27} kg

এখানে,

m_n = 1˙006665 amu

m_p = 1˙007277 amu

Li-এর ভর, M = 7˙016005 amu

1 amu = 1˙66 × 10^{-27} kg

C = 3 × 10^8 ms^{-1}

Δm = ?

বন্ধন শক্তি, E = ?

আবার,

বন্ধন শক্তি, E = $\Delta m + c^2$ = 0˙044 × 10^{-27} × $(3 \times 10^8)^2$

= 3˙96 × 10^{-12} J

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

আমরা জানি,

মৌলিক নিউক্লিয়াসে ^A_ZX রূপে প্রকাশ করা হয়।

প্রদত্ত সংকেত : $_{11}Na^{24}$

∴ পারমাণবিক সংখ্যা, Z = 11

ভর সংখ্যা, A = 24

নিউট্রন সংখ্যা N = A − Z = 24 − 11 = 13

প্রোটন সংখ্যা = 11

উ: 11, 13, 24, 11

নিউক্লিয় বিক্রিয়া

Nuclear Reaction

তেজস্ক্রিয় পদার্থ থেকে নিঃসৃত আলফা কণিকা (^4He)-এর সাহায্যে রাদারফোর্ড সর্বপ্রথম নাইট্রোজেন নিউক্লিয়াস ভাঙতে সক্ষম হন। কৃত্রিম উপায়ে একটি নিউক্লিয়াস ভেঙে অন্য একটি নিউক্লিয়াস সৃষ্টির এটিই প্রথম ঘটনা। এটিই হচ্ছে প্রথম নিউক্লিয় বিক্রিয়া (Nuclear Reaction)। অর্থাৎ নিউক্লিয় বিক্রিয়া হলো একটি নিউক্লিয়·ঘটনা। নাইট্রোজেন নিউক্লিয়াসে যে বিক্রিয়া ঘটে তা নিম্নরূপ :

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

বিক্রিয়ার ফলে নির্গত কণিকাকে প্রোটন কণিকা বলে।

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

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

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

একটি নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় নিম্নলিখিত ভৌত রাশি (Physical Quantities) সংরক্ষিত হয়। যথা—

(ক) নিউক্লিয়ন সংখ্যা (Nucleon number)

(খ) তড়িৎ আধান (Electric charge)

(গ) সামগ্রিক ভরশক্তি (Total mass-energy)
(ঘ) রৈখিক ভরবেগ (Linear momentum)
(ঙ) কৌণিক ভরবেগ (Angular momentum)
(চ) আইসোটোপিক স্পিন (Isotopic spin) এবং
(ছ) সমতা (Parity)

কাজ : রাসায়নিক বিক্রিয়া ও নিউক্লিয় বিক্রিয়ার পার্থক্য কী ?

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

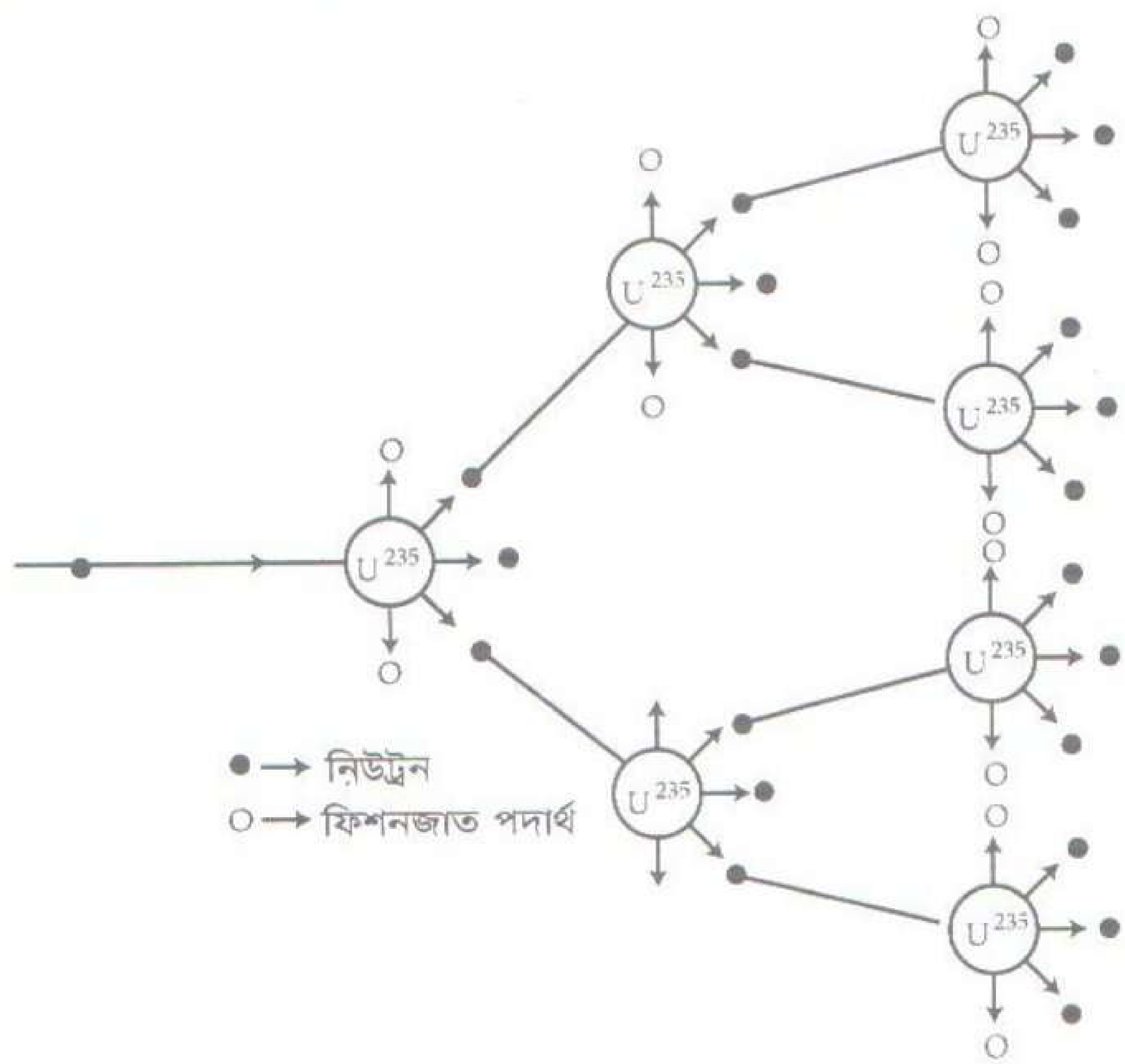
(খ) রাসায়নিক বিক্রিয়ায় সংশ্লিষ্ট শক্তি খুব কম, মাত্র eV ক্রমের। পক্ষান্তরে নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় শক্তির পরিমাণ অনেক বেশি, MeV ক্রমের।

চেইন বিক্রিয়া বা শৃঙ্খল বিক্রিয়া

Chain reaction

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

ব্যাখ্যা : $^{235}_{92}U$ পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে উচ্চ শক্তিসম্পন্ন নিউট্রন দ্বারা আঘাত করলে ফিশনের ফলে দুটি নিউক্লিয়াস উৎপন্ন হবে এবং সঙ্গে সঙ্গে তিনটি নিউট্রন সৃষ্টি হবে। এই তিনটি নিউট্রন আরও তিনটি ইউরেনিয়াম নিউক্লিয়াসে ফিশন ঘটাবে; ফলে পাওয়া যাবে নয়টি নিউট্রন। এই নয়টি নিউট্রন আরও নয়টি নিউক্লিয়াসে ফিশন ঘটিয়ে সৃষ্টি করবে সাতাশটি নিউট্রন। ইউরেনিয়াম শেষ না হওয়া পর্যন্ত এই প্রক্রিয়া চলতে থাকবে। এই প্রক্রিয়াকেই বলা হয় শৃঙ্খল বা



চিত্র ৯.১০

চেইন বিক্রিয়া। অনিয়ন্ত্রিত চেইন বিক্রিয়ায় এক সেকেন্ডের লক্ষ ভাগের এক ভাগ সময়ের মধ্যে ফিশন বিক্রিয়া হাজার গুণ বৃদ্ধি পেতে পারে। অবশ্য প্রতি ফিশনেই প্রচণ্ড শক্তি নির্গত হবে।

→ 10^7 K temperature - এ হয়।

নিউক্লিয় ফিউশন
Nuclear fusion

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

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

$$^3_1\text{H} + ^2_1\text{D} \longrightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0n + \text{শক্তি} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.17)$$

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

Hydrogen Bomb তৈরি করা হয়

নিউক্লিয় ফিশন
Nuclear fission

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

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

$$^{235}_{92}\text{U} + {_0}n^1 \longrightarrow [^{236}_{92}\text{U}]^* \longrightarrow ^{141}_{56}\text{Ba} + ^{92}_{36}\text{Kr} + 3^1_0n + \text{শক্তি (200 M}e\text{V)} \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.18)$$

অর্থাৎ ইউরেনিয়াম $^{235}_{92}$U-কে তাপীয় নিউট্রন দ্বারা আঘাত করায় এটি নিউট্রনকে আটক করে অস্থায়ী $[^{236}_{92}\text{U}]^*$-এ পরিণত হয়। এই অস্থায়ী নিউক্লিয়াস ফিশন প্রক্রিয়ায় বিভাজিত হয়ে বেরিয়াম ও ক্রিপটন নিউক্লিয়াস গঠন করে এবং 1টি হতে 3টি দ্রুতগতিসম্পন্ন নিউট্রন সৃষ্টি হয়। এই নিউট্রনগুলোর আঘাতে আরও ইউরেনিয়াম নিউক্লিয়াসে ফিশন ঘটে। এরূপ ধারাবাহিকভাবে ফিশন প্রক্রিয়া চলতে থাকে। $^{235}_{92}$U নিউক্লিয়াসকে নিউট্রন দ্বারা আঘাত করলে শুধু সমীকরণ (9.18) বিক্রিয়াই সংঘটিত হয় না। বহু ধরনের বিক্রিয়া ঘটে। যেমন,

$$^{235}_{92}\text{U} + {_0}n^1 \longrightarrow [^{235}_{92}\text{U}]^* \longrightarrow ^{140}_{54}Xe + ^{94}_{38}\text{Sr} + 2^1_0n + \text{শক্তি} \quad \ldots \quad \ldots \quad (9.19)$$

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

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

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

জেনে নাও: নিউক্লিয় ফিশান ও নিউক্লিয় ফিউশান এর মধ্যে পার্থক্যঃ

নিউক্লিয় ফিশান	নিউক্লিয় ফিউশান
ফিশান বিক্রিয়ায় একটি অতি বৃহৎ নিউক্লিয়াস দুটি প্রায় কাছাকাছি ভর বিশিষ্ট নিউক্লিয়াসে বিভক্ত	ফিউশান বিক্রিয়ায় দুটি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র নিউক্লিয়াস একত্রিত হয়ে অপেক্ষা কৃত বড় নিউক্লিয়াস গঠন করে
নিউক্লিয় ফিশান বিক্রিয়া হল চেইন বা শিকল বিক্রিয়া, যা অনবরত চলতে থাকে	নিউক্লিয় ফিউশান বিক্রিয়া চেইন বিক্রিয়া নয়
বৃহৎ নিউক্লিয়াসকে নিউট্রন দ্বারা আঘাত করে বিক্রিয়ার সূচনা ঘটানো হয়	অত্যধিক উচ্চ তাপমাত্রায় (10^8K) ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র নিউক্লিয়াসকে উত্তপ্ত করে ফিউশান বিক্রিয়া ঘটানো হয়
ফিশান বিক্রিয়ায় বিপুল তাপ শক্তি নির্গত হয়	ফিশান বিক্রিয়ার তুলনায় নিউক্লিয় ফিউশানে কম তাপশক্তি নির্গত হয়
পারমাণবিক চুল্লীতে ফিশান বিক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রিত করে বিদ্যুৎ শক্তি উৎপাদন করা সম্ভব	নিউক্লিয় ফিউশান বিক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করা সম্ভব হয় নি
প্রচুর নিউক্লিয় বর্জ্য পদার্থ অবশেষ থাকে	কোন নিউক্লিয় বর্জ্য পদার্থ অবশেষ থাকে না

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$$E = h\upsilon$$

$$L = mvr$$

$$L = \frac{nh}{2\pi}$$

$$F_c = \frac{mv^2}{r}$$

$$v_n = \frac{e}{\sqrt{4\pi\varepsilon_0 m r_n}}$$

$$r_n = \frac{n^2h^2\varepsilon_0}{\pi m e^2}$$

$$E = -\frac{me^4}{8n^2h^2\epsilon_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

$$E = \frac{me^4}{8h^2\epsilon_0^2}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

$$\upsilon = \frac{E}{h} = \frac{me^4}{8h^3\epsilon_0^2}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9)$$

$$\rho = \frac{3m}{4\pi R_0^3}, \ \rho = \text{নিউক্লিয়াস এর ঘনত্ব} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10)$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (11)$$

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\lambda} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (12)$$

$$\Delta m = [ZM_p + (A - Z)m_n] - M \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (13)$$

[Z = প্রোটন সংখ্যা, m_p = প্রোটন ভর, m_n = নিউট্রনের ভর, M = নিউক্লিয়াসের ভর।]

উচ্চতর দক্ষতাসম্পন্ন নমুনা গাণিতিক উদাহরণ

১। রাশিয়ার বিখ্যাত পারমাণবিক বিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্র চেরনোবিলে কোনো এক সময় 226 g রেডিয়াম সংগ্রহ করা হলো। এক বছর পর হিসাব করে দেখা গেল 2.42×10^{20} সংখ্যক রেডিয়াম পরমাণু কমে গেছে।

(ক) কত সময় পর আরো উদ্দীপকে প্রদত্ত সংখ্যক পরমাণু কমে যাবে ?

(খ) রেডিয়ামের গড় আয়ু কি এর অর্ধায়ু অপেক্ষা বেশি ? তোমার মতামতের আলোকে বিশ্লেষণ কর।

সমাধান : (ক) উদ্দীপকে উল্লেখিত রেডিয়ামের পরিমাণ = 226 g

1 বছরে ক্ষয় হয়ে যাওয়া রেডিয়াম পরমাণুর সংখ্যা $= 2.42 \times 10^{20}$

রেডিয়ামের পারমাণবিক ভর = 226

সুতরাং, 1 মোল রেডিয়াম = 226 g

$\therefore$ 226 g রেডিয়াম $= 6.023 \times 10^{23}$ সংখ্যক রেডিয়াম পরমাণু।

এখন তেজস্ক্রিয়তার ক্ষয়সূত্র হতে পাই—

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

বা, $e^{-\lambda t} = \dfrac{N}{N_0}$

বা, $-\lambda t = \ln\left(\dfrac{N}{N_0}\right)$

বা, $-\lambda t = -4.02 \times 10^{-4}$

$\therefore \lambda = \dfrac{4.02 \times 10^{-4}}{1} = 4.02 \times 10^{-4}\ y^{-1}$

এখানে,

N = অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা

$= 6.023 \times 10^{23} - 2.42 \times 10^{20}$

$= 6.02058 \times 10^{23}$

$N_0 = 6.023 \times 10^{23}$

$t = 1$ y

λ = ক্ষয় ধ্রুবক

মনে করি সমান সংখ্যক রেডিয়াম আরো ক্ষয় হতে সময় লাগবে $= t$ y

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

$\Rightarrow -\lambda t = \ln \dfrac{N}{N_0}$

$\Rightarrow -\lambda t = -8{\cdot}04 \times 10^{-4}$

$\therefore \quad t = \dfrac{8{\cdot}04 \times 10^{-4}}{4{\cdot}02 \times 10^{-4}} = 2y$

(খ) রেডিয়ামের অবক্ষয় ধ্রুবক $\lambda = 4{\cdot}02 \times 10^{-4}\ y^{-1}$

রেডিয়ামের অর্ধায়ু যদি $T_{\frac{1}{2}}$ হয় তবে,

$N = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}}$

বা, $-\lambda T_{\frac{1}{2}} = \ln \dfrac{N}{N_0}$

$\therefore \quad -T_{\frac{1}{2}} = -\ln \dfrac{N/N_0}{\lambda}$

এখানে,
$N = \dfrac{N_0}{2}$

$\therefore \quad T_{\frac{1}{2}} = \dfrac{0{\cdot}693}{4{\cdot}02 \times 10^{-4}} = 1724$ y

আবার রেডিয়ামের গড় আয়ু $\tau = \dfrac{1}{\lambda} = \dfrac{1}{4{\cdot}02 \times 10^{-4}}$ y

বা, $\tau = 2487{\cdot}5$ y

সুতরাং দেখা যায় যে, রেডিয়ামের গড় আয়ু তার অর্ধায়ু অপেক্ষা বেশি।

২। সৈকত বিভিন্ন কণা বিক্ষেপণ পরীক্ষণের উপর গবেষণা করছিল। এক পর্যায়ে সে দেখল Li^{2+} আয়নের একমাত্র ইলেকট্রনটি এর প্রথম কক্ষপথে অবস্থান করছে। একটি ফোটন কণা এসে একে আঘাত করে ইলেকট্রনটিকে তার শেষ কক্ষপথে নিয়ে গেল।

(ক) ফোটনের কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।

(খ) উক্ত ফোটন যদি কোনো হাইড্রোজেন পরমাণুকে আঘাত করে তবে কী ঘটবে বলে তুমি মনে কর ?

সমাধান : (ক) Li^{+2} আয়নের প্রোটন সংখ্যা, $Z = 3$

মোট কক্ষ পথ সংখ্যা, $n = 2$

সুতরাং ফোটনটি ইলেকট্রনটিকে $n_1 = 1$ হতে $n_2 = 2$ কক্ষপথে উন্নীত করেছে।

এজন্য ফোটনের প্রয়োজনীয় শক্তি, $E = h\upsilon$

আবার, $\Delta E = E_2 - E_1$

$$= \frac{-mZ^2e^4}{8\epsilon_0^2 n_2^2 h^2} + \frac{mZ^2e^4}{8\epsilon_0^2 n_1^2 h^2}$$

$$= \frac{mZ^2e^4}{8\epsilon_0^2 h^2}\left[-\frac{1}{n_2^2} + \frac{1}{n_1^2}\right]$$

এখানে,
$e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C
$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js
$\epsilon_0 = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$

$$= \frac{9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times 3^2 \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19})^4}{8 \times (8{\cdot}85 \times 10^{-12})^2 \times (6{\cdot}63 \times 10^{-34})^2} \times \left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right]$$

$\therefore \quad \Delta E = 1{\cdot}46 \times 10^{-17}$

বা, $h\upsilon = 1{\cdot}46 \times 10^{-17}$

$\therefore \quad \upsilon = \dfrac{1{\cdot}46 \times 10^{-17}}{6{\cdot}63 \times 10^{-34}} = 2{\cdot}2 \times 10^{16}$ Hz

$\therefore$ ফোটনের কম্পাঙ্ক $2{\cdot}2 \times 10^{16}$ Hz

(খ) কোনো ফোটন যদি কোনো পরমাণুর ইলেকট্রনকে আঘাত করে তবে দুটি ঘটনা ঘটতে পারে।

(i) ইলেকট্রনটি উচ্চ শক্তিস্তরে চলে যেতে পারে।
এখানে ফোটনের শক্তি < আঘাত প্রাপ্ত ইলেকট্রনের মোট শক্তি।

(ii) ইলেকট্রনটি পরমাণু থেকে বিচ্ছিন্ন হয়ে যেতে পারে।
এখানে ফোটনের শক্তি > আঘাত প্রাপ্ত ইলেকট্রনের মোট শক্তি।

উদ্দীপকে প্রদত্ত ফোটনের মোট শক্তি

$$E = h\upsilon$$
$$= 6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 2{\cdot}2 \times 10^{16}$$
$$= 1{\cdot}46 \times 10^{-17}\ \text{J}$$
$$= \frac{1{\cdot}46 \times 10^{-17}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}}\ \text{eV} = 91{\cdot}25\ \text{eV}$$

হাইড্রোজেন পরমাণুতে 1টি ইলেকট্রন প্রথম কক্ষপথে আবর্তন করে।

$\therefore$ এর মোট শক্তি $E = -\dfrac{me^4}{8\epsilon_0^2 n^2 h^2}$

$$= \frac{-9{\cdot}1 \times 10^{-31} \times (1{\cdot}6 \times 10^{-19})^4}{8 \times (8{\cdot}85 \times 10^{-12})^2 \times (6{\cdot}63 \times 10^{-34})^2}$$
$$= -2{\cdot}17 \times 10^{-18}\ \text{J}$$
$$= \frac{-2{\cdot}17 \times 10^{-18}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}}\ \text{eV} = -13{\cdot}6\ \text{eV}$$

যেহেতু ফোটনের শক্তি > আঘাত প্রাপ্ত ইলেকট্রনের মোট শক্তি

সুতরাং ইলেকট্রনটি হাইড্রোজেন পরমাণু হতে মুক্ত হয়ে যাবে এবং H^+ গঠিত হবে।

৩। রাজা দুটি তেজস্ক্রিয় মৌল A এবং B নিয়ে কাজ করছিল। মৌলদ্বয়ের অর্ধায়ুর যোগফল 15 বছর। A এর অর্ধায়ু B-এর দ্বিগুণ। [ঢা. বো. ২০১৫]

(ক) A মৌলের ক্ষয় ধ্রুবক নির্ণয় কর।

(খ) উভয় মৌলের 60% ক্ষয় হতে ভিন্ন সময় লাগে—গাণিতিক বিশ্লেষণসহ মতামত দাও।

সমাধান : (ক) A ও B মৌলের অর্ধায়ুর যোগফল = 15

A মৌলের অর্ধায়ু B মৌলের অর্ধায়ুর দ্বিগুণ।

B মৌলের অর্ধায়ু = 5 বছর হলে A মৌলের অর্ধায়ু = 10 বছর।

আমরা জানি,

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{0{\cdot}693}{\lambda}$$

বা, $\lambda = \dfrac{0{\cdot}693}{T_{\frac{1}{2}}} = \dfrac{0{\cdot}693}{10} = 0{\cdot}0693\ y^{-1}$

এখানে,

$T_{\frac{1}{2}} = 10$ বছর

$\lambda = 0{\cdot}693$

(খ) A মৌলের ক্ষেত্রে,

আমরা জানি,

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t_A}$$

বা, $\ln\dfrac{N}{N_0} = -\lambda t_A$

বা, $t_A = \dfrac{-1}{\lambda} \times \ln\dfrac{N}{N_0}$

$$= -\frac{1}{0{\cdot}0693}\ln\frac{3}{5} = 7{\cdot}37\ y$$

এখানে,

অক্ষত পরমাণু $= \dfrac{N}{N_0} = 60\% = \dfrac{60}{100} = \dfrac{3}{5}$

$\lambda = 0{\cdot}0693\ y^{-1}$

সময়, $t_A = ?$

আবার, B মৌলের ক্ষেত্রে,
আমরা জানি,

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t_B}$$

বা, $\ln\frac{N}{N_0} = -\lambda t_B$

বা, $t_B = \frac{-1}{\lambda} \times \ln\frac{N}{N_0}$

এখানে,
অক্ষত পরমাণু $= \frac{N}{N_0} = 60\% = \frac{60}{100} = \frac{3}{5}$
$T_{\frac{1}{2}} = 5$ y
সময়, $t_B = ?$

$$= -\frac{T_{\frac{1}{2}}}{0.0693}\ln\frac{N}{N_0} = \frac{5}{0.693}\ln\frac{3}{5}$$

$\therefore \quad t_B = 3.6856 \text{ y} = \frac{t_A}{2}$

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, A ও B উভয় মৌলের 40% ক্ষয় হতে সময় ভিন্ন লাগে। এক্ষেত্রে A মৌলের ক্ষয়ের সময় B মৌলের ক্ষয়ের সময়ের দ্বিগুণ।

৪। সুমি একদিন নিউক্লিয়ার ল্যাবে 15 দিন আগে আনা রেডনের দুটি নমুনা নিয়ে কাজ করছিল। নমুনা দুটি যখন কেনা হয় তখন ১ম ও ২য় নমুনায় অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা ছিল যথাক্রমে 10^{12}টি এবং 10^{10}টি। সে জানে রেডনের ক্ষয় ধ্রবক $0.181\ d^{-1}$। তার ধারণা ছিল গত 15 দিনে দুটি নমুনাতে সমান সংখ্যক পরমাণু ক্ষয়প্রাপ্ত হয়েছে।

(ক) প্রথম নমুনার অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা অর্ধেক হতে কত সময় লাগবে ?

(খ) গাণিতিক যুক্তির মাধ্যমে দেখাও যে, সুমির ধারণা ভুল। [দি. বো. ২০১৫]

সমাধান :

(ক) আমরা জানি,

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

বা, $-\lambda t = \ln\frac{N}{N_0}$

বা, $-\lambda t = \ln\frac{5\times10^{11}}{10^{12}} = \ln 0.5 = 0.693$

$\therefore \quad t = \frac{0.693}{0.181} = 3.83$ d

এখানে,
$N_0 = 10^{12}$
$N = \frac{N_0}{2} = \frac{10^{12}}{2} = 5\times10^{11}$
$\lambda = 0.181\ d^{-1}$

(খ) $t = 15$ d সময় কালে ১ম নমুনাতে ক্ষয়প্রাপ্ত পরমাণুর সংখ্যা

$$N_0 - N_1 = N_0 - N_0e^{-\lambda t} = N_0(1-e^{-\lambda t})$$
$$= 10^{12}(1-e^{-0.18\times15}) = 9.34\times10^{11}$$

আবার, ২য় নমুনাকে ক্ষয়প্রাপ্ত পরমাণুর সংখ্যা,

$$N_0 - N_2 = N_0 - N_0e^{-\lambda t} = N_0(1-e^{-\lambda t})$$
$$= 10^{10}(1-e^{-0.18\times15}) = 9.34\times10^{9}$$

যেহেতু, $9.34\times10^{11} \neq 9.34\times10^{9}$, তাই গত 15 দিনে নমুনা দুটিতে সমান সংখ্যক পরমাণু ক্ষয়প্রাপ্ত হয়নি, অর্থাৎ সুমির ধারণা ভুল।

৫। হাইড্রোজেন পরমাণুর মধ্যে একটি ইলেকট্রন 2য় কক্ষপথে আছে। ইলেকট্রনটি শক্তি বিকিরণ করে ভূমি অবস্থায় ফিরে আসল। ইলেকট্রনের চার্জ $e = 1.6\times10^{-19}$ C, ভর $m = 9.1\times10^{-31}$ kg, প্ল্যাঙ্কের ধ্রবক, $h = 6.63\times10^{-34}$ Js এবং $\epsilon_0 = 8.85\times10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$।

(ক) উল্লেখিত পরমাণুর ২য় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।

(খ) ইলেকট্রনটি ভূমি অবস্থায় ফিরে আসলে এক্স-রশ্মি নির্গত হবে কিনা? মতামত দাও।

সমাধান :

(ক) আমরা জানি,

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

$$r_2 = \frac{8.85\times10^{-12}\times2^2\times(6.63\times10^{-34})^2}{3.14\times9.1\times10^{-31}\times(1.6\times10^{-19})^2} = 2.134\times10^{-10}\text{ m}$$

এখানে,
$n = 2$
$h = 6.63\times10^{-34}$ Js
$e = 1.6\times10^{-19}$ C
$\epsilon_0 = 8.85\times10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$

(খ) আমরা জানি,

$$E = -\frac{me^4}{8\epsilon_0^2h^2}\left[\frac{1}{n_1^2}-\frac{1}{n_2^2}\right]$$

$$= -\frac{me^4}{8\epsilon_0^2h^2}\left[\frac{1}{1^2}-\frac{1}{3^2}\right]$$

$$= \frac{9.1\times10^{-31}\,(1.6\times10^{-19})^4\times\frac{3}{4}}{8\times(8.85\times10^{-12})^2\times(6.63\times10^{-34})^2} = -16.2\times10^{-19}\,\text{J}$$

$\therefore\ |E| = 16.2\times10^{-19}\,\text{J}$

আবার, $E = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda}$

$$\therefore\ \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{16.2\times10^{-19}} = 1.23\times10^{-7}\,\text{m}$$

কিন্তু এক্স রশ্মি এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 10^{-10} m হতে 10^{-7} m এর মধ্যে।

$\therefore$ 1.23×10^{-7} m রাশিটি উক্ত সীমার বাইরে। তাই কোনো এক্স রশ্মি নির্গমন হবে না।

সার-সংক্ষেপ

নিউক্লিয়াস : পরমাণুর সব ধনাত্মক আধান ও ভর তার কেন্দ্রে যে অতি অল্প পরিসর স্থানে কেন্দ্রীভূত তাকে নিউক্লিয়াস বলে। এর ব্যাসার্ধ $r \approx 10^{-15}$ m।

অণু : প্রত্যেক পদার্থ যে অতীব ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা দ্বারা গঠিত তাকে অণু বলে।

পরমাণু : পরমাণু পদার্থের ক্ষুদ্রতম অংশ যা মুক্ত অবস্থায় থাকতে পারে না; কিন্তু কোনো রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করতে পারে।

পরমাণু মডেল : বিভিন্ন বিজ্ঞানী বিভিন্ন সময় পরমাণুর গঠন, প্রকৃতি ও আচরণ প্রকাশের জন্য বিভিন্ন চিত্র কল্পনা করেন। এর নাম পরমাণু মডেল।

থমসনের পরমাণু মডেল : থমসন মডেলের মূল বক্তব্য হলো যে পরমাণু একটি ধনাত্মক তড়িতাহিত গোলক এবং ইলেকট্রনগুলো এর মধ্যে সর্বত্র ছড়ানো রয়েছে।

রাদারফোর্ডের পরমাণু মডেল : রাদারফোর্ড মডেলের মূল বক্তব্য হলো যে পরমাণুর সমস্ত ধন আধান এবং ভর এর কেন্দ্রে অতি অল্প পরিসর স্থানে কেন্দ্রীভূত রয়েছে। এই স্বল্প পরিসর স্থানকে নিউক্লিয়াস বলে। নিউক্লিয়াসের বাইরে ইতস্ততভাবে ইলেকট্রন ছড়িয়ে রয়েছে।

বোরের পরমাণু মডেলের স্বীকার্য—

প্রথম স্বীকার্য : কোনো নির্দিষ্ট কক্ষে আবর্তনকালে ইলেকট্রন-এর কৌণিক ভরবেগ $(h/2\pi)$-এর পূর্ণ সংখ্যার গুণিতক হবে।

দ্বিতীয় স্বীকার্য : পরমাণুর ইলেকট্রনগুলো নির্দিষ্ট বৃত্তাকার কক্ষপথে আবর্তন করে। এই সকল কক্ষে থাকাকালীন ইলেকট্রনগুলো কখনও শক্তি বিকিরণ করে না।

তৃতীয় স্বীকার্য : যখন কোনো ইলেকট্রন একটি নির্দিষ্ট কক্ষ হতে অন্য একটি কক্ষে স্থানান্তরিত হয় তখনই শক্তির বিকিরণ বা শোষণ ঘটে। বিকিরিত বা শোষিত শক্তির পরিমাণ ঐ দুটি কক্ষপথের শক্তির বিয়োগফলের সমান।

প্রোটন : এটি নিউক্লিয়াসে অবস্থিত ধন চার্জযুক্ত কণা। এর চার্জের পরিমাণ 1.6×10^{-19} C এবং ভর 1.673×10^{-27} kg।

নিউট্রন : এটি নিউক্লিয়াসে অবস্থিত বিদ্যুৎ নিরপেক্ষ কণা। এর ভর 1.675×10^{-27} kg।

ইলেকট্রন : এটি ঋণচার্জযুক্ত কণা। এর চার্জের পরিমাণ 1.6×10^{-19}C এবং ভর 9.1×10^{-31}kg।

নিউক্লিয়ন : নিউক্লিয়াসের মধ্যে যে সমস্ত কণা থাকে তাদেরকে নিউক্লিয়ন বলে।

পারমাণবিক সংখ্যা : কোনো পরমাণুর প্রোটন বা ইলেকট্রনের সংখ্যাকে পারমাণবিক সংখ্যা বলে।

পারমাণবিক ভর সংখ্যা : কোনো পরমাণুর প্রোটন ও নিউট্রনের সংখ্যাকে পারমাণবিক ভর সংখ্যা বলে।

পারমাণবিক ভর : কোনো পরমাণুর প্রোটন ও নিউট্রনের সম্মিলিত ভরকে এর পরমাণবিক ভর বলে।

পারমাণবিক ভর একক : একটি পরমাণুর ভর খুবই নগণ্য। তাই পারমাণুর প্রকৃত ভর বিবেচনা না করে একটি মৌলকে প্রমাণ মৌল ধরে এর সাপেক্ষে অন্য সকল মৌলের ভর নির্ণয় করা হয়। এক পরমাণবিক ভর (1 amu) বলতে $_6C^{12}$ পরমাণুর ভরের $\frac{1}{12}$ অংশ বুঝায়।

তেজস্ক্রিয়তা : যে প্রক্রিয়া দ্বারা অস্থায়ী নিউক্লিয়াসবিশিষ্ট পদার্থ স্বতঃস্ফূর্তভাবে অবিরাম এক রকম কণা এবং রশ্মি নির্গত করে লঘুতর পারমাণবিক ওজনের মৌলে রূপান্তরিত হয়, তাকে তেজস্ক্রিয়তা বলে।

তেজস্ক্রিয় রশ্মি : তেজস্ক্রিয় রশ্মি তিন প্রকার ; যথা—(১) **আলফা রশ্মি** (α-রশ্মি), (২) **বিটা রশ্মি** (β-রশ্মি) এবং (৩) **গামা রশ্মি** (γ-রশ্মি)।

1 কুরী : কোনো বস্তুর প্রতি সেকেন্ডে 3.7×10^{10} সংখ্যক পরমাণুর ভাজ্ঞনকে 1 কুরী বলে।

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

তেজস্ক্রিয়তার ক্ষয়সূত্র : কোনো মুহূর্তে তেজস্ক্রিয় পরমাণুর ভাঙন বা অবক্ষয়ের হার ঐ সময়ে উপস্থিত অক্ষত পরমাণু সংখ্যার সমানুপাতিক।

অর্ধায়ু : কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের প্রারম্ভিক অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা অর্ধেক হয়ে যেতে যে সময় লাগে তাকে অর্ধায়ু বলে।

গড় আয়ু : প্রত্যেকটি তেজস্ক্রিয় পরমাণুর আয়ুর যোগফলকে পরমাণুর প্রারম্ভিক সংখ্যা দ্বারা ভাগ করলে ঐ তেজস্ক্রিয় পদার্থের গড় আয়ু পাওয়া যায়।

আইসোটোপ : যে সব পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা একই, কিন্তু ভর সংখ্যা বা পারমাণবিক ওজন ভিন্ন, তাদেরকে আইসোটোপ বলে।

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

আইসোমার : যে সমস্ত পরমাণুর পারমাণবিক সংখ্যা এবং ভর সংখ্যা একই কিন্তু তাদের অভ্যন্তরীণ গঠন ভিন্ন, তাদেরকে আইসোমার বলে।

আইসোটোন : যে সমস্ত পরমাণুতে সমান সংখ্যক নিউট্রন আছে, তাদেরকে আইসোটোন বলে।

নিউক্লিয় বিক্রিয়া : কৃত্রিম উপায়ে পরমাণুর নিউক্লিয়াসের পরিবর্তন ঘটিয়ে নতুন মৌল গঠন করার প্রক্রিয়াকে নিউক্লিয় বিক্রিয়া বলে।

রেডিও বা তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ : কতকগুলো আইসোটোপে অল্প সময়ের জন্য কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা দেখা যায়। এদেরকে রেডিও বা তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ বলে।

পারমাণবিক শক্তি : নিউক্লিয়াসের ভাঙন হতে প্রাপ্ত শক্তিকে পারমাণবিক শক্তি বলে।

ফিশন : ভারী পরমাণুর নিউক্লিয়াসকে বিশ্লিষ্ট করে একাধিক নিউক্লিয়াস তৈরি করার পদ্ধতিকে ফিশন বলে। এই পদ্ধতিতে প্রচন্ড শক্তি উৎপন্ন হয়।

ফিউশন : যে প্রক্রিয়ায় দুই বা ততোধিক হালকা নিউক্লিয়াস একত্রিত হয়ে একটি ভারী নিউক্লিয়াস গঠন করে এবং অত্যধিক শক্তি নির্গত হয় তাকে ফিউশন বলে।

চেইন বিক্রিয়া : চেইন বিক্রিয়া এমন একটি নিউক্লীয় প্রক্রিয়া যা একবার শুরু হলে তাকে চালাবার জন্য অন্য কোনো অতিরিক্ত শক্তি বা উৎসের প্রয়োজন হয় না।

ভর ত্রুটি : নিউক্লিয়াসের ভর ও তার উপাদানিক কণাগুলোর মুক্ত অবস্থায় মিলিত ভরের পার্থক্যকে ভর ত্রুটি বলে।

বন্ধন শক্তি : কোনো প্রয়োজনীয় সংখ্যক নিউক্লিয় উপাদানগুলোকে একত্রিত করে একটি নিউক্লিয়াস গঠনের জন্য যে পরিমাণ শক্তির প্রয়োজন হয় তাকে নিউক্লিয় বন্ধন শক্তি বলে।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। 1897 সালে বিজ্ঞানী থমসন কিসমিস পুডিং মডেল বা ইলেকট্রনের ধারণা আবিষ্কার করেন। একে তরমুজ মডেলও বলে।

২। রাদারফোর্ড তার আলফা কণিকা বিক্ষেপণ পরীক্ষা সম্পাদন করেন 1911 সালে।

৩। তেজস্ক্রিয় পদার্থ থেকে নির্গত ধনাত্মক চার্জযুক্ত এক প্রকার ভারী কণাই হলো আলফা কণা। এর ভর 6.694×10^{-27} kg। ইহা ইলেকট্রন অপেক্ষা প্রায় 7000 গুণ ভারী। রাদারফোর্ডের পরীক্ষায় তেজস্ক্রিয় পলোনিয়াম হতে নির্গত আলফা কণার গতিশক্তি 7.68 MeV। এই পরীক্ষায় ব্যবহৃত স্বর্ণপাতের পুরুত্ব ছিল 6×10^{7} m। আলফা কণার ভর হিলিয়ামের ভরের সমান।

৪। 1913 সালে বিজ্ঞানী বোর তার পরমাণু মডেলের প্রস্তাব করেন। বোরের প্রথম কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের মোট শক্তির মান -13.6 eV।

৫। হাইড্রোজেনের পরমাণুর ব্যাসার্ধ 0.53×10^{-10} m।

৬। গামা রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তুলনায় কম। ইহা সীসার পাতে কয়েক সেন্টিমিটার ভেদ করে যেতে পারে। এর অপবর্তন, ব্যতিচার ও প্রতিফলন ঘটে। ইহা তড়িৎক্ষেত্র দ্বারা বিচ্যুত হয় না। চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিচ্যুত হয় না।

৭। বিটা রশ্মি অতি উচ্চ দ্রুতিসম্পন্ন ইলেকট্রনের প্রবাহ। নিউক্লিয় ফিশন বিক্রিয়া একটি চেইন বিক্রিয়া।

৮। ক্যাথোড রশ্মি তেজস্ক্রিয় পদার্থ থেকে নির্গত হয় না।

৯। ইউরেনিয়ামের অর্ধায়ু 450 কোটি বছর। তেজস্ক্রিয়তার একক বেকেরেল।

১০। আলফা রশ্মির চার্জের পরিমাণ একটি প্রোটনের চার্জের 2 গুণ। এর আয়নায়ন ক্ষমতা ঐ রশ্মির 1000 গুণ। ইহা তড়িৎ ক্ষেত্র দ্বারা বিচ্যুত হয়।

১১। তেজস্ক্রিয়তার সৃষ্টি হয় নিউক্লিয়াসের ভাঙনের ফলেই। এটি চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা প্রভাবিত হয় না।

১২। গড় আয়ু এবং ক্ষয় ধ্রুবকের মধ্যে সম্পর্ক হলো $T = 1/\lambda$।

১৩। নিউক্লিয়াসের ব্যাস 10^{-15} cm — 10^{-14} cm। বোর পরমাণু মডেলের কৌণিক ভরবেগ $L = \frac{nh}{2\pi}$, ১ম বোর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ $0.53\ \mathring{A}$। ইউরেনিয়াম ও উচ্চ শক্তির নিউট্রনের বিক্রিয়ায় 200 MeV শক্তি নির্গত হয়।

১৪। 1 কুরী সমান 3.6×10^{10} বেকেরেল।

১৫। বোর পরমাণু মডেল অনুসারে H-পরমাণুর ২য় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ ১ম কক্ষপথের ব্যাসার্ধের চারগুণ।

১৬। পরমাণুগুলোর ভর সংখ্যা সমান কিন্তু প্রোটন সংখ্যা ভিন্ন হলে, তাকে আইসোবার বলে। $_1H^2$ এর নাম ডিউটেরিয়াম।

১৭। ইলেকট্রন উচ্চ শক্তিস্তর থেকে নিম্ন শক্তিস্তরে গেলে—(i) শক্তির বিকিরণ ঘটে। (ii) শক্তির পরিবর্তন ঘটে।

১৮। নিউক্লিয় বলের বৈশিষ্ট্য হলো—আকর্ষণ ধর্মী, চার্জ নিরপেক্ষ, স্বল্প পাল্লা।

১৯। বিটা রশ্মির ধর্ম হলো কণাধর্মী।

২০। 1 amu ভরের সমতুল্য শক্তি = 934 MeV।

২১। আলফা কণা বিক্ষেপণ পরীক্ষায় ব্যবহৃত প্রতিপ্রভ পর্দা হলো জিঙ্ক সালফাইডের পর্দা।

২২। বিভিন্ন কক্ষপথের জন্য মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা বিভিন্ন।

২৩। ${}^2_1H + {}^2_1H \longrightarrow {}^3_2H + {}^1_0X +$ শক্তি $\longrightarrow$ X কণাটি হলো নিউট্রন।

২৪। দুটি up এবং একটি down কোয়ার্ক মিলে তৈরি হয় প্রোটন।

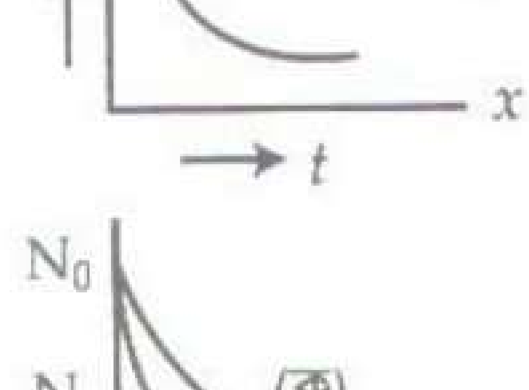
২৫। ফিশান বিক্রিয়ায় ভর শক্তির নিত্যতার সূত্র মেনে চলে না।

২৬। প্রতি ফিউশনে E_1 এবং প্রতি ফিশানে E_2 শক্তি নির্গত হলে, E_1 এবং E_2 এর মধ্যে সম্পর্ক হলো $E_1 > E_2$।

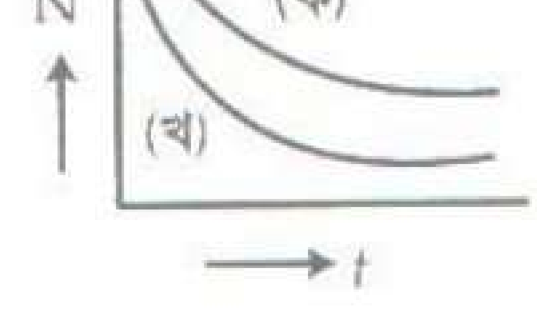
২৭। নিউক্লিয়াসের ভর সংখ্যার সাথে ব্যাসার্ধের সম্পর্ক হলো $R = R_0A^{1/3}$।

২৮। ক্ষয় ধ্রুবক-এ এর মাত্রা অর্ধ জীবনের মাত্রার সমতুল্য নয়।

২৯। তেজস্ক্রিয়তার ভাঙনের সমীকরণ $N = N_0 e^{-\lambda t}$ এবং এর লেখচিত্র হলো—



৩০। পাশের (ক) লেখচিত্রটি অধিক আয়ুসম্পন্ন তেজস্ক্রিয় পদার্থ নির্দেশ করছে।



অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। পরমাণুর রাদারফোর্ড মডেল থেকে জানা যায়—
(i) পরমাণুর ধনাত্মক আধান ও অধিকাংশ ভর খুবই স্বল্প পরিসরে সীমাবদ্ধ
(ii) পরমাণুর ইলেকট্রনগুলির মধ্যে অনেকটা অংশই শূন্যস্থান
(iii) নির্দিষ্ট কয়েকটি কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রন কোনো শক্তি বিকিরণ করে না
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓚ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

২। বোরের স্বীকার্য অনুযায়ী পারমাণবিক ইলেকট্রনের কোয়ান্টায়িত (Quantized) রাশি হলো—
ⓚ রৈখিক বেগ
ⓚ কৌণিক বেগ
ⓖ রৈখিক ভরবেগ
ⓖ কৌণিক ভরবেগ

৩। বোরের স্বীকার্য অনুসারে অনুমোদিত কক্ষপথে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ কত?
[সি. বো. ২০১৫; দি. বো. ২০১৫]
ⓚ $L = \frac{nh}{2\pi}$
ⓚ $L = \frac{2\pi n}{h}$
ⓖ $L = \frac{2\pi}{hn}$
ⓖ $L = \frac{2h}{\pi}$

৪। পরমাণু মডেলের ক্ষেত্রে বোরের স্বীকার্যগুলো হলো—
(i) কোনো স্থায়ী কক্ষপথে আবর্তনকালে ইলেকট্রনের মোট কৌণিক ভরবেগ $\frac{h}{2\pi}$ এর গুণিতক
(ii) পরমাণুস্থ ইলেকট্রন নিউক্লিয়াসের চার-দিকে যে কোনো কক্ষপথে ঘুরতে পারে
(iii) যখনই কোনো ইলেকট্রন একটি অনুমোদিত কক্ষপথ হতে অপর একটি অনুমোদিত কক্ষপথে লাফ দেয়, তখনই শক্তির বিকিরণ বা শোষণ ঘটে।
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓚ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

৫। আলফা কণা বিক্ষেপণ পরীক্ষা কে করেন ?
ⓚ থমসন
ⓚ বোর
ⓖ রাদারফোর্ড
ⓖ কুরী

৬। হাইড্রোজেন পরমাণুর ভূমি স্তরের শক্তি কত ?
ⓚ $-13.6\ eV$
ⓚ -13.6 J
ⓖ -13.6 N
ⓖ 13.6 J

৭। হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম বোর কক্ষে ইলেকট্রনের মোট শক্তি -13.6 eV হলে, তৃতীয় বোর কক্ষে মোট শক্তি কত হবে ?
ⓚ -1.5 eV
ⓚ -3.4 eV
ⓖ -4.5 eV
ⓖ -40.8 eV

৮। নিচের কোন স্থানান্তরের জন্য হাইড্রোজেন পরমাণু হতে নির্গত ফোটনের কম্পাঙ্ক কম মানের হবে ?
ⓚ $n = 2$ হতে $n = 1$
ⓚ $n = 4$ হতে $n = 3$
ⓖ $n = 3$ হতে $n = 1$
ⓖ $n = 4$ হতে $n = 2$

৯। যখন একটি পরমাণুর নিউক্লিয়াস থেকে একটি বিটা কণা নির্গত হয় তখন—
ⓚ পারমাণবিক সংখ্যা এক কমে যায়
ⓚ ভর সংখ্যা এক কমে যায়
ⓖ পরমাণবিক সংখ্যা এক বেড়ে যায়
ⓖ পারমাণবিক সংখ্যা দুই কমে যায়

১০। তেজস্ক্রিয় পরমাণুর—
(i) অর্ধায়ু এর ক্ষয় ধ্রুবকের ব্যস্তানুপাতিক
(ii) গড় আয়ু এর ক্ষয় ধ্রুবকের ব্যস্তানুপাতিক
(iii) গড় আয়ু এর ক্ষয় ধ্রুবকের সমানুপাতিক
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓚ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

১১। তেজস্ক্রিয়তার বৈশিষ্ট্য—
(i) এটি একটি স্বতঃস্ফূর্ত এবং আকস্মিক ঘটনা
(ii) তেজস্ক্রিয় পরমাণুর অবক্ষয়ের হার ঐ সময়ে উপস্থিত অক্ষত পরমাণুর ব্যস্তানুপাতিক
(iii) তেজস্ক্রিয় অবক্ষয় অবিরাম চলতে থাকবে যতক্ষণ পর্যন্ত এটি একটি স্থায়ী মৌলে পরিণত না হয়

নিচের কোনটি সঠিক ?

ⓚ i ও ii
ⓚ ii ও iii
ⓖ i ও iii
ⓖ i, ii ও iii

১২। কোনো তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ু ও গড় আয়ুর মধ্যে সম্পর্ক হলো—

(ক) এরা সমানুপাতিক
(খ) এরা ব্যস্তানুপাতিক
(গ) এরা বর্গের সমানুপাতিক
(ঘ) সমান

১৩। ভেদন ক্ষমতার ক্রম অনুসারে α-কণা, β-কণা ও γ-রশ্মির বিকিরণগুলোকে সাজানো যায়—

(ক) α, β, γ
(খ) γ, α, β
(গ) γ, β, α
(ঘ) α, γ, β

১৪। γ-রশ্মির বৈশিষ্ট্য হচ্ছে—

(i) মানব দেহে ক্যান্সার আক্রান্ত কোষ ধ্বংস করতে ব্যবহার করা হয়
(ii) তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াস থেকে নির্গত হয়
(iii) জি এম কাউন্টার দ্বারা উদঘাটন করা হয়

নিচের কোনটি সঠিক ?

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

১৫। কোন উক্তিটি সঠিক ?

(ক) β-রশ্মি ও ক্যাথোড রশ্মি সদৃশ
(খ) γ-রশ্মি হলো উচ্চ শক্তিসম্পন্ন নিউট্রনের স্রোত
(গ) α-কণাগুলি একক আয়নিত হিলিয়াম পরমাণু
(ঘ) প্রোটন ও নিউট্রনের ভর হুবহু এক

১৬। নিচের কোনটি তেজস্ক্রিয় রশ্মি নয় ?

(ক) আলফা রশ্মি
(খ) বিটা রশ্মি
(গ) গামা রশ্মি
(ঘ) এক্স রশ্মি

১৭। তেজস্ক্রিয় ক্ষয় সূত্র হলো—

(ক) $N = N_0 e^{-\lambda t}$
(খ) $N = N_0 e^{-\lambda T}$
(গ) $N_0 = N e^{-\lambda T}$
(ঘ) ক ও খ উভয়ই

১৮। 1 amu ভরের সমতুল্য শক্তি কত ?

(ক) 934 MeV
(খ) 93·4 MeV
(গ) 943 MeV
(ঘ) 980 MeV

১৯। রেডনের অর্ধায়ু 3·82 দিন। এর ক্ষয় ধ্রুবকের মান কত ?

(ক) 5·05/d
(খ) 0·181/d
(গ) 0·581/d
(ঘ) 0·284/d

২০। নিচের বিক্রিয়ায় X কণাটি কী ?

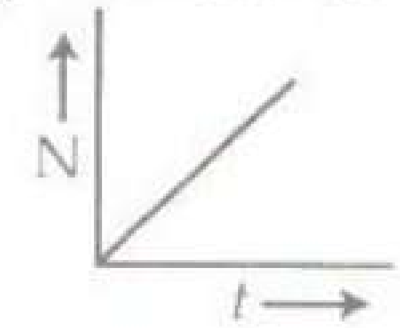
$^{14}N + ^{4}He \rightarrow ^{17}O + X$

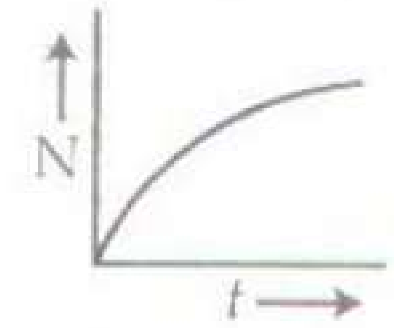
(ক) ইলেকট্রন
(খ) প্রোটন
(গ) নিউট্রন
(ঘ) ফোটন

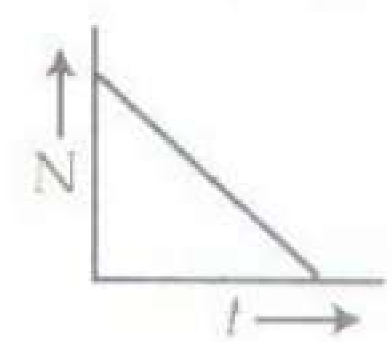
২১। কোনো তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু 3·82 দিন। কতদিন পর উক্ত মৌলের 60% অংশ ক্ষয় হবে ?

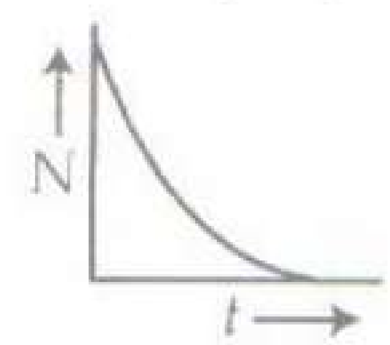
(ক) 8·05 d
(খ) 5·05 d
(গ) 7·50 d
(ঘ) 12·05 d

২২। নিচের কোন লেখটি সময়ের প্রেক্ষিতে তেজস্ক্রিয় পরমাণুর অবক্ষয়ের হার নির্দেশ করে ?

(ক) 

(খ) 

(গ) 

(ঘ) 

২৩। নিচের কোন রাশি 1 কুরী নির্দেশ করে ?

(ক) $3·7 \times 10^{7}$ decay s^{-1}
(খ) $3·7 \times 10^{8}$ decay s^{-1}
(গ) $3·7 \times 10^{9}$ decay s^{-1}
(ঘ) $3·7 \times 10^{10}$ decay s^{-1}

২৪। রেডনের অর্ধায়ু 3·82 দিন। রেডনের—
(i) তেজস্ক্রিয় ধ্রুবকের মান $0·000002\ s^{-1}$
(ii) $\frac{1}{20}$ অংশ অপরিবর্তিত থাকবে 16·54 দিন পর
(iii) তেজস্ক্রিয় ধ্রুবকের মান $0·1812\ s^{-1}$
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓚ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

২৫। একটি তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ু হলো—
(i) $T = \frac{0·693}{\lambda}$
(ii) $T = 0·693\ s$
(iii) $T = 0·693\ \tau$
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓚ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

২৬। নিউক্লিয় ফিউশন—
(i) একাধিক হাল্কা নিউক্লিয়াস একত্রিত হয়ে ভারি নিউক্লিয়াস গঠন করে
(ii) অত্যধিক উচ্চ তাপমাত্রায় সংঘটিত হয়
(iii) আণবিক চুল্লীতে এই প্রক্রিয়া সংঘটিত হয়
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓚ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

২৭। নিউক্লিয় চুল্লীতে যে বিক্রিয়াগুলি সম্পন্ন হয় তা হলো—
(i) ফিশন
(ii) ফিউশন
(iii) প্রতি ফিশনে প্রায় 200 MeV শক্তি নির্গত হয়
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓚ ii ও iii
ⓖ i ও iii
ⓖ i, ii ও iii

২৮। পরমাণু নিউক্লিয়াসে অবস্থিত প্রোটন ও নিউট্রনকে একত্রে বলা হয়—
ⓚ পায়ন
ⓚ গ্রাভিটন
ⓖ নিউক্লিয়ন
ⓖ আয়ন

২৯। নিউক্লিয় ফিউশন—
(i) এটি ফিশনের বিপরীত ক্রিয়া
(ii) অত্যধিক উচ্চ তাপমাত্রায় সংঘটিত হয়
(iii) নিম্ন তাপমাত্রায় সংঘটিত হয়
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓚ ii ও iii
ⓖ i ও iii
ⓖ i, ii ও iii

৩০। পারমাণবিক সংখ্যা হলো—
ⓚ নিউক্লিয়াসের নিউট্রন সংখ্যা
ⓚ নিউক্লিয়াসের নিউক্লিয়ন সংখ্যা
ⓖ নিউক্লিয়াসের প্রোটন সংখ্যা
ⓖ পরমাণুর ইলেকট্রন সংখ্যা

৩১। ইলেকট্রনের এন্টি পার্টিকেল হলো—
ⓚ প্রোটন
ⓚ নিউট্রন
ⓖ পজিট্রন
ⓖ এন্টি প্রোটন

৩২। α-রশ্মি ও β-রশ্মির তুলনা করলে দেখা যায়—
(i) β-রশ্মির ভেদন ক্ষমতা অপেক্ষাকৃত বেশি
(ii) β-রশ্মির আয়নায়ন ক্ষমতা অপেক্ষাকৃত বেশি
(iii) β-কণার গতিবেগ অপেক্ষাকৃত বেশি
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓚ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

৩৩। নিউক্লিয় ফিউশন বিক্রিয়ার সময়—
ⓚ একটি ভারী নিউক্লিয়াস নিজ থেকে ভেঙে দুই টুকরা হয়
ⓚ একটি হাল্কা নিউক্লিয়াস তাপীয় নিউট্রনের আঘাতে ভেঙে যায়
ⓖ একটি ভারী নিউক্লিয়াস তাপীয় নিউট্রনের আঘাতে ভেঙে যায়
ⓖ দুটি হাল্কা নিউক্লিয়াস সংযুক্ত হয়ে একটি ভারী নিউক্লিয়াস গঠন করে

৩৪। আলফা রশ্মির ধর্ম হলো—
(i) এরা ধনচার্জ বহন করে
(ii) এরা তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয়
(iii) এরা দ্বি-আয়নিত হিলিয়াম পরমাণু
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓚ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖ i, ii ও iii

৩৫। বিটা রশ্মির ধর্ম হলো—
(i) এরা ঋণচার্জ বহন করে
(ii) এদের ভেদন ক্ষমতা আলফা রশ্মি অপেক্ষা বেশি
(iii) এরা তড়িৎ ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয় না
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓚh i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖh i, ii ও iii

৩৬। গামা রশ্মির ধর্ম হলো—
(i) গামা রশ্মির কোনো চার্জ নেই
(ii) গামা রশ্মি চৌম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিক্ষিপ্ত হয়
(iii) গামা রশ্মির ভেদন ক্ষমতা আলফা ও বিটা রশ্মির চেয়ে অনেক বেশি
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৩৭। নিচের কোন নিউক্লিয়াসে প্রোটন ও নিউট্রনের সংখ্যা সমান— [য. বো. ২০১৫]
ক $_1H^1$
খ $_3Li^7$
গ $_6C^{12}$
ঘ $_{11}Na^{23}$

৩৮। সবচেয়ে দুর্বল বল কোনটি— [য. বো. ২০১৫]
ক দুর্বল নিউক্লিয় বল
খ তড়িৎচৌম্বক বল
গ সবল নিউক্লিয় বল
ঘ মহাকর্ষ বল

৩৯। দুই ঘণ্টা পর কোনো তেজস্ক্রিয় বস্তুর প্রাথমিক পরিমাণের $\frac{1}{16}$ অংশ অক্ষত থাকে। উক্ত তেজস্ক্রিয় বস্তুর অর্ধায়ু হলো— [সি. বো. ২০১৫]
ক 15 মি.
খ 30 মি.
গ 45 মি.
ঘ 60 মি.

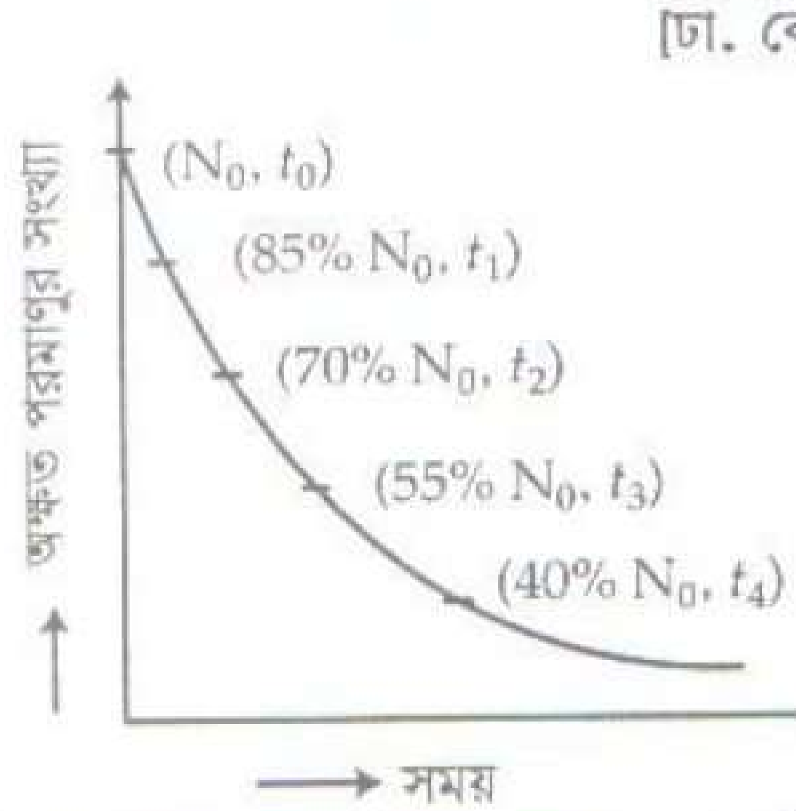
৪০। α-কণা হলো—
ক ^4_2He
খ ^3_1H
গ ^3_2He
ঘ ^2_1H

৪১। m_p = 1·00728 amu, m_0 = 1·00876 amu, M $\left(^4_2He\right)$ = 4·00276 amu এবং 1 amu = 931 MeV হলে α-কণার বন্ধন শক্তি— [দি. বো. ২০১৫]
ক 27·287 MeV
খ 37·78 MeV
গ 39·16 MeV
ঘ 72·52 MeV

৪২। $^{40}_{20}Ca$ এবং $^{39}_{19}K$ হচ্ছে— [কু. বো. ২০১৫]
ক আইসোটোপ
খ আইসোবার
গ আইসোমার
ঘ আইসোটোন

৪৩। একটি ইলেকট্রন যদি E_2 হতে E_1 শক্তিস্তরে গমন করে তাহলে বিকীর্ণ শক্তির তরঙ্গদৈর্ঘ্য জানা যাবে নিচের কোন সমীকরণের সাহায্যে— [চ. বো. ২০১৫]
ক $\lambda = \frac{E_2 - E}{h}$
খ $\lambda = \frac{hc}{E_2} - \frac{hc}{E_1}$
গ $\lambda = \frac{c}{h(E_2 - E_1)}$
ঘ $\lambda = \frac{hc}{E_2 - E_1}$

উদ্দীপকের আলোকে ৪৪ এবং ৪৫নং প্রশ্নের উত্তর দাও: [ঢা. বো. ২০১৫]



চিত্রে রেডনের তেজস্ক্রিয় ক্ষয়ের লেখ নির্দেশ করা হচ্ছে। যার অর্ধায়ু 3·8 days.

৪৪। রেডনের তেজস্ক্রিয় ক্ষয় ধ্রুবক নির্দেশ করে—
ক 0·118 d^{-1}
খ 0·182 d^{-1}
গ 0·369 d^{-1}
ঘ 0·693 d^{-1}

৪৫। উদ্দীপক অনুসারে কোন সময় ব্যবধানে ক্ষয়ের হার সর্বাধিক হবে ?
ক $t_4 - t_3$
খ $t_0 - t_1$
গ $t_2 - t_1$
ঘ $t_3 - t_2$

৪৬। পরমাণু হতে শক্তি উৎপন্ন করা যায়—
(i) নিউক্লিয় ফিশন বিক্রিয়ায়
(ii) নিউক্লিয় ফিউশন বিক্রিয়ায়
(iii) চেইন বিক্রিয়ায়
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ ii ও iii
গ i ও iii
ঘ i, ii ও iii

৪৭। তেজস্ক্রিয়া—

(i) একটি নিউক্লিয় ঘটনা

(ii) একটি সবিরাম ঘটনা

(iii) বাহ্যিক কোনো ক্ষেত্র দ্বারা প্রভাবিত হয় না

নিচের কোনটি সঠিক ?

ⓚ i ও ii

ⓚ ii ও iii

ⓖ i ও iii

ⓖ i, ii ও iii

৪৮। বোরের স্বীকার্য অনুসারে হাইড্রোজেন পরমাণুর দ্বিতীয় কক্ষপথে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ—

(ক) $\frac{h}{2}$

(খ) $\frac{h}{\pi}$

(গ) $\frac{h}{4\pi}$

(ঘ) $\frac{2h}{\pi}$

৪৯। বোরের হাইড্রোজেন মডেল অনুযায়ী তৃতীয় বোর কক্ষের ব্যাসার্ধ প্রথম বোর কক্ষের ব্যাসার্ধের কত গুণ—

(ক) $\frac{1}{9}$ গুণ

(খ) 9 গুণ

(গ) $\frac{1}{3}$ গুণ

(ঘ) 3 গুণ

৫০। একটি তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধজীবন 10 দিন 1 kg পরিমাণ উক্ত পদার্থের কতটুকু এক মাস পরে অবশিষ্ট থাকবে ?

(ক) $\frac{1}{2}$ kg

(খ) $\frac{1}{4}$ kg

(গ) $\frac{1}{8}$ kg

(ঘ) $\frac{1}{16}$ kg

উত্তর :

১। ক	২। ঘ	৩। ক	৪। খ	৫। গ	৬। ক	৭। ক	৮। খ	৯। গ	১০। ক
১১। গ	১২। ক	১৩। গ	১৪। ঘ	১৫। ক	১৬। ঘ	১৭। ক	১৮। ক	১৯। খ	২০। খ
২১। খ	২২। ঘ	২৩। ঘ	২৪। গ	২৫। খ	২৬। ক	২৭। গ	২৮। গ	২৯। ক	৩০। গ
৩১। গ	৩২। খ	৩৩। ঘ	৩৪। ঘ	৩৫। ক	৩৬। খ	৩৭। গ	৩৮। ঘ	৩৯। খ	৪০। ক
৪১। ক	৪২। ঘ	৪৩। ঘ	৪৪। খ	৪৫। খ	৪৬। ক	৪৭। ক	৪৮। খ	৪৯। খ	৫০। গ

(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১। পাশের চিত্রে রাদারফোর্ড মডেল অনুযায়ী পরমাণুর আকৃতি দেখানো হয়েছে।

(ক) নিউক্লিয়ন কী ?

(খ) নিউক্লিয়াসের চারদিকে ইলেকট্রনের ঘূর্ণনের জন্য প্রয়োজনীয় কেন্দ্রমুখী বলের উৎস কী?

(গ) হাইড্রোজেন পরমাণুর দ্বিতীয় কক্ষের ইলেকট্রনের শক্তি নির্ণয় কর। (শক্তির মান)

(ঘ) মনে কর নিউক্লিয়াসটি ${}_{92}U^{235}$। একে একটি নিউট্রন দ্বারা আঘাত করলে ${}_{56}Ba^{141}$, ${}_{36}Kr^{92}$ এবং ${}_{30}n^1$ পাওয়া যায়। যাদের ভর যথাক্রমে 235·0439 amu, 140·9139 amu এবং ${}_0n^1$-এর ভর 1·0087 emu। যেখানে 1 amu = 931 MeV, দেখাও যে বিক্রিয়ায় নির্গত শক্তি 200 MeV।

২। ${}_{88}Ra^{226}$ এর অর্ধজীবন 1600 yrs।

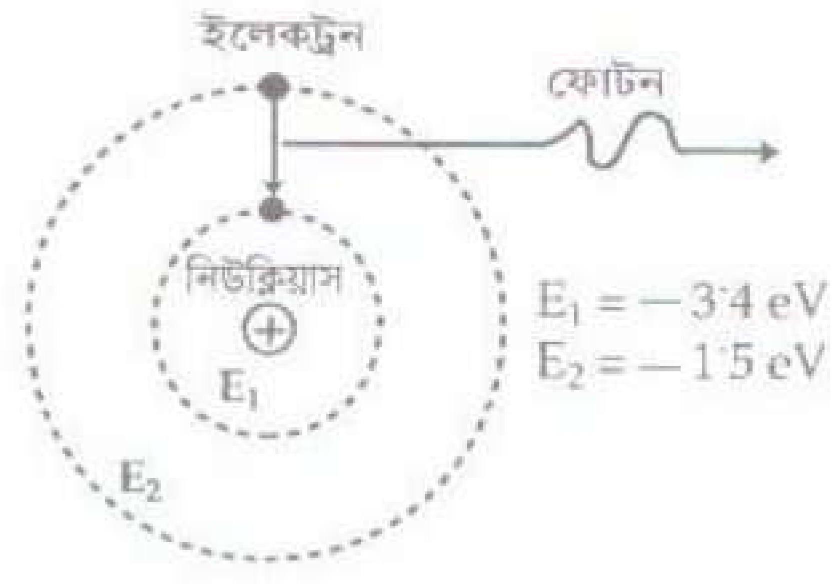
(ক) নিউক্লিয়ন বলতে কি বুঝায় ?

(খ) অর্ধায়ু ও ক্ষয় ধ্রবক এর মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন কর।

(গ) Ra^{226} এর ক্ষয় ধ্রবক ও গড় জীবন নির্ণয় কর।

(ঘ) ${}_{88}Ra^{226}$ এর তেজস্ক্রিয় ভাঙনের লেখচিত্র অঙ্কন কর এবং এর $\frac{1}{8}$ অংশ রূপান্তরের সময় নির্ণয় কর।

৩। নিচের চিত্রে একটি ইলেকট্রনের ২য় কক্ষপথ হতে ১ম কক্ষপথে লাফ দেওয়ার ফলে ফোটনের নিঃসরণ দেখানো হয়েছে।



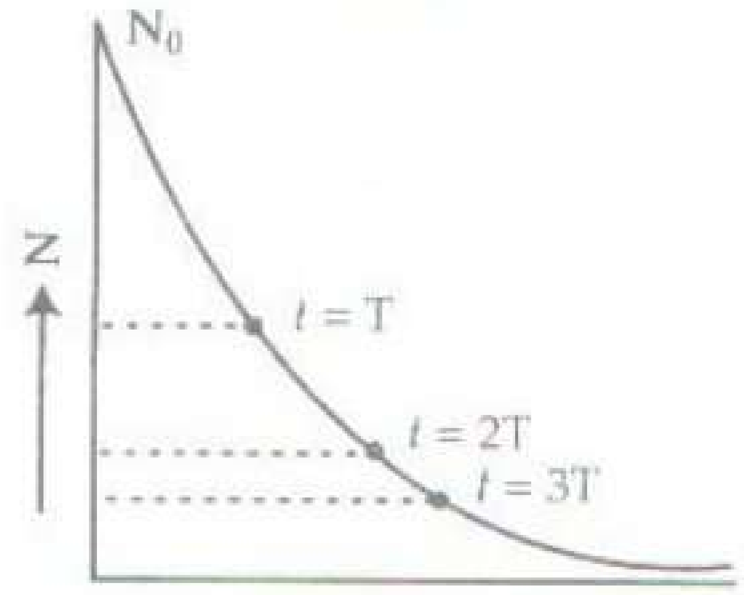
(ক) বোর মডেলের স্বীকার্য কয়টি ? প্রথম স্বীকার্য বিবৃত কর।

(খ) উদ্দীপকের ইলেকট্রন ২য় কক্ষ হতে ১ম কক্ষে লাফ দেওয়ায় বিকিরিত শক্তির পরিমাণ কত ? কক্ষপথের মুখ্য কোয়ান্টাম সংখ্যা বলতে কী বুঝ ?

(গ) হাইড্রোজেন পরমাণুর দ্বিতীয় ইলেকট্রনীয় কক্ষের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।
(ধর $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js, $m = 9.11 \times 10^{-31}$ kg ও
$e = 1.6 \times 10^{-19}$ C)

(ঘ) ইলেকট্রন ২য় কক্ষপথ হতে ১ম কক্ষপথে লাফ দেওয়ার ফলে নির্গত ফোটনের কম্পাঙ্ক কত হবে ? ইলেকট্রন কক্ষপথে আবর্তনে শক্তির শোষণ না হয়ে বিকিরণ ঘটে এর যৌক্তিকতা ব্যাখ্যা কর।

৪। নিচের চিত্রে সময়ের সাথে তেজস্ক্রিয় পদার্থের অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা N-এর লেখ দেখানো হয়েছে।



(ক) তেজস্ক্রিয় পদার্থ কী ?

(খ) পারমাণবিক ভর নয়—পারমাণবিক সংখ্যাই একটি মৌলিক পদার্থের বৈশিষ্ট্যপূর্ণ ও গুরুত্বপূর্ণ ধর্ম—ব্যাখ্যা কর।

(গ) তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু 1590 বছর হলে এর গড় আয়ু ও অবক্ষয় ধ্রুবকের মান বের কর।

(ঘ) দেখাও যে, উদ্দীপকের লেখটি তেজস্ক্রিয় ক্ষয় সূত্র মেনে চলে।

৫। দুটি তেজস্ক্রিয় মৌল A ও B এর ক্ষয় ধ্রুবক যথাক্রমে $0.18\ d^{-1}$ এবং $0.257\ d^{-1}$।

(ক) রেডিও আইসোটোপ কী ?

(খ) চেইন বিক্রিয়ার বৈশিষ্ট্যগুলি লিখ।

(গ) B তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ু 10 দিন। কত দিনে ঐ মৌলের 75% ক্ষয় প্রাপ্ত হবে ?

(ঘ) A মৌলটি যদি 75% ক্ষয়প্রাপ্ত হয় তাহলে উভয় ক্ষেত্রে একই সময় লাগবে কী ? —গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(গ) সাধারণ প্রশ্ন

১। মৌলিক পদার্থ কাকে বলে ?
২। যৌগিক পদার্থ বলতে কী বোঝ ?
৩। থমসন মডেলের মূল বক্তব্য কী ?
৪। থমসন মডেলের সীমাবদ্ধতা আলোচনা কর।
৫। রাদারফোর্ড মডেলের সঙ্গে সৌর জগতের গঠনের কী সাদৃশ্য আছে ?
৬। রাদারফোর্ড মডেলের ত্রুটি কী ছিল ?
৭। রাদারফোর্ডের আলফা কণিকা পরীক্ষার ফলাফল বর্ণনা কর।
৮। বোরের পরমাণু মডেলের স্বীকার্যগুলো লিখ।
৯। বোরের পরমাণু মডেলের সাহায্যে রাদারফোর্ড মডেলের সীমাবদ্ধতা কীভাবে অতিক্রম করা যায় ?
১০। হাইড্রোজেন পরমাণুর কক্ষপথ কয়টি? পরমাণুর মোট শক্তি ঋণাত্মক—এ থেকে কী বোঝা যায় ?
১১। বোর মডেল অনুসারে হাইড্রোজেন পরমাণুর কক্ষপথের ব্যাসার্ধের রাশিমালা লিখ।
১২। বোর মডেল অনুসারে হাইড্রোজেন পরমাণুর শক্তির রাশিমালা লিখ।
১৩। বোর কক্ষপথকে স্থায়ী কক্ষপথ বলা হয় কেন ?
১৪। নিউক্লিয়াস গঠন সম্পর্কীয় প্রোটন-নিউট্রন তত্ত্ব বর্ণনা কর।
১৫। হাইড্রোজেন পরমাণুতে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ সংক্রান্ত বোরের কোয়ান্টাম শর্তটি কী ?
১৬। প্রথম বোর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ r হলে দ্বিতীয় বোর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ কত ?
১৭। পারমাণবিক নিউক্লিয়াস কী কী দিয়ে গঠিত ?
১৮ ার মডেলের দুটি ত্রুটি উল্লেখ কর।
১৯। তেজস্ক্রিয়তা কী ? এর এককের নাম লিখ ও সংজ্ঞা দাও।

২০। তেজস্ক্রিয় রশ্মি কী ?
২১। তেজস্ক্রিয়তার বৈশিষ্ট্যগুলি লিখ।
২২। তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু কাকে বলে ?
২৩। ক্ষয় ধ্রুবকের সাথে অর্ধায়ুর সম্পর্ক নির্ণয় কর।
২৪। তেজস্ক্রিয় পদার্থের গড় আয়ু কাকে বলে ? অর্ধায়ুর সাথে এর সম্পর্ক নির্ণয় কর।
২৫। তেজস্ক্রিয়তার ব্যবহার উল্লেখ কর।
২৬। 1 বেকেরেল-এর সংজ্ঞা দাও।
২৭। α, β ও γ নিঃসরণের ফলে মৌলের পারমাণবিক ভর ও পারমাণবিক সংখ্যার কী পরিবর্তন ঘটে ?
২৮। পরমাণুর নিউক্লিয়াসে কোনো ইলেকট্রন নেই অথচ, নিউক্লিয়াস থেকে β কণা নিঃসরণ কীভাবে ঘটে ?
২৯। ক্ষয় ধ্রুবক কী ?
৩০। একটি নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় কী কী ভৌত রাশি সংরক্ষিত হয় ?
৩১। α, β, γ রশ্মির ধর্মগুলি লিখ।
৩২। তেজস্ক্রিয়তার ক্ষয় সূত্রটি লিখ। ক্ষয় ধ্রুবক, অর্ধায়ু, গড় আয়ুর সংজ্ঞা দাও।
৩৩। তেজস্ক্রিয়তার রূপান্তর সূত্রটি লিখ।
৩৪। আইসোটোপ, আইসোবার, নিউক্লিয়নের সংজ্ঞা দাও।
৩৫। নিউক্লিয়াসের গঠন বর্ণনা কর।
৩৬। চেইন বিক্রিয়া বলতে কী বোঝ ?
৩৭। নিউক্লিয় ফিশন ও ফিউশন বলতে কী বোঝ ?
৩৮। নিউক্লিয় ফিশন ও নিউক্লিয় ফিউশন বর্ণনা কর।
৩৯। ভর ত্রুটি ও বন্ধন শক্তির সংজ্ঞা দাও।
৪০। পারমাণবিক ওজন ও পারমাণবিক সংখ্যার মধ্যে কোনটি মৌলের রাসায়নিক প্রকৃতি নির্ণয় করে ?

(ঘ) ক্রিয়াকর্ম

প্রতিবেদন রচনা : পারমাণবিক গঠনশৈলী সম্পর্কে বিভিন্ন ধারণার বিকাশ—বিষয়টির উপর একট প্রতিবেদন রচনা কর। শ্রেণি শিক্ষকের নিকট তা উপস্থাপন কর।

(ঙ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। হাইড্রোজেন পরমাণুর দ্বিতীয় ইলেকট্রনীয় কক্ষের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। [ধর $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js, $m = 9{\cdot}11 \times 10^{-31}$ kg ও $e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C একক] [সি. বো. ২০০৭] [উত্তর : $2{\cdot}1128 \times 10^{-10}$ m]

২। হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম বোর কক্ষের ব্যাসার্ধ $0{\cdot}53$ Å হলে, দ্বিতীয় কোয়ান্টাম স্তরে ইলেকট্রনটির গতিবেগ কত? $\times 10^{-10}$ m [উত্তর : $1{\cdot}1 \times 10^{6}$ ms^{-1}]

৩। হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম বোর কক্ষপথে আবর্তনরত ইলেকট্রনের শক্তি $-13{\cdot}6$ eV। এর দ্বিতীয় কক্ষপথ থেকে প্রথম কক্ষপথে ইলেকট্রন পতনের ফলে নিঃসৃত ফোটনের শক্তি কত হবে ? [উত্তর : $10{\cdot}2$ eV]

৪। উত্তেজিত অবস্থায় হাইড্রোজেন পরমাণুর ইলেকট্রনের শক্তি $-0{\cdot}54$ eV। বোরের তত্ত্ব থেকে ইলেকট্রনের কৌণিক ভরবেগ নির্ণয় কর। [উত্তর : $5{\cdot}29 \times 10^{-34}$ Js]

৫। অ্যালুমিনিয়াম নিউক্লিয়াসের সংকেত $_{13}Al^{27}$। এই নিউক্লিয়াসে প্রোটন সংখ্যা, নিউট্রন সংখ্যা, ভর সংখ্যা ও পারমাণবিক সংখ্যা কত ? [সি. বো. ২০০৯] [উত্তর : 13, 14, 27, 13]

৬। হাইড্রোজেন পরমাণুর ৩য় কক্ষপথের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। এখানে $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js, $m_e = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg এবং $e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C। [উত্তর : $4{\cdot}7862 \times 10^{-10}$ m]

৭। হাইড্রোজেন পরমাণুর ভূমিস্তরের (প্রথম কক্ষপথের) ইলেকট্রনের শক্তি নির্ণয় কর। [উত্তর : $-13{\cdot}6$ eV]

৮। হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম ও দ্বিতীয় বোর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। ভূমিস্তরে হাইড্রোজেন পরমাণুর ব্যাস কত ? এখানে, $h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js, $e = 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ C, $m_e = 9{\cdot}1 \times 10^{-31}$ kg, $\in_0 = 2{\cdot}13 \times 10^{-10}$ m।
[উত্তর : $r_1 = 0{\cdot}532 \times 10^{-10}$ m, $r_2 = 2{\cdot}13 \times 10^{-10}$ m, $2r_1 = 1{\cdot}064 \times 10^{-10}$ m]

৯। একটি হাইড্রোজেন পরমাণু $-1{\cdot}5$ eV শক্তি অবস্থা থেকে $-3{\cdot}4$eV অবস্থায় আসলে যে ফোটন নিঃসরণ করবে তার কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে ? এ বিক্রিয়া কি দৃশ্যমান হবে ? [$h = 6{\cdot}63 \times 10^{-34}$ Js]
[উত্তর : $\nu = 4{\cdot}59 \times 10^{14}$ Hz : $\lambda = 6536 \times 10^{-10}$m: দৃশ্যমান হবে]]

১০। ^{232}Th (Z = 90) তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ পরপর ছয়টি α–কণা ও চারটি β–কণা নিঃসরণ করে। এর ফলে উৎপন্ন আইসোটোপের ভর সংখ্যা ও পারমাণবিক সংখ্যা নির্ণয় কর। উৎপন্ন আইসোটোপটি কী ? [উত্তর : 208, 82: Pb]

১১। Au^{198} এর অর্ধায়ু 2·70 দিন। Au^{198} এর অবক্ষয় ধ্রুবক বের কর। [উত্তর : $0{\cdot}257$ d^{-1}]

১২। একটি তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু 5 ঘণ্টা। এর ক্ষয়ধ্রুবকের মান কত ? [রা. বো. ২০০৫] [উত্তর : 0·1386/ঘণ্টা]

১৩। Au^{198} এর অর্ধায়ু 2·7 দিন। একখণ্ড Au^{198} এর 25% ক্ষয় হতে কত সময় লাগবে ?
[সি. বো. ২০১০] [উত্তর : 1·12 দিন]

১৪। একখণ্ড রেডনের 40% ক্ষয় হতে কত সময় লাগবে ? রেডনের অর্ধায়ু 3·82 দিন। [উত্তর : 2·82 দিন]

১৫। প্রতি ফিশনে 200 MeV শক্তি নির্গত হলে 10 MW ক্ষমতা উৎপাদনে প্রতি সেকেন্ডে কতটি ফিশন হতে হবে?
[উত্তর : $3·125 \times 10^{17}$]

১৬। α কণার বন্ধন শক্তি নির্ণয় কর। [m_p = 1·00758 a.m.u., m_n = 1·00894 a.m.u., M ($^4_2$He) = 4·00389 a.m.u.
ও 1 a.m.u. = $1·66038 \times 10^{-27}$ kg] [উত্তর : 27·218 MeV]

১৭। রেডনের অর্ধায়ু 3·82 দিন হলে একখণ্ড রেডনের 75% ক্ষয় হতে কত সময় লাগে ? [উত্তর : 7·66 দিন]

১৮। একটি তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু 15 দিন। কতদিনে ঐ পদার্থের 65% ক্ষয়প্রাপ্ত হবে ? [উত্তর : 22·72 দিন]

১৯। ট্রিটিয়ামের অর্ধায়ু 12·5 বছর। 25 বছর পর একটি নির্দিষ্ট ট্রিটিয়াম বস্তুখণ্ডের কত অংশ অবশিষ্ট থাকবে ?
[উত্তর : $\frac{1}{4}$ অংশ]

২০। Po^{210}-এর অর্ধায়ু 140 d। 1 g Po^{210}-এ প্রতি সেকেন্ডে কতগুলো পরমাণুর ক্ষয় ঘটবে ? (অ্যাভোগ্যাড্রোর সংখ্যা, N = $6·023 \times 10^{23}$) [উত্তর : $1·64 \times 10^{14}$ সংখ্যা]

২১। কোনো একটি তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু 3·8 দিন। আট দিন পর এই পদার্থের শতকরা কত অংশ অবশিষ্ট থাকবে? [বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৭-০৮] [উত্তর : 23·2%]

২২। প্রথম ক্রম বিক্রিয়ার অর্ধায়ু 50 সেকেন্ড। 75% বিক্রিয়া শেষ করতে কত সময় লাগবে ?
[বুয়েট ভর্তি পরীক্ষা, ২০১১-১২] [উত্তর : 100 সেকেন্ড]

২৩। 1 kg ভরের তেজস্ক্রিয় মৌলের একটি বস্তুর মধ্যে 48 দিন পর ঐ মৌলের মাত্র 0·25 kg পাওয়া যায়। মৌলটির অর্ধায়ু কত ? [ঢা. বি. ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৭-০৮] [উত্তর : 24 দিন]

২৪। তেজস্ক্রিয় রেডনের অর্ধায়ু 3·8 দিন। আদি পরমাণুর সংখ্যার 30% ক্ষয় হতে কত সময় লাগবে ?
[ঢা. বি. ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৭-০৮] [উত্তর : 19·5 দিন]

২৫। প্রোটন ও নিউট্রনের ভর যথাক্রমে 1·007285 amu ও 1·004665 amu হলে $_6C^{12}$-এর ভরত্রুটি ও মোট বন্ধন শক্তি নির্ণয় কর। [উত্তর : 0·0957 amu, 89·3 MeV]

২৬। প্রোটনের ভর 1·00728 amu এবং নিউট্রনের ভর 1·00865 amu হলে $_{17}Cl^{35}$-এর ভরত্রুটি ও বন্ধন শক্তি নির্ণয় কর। [উত্তর : 0·31095 amu, 290MeV]

২৭। 1 kg ভরের $_{92}U^{235}$ নিচের বিক্রিয়ার মাধ্যমে কত শক্তি নির্গত করবে ?

$$_{92}U^{235} + {}_0n^1 \rightarrow [{}_{92}U^{236}]^* \rightarrow {}_{56}Ba^{141} + {}_{36}Kr^{92} + 3{}_0n^1$$

[$_{92}U^{235}$-এর ভর = 235·04 amu, $_{56}Ba^{141}$ এর ভর = 140·31 amu, $_{36}Kr^{92}$ = 91·91 amu, $_0n^1$ = 1·01 amu, 1 amu = 932 MeV, $N_A = 6·02 \times 10^{23}$ mol^{-1}] [উত্তর : $4·5 \times 10^{26}$ MeV]

২৮। $_{28}Ni^{62}$-এর নিউক্লিয়ন প্রতি বন্ধন শক্তি নির্ণয় কর। [উত্তর : 8·79 MeV]

২৯। রেডনের অর্ধায়ু 3·8 দিন। কতদিন পর মূল অংশের $\frac{1}{10}$ ভাগ অবশিষ্ট থাকবে ? [উত্তর : 12·63 d]

৩০। Ra^{226}-এর অর্ধায়ু 1622 বছর। প্রতি সেকেন্ডে 5 গ্রাম Ra^{226} হতে কতগুলো পরমাণু ভাঙ্গাতে থাকবে ?
[উত্তর : $18·05 \times 10^{10}$ s^{-1}]

৩১। একখণ্ড রেডিয়াম 5000 বছর তেজস্ক্রিয় বিকিরণ নিঃসরণ করে এক-পঞ্চমাংশে পরিণত হয়। রেডিয়ামের অবক্ষয় ধ্রুবক নির্ণয় কর। [উত্তর : $3·22 \times 10^{-4}$ y^{-1}]

৩২। $_{82}Pb^{224}$ এর অর্ধায়ু 23·4 মিনিট। এর কী পরিমাণ ভর থেকে এক কুরী তেজস্ক্রিয়তা পাওয়া যাবে ?
[উত্তর : $2·78 \times 10^{-8}$ gm]

৩৩। নিম্নলিখিত নিউক্লিয় সমীকরণগুলো সম্পূর্ণ কর :

(i) $^{19}_{9}F + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{16}_{8}O + ?$

(ii) $^{25}_{12}Mg + ? \rightarrow {}^{22}_{11}Na + {}^{4}_{2}He$ [উত্তর : $^4_2$He, $^1_1$H]

৩৪। নিম্নলিখিত নিউক্লিয় বিক্রিয়ায় X নিউক্লিয়াসটিকে সনাক্ত কর ?

$^{A}_{Z}X + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{4}_{2}He(\alpha) + {}^{7}_{3}Li$ [উত্তর : $^{10}_{4}$B]

৩৫। নিচের নিউক্লিয় বিক্রিয়াটি পূর্ণ কর :

(i) $^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + \ldots\ldots$ [উত্তর : ^1_0n]

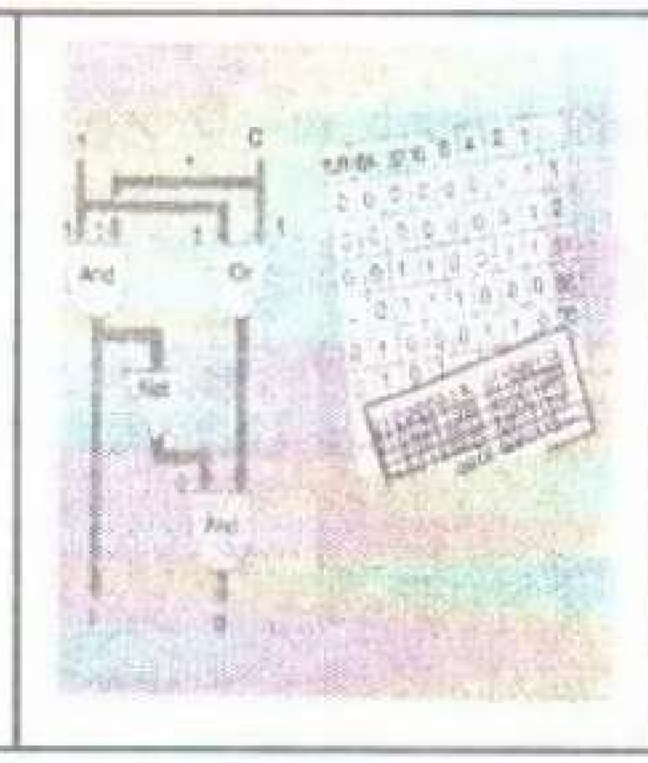
(ii) $^{6}_{3}Li + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{4}_{2}He + \ldots\ldots$ [উত্তর : $^3_1$H]

১০

সেমিকন্ডাক্টর ও ইলেকট্রনিক্স
SEMICONDUCTOR AND ELECTRONICS

প্রধান শব্দ (Key Words) : অর্ধপরিবাহী, ব্যান্ড তত্ত্ব, হোল, স্বকীয় ও বহিঃজাত অর্ধ-পরিবাহী, পি-টাইপ এবং এন-টাইপ অর্ধ-পরিবাহী, জাংশন ডায়োড, জেনার ভোল্টেজ, রেকটিফায়ার, ট্রানজিস্টর, অ্যাম্প্লিফায়ার, নম্বর পদ্ধতি, ডেসিমাল, বাইনারি, অক্টাল, হেক্সাডেসিমাল, বাইনারি অপারেশন, লজিক গেট, ট্রুথ টেবিল।






সূচনা
Introduction

বিংশ শতাব্দীকে বলা যায় ইলেকট্রনিক্সের যুগ বা শতাব্দী। একবিংশ শতাব্দীতেও যে এর অগ্রযাত্রা অব্যাহত থাকবে তা নিঃসন্দেহ। আমাদের অগ্রগতির পথকে ইলেকট্রনিক্স এমনভাবে আষ্টেপৃষ্ঠে বেঁধে রেখেছে যে সকালে ঘুম থেকে জাগ্রত হওয়া থেকে আরম্ভ করে রাতে ঘুমাতে যাওয়া পর্যন্ত প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষভাবে এর সাহায্য নিতে হচ্ছে। রেডিও, টেলিভিশন, ভি.সি.আর., কম্পিউটার, রাডার, ইন্টারনেট ইত্যাদি সব কিছুতেই রয়েছে ইলেকট্রনিক্সের উপস্থিতি। ইলেকট্রন শব্দ থেকে ইলেকট্রনিক্সের উৎপত্তি। বিজ্ঞানের যে শাখায় ভ্যাকুয়াম গ্যাস বা সেমিকন্ডাকটরের মাধ্যমে ইলেকট্রনের প্রবাহ নিয়ে কাজ করা হয় সেই শাখাকেই ইলেকট্রনিক্স (Electronics) বলা হয়। এই অধ্যায়ে ইলেকট্রনিক্সের মূল বস্তু অর্ধপরিবাহী (Semiconductor). ডায়োড, ট্রানজিস্টর, রেকটিফায়ার, এ্যম্প্লিফায়ার, নম্বর পদ্ধতি, বাইনারি অপারেশন, লজিক গেট ও এদের ব্যবহার এবং আইসি নিয়ে আলোচনা করা হবে।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- কঠিন পদার্থের ব্যান্ড তত্ত্ব ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- ব্যান্ড তত্ত্বের আলোকে পরিবাহী, অপরিবাহী এবং সেমিকন্ডাক্টর ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- ইনট্রিন্সিক ও এক্সট্রিন্সিক সেমিকন্ডাক্টর ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- সেমিকন্ডাক্টরে ইলেকট্রন ও হোলের ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- পি টাইপ সেমিকন্ডাক্টর এবং এন টাইপ সেমিকন্ডাক্টর তৈরি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- জাংশন ডায়োডের গঠন ও কার্যক্রম ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- একমুখীকরণ (Rectification) ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- **ব্যবহারিক :** ডায়োডের পূর্ণ ব্রীজ ব্যবহার করে একটি দিকপরিবর্তী প্রবাহকে একমুখী প্রবাহে রূপান্তর করতে পারবে।
- জাংশন ট্রানজিস্টরের গঠন ও কার্যক্রম ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- অ্যামপ্লিফায়ার ও সুইচ হিসেবে ট্রানজিস্টরের ব্যবহার ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- বিভিন্ন প্রকার নম্বর পদ্ধতির মধ্যে রূপান্তর ব্যবহার করতে পারবে।
- বাইনারি অপারেশন ব্যবহার করতে পারবে।
- বিভিন্ন প্রকার লজিক গেটের কার্যক্রম বিশ্লেষণ করতে পারবে।
- **ব্যবহারিক :** সমন্বিত বর্তনী ব্যবহার করে গেট বর্তনীর কার্যক্রম (ট্রুথ টেবিল) যাচাই করতে পারবে।

১০.১ অর্ধপরিবাহী
Semiconductor

ব্যান্ড তত্ত্ব আলোচনার পূর্বে পরিবাহী, অপরিবাহী এবং অর্ধপরিবাহী পদার্থের ধর্ম ও বৈশিষ্ট্য সম্পর্কে আমাদের জানা প্রয়োজন।

পরিবাহী, অপরিবাহী ও অর্ধপরিবাহীর ধারণা
Ideas about conductor, insulator and semiconductor

আমাদের আশে-পাশের সমস্ত পদার্থই কঠিন, তরল ও গ্যাস এই তিনটি অবস্থার যে কোনো একটি অবস্থায় বিদ্যমান। তড়িৎ পরিবাহিতার প্রকৃতি অনুসারে কঠিন পদার্থকে তিনটি শ্রেণিতে ভাগ করা যায়।

যে সমস্ত পদার্থের ভেতর দিয়ে তড়িৎ সহজে চলাচল করতে পারে সেগুলোকে বলা হয় পরিবাহী (conductor)। যেমন—সোনা, তামা, রূপা, অ্যালুমিনিয়াম ইত্যাদি।

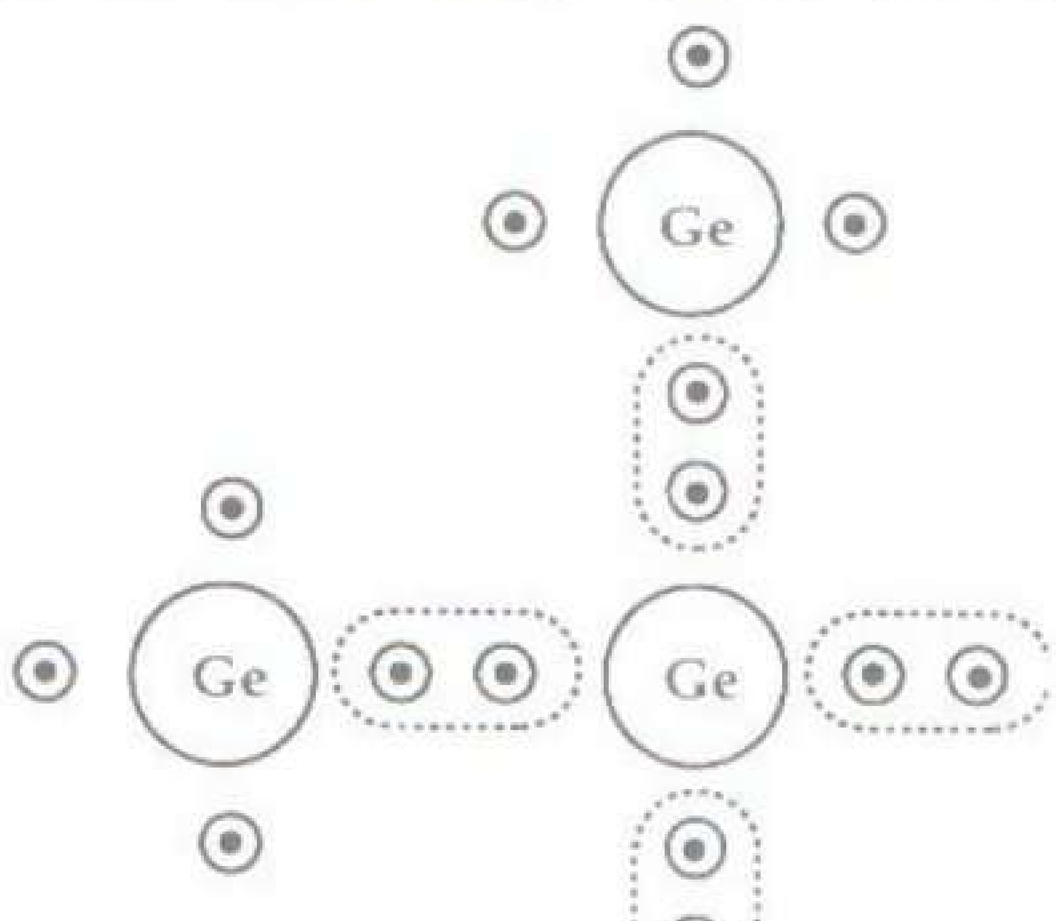
এক ধরনের পদার্থ আছে যার ভেতর দিয়ে তড়িৎ চলাচল করতে পারে না এদেরকে বলা হয় অপরিবাহী (Insulator)। যেমন—রাবার, সিরামিক, কাঁচ, কাঠ ইত্যাদি।

আমরা জানি, **পরিবাহী এবং অন্তরকের মাঝামাঝি এক ধরনের পদার্থ আছে যার তড়িৎ পরিবাহিতা পরিবাহী পদার্থের চেয়ে অনেক কম; কিন্তু অন্তরকের চেয়ে অনেক বেশি। এগুলোকে বলা হয় অর্ধপরিবাহী।** যেমন—জার্মেনিয়াম, সিলিকন, ক্যাডমিয়াম সালফাইড, গ্যালিয়াম আর্সেনাইড ইত্যাদি।

একটি পদার্থ কতটুকু পরিবাহী বা অন্তরক তা পদার্থের আপেক্ষিক রোধ বা পরিবাহিতার মান থেকে ধারণা করা যায়। যেমন—তামার আপেক্ষিক রোধ সাধারণ তাপমাত্রায় $10^{-8}\ \Omega\text{-m}$; পক্ষান্তরে কাঁচের আপেক্ষিক রোধ $10^{16}\ \Omega\text{-m}$। অর্ধপরিবাহীর আপেক্ষিক রোধ 10^{-5} থেকে $10^{8}\ \Omega\text{-m}$ । সাধারণ তাপমাত্রায় অর্ধপরিবাহী পদার্থ অন্তরক বা অপরিবাহী হিসেবে কাজ করে; কিন্তু **অর্ধপরিবাহী কেলাসকে যদি** ...
পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায়। সুপরিবাহী পদার্থের বেলায় এর ...
বৃদ্ধি পায়।

অর্ধপরিবাহী পদার্থের আর একটা বিশেষ ধর্ম হচ্ছে ...
নির্দিষ্ট অপদ্রব্যের খুব সামান্য অংশমাত্র (দশ লক্ষ ভাগের ...
যায়। এ ধরনের মিশ্রণ পদ্ধতিকে বলা হয় ডোপিং (do...
অর্ধপরিবাহী পদার্থই ব্যবহার করা হয়।

সুপরিবাহী পদার্থের গঠন এমন যে, কোনো পরম...
ইলেকট্রনগুলো ঠিক পাশের পরমাণুর বাইরের কক্ষে চ...



চিত্র

পরমাণু থেকে অন্য পরমাণুতে ইলেকট্রনগুলো স্বাধীনভ...
স্বাধীনভাবে চলাফেরা করে বলেই পরিবাহী পদার্থ তড়ি...
কিন্তু অপরিবাহী পদার্থের ঐ রকম স্বাধীন বা মুক্ত ইলেক...
পদার্থের ইলেকট্রনগুলো পরমাণুতে দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ

ব্যান্ড তত্ত্বের আলোকে -

অন্তরক পদার্থ:

i. আপেক্ষিক রোধ $10^{12}\ \Omega\text{m}$ ক্রমের
ii. যোজন ব্যান্ড সম্পূর্ণ পূর্ণ
iii. পরিবাহণ ব্যান্ড সম্পূর্ণ খালি
iv. যোজন ও পরিবহণ ব্যান্ডের মাঝে পার্থক্য 3/7/10/6 – 15eV
উদাহরণ : সিরামিক, কাঁচ,কাঠ ইত্যাদি ।

সুপরিবাহী: i. আপেক্ষিকরোধ $10^{-8}\ \Omega\text{m}$ ক্রমের
ii. যোজন ও পরিবাহণ ব্যান্ডের আংশিক উপরিপাতন ঘটে ও এ দুই ব্যান্ডে শক্তি পার্থক্য থাকে না । যেমন-তামা, রূপা, অ্যালুমিনিয়াম ।

অর্ধপরিবাহী: কেবল আ:রোধ দ্বারা অর্ধপরিবাহীকে চিহ্নিত করা যায় না ।
i. এর আ: রোধ $10^{-4}\ \Omega\text{m}/\ 10^{-5} \rightarrow 10^{8}\ \Omega\text{m}$ ক্রমের
ii. দুই ব্যান্ডের মাঝে শক্তি পার্থক্য 1.1eV/1eV
iii. জার্মেনিয়ামের শক্তি ব্যবধান 0.7eV
iv. পরমশূন্য তাপমাত্রায় এরা অন্তরক
v. এতে কোন অপদ্রব্য মিশালে এর তড়িৎ পরিবাহকত্ব বৃদ্ধি পায়
vi. একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রা পাল্লা পর্যন্ত এর তড়িৎ রোধ তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে হ্রাস পায় ।
vii. তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে এর তড়িৎ পরিবাহকত্ব বৃদ্ধি পায় ।
viii. দুই প্রান্তের মধ্যবর্তী বিভবপার্থক্য বৃদ্ধি করলে এর তড়িৎ পরিবাহকত্ব বৃদ্ধি পায় ।
ix. এর পরিবহণ ও যোজন ব্যান্ডের মধ্যে শক্তি পার্থক্য 1.1eV বা এর কম ।
উদাহরনঃ সিলিকন, জার্মেনিয়াম ।

যে সমস্ত পদার্থের ভিতর দিয়ে তড়িৎ সহজে চলাচল করতে পারে সেগুলোকে পরিবাহী বলে ।
যে সমস্ত পদার্থের ভিতর দিয়ে তড়িৎ সহজে চলাচল করে না সেগুলোকে অন্তরক বলে ।
যে সমস্ত পদার্থের তড়িৎ পরিবাহীতা পরিবাহী ও অন্তরকের মাঝামাঝি, সেগুলোকে অর্ধপরিবাহী পদার্থ বলে ।
যে ডিভাইস এসি প্রবাহকে একমুখী প্রবাহে রূপান্তর করে তাকে রেকটিফায়ার বলে ।
IC হল একটি সিলিকনের তৈরি সলিড স্টেট, যার মধ্যে বহু সংখ্যক ডায়োড, ট্রানজিস্টর, রোধক, ধারক ইত্যাদি যুক্ত থাকে ।
ইলেকট্রন শব্দ থেকে ইলেকট্রনিক্সের উৎপত্তি ।

বাইরের কক্ষে 4টি যোজন ইলেকট্রন থাকে। আমরা জানি যে, যে কোনো পরমাণুর সর্বশেষ কক্ষে সর্বোচ্চ ৪টি ইলেকট্রন থাকতে পারে। ৪টি ইলেকট্রন থাকলে পরমাণুটি সুস্থির অবস্থায় থাকে এবং পরমাণুটি অপরিবাহী হয়ে যায়। প্রত্যেক পরমাণুই সুস্থির অবস্থায় থাকতে চায় অর্থাৎ এরা বাইরের কক্ষে সর্বোচ্চ ৪টি ইলেকট্রন পেতে চায়। জার্মেনিয়াম, সিলিকন ইত্যাদি এই ধরনের পরমাণু প্রয়োজনীয় বাকি ইলেকট্রনগুলো সংগ্রহ করে তাদের পাশের পরমাণু থেকে। লক্ষণীয় যে পাশের পরমাণু তার ইলেকট্রন একেবারেই দিয়ে দেয় না। এক্ষেত্রে পাশাপাশি দুটো পরমাণু নিজেদের মধ্যে একে অপরের ইলেকট্রন ব্যবহার বা ভাগাভাগি করে এক বিশেষ ধরনের গ্রন্থি বা বন্ড (bond) তৈরি করে। এ ধরনের গ্রন্থিকে বলা হয় **সমযোজী গ্রন্থি** (covalent bond)। চিত্র ১০.১-এ জার্মেনিয়াম কেলাস যেভাবে সমযোজী গ্রন্থি তৈরি করে তা দেখানো হলো। সমযোজী গ্রন্থির মাধ্যমে প্রতিটি পরমাণু ৪টি ইলেকট্রন প্রাপ্ত হয় এবং সুস্থির হয়।

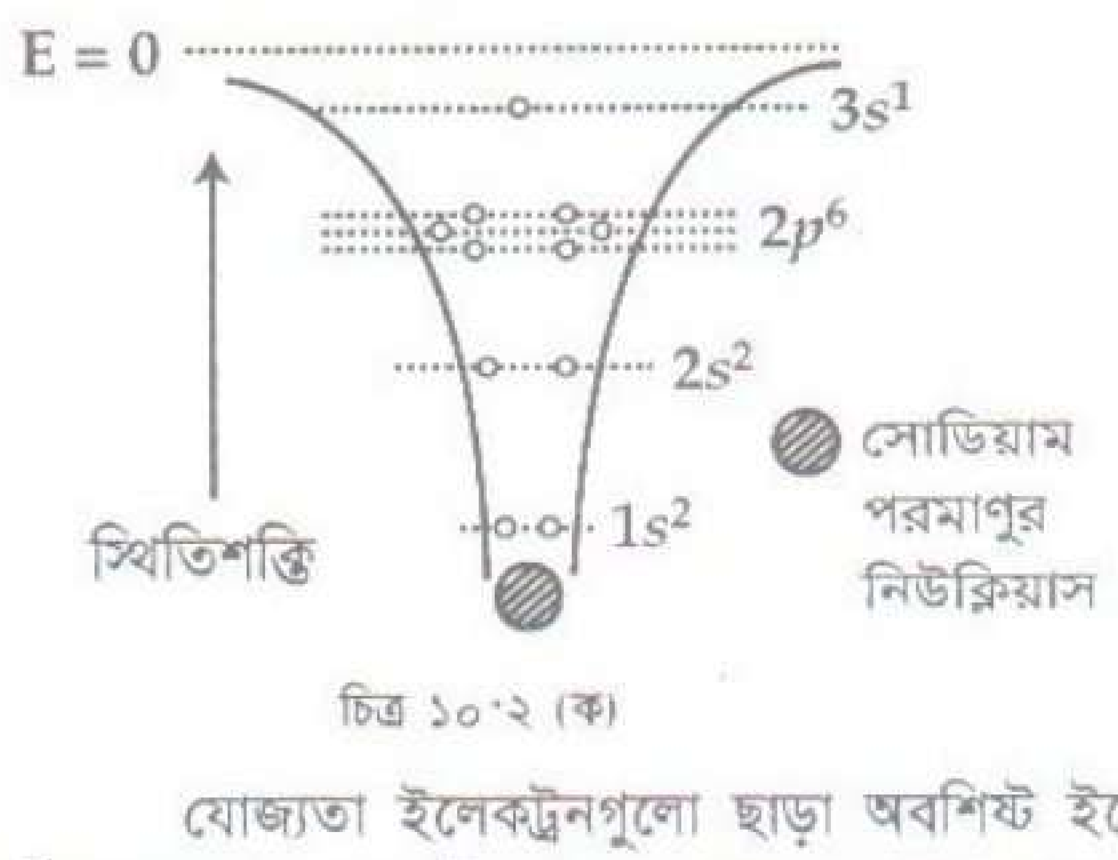
সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, জার্মেনিয়াম বা সিলিকন সমযোজী গ্রন্থির সাহায্যে **বিশুদ্ধ কেলাস** (intrinsic crystal) গঠন করে। বিশুদ্ধ জার্মেনিয়াম বা সিলিকন কেলাসে কোনো স্বাধীন বা মুক্ত ইলেকট্রন থাকে না। ফলে পরম তাপমাত্রায় এদের তড়িৎ পরিবহন ক্ষমতা থাকে না। এই ধরনের বিশুদ্ধ কেলাসের তাপমাত্রা বাড়ালে তাপীয় উত্তেজনায় কেলাসের পরমাণুর কিছু কিছু গ্রন্থি ভেঙ্গে যায়; ফলে কিছু ইলেকট্রন মুক্ত হয় এবং তড়িৎ পরিবহন করে। এভাবে বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী পদার্থ স্বল্প তড়িৎ পরিবাহকত্ব লাভ করে।

১০.২ ব্যান্ড তত্ত্বের ধারণা
Concept of Band theory

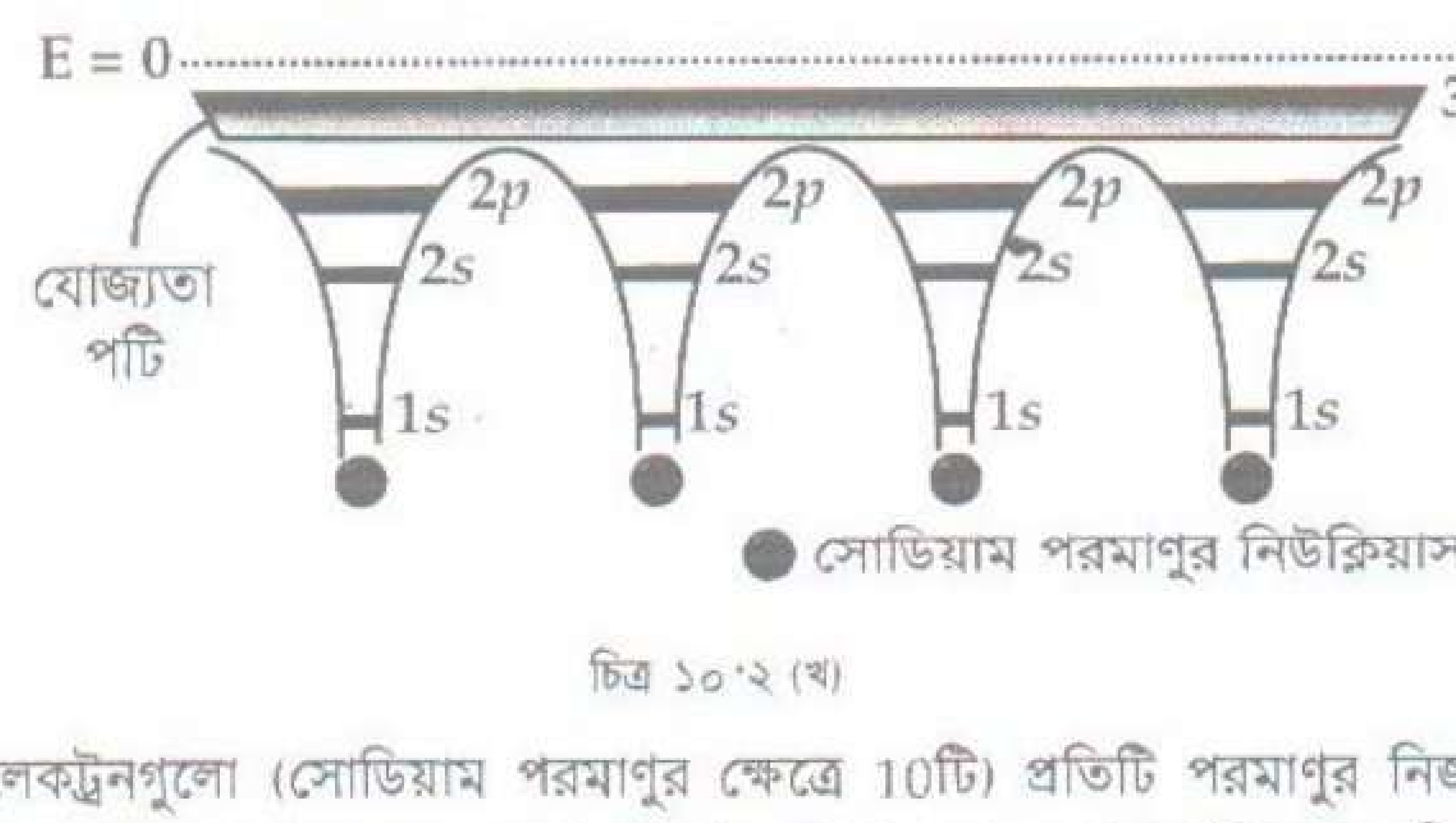
আমরা জানি, পরমাণুতে রয়েছে ইলেকট্রন, প্রোটন ও নিউট্রন। পরমাণুর গঠন সম্পর্কীয় বোরের তত্ত্ব অনুযায়ী পরমাণুর কেন্দ্রে রয়েছে প্রোটন এবং নিউট্রন। প্রোটনের চার্জ ধনাত্মক এবং নিউট্রনের কোনো চার্জ নেই। ঋণাত্মক চার্জযুক্ত ইলেকট্রনগুলো কেন্দ্র থেকে অনেক দূরে কেন্দ্রকে পরিবেষ্টন করে বিভিন্ন নির্দিষ্ট কক্ষপথে ঘুরছে।

কঠিন পদার্থের শক্তি ব্যান্ড
Energy bands in solids

কঠিন পদার্থের শক্তি ব্যান্ড আলোচনায় উদাহরণ হিসেবে আমরা সোডিয়াম (Na) মৌল ও পরমাণু বিবেচনা করতে পারি। আমরা জানি, সোডিয়াম পরমাণুতে 11টি ইলেকট্রন রয়েছে এবং এই ইলেকট্রনগুলোর বিন্যাস হলো $1s^2$ $2s^2 2p^6 3s^1$। নিউক্লিয়াস দ্বারা আকর্ষণের ফলে একটি বিভব কূপের সৃষ্টি হয়। ইলেকট্রনগুলো এই বিভব কূপের মধ্যে বিভিন্ন শক্তিস্তরে পাউলির বর্জন নীতি অনুসরণ করে অবস্থান করে [চিত্র ১০.২(ক)]। পাউলির বর্জন নীতি অনুসারে প্রতিটি শক্তিস্তরে বিপরীত স্পিনসম্পন্ন দুটি ইলেকট্রন থাকতে পারে। সুতরাং সোডিয়াম পরমাণুর $1s$ স্তরে 2টি, $2s$ স্তরে 2টি ইলেকট্রন থাকে। $2p$ স্তরটি 3টি উপস্তরে বিভক্ত এবং এর প্রতিটি উপস্তরে 2টি করে ইলেকট্রন থাকে; অর্থাৎ $2p$ স্তরে মোট 6টি ইলেকট্রন থাকে এবং অবশিষ্ট ইলেকট্রনটি $3s$ স্তরে থাকে। সোডিয়াম পরমাণুর বাইরের এই স্তরটিতে অবস্থিত ইলেকট্রনকে যোজ্যতা ইলেকট্রন (Valence electron) বলা হয়। এখন কঠিন সোডিয়াম কেলাসে বহু সংখ্যক পরমাণু থাকে। এই পরমাণুর ঘন সন্নিবেশের কারণে বিভব কূপের আকার পরিবর্তিত হয় যা [চিত্র ১০.২(খ)]-এ পূর্ণ রেখা দ্বারা দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১০.২ (ক)



চিত্র ১০.২ (খ)

যোজ্যতা ইলেকট্রনগুলো ছাড়া অবশিষ্ট ইলেকট্রনগুলো (সোডিয়াম পরমাণুর ক্ষেত্রে 10টি) প্রতিটি পরমাণুর নিজস্ব বিভব কূপের মধ্যেই আবদ্ধ থাকে, ফলে এদের ওপর আশেপাশের পরমাণুগুলোর প্রভাব খুব সামান্যই হয়। কিন্তু যোজ্যতা ইলেকট্রনগুলো বিভব কূপের মধ্যে আর আবদ্ধ থাকে না; প্রতিটি যোজ্যতা ইলেকট্রন অন্যান্য পরমাণুর দ্বারা প্রভাবিত হয় এবং কোন ইলেকট্রনটি কোন পরমাণুর সঙ্গে সংশ্লিষ্ট তা আর নির্দিষ্ট করা সম্ভব হয় না। সুতরাং সোডিয়াম কেলাসে $3s$ শক্তিস্তরে বহুসংখ্যক ইলেকট্রন অবস্থান করে। তবে যেহেতু পাউলির বর্জন নীতি অনুসারে

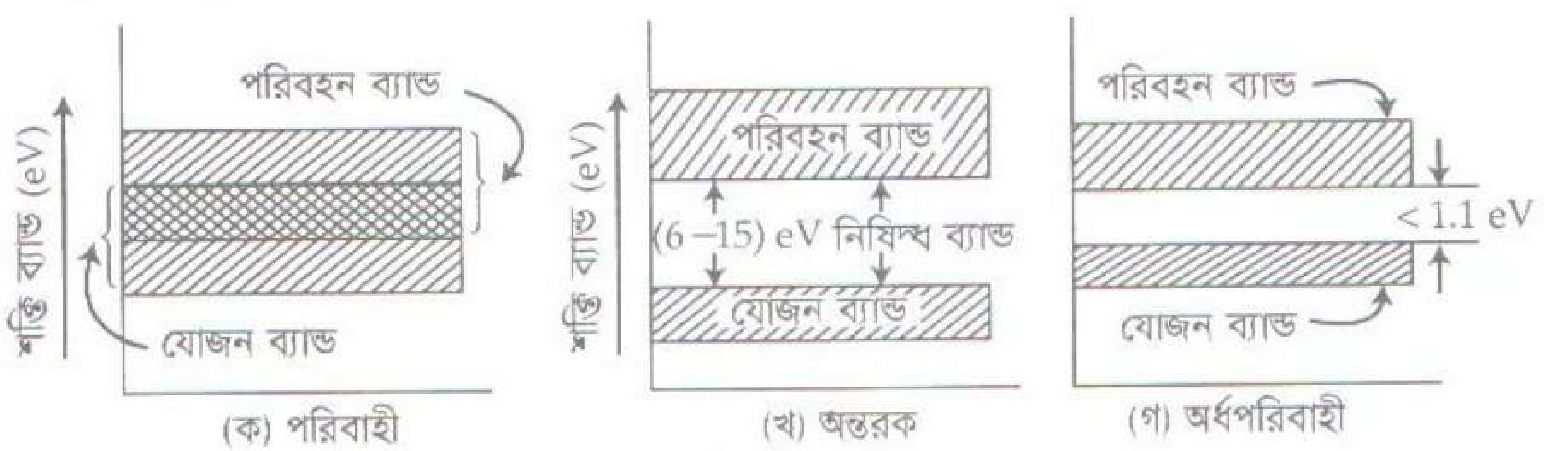
একটি শক্তিস্তরে 2টির বেশি ইলেকট্রন থাকতে পারে না, সুতরাং 3s শক্তিস্তরটি বহুসংখ্যক উপস্তরে বিভক্ত হয়ে যায় এবং প্রতিটি উপস্তরে সর্বাধিক 2টি বিপরীত স্পিনের ইলেকট্রন থাকে। এখন কেলাসের ভেতর খুব অল্প পরিসরে প্রায় 10^{20} সংখ্যক বা এর অধিক পরমাণু থাকে, ফলে ঐ ধরনের উপস্তরের সংখ্যা এত বেশি হয় যে স্তরগুলির স্থিতিশক্তি প্রায় নিরবচ্ছিন্ন (continuous) ধরা যায়। সুতরাং উপস্তরগুলোর সমন্বয়ে 3s শক্তিস্তরে তৈরি হয় একটি শক্তি ব্যান্ড (energy band)। এই শক্তি ব্যান্ডকেই বলা হয় যোজ্যতা ব্যান্ড (Valence band)।

যদিও যোজ্যতা ইলেকট্রন প্রতিটি নিজ পরমাণুর প্রভাব থেকে বাইরে চলে আসে; কিন্তু এগুলো সম্পূর্ণ মুক্ত নয়। অন্যান্য পরমাণুসমষ্টির প্রভাবের মধ্যে থেকে যায়। ফলে তড়িৎ পরিবহনে অংশগ্রহণ করে না। তবে বাইরে থেকে শক্তি অর্জন করে যোজ্যতা ইলেকট্রন অন্যান্য পরমাণুর প্রভাব থেকে মুক্ত হয়ে বাইরে চলে যেতে পারে এবং সেটি পরিবহন ইলেকট্রনে পরিণত হয়। এই পরিবহন ইলেকট্রন তড়িৎ পরিবহনে অংশগ্রহণ করে। এখন অনেকগুলো যোজ্যতা ইলেকট্রন এক সঙ্গে শক্তি অর্জন করে পরিবহন ইলেকট্রনে পরিণত হতে পারে। এই মুক্ত ইলেকট্রনগুলো একটি মাত্র স্তরে না থেকে একটি শক্তি ব্যান্ডে অবস্থান করে। **এই শক্তি ব্যান্ডকেই বলা হয় পরিবহন ব্যান্ড** (Conduction band)। যোজ্যতা ব্যান্ড ও পরিবহন ব্যান্ডের মাঝখানের অঞ্চলে কোনো ইলেকট্রন থাকতে পারে না। এই অঞ্চলকে নিষিদ্ধ অঞ্চল (forbidden region) বলে এবং এই দুটি শক্তি ব্যান্ডের মধ্যবর্তী শক্তি ব্যবধানকে নিষিদ্ধ শক্তি ব্যবধান (Forbidden energy gap) বলা হয়।

ব্যান্ড তত্ত্বের আলোকে পরিবাহী, অপরিবাহী এবং অর্ধপরিবাহী
Conductor, Insulator and Semiconductor in the light of band theory

(ক) পরিবাহী : পরিবাহী পদার্থ বলতে সে সমস্ত পদার্থ বোঝানো হয় যার ভেতর দিয়ে সহজে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয়। এ সমস্ত পদার্থে যোজ্যতা ব্যান্ডের উপরাংশ ও পরিবহন ব্যান্ডের নিম্নাংশের উপরিপাত (overlapping) হয় [চিত্র ১০.৩(ক)]। অর্থাৎ পরিবহন ব্যান্ড ও যোজন ব্যান্ডের মধ্যে কোনো শক্তি ব্যবধান থাকে না। ফলে যোজ্যতা ইলেকট্রনগুলো অনায়াসেই পরিবহন ইলেকট্রনে পরিণত হতে পারে অর্থাৎ তড়িৎ প্রবাহে অংশগ্রহণের জন্য প্রচুর পরিমাণে মুক্ত ইলেকট্রন পাওয়া যায়। এজন্য পরিবাহী পদার্থে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র প্রয়োগ করলেই তড়িৎ প্রবাহ ঘটে। তামা, রূপা, অ্যালুমিনিয়াম ইত্যাদি পরিবাহী পদার্থ।

(খ) অন্তরক : অন্তরক পদার্থ বলতে সে সমস্ত পদার্থকে বোঝানো হয় যার ভেতর দিয়ে কোনো বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় না। যে সমস্ত পদার্থের যোজন ব্যান্ড ইলেকট্রন দ্বারা আংশিক পূর্ণ থাকে এবং পরিবহন ব্যান্ড সম্পূর্ণ খালি থাকে; এছাড়া যোজন ব্যান্ড ও পরিবহন ব্যান্ডের মধ্যে শক্তির ব্যবধান খুব বেশি হয়, সেগুলোকে অন্তরক বলে। অন্তরকে শক্তি ব্যবধান 6eV থেকে 15 eV-এর মতো হয় [চিত্র ১০.৩(খ)]। তাপমাত্রা অনেক বৃদ্ধি পেলে কিছু ইলেকট্রন যথেষ্ট শক্তি সঞ্চয় করে পরিবহন ব্যান্ডে যেতে পারে এবং তড়িৎ প্রবাহে অংশগ্রহণ করে। তবে এ ধরনের ইলেকট্রনের সংখ্যা খুবই নগণ্য। কাচ, প্লাস্টিক, কাঠ ইত্যাদি অন্তরক পদার্থ।



(ক) পরিবাহী (খ) অন্তরক (গ) অর্ধপরিবাহী

চিত্র ১০.৩

(গ) অর্ধপরিবাহী : অর্ধপরিবাহী বস্তুর বিদ্যুৎ পরিবাহিতা অন্তরক ও পরিবাহীর মাঝামাঝি। জার্মেনিয়াম, সিলিকন ইত্যাদি অর্ধপরিবাহী পদার্থ। শক্তি ব্যান্ডের আলোকে বলা যায় যে এ সমস্ত পদার্থের যোজন ব্যান্ড ও পরিবহন ব্যান্ডের মধ্যে শক্তির পার্থক্য অন্তরকের চেয়ে অনেক কম থাকে [চিত্র ১০.৩ (গ)]। সাধারণত পার্থক্য 1 eV মানের বা তার কিছু কম-বেশি হয়। জার্মেনিয়াম ও সিলিকন মৌলের ক্ষেত্রে এ মান যথাক্রমে 0.7 eV এবং 1.1 eV। এ কারণে ঐ দুটি পদার্থ উত্তম অর্ধপরিবাহী। কক্ষ তাপমাত্রায় অর্ধপরিবাহীর (i) আংশিক পূর্ণ পরিবহণ ব্যান্ড ও (ii) আংশিক পূর্ণ যোজন ব্যান্ড থাকে। পরম তাপমাত্রায় অর্ধপরিবাহীর পরিবহণ ব্যান্ড সম্পূর্ণ খালি এবং যোজন ব্যান্ড সম্পূর্ণ পূর্ণ থাকে। ফলে অল্প পরিমাণ শক্তি প্রয়োগ করলেই ইলেকট্রনগুলো যোজন ব্যান্ড থেকে পরিবহন ব্যান্ডে স্থানান্তরিত হয়। পরম তাপমাত্রায়

সিলিকন বা জার্মেনিয়াম আদর্শ অন্তরক। ফলে কোনো ইলেকট্রন পরিবহন ব্যান্ডে এসে মুক্ত ইলেকট্রনে পরিণত হতে পারে না। মুক্ত ইলেকট্রন না থাকার কারণে অর্ধপরিবাহক এই তাপমাত্রায় পুরোপুরি অপরিবাহী পদার্থের ন্যায় আচরণ করে। অর্ধপরিবাহীতে তাপমাত্রা প্রয়োগ করলে কিছু সংখ্যক সমযোজী অনুবন্ধক ভেঙ্গে গিয়ে কিছু সংখ্যক যোজন

চিত্র ১০.৪

ইলেকট্রন পরিবহন ব্যান্ডে যাওয়ার শক্তি অর্জন করে এবং মুক্ত ইলেকট্রনে পরিণত হয়। একটি যোজন ইলেকট্রন যখনই পরিবহন ব্যান্ডে প্রবেশ করে তখনই যোজন ব্যান্ডে ঐ অবস্থানে একটি শূন্যতার সৃষ্টি হয়, একে **হোল** বলে। এর কার্যকর আধান $+e$। এটি কোনো বাস্তব কণা নয়। চিত্র ১০.৪-এ সিলিকন কেলাসের পরম তাপমাত্রা ও কক্ষ তাপমাত্রার শক্তি ব্যান্ড অবস্থা দেখানো হয়েছে।

১০.৪ ইনট্রিনসিক (স্বকীয় বা বিশুদ্ধ) ও এক্সট্রিনসিক (বহিঃজাত বা অবিশুদ্ধ) সেমিকন্ডাক্টর
Intrinsic and Extrinsic Semiconductors

অর্ধপরিবাহী পদার্থকে দুই ভাগে ভাগ করা যায়। যথা—

(ক) ইনট্রিন্সিক (Intrinsic) সেমিকন্ডাক্টর বা স্বকীয় বা বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী (খ) এক্সট্রিন্সিক (Extrinsic) সেমিকন্ডাক্টর বা বহিঃজাত বা অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী।

(ক) ইনট্রিন্সিক সেমিকন্ডাক্টর : পূর্বেই বলা হয়েছে যে জার্মেনিয়াম বা সিলিকনের বাইরের কক্ষে 4টি যোজন ইলেকট্রন থাকা সত্ত্বেও প্রতিবেশী পরমাণুর সঙ্গে ইলেকট্রন ভাগাভাগি করে সমযোজী বন্ধনের সাহায্যে বিশুদ্ধ কেলাস (Intrinsic crystal) গঠন করে। এগুলোকে বলে বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী। নিম্ন তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে কোনো মুক্ত ইলেকট্রন না থাকায় এরা অন্তরকের ন্যায় আচরণ করে। অর্থাৎ **যে সকল অর্ধপরিবাহীতে কোনো অপদ্রব্য মিশ্রিত থাকে না তাকে ইনট্রিন্সিক সেমিকন্ডাক্টর বলে।**

(খ) এক্সট্রিন্সিক সেমিকন্ডাক্টর : বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে কিছু কিছু সমযোজী বন্ধন থেকে ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন হয়ে যায়। সাধারণ তাপমাত্রায়ও তাপীয় আলোড়নের ফলে এগুলো যথেষ্ট পরিমাণ শক্তি অর্জন করে যোজন ব্যান্ড থেকে পরিবহন ব্যান্ডে চলে যেতে পারে এবং মুক্ত ইলেকট্রনের ন্যায় আচরণ করে। তবে সাধারণ তাপমাত্রায় এ ধরনের ইলেকট্রন বাহকের সংখ্যা খুবই কম। কিন্তু বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে যদি খুবই সামান্য পরিমাণ বিশেষ ধরনের অপদ্রব্য মেশানো হয় তাহলে প্রচুর পরিমাণে তড়িৎ বাহক পাওয়া যায়। এ মিশ্রণকে ডোপিং বলা হয়। এ ধরনের কেলাসকে বলা হয় বহিঃজাত বা অবিশুদ্ধ কেলাস। জার্মেনিয়াম, সিলিকন কেলাসে, এন্টিমনি, অ্যালুমিনিয়াম, আর্সেনিক ইত্যাদি অপদ্রব্য মিশিয়ে ডোপিং করা হয়। যোজন ব্যান্ড এবং পরিবহন ব্যান্ডের মধ্যে শক্তি ব্যবধান অনেক কমে আসে। ফলে কেলাসে আধান বাহকের সংখ্যা অনেক বেড়ে যায়। এ ধরনের কেলাসের পরিবাহিতা বহুগুণ বৃদ্ধি পায়। অর্থাৎ **যে প্রক্রিয়া বা পদ্ধতিতে বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সাথে সামান্য পরিমাণ অপদ্রব্য মিশ্রিত করে অর্ধপরিবাহীর তড়িৎ পরিবাহিতা বহুল পরিমাণে বৃদ্ধি করা হয়, তাকে ডোপিং বলে। মিশ্রিত অপদ্রব্যকে বলা হয় ডোপ্যান্ট (Dopant)।** তিনযোজী মৌল যেমন অ্যালুমিনিয়াম (Al), বোরন (B), ইন্ডিয়াম (In) অথবা পঞ্চযোজী মৌল যেমন ফসফরাস (P), আর্সেনিক (As), বিসমাথ (Bi)-কে বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সাথে ডোপিং করে এক্সট্রিন্সিক সেমিকন্ডাক্টর তৈরি করা হয়।

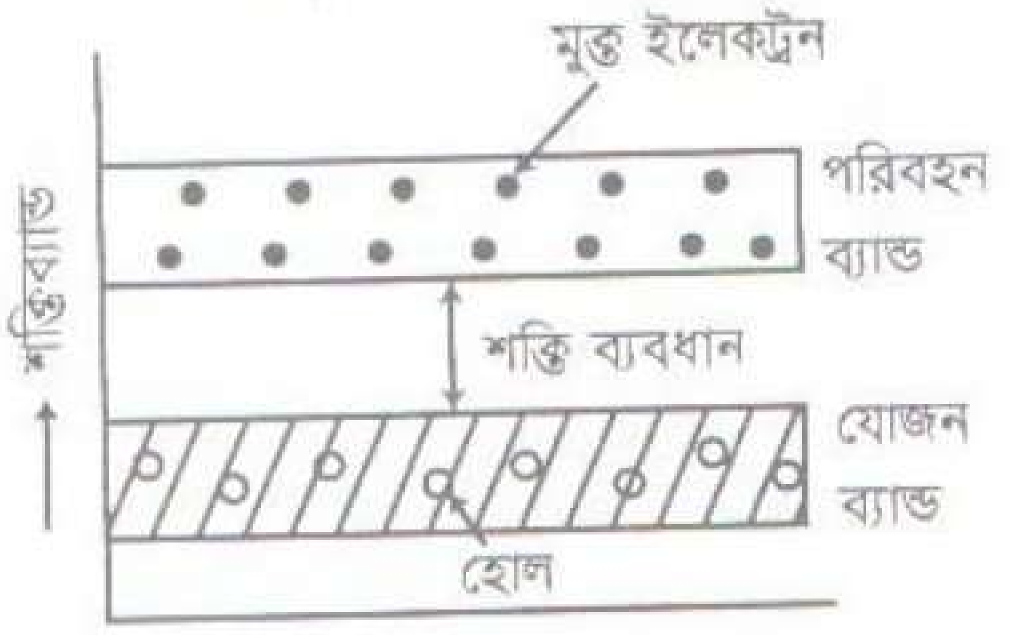
কাজ: একটি অবিশুদ্ধ (extrinsic) অর্ধপরিবাহীর তড়িৎ পরিবাহিতা কিসের উপর নির্ভর করে ?

একটি অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে অসম সংখ্যক ইলেকট্রন ও হোলের উপর তড়িৎ পরিবাহিতা নির্ভর করে।

১০.৫ ইলেকট্রন ও হোলের ধারণা
Concept about Electron and Hole

আমরা সহজাত (Intrinsic) এবং বহির্জাত (Extrinsic) অর্ধপরিবাহী কী তা জেনেছি পূর্ববর্তী অনুচ্ছেদে। অর্ধপরিবাহীতে কীভাবে ইলেকট্রন ও হোল সৃষ্টি হয় এ পর্যায়ে আমরা তা আলোচনা করব। কক্ষ তাপমাত্রায় বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে হোল ইলেকট্রন জোড় সৃষ্টি হয়। যখন অর্ধপরিবাহীতে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র প্রয়োগ করা হয় তখন এর মধ্যে দুভাবে কারেন্ট প্রবাহ সম্পন্ন হয়। যেমন : মুক্ত ইলেকট্রনের মাধ্যমে ও হোলের মাধ্যমে। যখন তাপমাত্রা বৃদ্ধি করা হয় তখন তাপ শক্তির কারণে কিছু সংখ্যক সহযোজী বন্ধন ভেঙে যায় এবং কিছু ইলেকট্রন মুক্ত হয়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে কিছু সংখ্যক যোজন ইলেকট্রন পরিবহন ব্যান্ডে প্রবেশ করে এবং মুক্ত ইলেকট্রনে পরিণত হয়। যখনই একটি যোজন ইলেকট্রন পরিবহন ব্যান্ডে প্রবেশ করে তখনই যোজন ব্যান্ডে একটি শূন্যস্থান বা হোলের সৃষ্টি হয়। বিভব পার্থক্য বা বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের প্রভাবে অর্ধপরিবাহীতে ইলেকট্রন ও হোল উভয়ের প্রবাহ উৎপন্ন হয়।

আমাদের সবচেয়ে পরিচিত বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী হলো জার্মেনিয়াম (Ge) ও সিলিকন (Si)। এদের যোজন ও পরিবহন ব্যান্ডের মধ্যবর্তী শক্তি ব্যবধান 0.72eV এবং 1.1eV। কক্ষ তাপমাত্রায় কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন এই ক্ষুদ্র শক্তি ব্যবধান অতিক্রম করে যোজন ব্যান্ড থেকে পরিবহন ব্যান্ডে গমন করে। ফলে যোজন ব্যান্ড ও পরিবহন ব্যান্ডে সমসংখ্যক হোল ও ইলেকট্রনের উদ্ভব ঘটে [চিত্র ১০.৫]। এই ঘটনাকে হোল-ইলেকট্রন জোড় সৃষ্টি বলে।



চিত্র ১০.৫

অন্যভাবে বলা যায় পরিবহন ব্যান্ডে ইলেকট্রনের গমনের কারণে যোজন ব্যান্ডে সৃষ্টি হয় পজেটিভ চার্জযুক্ত হোল। পরম শূন্য তাপমাত্রার উপরে বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র প্রয়োগ করা হলে পরিবহন ইলেকট্রন অ্যানোডের দিকে এবং হোলগুলো ক্যাথোডের দিকে ধাবিত হয়। তাই বলা যায় অর্ধপরিবাহী প্রবাহ হলো পরিবহন ও যোজন ব্যান্ডের মধ্যে ইলেকট্রন ও হোলের পরস্পরের বিপরীত দিকে চালিত হওয়া।

১০.৬ এন-টাইপ ও পি-টাইপ সেমিকন্ডাক্টর বা অর্ধপরিবাহী
n-type and *p*-type semiconductors

অবিশুদ্ধ কেলাস বা অর্ধপরিবাহী পদার্থ আবার দু'রকমের, যথা *n*-টাইপ ও *p*-টাইপ। Negative শব্দের আদ্যক্ষর '*n*' থেকে *n*-type এবং Positive এর '*p*' থেকে *p*-type অর্ধপরিবাহীর নামকরণ করা হয়েছে।

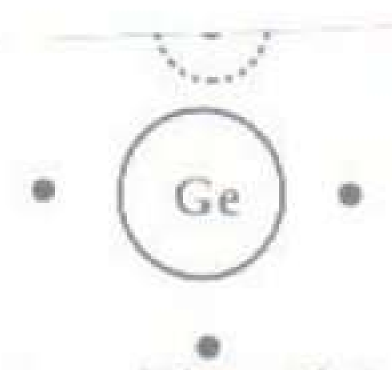
(i) এন-টাইপ অর্ধপরিবাহী : জার্মেনিয়াম বা সিলিকন অর্ধপরিবাহীর সঙ্গে পঞ্চযোজী মৌল মিশিয়ে *n*-টাইপ অর্ধপরিবাহী তৈরি করা হয়। পঞ্চযোজী এন্টিমনি বা আর্সেনিক বিশেষ প্রক্রিয়ায় উচ্চতাপে মেশানো হয়। মেশানোর সময় অপদ্রব্যের পরিমাণ এমনভাবে নিয়ন্ত্রণ করা হয় যেন এর পরমাণুগুলো জার্মেনিয়াম বা সিলিকন কেলাসের মূল কাঠামোর (structure) কোনো পরিবর্তন না ঘটিয়ে কেলাস জাফরির (crystal lattice) অন্তর্ভুক্ত হয়ে যায়। এন্টিমনি বা আর্সেনিকের 5টি যোজন ইলেকট্রনের 4টি জার্মেনিয়াম বা সিলিকনের 4টি যোজন (valence) ইলেকট্রনের অংশীদার হয়ে বা পাশাপাশি অবস্থানের মাধ্যমে সমযোজী বন্ধন তৈরি করে। প্রতিটি আর্সেনিক বা এন্টিমনি পরমাণুর একটি ইলেকট্রন উদ্বৃত্ত থাকে এবং ঐ ইলেকট্রন কেলাসের মধ্যে স্বাধীনভাবে ঘুরে বেড়াতে পারে [চিত্র ১০.৬]। সুতরাং দেখা যাচ্ছে প্রতিটি অপদ্রব্য পরমাণু একটি করে মুক্ত ইলেকট্রন দান করে। তাই অপদ্রব্য পরমাণুকে এক্ষেত্রে দাতা (donor) পরমাণু বলা হয়। এছাড় তাপীয় উত্তেজনার জন্য কিছু বন্ধন ভেঙে সমসংখ্যক ইলেকট্রন ও হোল তৈরি হয়। সুতরাং *n*-টাইপ অর্ধপরিবাহীতে ইলেকট্রন ও হোল উভয়েরই উপস্থিতি থাকে। কিন্তু ইলেকট্রনের সংখ্যা হোলের তুলনায় বহুগুণ বেশি থাকে। এভাবে গঠিত কেলাসে প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে প্রায় 10^{17} সংখ্যক স্বাধীন ইলেকট্রন থাকে। তড়িৎ পরিবহন ঋণাত্মক ইলেকট্রনই মুখ্য ভূমিকা পালন করে বলে এগুলোকে 'সংখ্যাগুরু বা গরিষ্ঠ বাহক' (majority carrier) বলে। ধনাত্মক হোল তড়িৎ পরিবহনে গৌণ ভূমিকা পালন করে এবং এগুলোকে 'সংখ্যালঘু বা লঘিষ্ঠ বাহক' (minority carrier) বলা হয়।

(ii) পি-টাইপ অর্ধপরিবাহী : বিশুদ্ধ জার্মেনিয়াম বা সিলিকনের সঙ্গে 3 যোজী মৌল যেমন গ্যালিয়াম, অ্যালুমিনিয়াম ইত্যাদি অপদ্রব্য সামান্য পরিমাণে নিয়ন্ত্রিতভাবে মেশানো হলে *p*-টাইপ কেলাস তৈরি করা যায়। অ্যালুমিনিয়ামের যেহেতু তিনটি যোজনী ইলেকট্রন রয়েছে, এই পরমাণু তার চারপাশের জার্মেনিয়াম বা সিলিকন পরমাণুর তিনটি যোজন (valence) ইলেকট্রনের সঙ্গে সমযোজী বন্ধন তৈরি করে। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে, জার্মেনিয়াম বা সিলিকন পরমাণুর চতুর্থ ইলেকট্রন কোনো সমযোজী বন্ধন তৈরি করে না। কারণ অ্যালুমিনিয়ামের একটি ইলেকট্রনের ঘাটতি রয়েছে। ইলেকট্রনের এ ঘাটতির জন্য অ্যালুমিনিয়াম পরমাণুতে একটি হোলের সৃষ্টি হবে

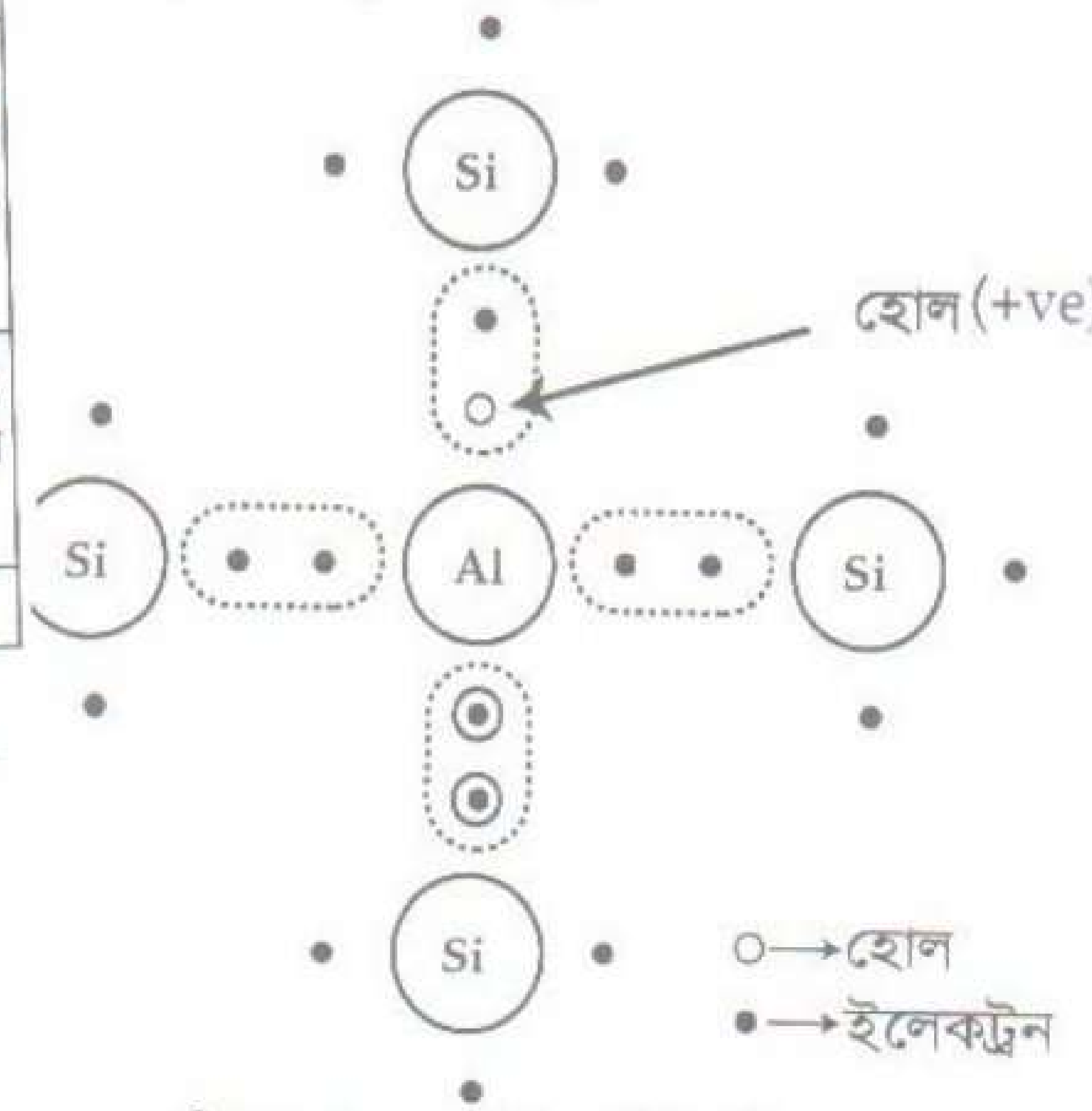
.e: * P টাইপ ও n টাইপ অর্ধপরিবাহক সম্পর্কিত তথ্যাবলি:

P টাইপ অর্ধপরিবাহক	n টাইপ অর্ধপরিবাহক
১. কোন বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহক সামান্য পরিমাণ ত্রিযোজি অর্থাৎ পর্যায় সারণীর তৃতীয় সারির মৌল অপদ্রব্য হিসেবে মিশানো হলে তাকে P টাইপ অর্ধপরিবাহক বলে	১. কোন বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহকে সামান্য পরিমাণ পঞ্চযোজী অর্থাৎ পর্যায় সারণীর পঞ্চম সারির মৌল অপদ্রব্য হিসেবে মেশানো হলে তাকে n টাইপ অর্ধপরিবাহক বলে
২. P টাইপ অর্ধপরিবাহকের ক্ষেত্রে পরিবহন ঘটে প্রধানত ধনাত্মক আধান বা হোলের মাধ্যমে। P টাইপ অর্ধপরিবাহক ধনাত্মক আধান বা হোল সমৃদ্ধ বস্তু	২. n টাইপ অর্ধপরিবাহকের ক্ষেত্রে পরিবহন ঘটে প্রধানত ইলেকট্রনের মাধ্যমে। n টাইপ অর্ধপরিবাহক ইলেকট্রন সমৃদ্ধ বস্তু
৩. P টাইপ অর্ধপরিবাহকের ক্ষেত্রে, হোল গরিষ্ঠ বাহক এবং ইলেকট্রন লঘিষ্ঠ বাহক	৩. টাইপ অর্ধপরিবাহকের ক্ষেত্রে, ইলেকট্রন গরিষ্ঠ বাহক এবং হোল লঘিষ্ঠ বাহক
৪. উদাহরণ ঃ B, Al, Ga, I	উদাহরণ ঃ P, As, Sb, Bi

প্রত্যেক অ্যালুমিনিয়াম পরমাণুতে একটি করে হোলে
ব থাকবে। এজন্য অ্যালুমিনিয়াম পরমাণুকে 'গ্রহীত'
তাপীয় উত্তেজনায় সৃষ্ট ইলেকট্রনের তুলনায় অনে
ানই মুখ্য ভূমিকা পালন করে। অর্থাৎ হোলই এক্ষেত্রে
াহক' (minority carrier)।



চিত্র ১০.৬ : n-টাইপ অর্ধপরিবাহী।



চিত্র ১০.৭ : p-টাইপ অর্ধপরিবাহী।

উপরের n-টাইপ ও p-টাইপ অর্ধপরিবাহীর আলোচনা থেকে জানা যায় যে বিশুদ্ধ জার্মেনিয়াম বা সিলিকন অর্ধপরিবাহী কোন ধরনের কেলাসে পরিণত হবে তা নির্ভর করবে অপদ্রব্যের যোজন ইলেকট্রন সংখ্যার উপর। **বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর যোজন ইলেকট্রনের চেয়ে অপদ্রব্যের যোজন ইলেকট্রন সংখ্যা বেশি হলে n-টাইপ কেলাস এবং কম হলে p-টাইপ কেলাস তৈরি হবে।** তবে n-টাইপ বা p-টাইপ কেলাসের কোনোটাই কিন্তু তড়িতাহিত হয় না। কারণ n-টাইপ কেলাসের অতিরিক্ত ইলেকট্রনের ঋণাত্মক আধান আর্সেনিক পরমাণুর নিউক্লিয়াসের ধনাত্মক আধান দ্বারা প্রশমিত হয়। আবার p-টাইপের সৃষ্ট হোলের ধনাত্মক আধান জার্মেনিয়াম, সিলিকন পরমাণুর ঋণাত্মক আধানের দ্বারা নিষ্ক্রিয় হয়। অর্থাৎ, n- এবং p-টাইপ পদার্থ বস্তুতপক্ষে তড়িৎ নিরপেক্ষ।

১০.৭ জাংশন ডায়োড : গঠন ও কার্যক্রম
Junction Diode : Construction and Working principle

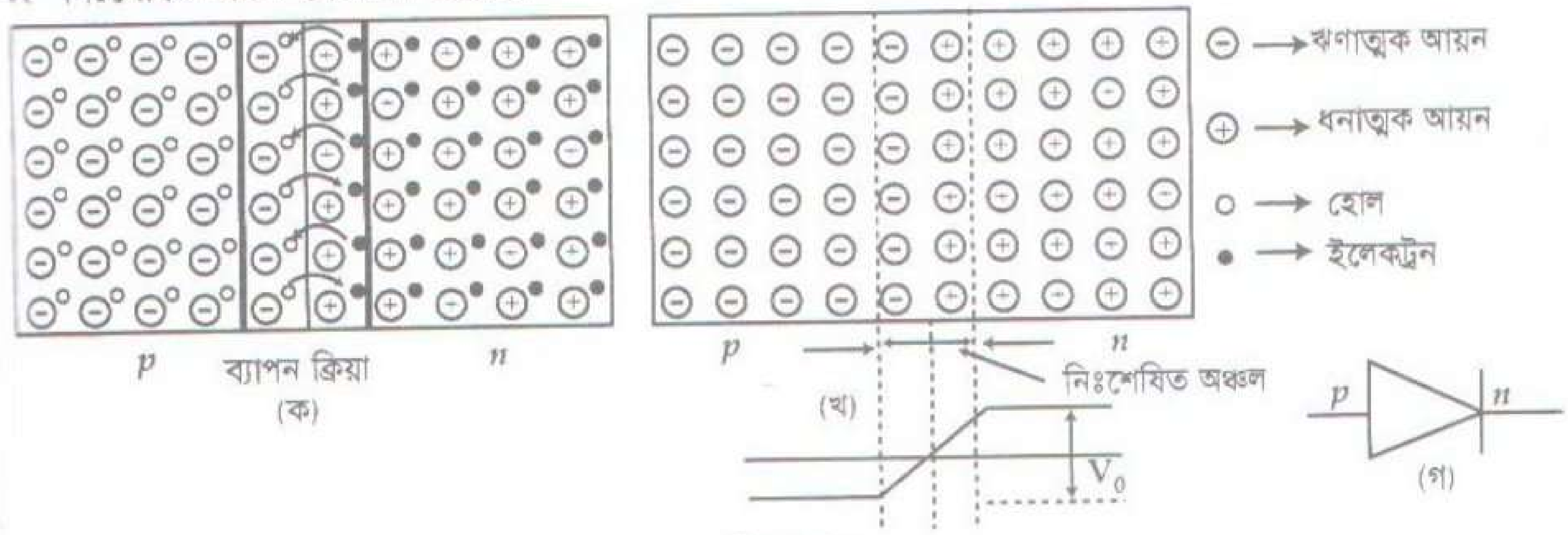
গঠন
Construction

একটি p-টাইপ ও একটি n-টাইপ অর্ধপরিবাহীকে বিশেষ ব্যবস্থাধীনে সংযুক্ত করলে সংযোগ পৃষ্ঠকে p-n জাংশন বলে। একটি বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী কেলাসের এক অর্ধাংশ p-টাইপ অর্ধপরিবাহী এবং অপর অর্ধাংশকে n-টাইপ অর্ধপরিবাহী উচ্চতাপে সুনিয়ন্ত্রিত পদ্ধতিতে মিশিয়ে p-n জাংশন তৈরি করা হয়।

p-n জাংশনের যে পাশে p-টাইপ অঞ্চল সেখানে সংখ্যাগুরু বাহক হোল এবং যে পাশে n-টাইপ অঞ্চল সেখানে ইলেকট্রনের আধিক্য অনেক বেশি। যখন n-টাইপ অঞ্চল এবং p-টাইপ অঞ্চল যুক্ত হয় তখন n-এর ইলেকট্রনগুলো p-এর হোল দ্বারা আকৃষ্ট হয়ে ব্যাপন ক্রিয়ার মাধ্যমে জাংশনের দিকে ছুটে যায়। একইভাবে p-অঞ্চলের হোলগুলো n-এর ইলেকট্রন দ্বারা আকৃষ্ট হয়ে ব্যাপনের মাধ্যমে সংযোগস্থলের দিকে ছুটে যায় [চিত্র ১০.৮(ক)]। p-n জাংশনস্থলে ইলেকট্রন ও হোল পরমাণু মিলিত হয়ে নিরপেক্ষ হয়ে যায়। n-টাইপের যে পরমাণু থেকে ইলেকট্রন জাংশনের দিকে ছুটে যায় সেটি ধনাত্মক আয়নে এবং p-অঞ্চলের যে পরমাণু থেকে হোল ছুটে আসে সেটি ঋণাত্মক আয়নে রূপান্তরিত হয় [চিত্র ১০.৮ (খ)]। p–n জাংশন ডায়োডের সাংকেতিক চিত্র ১০.৮(গ)-এ দেখানো হলো।

এখন p-অঞ্চল থেকে ছুটে আসা হোল ধনাত্মক আয়ন এবং n-অঞ্চল থেকে আসা ইলেকট্রন ঋণাত্মক আয়ন দ্বারা বিকর্ষিত হয়। এভাবে সংযোগস্থলে একটি পাতলা পর্দার মতো নিঃশেষিত অঞ্চল বা স্তর সৃষ্টি হয়। এ অঞ্চল বা স্তরের বেধ সাধারণত 10^{-6} m থেকে 10^{-8} m হয়। **সংযোগের দুই পাশে যে সরু স্তর ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধানকে পৃথক করে রাখে, যেখানে গতিশীল আধান নিঃশেষ হয়ে যায় এবং কোনো গতিশীল আধান বাহকের অস্তিত্ব থাকে না,**

স্তর বা অঞ্চলকে বলা হয় নিঃশেষিত স্তর বা অঞ্চল (Depletion layer or region)। চিত্র ১০.৮-এ ব্যাপন ক্রিয়া বং নিঃশেষিত অঞ্চল দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১০.৮

এই নিঃশেষিত অঞ্চলকে জাংশন প্রাচীর (Junction barrier) বলা হয়। এই জাংশনে সামান্য পরিমাণ অভ্যন্তরীণ বিভব পার্থক্য সৃষ্টি হয়। ফলে এই অঞ্চলকে অনেক সময় বিভব পার্থক্য অঞ্চল বা বিভব পার্থক্য প্রাচীর বলে। এর মান সাধারণত 0.1 থেকে 0.3 V। চিত্র ১০.৮(খ) থেকে এটা পরিষ্কার যে বিভব পার্থক্য প্রাচীর V_0 বিদ্যুৎ ক্ষেত্র সৃষ্টি করে যা সংখ্যাগুরু বাহককে নিজ নিজ অঞ্চল থেকে প্রাচীর অতিক্রমে বাধা প্রদান করে। p-n অর্ধপরিবাহী ক্লাস এভাবে সংযুক্ত হয়ে 'জাংশন ডায়োড' (সংক্ষেপে 'ডায়োড') তৈরি করে। তড়িৎ প্রবাহ একমুখীকরণ এবং অন্যান্য অনেক ইলেকট্রনিক ডিভাইস তৈরিতে ডায়োড বহুল পরিমাণে ব্যবহৃত হয়।

জাংশনের ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ কোনো একদিকে খুব সহজেই যেতে পারে। কিন্তু বিপরীত দিকে উচ্চতর বহিঃভোল্টেজ প্রয়োগ ছাড়া যেতে পারে না। এ বিষয়ে পরবর্তীতে আমরা জানব।

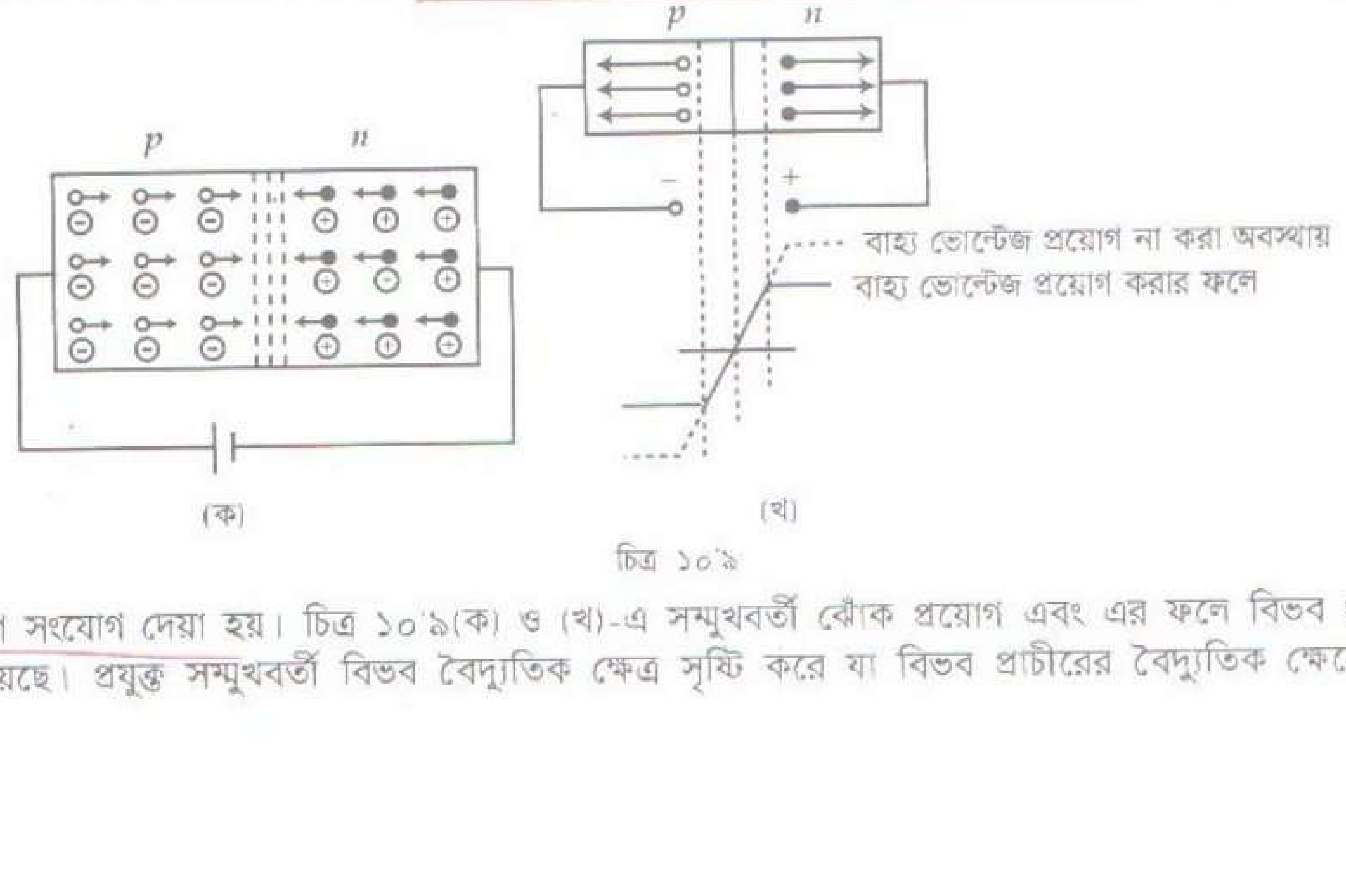
জেনে রাখ : ডায়োড কি কেবল রেকটিফায়ার বর্তনীতে বা AC কে DC করার কাজে ব্যবহৃত হয় না অন্য কোথাও ব্যবহার করা হয় ?

আমাদের দৈনন্দিন জীবনে টিভি, টেলিফোন, কম্পিউটার, মোবাইল ফোন ইত্যাদি স্বাভাবিক ব্যবহারিক উপাদানে ডায়োড ব্যবহৃত হয়। এছাড়া AC কে DC করাসহ বেতার ও টিভির মধ্যে সিগন্যাল ডিটেক্টর হিসেবে ডায়োড ব্যবহৃত হয়।

কার্যক্রম
Working principle

বাইরে থেকে p-n-জাংশন বরাবর দুভাবে বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করা যেতে পারে। যথা—সম্মুখবর্তী ঝোঁক বা ফরোয়ার্ড বায়াস ও বিপরীত ঝোঁক বা রিভার্স বায়াস প্রয়োগ।

(ক) সম্মুখবর্তী ঝোঁক বা ফরোয়ার্ড বায়াস প্রয়োগ : যখন জাংশনে এমনভাবে বহিঃস্থ ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হয় যে এটি বিভব প্রাচীর হ্রাস করে তড়িৎ প্রবাহ চালু করে তখন একে সম্মুখবর্তী ঝোঁক প্রয়োগ (forward biasing) বলে। সম্মুখবর্তী ঝোঁক প্রয়োগের ক্ষেত্রে ব্যাটারির ধনাত্মক প্রান্ত p-টাইপের প্রান্তের সঙ্গে এবং ঋণাত্মক প্রান্ত n-টাইপ



চিত্র ১০.৯

প্রান্তের সঙ্গে সংযোগ দেয়া হয়। চিত্র ১০.৯(ক) ও (খ)-এ সম্মুখবর্তী ঝোঁক প্রয়োগ এবং এর ফলে বিভব প্রাচীরের হ্রাস দেখানো হয়েছে। প্রযুক্ত সম্মুখবর্তী বিভব বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র সৃষ্টি করে যা বিভব প্রাচীরের বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের বিপরীতে

কাজ করে। সুতরাং লব্ধি ক্ষেত্র কমে যায় এবং প্রাচীরের উচ্চতা বা বিস্তার হ্রাস পায়। যেহেতু বিভব প্রাচীর তে... মান খুবই কম (0·1 থেকে 0·3 V), সুতরাং সামান্য সম্মুখবর্তী ভোল্টেজ প্রয়োগ করলে বিভব প্রাচীরের প্রশস্থতা ... পায়। ফলে জাংশনে বাধা দূরীভূত হয় এবং তড়িৎ প্রবাহ শুরু হয়। সম্মুখ ঝোঁকে ব্যাটারীর ধনাত্মক প্রান্ত p-টাইপ ... সাথে যুক্ত হওয়ায় ব্যাটারীর ধনাত্মক প্রান্ত ইলেকট্রনগুলোকে বামে অর্থাৎ p-টাইপ বস্তুর দিকে এবং ঋণাত্মক প্রা... টাইপের সাথে সংযুক্ত হওয়ায় ব্যাটারীর ঋণাত্মক প্রান্ত হোলগুলোকে ডানে অর্থাৎ n-টাইপ বস্তুর দিকে টা... ইলেকট্রন ব্যাটারীর ঋণাত্মক প্রান্ত দ্বারা বিকর্ষিত হয়ে p-টাইপের দিকে ধাবিত হয়। একইভাবে ধনাত্মক ... (hole) ব্যাটারীর ধনাত্মক প্রান্ত দ্বারা বিকর্ষিত হয়ে জাংশন অতিক্রম করে n-টাইপ বস্তুর দিকে ধাবিত হয়। জা... ইলেকট্রন হোল পূর্ণ হয়। ইতোমধ্যে ব্যাটারীর ঋণাত্মক প্রান্ত n-টাইপ অর্ধ পরিবাহীতে ইলেকট্রনের নতুন সরব... প্রদান করতে থাকে এবং ব্যাটারীর ধনাত্মক প্রান্ত p-টাইপ অর্ধপরিবাহী হতে ইলেকট্রন টেনে নিয়ে নতুন হোল ... করে। ফলে অবিরাম চার্জ তথা বিদ্যুৎ প্রবাহ চলতে থাকে। এই প্রবাহের মান mA মানের হয়। এই তড়িৎ প্রবাহ... 'সম্মুখবর্তী তড়িৎ প্রবাহ' (Forward current) বলে।

অনুসন্ধান I : সম্মুখ বায়াসের সময় নিঃশেষিত অঞ্চলে কী ঘটে?

যখন সংযোগটি সম্মুখ বায়াসে থাকে তখন আধান বাহকদের সংখ্যাগুরু অঞ্চল থেকে সংখ্যালঘু অঞ্চলে ... হয়— ইলেকট্রন হোলের দিকে ব্যাপিত হয়। সুতরাং হোল ও ইলেকট্রনগুলি নিঃশেষিত অঞ্চলের কাছাকাছি ... মিলিত হয়। ফলে নিঃশেষিত অঞ্চল ক্ষীণ হতে থাকে ও নী -ভোল্টেজের (Knee voltage) বেশি ভোল্টেজের ... প্রায় নিঃশেষিত হয়ে যায়।

সম্মুখবর্তী বায়াসের বৈশিষ্ট্য

১। জাংশন ডায়োডের অভ্যন্তরে উভয় প্রকার সংখ্যাগুরু বাহকের দ্বারা তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয়; কিন্তু বহিঃবর্তনী... কেবলমাত্র ইলেকট্রন দ্বারা প্রবাহ উৎপন্ন হয়।

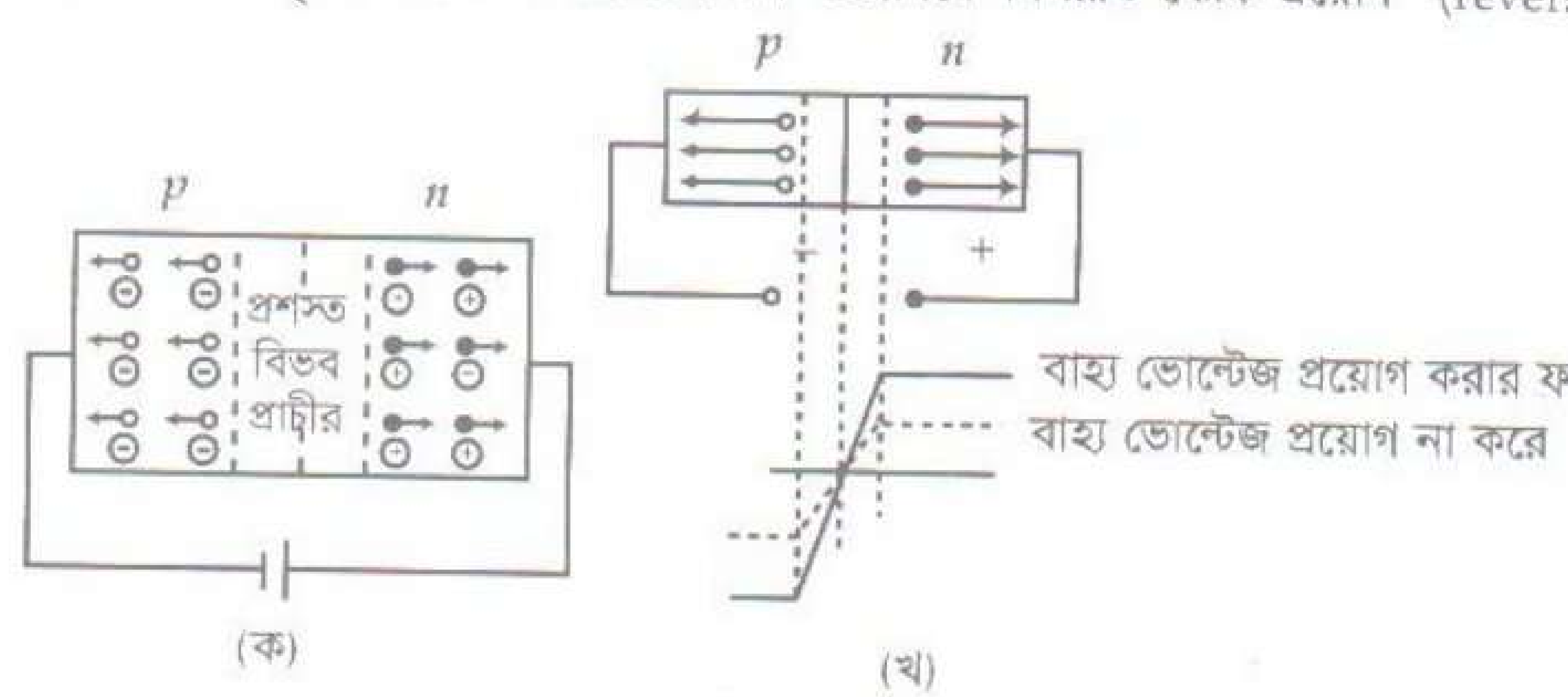
২। সম্মুখবর্তী বায়াস প্রয়োগে সাধারণত কয়েক মিলি-অ্যাম্পিয়ারের তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায়।

৩। প্রযুক্ত বিভব পার্থক্য বৃদ্ধি করলে প্রবাহমাত্রা বৃদ্ধি পায়।

৪। প্রবাহমাত্রা এবং প্রযুক্ত বিভব পার্থক্যের লেখচিত্র অঙ্কন করলে সরলরেখা পাওয়া যায় না।

৫। সম্মুখবর্তী বায়াসে ডায়োডের নিঃশেষিত অঞ্চলের বেধ ক্রমশ হ্রাস পায়।

(খ) বিপরীত ঝোঁক বা রিভার্স বায়াস প্রয়োগ : এক্ষেত্রে বাহ্য ভোল্টেজ এমনভাবে প্রয়োগ করা হয় যাতে বি... প্রাচীরের উচ্চতা বা প্রশস্থতা বৃদ্ধি পায়। এ ধরনের ঝোঁক প্রয়োগকে বিপরীত ঝোঁক প্রয়োগ (reverse biasing) ব...



চিত্র ১০.১০

বিপরীত ঝোঁক প্রয়োগের জন্য ব্যাটারির ঋণাত্মক প্রান্ত p-টাইপ প্রান্তের সঙ্গে এবং ধনাত্মক প্রান্ত n-টাইপ প্রান্তের স... সংযোগ দেয়া হয়। প্রযুক্ত বিপরীত ভোল্টেজের জন্য সৃষ্ট বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র বিভব প্রাচীরের বৈদ্যুতিক ক্ষেত্রের দিকে কা... করে। ফলে জাংশনে লব্ধি ক্ষেত্র বৃদ্ধি পায় এবং বিভব প্রাচীরের উচ্চতা বেড়ে যায়। চিত্র ১০.১০-এ বিপরীত ঝোঁ... প্রয়োগ ও বিভব প্রাচীর বৃদ্ধি দেখানো হয়েছে। বিভব প্রাচীর বৃদ্ধির ফলে বাহকের চলাচলে বাধা বা রোধ অনেক বেড়ে... যায় এবং বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহ হয় না।

বিপরীত ঝোঁকে ব্যাটারী n-টাইপের ইলেক্ট্রনকে এবং p-টাইপের হোলকে আকর্ষণের জন্য জাংশন থেকে দূ... সরিয়ে নেয়। ফলে জাংশনের প্রশস্থতা বৃদ্ধি পায় এবং জাংশন বরাবর বিভব বৃদ্ধি পেতে থাকে। এই বৃদ্ধি অব্যাহ... থাকে যতক্ষণ পর্যন্ত না জাংশনের এবং ব্যাটারীর বিভব সমান হয়। বিপরীত ঝোঁক প্রয়োগ করলে জাংশনের ভেতর দি... খুব সামান্য পরিমাণ বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয়। এ প্রবাহের কারণ হলো যে n-টাইপ ও p-টাইপে যথাক্রমে কিছু পরিমাণ হো... ও ইলেকট্রন থাকে। ঐ সমস্ত ইলেকট্রন ও হোলের প্রবাহ সামান্য পরিমাণ বিদ্যুৎ প্রবাহের সৃষ্টি করে। এই প্রবাহের মান সাধারণত μA মানের হয়। এই তড়িৎ প্রবাহকে বিপরীতবর্তী তড়িৎ প্রবাহ (Reverse current) বলে।

অনুসন্ধান II : বিপরীত বায়াসের সময় নিঃশেষিত অঞ্চলে কী ঘটে ?

যখন সংযোগটি বিপরীত বায়াসে থাকে তখন চার্জ বাহকদের ব্যাপন বন্ধ হয়। তাই নিঃশেষিত অঞ্চল প্রসারিত হয়। ইলেকট্রন ও হোলের চলাচলের মুখ্য প্রক্রিয়া প্রবাহ স্রোতও পরস্পর প্রায় বিলীন হয়।

বিপরীত বায়াসের বৈশিষ্ট্য

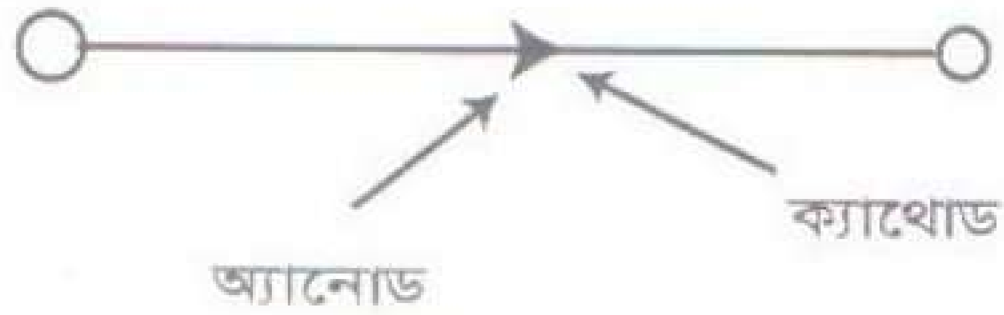
১। জাংশন ডায়োডের অভ্যন্তরে উভয় ধরনের সংখ্যাগুরু বাহকের দ্বারা তড়িৎ প্রবাহ উৎপন্ন হয়; কিন্তু বহিঃ-বর্তনীতে কেবলমাত্র ইলেকট্রনের দ্বারা প্রবাহ উৎপন্ন হয়।

২। বিপরীত বায়াসে সাধারণত কয়েক মাইক্রো-অ্যাম্পিয়ারের তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায়।

৩। প্রযুক্ত বিভব পার্থক্য একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ বৃদ্ধি করলে প্রবাহমাত্রায় উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন হয় না।

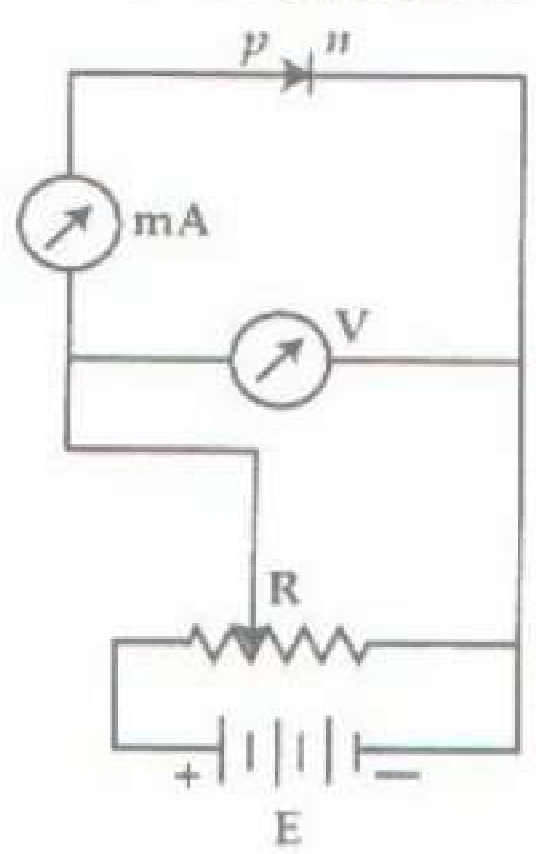
৪। বিপরীত বায়াসে ডায়োডের নিঃশেষিত অঞ্চলের বেধ ক্রমশ বৃদ্ধি পায়।

উপরের আলোচনা থেকে বুঝা যাচ্ছে যে $p-n$ জাংশন একটি একমুখী যন্ত্র (device) যা একদিকে বিদ্যুৎ প্রবাহ সৃষ্টি করে। চিত্র ১০.১১-এ একটি অর্ধপরিবাহী বা জাংশন ডায়োডের প্রতীক চিহ্ন দেখানো হয়েছে। ডায়োডের p-টাইপ অঞ্চলকে বলা হয় অ্যানোড এবং n-টাইপ অঞ্চলকে বলা হয় ক্যাথোড। চিত্রে ত্রিভুজ সম্মুখ ঝোঁক প্রয়োগে তড়িৎ প্রবাহের দিক নির্দেশ করে।



চিত্র ১০.১১

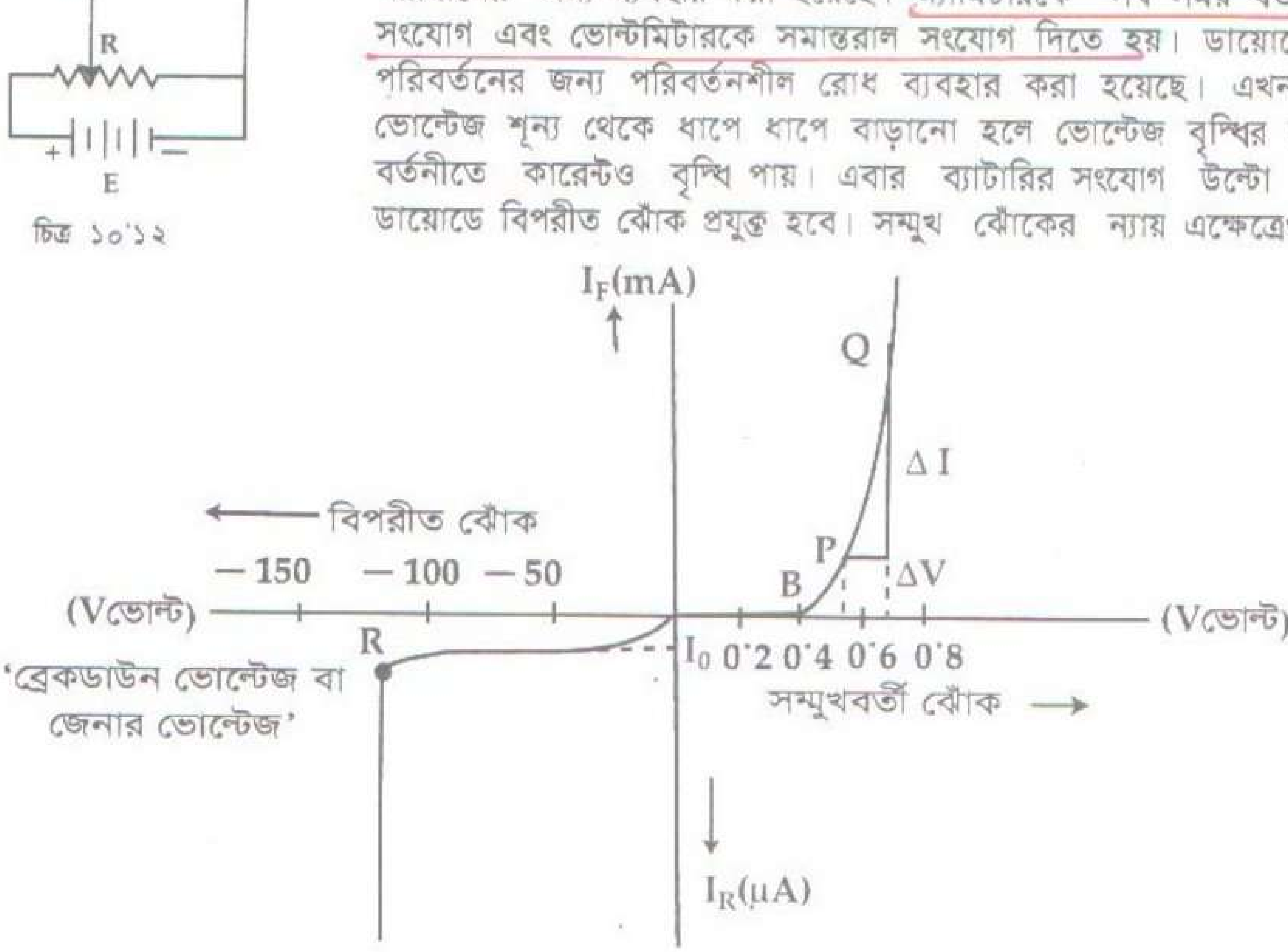
১০.৮ জাংশন ডায়োডের V—I বৈশিষ্ট্য লেখ
V—I characteristic curve of junction diode



চিত্র ১০.১২

p-n জাংশনকে কোনো বর্তনীর অংশ হিসেবে ব্যবহারের জন্য এর সম্মুখবর্তী ও বিপরীত ঝোঁক বৈশিষ্ট্য জানা দরকার। অর্থাৎ সম্মুখবর্তী বা বিপরীত ভোল্টেজ পরিবর্তনের সঙ্গে এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহেরও পরিবর্তন ঘটে।

চিত্র ১০.১২-এ একটি p-n জাংশন ডায়োড সম্মুখ ঝোঁকে দেখানো হয়েছে। বর্তনীতে অ্যামিটার A ডায়োড কারেন্ট এবং ভোল্টমিটার V ডায়োড ভোল্টেজ পরিমাপের জন্য ব্যবহার করা হয়েছে। অ্যামিটারকে সব সময় বর্তনীতে শ্রেণি সংযোগ এবং ভোল্টমিটারকে সমান্তরাল সংযোগ দিতে হয়। ডায়োডে ভোল্টেজ পরিবর্তনের জন্য পরিবর্তনশীল রোধ ব্যবহার করা হয়েছে। এখন সম্মুখবর্তী ভোল্টেজ শূন্য থেকে ধাপে ধাপে বাড়ানো হলে ভোল্টেজ বৃদ্ধির সাথে সাথে বর্তনীতে কারেন্টও বৃদ্ধি পায়। এবার ব্যাটারির সংযোগ উল্টো করে দিলে ডায়োডে বিপরীত ঝোঁক প্রযুক্ত হবে। সম্মুখ ঝোঁকের ন্যায় এক্ষেত্রেও ভোল্টেজ



চিত্র ১০.১৩

পরিবর্তন করলে কারেন্টেরও পরিবর্তন হবে। সম্মুখবর্তী ঝোঁক এবং বিপরীত ঝোঁকের জন্য ভোল্টেজ-কারেন্ট লেখচিত্র আঁকলে চিত্র ১০.১৩-এর লেখচিত্র পাওয়া যাবে।

চিত্রে সম্মুখবর্তী V—I বৈশিষ্ট্য লেখ থেকে নিম্নলিখিত বিষয় লক্ষণীয়—

সম্মুখ ঝোঁকের ক্ষেত্রে :

(i) সম্মুখবর্তী ভোল্টেজ V_F বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে কারেন্ট বৃদ্ধি পায় না। জার্মেনিয়াম ডায়োডের জন্য 0·3V এবং সিলিকন ডায়োডের জন্য 0·7V পর্যন্ত সম্মুখ কারেন্ট I_F শূন্য থাকে। 0·3V এবং 0·7V হলো যথাক্রমে জার্মেনিয়াম ও সিলিকনের অভ্যন্তরীণ বিভব প্রাচীর ভোল্টেজ V_0। অর্থাৎ বিভব প্রাচীর অতিক্রম করার জন্য চার্জ বাহকের ন্যূনতম এ ভোল্টেজের প্রয়োজন হয়। একে অপারেটিং ভোল্টেজ বলে। চিত্রে B অপারেটিং ভোল্টেজ। এর পর ভোল্টেজ আরও বৃদ্ধি করলে কারেন্ট সূচকীয়ভাবে বাড়ে এবং পরবর্তীতে কিছু সময়ের জন্য ভোল্টেজ কারেন্ট বৃদ্ধি সমানুপাতে হয়।

(ii) $V_F > V_0$ হলে I_F দ্রুত বৃদ্ধি পায়। তাই I_F খাড়াভাবে উপরে ওঠে। তখন এই V_F-কে নী (Knee) ভোল্টেজ বলে। চিত্রে P বিন্দু ইহা নির্দেশ করে। এই বৈশিষ্ট্য লেখটি সর্বদা সরলরৈখিক নয়। অর্থাৎ V এবং I পরস্পরের সমানুপাতিক হয় না।

বিপরীত ঝোঁকের ক্ষেত্রে :

(i) বিপরীত ঝোঁক V_R বৃদ্ধির সঙ্গে বিপরীত কারেন্ট I_R বৃদ্ধি পেয়ে I_0-তে পৌঁছায়। এরপর বিপরীত ভোল্টেজ বাড়ালেও কারেন্ট I_0 স্থির থাকে। I_0 কারেন্টকে 'বিপরীত সম্পৃক্ত কারেন্ট' (reverse saturation current) বা 'ক্ষরণ কারেন্ট' (leakage current) বলে। এই কারেন্ট p- এবং n-অঞ্চলে স্বল্পসংখ্যক 'সংখ্যালঘু বাহকের' দ্বারা তৈরি হয়। এর মান সাধারণত কয়েক μA। ভোল্টেজ পরিবর্তনের জন্য সংখ্যালঘু বাহকের সংখ্যা পরিবর্তন হয় না বলে ভোল্টেজ অনেক বাড়ালেও কারেন্ট স্থির থাকে। শুধুমাত্র তাপমাত্রা পরিবর্তন হলে সংখ্যালঘু বাহকের সংখ্যার পরিবর্তন হয়।

(ii) বিপরীত বায়াস ভোল্টেজ বৃদ্ধি করে একটি ক্রান্তি (critical) মানে পৌঁছালে দেখা যায় যে বিপরীত কারেন্ট হঠাৎ করে অনেকগুণ বেড়ে যায়। এই সময় p-n জাংশনের রোধ সম্পূর্ণরূপে ভেঙ্গে যায়। তাই এই বিশেষ ভোল্টেজকে বলা হয় 'ব্রেকডাউন ভোল্টেজ' (breakdown voltage) বা জেনার ভোল্টেজ (Zener voltage)। চিত্রে R বিন্দু ইহা নির্দেশ করে। ব্রেকডাউন ভোল্টেজে পৌঁছে গেলে সাধারণত জাংশন ডায়োডের কার্যক্ষমতা বিনষ্ট হয়ে যেতে পারে। এই অবস্থায় ডায়োড পরিবাহীর ন্যায় আচরণ করে। এই ক্রিয়াকে জেনার ক্রিয়া বলে।

সম্প্রসারিত কর্মকাণ্ড : p–n জাংশন ডায়োড রিভার্স বায়াসে ভোল্টেজ বৃদ্ধি করার সাথে সাথে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় না। কিন্তু ক্রমাগত ভোল্টেজ বৃদ্ধি করা হলে দেখা যায় হঠাৎ করে এক পর্যায়ে প্রবাহের মান দ্রুত বৃদ্ধি পায়। এক্ষেত্রে ডায়োডে কি ঘটে—ব্যাখ্যা কর।

রিভার্স বায়াস ভোল্টেজ বৃদ্ধি করতে থাকলে ইলেকট্রনের গতিশক্তি বৃদ্ধি পায় এবং সেমিকন্ডাক্টর (p–n) ডায়োডের পরমাণু থেকে ইলেকট্রন বেরিয়ে আসে। এ পর্যায়ে জাংশনে ইলেকট্রনের ধ্বস নামে ফলে প্রবাহ দ্রুত বৃদ্ধি প্রাপ্ত হয়। রিভার্স কারেন্ট বা প্রবাহ বৃদ্ধির ফলে ডিপলেশন লেয়ার অঞ্চলে বা p–n জাংশনের সংযোগস্থলে রোধের পতন ঘটে। এই পর্যায়কে অ্যাভালেন্স ব্রেকডাউন (avalence breakdown) বলে। এ পর্যায়ে ডায়োড তার কার্যকারিতা হারিয়ে ফেলে। ব্রেকডাউন ভোল্টেজের পর জাংশন সাধারণত স্থায়ীভাবে ধ্বংস প্রাপ্ত হয়।

গতীয় রোধ (Dynamic resistance) : চিত্র ১০.১৩-এ লক্ষণীয় যে p–n জাংশনে সম্মুখবর্তী ঝোঁক প্রয়োগে সামান্য বিভব পার্থক্য বৃদ্ধি করলে জাংশনে বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রা অনেক বৃদ্ধি পায়। কিন্তু বিপরীত ঝোঁক প্রয়োগে বিভব পার্থক্য অনেক বৃদ্ধির জন্যও বিদ্যুৎ প্রবাহমাত্রার বৃদ্ধি খুবই সামান্য। সুতরাং বোঝা যাচ্ছে, সম্মুখবর্তী ঝোঁক প্রয়োগে জাংশনের রোধ খুবই কম হয়। I—V লেখ বৈশিষ্ট্যের যে কোনো দুটি বিন্দু P ও Q-এ বিভব পার্থক্য ΔV-এর জন্য বিদ্যুৎ প্রবাহের যে পরিবর্তন ΔI হয়, এর অনুপাতই জাংশনের রোধ। একে জাংশনের **গতীয় রোধ** বলে। সুতরাং

$$\text{গতীয় রোধ, } R = \frac{\Delta V}{\Delta I}\,\Omega \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \qquad (10.1)$$

গাণিতিক উদাহরণ

১। কোনো p–n জাংশনে 0·2 V বিভব পার্থক্য পরিবর্তনের জন্য 5 mA বিদ্যুৎ প্রবাহের পরিবর্তন পাওয়া গেল। জাংশনের রোধ বের কর।

আমরা জানি,

$$\text{জাংশনের রোধ, } R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

$$\text{বা, } R = \frac{0{\cdot}2}{5\times10^{-3}} = \frac{0{\cdot}2\times10^{3}}{5} = \frac{200}{5} = 40\Omega$$

এখানে,

$\Delta V = 0{\cdot}2$ V

$\Delta I = 5$ mA $= 5\times10^{-3}$ A

$R = ?$

কাজ : হোলের থেকে মুক্ত ইলেকট্রনের শক্তি বেশি থাকে কেন ?

হোলের মাধ্যমে তড়িৎ পরিবহন হতে হলে ইলেকট্রনকে লাফিয়ে লাফিয়ে চলতে হয়। এক্ষেত্রে ইলেকট্রনে সীমাবন্ধ একটি পথ অনুসরণ করতে হয়। কিন্তু মুক্ত ইলেকট্রনের মাধ্যমে তড়িৎ পরিবহনের সময় ইলেকট্রন নিজের খুশিমতো আঁকাবাঁকা পথে চলার সুযোগ পায়। ইলেকট্রনের গতির এ পথ সীমাবন্ধ নয়। তাই ইলেকট্রনের শক্তি হোলের চেয়ে বেশি থাকে।

১০.৯ একমুখীকরণ
Rectification

ধারণা
Concept

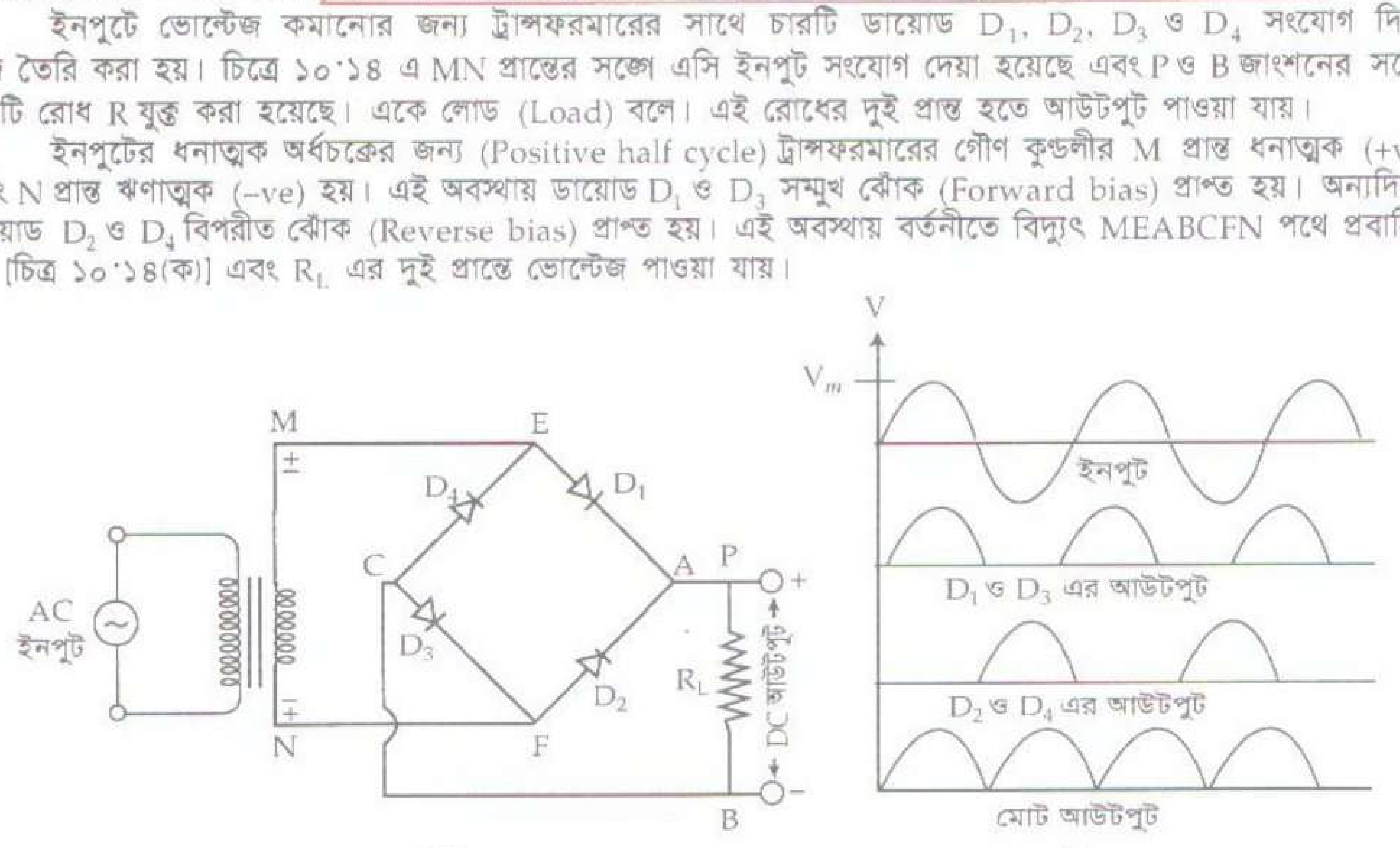
যে পদ্ধতিতে পরিবর্তী প্রবাহকে (A. C.) একমুখী প্রবাহে (D. C.) পরিবর্তন করা হয় তাকে **একমুখীকরণ বা রেকটিফিকেশন** (rectification) বলে এবং যে বর্তনী এই কাজে ব্যবহার করা হয় তাকে বলা হয় **একমুখীকারক বা রেকটিফায়ার** (rectifier)। জাংশন ডায়োডের বৈশিষ্ট্য আলোচনায় আমরা জেনেছি যে ডায়োড একটা বিশেষ দিকে তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি করে। কিন্তু বিপরীত দিকে কোনো তড়িৎ প্রবাহ হয় না। জাংশন ডায়াডের এ বিশেষ ধর্মকে প্রবাহ একমুখীকরণ কাজে ব্যবহার করা হয়। AC প্রবাহের ধনাত্মক অর্ধচক্র যখন ডায়োডের ধনাত্মক প্রান্তের ভেতর দিয়ে যায় তখন ডায়োড সম্মুখ ঝোঁক প্রাপ্ত হয় আবার প্রবাহের ঋণাত্মক অর্ধচক্র যখন ডায়োডের ঋণাত্মক প্রান্তের ভেতর দিয়ে যায় তখন ডায়োড সম্মুখ ঝোঁক প্রাপ্ত হয় এবং বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয়। একমুখীকারক (rectifier) দুই ধরনের। যথা—(ক) অর্ধতরঙ্গ একমুখীকারক এবং (খ) পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকারক। AC তরঙ্গ সময়ের সাথে সাথে দিক পরিবর্তন করে কিন্তু ডায়োডের ভেতর দিয়ে যাওয়ার পর একমুখী তরঙ্গ বা DC উৎপন্ন হয়। পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকরণের বিভিন্ন পদ্ধতি আছে। নিম্নে ব্রীজ রেকটিফিকেশন আলোচনা করা হলো।

ব্রীজ রেকটিফিকেশন
Bridge rectification

পরিবর্তী প্রবাহকে পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকরণ দু'ভাবে করা হয়। যথা— (ক) একটি ট্রান্সফরমার ও দুটি জাংশন ডায়োডের সাহায্যে এবং (খ) একটি ট্রান্সফরমার ও চারটি জাংশন ডায়োডের সাহায্যে। শেষোক্ত পদ্ধতিকে ব্রীজ রেকটিফিকেশন পদ্ধতি বলে। DC পাওয়ার সাপ্লাই-এর জন্য ব্রীজ রেকটিফায়ার বহুল ব্যবহৃত ও কার্যকর বর্তনী।

ইনপুটে ভোল্টেজ কমানোর জন্য ট্রান্সফরমারের সাথে চারটি ডায়োড D_1, D_2, D_3 ও D_4 সংযোগ দিয়ে ব্রিজ তৈরি করা হয়। চিত্রে ১০.১৪ এ MN প্রান্তের সঙ্গে এসি ইনপুট সংযোগ দেয়া হয়েছে এবং P ও B জাংশনের সঙ্গে একটি রোধ R যুক্ত করা হয়েছে। একে লোড (Load) বলে। এই রোধের দুই প্রান্ত হতে আউটপুট পাওয়া যায়।

ইনপুটের ধনাত্মক অর্ধচক্রের জন্য (Positive half cycle) ট্রান্সফরমারের গৌণ কুণ্ডলীর M প্রান্ত ধনাত্মক (+ve) এবং N প্রান্ত ঋণাত্মক (–ve) হয়। এই অবস্থায় ডায়োড D_1 ও D_3 সম্মুখ ঝোঁক (Forward bias) প্রাপ্ত হয়। অন্যদিকে ডায়োড D_2 ও D_4 বিপরীত ঝোঁক (Reverse bias) প্রাপ্ত হয়। এই অবস্থায় বর্তনীতে বিদ্যুৎ MEABCFN পথে প্রবাহিত হয় [চিত্র ১০.১৪(ক)] এবং R_L এর দুই প্রান্তে ভোল্টেজ পাওয়া যায়।



(ক) (খ)

চিত্র ১০.১৪ : ব্রীজ রেকটিফায়ার।

আবার ঋণাত্মক অর্ধচক্রের জন্য (Negative half cycle) ট্রান্সফরমারের গৌণ কুণ্ডলীর N প্রান্ত ধনাত্মক এবং M প্রান্ত ঋণাত্মক হয়। এই অবস্থায় D_2 ও D_4 সম্মুখ ঝোঁক প্রাপ্ত হয়। এই অবস্থায় বর্তনীতে বিদ্যুৎ NFABCEM পথে প্রবাহিত হয় [চিত্র ১০.১৪(ক)]। সুতরাং AC প্রতিক্ষেত্রে ইনপুটের প্রত্যেক অর্ধচক্রের জন্য বিদ্যুৎ লোড রোধ R_L এর মধ্য

দিয়ে একই দিক AB দিয়ে প্রবাহিত হয় এবং প্রতিক্ষেত্রে R_L-এ ভোল্টেজ ড্রপ হয়। অন্যভাবে বলা যায় ব্রীজ রেকটি-ফায়ারের A বিন্দু সর্বদা অ্যানোড এবং B বিন্দু ক্যাথোড হিসেবে ক্রিয়া করে। অন্তর্গামী AC এবং বহির্গামী DC সিগন্যালকে ১০.১৪(খ) চিত্রে দেখানো হয়েছে। এভাবে প্রত্যেক AC সিগন্যালকে বহির্গামীতে DC হিসেবে পাওয়া যায়।

কাজ : পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকরণে দুটি অনুরূপ ডায়োড ব্যবহার করা হয় কেন ?

পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকরণে দুটি অনুরূপ ডায়োড ব্যবহার করা হয়। কারণ দুটি ডায়োডের তড়িৎ প্রবাহ অনুরূপ না হলে রোধের ভেতর দিয়ে প্রবাহের ওঠানামা বেশি হয়।

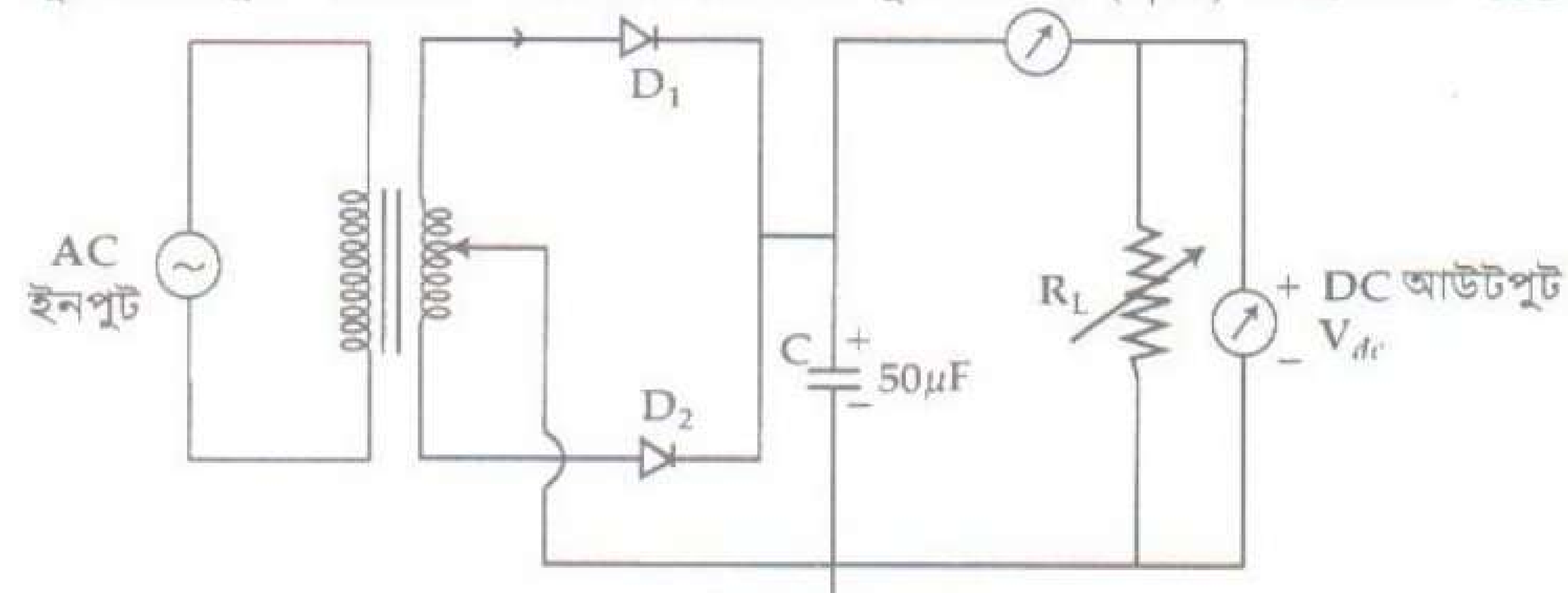
নিজে কর : রেকটিফায়ার বর্তনীতে ব্যবহৃত ট্রান্সফরমারের গৌণ কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা মুখ্য কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা অপেক্ষা কম রাখা হয় কেন ?

ট্রান্সফরমার দ্বারা ভোল্টেজ কমানোর জন্য গৌণ কুণ্ডলীর পাক সংখ্যা কম রাখা হয়। ভোল্টেজ কম না হলে ডায়োড পুড়ে যাবে। সাধারণত ডায়োডে ভোল্টেজের মান 15V এর নিচে রাখা হয়।

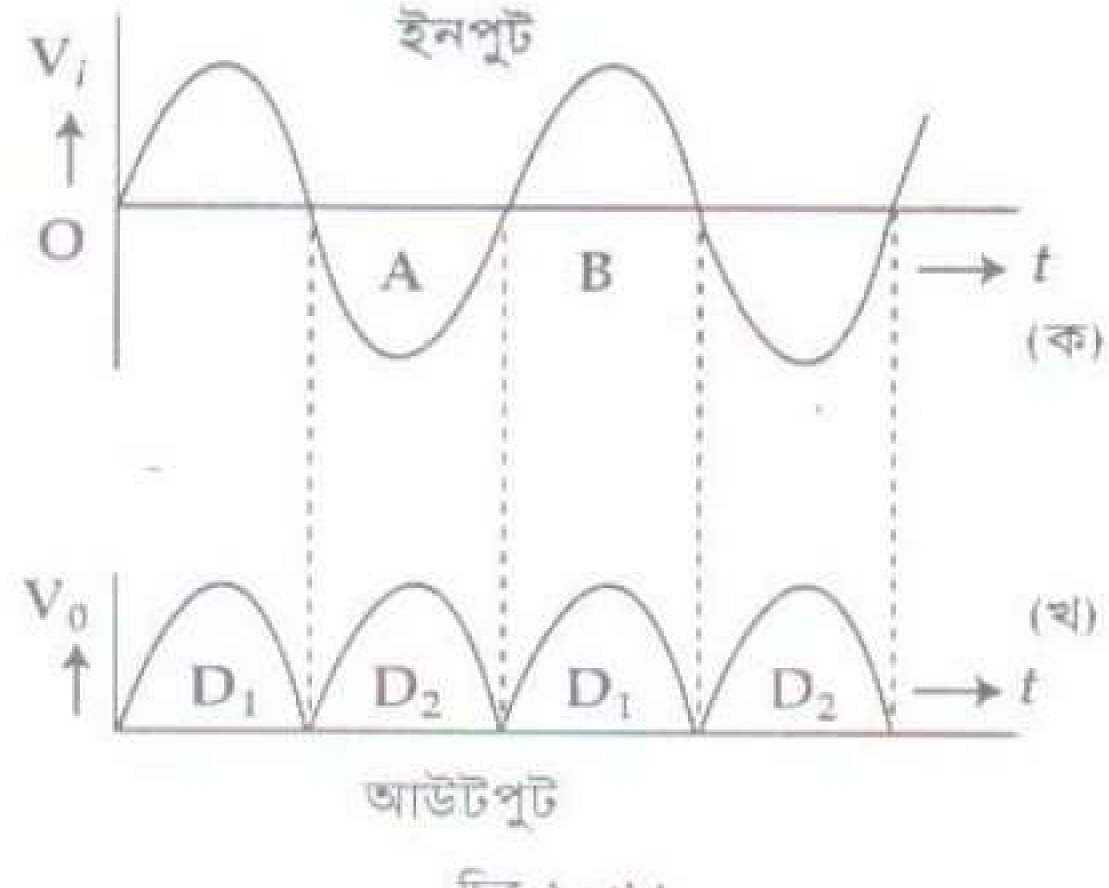
১০.১০ ব্যবহারিক
Experimental

পরীক্ষণের নাম : পিরিয়ড : ২	**পূর্ণতরঙ্গ একমুখীকরণ (দুটি ডায়োড ব্যবহার করে)** **Full wave rectification** (using two Diodes)

তত্ত্ব (Theory) : দুটি ডায়োড দ্বারা পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকরণ করা যায়। $V = V_m \sin\theta$ হলো দিক পরিবর্তী বিভব। ধরি ডায়োডের রোধ R এবং লোড রোধ (রেজিস্ট্যান্স) R_L। সম্মুখ বায়াসের ক্ষেত্রে ডায়োডের মধ্য দিয়ে তরঙ্গ প্রবাহ চলে। কিন্তু বিপরীতমুখী বায়াসের সময় এর মধ্য দিয়ে খুব কম প্রায় (1μA) প্রবাহ চলে। AC প্রবাহকে শোধন



চিত্র ১০.১৫



চিত্র ১০.১৬

করে DC প্রবাহ পাওয়ার জন্য রেকটিফায়ার ব্যবহার করা হয়। তরঙ্গের ধনাত্মক চক্রের সময় বর্তনীতে প্রবাহ ঘটে। তরঙ্গের ঋণাত্মক চক্রের সময় বিপরীত বায়াস ঘটে এবং কোনো প্রবাহ পাওয়া যায় না। DC তরঙ্গকে মসৃণ করার জন্য বর্তনীতে ধারক C ব্যবহার করা হয়। তরঙ্গের ধনাত্মক চক্রের সময় ধারকটি চার্জ গ্রহণ করে চার্জিত হয় এবং

তরঙ্গের ঋণাত্মক চক্রের সময় ধারকটি সঞ্চিত চার্জ হারায়। ফলে দুটি DC তরঙ্গের মাঝখানে ফাঁক অনেকটা মসৃণ হয়। ধারক (C) এর মধ্য দিয়ে তরঙ্গের AC অংশ সহজে বিভিন্ন পথে চলে বলে একে ফিল্টার বা ছাঁকুনি বলে। ডিসি ভোল্টমিটার এর সাহায্যে R_L এর দুই প্রান্তে DC ভোল্টেজ পরিমাপ করা হয় এবং বর্তনীতে উল্লেখিত DC অ্যামিটার দ্বারা ডিসি প্রবাহমাত্রা পরিমাপ করা হয়। R_L এর দুই প্রান্তের মাঝে Oscilloscope এর পর্দায় DC প্রবাহ প্রত্যক্ষ করা হয়। বর্তনী, সংযোগ যন্ত্র এবং ইনপুট ও আউটপুট সিগন্যালকে ১০.১৫ এবং ১০.১৬নং চিত্রে দেখান হলো।

যন্ত্রপাতি :

১। একটি স্টেপ ডাউন সেন্টার ট্যাপ্‌ট ট্রান্সফরমার

২। দুটি ডায়োড

৩। সংযোগকারী তার

৪। লোড রোধ R_L (10—1000 Ω)

৫। ডিসি ভোল্টমিটার

৬। AC মিলি অ্যামিটার

৭। ক্যাপাসিটর (50μF)

৮। প্রজেক্ট বোর্ড

৯। সংযোগকারী তার, ইত্যাদি।

কার্যপদ্ধতি :

(১) ট্রান্সফরমারের বহিঃমুখের উপরের ও নিচের প্রান্তের সাথে দুটি ডায়োডকে চিত্র অনুযায়ী সংযুক্ত করতে হবে।

(২) ডায়োডের নেগেটিভ প্রান্তদ্বয় একত্রে তার দ্বারা যুক্ত করতে হবে।

(৩) একটি ধারক (C), লোড রোধ (R_L), একটি ডিসি ভোল্টমিটার (V_{dc}) কে সমান্তরালে যুক্ত করে উপরের প্রান্তে একটি অ্যামিটারকে শ্রেণি সমবায়ে যুক্ত করা হয় এবং R_L, C এবং ভোল্টমিটারের নিচের প্রান্তের তার যুক্ত করে ট্রান্সফরমারের কেন্দ্রীয় বিন্দুর সাথে যুক্ত করা হয়। C, R_L এর নিচের প্রান্তকে ভূমি সংযোগে রাখা হয়।

(৪) ডায়োডের –ve প্রান্তদ্বয়ের মধ্যস্থল থেকে তার দিয়ে ধারকের সাথে যুক্ত করা হয়।

(৫) বর্তনীতে বিদ্যুৎ প্রবাহ চালনা করে আউটপুট কারেন্ট ভোল্টেজ পরিমাপ করা হয়।

(৬) Oscilloscope দ্বারা আউটপুট ডিসি পর্যবেক্ষণ করা হয়।

পরীক্ষালব্ধ উপাত্তসমূহ :

(ক) ধারকের ধারকত্ব, C = ... μF

(খ) ডায়োডের রোধ, R = ... Ω

(গ) লোড রোড, R_l = ... Ω

(ঘ) $I_{dc} = \frac{2I_m}{\pi}$, I_m = প্রবাহের সর্বোচ্চ মান।

ছক-১

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	লোড রোধ R_L Ω	সর্বোচ্চ প্রবাহমাত্রা I_{max}	$I_{dc} = \frac{2I_m}{\pi}$	V_{dc}
১				
২				
৩				

পর্যবেক্ষণ : Oscilloscope এর সাহায্যে আউটপুট ভোল্টেজ V_{dc} পর্যবেক্ষণ করা হলো এবং ভোল্টমিটার এর সাহায্যে V_{dc} পরিমাপ করা হলো।

সতর্কতা :

১। ধারকের, মিলি অ্যামিটারের এবং ভোল্টমিটারের ধনাত্মক (+ve) প্রান্ত এক সাথে যুক্ত করতে হবে।

২। ডায়োড D_1 ও D_2 একই মানের নিতে হবে।

৩। স্টেপডাউন ট্রান্সফরমার ব্যবহার করতে হবে।

৪। মসৃণ (smooth) ডিসি পেতে ধারক ব্যবহার করতে হবে।

৫। তারের প্রান্তগুলো শক্তভাবে যুক্ত করতে হবে।

পরীক্ষণের নাম : পিরিয়ড : ২	ডায়োডের সাহায্যে একমুখীকরণ (ব্রীজ রেকটিফায়ার ব্যবহার করে) **Rectification with the help of Diode** (using bridge rectifier)

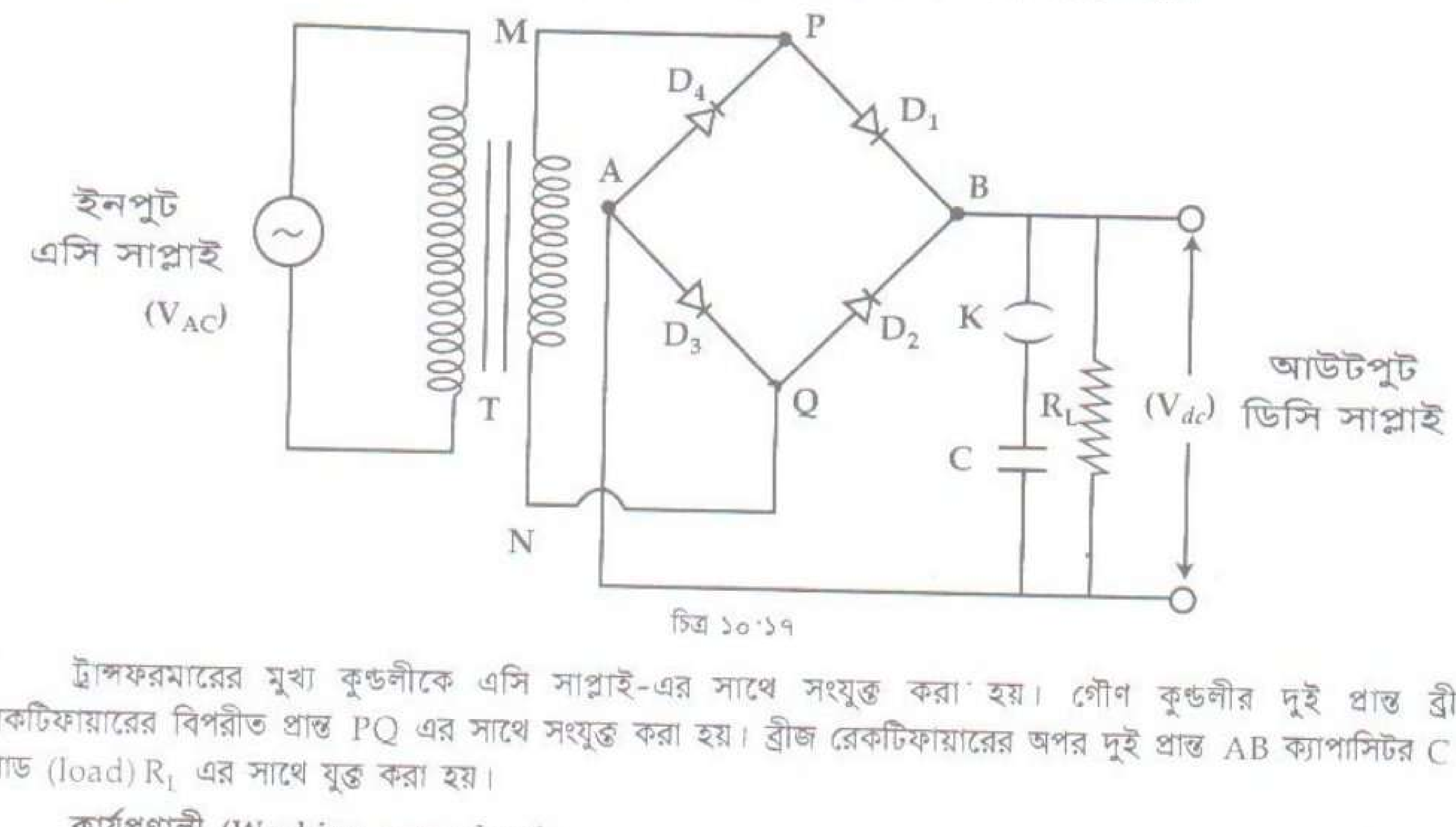
তত্ত্ব (Theory) : একমুখীকরণ বা রেকটিফিকেশন এমন একটি পদ্ধতি যা পর্যাবৃত্ত ভোল্টেজকে ডিসি ভোল্টেজে রূপান্তরিত করে। অর্ধপরিবাহী ডায়োড ভালোভাবেই এ কাজ সম্পন্ন করে। দুই ধরনের একমুখীকারক রয়েছে, যথা—অর্ধ তরঙ্গ একমুখীকারক এবং পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকারক। একটি পূর্ণচক্র একমুখীকারক বর্ণনা করা হলো।

পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকরণে ইনপুট এসি ভোল্টেজের উভয় অর্ধচক্রের জন্য বিদ্যুৎ প্রবাহ লোড (load) বা ভারের মধ্য দিয়ে একই দিকে প্রবাহিত হয়। পূর্ণ চক্র একমুখীকরণের ক্ষেত্রে সাধারণত দুই জোড়া ডায়োড ব্যবহার করা হয়। এসি ইনপুট ভোল্টেজের প্রথম অর্ধচক্রের জন্য একজোড়া ডায়োড সম্মুখ ঝোঁক প্রাপ্ত হয়ে ক্রিয়াশীল হয়, তখন অপর জোড়া ডায়োড বিপরীত ঝোঁকে থাকে। আবার এসি ইনপুট ভোল্টেজের দ্বিতীয় অর্ধচক্রের জন্য এদের মধ্য দিয়ে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হয় না। এভাবে এসি ইনপুটের উভয় অর্ধচক্রেই লোড বা ভারের বিপরীতে একই দিকে আউটপুট সৃষ্টি হয়। এই ডিসি আউটপুট মসৃণ না হয়ে স্পন্দনবিশিষ্ট (pulsating) হয়; অর্থাৎ এর মধ্যে এসি, ডিসি উভয় উপাদানই বিদ্যমান থাকে। বিশুদ্ধ ডিসি ভোল্টেজ পাওয়ার জন্য একটি ফিল্টার সার্কিট দ্বারা আউটপুটকে মসৃণ করা হয়।

যন্ত্রপাতি (Apparatus) :

১। স্টেপ ডাউন ট্রান্সফরমার,
২। ব্রীজ রেকটিফায়ার,
৩। ক্যাপাসিটর (330 μF বা 50 μF)
৪। রোধক,
৫। মাল্টিমিটার,
৬। অসিলোসকোপ ইত্যাদি।

বর্তনী সংযোগ (Circuit connection) : নিচের চিত্রের ন্যায় বর্তনী সংযোগ দিতে হয়।



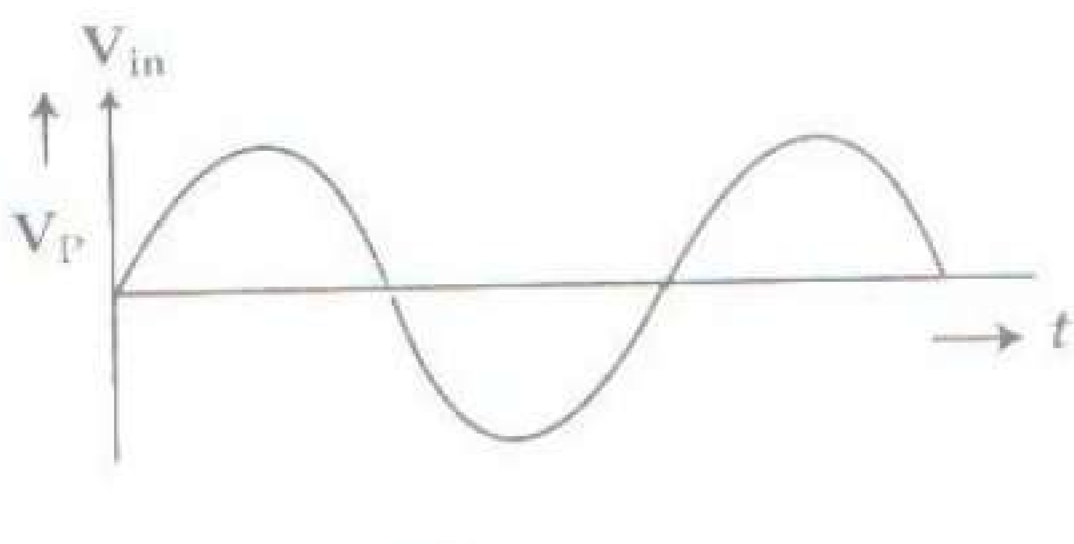
চিত্র ১০.১৭

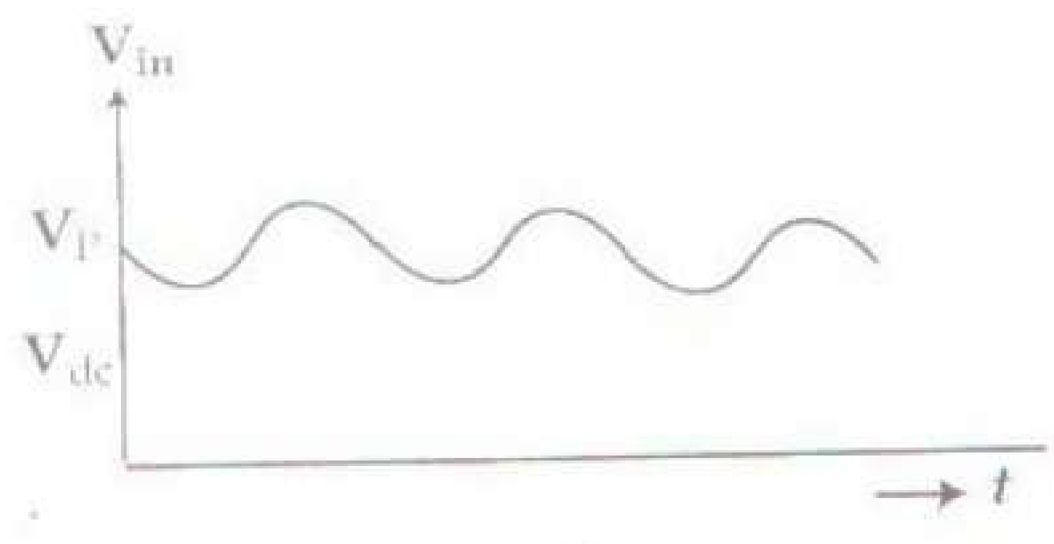
ট্রান্সফরমারের মুখ্য কুণ্ডলীকে এসি সাপ্লাই-এর সাথে সংযুক্ত করা হয়। গৌণ কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত ব্রীজ রেকটিফায়ারের বিপরীত প্রান্ত PQ এর সাথে সংযুক্ত করা হয়। ব্রীজ রেকটিফায়ারের অপর দুই প্রান্ত AB ক্যাপাসিটর C ও লোড (load) R_1 এর সাথে যুক্ত করা হয়।

কার্যপ্রণালী (Working procedure) :

(১) উপরের চিত্রের ন্যায় বর্তনী সংযোগ দেয়া হয়। সেকেন্ডারি ভোল্টেজের ধনাত্মক অর্ধচক্রকালে ট্রান্সফরমার M প্রান্ত ধনাত্মক চার্জযুক্ত এবং N প্রান্ত ঋণাত্মক চার্জযুক্ত হয়। এ অবস্থায় ডায়োড D_1 ও D_3 সম্মুখ ঝোঁক প্রাপ্ত হয় এবং ডায়োড D_2 ও D_4 বিপরীত ঝোঁক প্রাপ্ত হয়। সুতরাং MPD_1BAD_3QN বরাবর বিদ্যুৎ প্রবাহ চলে এবং R_L-এর বিপরীতে বিভব পতন ঘটে। আবার ঋণাত্মক অর্ধচক্রকালে M প্রান্ত ঋণাত্মক চার্জযুক্ত হয়। ফলে NQD_2BAD_4PM পথে বিদ্যুৎ প্রবাহ চলে। লক্ষ করলে দেখা যাবে যে ভার বা লোড R_L-এর ভিতর দিয়ে একই দিকে বিদ্যুৎ প্রবাহিত হচ্ছে।

(২) অসিলোসকোপের সাহায্যে ইনপুট ও আউটপুট তরঙ্গরূপ পর্যবেক্ষণ করা হয়। চিত্র ১০.১৮ এর (ক) ও (খ) এর ন্যায় ইনপুট ও আউটপুট পাওয়া যাবে।





চিত্র ১০.১৮

(৩) অসিলোসকোপের সাহায্যে R_L-এর বিপরীত ফিল্টারকৃত ভোল্টেজ মাপা হয়।

(৪) অসিলোসকোপ না থাকলেও এসি/ডিসি ভোল্টমিটার দিয়ে ভোল্টেজ মাপা হয়।

সতর্কতা ও আলোচনা (Precautions and Discussion) :

(১) ডায়োড সংযোগ সঠিক হওয়া প্রয়োজন।

(২) তারের প্রান্তগুলো শক্তভাবে যুক্ত করতে হবে।

(৩) অসিলোসকোপের পরিবর্তে এসি/ডিসি ভোল্টমিটার ব্যবহার করা যেতে পারে।

(৪) স্টেপ ডাউন ট্রান্সফরমার ব্যবহার করতে হবে।

অনুসন্ধান : একমুখীকরণ বর্তনীতে ফিলটার ব্যবহারের প্রয়োজনীয়তা কী ?

একটি পূর্ণতরঙ্গের একমুখীকরণে প্রবাহ একমুখী হলেও সময়ের সঙ্গে পরিবর্তনশীল, যা অধিকাংশ বৈদ্যুতিক যন্ত্রে ব্যবহারের অনুপযুক্ত। তাই একটি ফিলটার ব্যবহার করা হয়।

১০.১১ জাংশন ট্রানজিস্টর (পিএনপি ও এনপিএন)
Junction Transistor (*p-n-p* and *n-p-n*)

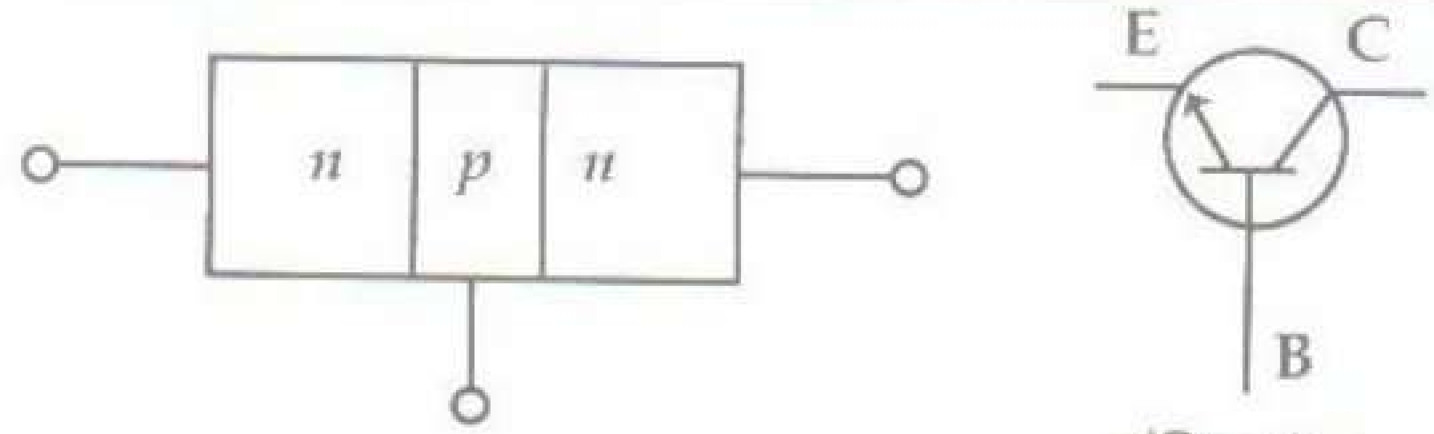
ট্রানজিস্টর হচ্ছে তিন প্রান্তবিশিষ্ট একটি অর্ধপরিবাহী ডিভাইস যার অন্তর্মুখী (Input) প্রবাহকে নিয়ন্ত্রণ করে বহির্মুখী (Output) প্রবাহ, বিভব পার্থক্য এবং ক্ষমতা নিয়ন্ত্রণ করা হয়। দুটি অর্ধপরিবাহী ডায়োডকে পাশাপাশি যুক্ত করে একটি অর্ধপরিবাহী ট্রায়োড বা ট্রানজিস্টর তৈরি করা হয়। জে. বার্ডিন ও ডব্লিও. এইচ. ব্রাটেইন 1948 সালে আমেরিকায় প্রথম ট্রানজিস্টর আবিষ্কার করেন। আবিষ্কারের পর থেকেই ইলেকট্রনিক জগতে এক বিপ্লব সৃষ্টি করেছে এই ট্রানজিস্টর। ইলেকট্রনিক যন্ত্রপাতির অবিচ্ছেদ্য অঙ্গ হচ্ছে ট্রানজিস্টর।

গঠন
Construction

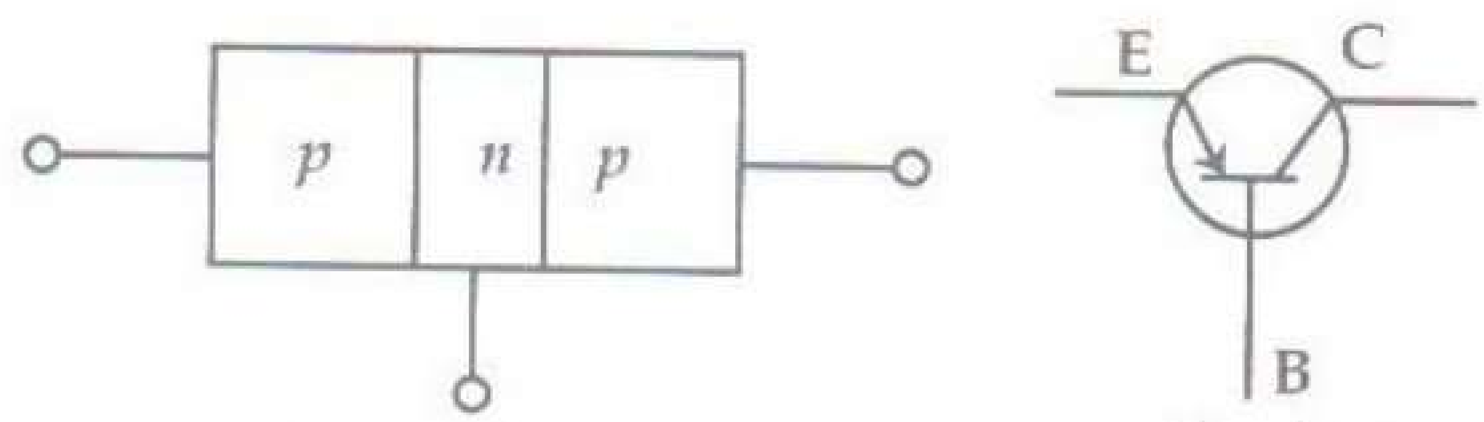
একখন্ড বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী থেকে উচ্চতাপে বিশেষ নিয়ন্ত্রিত পদ্ধতিতে ট্রানজিস্টর তৈরি করা হয়। সাধারণত পয়েন্ট কন্টাক্ট (Point contact) ট্রানজিস্টর ও জাংশন (Junction) ট্রানজিস্টর এই দুই ধরনের ট্রানজিস্টর তৈরি হয়। তবে বর্তমানে ব্যবহৃত সমস্ত ট্রানজিস্টরই জাংশন ট্রানজিস্টর। ট্রানজিস্টর দুই ধরনের (ক) *n-p-n* ট্রানজিস্টর ও (খ) *p-n-p* ট্রানজিস্টর। ট্রানজিস্টরের ৩টি অংশ বা এলিমেন্ট (element) থাকে; যথা—এমিটার (emitter) বা নিঃসারক (E), বেস (base) বা পীঠ (B) এবং কালেক্টর (collector) বা সংগ্রাহক (C)। চিত্র ১০.১৯ (ক) ও (খ)-এ *n-p-n* ও *p-n-p* ট্রানজিস্টরের ব্লক (block) চিত্র এবং প্রতীক চিত্র দেখানো হলো।

দুটি পৃথক *n*-টাইপ কেলাসের মাঝখানে একটি *p*-টাইপ কেলাস বিশেষ পদ্ধতিতে পাশাপাশি রেখে যুক্ত করলে *n-p-n* ট্রানজিস্টর গঠন করা হয়। আবার দুটি পৃথক *p*-টাইপ কেলাসের মাঝখানে একটি *n*-টাইপ কেলাস যুক্ত করলে *p-n-p* ট্রানজিস্টর গঠন করা হয়। এই জোড়া লাগানো আঠা বা সোল্ডার করে করা হয় না। একটি অর্ধপরিবাহী কেলাসের মধ্যে সুনিয়ন্ত্রিতভাবে পর্যায়ক্রমে *n* বা *p* টাইপ অপদ্রব্য মিশ্রণ, তার উপরে যথাক্রমে *p* বা *n* টাইপ অপদ্রব্য এবং সর্বশেষে যথাক্রমে *n* বা *p* টাইপ অপদ্রব্য মিশিয়ে *n-p-n* বা *p-n-p* ট্রানজিস্টর তৈরি করা হয়। ট্রানজিস্টরের মাঝের বেস অংশ খুবই পাতলা এবং সামান্য পরিমাণে অপদ্রব্য মিশ্রণ করা হয়, যাতে এমিটার থেকে বাহক আধান (charge carrier) প্রবাহের সময় কম দূরত্ব অতিক্রম করতে হয় এবং বিপরীত আধানের সঙ্গে মিলিত হয়ে নিরপেক্ষ না হয়। এমিটার অংশ

বেশ পুরু (thick) এবং বেশি পরিমাণে ডোপ্‌ড (doped) বা ডোপায়িত করা হয়। কালেক্টর সবচেয়ে বেশি পুরু করা হয় যাতে উৎপন্ন তাপ তাড়াতাড়ি বিকিরিত হয়। এছাড়া কালেক্টরকে বেশি পরিমাণে ডোপড (doped) করা হয়। ট্রানজিস্টরে দুটি জাংশন থাকে। যথা এমিটার-বেস জাংশন এবং অপরটি বেস-কালেক্টর জাংশন। পূর্বে বলা হয়েছে যে,



(ক) ব্লক চিত্র প্রতীক চিত্র



(খ) ব্লক চিত্র প্রতীক চিত্র

চিত্র ১০.১৯

দুটি p-n জাংশনের সমন্বয়ে একটি ট্রানজিস্টর গঠিত হয়। একটিকে সম্মুখ ঝোঁক বা বায়াস যুক্ত এবং অপরটিকে বিপরীত ঝোঁক বা বায়াস যুক্ত করা হয়। সম্মুখ বায়াস যুক্ত জাংশনের রোধ বিপরীত বায়াস যুক্ত জাংশনের তুলনায় খুবই নগণ্য। দুর্বল সিগন্যাল (signal) বা সঙ্কেতকে কম রোধসমৃদ্ধ জাংশন বর্তনীতে প্রয়োগ করা হয় এবং উচ্চ রোধযুক্ত জাংশন বর্তনী থেকে আউটপুট নেয়া হয়।

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে একটি ট্রানজিস্টর একটি সিগন্যালকে স্বল্প রোধ থেকে উচ্চ রোধে ট্রান্সফার (transfer) করে। এটি রেজিস্ট্যান্সের (resistance) বা রোধের মাধ্যমে কারেন্ট ট্রান্সফার করে বলে এর নামকরণ ট্রান্সফার রেজিস্টর (transfer resistor) সংক্ষেপে ট্রানজিস্টর (transistor) করা হয়েছে। অন্যভাবে বলা যায় **তিন প্রান্তবিশিষ্ট যে ক্ষুদ্র অর্ধ-পরিবাহক পদার্থে বহির্মুখী প্রবাহ, ভোল্টেজ এবং ক্ষমতা অন্তর্মুখী প্রবাহ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় তাকে ট্রানজিস্টর বলে।**

জেনে রাখ : ট্রানজিস্টারের উপযোগিতা কী ? এর কোনো অসুবিধা আছে কী ?

ট্রানজিস্টরের উপযোগিতা হলো : (১) আকার খুব ছোট (২) এটি খুব সামান্য বিভবে কাজ করে (৩) এর ক্রিয়া তাৎক্ষণিক (৪) এটি দীর্ঘস্থায়ী (৫) এটি যান্ত্রিক কম্পন সহ্য করতে পারে (৬) এটি খুব সস্তা।

ট্রানজিস্টরের অসুবিধা : (১) এটি উষ্ণতার খুব সুগ্রাহী (২) এটি খুব কম উৎপাদন শক্তি দেয়।

ব্যবহার : তড়িৎ সংকেত বিবর্ধন করতে, উচ্চ গতি সুইচ হিসেবে ট্রানজিস্টর ব্যবহৃত হয়।

অনুসন্ধান : উচ্চ কম্পাঙ্কযুক্ত এবং কম্পিউটার বর্তনীতে n–p–n ট্রানজিস্টর ব্যবহার করা হয় কেন ?

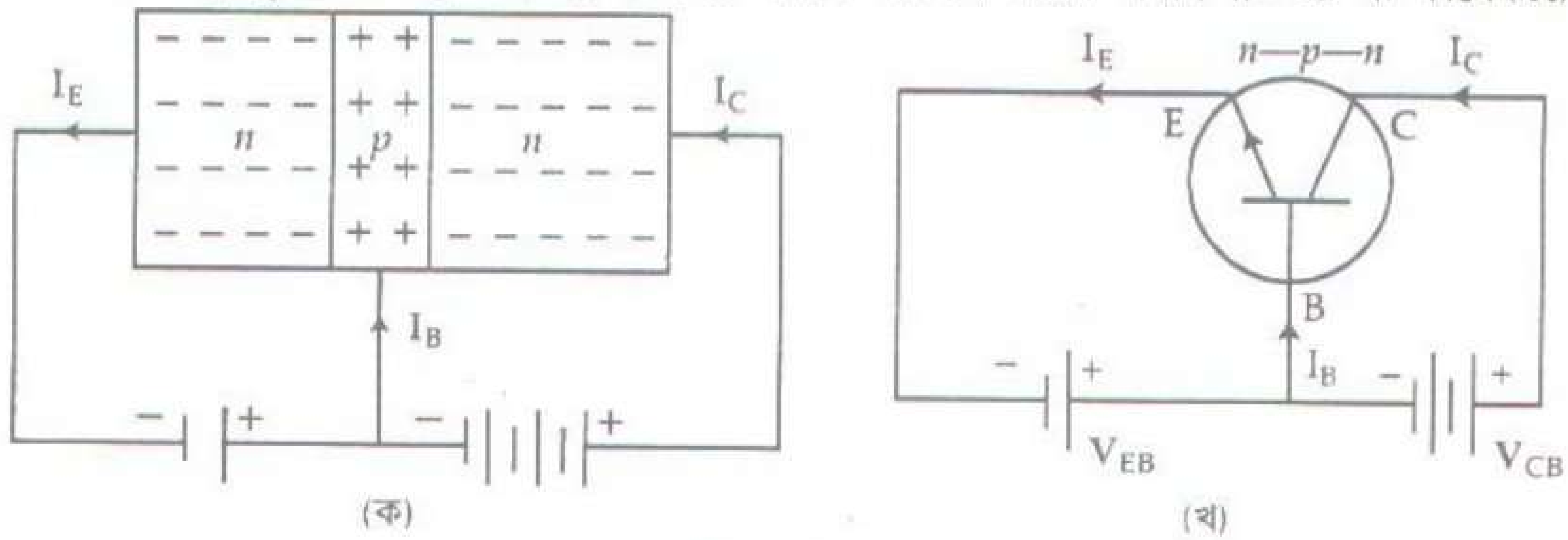
বাহক হিসেবে হোলের তুলনায় ইলেকট্রনের দ্রুতি বেশি। n–p–n ট্রানজিস্টরে সংখ্যাগুরু বাহক হলো ইলেকট্রন, তাই উচ্চ কম্পাঙ্কযুক্ত এবং কম্পিউটার বর্তনীতে n–p–n ট্রানজিস্টর ব্যবহার করা হয়।

কার্যক্রম
Working Principle

n-p-n ট্রানজিস্টর :

এখানে একটি n-p-n ট্রানজিস্টরের কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা করা হলো। চিত্র ১০.২০ (ক) ও (খ)-তে n-p-n ট্রানজিস্টরের বৈদ্যুতিক বর্তনী দেখানো হয়েছে। চিত্রে বামদিকের এমিটার বেস জাংশনকে সম্মুখ ঝোঁকে রাখা হয়েছে। ফলে p অঞ্চল n-অঞ্চলের তুলনায় বেশি ধনাত্মক হচ্ছে। এর ফলে n অঞ্চলের ইলেকট্রনগুলো সহজেই p অঞ্চলে চলে আসতে পারে। অর্থাৎ এমিটার থেকে ইলেকট্রনগুলো বেসে চলে আসে। ফলে ইমিটার বা নিঃসরক প্রবাহ I_E সৃষ্টি হয়। ইলেকট্রনগুলো p-টাইপ বেসে বা পীঠে প্রবেশ করার ফলে সেখানকার হোল-এর সাথে মিলতে চায়। কিন্তু বেস খুব পাতলা হওয়ার কারণে সামান্য কিছু ইলেকট্রন (5% প্রায়) হোল-এর সাথে মিলিত হয়ে খুব ক্ষুদ্র বেস প্রবাহ I_B সৃষ্টি করে।

ডানদিকের বেস কালেকটর জাংশনকে বিপরীত ঝোঁকে রাখায় কালেকটর অঞ্চল বেশি ধনাত্মক হয় এবং এমিটার থেকে বেসে প্রবাহিত ইলেকট্রনগুলোকে তীব্রভাবে n-অঞ্চলের দিকে আকর্ষণ করে। অর্থাৎ n-স্তর বা কালেকটর (সংগ্রাহক)



চিত্র ১০'২০

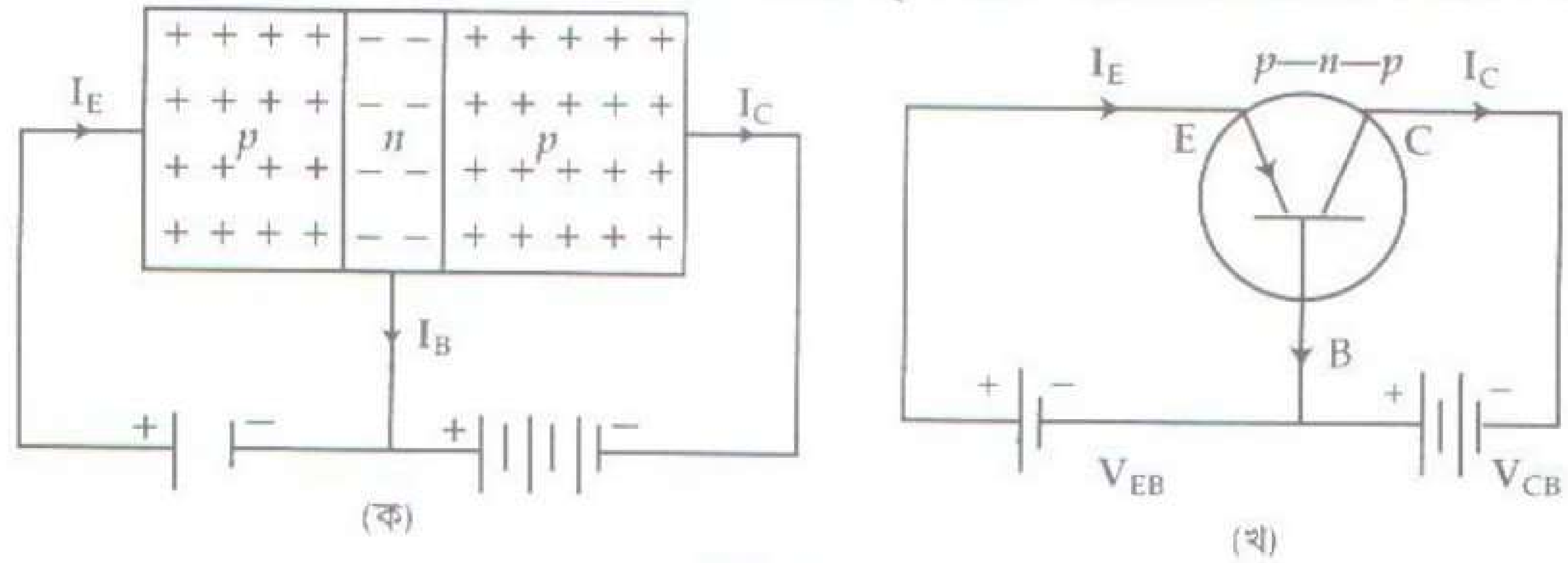
ইলেকট্রন সংগ্রহ করে। বেসের ভেতর দিয়ে আসার সময় কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন বেস অঞ্চলের 'হোল' (hole) পূরণ করে; কিন্তু প্রায় 95% ইলেকট্রন কালেক্টর অঞ্চলে ছুটে যায় এবং বেস থেকে কালেকটরে তড়িৎ প্রবাহ I_C সৃষ্টি হয়। বেস অঞ্চলে যাতে খুব সামান্য পরিমাণে ইলেকট্রন হোলের সঙ্গে মিলিত হয়ে নিরপেক্ষ হয়, সে কারণে বেসকে হাল্কা ডোপিং করে হোলের সংখ্যা কম করা হয়। বেস বা পীঠ অঞ্চল পাতলা হওয়ার কারণে ইলেকট্রনের অবস্থান ও সংখ্যা সংরক্ষিত হয়।

এভাবে প্রায় সম্পূর্ণ এমিটার বা নিঃসারক প্রবাহ কালেক্টর বা সংগ্রাহক বর্তনীতে প্রবাহিত হয়। সুতরাং দেখা যায় ইমিটার প্রবাহ হলো বেস প্রবাহ ও কালেকটর প্রবাহের সমষ্টি। অর্থাৎ

$$\boxed{I_E = I_B + I_C} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.2)$$

p-n-p **ট্রানজিস্টর :**

১০.২১ (ক) ও (খ) চিত্রে p-n-p ট্রানজিস্টরের ক্ষেত্রে বায়াসিং কার্যক্রম দেখানো হয়েছে। p অঞ্চল বা এমিটার থেকে 'হোল' বেসের মধ্যে প্রবেশ করে এবং কালেকটর বেশি ঋণাত্মক হওয়ায় হোলগুলো বেস থেকে তীব্রভাবে কালেকটরের দিকে ছুটে যায় এবং একটা প্রবল তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। এক্ষেত্রে এমিটার-বেস জাংশন সম্মুখ ঝোঁকে



চিত্র ১০·২১

এবং কালেকটর-বেস জাংশন বিপরীত ঝোঁকে রাখা হয়। সম্মুখ ঝোঁকের কারণে p অঞ্চলের ইমিটারের হোলগুলি বেসের দিকে প্রবাহিত হয়ে ইমিটার প্রবাহ I_E সৃষ্টি করে। আবার হোলগুলো n-অঞ্চলের বেসে প্রবেশ করে সেখানকার বিদ্যমান ইলেকট্রনগুলোর সাথে মিলতে চায়। বেস খুব পাতলা হওয়ায় প্রায় 5% হোল ইলেকট্রনের সাথে মিশে সামান্য বেস প্রবাহ I_B তৈরি করে। অবশিষ্ট হোল প্রায় 95% p অঞ্চলের কালেকটরে প্রবেশ করে। কালেকটর প্রবাহ I_C তৈরি করে। এভাবে প্রায় সম্পূর্ণ এমিটার বা নিঃসারক প্রবাহ কালেকটর বর্তনীতে প্রবাহিত হয়।

এমিটার অংশে চার্জের প্রবাহের জন্য সৃষ্ট কারেন্টকে এমিটার কারেন্ট বা নিঃসারক প্রবাহ (I_E), বেস অংশে ইলেকট্রন হোল মিলনের ফলে সৃষ্ট কারেন্টকে বেস কারেন্ট বা পীঠ বা ভূমি প্রবাহ (I_B) এবং কালেকটর অংশে চার্জের প্রবাহের জন্য কারেন্টকে কালেকটর কারেন্ট বা সংগ্রাহক প্রবাহ (I_C) বলা হয়। বেস কারেন্ট কালেকটর অংশে যায় না। এই কারেন্ট বেস প্রান্ত (Terminal) দিয়ে বেরিয়ে আসে। সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে এমিটার কারেন্টের সবটুকু কালেকটর অংশে যায় না; অর্থাৎ কালেকটর কারেন্টের মান এমিটার কারেন্টের চেয়ে কম হয়। এক্ষেত্রে I_E, I_B এবং I_C-এর নিম্নরূপ সম্পর্ক রয়েছে :

$$I_E = I_B + I_C \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (10.3)$$

হিসাব : একটি p-n-p ট্রানজিস্টরে 10^{-8} s সময়ে 10^{8}টি ইলেকট্রন এমিটারে প্রবেশ করে। যদি 1% ইলেকট্রন বেসে নষ্ট হয়, তবে কালেক্টরে প্রবাহের অংশ ও কালেক্টর গেইন কত হবে ?

এমিটার, কালেক্টর ও বেস প্রবাহের মধ্যে সম্পর্ক থেকে হিসাব কর। সমাধানকৃত মান হবে 0.99 এবং 99।

১০.১২ ট্রানজিস্টরের ব্যবহার
Use of a transistor

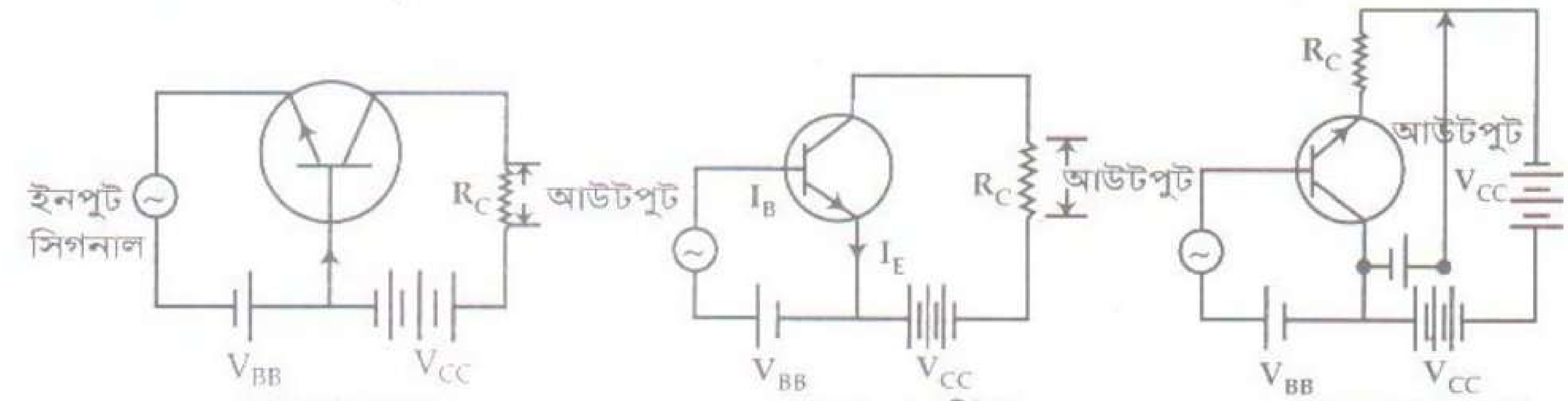
এ্যামপ্লিফায়ার বা বিবর্ধক হিসেবে ট্রানজিস্টরের ব্যবহার
Use of a transistor as an amplifier

'এ্যামপ্লিফাই' (Amplify) শব্দের অর্থ হচ্ছে কোনো কিছুর মান বাড়ানো। যে যন্ত্র বা ডিভাইস (Device) মান বৃদ্ধি করে তাকে এ্যামপ্লিফায়ার বলে। ইলেকট্রনিক্সে এ্যামপ্লিফায়ারের বা বিবর্ধকের কাজ হচ্ছে সিগন্যালের মাত্রা (level)-কে বাড়িয়ে দেওয়া। ট্রানজিস্টর সিগন্যালকে বহুগুণ বৃদ্ধি করতে পারে বলে বিবর্ধক হিসেবে এর ব্যাপক ব্যবহার হয়।

ট্রানজিস্টর সিগন্যালকে দুই ভাবে বৃদ্ধি করতে পারে— (১) বেস কারেন্টের সাহায্যে কালেকটর কারেন্টকে নিয়ন্ত্রণ করে এবং (২) আউটপুট রোধকে ইনপুটের রোধের তুলনায় অনেক বেশি মানের ব্যবহার করে।

ট্রানজিস্টরকে এ্যামপ্লিফায়ার হিসেবে ব্যবহারের সময় এমিটারকে সম্মুখ ঝোঁক বা বায়াসযুক্ত এবং কালেকটরকে বিপরীত ঝোঁক বা বায়াসযুক্ত রাখা হয়। ট্রানজিস্টরকে তিনটি প্রাথমিক বর্তনীর মাধ্যমে এ্যামপ্লিফায়ার হিসেবে ব্যবহার করা হয়। যথা—(১) কমন বেস (common base) বা সাধারণ পীঠ, (২) কমন এমিটার (common emitter) বা সাধারণ নিঃসারক এবং (৩) কমন কালেকটর (common collector) বা সাধারণ সংগ্রাহক এ্যামপ্লিফায়ার।

নিম্নে ১০.২২ চিত্রে n-p-n ট্রানজিস্টরের তিনটি প্রাথমিক বর্তনীর সংযোগ চিত্র দেখানো হলো :



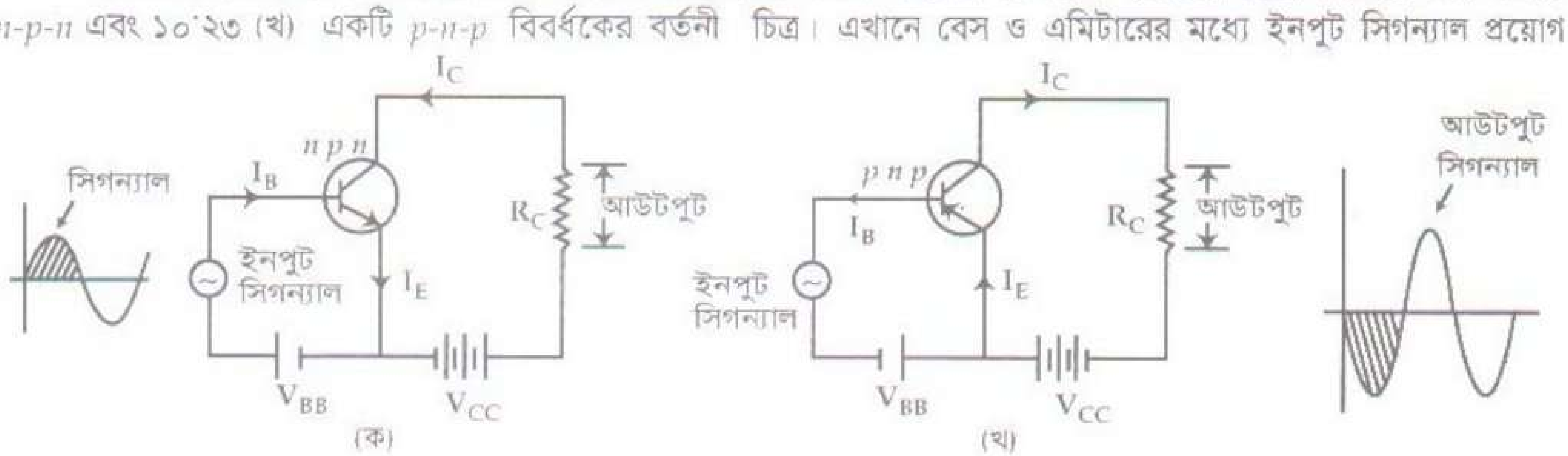
(ক) কমন বেস (খ) কমন এমিটার (গ) কমন কালেকটর

চিত্র ১০.২২

তিনটি বর্তনীর মধ্যে কমন এমিটার সার্কিট সবচেয়ে কার্যকরী বিধায় এর ব্যবহার সবচেয়ে বেশি। নিচের অনুচ্ছেদে আমরা একটি কমন এমিটার এ্যামপ্লিফায়ারের কার্যপ্রণালী বর্ণনা করব।

কমন এমিটার বিবর্ধক (Common Emitter Amplifier) :

বর্তনী চিত্র ১০.২৩-এ একটি কমন এমিটার বিবর্ধকের বর্তনী সংযোগ দেখানো হয়েছে। চিত্র ১০.২৩ (ক) একটি n-p-n এবং ১০.২৩ (খ) একটি p-n-p বিবর্ধকের বর্তনী চিত্র। এখানে বেস ও এমিটারের মধ্যে ইনপুট সিগন্যাল প্রয়োগ



(ক) n-p-n এ্যামপ্লিফায়ার বর্তনী। (খ) p-n-p এ্যামপ্লিফায়ার বর্তনী।

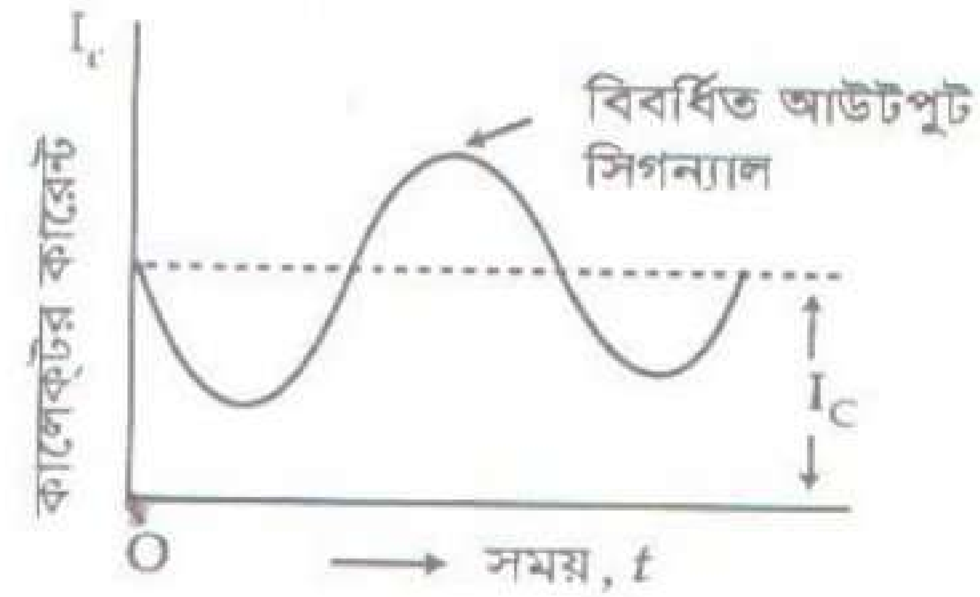
চিত্র ১০.২৩

করা হয় এবং কালেক্টর ও এমিটারের মধ্য থেকে আউটপুট নেয়া হয়। যেহেতু ইনপুট এবং আউটপুট উভয় ক্ষেত্রে এমিটার কমন (common), তাই এর নামকরণ কমন এমিটার বিবর্ধক।

এসি সিগন্যাল ভোল্টেজ ছাড়াও এখানে একটি ব্যাটারী (V_{BB}) ইনপুট সার্কিটে ব্যবহার করা হয়েছে। এই ডি. সি. ভোল্টেজকে বলা হয় বায়াস ভোল্টেজ; এবং এর মান এমন হয় যেন এসি সিগন্যালের ঋণাত্মক অর্ধেকের সময় এমিটার বেস জাংশন সম্মুখ ঝোঁকে থাকে। তা না হলে এমিটার বেস জাংশন বিপরীত ঝোঁক প্রাপ্ত হবে এবং আউটপুট বর্তনীতে কোনো প্রবাহ থাকবে না, ফলে এ্যামপ্লিফায়ার বিশ্বস্ততা হারাবে।

কার্যপ্রণালী (Working principle) : এমিটার বেস জাংশনে প্রযুক্ত সিগন্যালের ধনাত্মক অর্ধাংশের সময় জাংশনটির সম্মুখ ঝোঁক বৃদ্ধি পায়। ফলে অধিক পরিমাণ ইলেকট্রন এমিটার থেকে বেসের মধ্য দিয়ে কালেকটরে প্রবাহিত হয় এবং কালেকটর প্রবাহ বৃদ্ধি পায়। এই বর্ধিত কালেকটর প্রবাহ (I_C) কালেকটরের ভার রোধ (load resistance) R_c-তে অধিক পরিমাণে বিভব পতন (voltage drop) ঘটায়। অর্থাৎ বহির্গামীতে অধিক ভোল্টেজ পাওয়া যায়।

সিগন্যালের ঋণাত্মক অর্ধাংশের জন্য এমিটার বেস জাংশনের সম্মুখ ঝোঁক কমে যায় ফলে কালেকটর প্রবাহের মাত্রাও কমে যায়। কালেকটর প্রবাহ কম হওয়ায় বর্তনীর আউটপুট ভোল্টেজ (output voltage) কম হয় তবে তা ইনপুট সিগন্যাল থেকে বেশি হয়। সুতরাং এভাবে ট্রানজিস্টর বিবর্ধিত আউটপুট তৈরি করে। এই বিবর্ধিত আউটপুটের এবং ইনপুটের মধ্যে দশা পার্থক্য 180° হয়। চিত্র ১০.২৪-এ কালেক্টরের সম্পূর্ণ প্রবাহ সময়ের সঙ্গে পরিবর্তন দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১০.২৪

ট্রানজিস্টর অ্যামপ্লিফায়ারের ব্যবহার :

(১) ইন্টারকমে ব্যবহার করা হয়।
(২) অ্যালার্ম সার্কিটে ব্যবহার করা হয়।
(৩) রেডিওতে ব্যবহার করা হয়।
(৪) মাইকে ব্যবহার করা হয়।

প্রবাহ লাভ (Current gain) : সাধারণ নিঃসরক বিন্যাসের বেলায় বা কমন এমিটার বিবর্ধকে ইনপুট কারেন্ট হলো I_B এবং আউটপুট কারেন্ট I_C। I_B এর সামান্য পরিবর্তনের জন্য I_C-এর যে পরিবর্তন হয় তাকে প্রবাহ লাভ (β) বলে। অর্থাৎ V_{CE} ধ্রুব থাকলে I_C এর পরিবর্তন ΔI_C এবং I_B এর পরিবর্তন ΔI_B এর অনুপাতকে বলা হয় প্রবাহ লাভ। সুতরাং

$$\text{প্রবাহ লাভ, } \beta = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right)_{V_{CE}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.4)$$

প্রবাহ বিবর্ধন গুণক (Current amplification factor) :

সাধারণ পীঠ বা কমন বেস বিবর্ধকের ক্ষেত্রে ইনপুট কারেন্ট হলো I_E এবং আউটপুট কারেন্ট I_C। I_E-এর সামান্য পরিবর্তনের জন্য I_C-এর যে পরিবর্তন হয় তাকে প্রবাহ বিবর্ধন গুণক (α) বলে। সংগ্রাহক পীঠ ভোল্টেজ V_{CB} ধ্রুব থাকলে I_C ও I_E এর অনুপাতকে কারেন্ট বিবর্ধন গুণক বলে।

$$\text{অর্থাৎ} \quad \alpha = \left(\frac{I_C}{I_E}\right)_{V_{CB}} = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}\right)_{V_{CB}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.5)$$

α এবং β-এর মধ্যে সম্পর্ক

সমীকরণ (10.3) হতে পাই,

$$I_E = I_B + I_C$$

বা, $\Delta I_E = \Delta I_B + \Delta I_C$

বা, $\Delta I_B = \Delta I_E - \Delta I_C \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.6)$

সমীকরণ (10.4) অনুসারে, $\beta = \dfrac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$

$$\text{বা,} \quad \beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E - \Delta I_C} = \frac{\Delta I_C / \Delta I_E}{1 - \Delta I_C / \Delta I_E}$$

$$= \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad [\because \alpha = \Delta I_C / \Delta I_E] \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10.7)$$

হিসাব : একটি কমন বেস সংযোগে কারেন্ট বিবর্ধন ফ্যাক্টর হলো 0·9 এবং এমিটার কারেন্ট 1 mA হলে বেস কারেন্ট কত?

এখানে, $\alpha = 0·9$, $I_E = 1$ mA

$\alpha = \frac{I_C}{I_E}$ থেকে I_C নির্ণয় করতে হবে।

এরপর $I_E = I_B + I_C$ সমীকরণে $I_E = 1$ mA ও উপরের প্রাপ্ত I_C এর মান বসিয়ে I_B নির্ণয় করা হয়।

গাণিতিক উদাহরণ

১। ট্রানজিস্টর-এর সাধারণ পীঠ সংযোগে রয়েছে। এর নিঃসারক প্রবাহ 0·85 mA এবং পীঠ প্রবাহ 0·05 mA। প্রবাহ বিবর্ধন গুণক α বের কর। [ঢা. বো. ২০১০, ২০০৫; সি. বো. ২০০৬; রা. বো. ২০০৪; কু. বো. ২০০২]

আমরা জানি,

$$I_E = I_C + I_B$$
$$I_C = I_E - I_B = (0·85 - 0·05)\text{ mA} = 0·80\text{ mA}$$

এখন, $$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{0·80}{0·85} = 0·94$$

এখানে,
$I_B = 0·05$ mA
$I_E = 0·85$ mA

২। কোনো ট্রানজিস্টরের কমন বেস সার্কিটে এমিটার কারেন্ট 100 μA থেকে 150 μA-এ উন্নীত করায় কালেক্টর কারেন্ট 98 μA থেকে 147 μA-এ উন্নীত হলো। এক্ষেত্রে কারেন্ট এ্যামপ্লিফিকেশন ফ্যাক্টর নির্ণয় কর। [য. বো. ২০০৬]

আমরা জানি,

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \frac{49 \times 10^{-6}}{50 \times 10^{-6}} = 0·98$$

এখানে,
$\Delta I_E = 150\ \mu A - 100\ \mu A = 50\ \mu A = 50 \times 10^{-6}$ A
$\Delta I_C = 147\ \mu A - 98\ \mu A = 49\ \mu A = 49 \times 10^{-6}$ A
$\alpha = ?$

৩। একটি ট্রানজিস্টরের নিম্নলিখিত রাশিগুলি পরিমাপ করা হলো। $I_C = 5$ mA ; $I_B = 100\ \mu$A। ট্রানজিস্টারের α, β এবং I_E-এর মান বের কর। [রা. বো. ২০০৫]

আমরা জানি, $\beta = \frac{I_C}{I_B}$

সুতরাং, প্রশ্নানুসারে, $$\beta = \frac{5 \times 10^{-3}\text{ A}}{100 \times 10^{-6}\text{ A}} = \frac{5 \times 10^{-3}\text{ A}}{0·1 \times 10^{-3}\text{ A}} = 50$$

আবার, $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$

$$50 = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

বা, $50 - 50\alpha = \alpha$

বা, $-51\alpha = -50$

বা, $\alpha = \frac{50}{51} = 0·98$

এখন, $$I_E = I_B + I_C = 100\ \mu A + 5\text{ mA} = 0·1\text{ mA} + 5\text{ mA} = 5·1\text{ mA}$$

দেওয়া আছে,
$I_C = 5\text{ mA} = 5 \times 10^{-3}$ A
$I_B = 100\ \mu A = 0·1 \times 10^{-3}$ A

৪। একটি n-p-n ট্রানজিস্টরকে সাধারণ নিঃসারক বর্তনীতে রাখা আছে। ট্রানজিস্টরটির প্রবাহ লাভ, $\beta=100$। সংগ্রাহক প্রবাহ 1 mA পরিবর্তিত হলে নিঃসারক প্রবাহের পরিবর্তন কত হবে ?

আমরা জানি,

প্রবাহ লাভ, $\beta = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right)_{V_{CE}}$

অর্থাৎ, $\Delta I_B = \frac{\Delta I_C}{\beta} = \frac{1}{100} = 0{\cdot}01$ mA

$\therefore \quad \Delta I_E = \Delta I_C + \Delta I_B = 1 + 0{\cdot}01 = 1{\cdot}01$ r

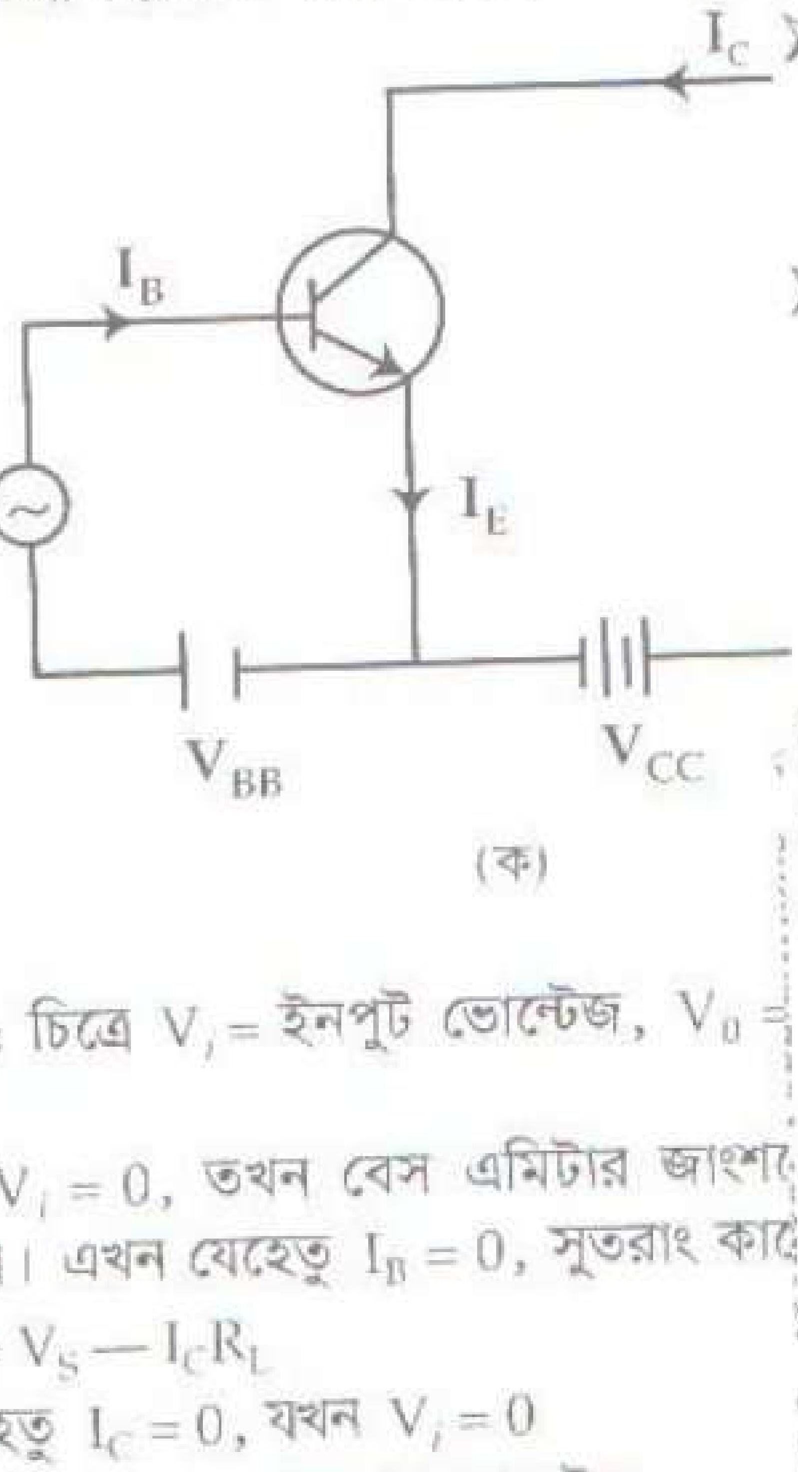
এখানে,

$\beta = 100$

সুইচ হিসেবে ট্রানজিস্টরের ব্যবহার
Use of Transistor as switch

যে কোনো আদর্শ সুইচকে 'অন' (On) করলে (একটি ওপেন সার্কিট (Open circuit) তৈরি হয়। এছাড় বা 'অন' অবস্থা থেকে 'অফ' অবস্থায় চলে যেতে পার

একটি ট্রানজিস্টর আদর্শ সুইচের শর্তগুলো সা বর্তনীতে এর বহুল ব্যবহার রয়েছে। ট্রানজিস্টরে বেস তড়িৎ প্রবাহ চলে না। সুতরাং ট্রানজিস্টরকে সুইচ হি 'অফ' করা যেতে পারে। চিত্র নং ১০'২৫(ক)-এ একটি এটি একটি সুইচ বর্তনী হিসেবে কাজ করে।



(ক)

কার্যনীতি : চিত্রে V_i = ইনপুট ভোল্টেজ, V_0 = পার্থক্য।

(i) যখন $V_i = 0$, তখন বেস এমিটার জাংশ কারেন্ট $I_B = 0$ হয়। এখন যেহেতু $I_B = 0$, সুতরাং কা

$V_0 = V_S - I_C R_L$

এখন যেহেতু $I_C = 0$, যখন $V_i = 0$

$\therefore \quad V_0 = V_S$, V_S = সরবরাহ ভোল্টেজ

V_i কে আস্তে আস্তে বৃদ্ধি করলে এবং যত সামান্য বৃদ্ধি পায়; I_Cও সামান্য বৃদ্ধি পায়। এই অ তখন $I_C = 0$।

ট্রায়োড: ৩টি তড়িৎদ্বার থাকে। i. ফিলামেন্ট ii. প্লেট iii. গ্রীড

ব্যবহার: i. বিবর্ধক বা অ্যাম্প্লিফায়ার ii. স্পন্দক বা অসিলেটর iii. উদ্ঘাটক বা ডিটেকটর।

গতীয় রোধঃ যে বিভব পার্থক্যে p–n জংশন কাজ করে তাকে গতীয় রোধ বলে। গতীয় রোধ হল- $R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$

জেনার বিভবঃ যে ভোল্টেজের জন্য বিমুখী ঝোঁকের হঠাৎ করে তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যায় তাকে জেনার বিভব বলে। এ ক্রিয়াকে জেনার ক্রিয়া বলে।

রেকটিফায়ার হিসাবে p–n জংশনঃ অর্ধতরঙ্গ রেকটিফায়ারঃ একটি ডায়োড ব্যবহার করে অর্ধতরঙ্গ রেকটিফায়ার তৈরি করা হয়।

পূর্ণ তরঙ্গ রেটিফায়ারঃ দুটি ডায়োড ব্যবহার করা হয়।

একটি p-টাইপ ও একটি n-টাইপ অর্ধ পরিবাহীকে বিশেষ ব্যবস্থাধীন সংযুক্ত করলে সংযোগ পৃষ্ঠ p - n জাংশন বলা হয়।

LED এর ব্যবহারঃ অপটিক্যাল যোগাযোগ, ইন্ডিকেটর বাতি এবং ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্স ইত্যাদিতে LED ব্যবহার করা হয়। ডিজিটাল যন্ত্রসমূহের রঙিন বর্ণ বা সংখ্যা সৃষ্টি ও প্রদর্শনের জন্য ব্যবহার করা হয়।

ট্রানজিষ্টরের চারিত্রিক বৈশিষ্টঃ

- কারেন্ট গেইন ফ্রাক্টর (α)
- কারেন্ট গেন ফ্যাক্টর (β)
- ইনপুট বা নিবেশ রোধ;
- আউটপুট বা উৎপাদরোধ;
- লিকেজ কারেন্ট বা ক্ষারণ প্রবাহ।
- সর্বোচ্চ ক্ষমতা অবক্ষয়।
- কারেন্ট ও ভোল্টেজের সর্বোচ্চ সহনশীল মাত্রা।

FET দুই ধরনের:

১। Junction field effect transistor (JFET) বা জংশন ফেট।

২। Insulated gate field effect transistor (IGFET) বা অন্তরক ফটক বা MOSFET (মসফেট) বা ধাতব অক্সাইড অর্ধপরিবাহী ফেট।

Device. FET এর ব্যবহারঃ

১। Bipolar transistor যে সমস্ত কাজে ব্যবহৃত হয় FET ও প্রায় সেসব কাজে ব্যবহৃত হয়। তবে FET এককভাবে অনেক কাজে ব্যবহৃত হয়।

২। FET এর ইনপুটে উচ্চ রোধ/বাধা (Impedence) এবং আউটপুটে স্বল্প রোধ/বাধা থাকার কারনে Bipolar transistor এর চেয়ে এটি উন্নতমানের ও এর ব্যবহার বেশি।

৩। FET এর ইনপুটে উচ্চ বাধা/রোধ জন্য বর্তনীতে লেডিং ক্রিয়া খুব কম হয়। তাই উন্নত মানের ভোল্টমিটার, বিভিন্ন পরিমান যন্ত্রপাতিতে, দোলন দর্শী (Dscilloscope) ইত্যাদিতে বহুল ব্যবহৃত হয়।

৪। লজিক বর্তনীতে FET এর প্রচুর ব্যবহার আছে।

এখন V_i বৃদ্ধি পেয়ে V_2 হলে, কালেক্টর কারে বিভব পতন প্রায় সরবরাহ ভোল্টেজ V_S এর সমান হয়। ... (10.8) অনুযায়ী তখন $V_0 = 0$ হয়। ... V_i এর মান V_2 এর বেশি হলে I_C এর তেমন একটা পরিবর্তন ঘটে না বিধায় আউটপুট ভোল্টেজ V_0 এর ওপর কোনো প্রভাব পড়ে না। এই অবস্থায় ট্রানজিস্টরটি সম্পৃক্ত (Saturated) হয়েছে বলা হয়।

সুতরাং দেখা যায় যে ইনপুট ভোল্টেজ পরিবর্তন করে ট্রানজিস্টরটি দুটি অবস্থানে পরিবর্তন করা যায়। একটি বিচ্ছিন্ন (cut off) অবস্থা ($V_0 = V_S$) এবং অন্যটি সম্পৃক্ত (saturated) অবস্থা ($V_0 = 0$)। ট্রানজিস্টরের এই চালু এবং বন্ধ (off and on) অবস্থা ডিজিটাল কম্পিউটারে ব্যবহৃত হয়। একটি ট্রানজিস্টর প্রতি সেকেন্ডে বহু লক্ষবার অবস্থা

পরিবর্তন করতে পারে। এক সুইচের আউটপুটকে অন্য সুইচের ইনপুট হিসেবে ব্যবহার করা যায় এবং বহু সংখ্যক সুইচকে যুক্ত করে অতি দ্রুততার সঙ্গে জটিল গাণিতিক হিসাব সম্পন্ন করা যায়।

১০.১৩ সংখ্যা বা নম্বর পদ্ধতি
Number System

সভ্যতার শুরু থেকেই মানুষের মাঝে হিসাব বা গণনা করার ধারণা জন্মায়। তখন থেকেই প্রয়োজন ও সুবিধা অনুযায়ী বিভিন্ন ধরনের গণনা পদ্ধতি সৃষ্টি হতে থাকে। গণনা প্রক্রিয়ার মধ্যে ডিজিটাল পদ্ধতি হলো এমন একটি প্রক্রিয়া যাতে আলাদা আলাদা একক ব্যবহৃত হয়, যেমন হাত, আঙ্গুল, ডিজিট (0, 1, 2, 3 ....) ইত্যাদি। এই একক বা ইউনিটগুলো এককভাবে বা গুচ্ছাকারে ব্যবহার করে কোনো পূর্ণ সংখ্যা প্রকাশ করা যায়।

কোনো সংখ্যা লেখা বা প্রকাশ করার পদ্ধতিকেই সংখ্যা বা নম্বর পদ্ধতি বলে। সংখ্যা তৈরি করার বিভিন্ন প্রতীকই হলো অঙ্ক। সংখ্যা পদ্ধতির সাহায্যে অঙ্ক ব্যবহার করে যে কোনো পরিমাণ (quantity) প্রকাশ করা যায়, যেমন দশমিক পদ্ধতিতে 507 সংখ্যাটি 5, 0 ও 7 আলাদা তিনটি অঙ্কের দ্বারা গঠিত হয়েছে। সংখ্যা পদ্ধতিতে কিছু নির্দিষ্ট অঙ্ককে নিয়ম অনুসরণ করে সাজালে বিভিন্ন সংখ্যা পাওয়া যায়। এসব সংখ্যাকে বিভিন্ন গাণিতিক নিয়ম, যেমন— যোগ, বিয়োগ, গুণ, ভাগ ইত্যাদি দ্বারা গণনার কাজ সম্পন্ন করা যায়।

সংখ্যা পদ্ধতির ভিত (Base of number system) :

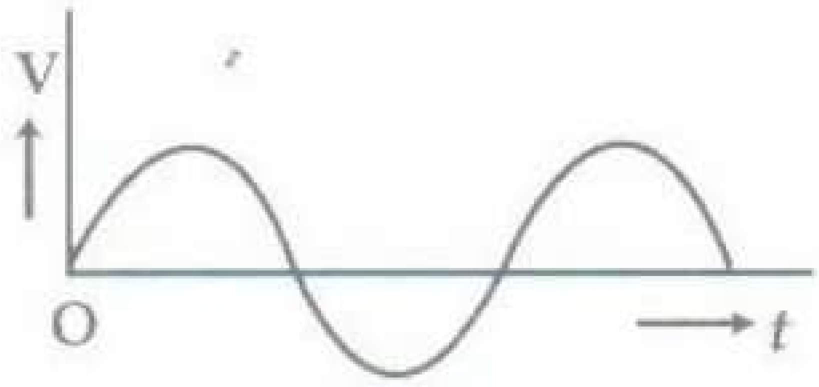
কোনো সংখ্যা পদ্ধতির ভিত বা বেস হচ্ছে ঐ পদ্ধতিতে ব্যবহৃত মৌলিক চিহ্নসমূহের মোট সংখ্যা। যেমন দশমিক পদ্ধতিতে দশটি মৌলিক চিহ্ন আছে; যথা— 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9। সুতরাং এর ভিত্তি বা বেস 10। সংখ্যা পদ্ধতির বেস বা ভিতের উপর নির্ভর করে পজিশনাল সংখ্যা পদ্ধতি বিভিন্ন ধরনের হতে পারে। ডিজিটাল সার্কিটে চার ধরনের গাণিতিক সিস্টেম ব্যবহৃত হয়। এগুলি হলো :

১। দশমিক বা 10 ভিত্তিক সংখ্যা পদ্ধতি
২। বাইনারি বা 2 ভিত্তিক সংখ্যা পদ্ধতি
৩। অক্ট্যাল বা 8 ভিত্তিক সংখ্যা পদ্ধতি
৪। হেক্সাডেসিমেল বা 16 ভিত্তিক সংখ্যা পদ্ধতি ইত্যাদি।

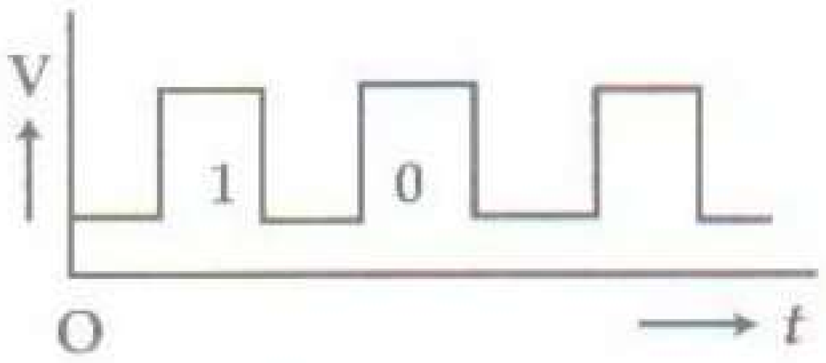
পরিকল্পিত কাজ : ডিজিটাল ও এনালগ পদ্ধতির মধ্যে পার্থক্য কী ? ডিজিটাল ও এনালগ সিগনাল অঙ্কন করে দেখাও।

ডিজিটাল পদ্ধতি হলো এমন একটি প্রক্রিয়া যাতে আলাদা আলাদা একক ব্যবহৃত হয়। যেমন হাত, আঙ্গুল, ডিজিট (0, 1, 2, ...) ইত্যাদি, এই একক বা ইউনিটগুলো এককভাবে বা গুচ্ছাকারে ব্যবহার করে কোনো পূর্ণ সংখ্যা প্রকাশ করা যায়।

এনালগ পদ্ধতি হলো এমন একটি প্রক্রিয়া যাতে সরাসরি পরিমাপযোগ্য পরিমাণ ব্যবহৃত হয়। যেমন তোল, ঘূর্ণন, দূরত্ব ইত্যাদি যোগাযোগ ব্যবস্থায় এনালগ এবং ডিজিটাল উভয় পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়। নিচের ১০.২৬ চিত্রে উভয় প্রকার সিগনাল দেখান হলো।



অ্যানালগ সিগনাল



ডিজিটাল সিগনাল

চিত্র ১০.২৬

১। ডেসিমাল বা দশমিক সংখ্যা পদ্ধতি (Decimal Number System) :

দশমিক পদ্ধতি ভিত্তি বা বেস হচ্ছে 10। কারণ এই পদ্ধতিতে মোট 10টি মৌলিক চিহ্ন আছে। যথা— 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9।

স্থানীয় মান : আমাদের প্রয়োজনীয় গাণিতিক কাজগুলো সাধারণত দশমিক সংখ্যা পদ্ধতিতে করা হয়। দশমিক পদ্ধতির একটি সংখ্যা যেমন 528 ধরা যাক। এই সংখ্যাটির 5 অঙ্কটির নিজের মান 5, এটি সংখ্যাটি তৃতীয় অবস্থানে (অর্থাৎ শতকের ঘরে) রয়েছে। এখানে সংখ্যা পদ্ধতির বেস বা ভিত 10। সংখ্যাটিকে গাণিতিক ভাষায় লেখা যায়,

$$5 \times 100 + 2 \times 10 + 8 \times 1$$

বা, $5 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 8 \times 10^0$

উল্লেখ্য, শূন্য ছাড়া যে কোনো সংখ্যার ঘাত (Power) শূন্য হলে তার মান 1 হয়।

কোনো একটি দশমিক সংখ্যা প্রকাশের জন্য একক, দশক, শতকের ঘর অর্থাৎ 10^0, 10^1, 10^2 ইত্যাদির ঘর আছে। এখানে প্রত্যেকটি স্থানকেই 10 এর পাওয়ার (Power) হিসেবে দেখানো হয়েছে।

ডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতিতে

$432.45_{10} = 4 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 2 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$

২। বাইনারি সংখ্যা পদ্ধতি (Binary Number System) :

বাইনারি পদ্ধতিতে 0 এবং 1 এই দুটি মাত্র অঙ্ক ব্যবহার করা হয়। এজন্য এই পদ্ধতিকে দ্বিমিক সংখ্যা পদ্ধতিও বলা হয়। এ সংখ্যা পদ্ধতির ভিত্তি বা বেস 2। এই পদ্ধতিতে ব্যবহৃত 0 বা 1 অঙ্ককে বিট বলা হয়। সাধারণত 8টি বিট সমন্বয়ে 1টি বাইট (byte) গঠিত হয়।

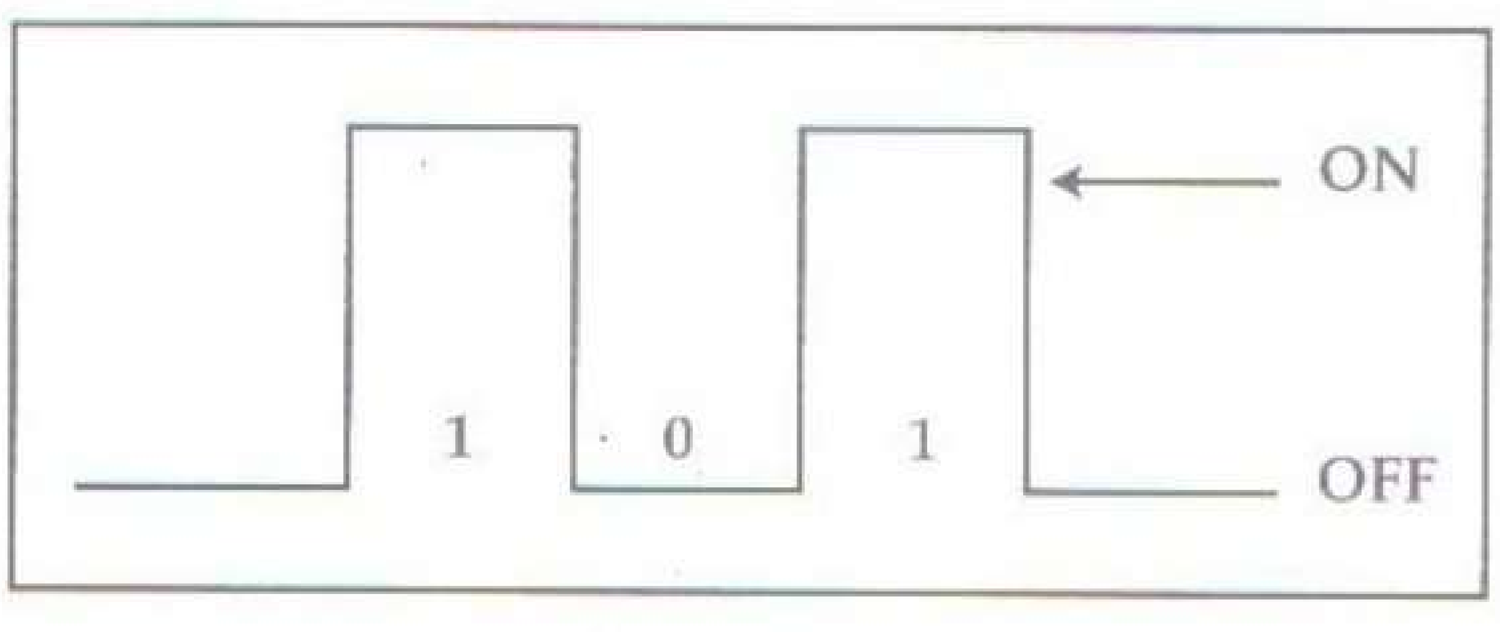
দশমিক পদ্ধতিতে 0 থেকে 9 পর্যন্ত গণনার জন্য একটি স্থান প্রয়োজন এবং তার পরে দ্বিতীয় বা অন্যান্য স্থান ব্যবহার করা হয়। যেমন 9 এর পরে 10 হয়। তেমনি বাইনারি পদ্ধতির 0 এবং 1 গণনার জন্য একটি স্থান, তারপরে দ্বিতীয় বা অন্যান্য স্থান প্রয়োজন হয়। নিচের সারণিতে দশমিক ও সমকক্ষ বাইনারি নিয়মে গণনা দেখানো হয়েছে।

সারণি-১

দশমিক পদ্ধতি	বাইনারি পদ্ধতি
0	0
1	1
2	10
3	11
4	100
5	101
6	110
7	111
8	1000
9	1001
10	1010

বাইনারি পদ্ধতি হলো সরলতম গণনা পদ্ধতি। বাইনারি বা 2 ভিত্তিক পদ্ধতি কম্পিউটারের জন্য প্রযোজ্য। 0 এবং 1 কে বিভিন্নভাবে সাজিয়ে সকল সংখ্যাকে বাইনারি সংখ্যায় লেখা যায়। এই পদ্ধতির বিট দুটিকে সহজে ইলেকট্রনিক উপায়ে নির্দেশ করা সম্ভব। কম্পিউটার বা ইলেকট্রনিক যন্ত্র দুটি অবস্থা সহজেই অনুধাবন করতে পারে। একটি হলো লজিক লেভেল 0, একে OFF, LOW, FALSE কিংবা NO-ও বলা হয়। অন্যটি হলো লজিক লেভেল, 1, একে ON, HIGH, TRUE কিংবা YES-ও বলা হয়।

পার্শ্বের চিত্রে ডিজিটাল সংকেত দ্বারা ON ও OFF বা 1 ও 0 কে দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১০.২৭

উদাহরণ I : বাইনারি 101011_2-কে ডেসিমেলে প্রকাশ কর।

বাইনারি সংখ্যা পদ্ধতিতে,

$$101011_2 = 1 \times 2^5 + 0 \times 10^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$
$$= 32 + 0 + 8 + 0 + 2 + 1 = 43$$

$\therefore \; 101011_2 = 43_{10}$ (ডেসিমেলে প্রকাশিত)

উদাহরণ II : ডেসিমেল 25_{10}কে বাইনারিতে প্রকাশ কর।

2	25	ভাগশেষ
2	12 —	1
2	6 —	0
2	3 —	0
2	1 —	1
	0 —	1

$\therefore \; 25_{10} = 11001_2$

উদাহরণ III : ডেসিমেল 25.625_{10}-কে বাইনারিতে প্রকাশ কর।

পূর্ণসংখ্যার ক্ষেত্রে

$25 \div 2 = 12 + 1$
$12 \div 2 = 6 + 0$
$6 \div 2 = 3 + 0$
$3 \div 2 = 1 + 1$
$1 \div 2 = 0 + 1$

$\therefore \; 25_{10} = 11001_2$

দশমিকের ক্ষেত্রে

$0.625 \times 2 = 1.25 = 0.25 + 1$
$0.25 \times 2 = 0.5 = 0.5 + 0$
$0.5 \times 2 = 1.0 = 0.0 + 1$

$\therefore \; 0.625_{10} = .101_2$

সুতরাং, $25.625_{10} = 11001.101_2$

৩। অক্টাল সংখ্যা পদ্ধতি (Octal Number System) :

অক্টাল সংখ্যা পদ্ধতির বেস 8। এই পদ্ধতির আটটি অঙ্ক হলো 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 ও 7। আধুনিক কম্পিউটার উন্নয়নের প্রাথমিক অবস্থায় এই গণনা পদ্ধতি ব্যবহার করা হত। সারণিতে অক্টাল পদ্ধতিতে গণনার রীতি দেখানো হয়েছে।

সারণি-২

দশমিক পদ্ধতি	অক্টাল পদ্ধতি
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	10
9	11
10	12
11	13

উদাহরণ I : 56_{10} সংখ্যাকে অক্টাল বা 8 ভিত্তিক সংখ্যায় রূপান্তর কর।

8	56 –	ভাগশেষ
8	7 –	0
	0 –	7

$\therefore \; 56_{10} = 70_8$

উদাহরণ II : 0.15_{10}কে 8 ভিত্তিক সংখ্যায় রূপান্তর কর।

$0.15 \times 8 = 1.20 = 0.20 + 1$
$0.20 \times 8 = 1.60 = 0.60 + 1$
$0.60 \times 8 = 4.80 = 0.80 + 4$

$\therefore \; 0.15_{10} = 0.114_8$

উদাহরণ III : 352_8-কে বাইনারিতে রূপান্তর কর।

প্রথমে প্রত্যেক ডিজিটের অবস্থান মান (Position value) জানতে হবে যা 8 এর বিভিন্ন পাওয়ার দ্বারা নির্দেশিত হয় যেমন—

$$\longleftarrow 8^3 \quad 8^2 \quad 8^1 \quad 8^0 \quad \cdot \quad 8^{-1} \quad 8^{-2} \quad 8^{-3} \longrightarrow$$

↑

অক্টাল পয়েন্ট

3	5	2
8^2	8^1	8^0
64	8	1

$$\therefore \quad 352_8 = 3\times8^2+5\times8^1+2\times8^0$$
$$= 3\times64+5\times8+2\times1$$
$$= 192+40+2 = 234_{10}$$

উদাহরণ IV : $206{\cdot}104_8$-কে ডেসিমেলে রূপান্তর কর।

প্রথমে প্রত্যেক ডিজিটের অবস্থান মান (Position value) জানতে হবে যা 8 এর বিভিন্ন পাওয়ার দ্বারা নির্দেশিত হয় যেমন—

2	0	6	1	0	4
8^2	8^1	8^0	8^{-1}	8^{-2}	8^{-3}

$$206 = 2\times8^2+6\times8^0 = 134 \qquad 0{\cdot}104 = \frac{1}{8}+\frac{4}{8^3} = \frac{17}{128}$$

$$\therefore \quad 206{\cdot}104_8 = \left(134+\frac{17}{128}\right)_{10}$$

৪। হেক্সাডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতি (Hexadecimal Number System) :

হেক্সাডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতির বেস 16। এই পদ্ধতির গণনার জন্য 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F এই 16টি চিহ্ন ব্যবহৃত হয়। এই পদ্ধতিতে গণনার রীতি সারণি-৩ এ দেখানো হয়েছে। ছোট বড় প্রায় সকল কম্পিউটারে এই গণনা পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়।

সারণি ৩ : বিভিন্ন সংখ্যা পদ্ধতির গণনা

দশমিক পদ্ধতি	বাইনারি পদ্ধতি	অক্টাল	হেক্সাডেসিমেল
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	10000	20	10
17	10001	21	11

বাইনারি থেকে হেক্সাডেসিমেলে রূপান্তর করতে প্রাপ্ত সংখ্যাকে 4 বিট গ্রুপে বিভক্ত করে নিতে হবে।

উদাহরণ I : 1011010111_2-কে হেক্সাডেসিমেলে রূপান্তর কর।

0010	1101	0111
2	D	7

$\therefore\ 1011010111_2 \rightarrow 2D7_{16}$

উদাহরণ II : 10001100_2-কে হেক্সাডেসিমেলে রূপান্তর কর।

1000	1100
8	C

$\therefore\ 10001100_2 = 8C_{16}$

উদাহরণ III : $EACF_{16}$ -কে বাইনারিতে রূপান্তর কর।

E — 1110, A — 1010, C — 1100, F — 111

$\therefore\ EACF_{16} = 1110\ 1010\ 1100\ 1111_2$

উদাহরণ IV : $22A_{16}$-কে বাইনারিতে রূপান্তর কর।

2	2	A
0010	0010	1010

$\therefore\ 22A_{16} = 001000101010_2$

সংখ্যা পদ্ধতির রূপান্তর (Conversion of Number System) : দৈনন্দিন জীবনে আমরা ডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতি ব্যবহার করি; কিন্তু কম্পিউটারে বাইনারি, অক্টাল কিংবা হেক্সাডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতি ব্যবহৃত হয়। এখন আমরা বিভিন্ন সংখ্যা পদ্ধতির রূপান্তর আলোচনা করব।

দশমিক সংখ্যা পদ্ধতি হতে অন্য যে কোনো সংখ্যা পদ্ধতিতে রূপান্তরের নিয়ম : কোনো সংখ্যার দুটি অংশ থাকতে পারে, যথা—পূর্ণাংশ ও ভগ্নাংশ। পূর্ণাংশ ও ভগ্নাংশ রূপান্তরের নিয়ম ভিন্নতর।

পূর্ণাংশের রূপান্তর : যে দশমিক পূর্ণ সংখ্যাকে পরিবর্তন করতে হবে তাকে কাঙ্ক্ষিত পদ্ধতির ভিত্তি বা বেস দ্বারা ভাগ করতে হবে। যেমন— বাইনারির ক্ষেত্রে 2 দ্বারা, অক্টালের ক্ষেত্রে 8 এবং হেক্সাডেসিমেলের ক্ষেত্রে 16 দ্বারা ভাগ করতে হবে। ভাগশেষকে সংরক্ষণ করতে হবে।

উপরের ধাপে প্রাপ্ত ভাগফলকে বেস দ্বারা ভাগ করতে হবে এবং ভাগশেষকে সংরক্ষণ করতে হবে। এভাবে ভাগফলকে বেস বা ভিত্তি দ্বারা ভাগ করার প্রক্রিয়া ততক্ষণ পর্যন্ত চলতে থাকবে যতক্ষণ না ভাগফল শূন্য হয়। প্রাপ্ত ভাগশেষগুলোকে নিচের দিক থেকে উপরের দিকে সাজিয়ে লিখলেই রূপান্তরিত সংখ্যার পূর্ণাংশ পাওয়া যাবে।

উদাহরণ : $(198)_{10} = (?)_2$

2	198	ভাগশেষ	(অবশিষ্ট)
2	99 —	0	
2	49 —	1	
2	24 —	1	
2	12 —	0	
2	6 —	0	
2	3 —	0	
2	1 —	1	
	0 —	1	

$\therefore\ (198)_{10} = (11000110)_2$

ভগ্নাংশের ক্ষেত্রে :

এক্ষেত্রে যে ভগ্নাংশকে পরিবর্তন করা হবে সেটিকে কাঙ্ক্ষিত পদ্ধতির বেস বা ভিত্তি দ্বারা গুণ করতে হবে। যেমন— বাইনারির ক্ষেত্রে 2 দ্বারা, অক্টালের ক্ষেত্রে 8 দ্বারা এবং হেক্সাডেসিমেলের ক্ষেত্রে 16 দ্বারা গুণ করতে হবে। প্রাপ্ত গুণফলের পূর্ণাংশকে সংরক্ষণ করতে হবে।

উপরের ধাপে প্রাপ্ত গুণফলের ভগ্নাংশকে পুনরায় কাঙ্ক্ষিত বেস বা ভিত্তি দ্বারা গুণ করে প্রাপ্ত পূর্ণাংশকে সংরক্ষণ করতে হবে এবং প্রাপ্ত ভগ্নাংশকে বেস বা ভিত্তি দ্বারা গুণ করার প্রক্রিয়া অব্যাহত রাখতে হবে যতক্ষণ না গুণফল শূন্য হয়।

র‍্যাডিক্স (Radix) পয়েন্টের পরে প্রাপ্ত ভগ্নাংশগুলোকে উপরের প্রাপ্ত পূর্ণকের দিক থেকে নিচের প্রাপ্ত পূর্ণকের দিকে সাজিয়ে লিখলেই রূপান্তরিত সংখ্যার ভগ্নাংশ পাওয়া যাবে।

উদাহরণ : $(0.375)_{10} = (?)_2$

পূর্ণাংশ	ভগ্নাংশ
	0.375
	×2
0	0.750
	×2
1	0.500
	×2
1	.000

$\therefore \quad (0.375)_{10} = (011)_2$

দশমিক থেকে অক্টালে রূপান্তর :

দশমিক সংখ্যাকে পর্যায়ক্রমে ৪ দিয়ে ভাগ করে ভাগশেষগুলোকে নিচের দিক থেকে একত্র করে দশমিক সংখ্যাটির অক্টাল সংখ্যা পাওয়া যায়।

পূর্ণাংশের ক্ষেত্রে—

উদাহরণ : $(669)_{10} = (?)_8$

8	669	ভাগশেষ	(অবশিষ্ট)
8	83	– 5	
8	10	– 3	
8	1	– 2	
	0	1	

$\therefore \quad (669)_{10} = (1235)_8$

ভগ্নাংশের ক্ষেত্রে—

দশমিক ভগ্নাংশকে অক্টালে রূপান্তরের জন্য গুণফল 0 না হওয়া পর্যন্ত সংখ্যাটিকে অনবরত ৪ দিয়ে গুণ করতে হবে।

উদাহরণ : $(0.046875)_{10} = (?)_8$

পূর্ণাংশ	ভগ্নাংশ
	0.046875
	×8
0	0.375
	×8
3	000

$\therefore \quad (0.046875)_{10} = (0.03)_8$

দশমিক থেকে হেক্সাডেসিমেলে রূপান্তর :

দশমিক থেকে হেক্সাডেসিমেলে রূপান্তরের জন্য পূর্ণ সংখ্যাকে 16 দ্বারা ভাগ এবং ভগ্নাংশকে 16 দ্বারা গুণ করতে হয়।

পূর্ণাংশের ক্ষেত্রে—

উদাহরণ : $(886)_{10} = (?)_{16}$

16	886	ভাগশেষ	(অবশিষ্ট)
16	55	– 6	
16	3	– 7	
	0	– 3	

$\therefore \quad (886)_{10} = (376)_{16}$

ভগ্নাংশ : উদাহরণ $(0.850)_{10} = (?)_{16}$

পূর্ণাংশ	ভগ্নাংশ
	0.850
	× 16
(13)	0.60
	× 16
9	0.60
	× 16
9	0.60
	× 16
9	0.60

$\therefore \quad (0.850)_{10} = (0.0999)_{16}$

যেকোনো সংখ্যা পদ্ধতি থেকে দশমিক সংখ্যা পদ্ধতিতে রূপান্তর

বাইনারি অথবা অক্টাল বা হেক্সাডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতি থেকে দশমিক সংখ্যা পদ্ধতিতে রূপান্তরের জন্য নিচের পদ্ধতি অনুসরণ করা হয়। এক্ষেত্রে পূর্ণাংশ এবং ভগ্নাংশের জন্য একই নিয়ম ব্যবহৃত হয়।

রূপান্তরের সাধারণ নিয়ম : প্রদত্ত সংখ্যাটির বেস বা ভিত্তি সনাক্ত করে সংখ্যাটির অন্তর্গত প্রত্যেকটি অঙ্কের স্থানীয় মান বের করতে হয়। এরপর সংখ্যায় অন্তর্গত প্রত্যেকটি অংকের নিজস্ব মানকে তার স্থানীয় মান দিয়ে গুণ করতে হয়। সবশেষে গুণফলের যোগফলই হবে সমতুল্য দশমিক সংখ্যা।

উদাহরণ : $(10101.101)_2 = (?)_{10}$

সমাধান : 10101.101 এর দশমিক বিন্দুর বামের অংশ = 10101 এবং দশমিক বিন্দুর ডানের অংশ = 101

দশমিক বিন্দুর বামের অংশ 10101	দশমিক বিন্দুর ডানের অংশ 101
$1 \times 2^0 = 1$ $0 \times 2^1 = 0$ $1 \times 2^2 = 4$ $0 \times 2^3 = 0$ $1 \times 2^4 = 16$	$1 \times 2^{-1} = \frac{1}{2} = 0.500$ $0 \times 2^{-2} = \frac{2}{0} = 000$ $1 \times 2^{-3} = \frac{1}{8} = 0.125$
যোগফল = 21	যোগফল = 0.625

দশমিক বিন্দুর বামের ও ডানের সংখ্যাগুলো মানের যোগফল = 21 + 0.625 = 21.625

$\therefore (10101.1011)_2 = (21.625)_{10}$

অক্টাল থেকে দশমিকে রূপান্তর :

অক্টাল সংখ্যার প্রতিটি স্থানীয় মান যোগ করে সংখ্যাটির সমতুল্য দশমিক মান নির্ণয় করা যায়।

উদাহরণ : $(123.540)_8 = (?)_{10}$

সমাধান :

$$
\begin{aligned}
(123.540)_8 &= 1 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 3 \times 8^0 + 5 \times 8^{-1} + 4 \times 8^{-2} + 0 \times 8^{-3} \\
&= 64 + 16 + 3 + 5 \times \frac{1}{8} + 4 \times \frac{1}{(8)^2} + 0 \\
&= 83 + 0.625 + 0.0625 = 83.6875
\end{aligned}
$$

$\therefore \quad (123.540)_8 = (83.6875)_{10}$

হেক্সাডেসিমেল থেকে দশমিকে রূপান্তর :

হেক্সাডেসিমেল থেকে দশমিকে রূপান্তর করতে প্রথমে প্রদত্ত সংখ্যার প্রতিটি অঙ্ককে উহার নিজস্ব স্থানীয় মান দ্বারা গুণ করতে হয়। পরে ঐ সমস্ত গুণফলকে যোগ করে হেক্সাডেসিমেল সংখ্যাটির দশমিক সংখ্যার মান পাওয়া যায়।

উদাহরণ : $(B5D.44)_{16} = (?)_{10}$

সমাধান :
$$
\begin{aligned}
(B5D.44)_{16} &= B \times 16^2 + 5 \times 16^1 + D \times 16^0 + 4 \times 16^{-1} + 4 \times 16^{-2} \\
&= 11 \times 256 + 80 + 13 + 0.25 + 0.016 \\
&= 2816 + 80 + 13 + 0.25 + 0.016 = (2909.266)_{10}
\end{aligned}
$$

১০.১৪ বাইনারি অপারেশন
Binary operation

দশমিক পদ্ধতির যোগ, বিয়োগ, গুণ, ভাগ প্রক্রিয়া বহুল পরিচিত। এ ধরনের গাণিতিক প্রক্রিয়া বাইনারি পদ্ধতিতেও বর্তমানে রয়েছে। বাইনারি পদ্ধতিতে গাণিতিক কাজ করা অনেক সহজ, কেননা এক্ষেত্রে মাত্র দুটি সংখ্যা 0 এবং 1 জড়িত। এখন আমরা বাইনারি যোগ, বিয়োগ, গুণ, ভাগ আলোচনা করব।

বাইনারি যোগ
Binary Addition

যেভাবে দশমিক সংখ্যা যোগ করা হয়, সেভাবেই বাইনারি সংখ্যার যোগ করা হয়।

বাইনারি সংখ্যা যোগের সময় নিম্নের ধাপগুলো অনুসরণ করা হয়।

ধাপ-১ : প্রথমে সর্ব ডানের কলাম যোগ করতে হয়।

ধাপ-২ : প্রথম কলাম যোগ করে যোগফল প্রথম কলামের নিচে লিখতে হয়। যদি carry উৎপন্ন হয় তবে তা পরের কলামে বসাতে হয়।

ধাপ–৩ : দ্বিতীয় ধাপে carry উৎপন্ন হলে তা পরের কলামে লিখতে হবে বা পরের কলামে কোনো ডিজিট থাকলে তার সাথে যোগ করতে হবে। এই প্রক্রিয়া চলতে থাকবে যতক্ষণ পর্যন্ত বাম দিকে কোনো কলাম না থাকে।

দুটি বাইনারি অঙ্ক যোগের চারটি নিম্নরূপ অবস্থা হয় :

$0 + 0 = 0$

$0 + 1 = 1$

$1 + 0 = 1$

$1 + 1 = 0$ এবং এর সাথে হাতে 1 থাকবে। এই হাতে থাকাকে carry বলে।

বাইনারি সংখ্যা পদ্ধতির যোগ খুবই গুরুত্বপূর্ণ গাণিতিক প্রক্রিয়া। কম্পিউটার এবং অন্যান্য ইলেকট্রনিক যন্ত্রে যোগের সাহায্যে বিয়োগ, গুণ ও ভাগ করা হয়।

উদাহরণ ১। 1101001 এর সাথে 1010101 যোগ কর।

সমাধান :

$$\begin{array}{r} 1101001 \\ 1010101 \\ \hline 10111110 \end{array}$$

বাইনারি বিয়োগ
Binary Subtraction

ধাপ–১। বাইনারি বিয়োগের সময় বিয়োজক এর LSD (Least Significant Digit) থেকে বিয়োজ্য (Subtracted) এর LSD বিয়োগ করে বিয়োগের LSD বসাতে হবে।

ধাপ–২। LSD দ্বারা বিয়োগ করে যদি carry থাকে তা পরের কলামের বিয়োজ্যের সাথে যোগ করে বিয়োজক থেকে বিয়োগ করতে হবে।

ধাপ–৩। যদি দ্বিতীয় ধাপে carry থাকে তা পরবর্তী কলামের বিয়োজ্যের সাথে যোগ করে বিয়োগ করতে হবে।

উদাহরণ : 1001 থেকে 101 বিয়োগ কর।

সমাধান :

$$\begin{array}{r} 1001 \\ -\,0101 \\ \hline 0100 \end{array}$$

সুতরাং বিয়োগফল = 100

কম্পিউটারে এই নিয়মে বিয়োগ করা হয় না। বিশেষ পদ্ধতিতে যোগের সাহায্যে বিয়োগ করা হয়।

বাইনারি গুণ
Binary Multiplication

যেভাবে ডেসিমেল সংখ্যার গুণ করা হয় অনুরূপভাবে বাইনারি সংখ্যার গুণ করা হয়। তবে ডেসিমেল গুণ করার চেয়ে বাইনারি গুণ করা অনেক সহজ। কারণ বাইনারি গুণের ক্ষেত্রে চারটি গুণফল জানলেই যথেষ্ট। বাইনারি গুণের চারটি অবস্থা নিম্নে দেখানো হলো :

$0 \times 0 = 0$

$0 \times 1 = 0$

$1 \times 0 = 0$

$1 \times 1 = 1$

উদাহরণ : বাইনারি সংখ্যা 0111 এবং 1110 গুণ কর।

$$\begin{array}{r} 0111 \\ \times\ 1110 \\ \hline 0000 \\ 0111 \\ 0111 \\ 0111 \\ \hline 1100010 \end{array}$$

বাইনারি ভাগ
Binary Division

ডেসিমেল সংখ্যার ভাগের নিয়মেই বাইনারি সংখ্যার ভাগ করা হয়। বাইনারি পদ্ধতিতে 0 দিয়ে ভাগ করা অর্থহীন। বাইনারি ভাগ পদ্ধতিতে চারটি অবস্থার সৃষ্টি হয়। যথা—

$0/0 =$ অর্থহীন

$1/0 =$ অর্থহীন

$0/1 = 0$

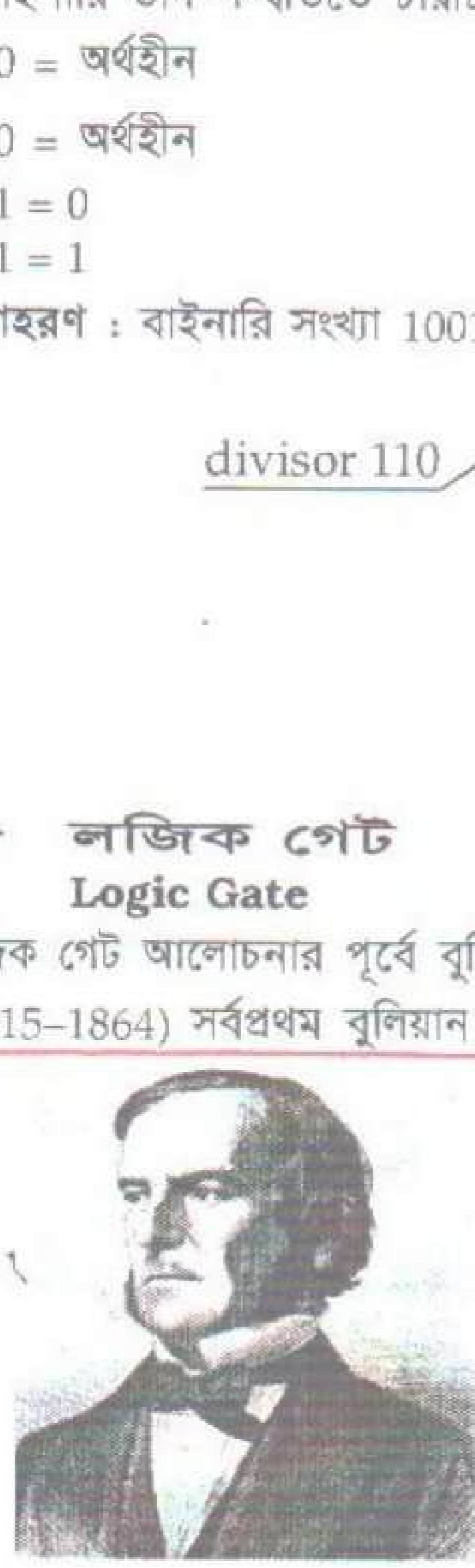
$1/1 = 1$

উদাহরণ : বাইনারি সংখ্যা 1001 কে 11 দ্বারা ভাগ কর।

$$\begin{array}{rl} & 0110 \leftarrow \text{result} \\ \text{divisor } 110 \,\big/ & \overline{100100} \leftarrow \text{dividend} \\ & \underline{110} \\ & 110 \\ & \underline{110} \\ & 000 \\ & \underline{000} \\ & 0 \end{array}$$

১০.১৫ লজিক গেট
Logic Gate

লজিক গেট আলোচনার পূর্বে বুলিয়ান বীজগণিত (Boolean Algebra) সম্বন্ধে ধারণা থাকা দরকার। George Boole (1815–1864) সর্বপ্রথম বুলিয়ান বীজগণিতের ধারণা দেন।



George Boole (1815-1864)

বুলিয়ান বীজগণিত (Boolean Algebra) : বুলিয়ান বীজগণিত মূলত লজিকের সত্য এবং মিথ্যা এই দুই স্তরের উপর ভিত্তি করে তৈরি হয়েছে। কম্পিউটারে যখন বাইনারি সংখ্যা পদ্ধতির ব্যবহার শুরু হয়, তখন বুলিয়ান বীজগণিতের সত্য এবং মিথ্যাকে 1 এবং 0 দ্বারা পরিবর্তন করা হয়। কম্পিউটারের সমস্ত গাণিতিক ও যুক্তিমূলক সমস্যা বুলিয়ান অ্যালজেবরার সাহায্যে সমাধান করা সম্ভব। বুলিয়ান বীজগণিতে শুধুমাত্র যোগ এবং গুণ-এর সাহায্যে সমস্ত কাজ করা হয়।

বুলিয়ান বীজগণিত :

(i) যোগ চিহ্ন '+' দ্বারা OR বুঝানো হয়। $Y = A + B$, এটা পড়তে হয় Y, A অথবা B।

(ii) গুণ চিহ্ন ($\times$ বা $\cdot$) দ্বারা AND বোঝানো হয়। $Y = A \,.\, B$ পড়তে হয় Y, A এবং B এর মান সমান।

(iii) বার চিহ্ন (—) দ্বারা NOT বোঝানো হয়, $Y = \bar{A}$, একে Y, NOT A হিসেবে পড়তে হয়। Y এর মান A এর মানের সমান।

বুলিয়ান বীজগণিতের তিনটি সূত্র (Three laws of Boolean Algebra) :

১। **বিনিময় সূত্র (Commutative law)** : $A + B = B + A$

$AB = BA$

২। **সংযোগ সূত্র (Associative Law) :**

$A + (B + C) = (A + B) + C$

$A . (B . C) = (A . B) . C$

৩। **বণ্টন সূত্র (Distributive Law) :**

$A . (B + C) = A . B + A . C$

বুলিয়ান বীজগণিতের কয়েকটি সম্পর্ক (Some relation of Boolean Algebra) :

নিচের সম্পর্কগুলোতে A হচ্ছে সংকেত। এর দুটি সম্ভাব্য মান রয়েছে; যথা 0 এবং 1। প্রতিটি সম্পর্কে একবার 0 এবং একবার 1 বসিয়ে সম্পর্কগুলো যাচাই করা যায়।

সম্পর্ক	সত্যতা যাচাই	
	যখন $A = 0$	যখন $A = 1$
1. $A + 0 = A$	$0 + 0 = 0$	$1 + 0 = 1$
2. $A + 1 = 1$	$0 + 1 = 1$	$1 + 1 = 1$
3. $A + A = A$	$0 + 0 = 0$	$1 + 1 = 1$
4. $A + \overline{A} = 1$	$0 + 1 = 1$	$1 + 0 = 1$
5. $A . 0 = 0$	$0 . 0 = 0$	$1 . 0 = 0$
6. $A . 1 = A$	$0 . 1 = 0$	$1 . 1 = 1$
7. $A . A = A$	$0 . 0 = 0$	$1 . 1 = 1$
8. $A . \overline{A} = 0$	$0 . 1 = 0$	$1 . 0 = 0$
9. $\overline{\overline{A}} = A$	$\overline{\overline{0}} = \overline{1} = 0$	$\overline{\overline{1}} = \overline{0} = 1$

লজিক গেট : বুলিয়ান অ্যালজেবরার ব্যবহারিক প্রয়োগের জন্য ডিজিটাল ইলেকট্রনিক সার্কিট ব্যবহার করা হয়। লজিক গেট হলো এক ধরনের ইলেকট্রনিক বর্তনী যার দ্বারা যৌক্তিক সিদ্ধান্ত গঠন করা যায়। এ সকল ডিজিটাল ইলেকট্রনিক সার্কিটকে লজিক গেট বলে। লজিক গেট বলতে সাধারণত লজিক সার্কিটকে বুঝায় যাতে এক বা একাধিক ইনপুট এবং কেবল একটি আউটপুট থাকে, যা ইনপুটের ভিত্তিতে আউটপুট নির্ধারণ করে। লজিক গেটগুলো মূলত একটি ডিজিটাল পদ্ধতির জন্য মৌলিক ব্লক হিসেবে কাজ করে যা বাইনারি '0' (Zero) ও '1' (One) দ্বারা অপারেট হয়।

লজিক গেটের ডিমরগানের তত্ত্ব : ফরাসি বিজ্ঞানী ডিমরগান (De Morgan) দুটি বিশেষ গাণিতিক উপপাদ্য আবিষ্কার করেন। সেগুলি তাঁর নাম অনুসারে ডি মরগ্যান উপপাদ্য নামে পরিচিত।

(ক) উপপাদ্য-১ : A ও B ইনপুট সিগনালের জন্য একটি NOR গেটের আউটপুট সিগনাল, $\overline{A}$ ও $\overline{B}$ ইনপুট সিগনালের জন্য একটি AND গেটের আউটপুট সিগনালের সমান হয়।

অর্থাৎ $\overline{A + B} = \overline{A} . \overline{B}$

(খ) উপপাদ্য-২ : A ও B ইনপুট সিগনালের জন্য একটি NAND গেটের আউটপুট সিগনাল, $\overline{A}$ ও $\overline{B}$ ইনপুট সিগনালের জন্য একটি OR গেটের আউটপুট সিগনালের সমান।

অর্থাৎ $\overline{A . B} = \overline{A} + \overline{B}$

De Morgan (1806-1881)

লজিক গেটের প্রকারভেদ : ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্সে তিনটি মৌলিক লজিক গেট ব্যবহার করা হয়। যথা— (১) OR গেট, (২) AND গেট এবং (৩) NOT গেট। ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্সে এই তিনটি মৌলিক গেট ছাড়া আরও কিছু গেট ব্যবহার করা হয়। যথা— NAND গেট, NOR গেট, XOR গেট, XNOR গেট। এই গেটগুলো মৌলিক গেট দ্বারা তৈরি করা হয়।

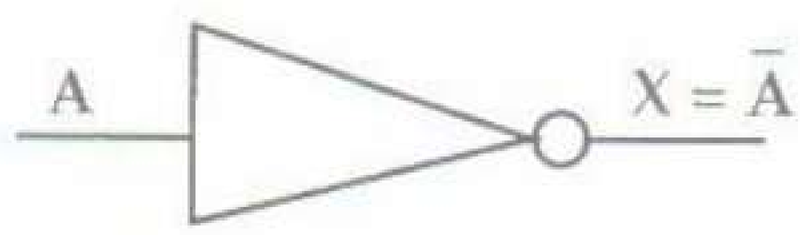
জেনে রাখ : লজিক গেইট কী ? বুলিয়ান বীজগণিতের মৌলিক কার্যক্রমগুলি কী কী ?

যে সকল ইলেকট্রনিক বর্তনী এক বা একাধিক ইনপুট গ্রহণ করে বুলিয়ান বীজগণিত অনুযায়ী প্রক্রিয়াজাত করে একটিমাত্র আউটপুট প্রদান করে তাকে লজিক গেইট বলে। বুলিয়ান বীজগণিতের মৌলিক কার্যক্রমগুলি হলো— (ক) লজিক যোগ বা OR যোগ (খ) লজিক গুণ বা AND গুণ (গ) লজিক সম্পূরক বা NOT কার্যক্রম।

❖ **NOT গেট :** NOT গেটে একটি ইনপুট এবং একটি আউটপুট থাকে। NOT গেটের ইনপুট '1' হলে আউটপুট '0' এবং ইনপুট '0' হলে আউটপুট '1' হয়। NOT গেটের বুলিয়ান সমীকরণ হলো,

$X = \overline{A}$

এখানে A এর উপর প্রদর্শিত বার দ্বারা NOT অপারেশন বুঝানো হয়। এই সমীকরণকে "X equals Not A." এভাবে পড়া হয় অথবা "X equals the complement of A" এভাবে পড়া হয়। নিচের চিত্র ১০.২৮(ক)-এ NOT গেটের প্রতীক এবং ১০.২৮(খ)-এ ট্রুথ টেবিল (সত্য সারণি) দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১০.২৮(ক) : NOT গেটের প্রতীক।

A	$X = \overline{A}$
0	0
1	0

চিত্র ১০.২৮(খ) : NOT গেটের ট্রুথ টেবিল প্রতীক।

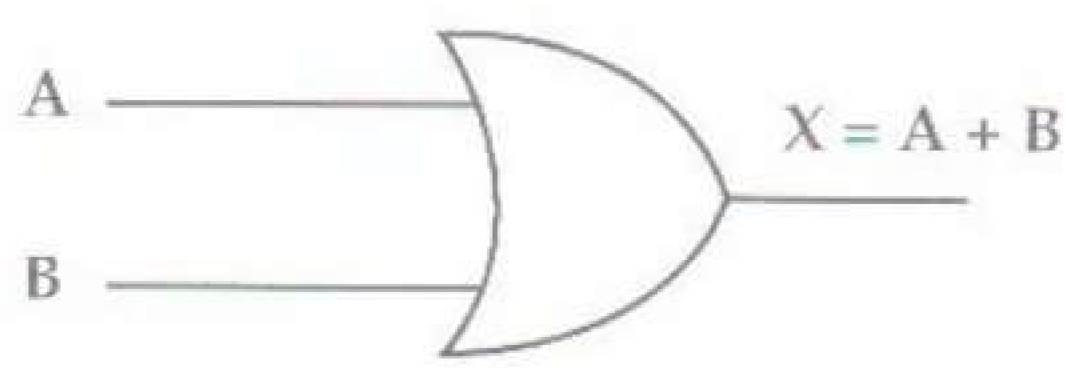
❖ **OR গেট :** OR গেট এমন এক ধরনের গেট যার দুই বা ততোধিক ইনপুট থাকে এবং একটিমাত্র আউটপুট থাকে।

ব্যাখ্যা : একটি OR গেট-এর দুটি ইনপুট যথাক্রমে A ও B হলে এবং আউটপুট X হলে OR গেট-এর বুলিয়ান সমীকরণ হবে,

$X = A + B$

এখানে + চিহ্ন দ্বারা সাধারণত যোগ বুঝানো হয় না। এই + চিহ্নের অর্থ OR অপারেশন।

নিম্নে একটি দুই ইনপুটবিশিষ্ট OR গেটের প্রতীক চিত্র ১০.২৯(ক) এবং ট্রুথ টেবিল (Truth table) চিত্র ১০.২৯(খ) দেখানো হয়েছে।

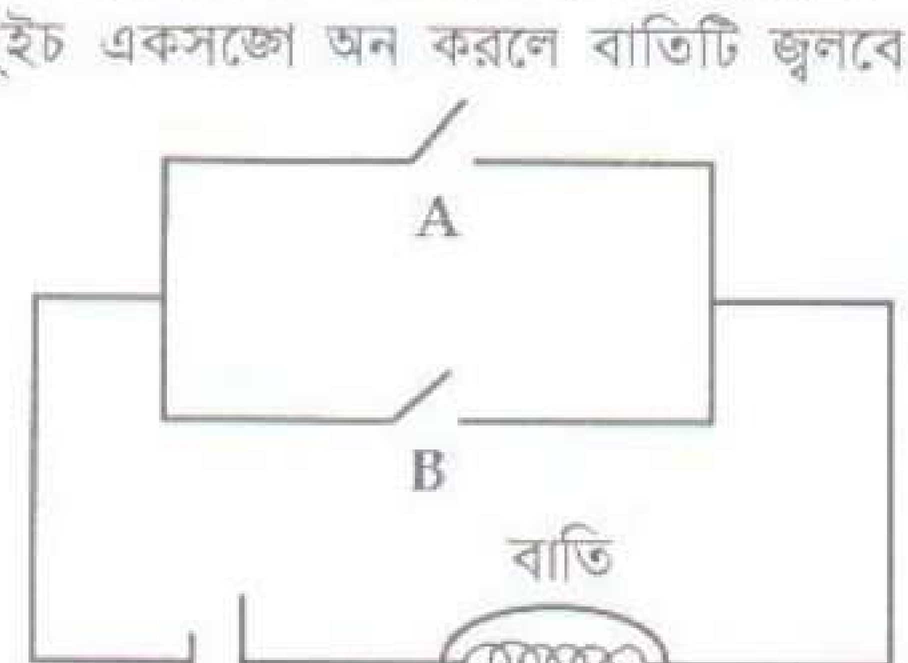


চিত্র ১০.২৯ (ক) : দুই ইনপুটবিশিষ্ট OR গেটের সংকেত।

A	B	$X = A + B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

চিত্র ১০.২৯(খ) : দুই ইনপুটবিশিষ্ট OR গেট-এর ট্রুথ টেবিল।

চিত্র ১০.৩০ এ OR গেটের একটি ইলেকট্রনিক বর্তনী দেখানো হয়েছে। এই সমান্তরাল সুইচ বর্তনীর যেকোনো একটি সুইচ 'অন' করলে অথবা দুটি সুইচ একসঙ্গে অন করলে বাতিটি জ্বলবে।

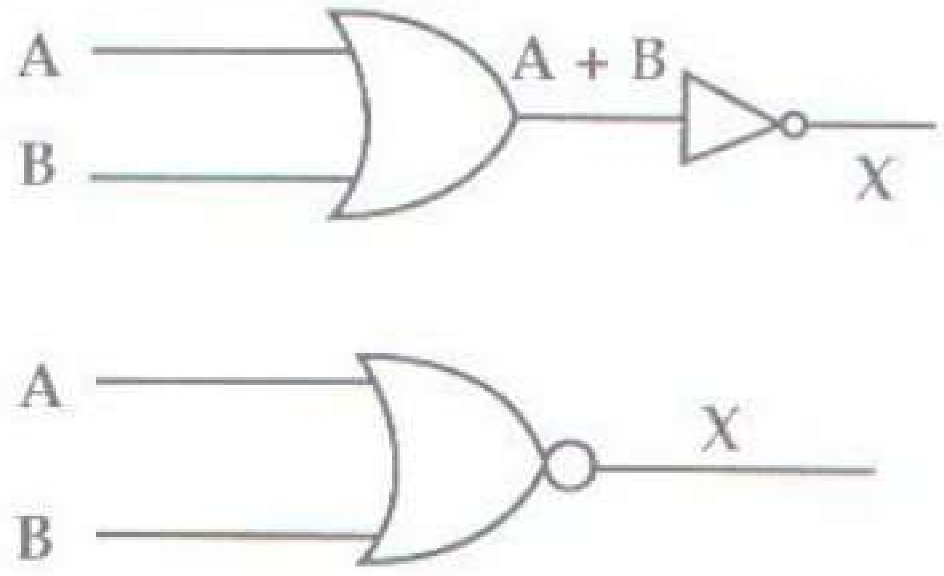


চিত্র ১০.৩০

❖ **NOR গেট :** OR গেটের পর NOT গেট সংযুক্ত করলে NOR গেট তৈরি হয়। NOR গেটের দুই বা ততোধিক ইনপুট থাকতে পারে এবং একটিমাত্র আউটপুট থাকে। এখানে আউটপুট X-এর সমীকরণ হলো :

$X = NOT\,(A + B) = \overline{A + B}$

চিত্র ১০·৩১(ক)-এ বুলিয়ান সমীকরণসহ দুটি ইনপুটবিশিষ্ট NOR গেটে প্রতীক চিহ্ন এবং চিত্র ১০·৩১(খ)-এ ট্রুথ টেবিল দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১০·৩১(ক) : NOR গেটের প্রতীক।

A	B	A + B	$X = \overline{A + B}$
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

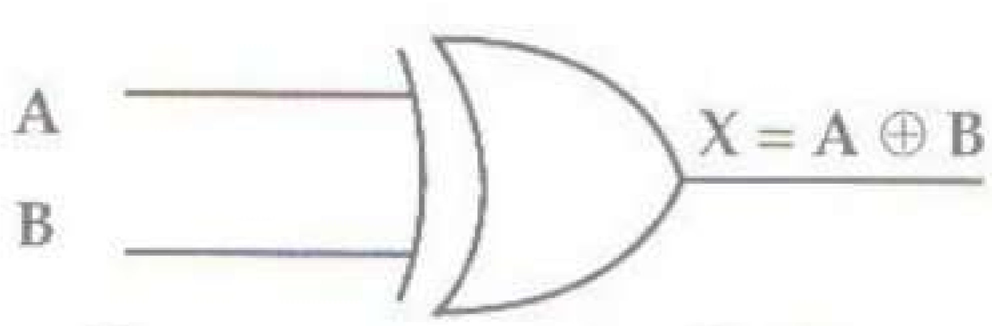
চিত্র ১০·৩১(খ) : NOR গেটের ট্রুথ টেবিল।

❖ **XOR গেট :** Exclusive-OR (XOR) গেট এমন এক ধরনের গেট যা এর ইনপুটে বিজোড় সংখ্যা আছে কিনা চিহ্নিত করে। XOR গেটের ইনপুটে বিজোড় সংখ্যক 1 হলে আউটপুট 1 হয়। দুটি বিটের অবস্থা তুলনা করার জন্য এই গেট ব্যবহার করা হয়। XOR গেটের বুলিয়ান সমীকরণ হলো–

$X = A \oplus B$, এখানে $\oplus$ দ্বারা XOR ক্রিয়া বোঝানো হয়েছে।

$= \bar{A}B + A\bar{B}$

চিত্র ১০·৩২(ক)-এ XOR গেটের প্রতীক চিহ্ন এবং ১০·৩২(খ)-এ ট্রুথ টেবিল দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১০·৩২(ক) XOR গেটের প্রতীক চিহ্ন।

A	B	A + B	X = A + B
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0

চিত্র ১০·৩২(ক) (খ) XOR গেটের ট্রুথ টেবিল।

❖ **X-NOR গেট :** XOR গেটের আউটপুটকে NOT গেট দিয়ে প্রবাহিত করলে X-NOR গেট পাওয়া যায়। যে লজিক গেটের বিজোড় সংখ্যক ইনপুট হলে আউটপুট 0 হয় এবং জোড় সংখ্যক ইনপুট বা ইনপুট দুটি সমান হলে আউটপুট 1 হয় তাকে X-NOR গেট বলে।

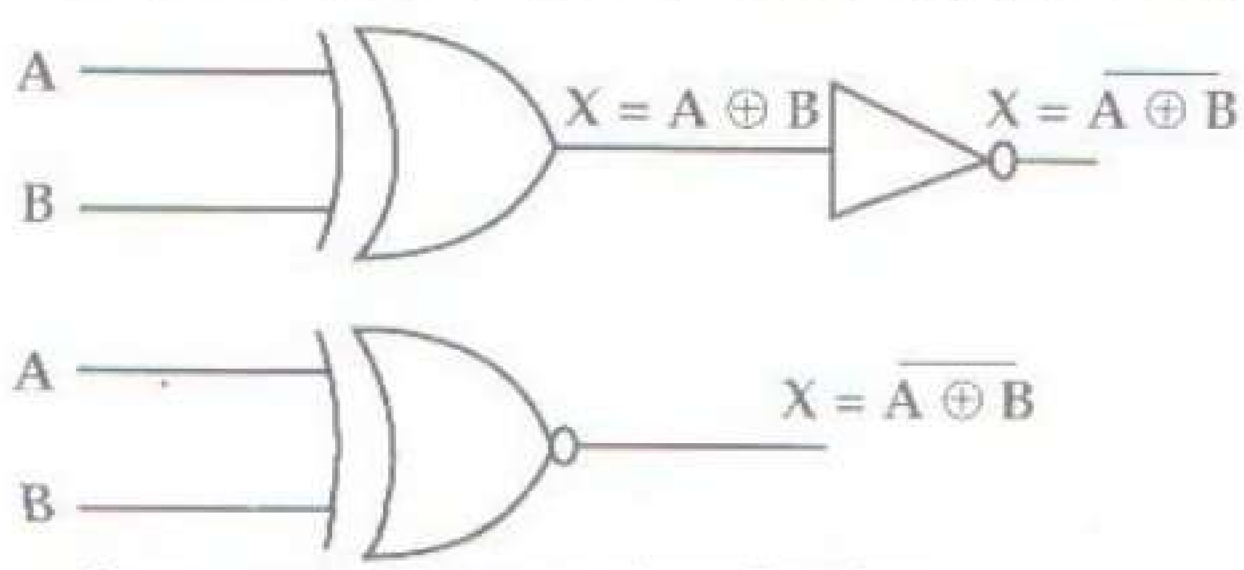
X-NOR গেটের বুলিয়ান সমীকরণ হলো,

$X = \overline{A \oplus B}$

$= \overline{\bar{A}B + A\bar{B}}$

$= AB + \overline{AB}$

চিত্র ১০·৩৩(ক)-এ X-NOR গেটের প্রতীক চিহ্ন এবং ১০·৩৩(খ)-এ ট্রুথ টেবিল দেখানো হয়েছে।



চিত্র ১০·৩৩(ক) X-NOR গেটের প্রতীক চিহ্ন।

A	B	$X = \overline{A \oplus B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

চিত্র ১০·৩৩(খ) X-NOR গেটের ট্রুথ টেবিল।

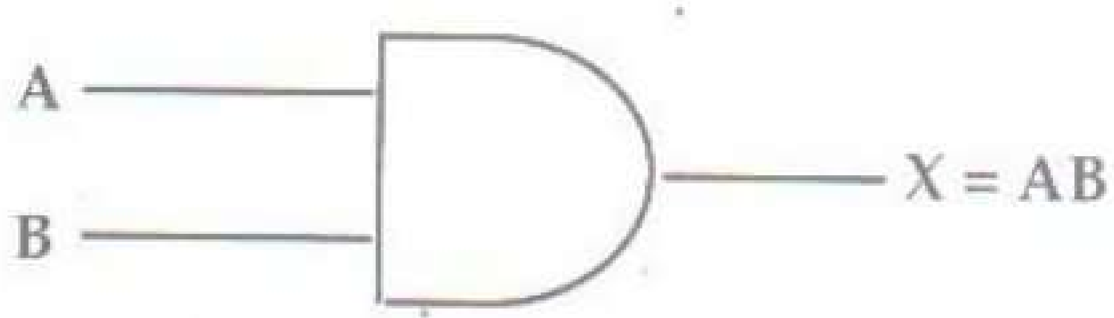
❖ **AND গেট :** AND গেটে দুই বা ততোধিক ইনপুট এবং একটি আউটপুট থাকে। AND গেটের সকল ইনপুট '1' হলেই কেবলমাত্র আউটপুট '1' হবে। অন্যথায় আউটপুট '0' হবে। অর্থাৎ **যে লজিক গেটের সবগুলো ইনপুট 1 হলে আউটপুট 1 হয় তাকে AND গেট বলে।** ১০·৩৪নং চিত্রে দুই ইনপুটবিশিষ্ট একটি AND গেট-এর প্রতীক এবং ট্রুথ টেবিল দেখানো হয়েছে। এর ইনপুট দুটি A এবং B এবং আউটপুট X। AND গেটের বুলিয়ান সমীকরণ হলো,

$X = A.B$

এই সমীকরণে '.' চিহ্নটি বুলিয়ান AND অপারেশন বুঝায়, এটি সাধারণ গুণ বুঝায় না।

$X = A.B$ সমীকরণটি পড়ার নিয়ম হলো "X equals A and B"। এর অর্থ X-এর মান 1 হবে যখন A এবং B উভয়ই 1 হবে। AND অপারেশনের জন্য বুলিয়ান সমীকরণ লেখতে সাধারণত '.' চিহ্ন বাদ দিয়ে লেখা হয়, $X = AB$.

চিত্র ১০'৩৪(ক)-এ একটি AND গেটের প্রতীক এবং চিত্র ১০'৩৪(খ) এ AND গেটের ট্রুথ টেবিল দেখানো হয়েছে।

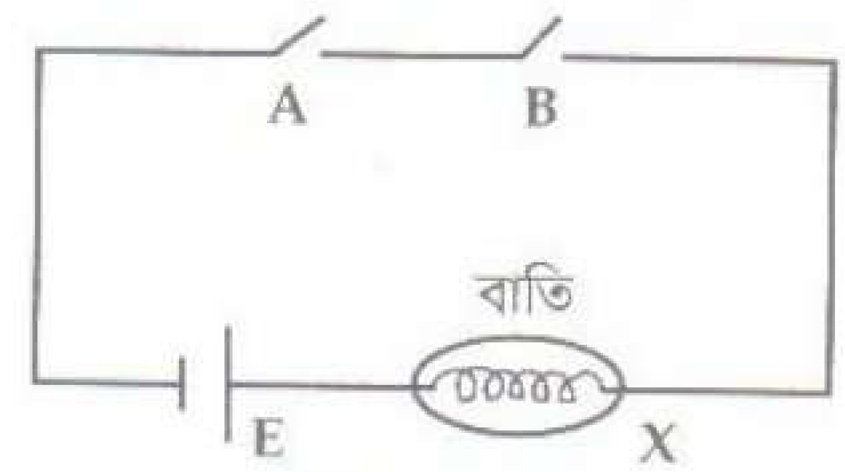


চিত্র ১০'৩৪(ক) : AND গেটের প্রতীক।

A	B	X = AB
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

চিত্র ১০'৩৪(খ) : AND গেটের ট্রুথ টেবিল।

১০'৩৫ চিত্রে AND গেটের সমকক্ষ একটি শ্রেণি সমবায়ে দুটি সুইচ সার্কিট দেখানো হয়েছে। এই সুইচ দুটির যেকোনো একটি সুইচ অন করলে বাতিটি জ্বলবে না। কেবলমাত্র দুটি সুইচ অন করলেই বাতিটি জ্বলবে।



চিত্র ১০'৩৫

❖ **NAND গেট :** AND গেটের আউটপুটে Inverter যুক্ত করে NAND গেট তৈরি করা হয়। AND গেট হতে নির্গত সংকেতটি NOT গেটের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করলে NAND গেটের কাজ হয়। লজিক সার্কিট তৈরির জন্য NAND গেটের বহুল প্রচলন রয়েছে।

চিত্র ১০'৩৬(ক)-এ NAND গেটের প্রতীক এবং ১০'৩৬(খ)-এ এর সমতুল্য সার্কিট দেখানো হয়েছে। দুই ইনপুটবিশিষ্ট NAND গেটের বুলিয়ান সমীকরণ হলো,

$X = \overline{A.B}$

চিত্র ১০'৩৬(গ) তে NAND গেটের ট্রুথ টেবিল দেখানো হয়েছে। ট্রুথ টেবিল থেকে দেখা যায় যে, AND গেটের আউটপুটকে ইনভারশন করলে যা হয় NAND গেটের আউটপুট তাই।

চিত্র ১০'৩৬(ক) : NAND গেটের প্রতীক।

চিত্র ১০'৩৬(খ) : NAND গেটের সমতুল্য সার্কিট।

A	B	AB	$X = \overline{AB}$
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

চিত্র ১০'৩৬ (গ) : NAND গেটের ট্রুথ টেবিল।

NAND গেট এর ব্যবহার : Car interior লাইটিং ডিজাইনে ব্যবহৃত হয়। যখন দুটি দরজা বন্ধ করা হয় তখন লাইট এর সুইচ বন্ধ করার কাজে NAND গেট ব্যবহৃত হয় [চিত্র ১০'৩৭]।

চিত্র ১০'৩৭

কাজ : NAND গেট এবং NOR গেটের সর্বজনীনতা বলতে কী বুঝ ?

OR, AND এবং NOT এই তিনটি মৌলিক গেটের সমন্বয়ে যেকোনো লজিক গেট তৈরি করা সম্ভব। তবে শুধু NAND গেট দিয়ে OR, AND এবং NOT গেট বাস্তবায়ন সম্ভব। অনুরূপভাবে NOR গেট দিয়েও যেকোনো লজিক সার্কিট বাস্তবায়ন সম্ভব। এজন্য NAND এবং NOR গেটকে সর্বজনীন গেট বলে।

(i) ন্যূনতম সংখ্যক OR এবং NOT gate ব্যবহার করে একটি AND গেট কীভাবে তৈরি করবে ?

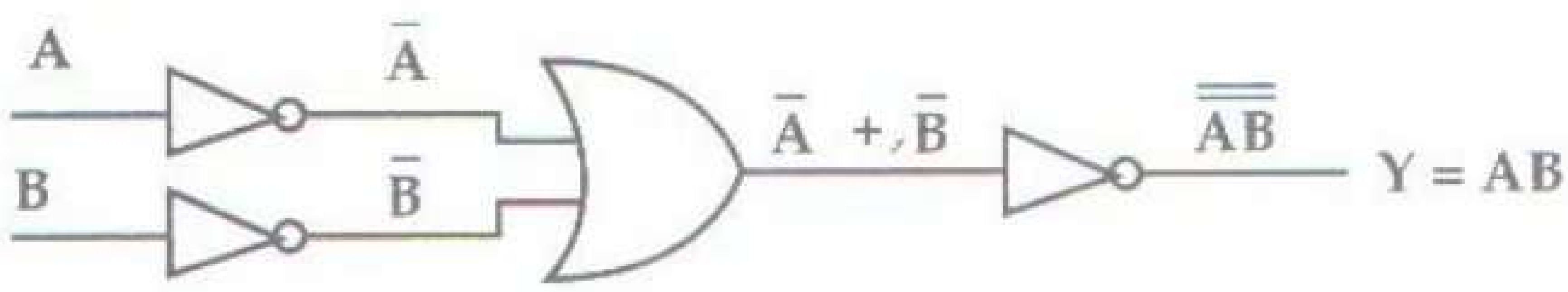
এক্ষেত্রে ডি মরগ্যানের নিম্নলিখিত উপপাদ্য ব্যবহার করতে হবে—

$$\overline{A} + \overline{B} = \overline{A.B}$$

এবার এই সম্পর্ককে invert করলে AND গেট সমীকরণ পাওয়া যাবে।

অতএব, $\overline{A.B} = AB$

চিত্র ১০.৩৮ এ AND গেটটি (Y = AB) দেখানো হলো,



চিত্র ১০.৩৮

(ii) ন্যূনতম সংখ্যক AND এবং NOT গেট ব্যবহার করে একটি OR গেট কীভাবে তৈরি করবে ?

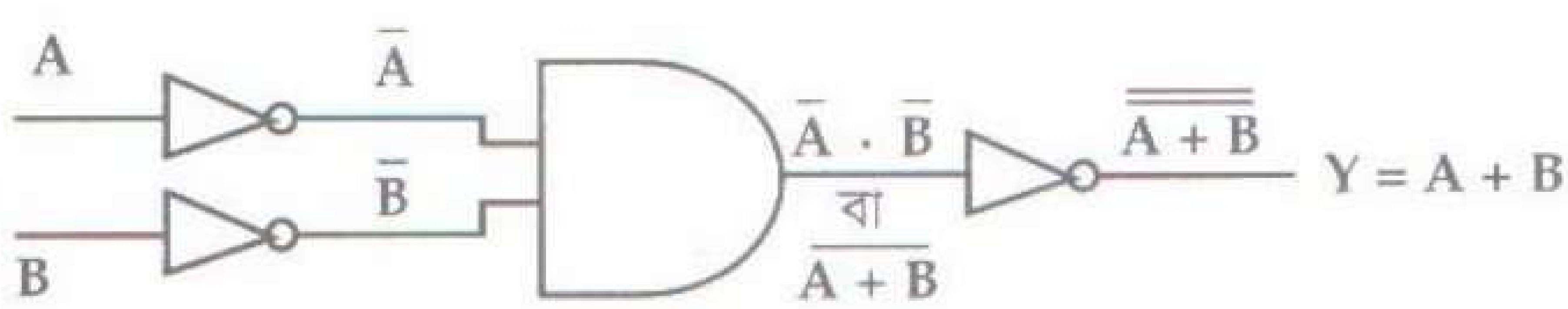
এক্ষেত্রে ডি মরগ্যানের নিম্নলিখিত উপপাদ্য ব্যবহার করতে হবে—

$$\overline{A} . \overline{B} = \overline{A + B}$$

এবার, এ সম্পর্ককে Invert করলে OR গেট সমীকরণ পাওয়া যাবে,

অর্থাৎ, $\overline{\overline{A + B}} = A + B$

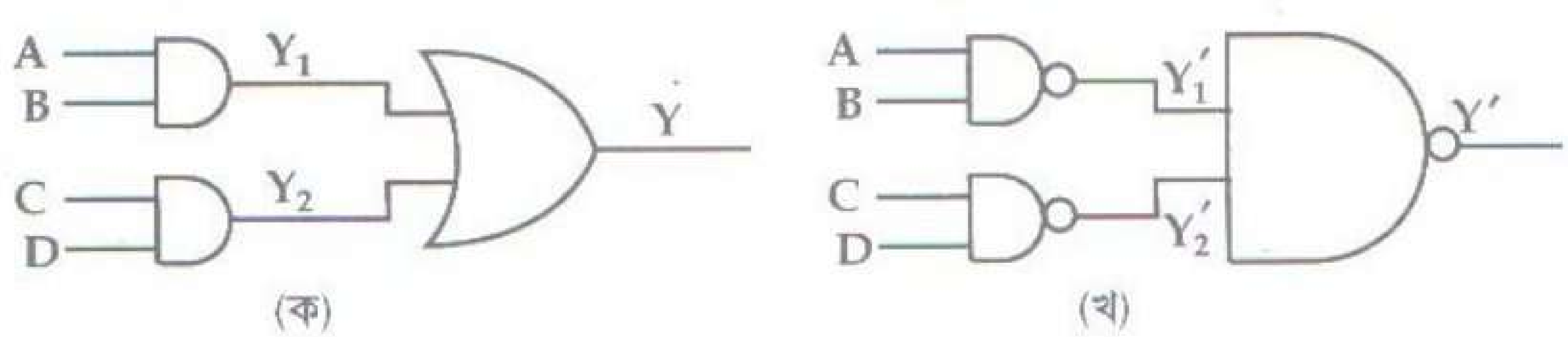
চিত্র ১০.৩৯ এ OR গেটটি (Y = A + B) দেখানো হলো



চিত্র ১০.৩৯

গাণিতিক উদাহরণ

১। দেখাও যে, চিত্র ১০.৪০(ক) ও (খ) বর্তনী দুটি পরস্পরের তুল্য বর্তনী।



চিত্র ১০.৪০

সমাধান : চিত্র ১০.৪০(ক)–তে,

$Y_1 = AB$ এবং $Y_2 = CD$

সুতরাং, $Y = AB + CD$ ... ... (i)

আবার, চিত্র ১০.৪০(খ)-তে

$Y_1' = \overline{AB}$ এবং $Y_2' = \overline{CD}$

সুতরাং, $Y' = \overline{Y_1'Y_2'} = \overline{Y_1'} + \overline{Y_2'}$

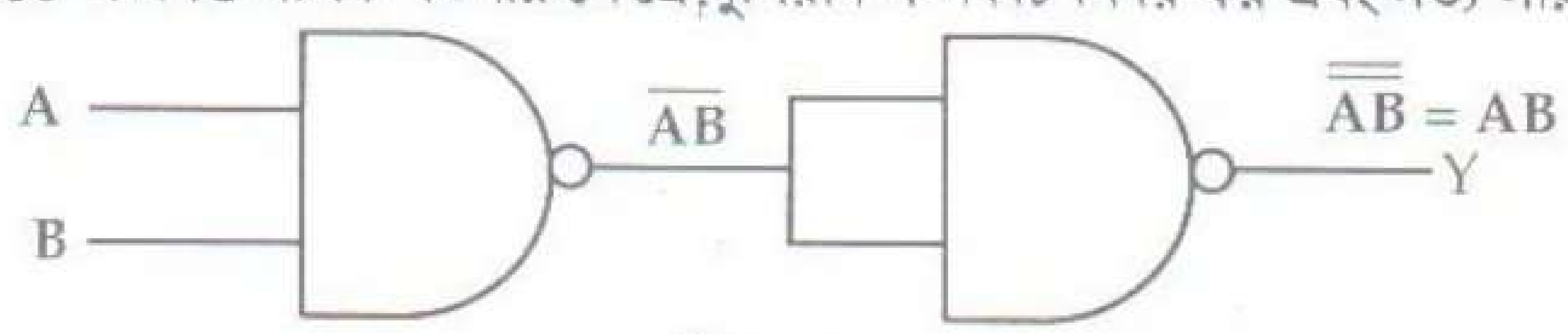
$= \overline{\overline{AB}} + \overline{\overline{CD}}$

$= AB + CD \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$

অর্থাৎ, $Y' = Y$, কাজেই বর্তনী দুটি পরস্পরের তুল্য বর্তনী (প্রমাণিত)

এজন্য AND – OR সমবায়কে NAND – NAND সমবায়ের তুল্য বলা হয়।

২। চিত্র ১০.৪১ এ প্রদত্ত লজিক বর্তনীর ক্ষেত্রে বুলিয়ান সম্পর্কটি নির্ণয় কর এবং সত্য সারণি তৈরি কর।



চিত্র ১০.৪১

চিত্র ১০.৪১ এ দুটি গেটই হলো NAND গেট।

ইনপুট A ও B এর প্রথম NAND আউটপুট হলো $\overline{AB}$।

আবার, $\overline{AB}$ ও $\overline{AB}$-এর দ্বিতীয় NAND আউটপুট হলো $\overline{\overline{AB}} = AB$; অর্থাৎ একটি AND গেটের আউটপুট। সুতরাং প্রদত্ত বর্তনীটি হলো দুটি NAND গেট দিয়ে তৈরি AND গেটের বর্তনী।

এক্ষেত্রে বুলিয়ান বীজগাণিতিক সম্পর্ক হলো,

$Y = AB$

প্রদত্ত লজিক বর্তনীর সত্য সারণী নিম্নরূপ :

A	B	AB	$\overline{AB}$	$\overline{\overline{AB}}$	$Y = \overline{\overline{AB}} = AB$
0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	0	0
0	1	0	1	0	0
1	1	1	0	1	1

১০·১৬ ব্যবহারিক
Experimental

পরীক্ষণের নাম : পিরিয়ড : ১	**AND লজিক গেট-এর ট্রুথ টেবিল যাচাই** **To verify the truth table of AND logic gate**

উদ্দেশ্য (Objective) : AND গেটের অপারেশন আইসি (IC) এর সাহায্যে যাচাইকরণ

যন্ত্রপাতি ও মালামাল (Equipments and materials) :

(ক) ডিজিটাল ট্রেইনার বোর্ড (Digital trainer board) ১টি

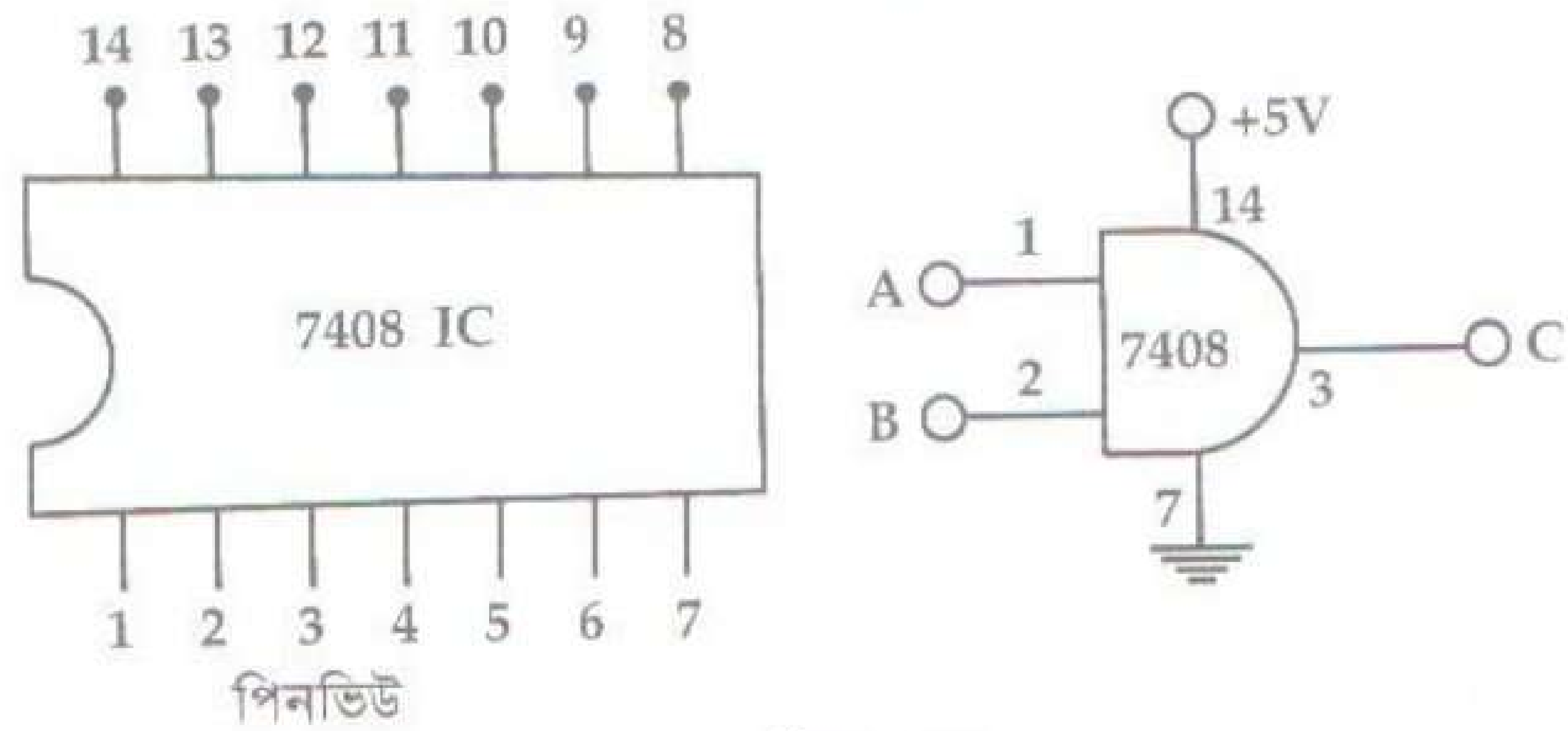
(খ) 2 ইনপুট AND গেট (7408) আইসি ১টি

(গ) LED বাতি

(ঘ) সুইচ

(ঙ) সংযোগ তার

সংযোগ : AND গেটের আইসি সংযোগ চিত্র ১০'৪২-এ দেখানো হলো।



চিত্র ১০'৪২

লজিক অবস্থা :

'0' = 0V

'1' = +5V

ট্রুথ টেবিল (Truth table)

AND গেটের ট্রুথ টেবিল বা সত্য সারণি—১

ইনপুট		আউটপুট
A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

AND gate A . B = C বুলিয়ান বীজগণিত অনুসারে কাজ করে।

কাজের ধারা (Working procedure)

১। পিন সংযোগ অনুযায়ী ট্রেইনার বোর্ডের উপর IC বসাতে হবে। 1নং ও 2নং পিন সুইচ A ও B এর সাথে এবং 7নং পিন এর সাথে ভূমি এবং 14নং পিন এর সাথে +5V সংযোগ দিতে হবে। 3নং পিন ট্রেইনার বোর্ডে LED বা ভোল্টমিটারের সাথে সংযোগ দিতে হবে।

২। ট্রেইনার বোর্ডে বৈদ্যুতিক সংযোগ দিতে হবে।

৩। এবার ট্রুথ টেবিল অনুসারে আইসি সংযোগের ক্ষেত্রে সুইচ-এর অবস্থার পরিবর্তন করে অর্থাৎ অফ-অন করে আউটপুট অর্থাৎ LED এর অবস্থা পর্যবেক্ষণ করতে হবে।

সতর্কতা :

১। সকল সংযোগ শক্তভাবে দিতে হবে।

২। 14নং পিন ট্রেনার বোর্ডে +5V এর সাথে যুক্ত করতে হবে।

৩। সুইচ ধীরে ধীরে অফ-অন করতে হবে।

পরীক্ষণের নাম :	**NOT লজিক গেট-এর ট্রুথ টেবিল যাচাই**
পিরিয়ড : ১	**To verify the truth table of NOT logic gate**

উদ্দেশ্য (Objective) : NOT গেটের অপারেশন আইসি এর সাহায্যে যাচাইকরণ

যন্ত্রপাতি ও মালামাল (Equipments and materials) :

১। ডিজিটাল ট্রেইনার বোর্ড

২। 1 ইনপুট NOT গেট 7404 আইসি ১টি

৩। LED বাতি

৪। সুইচ

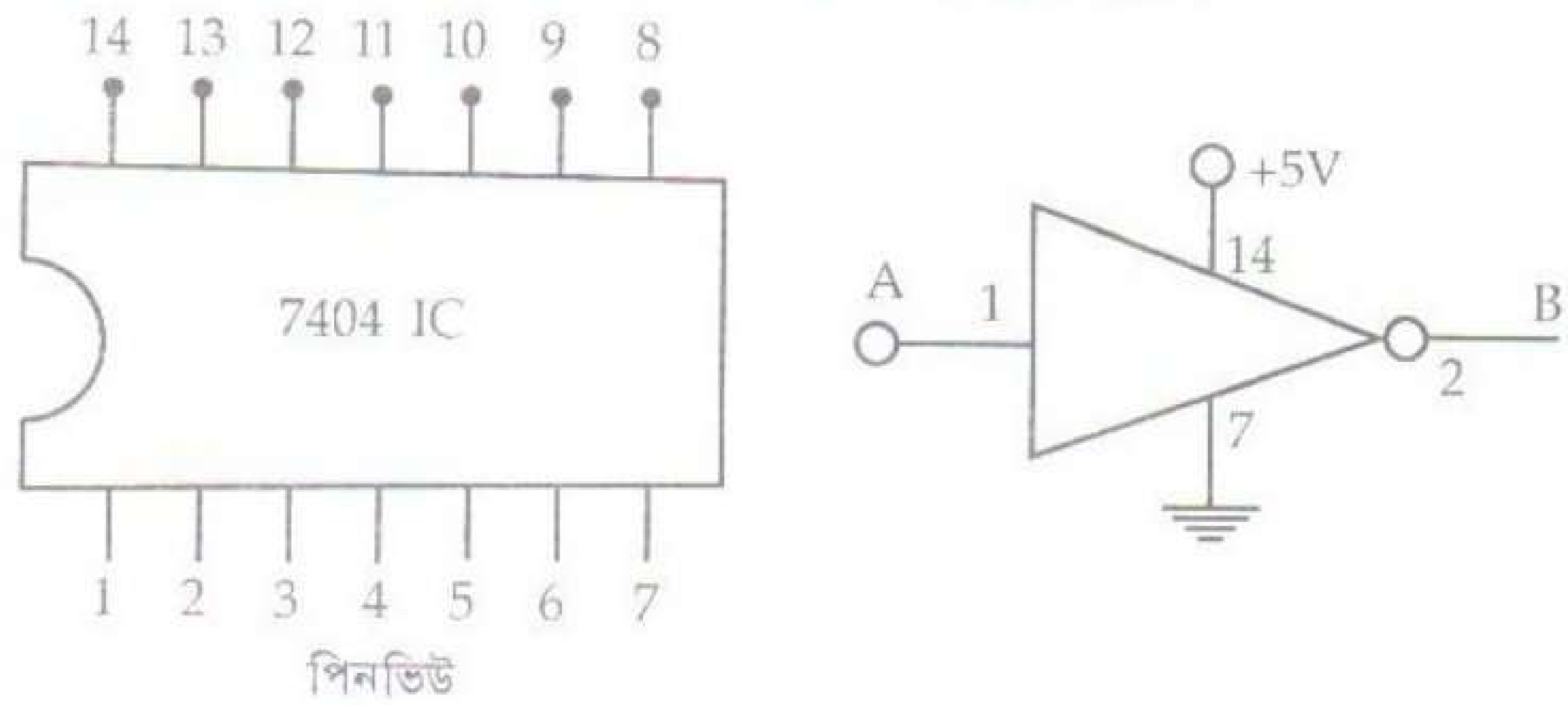
৫। সংযোগ তার

লজিক অবস্থা :

'0' = 0V

'1' = +5V

বর্তনী সংযোগ : NOT গেটের আইসি সংযোগ চিত্র ১০'৪৩-এ দেখানো হলো।



চিত্র ১০'৪৩

ট্রুথ টেবিল :

ইনপুট A	আউটপুট B
0	1
1	0

কাজের ধারা (Working procedure)

১। পিন সংযোগ অনুযায়ী ট্রেনার বোর্ডের উপর 7404 IC বসাতে হবে।

২। 1নং ও 2নং পিন সুইচ A ও B এর সাথে এবং 7নং পিন এর সাথে ভূমি এবং 14নং পিন এর সাথে +5V সংযোগ দিতে হবে। 3নং পিন ট্রেনার বোর্ডে LED এর সাথে বা ভোল্টমিটারের সাথে সংযোগ দিতে হবে।

৩। এবার ট্রুথ টেবিল অনুযায়ী IC সংযোগের ক্ষেত্রে সুইচ-এর অবস্থার পরিবর্তন করে অর্থাৎ অফ-অন করে LED-এর অবস্থা পর্যবেক্ষণ করতে হবে।

সতর্কতা :

১। সকল সংযোগ শক্তভাবে দিতে হবে।

২। 14নং পিন ট্রেনার বোর্ডে +5V এর সাথে যুক্ত করতে হবে।

৩। সুইচ ধীরে ধীরে অফ-অন করতে হবে।

পরীক্ষার নাম পিরিয়ড-১	**OR লজিক গেট-এর ট্রুথ টেবিল যাচাই** **To verify the truth table of OR logic gate**

উদ্দেশ্য (Objective) : OR গেটের অপারেশন আইসি এর সাহায্যে যাচাইকরণ

যন্ত্রপাতি ও মালামাল (Equipments and materials) :

১। ডিজিটাল ট্রেইনার বোর্ড (Digital trainer board) ১টি

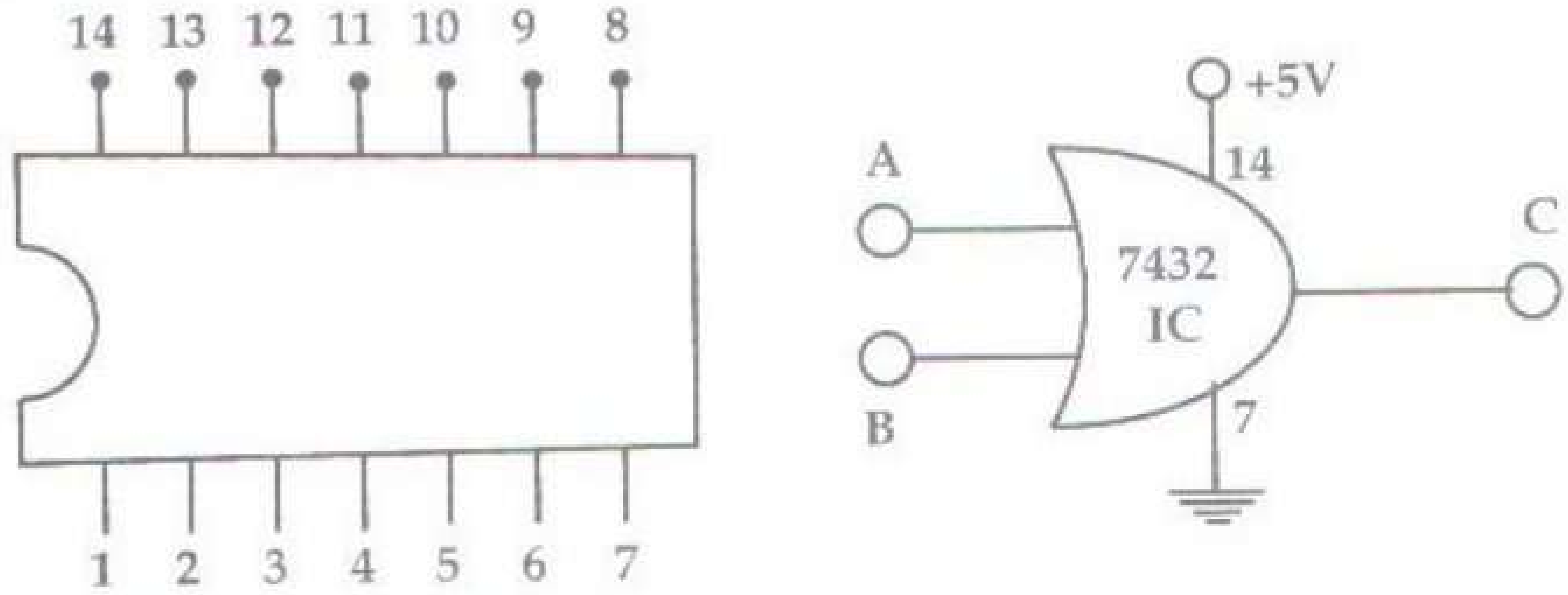
২। 2 ইনপুট OR গেট (7432) আইসি ১টি

৩। LED বাতি

৪। সুইচ

৫। সংযোগ তার।

সংযোগ (Connection) : OR গেটের আইসি সংযোগ নিচের ১০.৪৪নং চিত্রে দেখানো হলো।



চিত্র ১০'৪৪

লজিক অবস্থা :

'0' = 0V

'1' = +5V

ট্রুথ টেবিল (Truth table)

ভোল্টেজ সংযোগ		ইনপুট		আউটপুট	ভোল্টেজ
A	B	A	B	C	Output
0V	0V	0	0	0	0V
0V	5V	0	1	1	5V
5V	0V	1	0	1	5V
5V	5V	1	1	1	5V

কাজের ধারা (Working procedure)

১। 7432 আইসি চিত্র ১০'৪৪ এর ন্যায় ট্রেনার বোর্ড বসাতে হবে।

২। 1নং ও 2নং পিন A ও B এর সাথে এবং 7নং পিন এর সাথে ভূমি এবং 14নং পিন এর দিতে হবে। 3নং পিন ট্রেইনার বোর্ডে LED বা ভোল্টমিটারের সাথে সংযোগ দিতে হবে।

৩। সুইচ OFF/ON করে আউটপুটের সত্যতা যাচাই করতে হবে।

৪। আইসি-তে চার সেট (A, B) ইনপুট এবং চারটি আউটপুট (C) আছে। যেকোনো সেট অপারেশন LED বাতির অবস্থা পর্যবেক্ষণ করে লিপিবন্ধ করতে হবে।

অনুরূপভাবে যথোপযুক্ত আইসি ব্যবহার ও প্রয়োজনীয় বর্তনী সংযোগ দিয়ে NAND এবং ট্রুথ টেবিল যাচাই করা যায়।

সতর্কতা :

১। সকল সংযোগ শক্তভাবে দিতে হবে।

২। 14নং পিন ট্রেনার বোর্ডে +5V এর সাথে যুক্ত করতে হবে।

৩। সুইচ ধীরে ধীরে অফ-অন করতে হবে।

কাজ : IC কী ? এর সুবিধা-অসুবিধাগুলি কী কী ?

ইনটিগ্রেটেড বা সমন্বিত সার্কিটের সংক্ষিপ্ত নাম IC। এটি হলো সেই বর্তনী যাতে বর্তনীর উপাংশ বা যন্ত্রাংশগুলো ক্ষুদ্র অর্ধপরিবাহক চিপে বিশেষ প্রক্রিয়ায় গঠন করা হয় যারা স্বয়ংক্রিয়ভাবে ঐ চিপের অংশ। IC-তে অনেকগুলো যন্ত্রাংশ যেমন— রোধক, ধারক, ডায়োড, ট্রানজিস্টর ইত্যাদি এবং এদের অন্তঃসংযোগ একটি ক্ষুদ্র প্যাকেজ হিসেবে থাকে, যাতে এরা একটি পূর্ণ ইলেকট্রনিক কার্যাবলি সম্পন্ন করতে পারে। একটি ক্ষুদ্র অর্ধপরিবাহক পদার্থের মধ্যে এসব যন্ত্রাংশ গঠন ও সংযুক্ত করা হয়।

সুবিধা : (১) সংযোগ সংখ্যা কম কিন্তু নির্ভরযোগ্যতা বেশি। (২) অত্যন্ত ক্ষুদ্রাকৃতি। (৩) ওজন কম (৪) কম বিদ্যুতের প্রয়োজন হয়। (৫) দাম কম।

অসুবিধা : কোনো যন্ত্রাংশ নষ্ট হয়ে গেলে চিপটি পরিবর্তন করতে হয়। অংশবিশেষ মেরামত করা যায় না।

৫। FM ও TV গ্রাহক যন্ত্রে মিশ্রণ ক্রিয়া সম্পাদনে FET ব্যবহৃত হয়।

৬। ক্ষুদ্র আকৃতির জন্য LSI বর্তনী এবং কম্পিউটারের মেমোরীতে FET ব্যবহৃত হয়।

সৌর কোষঃ সৌর কোষ হল সিলিকন দিয়ে তৈরি আলোকসংবেদী p-n জাংশন।

Ic এর সুবিধা:

i. সংযোগ সংখ্যা কম হওয়ায় নির্ভরযোগ্যতা বেশি

ii. অত্যন্ত ক্ষুদ্রাকৃতি

iii. অতি উচ্চ তাপমাত্রায় ও অধিক যোগ্যতার কাজ করতে পারে।

Ic এর অসুবিধা:

i. 10W এর বেশি IC তৈরি করা যায় না ii. আবেশক ও ট্রান্সফর্মার হিসেবে ব্যবহার করা যায় না iii. কোন যন্ত্রাংশ নষ্ট হলে সমস্ত চিপ পরিবর্তন করতে হয়।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$I_E = I_B + I_C$ ... ...

$\Delta I_E = \Delta I_B + \Delta I_C$ ... ...

গতীয় রোধ, $R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$ ... ...

প্রবাহ বিবর্ধন গুণক, $\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$ ... ...

প্রবাহ লাভ, $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ ... ...

প্রবাহ লাভ এবং প্রবাহ বিবর্ধন গুণক এর মধ্যে সম্পর্ক, $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$ ... ...

ইলেকট্রনিক সুইচের ক্ষেত্রে বিভব পার্থক্য, $V_{out} = V_{CC} - I_C R_C$ ... ...

পূর্ণ তরঙ্গ একমুখী কারেন্ট, $I_{dc} = \frac{2I_m}{\pi}$ ... ...

উচ্চতর দক্ষতাসম্পন্ন নমুনা গাণিতিক উদাহরণ

১। রানা তার কলেজের বিজ্ঞান মেলায় প্রোজেক্ট ডিসপ্লে করার জন্য একটি সিরামিক ডায়োডে সম্মুখ ঝোঁক প্রয়োগ করল। জাংশনটিতে বিভব পার্থক্য 2.4 volt থেকে বাড়িয়ে 2.55 volt করায় প্রবাহমাত্রা 300 mA বৃদ্ধি পেল।

(ক) উদ্দীপকে বর্ণিত p-n জাংশনটির গতীয় রোধ কত ?

(খ) p-n জাংশনটির মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা বন্ধ করার জন্য বর্তনী অপরিবর্তিত রেখে কীরূপ ব্যবস্থা গ্রহণ করা যেতে পারে? বিশ্লেষণ কর।

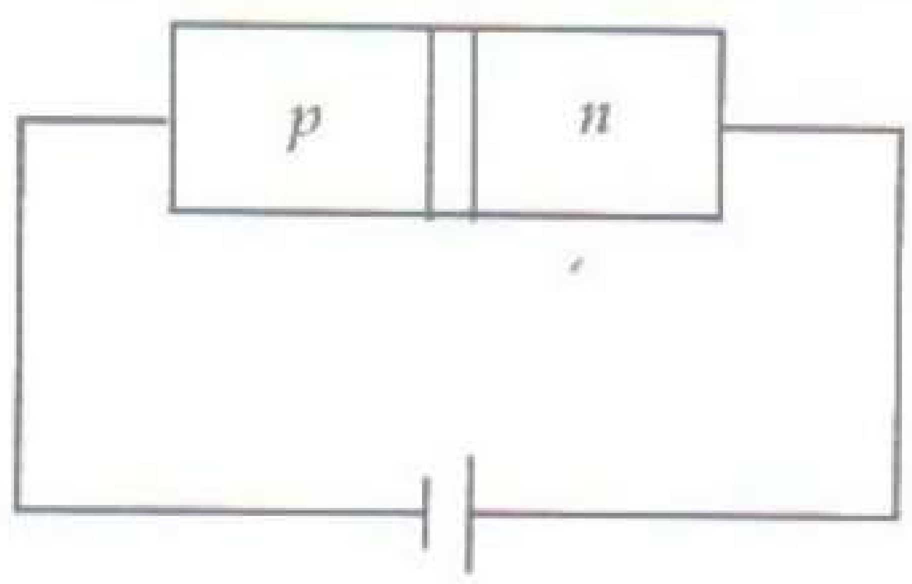
সমাধান : (ক) বিভব পার্থক্য, $\Delta V = (2{\cdot}55 - 2{\cdot}4)$ volt $= 0{\cdot}15$ volt

প্রবাহমাত্রা পরিবর্তন, $\Delta I = 300$ mA $= 300 \times 10^{-3}$ A

আমরা জানি, জাংশনের গতীয় রোধ, $R = \frac{\Delta V}{\Delta I}$

$$\therefore \quad R = \frac{0{\cdot}15}{300 \times 10^{-3}} = 0{\cdot}5\ \Omega$$

(খ) বর্তনীতে কোনোরূপ পরিবর্তন সাধন না করে কেবলমাত্র উদ্দীপকে উল্লেখিত ডায়োডে বিপরীত ঝোঁক প্রদান করার মাধ্যমে এর মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা কমানো সম্ভব। বর্তনীটি নিম্নরূপ :



চিত্র অনুযায়ী জাংশনটির p-অঞ্চলে ব্যাটারীর ঋণাত্মক প্রান্তের সাথে এবং n-অঞ্চলে ধনাত্মক প্রান্তের সাথে যুক্ত করা হয়। ফলে ব্যাটারীর ঋণাত্মক প্রান্ত p-অঞ্চলের হোলগুলোকে এবং ধনাত্মক প্রান্ত n-অঞ্চলের ইলেকট্রনগুলোকে আকর্ষণ করে বিভব প্রাচীরের প্রস্থ বাড়িয়ে দিবে। n-অঞ্চলের ইলেকট্রন বিভব প্রাচীর অতিক্রম করে p-অঞ্চলের হোলের সাথে মিশতে পারবে না। ফলে জাংশনটির মধ্য দিয়ে প্রবাহমাত্রা বন্ধ হয়ে যাবে।

২। পদার্থবিজ্ঞানের ল্যাবে ব্যবহারিক ক্লাসে একটি p-n-p ট্রানজিস্টরকে কমন এমিটার সংযোগে রেখে অ্যামপ্লিফায়ার তৈরি করা হলো। বেস-এমিটার জাংশনকে ইনপুট হিসেবে ব্যবহার করা হয়েছে। এতে 0·9V বিভব প্রয়োগ করলে বেস প্রবাহ 10mA এবং 1·1V প্রয়োগ করলে 30 mA পাওয়া যায়। এর কারেন্ট গেইন 75। বর্তনীর লোড রোধ 100Ω এবং বহির্মুখে কালেক্টরকে রাখা আছে।

(ক) ট্রানজিস্টরটিকে অ্যামপ্লিফায়ার হিসেবে ব্যবহার করা যায় কিনা ? ব্যাখ্যা কর।

দেওয়া আছে কারেন্ট গেইন $\beta = 75$

বেস প্রবাহের পরিবর্তন $I_B = (30 - 10)$ mA $= 20$ mA

সংগ্রাহক প্রবাহের পরিবর্তন, $I_C = ?$

গতীয় রোধ, $R = 10\Omega$

লোড রোধ, $R_L = 100\Omega$

আমরা জানি, $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$

$$75 = \frac{\Delta I_C}{20\ mA}$$

$$\Delta I_C = 75 \times 20\ mA = 1.5 \times 10^3\ mA = 1.5\ A$$

ইনপুট বিভব, $V_i = I_B \times$ গতির রোধ

$$= 20\ mA \times 10\Omega$$

$$= 20 \times 10^{-3}\ A \times 10\ \Omega = 0.2\ volt$$

বহিঃমুখে বিভব পতন $V_0 = I_0 \times R_L$

$$= 1.5\ A \times 100\ \Omega = 150\ volt$$

এখন, $\frac{V_0}{V_i} = \frac{150}{0.2} = 750 > 1$

$\therefore\ V_0 > V_i$

বহিঃমুখে বিভব বৃদ্ধি পাবে এবং ট্রানজিস্টরটি অ্যামপ্লিফায়ার হিসেবে ব্যবহারযোগ্য হবে।

৩। একটি কমন বেস সংযোগে থাকা ট্রানজিস্টরের নিঃসারক ও বেস প্রবাহ যথাক্রমে 0.85 এবং 30.05 mA.

(ক) নিঃসারক ও বেস প্রবাহদ্বয় দ্বিগুণ করা হলে ট্রানজিস্টরটির প্রবাহ লাভের পরিবর্তন গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(খ) নিঃসারক ও বেস প্রবাহদ্বয় দ্বিগুণ করা হলে ট্রানজিস্টরটির প্রবাহ লাভের পরিবর্তন গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [য. বো. ২০১৫]

সমাধান :

(ক) এখানে নিঃসারক প্রবাহ, $I_E = 0.85\ mA$

বেস প্রবাহ, $I_B = 0.05\ mA$, বিবর্ধন ফ্যাকটর $\alpha = ?$

আমরা জানি, $\alpha = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_E - I_B}{I_E} = \frac{0.85 - 0.05}{0.85} = 0.94$

(খ) উদ্দীপকে বর্ণিত অবস্থায় প্রবাহ লাভ,

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_E - I_B}{I_B} = \frac{0.85 - 0.05}{0.05} = \frac{0.80}{0.05} = 16$$

নিঃসারক প্রবাহ দ্বিগুণ করা হলে, $I'_E = 2I_E = 2 \times 0.85$

বেস প্রবাহ দ্বিগুণ করা হলে, $I'_B = 2I_B = 2 \times 0.05 = 0.1\ mA$

এক্ষেত্রে প্রবাহ লাভ, $\beta' = \frac{I'_C}{I'_B} = \frac{I'_E - I'_B}{I'_B} = \frac{I'_E}{I_B} - 1 = \frac{1.7}{0.1} - 1 = 16$

দেখা যায় যে, $\beta' = \beta$

সুতরাং নিঃসারক ও বেস প্রবাহদ্বয় দ্বিগুণ করা হলে ট্রানজিস্টরটির প্রবাহ লাভের পরিবর্তন হবে না।

৪। গবেষণাগারে একজন শিক্ষার্থী চারটি একই রকম ডায়োড নিয়ে পরীক্ষা করছিল, সে দেখতে পেল যে, প্রতিটি ডায়োডের দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য 0.4 Volt পরিবর্তন করা হলে তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন 100 mA হয়। ডায়োডগুলো ব্যবহার করে সে একটি পূর্ণ তরঙ্গ রেক্টিফায়ার তৈরি করে পরীক্ষা শুরু করল। কিছুক্ষণ পর সে বর্তনী থেকে একটি ডায়োড খুলে ফেলল। [ব. বো. ২০১৫]

(ক) উদ্দীপকে উল্লেখিত ডায়োডের গতীয় রোধ কত?

(খ) ডায়োডটি খুলে ফেলার পর আউটপুট সিগন্যালের পরিবর্তন কীরূপ হবে তা সচিত্র বর্ণনা কর।

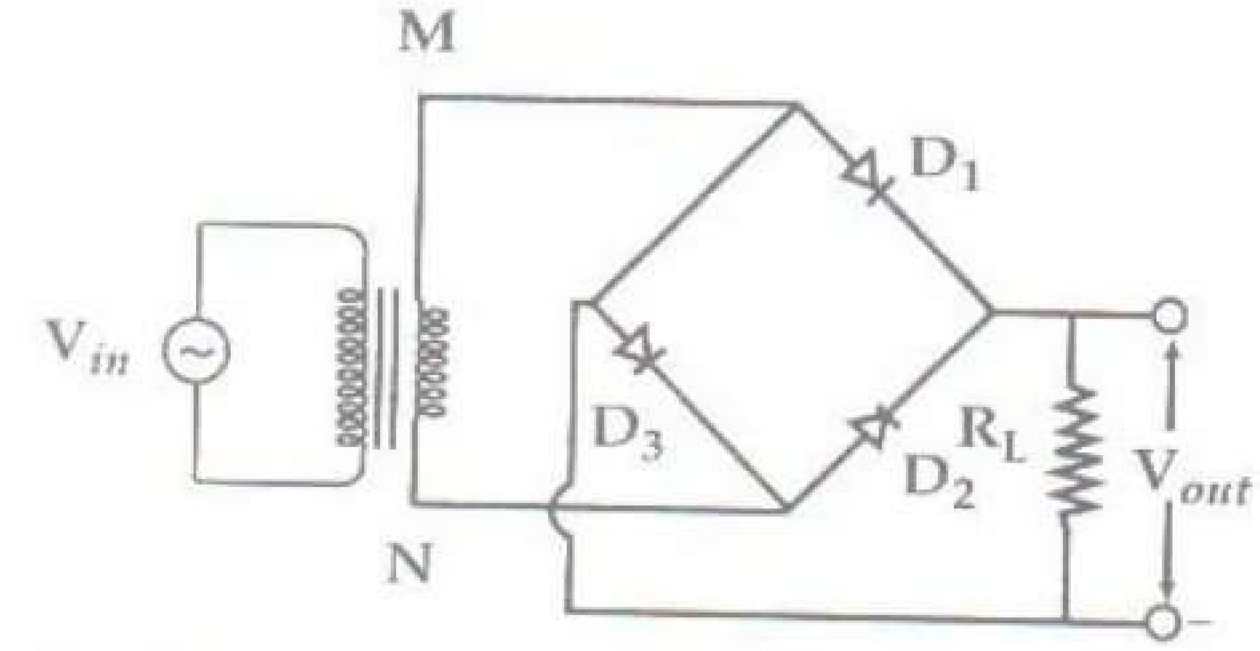
সমাধান :

(ক) দেওয়া আছে, বিভব পার্থক্যের পরিবর্তন $\Delta V = 0.4\ V$, তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন $\Delta I = 100\ mA = 100 \times 10^{-3}\ A$,

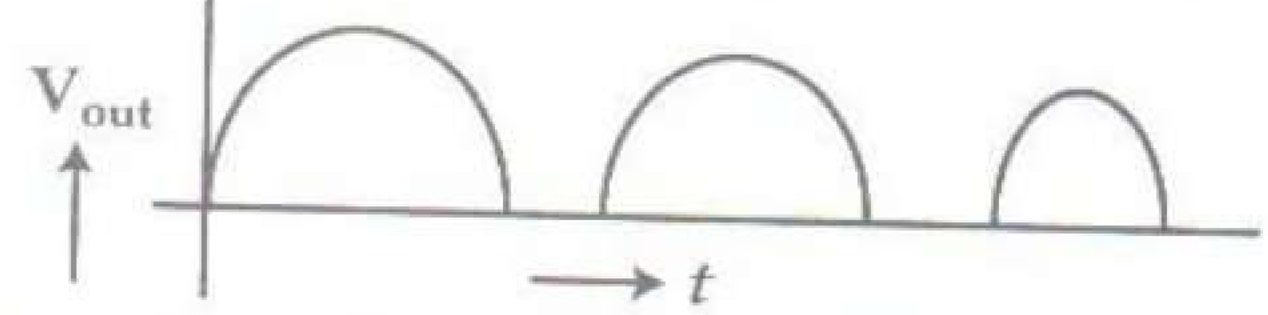
নির্ণেয় রোধ, $R = ?$

আমরা জানি, $R = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{0.4\ Volt}{100 \times 10^{-3}} = 4\ \Omega$

(খ) রেকটিফায়ারের চতুর্থ ডায়োডটি খুলে ফেলায় বর্তনীটি নিম্নরূপ হবে :



ইনপুটের ধনাত্মক অর্ধচক্রের জন্য M প্রান্ত ধনাত্মক এবং N প্রান্ত ঋণাত্মক হয়। তখন D_1 ও D_3 এর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হয় অর্থাৎ আউটপুটে সিগন্যাল পাওয়া যায়। কিন্তু ইনপুটের ঋণাত্মক অর্ধচক্রের জন্য MN



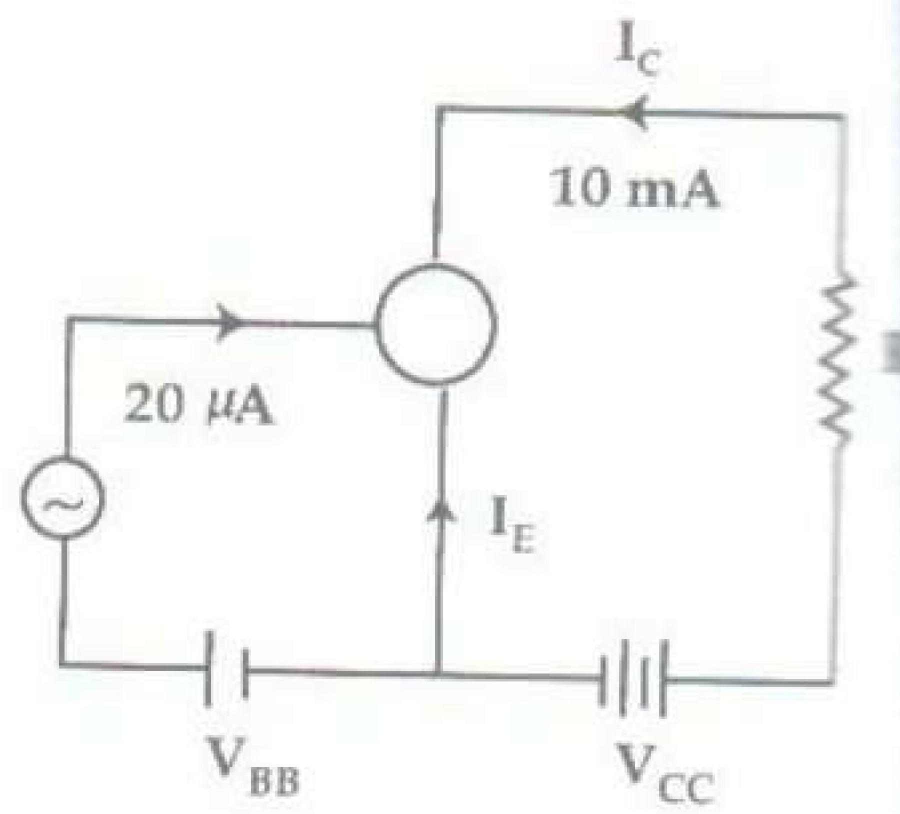
হলে কোনো ডায়োডের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হবে না। ফলে আউটপুটে সিগন্যাল পাওয়া যাবে না। অর্থাৎ রেকটিফায়ারটি একটি অর্ধতরঙ্গ রেকটিফায়ার হিসেবে কাজ করবে। এর আউটপুটে R_Lএর বিপরীতে সিগন্যাল নিম্নরূপ হবে।

৫। চিত্রে একটি ট্রানজিস্টর দেওয়া আছে—

(ক) প্রবাহ বিবর্ধন গুণন নির্ণয় কর।

(খ) ইনপুট ভোল্টেজ পরিবর্তন করে ট্রানজিস্টরকে একটি সুইচ হিসেবে ব্যবহার করা যায় কী? বিশ্লেষণ কর।

[রা. বো. ২০১৫]



সমাধান :

(ক) মনে করি প্রবাহ বিবর্ধন গুণাঙ্ক = α

সাধারণ নিঃসারক ট্রানজিস্টরটিতে নিঃসারক প্রবাহ I_E হলে,

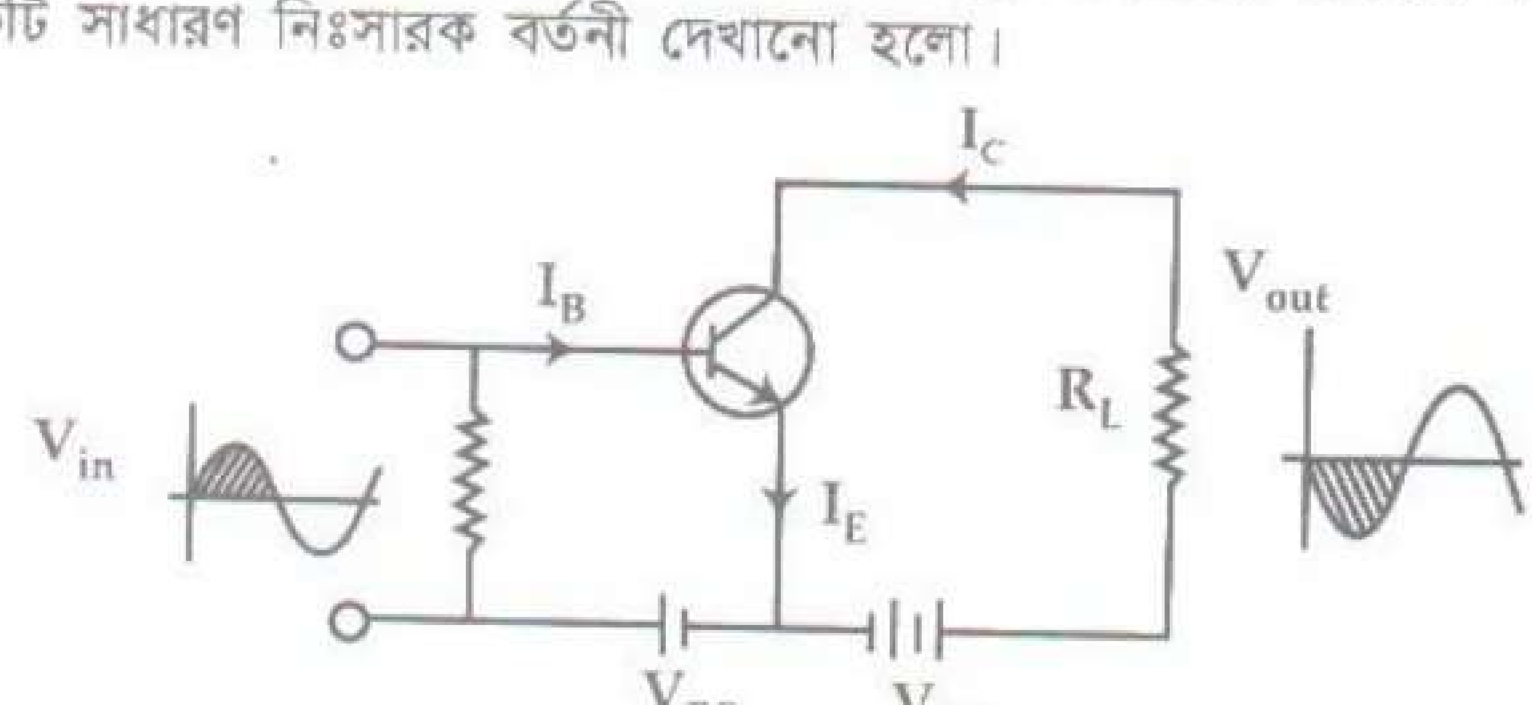
আমরা জানি, $I_E = I_B + I_C$

$$= (200 \times 10^{-6} + 1 \times 10^{-3})\ A$$

$$= 1 \cdot 2 \times 10^{-3}\ A$$

আবার প্রবাহ বিবর্ধন গুণাঙ্ক, $\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{1 \times 10^{-3}}{1 \cdot 2 \times 10^{-3}} = 0 \cdot 833$

(খ) ইনপুট ভোল্টেজ পরিবর্তন করে ট্রানজিস্টরকে একটি সুইচ হিসেবে ব্যবহার করা যায়। চিত্রে ইনপুট ও আউটপুট সংকেতসহ একটি সাধারণ নিঃসারক বর্তনী দেখানো হলো।



সম্মুখ ঝোঁক প্রাপ্ত অবস্থায় অন্তর্গামী বর্তনীতে রোধ খুব কম থাকে। নিঃসারক সংগ্রাহক বর্তনীতে বা বহির্গামী বর্তনীতে V_{CC} ব্যাটারির মাধ্যমে বিমুখী ঝোঁক প্রদান করা হয়।

নিঃসারক পীঠ জাংশানে প্রযুক্ত ইনপুট ভোল্টেজের ধনাত্মক অর্ধচক্রের সময় জাংশনের সম্মুখ ঝোঁক বৃদ্ধি পায়। কিন্তু অন্তর্গামী সংকেতের ঋণাত্মক অর্ধচক্রের জন্য নিঃসারক পীঠ জাংশনের সম্মুখ ঝোঁক হ্রাস পায় অর্থাৎ বিমুখী ঝোঁক বৃদ্ধি পায়। এই অবস্থায় সংগ্রাহক প্রবাহ কমে যায়। ফলে বহির্গামী ভোল্টেজও হ্রাস পায়।

অর্থাৎ ইনপুট ভোল্টেজের ধনাত্মক অর্ধচক্রের সময় ট্রানজিস্টর অন অবস্থায় থাকে এবং ঋণাত্মক অর্ধচক্রের সময় অফ অবস্থায় থাকে। তাই ইনপুট ভোল্টেজ পরিবর্তন করে অন্তর্গামীতে ঋণাত্মক অর্ধচক্র প্রেরণ করলে অর্থাৎ বিমুখী ঝোঁক প্রাপ্ত হলে ট্রানজিস্টর সুইচের ন্যায় কাজ করবে।

সার-সংক্ষেপ

পরিবাহী : যে সমস্ত পদার্থের ভেতর দিয়ে তড়িৎ সহজে চলাচল করতে পারে সেগুলোকে পরিবাহী বলে।

অন্তরক : যে সমস্ত পদার্থের ভেতর দিয়ে তড়িৎ সহজে চলাচল করে না, সেগুলোকে অন্তরক বলে।

অর্ধপরিবাহী : যে সমস্ত পদার্থের তড়িৎ পরিবাহিতা পরিবাহী ও অন্তরকের মাঝামাঝি, সেগুলোকে অর্ধপরিবাহী পদার্থ বলে। তাপমাত্রা বাড়ালে এদের তড়িৎ পরিবাহিতা বহুগুণ বৃদ্ধি পায়।

শক্তি ব্যান্ড : কেলাস গঠনে একই কক্ষপথের ইলেকট্রনগুলোর একটি সুনির্দিষ্ট শক্তিস্তর না হয়ে ব্যান্ডের আকার ধারণ করে। বিভিন্ন কক্ষপথের ইলেকট্রনগুলোর বিভিন্ন ব্যান্ড সৃষ্টি হয়। এসমস্ত ব্যান্ডের সর্বনিম্ন এবং সর্বোচ্চ মানের শক্তির মধ্যবর্তী পাল্লাকে শক্তি ব্যান্ড বলে।

পরিবহন ব্যান্ড : পরমাণুর মুক্ত ইলেকট্রনগুলোর জন্য যে ব্যান্ড বা পাল্লা তৈরি হয় তাকে পরিবহন ব্যান্ড বলে। পরিবহন ব্যান্ডের ইলেকট্রনগুলো বিদ্যুৎ পরিবহনে অংশগ্রহণ করে।

হোল : পরমাণুর বন্ধন থেকে কোনো ইলেকট্রন বিচ্ছিন্ন হলে ঐ অবস্থানে যে শূন্যস্থানের সৃষ্টি হয় তাকে হোল বা গর্ত বলে। এর কার্যকর আধান $+e$, যদিও এটি কোনো বাস্তব কণিকা নয়।

যোজন ব্যান্ড : কোনো পদার্থের মধ্যে যোজ্যতা ইলেকট্রনগুলি যে সমস্ত শক্তি স্তরে থাকে, সেই সকল শক্তি স্তর নিয়ে যে শক্তি ব্যান্ড তৈরি হয় তাকে যোজন ব্যান্ড বলে।

অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী : বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সঙ্গে বিশেষ ধরনের অপদ্রব্যকে সুপরিকল্পিতভাবে মিশালে অর্ধপরিবাহীটির তড়িৎ পরিবহন ক্ষমতা বহুগুণ বৃদ্ধি পায়। একেই অবিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহী বলে।

ডোপ্যান্ট : অর্ধপরিবাহীর সঙ্গে মিশ্রিত অপদ্রবকে ডোপ্যান্ট বলে।

নিষিদ্ধ শক্তি ব্যবধান বা ফাঁক : পরিবহন ব্যান্ড ও যোজন ব্যান্ডের বা যে কোনো দুটি ব্যান্ডের মধ্যবর্তী অঞ্চল যেখানে ইলেকট্রন থাকতে পারে না, তাকে নিষিদ্ধ শক্তি ব্যবধান বা ফাঁক বলে।

বিশুদ্ধ বা সহজাত অর্ধপরিবাহী : যে সমস্ত অর্ধপরিবাহীতে ইলেকট্রন ও হোলের সংখ্যা সমান থাকে সেগুলোকে বিশুদ্ধ বা সহজাত অর্ধপরিবাহী বলে। এই সমস্ত অর্ধপরিবাহীতে কোনো ভেজাল থাকে না।

n-টাইপ অর্ধপরিবাহী : বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে পঞ্চযোজী মৌল খুব সামান্য পরিমাণে মিশ্রিত করলে n-টাইপ অর্ধপরিবাহী হয়। এই ধরনের পদার্থে তড়িৎ পরিবহনে ইলেকট্রনই মুখ্য ভূমিকা পালন করে।

p-টাইপ অর্ধপরিবাহী : বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সাথে খুব সামান্য পরিমাণে ত্রিযোজী মৌল মিশ্রিত করে যে অর্ধপরিবাহী তৈরি হয় তাই p-টাইপ অর্ধপরিবাহী। এই সমস্ত পদার্থে তড়িৎ পরিবহনে ধনাত্মক 'হোল' মুখ্য ভূমিকা পালন করে।

ডোপিং : বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর সঙ্গে খুব সামান্য পরিমাণে ত্রি বা পঞ্চযোজী মৌলের মিশ্রণের কৌশলকে ডোপিং বলে। বিদ্যুৎ প্রবাহ বৃদ্ধির জন্য ডোপিং করা হয়।

জাংশন ডায়োড : একটি p-টাইপ এবং একটি n-টাইপ অর্ধপরিবাহীকে বিশেষ ব্যবস্থাধীনে সংযুক্ত করলে সংযোগ পৃষ্ঠকে $p-n$ জাংশন বা জাংশন ডায়োড বলে। জাংশন ডায়োডে একমুখী তড়িৎ প্রবাহ ঘটে।

সম্মুখবর্তী ঝোঁক : যখন জাংশনে এমনভাবে বাহ্য ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হয় যাতে জাংশনের বিভব প্রাচীর হ্রাস করে তড়িৎ প্রবাহ চালু করে তখন একে সম্মুখবর্তী ঝোঁক প্রয়োগ বলে।

বিপরীত ঝোঁক : ডায়োডে বা জাংশনে বাহ্য ভোল্টেজ প্রয়োগ যদি এমন হয় যে বিভব প্রাচীরের উচ্চতা বৃদ্ধি পায়, তখন একে বিপরীত ঝোঁক প্রয়োগ বলে।

রেকটিফায়ার : যে ডিভাইস বা কৌশল এসি বা পরিবর্তি প্রবাহকে একমুখী প্রবাহে রূপান্তর করে তাকে রেকটিফায়ার বলে।

ট্রানজিস্টর : দুটি p-n জাংশনকে পাশাপাশি বিশেষ কায়দায় সংযুক্ত করলে ট্রানজিস্টর হয়। দুটি p-টাইপ বা দুটি n-টাইপ অর্ধপরিবাহীর মাঝখানে অত্যন্ত পাতলা এবং খুবই হাল্কা ডোপিং সমৃদ্ধ যথাক্রমে একটি n-টাইপ বা একটি p-টাইপ অর্ধপরিবাহী সংযুক্ত করে p-n-p এবং n-p-n ট্রানজিস্টর তৈরি করা হয়।

অ্যাম্প্লিফায়ার : এটি এক ধরনের ইলেকট্রনিক ডিভাইস বা কৌশল যার ইনপুট বর্তনীতে দুর্বল সংকেত প্রয়োগ করে বহিঃবর্তনী হতে বহুগুণ বিবর্ধিত সংকেত পাওয়া যায়।

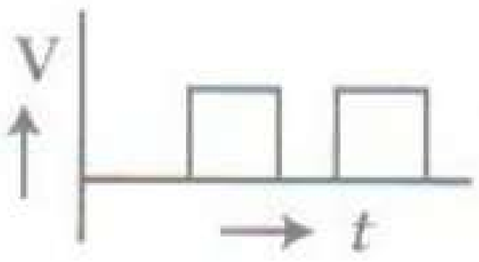
ডিজিটাল পদ্ধতি : ডিজিটাল পদ্ধতি হলো এমন একটি প্রক্রিয়া যাতে আলাদা আলাদা একক ব্যবহৃত হয়। যেমন— আঙুল, হাত, ডিজিট (0, 1, 2 ....) ইত্যাদি। এই এককগুলি এককভাবে বা গুচ্ছাকারে ব্যবহার করে কোনো পূর্ণসংখ্যা প্রকাশ করা যায়।

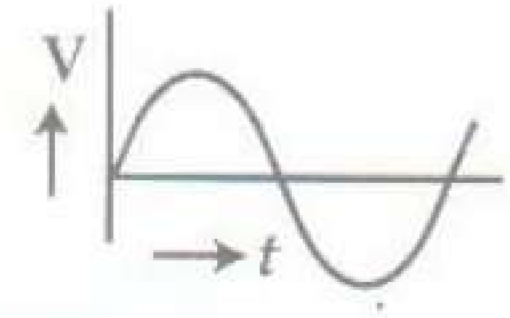
লজিক গেট : লজিক গেট একটি ইলেকট্রনিক্স বর্তনী যা যৌক্তিক সিদ্ধান্ত নিতে পারে। এর একটি আউটপুট এবং এক বা একাধিক ইনপুট প্রান্ত থাকে। ইনপুট সিগনালের নির্দিষ্ট সমন্বয়ের জন্য আউটপুট সিগনাল আবির্ভূত হয়।

জেনার ডায়োড : এটি জেনার ভোল্টেজে ক্রিয়াশীল বিশেষ ধরনের ডায়োড, স্থির মানের ডি. সি. ভোল্টেজ পাওয়ার জন্য পাওয়ার সাপ্লাইতে ব্যবহার করা হয়। জেনার ডায়োড বিপরীত ঝোঁকে ক্রিয়াশীল।

আই. সি. (IC) : এটি একটি সিলিকনের তৈরি সলিড স্টেট (Solid state) অর্ধপরিবাহী ডিভাইস যাকে চিপ বলে। একটি চিপের মধ্যে বহু সংখ্যক ডায়োড, ট্রানজিস্টর, রোধক, ধারক ইত্যাদি অভ্যন্তরীণভাবে সংযুক্ত থাকে।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। অতি নিম্ন তাপমাত্রায় অতি পরিবাহী পদার্থের রোধ শূন্যে নেমে আসে।
২। পূর্ণতরঙ্গ রেকটিফায়ারে আউটপুট পাওয়া যায় ইনপুটের পূর্ণচক্রের জন্য।
৩। জেনার ভোল্টেজ পাওয়া যায় রিভার্স বায়াসে।
৪। I_C এবং I_E লেখচিত্রের ঢাল হলে—α।
৫। বাইনারিতে 0 দিয়ে ভাগ করলে—অর্থহীন বলে।
৬। অর্ধপরিবাহীতে শক্তির ব্যবধান 1 eV।
৭। NOT গেইটের ক্ষেত্রে ইনপুট হাই হলে আউটপুট লো হয়।
৮। কার্বন হলো অন্তরক পদার্থ।
৯। AND গেইটের সকল ইনপুট 1 হলেই আউটপুট কেবলমাত্র 1 হয়।
১০। বাইনারি পদ্ধতিতে লজিক অবস্থা 2টি।
১১। 

হলো ডিজিটাল সিগন্যাল এবং 

হলো অ্যানালগ সিগনাল।
১২। বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীতে ভেজাল মিশ্রণ করে পরিবাহিতা বৃদ্ধি করা যায়।
১৩। বাইনারি পদ্ধতিতে চার ডিজিটের সর্বোচ্চ 15টি নম্বর দেওয়া যাবে।
১৪। অর্ধপরিবাহীর আপেক্ষিক রোধ $10^{-4}\ \Omega$-m ক্রমের।
১৫। পরিবহন ব্যান্ড ও যোজন ব্যান্ড এর মধ্যবর্তী নিষিদ্ধ অঞ্চলে ইলেকট্রন থাকতে পারে না।
১৬। রাবার, জার্মেনিয়াম, সিলিকন, তামা এর মধ্যে রাবারের আপেক্ষিক রোধ বেশি।
১৭। পরিবাহী, অর্ধপরিবাহী, অন্তরক এর মধ্যে অর্ধপরিবাহীর আপেক্ষিক রোধ মাঝামাঝি।
১৮। হোল তড়িৎ পরিবাহীতে অংশ নেয়, ধনাত্মক চার্জযুক্ত, যোজন ব্যান্ড সৃষ্টি করে।
১৯। যোজন ব্যান্ডের শক্তি পাল্লার মধ্যে (i) যোজন ইলেকট্রন অবস্থান করে (ii) পরমাণু সর্ববহিঃস্থ কক্ষের ইলেকট্রন থাকে।

২০। ট্রানজিস্টর আবিষ্কারের জন্য 1956 সালের নভেম্বরে ব্রাইটেন নোবেল পুরস্কার পান।

২১। কোনো সংখ্যা লেখা বা প্রকাশ করার পদ্ধতিকে বলা হয় সংখ্যা পদ্ধতি।

২২। দশমিক পদ্ধতিতে চিহ্ন আছে 10টি। বাইনারি পদ্ধতিতে ব্যবহৃত মৌলিক চিহ্ন 0 এবং 1।

২৩। আটটি বিট নিয়ে গঠিত হয় একটি বাইট। বাইনারি সংখ্যা পদ্ধতির বেস 2।

২৪। অকটাল সংখ্যা পদ্ধতির বেস 8, হেক্সাডেসিমেল সংখ্যা পদ্ধতির বেস 16।

২৫। আমরা সাধারণত যে সংখ্যা পদ্ধতি ব্যবহার করে গাণিতিক কাজ করি তার নাম ডেসিমেল বা দশমিক পদ্ধতি।

২৬। সরলতম সংখ্যা পদ্ধতি হচ্ছে বাইনারি, কম্পিউটার ও ক্যালকুলেটরের অভ্যন্তরীণ হিসাব করা হয় বাইনারি পদ্ধতিতে।

২৭। Exclusive OR গেইটকে সংক্ষেপে XOR বলে। NOT গেইটের আউটপুটে সর্বদা ইনপুটের বিপরীত হয়। একটি ইনপুট একটি আউটপুট থাকে NOT গেইটের।

২৮। OR গেইট এবং NOT গেট যুক্ত করলে NOR গেইট হয়। দুটি মৌলিক গেইট AND এবং NOT গেইট যুক্ত করে NOT গেইট তৈরি করা হয়।

২৯। NOR গেইটের দুইটি ইনপুট X ও Y এবং আউটপুট F হলে $F = \overline{X + Y}$ হবে। X ও Y ইনপুটবিশিষ্ট একটি XOR গেটের আউটপুট F = X(+)Y, NAND গেটের দুটি ইনপুট X ও Y হলে আউটপুট $F = \overline{X.Y}$

৩০। OR গেইটে—
(i) দুই বা ততোধিক ইনপুট দিলে একটি আউটপুট পাওয়া যায়
(ii) বর্তনীর সমতুল্য হলো একটি সমান্তরাল সুইচ বর্তনী
(iii) এর আউটপুট ইনপুটগুলোর যৌক্তিক যোগের সমান।

৩১। DM74LS32N হলো সমন্বিত বর্তনী। এছাড়াও HD74LSO8P, HD7404P, HD7402P, HD742SOOP হলো বিভিন্ন মানের সমন্বিত বর্তনী।

৩২। OR গেটের আউটপুট ইনপুটের যৌক্তিক তাৎপর্যের সমান।

৩৩। ট্রানজিস্টর বায়াসিং এ বেস-এমিটার সম্মুখ ঝোঁক এবং কালেক্টর এমটার বিপরীত ঝোঁকে সংযোগ দেওয়া হয়।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। সেমিকন্ডাক্টরে পরিবাহিতার জন্য দায়ী কোনটি ?
ⓚ হোল
ⓚ মুক্ত ইলেকট্রন
ⓖ মুক্ত ইলেকট্রন ও হোল
ⓖ মুক্ত ইলেকট্রন ও প্রোটন

২। একটি অর্ধপরিবাহীতে যদি ইলেকট্রন ও হোলের সংখ্যা যথাক্রমে n_e ও n_p হয় তাহলে ইনট্রিনসিক অর্ধপরিবাহীতে—
ক) $n_e = n_p$
খ) $n_e < n_p$
গ) $n_e > n_p$
ঘ) কোনোটিই নয়

৩। নিম্নলিখিত অর্ধপরিবাহীর ক্ষেত্রে—
(i) n-টাইপ অর্ধপরিবাহীর গরিষ্ঠ বাহক ইলেকট্রন
(ii) p-টাইপ অর্ধপরিবাহীর গরিষ্ঠ বাহক হোল
(iii) বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীর গরিষ্ঠ বাহক হোল
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক) i ও ii
খ) ii ও iii
গ) i ও iii
ঘ) i, ii ও iii

৪। নিচের কোন পদার্থটি অন্তরক ?
ক) সিলিকন
খ) লোহা
গ) সিরামিক
ঘ) বিসমাথ

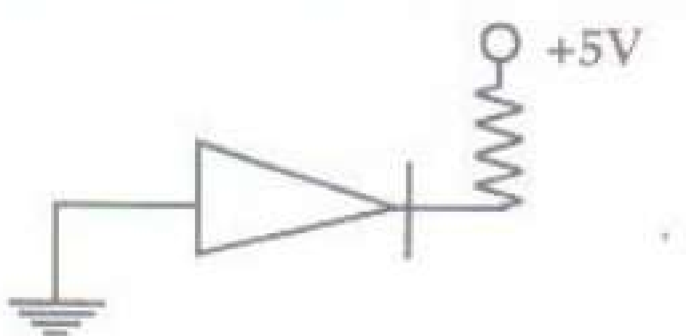
৫। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে—
(i) অর্ধপরিবাহীর রোধ বাড়ে
(ii) অর্ধপরিবাহীর রোধ কমে
(iii) পরিবাহীর পরিবাহকত্ব কমে
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক) i ও ii
খ) i ও iii
গ) ii ও iii
ঘ) i, ii ও iii

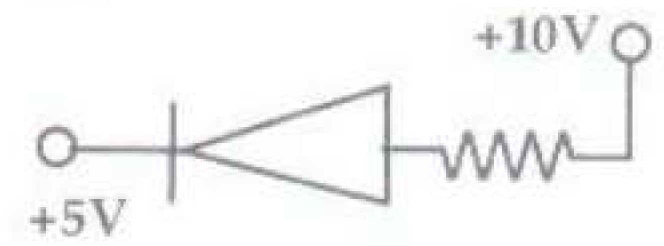
৬। একটি অর্ধপরিবাহীর যোজন ব্যান্ড ও পরিবহন ব্যান্ডের মধ্যে শক্তির ব্যবধান প্রায়—
ক) 1 eV
খ) 15 eV
গ) 25 eV
ঘ) 50 eV

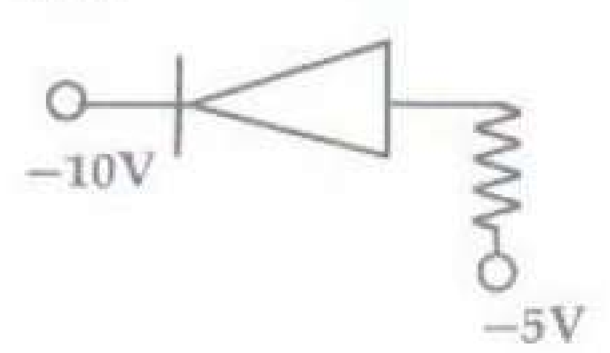
৭। পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকরণের ক্ষেত্রে সাধারণ দুই ডায়োড রেকটিফায়ার অপেক্ষা ব্রীজ রেকটিফায়ার বেশি উপযোগী কারণ—
- ⓚ এতে চারটি ডায়োড ব্যবহৃত হয়
- ⓚ এর ট্রান্সফরমারে সেন্টার ট্যাপ নেই
- ⓖ একই আউটপুটের জন্য ছোট ট্রান্সফরমার ব্যবহার করা যায়।
- ⓖ এতে উচ্চ সতর্ক বিষয় (factor) জড়িত

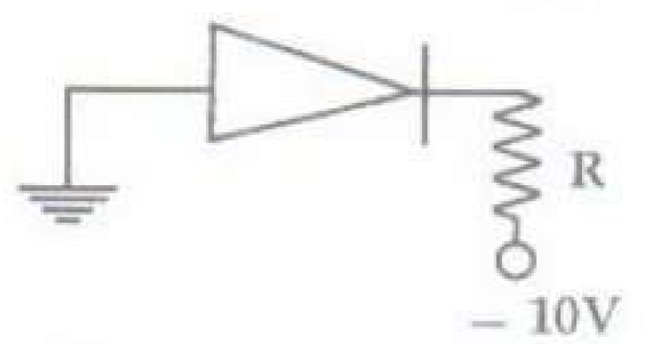
৮। জাংশন ডায়োড সাধারণত কি কাজে ব্যবহার করা হয় ?
- (ক) রেকটিফায়ার
- (খ) সুইচ হিসেবে
- (গ) বিবর্ধক
- (ঘ) স্পন্দক হিসেবে

৯। নিচের কোন ডায়োডটি রিভার্স বায়াসে ?

(ক)


(খ)


(গ)


(ঘ)


১০। দিক পরিবর্তী প্রবাহকে একমুখী প্রবাহে রূপান্তরিত করে—
- (ক) ডায়োড
- (খ) ট্রানজিস্টর
- (গ) রেকটিফায়ার
- (ঘ) অ্যামপ্লিফায়ার

১১। একটি $p-n$ সংযোগকে বিপরীত বায়াসে রাখলে—
- (ক) কোনো প্রবাহ হয় না
- (খ) নিঃশেষিত অঞ্চলের বেধ বাড়ে
- (গ) নিঃশেষিত অঞ্চলের বেধ কমে
- (ঘ) বিভব প্রাচীরের উচ্চতা কমে

১২। একটি p–টাইপের অর্ধপরিবাহী তৈরি করার জন্য বিশুদ্ধ সিলিকনকে যে অপদ্রব্য পরমাণু দিয়ে ডোপিং করা হয়, সেটি হলো—
- (ক) ফসফরাস
- (খ) কার্বন
- (গ) অ্যান্টিমনি
- (ঘ) অ্যালুমিনিয়াম

১৩। একটি একমুখীকারক রূপান্তরিত করে—
- (ক) যান্ত্রিক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে
- (খ) আলোক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে
- (গ) ac-কে dc-তে
- (ঘ) dc-কে ac-তে

১৪। $I_b = 0.05$ mA, $I_c = 2$ mA হলে, β = ?
- (ক) 40
- (খ) 50
- (গ) 0.04
- (ঘ) 0.2

১৫। একটি ট্রানজিস্টরের ক্ষেত্রে $\frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = 0.96$ হলে প্রবাহ লাভ (current gain) β-এর মান হলো—
- (ক) 6
- (খ) 12
- (গ) 24
- (ঘ) 48

১৬। কমন এমিটার অ্যামপ্লিফায়ারে ইনপুট ও আউটপুট সিগনালের মধ্যকার দশা পার্থক্য—
- (ক) 0° [রা. বো. ২০১৫; ব. বো. ২০১৫]
- (খ) 90°
- (গ) 180°
- (ঘ) 270°

১৭। একটি $p-n-p$ ট্রানজিস্টরের ক্ষেত্রে—
- (ক) সংগ্রাহকের তুলনায় নিঃসারকের ডোপিং-এর মাত্রা বেশি
- (খ) নিঃসারকের তুলনায় সংগ্রাহকের ডোপিং-এর মাত্রা বেশি
- (গ) নিঃসারক ও সংগ্রাহক উভয়ের ডোপিং-এর মাত্রা সমান
- (ঘ) ভূমি অঞ্চলটিতে ডোপিং-এর মাত্রা সর্বাপেক্ষা বেশি

১৮। একটি ট্রানজিস্টরের মূল ব্যবহার হলো—
- (ক) একমুখীকারক হিসেবে
- (খ) বিবর্ধক হিসেবে
- (গ) স্পন্দক হিসেবে
- (ঘ) ইলেকট্রন হোলের উৎস হিসেবে

১৯। 0.3789 সংখ্যাটির সব থেকে কম তাৎপর্যপূর্ণ সংখ্যা হলো—
- (ক) 3
- (খ) 7
- (গ) 8
- (ঘ) 9

২০। বুলিয়ান বীজগণিত অনুযায়ী $\bar{0}$-এর মান কত ?
- (ক) 0
- (খ) $\underline{1}$
- (গ) $\bar{1}$
- (ঘ) −1

২১। 4 বিট নাম্বারে সর্বোচ্চ সংখ্যা কত ?

ⓚ 16
ⓚ 15
ⓖ 12
ⓖ 9

২২। 89 দশমিক সংখ্যাটির বাইনারি সংখ্যা হবে—

ক) 101111
খ) 101010
গ) 1011001
ঘ) 110011

২৩। বাইনারি পদ্ধতিতে লজিক অবস্থা কয়টি ?

ক) একটি
খ) দুটি
গ) তিনটি
ঘ) চারটি

২৪। মৌলিক লজিক গেট হলো—

(i) AND
(ii) NOR
(iii) OR

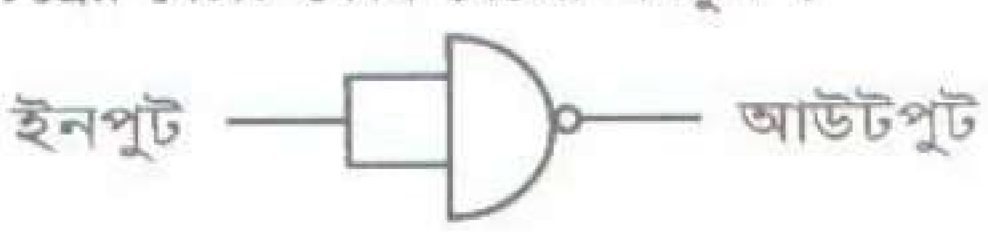
নিচের কোনটি সঠিক ?

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

২৫। কোন গেটের ইনপুট 1 হলে আউটপুট 0 হয় ?

ক) X NOR gate
খ) NOT gate
গ) XOR gate
ঘ) OR gate

২৬। চিত্রের গেটটি কোন গেটের সমতুল ?



ক) NAND গেটের
খ) NOT গেটের
গ) AND গেটের
ঘ) NOR গেটের

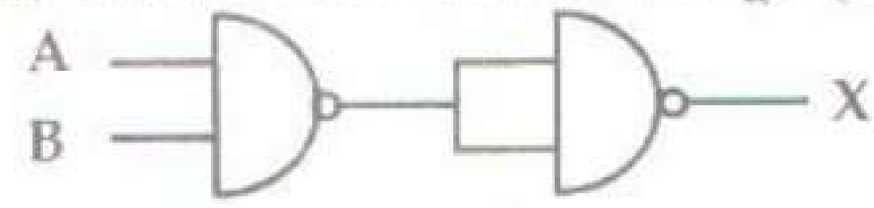
২৭। $22A_{16}$-কে বাইনারিতে রূপান্তর করলে পাওয়া যায়—

ক) 001000101010_2
খ) 010001001010_2
গ) 001001001010_2
ঘ) 001010010010_2

২৮। 206_8-কে ডেসিমেলে রূপান্তর করলে পাওয়া যায়—

ক) 334
খ) 356
গ) 134
ঘ) 524

২৯। চিত্রে প্রদর্শিত লজিক বর্তনীর আউটপুট (X) হবে—

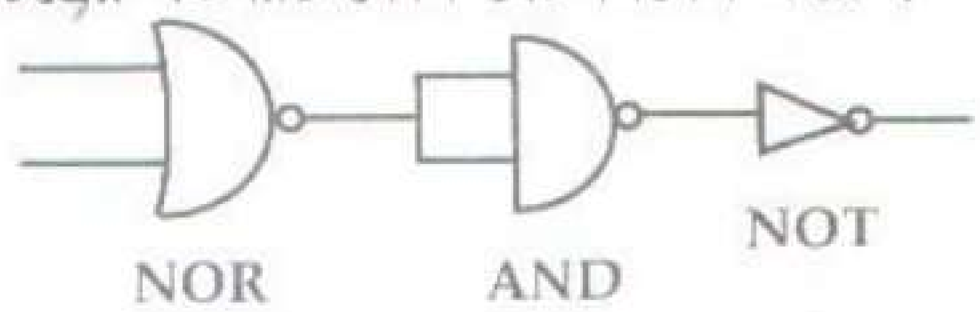


ক) $X = A . B$
খ) $X = \overline{A + B}$
গ) $X = \overline{A} . \overline{B}$
ঘ) $X = \overline{A . B}$

৩০। বাইনারি সংখ্যা 10111-এ তুল্য দশমিক মান—

ক) 19
খ) 31
গ) 23
ঘ) 22

৩১। চিত্রের বর্তনীটি কোন গেট নির্দেশ করে ?



ক) NOR গেট
খ) OR গেট
গ) AND গেট
ঘ) NAND গেট

৩২। নিচের ট্রুথ টেবিলটি কোন গেটের ?

A	B	C
0	1	1
1	0	1
1	1	0
0	0	1

ক) AND গেটের
খ) NOR গেটের
গ) NAND গেটের
ঘ) OR গেটের

৩৩। PN জাংশন ডায়োড ব্যবহার করা যায়— [দি. বো. ২০১৫]

(i) বিবর্ধক হিসেবে
(ii) একমুখীকারক হিসেবে
(iii) ভোল্টেজ স্থিতিস্থাপক হিসেবে

নিচের কোনটি সঠিক?

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

৩৪। ডায়োডকে বিমুখী বায়াস করলে নিঃশেষিত স্তর— [চ. বো. ২০১৫]

ক) হ্রাস পায়
খ) একই থাকে
গ) বৃদ্ধি পায়
ঘ) বিলুপ্ত হয়

৩৫। n-type অর্ধপরিবাহীর জন্য আধান বাহক হিসেবে নিচের কোনটি সঠিক?

	সংখ্যাগুরু বাহক	সংখ্যালঘু বাহক
(ক)	হোল	ইলেকট্রন
(খ)	ইলেকট্রন	হোল
(গ)	হোল	হোল
(ঘ)	ইলেকট্রন	ইলেকট্রন

৩৬। p-টাইপ অর্ধপরিবাহীতে অপদ্রব্য হিসেবে থাকে—

(ক) দ্বিযোজী মৌল
(খ) ত্রিযোজী মৌল
(গ) চতুর্যোজী মৌল
(ঘ) পঞ্চযোজী মৌল

৩৭। নিচের কোন গেইটটি AND এবং NOT গেইটের সমন্বয়ে তৈরি? [চ. বো. ২০১৫]

(ক) NAND
(খ) X-OR
(গ) NOR
(ঘ) OR

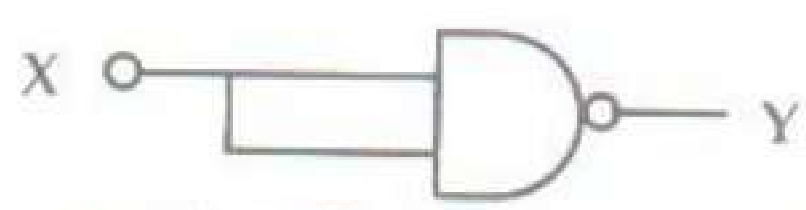
৩৮। AND গেইট ব্যবহৃত হয়—

(ক) যৌক্তিক যোগের জন্য
(খ) যৌক্তিক গুণের জন্য
(গ) যৌক্তিক পূরকের জন্য
(ঘ) যৌক্তিক ভাগের জন্য

৩৯। কোনটি মৌলিক গেইট নয়? [ব. বো. ২০১৫; রা. বো. ২০১৫]

(ক) OR
(খ) AND
(গ) NAND
(ঘ) NOT

৪০।



ওপরের গেইট বর্তনীতে X = A হলে, Y = ? [য. বো. ২০১৫]

(ক) A
(খ) 0
(গ) 1
(ঘ) $\overline{A}$

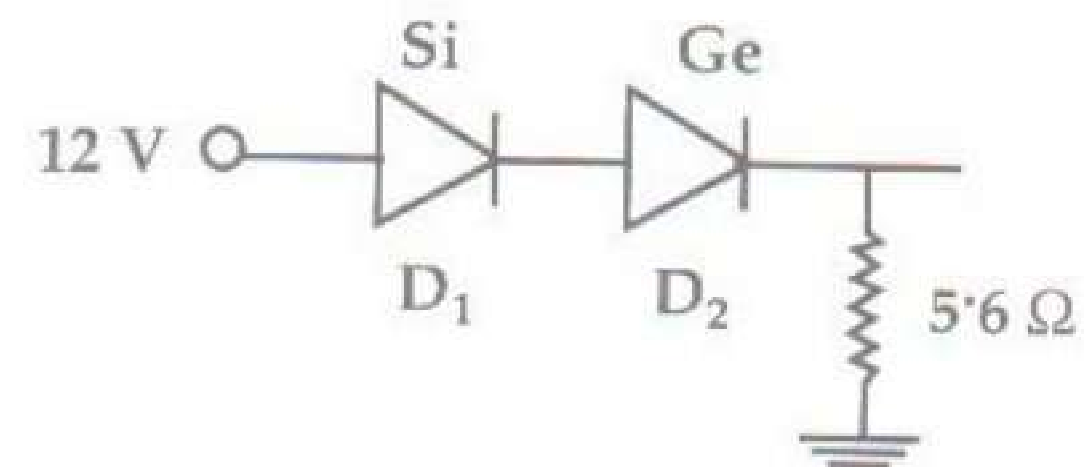
৪১। X-NOR gate এর আউটপুট 1 হবে যখন ইনপুট দুটি হবে [দি. বো. ২০১৫]

(i) 0 এবং 0
(ii) 1 এবং 1
(iii) 1 এবং 0

নিচের কোনটি সঠিক?

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

উদ্দীপকের আলোকে ৪২ ও ৪৩ নং প্রশ্নের উত্তর দাও :



চিত্রে Si ও Ge ডায়োড দুটির নী ভোল্টেজ যথাক্রমে 0·7 V এবং 0·3V [রা. বো. ২০১৫]

৪২। 5·6 k Ω রোধের মধ্য দিয়ে কত তড়িৎ প্রবাহিত হবে?

(ক) 0·47 mA
(খ) 0·5 mA
(গ) 1·96 mA
(ঘ) 2·14 mA

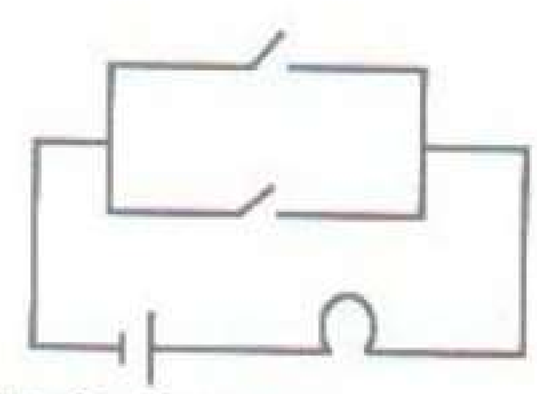
৪৩। উদ্দীপকে Ge ডায়োডটিকে উল্টো করে সংযোগ দিলে রোধটির দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য পূর্বাপেক্ষা

(ক) কমবে
(খ) সসীম সীমায় বাড়বে
(গ) শূন্য হবে
(ঘ) সসীম হবে

৪৪। বাইনারি নম্বর $(1011)_2$ এর ডেসিমেল নম্বর কোনটি? [রা. বো. ২০১৫; ব. বো. ২০১৫]

(ক) $(22)_{10}$
(খ) $(23)_{10}$
(গ) $(18)_{10}$
(ঘ) $(30)_{10}$

৪৫।



চিত্রটি কোন গেইট নির্দেশ করে? [ঢা. বো. ২০১৫]

(ক) NOT গেইট
(খ) NOR গেইট
(গ) AND গেইট
(ঘ) OR গেইট

৪৬। হেক্সাডেসিমেল 'C' এর বাইনারি হলো— [ঢা. বো. ২০১৫]

(ক) 1001
(খ) 1100
(গ) 1010
(ঘ) 1110

৪৭। p টাইপ অর্ধপরিবাহীতে হোলের সংখ্যা n_p এবং ইলেকট্রন সংখ্যা n_e হলে, অতি উচ্চ তাপমাত্রায় নিচের কোনটি সঠিক ?
- ⓚ $n_p > n_e$
- ⓚ $n_p = n_e$
- ⓖ $n_p < n_e$
- ⓖ $n_p = n_e$

৪৮। 15 এর সমতুল্য অকটাল ও হেক্সাডেসিমেল সংখ্যা কোনটি ?
- ক 17 এবং F
- খ 16 এবং F
- গ 16 এবং D
- ঘ 15 এবং C

৪৯। সকল সংখ্যা পদ্ধতিতে আছে এমন প্রতীক কয়টি ?
- ক 2
- খ 8
- গ 10
- ঘ 16

নিচের উদ্দীপকটি পড় এবং ৫০ ও ৫১নং প্রশ্নের উত্তর দাও:

$A = (101101)_2$, $B = (101)_2$ এবং $C = (110111)_2$

৫০। (i) $A + C = (1100100)_2$

(ii) $A/B = (1001)_2$

(iii) $C - A = (101010)_2$

নিচের কোনটি সঠিক?
- ক i ও ii
- খ i ও iii
- গ ii ও iii
- ঘ i, ii ও iii

৫১। বাইনারিতে $A \times C$ নিচের কোনটি ?
- ক $(111110101011)_2$
- খ $(110110101011)_2$
- গ $(100111101011)_2$
- ঘ $(100110101011)_2$

উত্তর :

১। গ	২। ক	৩। ক	৪। গ	৫। গ	৬। ক	৭। ক	৮। ক	৯। খ	১০। গ
১১। খ	১২। ঘ	১৩। গ	১৪। ক	১৫। গ	১৬। গ	১৭। ক	১৮। খ	১৯। ঘ	২০। খ
২১। ক	২২। গ	২৩। খ	২৪। খ	২৫। খ	২৬। ক	২৭। ক	২৮। গ	২৯। ক	৩০। গ
৩১। ক	৩২। ঘ	৩৩। গ	৩৪। গ	৩৫। খ	৩৬। খ	৩৭। ক	৩৮। খ	৩৯। গ	৪০। ঘ
৪১। ক	৪২। গ	৪৩। গ	৪৪। খ	৪৫। ঘ	৪৬। খ	৪৭। খ	৪৮। ক	৪৯। ক	৫০। ক
৫১। ঘ									

(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১। রফিক এবং শফিক দুই বন্ধু বিভিন্ন ইলেকট্রনিক্স যন্ত্রাংশ যেমন ডায়োড, ট্রানজিস্টর ইত্যাদি নিয়ে বিভিন্ন আলোচনা করছিল। রফিক বলল যে, একটি বিবর্ধক তৈরি করার জন্য সে বাজার থেকে BD135নং ট্রানজিস্টর (pnp) কিনে এনেছে। ম্যানুয়ালে লেখা আছে $I_B = 60\ \mu A$, $I_C = 200\ mA$ এবং $I_E = 206\ mA$।

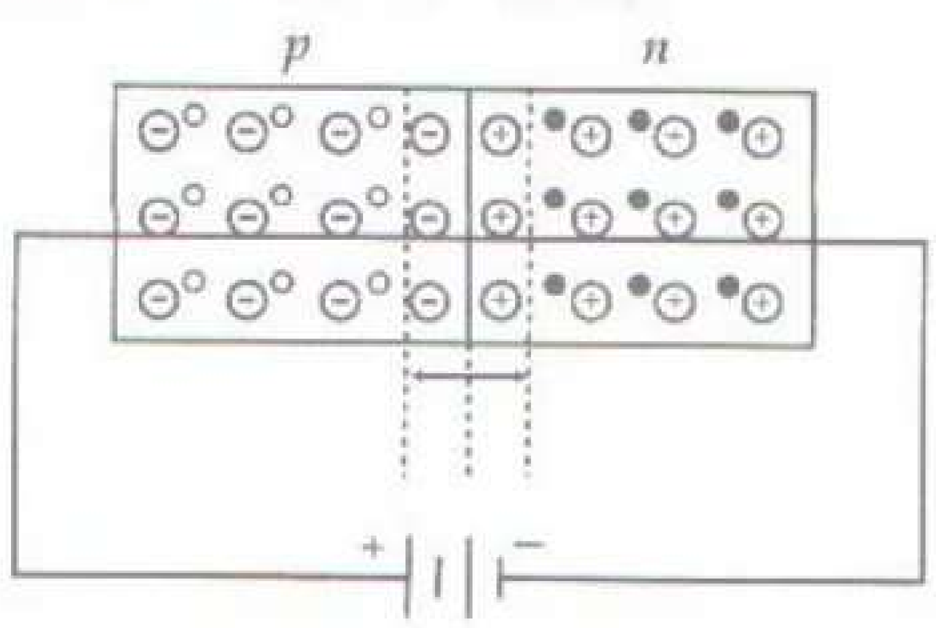
(ক) এক্সট্রিনসিক অর্ধপরিবাহী কাকে বলে ?

(খ) একটি ট্রানজিস্টর কীভাবে সুইচ হিসেবে কাজ করে ব্যাখ্যা কর।

(গ) উদ্দীপকে বর্ণিত ট্রানজিস্টরের প্রবাহ বিবর্ধন গুণক (β) এবং প্রবাহ লাভ (α) নির্ণয় কর।

(ঘ) বর্ণিত ট্রানজিস্টর দিয়ে বিবর্ধক তৈরি সম্ভব কিনা ? সচিত্র ব্যাখ্যা কর এবং এক্ষেত্রে দশা পরিবর্তন ঘটবে কিনা তা গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর।

২। নিচের চিত্রে $p-n$ জাংশনে বাহ্য ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হয়েছে।



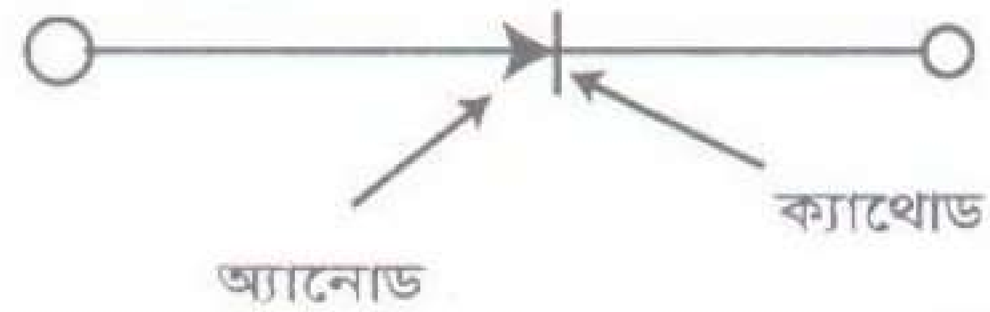
(ক) $p-n$ জাংশন কী?

(খ) নিঃশেষিত অঞ্চল কিভাবে সৃষ্টি হয়?

(গ) প্রদত্ত $p-n$ জাংশনে 0.2V বিভব পার্থক্য পরিবর্তনের জন্য 5mA বিদ্যুৎ প্রবাহের পরিবর্তন পাওয়া গেল। জাংশনের রোধ কত?

(ঘ) উদ্দীপকের $p-n$ জাংশনের মধ্য দিয়ে ভোল্টেজ পরিবর্তনের সাথে প্রবাহ মাত্রার পরিবর্তন লেখচিত্রের সাহায্যে বিশ্লেষণ কর।

৩। নিচের চিত্রে একটি p–n জাংশন ডায়োডের প্রতীক চিহ্ন দেখানো হয়েছে।



(ক) অর্ধ পরিবাহী ডায়োড কী ?

(খ) সম্মুখবর্তী বায়াস ও বিপরীতমুখী বায়াস বলতে কী বুঝ ?

(গ) কোনো p–n জাংশনে 0.1V বিভব পার্থক্য পরিবর্তনের জন্য 350 mA আনুষঙ্গিক তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন পাওয়া গেল। জাংশনের গতীয় রোধ কত?

(ঘ) জাংশনের প্রাপ্ত গতীয় রোধ এর বিভব পার্থক্য 0.2V পরিবর্তন করলে অনুষঙ্গিক তড়িৎ প্রবাহের কী পরিবর্তন হবে ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

৪। পলাশ ও শিমুল দুই বন্ধু বুয়েটের ট্রিপল ই. বিভাগের ছাত্র। তারা সংকেত বিবর্ধনের বর্তনী তৈরি করে পরীক্ষা করছিল। পলাশ ইনপুট 0.85 mA সংকেত প্রয়োগ করে দেখল আউটপুট 0.82 mA মানের সংকেত পাওয়া যায়। সংকেত বিবর্ধন না হওয়ায় শিমুল এর সমাধান দেয়।

(ক) বাইনারি সংখ্যা পদ্ধতি কী ?

(খ) তাপমাত্রার পরিবর্তন সাপেক্ষে অর্ধপরিবাহী ও পরিবাহীর রোধের মধ্যে ভিন্নতা কীরূপ দেখা যায় ?

(গ) উদ্দীপকের বর্ণনা মতে প্রবাহ বিবর্ধন গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

(ঘ) পলাশের কী ভুল ছিল ? শিমুল কীভাবে এর সমাধান দিয়েছিলেন ? বর্তনীসহ বিশ্লেষণ কর।

৫। জনৈক শিক্ষক ডিজিটাল ইলেকট্রনিক্স ক্লাসে হেক্সাডেসিমাল ও বাইনারি সংখ্যা নিয়ে আলোচনা করছিলেন। তিনি ব্ল্যাক বোর্ডে 177.625_{10}, $EACF_{16}$ এবং $2D7_{16}$ লিখে এ বিষয়ে কথা বলছিলেন।

(ক) NAND গেইট থেকে OR গেইট কীভাবে পাওয়া যায় ?

(খ) হোলের চেয়ে মুক্ত ইলেকট্রনের শক্তি বেশি থাকে কেন ?

(গ) উদ্দীপকে প্রদত্ত দশমিক সংখ্যাটিকে বাইনারি সংখ্যায় রূপান্তর কর। যে দশমিক সংখ্যা প্রদত্ত সংখ্যা হতে 878.51564 পরিমাণ বেশি, সেটিকে অকটাল সংখ্যায় রূপান্তর কর।

(ঘ) $FACF_{16}$ সংখ্যার সাথে $2D7_{16}$ সংখ্যার যোগাফল বাইনারিতে রূপান্তর সম্ভব কী ? গাণিতিক মতামত দাও।

(গ) সাধারণ প্রশ্ন

১। অর্ধপরিবাহী বলতে কী বোঝ ?

২। পরিবাহী, অন্তরক ও অর্ধপরিবাহীর দুটি করে উদাহরণ দাও।

৩। যোজন ব্যান্ড ও পরিবহন ব্যান্ড বলতে কী বোঝ ? ব্যান্ড তত্ত্বের আলোকে পরিবাহী, অপরিবাহী এবং অর্ধপরিবাহী পদার্থ আলোচনা কর।

৪। নিষিদ্ধ ব্যান্ড কী ? অর্ধপরিবাহীর বৈশিষ্ট্যগুলি লিখ।

৫। ডোপিং বলতে কী বোঝ ? n-টাইপ অর্ধপরিবাহী কীভাবে তৈরি করবে ?

৬। ইনট্রিনসিক এবং এক্সট্রিনসিক অর্ধপরিবাহীর মধ্যে পার্থক্যগুলি লিখ।

৭। হোল কাকে বলে ? কীভাবে এর উৎপত্তি হয় ?

৮। ব্যান্ড তত্ত্বের সাহায্যে অর্ধপরিবাহীর তড়িৎ পরিবাহিতা ব্যাখ্যা কর।

৯। একটি স্বকীয় অর্ধপরিবাহীর শক্তি ব্যান্ড চিত্র অঙ্কন কর।

১০। n-টাইপ ও p-টাইপ অর্ধপরিবাহী কী ? প্রত্যেকটি একটি করে উদাহরণ দাও।

১১। একটি বিশুদ্ধ অর্ধপরিবাহীকে কীভাবে n-টাইপ ও p-টাইপ অর্ধপরিবাহীতে রূপান্তরিত করা যায় তা ব্যাখ্যা কর।

১২। কেন একটি একমুখীকারক বর্তনীতে জারমেনিয়াম ডায়োডের তুলনায় সিলিকন ডায়োড ভালো ?

১৩। অর্ধপরিবাহী ডায়োডের সম্মুখবর্তী বায়াসের ক্ষেত্রে বৈশিষ্ট্যমূলক লেখ অঙ্কন কর।

১৪। n-টাইপ ও p-টাইপ অর্ধপরিবাহীর কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

১৫। p–n সংযোগ ডায়োড কী ?

১৬। রেক্‌টিফায়ার বলতে কি বোঝ ? ডায়োড দ্বারা রেকটিফিকেশনের কৌশল আলোচনা কর।

১৭। শক্তি ব্যান্ড চিত্রের সাহায্যে একটি ধাতুর সঙ্গে অন্তরকের পার্থক্য কর।

১৮। n-টাইপ ও p-টাইপ অর্ধপরিবাহীতে আধান বাহকের প্রকৃতি কী ?

১৯। নিঃশেষিত অঞ্চলে কী ধরনের বাহক থাকে ?

২০। p–n সংযোগের নিঃশেষিত অঞ্চল কী ?

২১। একটি p–n সংযোগ ডায়োডযুক্ত অর্ধতরঙ্গ একমুখীকারকের বর্তনী চিত্র অঙ্কন কর।

২২। কী ধরনের বায়াসে অর্ধপরিবাহী ডায়োডের রোধ খুব বেশি হয় ?

২৩। একটি তড়িৎ বর্তনীর চিত্র দেখে কীভাবে বুঝবে ট্রানজিস্টরটি n–p–n না p–n–p ?

২৪। ট্রানজিস্টর কত ধরনের ? ট্রানজিস্টরের মূল কাজ কী ?

২৫। একটি p–n–p ও n–p–n ট্রানজিস্টারের বর্তনী প্রতীক আঁক।

২৬। n–p–n ট্রানজিস্টর ব্যবহার করে একটি সাধারণ নিঃসারক বিবর্ধকের বর্তনী চিত্র আঁক এবং লেখচিত্রের মাধ্যমে ইনপুট ও আউটপুট ভোল্টেজ দেখাও।

২৭। একটি ট্রানজিস্টরের α ও β–এর সংজ্ঞা দাও। এদের মধ্যে সম্পর্ক কী ?

২৮। কী শর্তে অর্ধপরিবাহী ডায়োড খোলা সুইচের মতো আচরণ করে ?

২৯। ট্রানজিস্টর সুইচ বলতে কী বোঝ ?

৩০। ট্রানজিস্টর দ্বারা কিভাবে তরঙ্গ বিবর্ধন করা যায় ?

৩১। n-p-n ট্রানজিস্টরের ক্রিয়ানীতি আলোচনা কর।

৩২। p–n সংযোগকে অর্ধপরিবাহী ডায়োড বলা হয় কেন ?

৩৩। ট্রানজিস্টরের নিঃসারক প্রবাহ (I_E), সংগ্রাহক প্রবাহ (I_C) ও ভূমি প্রবাহ (I_B)-এর মধ্যে সম্পর্ক কী ?

৩৪। একটি p–n সংযোগ ডায়োডযুক্ত পূর্ণ তরঙ্গ একমুখীকারকের বর্তনী চিত্র অঙ্কন কর।

৩৫। নম্বর পদ্ধতি কী ?

৩৬। ডেসিমাল নম্বর পদ্ধতি ব্যাখ্যা কর।

৩৭। বাইনারি নম্বর পদ্ধতি ব্যাখ্যা কর।

৩৮। ডেসিমাল নম্বর থেকে কীভাবে বাইনারি নম্বরে পরিবর্তন করবে—উদাহরণসহ ব্যাখ্যা কর।

৩৯। উদাহরণসহ বাইনারি থেকে ডেসিমাল রূপান্তর বর্ণনা কর।

৪০। অক্টাল পদ্ধতি ব্যাখ্যা কর।

৪১। হেক্সডেসিমাল কী ? একটি বাইনারি সংখ্যাকে কীভাবে হেক্সডেসিমাল নম্বরে পরিবর্তন করবে ?

৪২। 56_{10} ও 75_8 সংখ্যা দুটির মধ্যে কোনটি বৃহত্তর ?

৪৩। 17 দশমিক সংখ্যাটি বাইনারি পদ্ধতিতে কত ?

৪৪। 10011 বাইনারি সংখ্যাটি দশমিক পদ্ধতিতে কত ?

৪৫। পূর্ণ সংখ্যা বা ভগ্নাংশ প্রকাশের (i) দশমিক পদ্ধতি ও (ii) বাইনারি পদ্ধতি উদাহরণসহ বুঝিয়ে দাও।

৪৬। পূর্ণ সংখ্যার ক্ষেত্রে (i) দশমিক থেকে বাইনারীতে এবং (ii) বাইনারি থেকে দশমিকে রূপান্তরের একটি করে উদাহরণ দাও।

৪৭। দশমিক থেকে বাইনারি এবং হেক্সাডেসিমালে রূপান্তরের নিয়মগুলি লিখ।

৪৮। লজিক গেট কী ? OR, AND, NOT গেট কোন ধরনের গাণিতিক ফাংশন করে ?

৪৯। NOT গেটের সংজ্ঞা দাও এবং ট্রুথ টেবিল ব্যাখ্যা কর।

৫০। OR গেটের সংজ্ঞা দাও এবং ট্রুথ টেবিল ব্যাখ্যা কর।

৫১। AND গেটের সংজ্ঞা দাও এবং ট্রুথ টেবিল ব্যাখ্যা কর।

৫২। OR, AND এবং NOT গেটকে মৌলিক লজিক গেট কেন বলা হয় ?

৫৩। OR, AND এবং NOT গেটের প্রতীকগুলোর চিত্র আঁক।

৫৪। NOR এবং NAND গেটের বুলিয়ান বীজগাণিতিক সমীকরণগুলি লিখ।

৫৫। একটি OR গেটকে কীভাবে একটি AND গেটে রূপান্তরিত করবে ?

৫৬। OR, AND, NOT গেটের ট্রুথ টেবিল বর্ণনা কর।

৫৭। শুধুমাত্র (i) NOR গেট বা (ii) NAND গেট ব্যবহার করে কীভাবে মৌলিক গেটগুলি তৈরি করবে ?

৫৮। লজিক প্রতীক ও ট্রুথ টেবিল দেখাও : (i) OR গেট, (ii) AND গেট (iii) NOT গেট।

(ঘ) ক্রিয়াকর্ম

ট্রানজিস্টর দিয়ে একটি ক্লাসে বন্ধুদের নিয়ে ৪-৫টি গ্রুপ তৈরি কর। অ্যামপ্লিফায়ার তৈরি কর এবং ক্লাসে সেই অ্যামপ্লিফায়ার দিয়ে মাইক্রোফোন ব্যবহার করে প্রদর্শন কর। সব চেয়ে ভালো যন্ত্রটির নির্মাণ কৌশল প্রত্যেক গ্রুপের নির্মিত যন্ত্রের সাথে তুলনা করে শ্রেণিকক্ষে শিক্ষক তার ব্যাখ্যা দিবেন।

(ঙ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। কোনো p–n জাংশনে $0{\cdot}2$V বিভব পার্থক্য পরিবর্তনের জন্য 5mA বিদ্যুৎ প্রবাহের পরিবর্তন পাওয়া গেল। জাংশনের রোধ বের কর। [উত্তর : 40Ω]

২। কোনো p–n জাংশনে $1{\cdot}1$ V বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করে বিদ্যুৎ প্রবাহ পাওয়া গেল 25 mA এবং বিভব পার্থক্য ... V প্রয়োগ করে বিদ্যুৎ প্রবাহ 42 mA পাওয়া গেল। জাংশনের গতীয় রোধ বের কর। [উত্তর : 11 ...]

৩। একটি ট্রানজিস্টরের জন্য $\alpha = 0{\cdot}95$ এবং $I_E = 1$ mA হলে, I_C এবং I_B-এর মান বের কর।
[উত্তর : $I_C = 0{\cdot}95$ mA , $I_B = 0{\cdot}05$ mA]

৪। একটি ট্রানজিস্টর বর্তনীতে নিম্নলিখিত মান পাওয়া গেল : $I_E = 2$ mA, $I_B = 20\,\mu$A.
α এবং I_C-এর মান বের কর। [উত্তর : $I_C = 1{\cdot}98$ mA ; α = 0·99]

৫। কোনো p–n জাংশনে $0{\cdot}1$V বিভব পার্থক্য পরিবর্তনের জন্য 350 mA আনুষঙ্গিক তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন পাওয়া গেল। জাংশনের গতীয় রোধ কত ? [উত্তর : $0{\cdot}29\,\Omega$]

৬। কোনো ট্রানজিস্টর $I_C = 0{\cdot}99$ m A এবং $I_E = 1{\cdot}04$ m A হলে এর কারেন্ট বিবর্ধক গুণক α কত ?
[উত্তর : $\alpha = 0{\cdot}96$]

৭। একটি কমন এমিটার ট্রানজিস্টরে $\Delta I_B = 0{\cdot}03$ m A এবং $\Delta I_C = 1{\cdot}2$ m A হলে এর কারেন্ট বিবর্ধক গুণক β কত ? [উত্তর : $\beta = 40$]

৮। একটি কমন বেস ট্রানজিস্টরে এমিটার কারেন্ট $3{\cdot}1$ mA পরিবর্তনের জন্য $2{\cdot}6$ mA কালেক্টর কারেন্টের পরিবর্তন ঘটলে, কারেন্ট গেইন ফ্যাক্টর (α) এর মান বের কর। [সি. বো. ২০১০] [উত্তর : 0·839]

৯। একটি কমন বেস ট্রান্সজিস্টরে এমিটার, কারেন্ট $2{\cdot}1$ mA এবং কালেক্টর কারেন্ট $1{\cdot}8$ mA হলে বেস কারেন্টের মান বের কর। [উত্তর : $0{\cdot}3$ mA]

১০। একটি কমন এমিটার বিবর্ধক ট্রানজিস্টরের জন্য $\beta = 100$, এবং $I_B = 50\mu$A হলে, α, I_C এবং I_E এর মান বের কর। [কু. বো. ২০১১; রা. বো. ২০০৯] [উত্তর : $\alpha = 0{\cdot}99$; $I_C = 5$ mA; $I_E = 5{\cdot}05$ mA]

১১। একটি কমন বেস ট্রানজিস্টরের নিঃসারক প্রবাহ $1{\cdot}5$ mA এবং সংগ্রাহক প্রবাহ $1{\cdot}45$ mA হলে ভূমি প্রবাহের মান নির্ণয় কর। [উত্তর : $0{\cdot}05$ mA]

১২। নিঃসারক প্রবাহের $10{\cdot}0$ mA পরিবর্তন সংগ্রাহক প্রবাহের $7{\cdot}2$ mA পরিবর্তন ঘটায়। এ জন্য পীঠ প্রবাহের কতটুকু পরিবর্তন হবে ? [উত্তর : $2{\cdot}8$ mA]

১৩। একটি কমন বেস ট্রানজিস্টর বিন্যাসে মিটার কারেন্ট $1{\cdot}2$ mA এবং কালেক্টর কারেন্ট 9×10^{-4} হলে বেস কারেন্ট কত হবে ? [ঢা. বি. ভর্তি পরীক্ষা, ২০০৫-০৬, ২০০৬-০৭] [উত্তর : $0{\cdot}3$ mA]

১৪। একটি p–n জাংশনকে সম্মুখ বায়াসে রাখা আছে। যখন বিভব পার্থক্য $2{\cdot}24$ V থেকে $2{\cdot}35$ V বৃদ্ধি করা হয়, তখন তড়িৎ প্রবাহ 300 mA-এ উন্নীত হয়। জাংশনের গতীয় রোধ নির্ণয় কর। [উত্তর : $0{\cdot}37\,\Omega$]

১৫। একটি p–n জাংশনের গতীয় রোধ 40Ω। যদি বিভব পার্থক্য $0{\cdot}2$ V পরিবর্তন করা হয় তবে সংশ্লিষ্ট তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তন কত হবে ? [উত্তর : 5 mA]

১৬। বাইনারি সংখ্যা 111.11 ও 101.10 যোগ কর। [উত্তর : $(110101...)_2$]

১৭। একটি ট্রানজিস্টরের নিঃসারক প্রবাহের 8 mA পরিবর্তনের জন্য সংগ্রাহক প্রবাহের 7 mA পরিবর্তন হয়। সংগ্রাহক তড়িৎ প্রবাহের পরিবর্তনের জন্য পীঠ প্রবাহের পরিবর্তন $0{\cdot}1$ mA পাওয়া যায়। তড়িৎ বিবর্ধক গুণাঙ্ক α এবং তড়িৎ লাভ β-এর মান বের কর। [উত্তর : $\alpha = 0{\cdot}88$, $\beta = 70$]

১৮। অক্টাল সংখ্যা 65_8 কে বাইনারি ও ডেসিমাল সংখ্যায় পরিবর্তন কর। [উত্তর : $11{\cdot}0101$, 53_{10}]

১৯। $(424{\cdot}37)_8$ কে হেক্সাডেসিমাল সংখ্যায় পরিবর্তন কর। [উত্তর : $(114{\cdot}7\,C)_{16}$]

২০। $(6A\,.\,2E)_{16}$ সংখ্যাকে বাইনারি সংখ্যায় রূপান্তর কর। [উত্তর : $(01101010.00101110)_2$]

২১। $(3B\ .\ 2F)_{16}$ সংখ্যাকে অকট্যাল সংখ্যায় রূপান্তর কর। [উত্তর : $(73.136)_8$]

২২। $(525.27)_8$ সংখ্যাকে বাইনারি সংখ্যায় রূপান্তর কর। [উত্তর : $(101010101.010111)_2$]

২৩। বাইনারি সংখ্যা দুটি যোগ কর :

(ক) $(10111.01)_2 + (10101.01)_2$ [উত্তর : $(101100.10)_2$]

(খ) $(110)_2 + (1100)_2 + 11000)_2$ উত্তর : $(101010)_2$]

২৪। বিয়োগ কর :

(ক) $(10000.11100)_2 — (101.01001)_2$ [উত্তর : $(1011.10011_2$]

(খ) $(1000001)_2 — (11111)_2$ উত্তর : $(100010)_2$]

২৫। বাইনারি সংখ্যার গুণন কর :

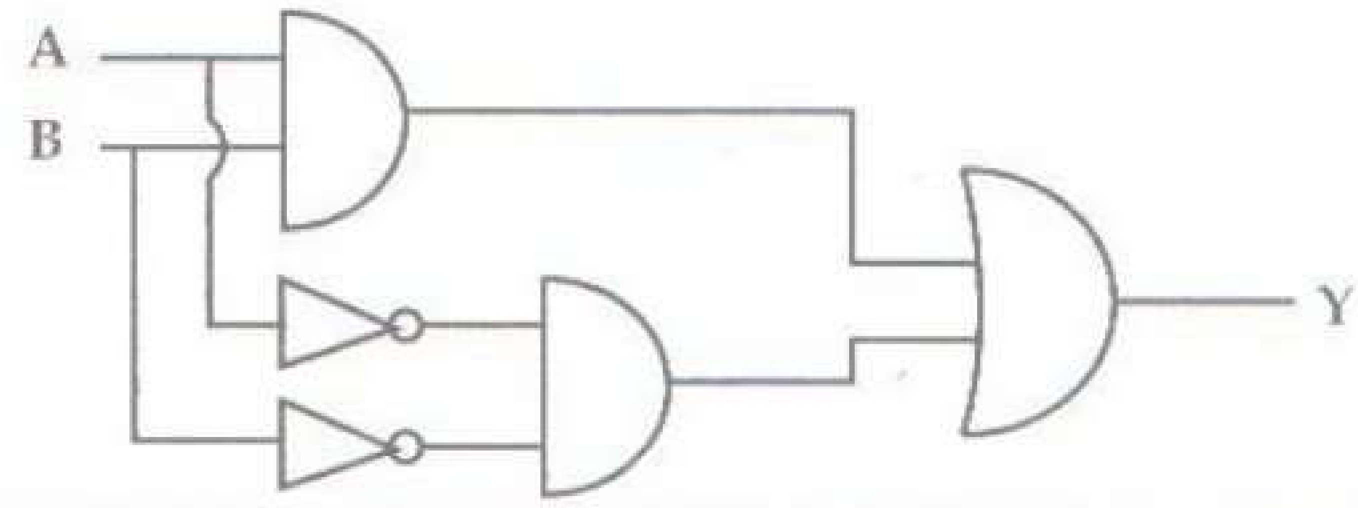
$(101.01)_2 \times (11)_2$ [উত্তর : $(1111.11)_2$]

২৬। বাইনারি ভাগ কর :

$(1111001)_2 \div (1001)_2$ [উত্তর : $(1101.011)_2$]

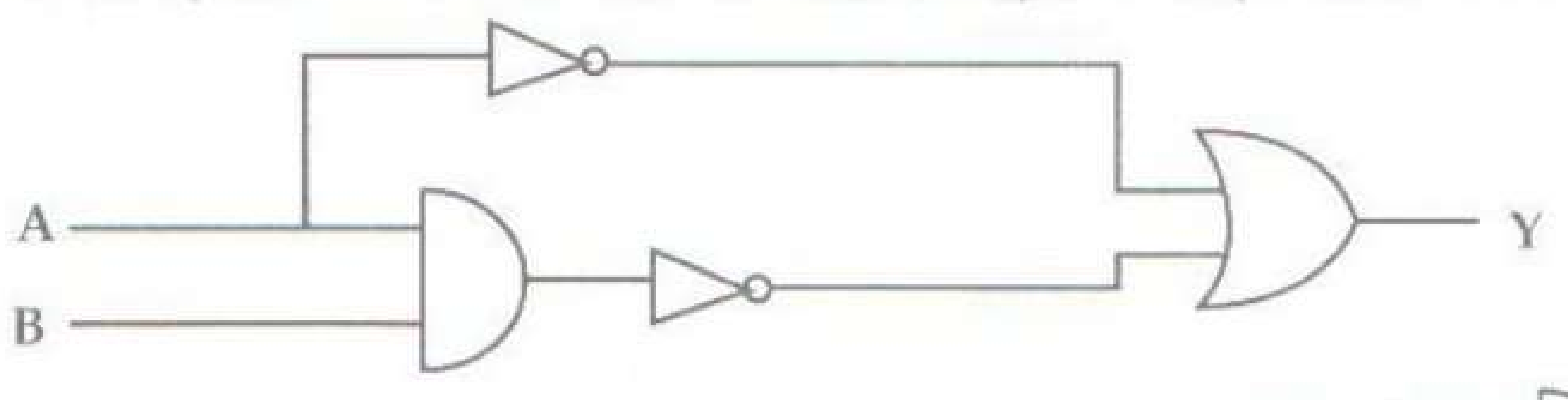
২৭। নিম্নের চিত্রে দেখানো লজিক বর্তনীর বুলিয়ান সম্পর্ক লিখ এবং এর ট্রুথ টেবিল তৈরি কর।

[উত্তর : $Y = AB + \overline{A}\ \overline{B}$]



A	B	$\overline{A}$	$\overline{B}$	AB	$\overline{A}\ \overline{B}$	$Y = AB + \overline{A}\ \overline{B}$
0	0	1	1	0	1	1
1	0	0	1	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0
1	1	0	0	1	0	1

২৮। নিম্নের লজিক বর্তনীর বুলিয়ান সম্পর্ক লিখ এবং এর সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্রতম সমতুল বর্তনী অঙ্কন কর।



[উত্তর : $Y = \overline{AB}$; 

$Y = \overline{AB}$]

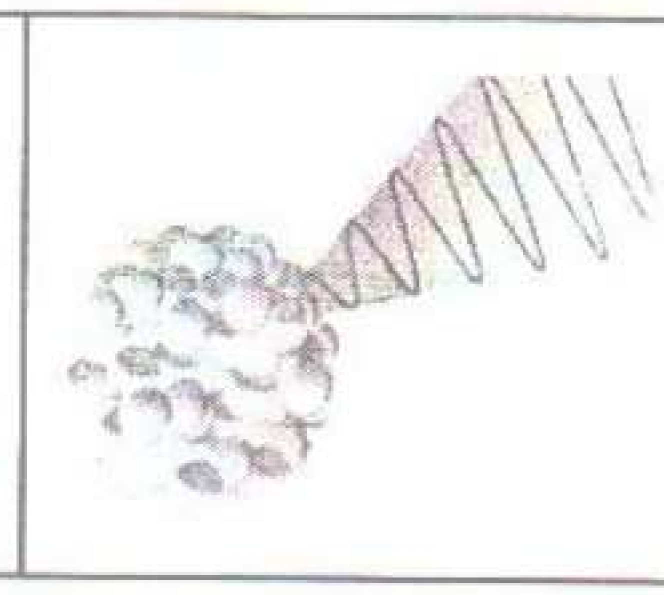
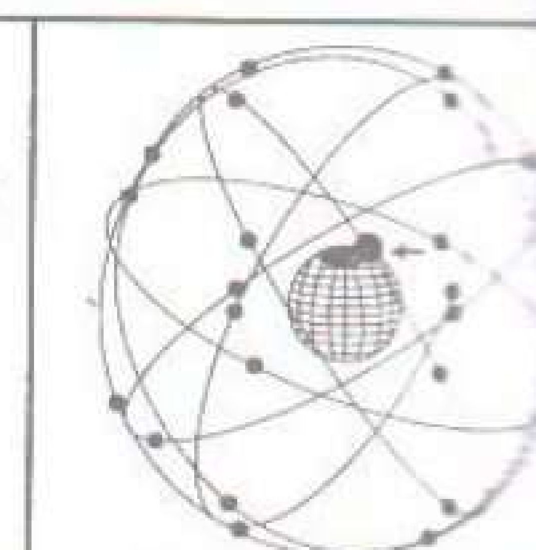
* সূর্যের আয়ু = 1010 কোটি বছর (প্রায়)

* বর্তমান বয়স = 505 " "

১১ জ্যোতির্বিজ্ঞান
ASTRONOMY

প্রধান শব্দ (Key Words) : মহাবিশ্ব, বিগ ব্যাং ... বিগ ক্রাঞ্চ তত্ত্ব, মহাবিশ্বের পরিণতি, আবদ্ধ মহাবিশ্ব ... উন্মুক্ত মহাবিশ্ব, সমতল মহাবিশ্ব, নক্ষত্র, ... শ্বেতবামন, কৃষ্ণবিবর, সুপারনোভা, নিউট্রন ... রেডিও টেলিস্কোপ, অপটিক্যাল টেলিস্কোপ, ... টেলিস্কোপ, এক্স-রে টেলিস্কোপ, কৃত্রিম উপগ্রহ, ... কক্ষপথ।



সূচনা
Introduction

যা কিছুর অস্তিত্ব আছে তা-ই মহাবিশ্ব। পৃথিবী মহাবিশ্বের অংশ। ঠিক তেমনি সূর্য, চন্দ্র এবং অন্যান্য সব গ্রহ মহাবিশ্বের অংশ। ধূলি, গ্যাসের তারা এবং মেঘ মহাবিশ্বের অংশ। এই মহাবিশ্বের সৃষ্টি রহস্য এবং তার পরিণতি নিয়ে বিজ্ঞানীদের গবেষণার অন্ত নেই। বিজ্ঞানীদের ধারণা মহাবিস্ফোরণই এই মহাবিশ্ব সৃষ্টির মূল রহস্য। আবার সংকোচন ও কৃষ্ণগহ্বর সৃষ্টি অতঃপর তারার মৃত্যু এসব মহাবিশ্ব ধ্বংসের অন্যতম কারণ। এছাড়া মহাবিশ্বের বিভিন্ন বস্তু যেমন নক্ষত্র, গ্রহ, উপগ্রহসহ নানাবিধ পর্যবেক্ষণের জন্য ব্যবহৃত রেডিও টেলিস্কোপ, অপটিক্যাল টেলিস্কোপ, গামা-রে ও এক্স-রে এবং কৃত্রিম উপগ্রহের মূলনীতির আলোচনা এ অধ্যায়ের মূল বিষয়।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- মহাবিশ্ব সৃষ্টির রহস্য ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- মহাবিশ্বের পরিণতি পদার্থবিজ্ঞানের আলোকে ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- মহাবিশ্বের মূল বস্তু ও ঘটনা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- মহাকাশ পর্যবেক্ষণের জন্য ব্যবহৃত যন্ত্রের মূল নীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।

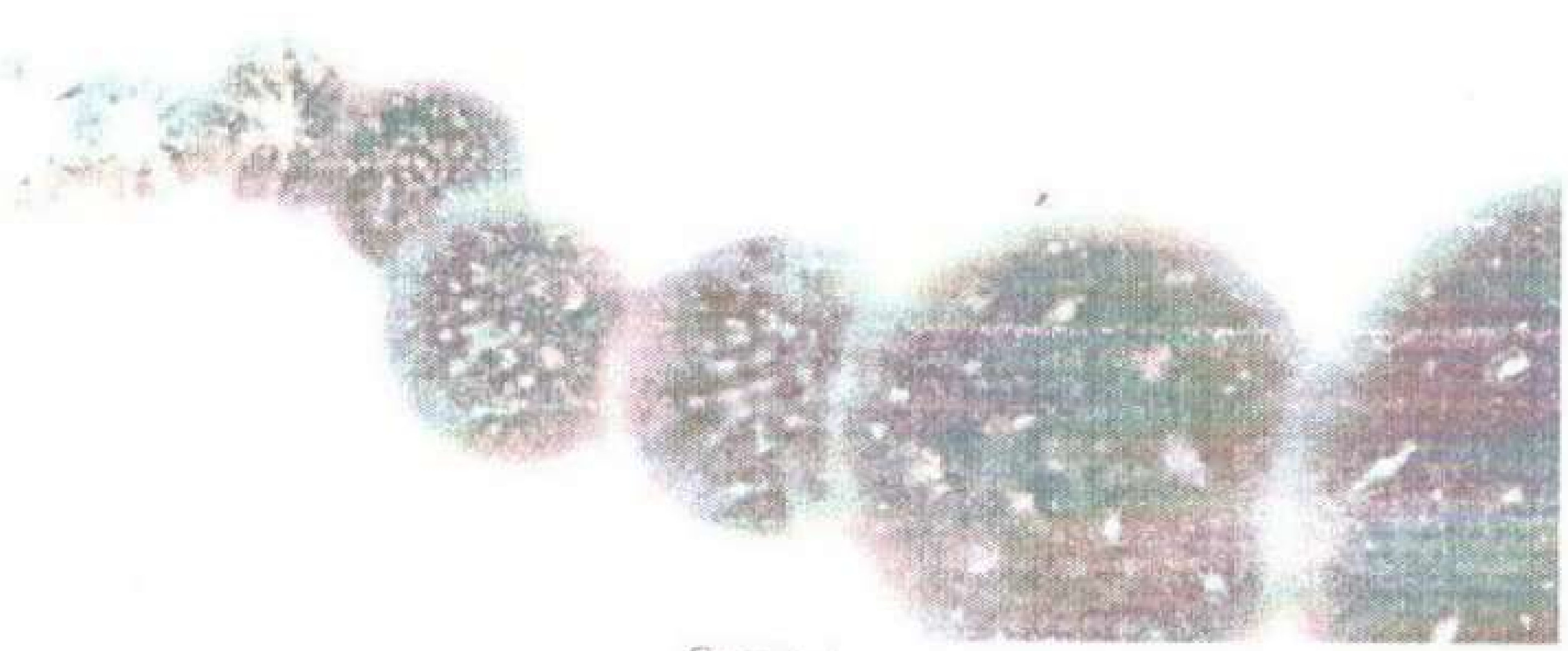
১১.১ মহাবিশ্ব সৃষ্টির রহস্য
Mystery of the creation of the Universe

মহাবিশ্ব সৃষ্টি সংক্রান্ত চিন্তা-ভাবনা শুরু হয় প্রাচীনকাল হতে। মহাবিশ্ব সৃষ্টির রহস্য জানতে প্রয়োজন পড়েছে আপেক্ষিক তত্ত্বের, কণা পদার্থবিজ্ঞানের, কেন্দ্রিক পদার্থবিজ্ঞানের, তাপগতিবিজ্ঞানের, প্লাজমা ও কঠিনাবস্থার পদার্থবিজ্ঞানের এবং সর্বোপরি জ্যোতির্পদার্থবিজ্ঞানের। মহাবিশ্বের সৃষ্টি সংক্রান্ত বিজ্ঞান হলো বিশ্ব সৃষ্টি তত্ত্ব বা Cosmology। বহুপ্রাচীন ঐতিহ্য এবং ইহুদি, খ্রিস্টান আর ইসলাম ধর্মের মতে মহাবিশ্ব সৃষ্টি হয়েছিল বেশ নিকট অতীতে। সপ্তদশ শতাব্দীতে বিশপ উসার (Bishop Ussher) হিসাব করে বলেছিলেন মহাবিশ্ব সৃষ্টি হয়েছিল 4004 খ্রিস্ট পূর্বাব্দে। ওল্ড টেস্টামেন্টের লোকদের বয়স যোগ করে তিনি এই হিসাব পেয়েছিলেন। অন্যদিকে গ্রিক দার্শনিক অ্যারিস্টটলের মতো কিছু লোকের মনে হয়েছিল মহাবিশ্ব সৃষ্টি হয়েছিল ঐশ্বরিক হস্তক্ষেপে। এখন প্রশ্ন হলো মহাবিশ্ব কী ? বা What is Universe? এর জবাব হলো যা কিছুর অস্তিত্ব আছে তাই-ই মহাবিশ্ব। পৃথিবী মহাবিশ্বের অংশ। ঠিক তেমনি সূর্য, চন্দ্র এবং অন্যান্য সব গ্রহও মহাবিশ্বের অংশ। ধূলি গ্যাসের তারা এবং মেঘ মহাবিশ্বের অংশ। আর এগুলো একত্রে মিলেমিশে আমাদের এই সৌরজগৎ। অন্যান্য তারার মতো সূর্যও একটি উত্তপ্ত জ্বলন্ত গ্যাসের পিণ্ড। সব মিলিয়ে বিস্ময়কর বিশাল এই মহাবিশ্ব।

বিজ্ঞানের বিষয় হিসেবে বিশ্ব সৃষ্টিতত্ত্বের জন্ম শুরু হয় 1916 সালে আলবার্ট আইনস্টাইনের সাধারণ আপেক্ষিক তত্ত্ব (Theory of General Relativity) প্রণয়নের পর থেকে। এই তত্ত্ব মহাকর্ষকে বিশ্বের স্থানকালের বহিঃপ্রকাশ হিসেবে ভাবতে শেখায়। নিউটনের মহাকর্ষ তত্ত্বের মধ্যে যে বিশ্ব সৃষ্টি সম্পর্কে বৈজ্ঞানিক কৌতূহলের বীজ লুকিয়েছিল নিউটন তা লক্ষ করেননি। মহাকর্ষ তত্ত্ব বলে যে, এই বিশ্বের সকল জড় বস্তুই অন্য সকল জড় বস্তুকে আকর্ষণ

করে। এই আকর্ষণ যদিও দূরত্বের সঙ্গে কমে যায়, তা সত্ত্বেও এই পরস্পর আকর্ষণের ফলে সমস্ত বস্তুরই ক্রমাগত পরস্পরের সান্নিধ্যে চলে আসার কথা ও অবশেষে একত্রে মিশে যাওয়ার কথা। অর্থাৎ মহাকর্ষের প্রভাবে আমাদের পরিচিত বিশ্ব চিরস্থায়ী থাকতে পারে না।

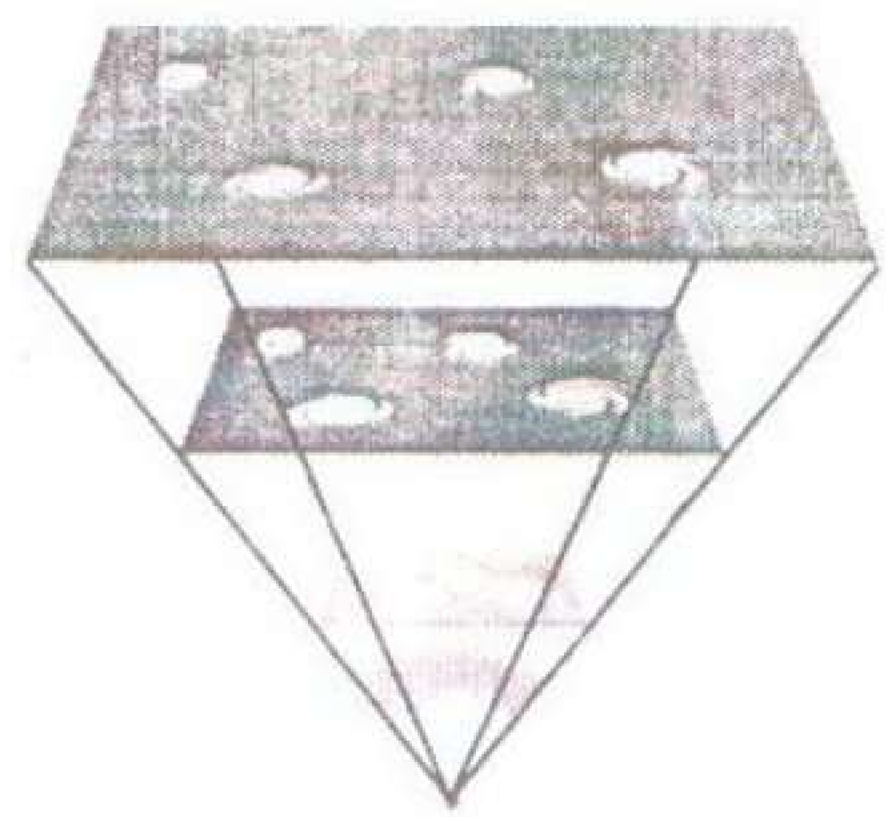
1929 সালে এডউইন হাবল (Edwin Hubble)-এর মহাবিশ্বের প্রসারণ আবিষ্কারের ফলে এর উৎপত্তি সম্পর্কীয় আলোচনা সম্পূর্ণ পরিবর্তন হয়। **আজ থেকে 1500–2000 কোটি বছর আগে মহাবিশ্বের আকৃতি ছিল ডিম্বাকার এবং এর ভর ছিল 10^{51} kg এবং ঘনত্ব 10^{21} kg m^{-3}। অভ্যন্তরীণ বিপুল তাপ ও চাপের কারণে প্রচণ্ড শব্দে ডিম্বাকার বস্তুর মহাবিস্ফোরণ ঘটে। এই বিস্ফোরণের ফলেই সৃষ্টি হয়েছিল আমাদের এই মহাবিশ্ব। এটাই বিগ ব্যাং তত্ত্ব (Big bang theory)**। এখান থেকেই সময়, স্থান, শক্তি ও পদার্থের উৎপত্তি হয় বলে ধারণা করা হয়। **বিগ ব্যাং-এর কারণে সৃষ্ট খণ্ডাংশগুলো বিভিন্ন রূপ যেমন— গ্রহ, উপগ্রহ, নক্ষত্র, উল্কা, ধূমকেতু ইত্যাদি নাম নিয়ে প্রতিনিয়ত নির্দিষ্ট হারে দূরে সরে যাচ্ছে [চিত্র ১১·১]। দূরে সরতে সরতে এক সময় এগুলো এদের শেষ সীমায় পৌঁছে যাবে। এর অর্থ হলে নীহারিকাগুলো পরস্পর থেকে দূরে সরে যাচ্ছে।** ইহাই সম্প্রসারণ তত্ত্ব। যার দূরত্ব বেশি তার পরস্পর থেকে সরে যাবার গতিবেগও বেশি।



চিত্র ১১·১

1965 সালে আমেরিকার নিউজার্সিতে বেল টেলিফোন ল্যাবরেটরিতে আর্নো পেনজিয়াস (Arno Penzias) আ রবার্ট উইলসন (Robert Wilson) নতুন মাইক্রোওয়েভ অ্যান্টেনা দিয়ে পরীক্ষা করে দেখেন যে, একটা অদ্ভুত তরঙ্গ চারদিক হতে আসছে। তাঁরা বুঝলেন, এটা হলো মহাবিস্ফোরণের ফলে আলোর তরঙ্গের সরণের ফলে লাল পেরিয়ে মাইক্রোওয়েভ তরঙ্গে পরিণত হবার ফল। তাদের এই আবিষ্কারের জন্য 1978 সালে তারা পদার্থবিদ্যায় নোবেল পুরস্কার পেলেন।

বিগ-ব্যাং ঘটনার পর নিহারিকাগুলো আর দূরে সরে না গিয়ে বরং পরস্পরের কাছাকাছি চলে আসতে আসতে ধ্বংসপ্রাপ্ত হয়ে ঘনীভূত হবে। এটি **বিগ ক্রাঞ্চ তত্ত্ব** [চিত্র ১১·২]। বিগ ক্রাঞ্চ তত্ত্বের সমাপ্তিই হলো বিগ ব্যাং-এর সূচনা। এভাবেই বিগ ব্যাং ও বিগ ক্রাঞ্চ পর্যায়ক্রমে সংঘটিত হয়। একে **পালসার (Pulsar) থিওরি** বলে।



চিত্র ১১·২

বিজ্ঞানীরা মহাবিশ্বের দূরসীমানায় টেলিস্কোপের সাহায্যে পরীক্ষা করে দেখেন যে, এই মহাবিশ্ব প্লাজমা অবস্থায় অর্থাৎ অস্বচ্ছ আয়নিত গ্যাসে পূর্ণ ছিল। পরোক্ষ হিসেবে দেখা গেছে যে, মহাবিস্ফোরণের 10^{-43} সেকেন্ড পর মহাবিশ্বের তাপমাত্রা ছিল 10^{32} ডিগ্রী সেলসিয়াস এবং ঘনত্ব পানির ঘনত্বের চেয়ে 10^{10} গুণ। মহাবিস্ফোরণের এক সেকেন্ডের শতভাগের একভাগ সময়টিতে মহাবিশ্ব পরিপূর্ণ ছিল বিকিরণ, নিউট্রিনো এবং ইলেকট্রন-পজিট্রন যুগলে। তাপমাত্রা তখনো এসব হালকা পদার্থ ও প্রতিপদার্থের কণিকা যুগল সৃষ্টির জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি যোগান দিতে সক্ষম ছিল। প্রায় দুই সেকেন্ড পর মহাবিশ্ব এতটা ঠান্ডা হয়ে এলো যে, ইলেকট্রন-পজিট্রন যুগল এখন আর নতুন করে সৃষ্টি হতে পারল না এবং ক্রমাগত এরা ধ্বংস হয়ে রূপ নিল শক্তিতে। অল্প সংখ্যক ইলেকট্রন শুধু অবশেষ থাকল ধনাত্মক প্রোটন কণিকার চার্জের ভারসাম্য বজায় রাখতে। বিকিরণ এখন প্রাধান্য পেল সমস্ত জগৎ জুড়ে প্রতিটি প্রোটন, নিউট্রন বা ইলেকট্রনের জন্য প্রায় শত কোটি আলোক কণিকার। অর্থাৎ ফোটন বিরাজ করছিল তখন মহাবিশ্বে। এরপর মহাবিশ্বের বয়স বৃদ্ধির সাথে সাথে তাপমাত্রা হ্রাস পেতে থাকে এবং উচ্চ শক্তি ফোটনের সংখ্যা হ্রাস পেতে থাকে। ফলে ইলেকট্রন-পজিট্রন মিলে যে হারে ফোটন তৈরি করে, সেই হারে আর ফোটন থেকে ইলেকট্রন-পজিট্রন জোড় তৈরি করতে পারে না। মহাবিস্ফোরণের তিন মিনিটের মাথায় প্রোটন ও নিউট্রন মিলে হিলিয়াম নিউক্লিয়াস সৃষ্টি হতে থাকে। আরো দেখা যায় মহাবিস্ফোরণের মাত্র দশ লক্ষ বছর পরেই মহাবিশ্বের অতি বিস্তৃত উত্তপ্ত বিস্তারমান বিকিরণ ও কণিকার পিণ্ড তাপ হারিয়ে 3000° C নেমে এসেছে। আর এই তাপমাত্রায় এসেই

• **জ্যোতিষ্ক দশ প্রকারঃ** (i) নক্ষত্র, (ii) ছায়াপথ, (iii) ধূমকেতু, (iv) উপগ্রহ, (v) নীহারিকা, (vi) উল্কা, (vii) গ্রহ, (viii) পালসার, (ix) কৃষ্ণগহ্বর, (x) কৃষ্ণবামন।
• এদের মধ্যে নীহারিকা, পালসার, কৃষ্ণগহ্বর, কৃষ্ণবামন অনুজ্জ্বল।

ইলেকট্রনগুলো নিউক্লিয়াসসমূহের চারপাশে কক্ষপথ নিয়ে হাইড্রোজেন ও হিলিয়াম পরমাণু সৃষ্টি করতে শুরু করেছে। এ সময় বায়ু ও বিকিরণ ভারসাম্য লাভ করে একটি সুষম তাপমাত্রায় এসেছে।

চিত্র ১১·৩

বিশ্বের প্রসারণ এবং বিশ্বে পর্যবেক্ষিত হাইড্রোজেন ও হিলিয়ামের শতাংশের অনুপাত 3 : 1। বিশ্ব সৃষ্টির পর থেকে সাত লক্ষ বছর পর এর তাপমাত্রা এত কমে যায় যে, ইলেকট্রন কক্ষপথে আসতে শুরু করে এবং পূর্ণাঙ্গ পরমাণু গঠন সম্পন্ন হয়। ইলেকট্রন পরমাণু গঠনে ব্যবহৃত হওয়ায় মুক্ত ইলেকট্রনের ঘাটতি দেখা দেয়। এজন্য ফোটন ইলেকট্রন মিথস্ক্রিয়া থেকে সরে গিয়ে স্বচ্ছ হয়ে ওঠে। এর আগে পর্যন্ত বিশ্ব প্লাজমা পূর্ণ ছিল, যা দেখতে সূর্যের বর্ণমণ্ডলের মতো। মহাবিশ্বের এই প্রসারণকে বেলুনের সাথে কল্পনা করা যায়। ধরা যায়, বেলুনের ওপর কিছু রং এর ফোটা দেওয়া আছে। এখন বেলুনটিকে ফুলালে ফোটাগুলোর মধ্যে দূরত্ব বেড়ে যাবে। মহাকাশে প্রচণ্ড গতিতে ছুটে চলা অসংখ্য গ্যালাক্সির মধ্যে দূরত্ব বেড়ে যাচ্ছে। আবার কখনো দেখা যায় এই প্রচণ্ড গতিতে চলমান দুটি গ্যালাক্সি পরস্পরের সঙ্গে সংঘর্ষ ঘটিয়ে প্রচণ্ড তাপ ও আলো সৃষ্টি করে ধ্বংস হয়ে যায়। গ্যাসের মেঘ আর ধূলিকণা হতে সৃষ্ট এই নক্ষত্র বা তারার রাজ্য এবং পরবর্তীতে রূপ নেয় সৌরজগতে [চিত্র ১১·৩]। আর সেই নারকীয় ধ্বংসস্তূপ থেকে ছড়িয়ে পড়া রেডিও তরঙ্গের কিছুটা এসে ধরা পড়ে পৃথিবীর রেডিও টেলিস্কোপে।

হাবল এর প্রথম পর্যবেক্ষণের সময়ের তুলনায় বর্তমান জ্যোতির্বিজ্ঞানিগণ এখন তাদের টেলিস্কোপের দৃষ্টি অনেক দূর পর্যন্ত বিস্তৃত করেছেন। যার ফলশ্রুতিতে এসব দূরতম অবস্থার গ্যালাক্সির যাত্রার শুরুর সময় হিসাব করে মহাবিশ্বের বয়স তাঁরা অনুমান করেছেন দেড় হাজার কোটি বছর।

মহাবিস্ফোরণের পর থেকে যত দিন যাচ্ছে মহাবিশ্বের প্রসারণ একইভাবে বাড়ছে। তবে এই প্রসারণ নিকটবর্তী গ্যালাক্সির জন্য প্রযোজ্য নয়। অর্থাৎ আমাদের সৌরজগৎ স্ফীত হচ্ছে না কিংবা গ্রহদের থেকে পৃথিবীর দূরত্ব বাড়ছে না। প্রকৃতপক্ষে, আমাদের আকাশগঙ্গা ছায়াপথ ও ধ্রুবমাতা বা অ্যান্ড্রোমিডা এবং আরো কয়েকটি ছোট গ্যালাক্সি মিলে লোকাল গ্যালাক্সি স্তবক তৈরি করেছে [চিত্র ১১·৪]।

চিত্র ১১·৪

মহাবিশ্ব অনির্দিষ্টভাবে প্রসারিত হতে পারে না। একটি নির্দিষ্ট অবস্থার পর মহাকর্ষীয় আকর্ষণের কারণে এই প্রসারণ থেমে যাবে এবং মহাবিশ্ব পুনরায় সংকোচিত হবে। এই সংকোচন একটি সংকট আকারে পৌঁছালে পুনরায় বিস্ফোরিত হবে এবং নতুন করে প্রসারণ ও তারকার সংকোচন ঘটবে। ফলে মহাবিশ্বের সীমা একবার বড় ও একবার ছোট হবে। অর্থাৎ সীমানা স্পন্দিত হবে। একে স্পন্দনশীল তত্ত্ব বলে। 8×10^9 বছর পর এ ঘটনা ঘটতে পারে। পদার্থবিজ্ঞানী স্টিফেন হকিং তাঁর "A Brief History of Time" (কালের সংক্ষিপ্ত ইতিহাস) গ্রন্থে মহাবিশ্ব সৃষ্টির এই 'বৃহৎ বিস্ফোরণ' তত্ত্বের পক্ষে যুক্তি ও ব্যাখ্যা উপস্থাপন করেন।

কাজ : মহাবিশ্বের ভবিষ্যৎ কী কী বিষয়ের উপর নির্ভরশীল ?

মহাবিশ্বের ভবিষ্যৎ বর্তমান প্রসারণের হার, বিশ্বের বক্রতা, বিশ্বে মোট বস্তুর পরিমাণ, মহবিশ্বের গড় ঘনত্ব, সংকট ঘনত্ব ইত্যাদি বিষয়ের উপর নির্ভরশীল।

কাজ : হাবল বিধি কী ?

1929 সলে এডুইন হাবল দেখিয়েছেন যে ছায়াপথসমূহ অপসারিত হচ্ছে এবং তাদের এই অপসারণ বেগের মান তাদের দূরত্বের সমানুপাতিক। ইহাই হাবল বিধি।

মহাবিশ্বের যে কোনো প্রসঙ্গ কাঠামো বিন্দু থেকে কোনো গ্যালাক্সির দূরত্ব d এবং পশ্চাদপসরণের বেগ v হলে হাবল-এর বিধি অনুসারে,

$v = \mathrm{H}d$, এখানে H হচ্ছে হাবল ধ্রুবক, এর মাত্রা সময়ের বিপরীত।

H এর মান এখনও সঠিকভাবে নির্ণয় করা সম্ভব হয়নি। হাবল ধ্রুবক-এর একটি যুক্তিসঙ্গত মান হলো 72 $\mathrm{kms^{-1}/MPc}$ ($1\ \mathrm{MPc} = 3{\cdot}084 \times 10^{19}\ \mathrm{km}$)।

গাণিতিক উদাহরণ

১। কোনো কোয়াসার থেকে আগত আলোক রশ্মি অনুযায়ী প্রতীয়মান হয় যে পৃথিবী থেকে কোয়াসারটি $2{\cdot}7 \times 10^{8}\ \mathrm{ms^{-1}}$ বেগে সরে যাচ্ছে। পৃথিবী হতে কোয়াসারটির দূরত্ব নির্ণয় কর। ($\mathrm{H = 72\ kms^{-1}/MPc}$)।

সমাধান : হাবল সূত্র অনুযায়ী, আমরা জানি,

$$v = \mathrm{H}d$$

$$\text{বা, } d = \frac{v}{\mathrm{H}}$$

$$\therefore\ d = \frac{2{\cdot}7 \times 10^{8}\ \mathrm{ms^{-1}}}{72\ \mathrm{kms^{-1}/MPc}}$$

$$= \frac{2{\cdot}7 \times 10^{8}\ \mathrm{ms^{-1}} \times 3{\cdot}084 \times 10^{19}\ \mathrm{km}}{72\ \mathrm{kms^{-1}}} \quad [\because 1\ \mathrm{MPc} = 3{\cdot}084 \times 10^{19}\ \mathrm{km}]$$

$$= 1{\cdot}16 \times 10^{26}\ \mathrm{km}$$

এখানে,
বেগ, $v = 2{\cdot}7 \times 10^{8}\ \mathrm{ms^{-1}}$
হাবল ধ্রুবক, $\mathrm{H = 72\ kms^{-1}/MPc}$
দূরত্ব, $d = ?$

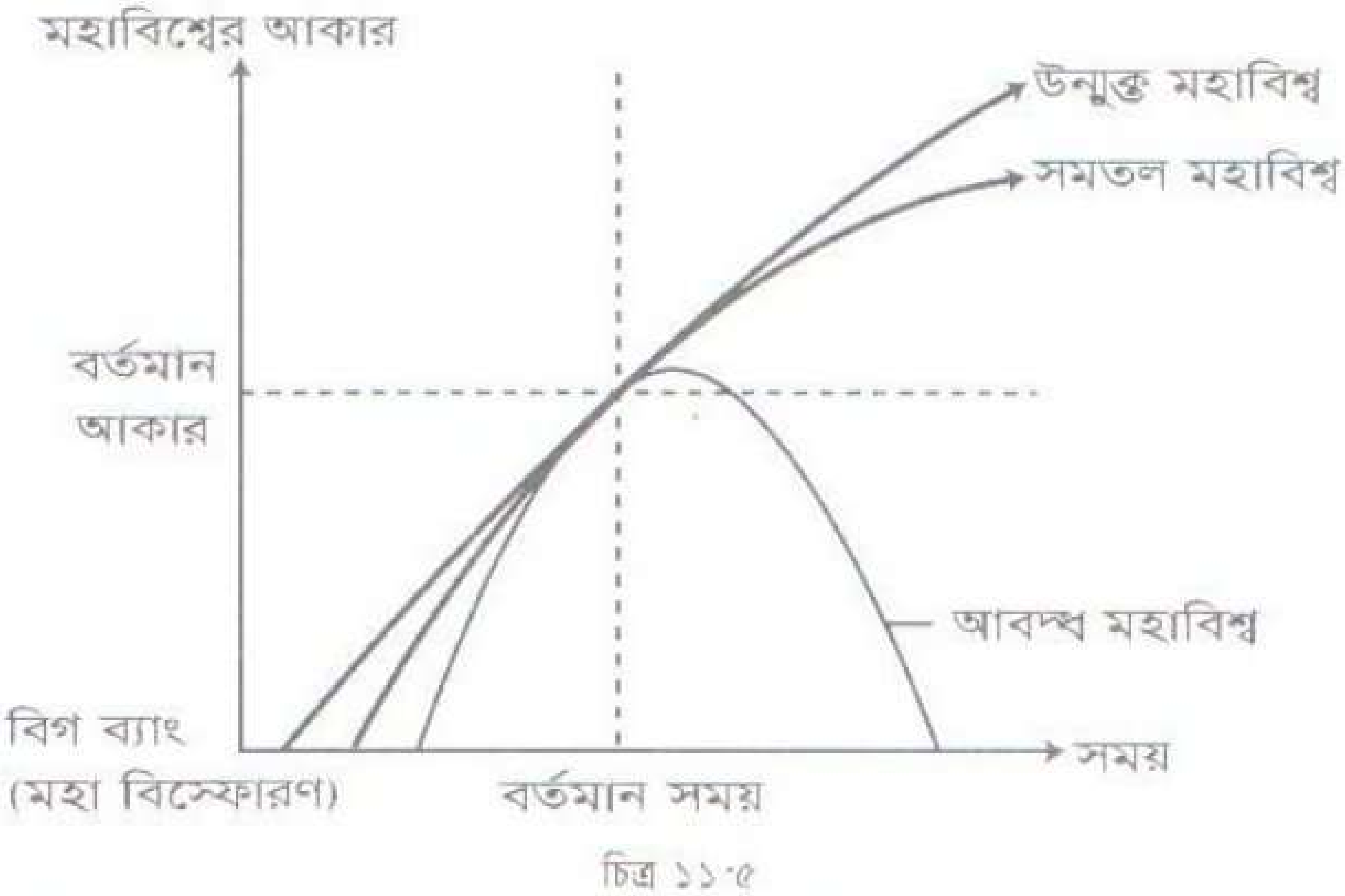
১১.২ পদার্থবিজ্ঞানের আলোকে মহাবিশ্বের পরিণতি

Ultimate fate of the universe in the light of physics

মহাবিশ্বের ভবিষ্যত বা পরিণতি কিংবা মহাবিশ্বের ভবিষ্যদ্বাণী সম্পর্কীয় ইতিহাস কী হবে ? তা নিয়ে বিজ্ঞানীদের গবেষণা ও চিন্তা-চেতনা থেমে নেই। বর্তমান জ্ঞানের উপর ভিত্তি করেও বিশ্বের নিয়তি সম্বন্ধে সঠিকভাবে ভবিষ্যদ্বাণী করা সম্ভব নয়, কারণ এখানে কয়েকটা অনিশ্চয়তা রয়ে যায়। কিন্তু বর্তমান জ্ঞানের সাহায্যে বিশ্বের নিয়তি কি হবে সেটা কয়েকটি নির্দিষ্ট সম্ভাবনার মধ্যে সীমাবদ্ধ করা যায়।

ধরা যাক 1,500 কোটি বছর আগে ঘটেছিল এক বিশাল মহাবিস্ফোরণ আর এর ফলে আজও সব গ্যালাক্সিজোট প্রাণপণে ছুটছে দিগ্বিদিকে। কিন্তু তারপর কী হবে ? স্পষ্টতই এ প্রশ্নের দুটি জবাব হতে পারে। একটা হলো এই ছুটে চলা অনন্তকাল ধরে চলতে থাকবে, আরেকটা হলো মহাবিশ্বের বস্তুপুঞ্জের আকর্ষণে একদিন এই ছুটে চলা থেমে যাবে আর তখন আবার সব গ্যালাক্সি ভেতরের দিকে ছুটতে থাকবে। ক্রমাগত ছুটে চলার যে সম্ভাবনা তাকে জ্যোতির্বিদরা বলেন 'উন্মুক্ত মহাবিশ্ব' (open universe), আর ছুটে চলা থেমে গিয়ে আবার ভেতর দিকে এসে পড়ার যে সম্ভাবনা তাকে বলেন 'আবদ্ধ মহাবিশ্ব' (closed universe)।

এই দুটি সম্ভাবনার মধ্যে কোনটা যে শেষ পর্যন্ত খাটবে তা নির্ভর করছে মহাবিশ্বে আদতে কতটা বস্তু আছে তার ওপরে। মহাবিশ্বে যদি একটা সঙ্কটসীমার চেয়ে বেশি বস্তু থাকে তাহলে তার আকর্ষণের টানে মহাবিশ্বের বাইরের



চিত্র ১১.৫

দিকে ছুটে চলা একদিন থেমে যাবে আর শুরু হবে ভেতর দিক ছোটা। এই সঙ্কটসীমা যে কত তার হিসাব করা আছে—সেটা প্রতি ঘন মিটারে তিনটি পরমাণু। কিন্তু দেখা যায় আমাদের জানা মহাবিশ্বে সব গ্যালাক্সিতে যে

পরিমাণ বস্তু খুঁজে পাওয়া যায় তা এই সঙ্কটসীমার 10 থেকে 30 শতাংশ। কারো কারো হিসাবে এটা আরো কম। তবে অনেক বিজ্ঞানীই মনে করেন আসলে মহাবিশ্বে বস্তু আছে আরো অনেক বেশি, ভালো করে খুঁজলে সেসব বস্তু একদিন নিশ্চয়ই খুঁজে পাওয়া যাবে। তবে কোনো কোনো বিজ্ঞানী বলছেন, আরো একটা তৃতীয় সম্ভাবনার কথা একেবারে উড়িয়ে দেয়া ঠিক হবে না, তা হলো মহাবিশ্বে যে পরিমাণ বস্তু আছে তাতে তার বিস্তার এক সময় থেমে যাবে ঠিকই, তবে ভেতর দিকে ধসে পড়া ঘটবে না; এই মতকে বলা হচ্ছে 'সমতল মহাবিশ্ব' (flat universe)।

মহাবিশ্বের পরিণতি নিয়ে তিনটি মত রয়েছে :

(১) 'আবদ্ধ মহাবিশ্ব' মডেলে মহাবিশ্বের সম্প্রসারণ ভবিষ্যতে একদিন থেমে যাবে এবং আবার সঙ্কুচিত হতে হতে মহাবিশ্ব একটি বিন্দুতে এসে ধসে পড়বে।

(২) 'উন্মুক্ত মহাবিশ্ব' মডেলে মহাবিশ্ব অনন্তকাল প্রসারিত হবে।

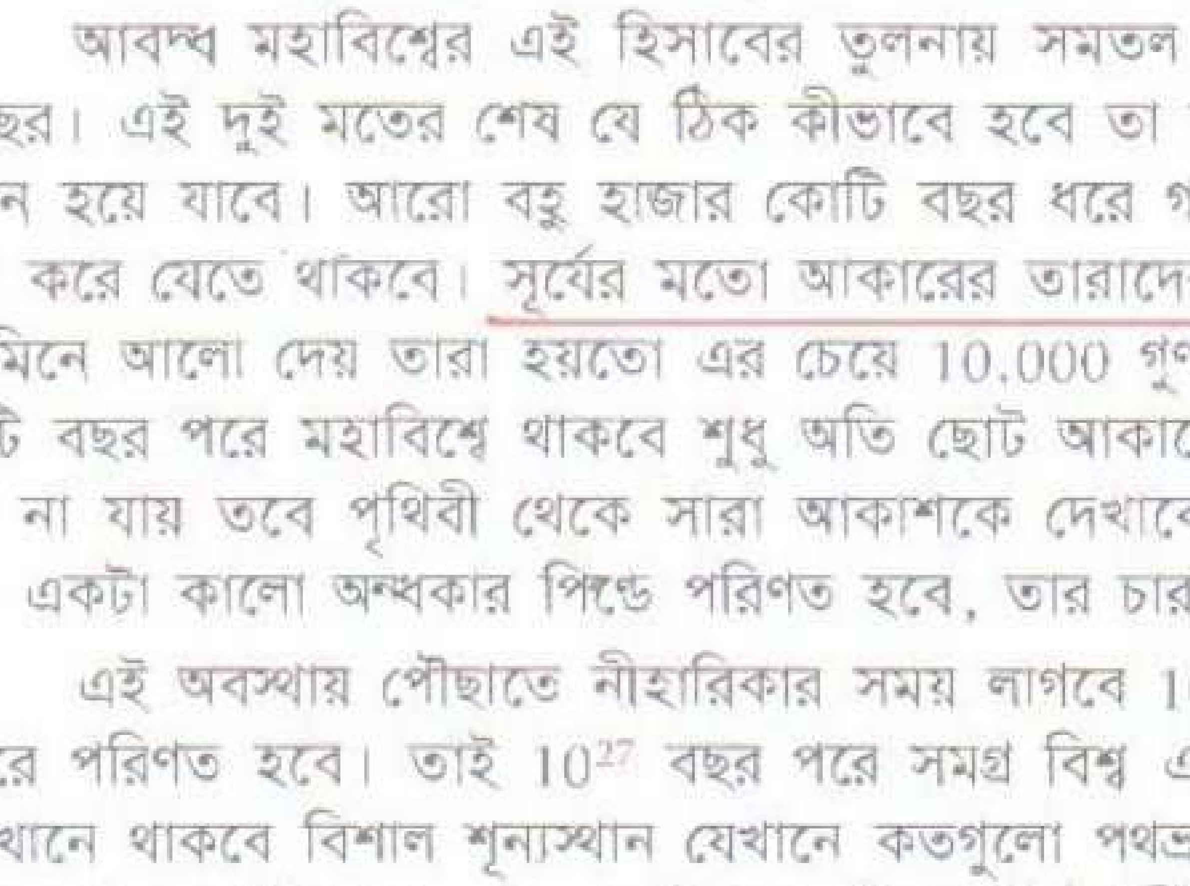
(৩) 'সমতল মহাবিশ্ব' মডেলে মহাবিশ্ব ধসে পড়বে না, আবার অনন্তকাল প্রসারিতও হবে না [চিত্র ১১.৫]।

এই তিনটি সম্ভাবনার ফলাফল কী দাঁড়াবে তাও বিজ্ঞানীরা হিসাব করে দেখেছেন। আবদ্ধ বিশ্বের হিসাবটা বেশ সহজ। সূর্য সাদা বামন হয়ে যাবার 3,000 কোটি বছর পর মহাবিশ্বের বিস্তার থেমে যাবে; একটা ভিডিও ছবি উল্টো দিকে চালালে যেমন হয় তেমনি সব কিছু উল্টোভাবে ঘটতে শুরু করবে অর্থাৎ গ্যালাক্সি জোটগুলো সব পরস্পর কাছাকাছি আসতে শুরু করবে। এভাবে 5,000 কোটি বছর চলার পর আসবে এক সঙ্কটকাল। সব গ্যালাক্সি পরস্পর গায়ে গায়ে লেগে যাবে; তারপর একটা আরেকটার মধ্যে ঝাঁপিয়ে পড়তে শুরু করবে। বিশাল সব অগ্নিকুণ্ড সৃষ্টি করে জ্বলে উঠবে অসংখ্য অতি নবতারা আর অতি কোয়াসার। রাতের আকাশ হয়ে উঠবে সূর্যের চেয়েও উজ্জ্বল; মহাকাশের তাপমাত্রা বেড়ে হবে তারাদের মতো উষ্ণ। মহাধসের এক লক্ষ বছর আগে মহাবিশ্ব জুড়ে প্রচণ্ড উষ্ণ আর ঘন বস্তুতে অসংখ্য কৃষ্ণবিবর তৈরি হতে আরম্ভ করবে। অবশেষে 8,000 কোটি বছর পর এক পরম ধসে মহাবিশ্বের সব কিছু একাকার হয়ে গিয়ে সৃষ্টি হবে এক মহা কৃষ্ণবিবর যার ভর হবে সমগ্র মহাবিশ্বের সমান। মহাবিশ্বের সৃষ্টির সঙ্গে সঙ্গে স্থান-কালের সৃষ্টি হয়েছিল; কাজেই মহাবিশ্বের ইতি ঘটলে স্থান আর কালও উধাও হয়ে যাবে। স্থান-কালহীন সেই মহাবিশ্বে টিকে থাকবে শুধু পরম শূন্যতা।

কোনো কোনো বিজ্ঞানী বলছেন এই পরম ধসে সব কিছু যে একেবারেই নিঃশেষ হয়ে যাবে তা নয়, এতে যে শক্তি ছাড়া পাবে তার ফলে ঘটবে আরেক বিস্ফোরণ, সৃষ্টি হবে আরেক মহাবিশ্ব। এভাবে হয়তো ছন্দময় দোলায় একের পর এক নতুন নতুন মহাবিশ্ব সৃষ্টি হতেই থাকবে।

আবদ্ধ মহাবিশ্বের এই হিসাবের তুলনায় সমতল মহাবিশ্ব আর উন্মুক্ত মহাবিশ্বের হিসাব বেশ কিছুটা ধোঁয়াটে গোছের। এই দুই মতের শেষ যে ঠিক কীভাবে হবে তা বলা শক্ত; তবে ধরে নেয়া যেতে পারে যে মহাবিশ্ব ক্রমে ক্রমে বিলীন হয়ে যাবে। আরো বহু হাজার কোটি বছর ধরে গ্যালাক্সিরা তাদের ভেতর ধূলো আর গ্যাসের পাঁজা থেকে নক্ষত্র সৃষ্টি করে যেতে থাকবে। সূর্যের মতো আকারের তারাদের জীবনকাল মোটামুটি 10^{10} বছর; তবে খুব ছোট যে সব তারা মিনমিনে আলো দেয় তারা হয়তো এর চেয়ে 10,000 গুণ বেশি দিন (10^{14} বছর) বাঁচবে। অর্থাৎ আজ থেকে 10 লক্ষ কোটি বছর পরে মহাবিশ্বে থাকবে শুধু অতি ছোট আকারের লাল বামনরা। পৃথিবী যদি সূর্যের লাল দানব পর্যায়ে বাষ্প হয়ে না যায় তবে পৃথিবী থেকে সারা আকাশকে দেখাবে ঘোর কালো। সূর্যের শবদেহ সাদা দানব থেকে ঠাণ্ডা হতে হতে একটা কালো অন্ধকার পিণ্ডে পরিণত হবে, তার চারপাশে হয়তো তখনও ঘুরবে পৃথিবীর ছাইপোড়া দেহ।

এই অবস্থায় পৌঁছাতে নীহারিকার সময় লাগবে 10^{14} থেকে 10^{27} বছর। একদল নীহারিকা শুধু একটি মাত্র কৃষ্ণ বিবরে পরিণত হবে। তাই 10^{27} বছর পরে সমগ্র বিশ্ব এই নীহারিকা কৃষ্ণ বিবরের সমষ্টিতে পরিণত হবে। তাদের মাঝখানে থাকবে বিশাল শূন্যস্থান যেখানে কতগুলো পথভ্রষ্ট শ্বেত বামন, নিউট্রন নক্ষত্র বা কৃষ্ণ বিবর একা একা চলা করতে থাকবে [চিত্র ১১·৬]। একটি কৃষ্ণ বিবর চিরস্থায়ী নয় বরং তা সামান্য পরিমাণে বিকিরণ নির্গত করে বহুকাল পরে বিলুপ্ত হয়ে যায়। এই বিকিরণতত্ত্বের ভিত্তি আবিষ্কার করেন কেম্ব্রিজ বিশ্ববিদ্যালয়ের বিজ্ঞানী S. W. Hawking (এস. ডবলিউ হকিং) এবং এটা 'হকিং বিকিরণ' (Hawking Radiation) নামে অভিহিত। নীহারিকা কৃষ্ণ বিবর ভরবিশিষ্ট একটি কৃষ্ণ বিবর বাঁচে প্রায় $10^{??}$ বছর। নীহারিকা কৃষ্ণ বিবর বহুগুণ বড় এবং তাদের মধ্যে সবচেয়ে বড়গুলো 10^{100} বছর পর্যন্ত বাঁচবে। কৃষ্ণ বিবর বিলুপ্ত হয়ে যাবে এবং বর্তমান বিশ্বে যে নীহারিকাগুলো আছে তাও বিলুপ্ত হয়ে যাবে। আজ থেকে একশ লক্ষ কোটি বছর পর লাল বামনদের আলোও নিভে যাবে। মহাকাশে তখন আর কিছুই দেখতে পাওয়া যাবে না। তখন বস্তু থাকবে শুধু অসংখ্য তারার শবদেহে; সেসব শবদেহ হলো কৃষ্ণবিবর, নিউট্রন তারা আর কালো বামন। বাকি যে



চিত্র ১১·৬

সব গ্রহ-উপগ্রহ গ্রহাণু থাকবে তাদেরও কারো গা থেকে কোনো তেজ বিকিরিত হবে না; সব কিছু থেকে সব তেজ নিঃশেষ হয়ে যাবে। ক্রমে ক্রমে মহাবিশ্বের সব প্রোটনেরও ক্ষয় হতে থাকবে— অবশ্য বিজ্ঞানীদের তত্ত্ব অনুযায়ী প্রোটনের ক্ষয় হতে লাগবে প্রায় 10^{32} বছর; তখন শুধু কৃষ্ণবিবর ছাড়া আর কিছুই থাকবে না । কিন্তু এই কৃষ্ণবিবরই কী অক্ষয়? একদিন তাদেরও ক্ষয় হবে, তবে সে কতদিনে—তার হিসাব কল্পনা করাও কঠিন, হয়তো 10^{63} (অর্থাৎ এক-এর পেছনে 63-টা শূন্য) বছর পর। ততদিনে সেই মহাবিশ্ব জুড়ে থাকবে শুধু এক মহাশূন্যতা। পরম একীভূত তত্ত্ব অনুসারে অথবা মধ্যাকর্ষণ সূত্র এবং কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুসারে প্রোটন চিরস্থায়ী নয় তাই মহাবিশ্বের পরিণতি ধ্বংস অবশ্যম্ভাবী।

কাজ : মহাবিশ্বের প্রসারণ কত সময় পর্যন্ত চলতে থাকবে এবং কোন সময়ে এই প্রসারণ বন্ধ হবে ?

যদি সংকট ঘনত্বের মান বর্তমান গড় ঘনত্বের বেশি হয় সেক্ষেত্রে প্রসারণ আজীবন চলতে থাকবে। যদি সংকট ঘনত্বের মান বর্তমান গড় ঘনত্বের সমান হয় সেক্ষেত্রে বিশ্বের প্রসারণ ধীরে ধীরে কমে আসতে থাকবে কিন্তু কখনোই একেবারে থেমে যাবে না।

পর্যবেক্ষণমূলক কাজ : মহাবিশ্বে কখন সংকোচন শুরু হবে ?

মহাবিশ্বের গড় ঘনত্ব যদি সংকট ঘনত্বের বেশি হয় তাহলে মহাকর্ষীয় আকর্ষণ মহাবিশ্বের প্রসারণকে এক সময়ে থামিয়ে দিয়ে শুরু করবে বিশ্ব জুড়ে মহাসংকোচন।

১১.৩ মহাবিশ্বের মূল বস্তু ও ঘটনা
Principal Materials and events of the Universe

আমাদের আবাস ভূমি পৃথিবীর চারদিকে ঘিরে রয়েছে অসীম আকাশ। আদি অন্তহীন এই আকাশকে বলা হয় মহাকাশ বা নভোমণ্ডল। বিজ্ঞানীদের মতে মহাবিশ্বের যাবতীয় বস্তু ও শক্তি যে অঞ্চলে বিন্যস্ত বা ভাসমান তার নাম মহাকাশ। মহাকাশের শুরু বা শেষ নেই। মহাকাশে অসংখ্য **জ্বলন্ত** গ্যাসপিণ্ড অবস্থান করছে, যেমন—সূর্য, নক্ষত্র, গ্রহ, উপগ্রহ, উল্কা ইত্যাদি। এদের নাম **জ্যোতিষ্ক** (Luminary)। এরা সুশৃঙ্খলভাবে নিজ নিজ কক্ষপথে নির্দিষ্ট গতিতে ঘুরছে। আজকাল চন্দ্র, সূর্য, গ্রহ, নক্ষত্র, ধূমকেতু, উল্কা ছাড়াও অনুজ্জ্বল নীহারিকা, পালসার, কৃষ্ণ বামন, কৃষ্ণ গহ্বর ইত্যাদি সব কিছুকেই জ্যোতিষ্ক বলে। এদের সবাইকে নিয়ে যা গঠিত হয়েছে, তার নামই **মহাবিশ্ব**। নক্ষত্রগুলো হলো **জ্বলন্ত গ্যাস পিণ্ড**। এদের নিজের আলো ও উত্তাপ রয়েছে। প্রতিনিয়তই নতুন নতুন নক্ষত্র বা তারা সৃষ্টি হচ্ছে। পুরাতন তারা ঠান্ডা হয়ে গেলে এবং নিভে গেলে বিপুল পরিমাণে ধূলি, গ্যাস প্রভৃতি মহাশূন্যে নিক্ষিপ্ত হয়। পরবর্তীতে ঐ উপাদানগুলো থেকে নতুন তারা সৃষ্টি হতে পারে।

এই মহাবিশ্বের মৌলিক উপাদান হলো তিনটি

(ক) সৌরজগৎ (Solar system), (খ) নক্ষত্রপুঞ্জ (Stars) ও (গ) গ্যালাক্সি (Glaxies)

সৌরজগৎ (Solar system)

সৌরজগতে রয়েছে সূর্য, গ্রহ, উপগ্রহ, ধূমকেতু, উল্কা, গ্রহাণুসহ গ্যাস ও ধূলিকণা। সূর্য সৌরজগতের কেন্দ্র। সূর্যকে কেন্দ্র করে উপবৃত্তাকার পথে ঘুরছে ৪টি গ্রহ। আবার গ্রহকে কেন্দ্র করে ঘুরছে উপগ্রহ। সৌরজগতের মধ্যে কেবল সূর্যেরই আলো আছে। সকল গ্রহ, উপগ্রহ সূর্যের আলোয় আলোকিত হয়। সৌরজগতে গ্রহ, উপগ্রহ ছাড়া রয়েছে অনিয়মিত আকারের উল্কা, ধূমকেতু, গ্রহাণু, গ্যাস ও ধূলিকণা সহ নানাবিধ কঠিন বস্তু।

নক্ষত্র (Stars)

পৃথিবী থেকে দেখলে মনে হয় নক্ষত্রগুলো যেন মহাকাশের একই সমতলে অবস্থান করছে। পৃথিবী থেকে এদের দূরত্ব অনেক বেশি বলে এমনটি মনে হয়। সূর্য পৃথিবীর নিকটতম নক্ষত্র। পৃথিবী থেকে সূর্যের দূরত্ব 15 কোটি কিলোমিটার। সূর্য থেকে পৃথিবীতে আসতে আলোকের সময় লাগে 8 মিনিট 19 সেকেন্ড। অন্যান্য নক্ষত্রের দূরত্ব এত বেশি যে তা আলোক বর্ষে প্রকাশ করা হয়। সূর্যে প্রচুর পরিমাণে হাইড্রোজেন গ্যাস আছে। প্রচণ্ড তাপে সর্বদা ফিশন বিক্রিয়া সংঘটিত হচ্ছে। এই বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন হতে হিলিয়াম গ্যাস উৎপন্ন হয়। এই রূপান্তরের সময় ভরের যে পার্থক্য ঘটে তা $E = mc^2$ সূত্রানুসারে শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এই বিক্রিয়ায় প্রতি সেকেন্ডে 4×10^{26} জুল শক্তি বিকিরণ করে। সূর্যে যে পরিমাণ হাইড্রোজেন গ্যাস আছে তা থেকে কোটি কোটি বছর আলো ও তাপ পাওয়া যাবে। সূর্য ক্রমশ ভর হারোনার ফলে সংকুচিত হচ্ছে। তবে এই সংকোচন 100 কোটি বছর ধরে চলবে। সূর্য থেকে প্রতি সেকেন্ডে নির্গত শক্তির পরিমাণকে সৌর ঔজ্জ্বল্য বলে। গাণিতিকভাবে সৌর ঔজ্জ্বল্য $L_{\odot} = 4\pi R^2 S$, যেখানে S = সৌর ধ্রুবক = 1.38×10^3, R = সূর্যের চারদিকে পৃথিবীর কক্ষপথের ব্যাসার্ধ যার মান $1\ AU = 1.496 \times 10^{11}$ m।

গ্যালাক্সি (Galaxies)

মহাকর্ষ বলের প্রভাবে গ্যাসীয় পদার্থের সংকোচন হয় যার ফলশ্রুতিতে সৃষ্টি হয় গ্যালাক্সি। গ্যালাক্সির মধ্যে গ্যাসের মহাকর্ষীয় ঘনীভবনের ফলে হাইড্রোজেন ও হিলিয়াম মিলে তৈরি ঘনীভূত গ্যাসের অণু-পরমাণুর মধ্যে ঘ বেড়ে যাওয়ায় তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেয়ে নিউক্লীয় ফিউশন বিক্রিয়া শুরু হয় এবং বিপুল পরিমাণে শক্তি নির্গত হয়। নক্ষত্র সূর্য এভাবেই জ্বলে ওঠে। অনেকগুলো নক্ষত্রের সমাবেশকে গ্যালাক্সি বলে। আকাশ গঙ্গা নামক ছায়াপথে আমরা ব করি। এই ছায়াপথে প্রায় 10^{11} সংখ্যক নক্ষত্র রয়েছে।

ধূমকেতু (Comet)

পানি, মিথেন ও অ্যামোনিয়া গ্যাস কোনো নিরেট ক্ষুদ্র শিলা খণ্ডের উপর জমে তৈরি হয় ধূমকেতু। সূর্যে চারদিকে উপবৃত্তাকার পথে ঘোরার সময় এর সামনের দিকের পানি বাষ্পে পরিণত হয় এবং বিকিরণ চাপে সামনের দিকে একটি স্ফীত মাথা ও পেছনের দিকে সরু লেজের মতো হয়। দেখতে অনেকটা ঝাড়ুর মতো দেখায়। ৭৬ বছর পর প এদের একবার দেখা যায়। হ্যালির ধূমকেতু এমন একটি ধূমকেতু।

উল্কা (Meteors)

আকাশে অনেক সময় ছোট আগুনের গোলা ছুটতে দেখা যায়। এরা নক্ষত্র বা তারা নয়। খুব ক্ষুদ্র শিলা খণ্ড য পৃথিবীর কাছাকাছি আসে তখন পৃথিবীর অভিকর্ষের টানে প্রচণ্ড বেগে বায়ুমণ্ডলে প্রবেশ করে এবং বায়ুর কণার সা ঘর্ষণে জ্বলে ওঠে এবং পৃথিবীতে পতনের আগেই নিভে যায়। ইহাই উল্কা।

মৌলিক কণা (Fundamental particles)

বিশ্বজগতের সমস্ত প্রকার জড় পদার্থ মৌলিক কণার সমন্বয়ে গঠিত। এই সকল কণা পরম, আদি বা প্রাথমিক এবং অবিভাজ্য ক্ষুদ্রতম কণা। এই সকল কণা 1 বা 0 (শূন্য) আধান যুক্ত। আধান ও চৌম্বক মোমেন্ট ছাড়া কণিকা ও প্রতিকণিকা একই রকম। সকল বিক্রিয়ায় এদের আধান, ভরশক্তি ও ভরবেগ সংরক্ষিত থাকে। মেসন ও ফোটন ছাড়া সকল কণিকার প্রতিকণা (antiparticle) আছে। মৌলিক কণা তিন ধরনের :

(ক) ক্ষেত্রকণা, (খ) লেপটন কণা ও (গ) হ্যাড্রন কণা।

(ক) ক্ষেত্রকণা : ফোটন, গেজ বোসন এবং গ্রাভিটন এর সমন্বয়ে ক্ষেত্রকণা গঠিত। এরা যথাক্রমে বিদ্যুৎ চুম্বকীয়, দুর্বল নিউক্লীয় বল এবং মহাকর্ষ পরিক্রিয়া বাহক কণা।

(খ) লেপটন কণা : এ সকল কণা বিদ্যুৎ চুম্বকীয় এবং দুর্বল নিউক্লীয় পরিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করতে পারে কিন্তু কখনও শক্তিশালী নিউক্লীয় পরিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করতে পারে না। এদের স্পিন $\frac{1}{2}$ এবং জীবনকাল অসীম। লেপটন কণা আবার তিন ধরনের— (১) ইলেকট্রন গোষ্ঠীয় লেপটন, (২) মিওন গোষ্ঠীয় লেপটন, (৩) টাউ গোষ্ঠীয় লেপটন। ইলেকট্রন হলো উল্লেখযোগ্য লেপটন কণা।

(গ) হ্যাড্রন কণা : যে সকল মৌলিক কণা শক্তিশালী নিউক্লীয়, বিদ্যুৎ চুম্বকীয় এবং দুর্বল নিউক্লীয় এই তিন প্রক্রিয়াতে অংশগ্রহণ করতে পারে তাদেরকে হ্যাড্রন কণা বলে। হ্যাড্রন কণা আবার দুই ধরনের। যথা—(১) মেসন ও (২) বেরিয়ন। মেসনের স্পিন 0 (শূন্য), কিন্তু বেরিয়নের স্পিন শূন্য নয়।

এমন অনেক কণিকা আছে যার ভর, স্পিন অন্য কণিকার সমান কিন্তু চার্জ, বেরিয়ন সংখ্যা, লেপটন সংখ্যা অন্য কণিকার সমান কিন্তু বিপরীতধর্মী। এগুলোকে প্রতিকণা (Antiparticle) বলে।

ঈশ্বর কণা (God's particle) : হিগস বোসন ক্ষেত্রনামক তাত্ত্বিক বল ক্ষেত্র সমস্ত বিশ্বে ছড়িয়ে আছে ভরহীন কোনো কণা এই ক্ষেত্রে প্রবেশ করলে তা ধীরে ধীরে ভর লাভ করে। ফলে চলার গতি হ্রাস পায়। এই ক্ষেত্রের মাধ্যমেই ভর কণাতে স্থানান্তরিত হয়। অর্থাৎ হিগস ক্ষেত্র ভর সৃষ্টি করতে পারে না, তা কেবল কণাতে স্থানান্তর করে হিগস বোসনের মাধ্যমে। এই হিগস বোসনই ঈশ্বর কণা বা God's particle নামে পরিচিত।

কোয়ার্ক (Quark) : কোয়ার্ক হলো অতি পারমাণবিক কণা, যা দ্বারা প্রোটন ও নিউট্রনসমূহ গঠিত। বিজ্ঞানী গেলম্যান অতি পারমাণবিক এই কণাসমূহের নামকরণ করেন কোয়ার্ক। বিজ্ঞানীরা কোয়ার্ককে এখনও পর্যন্ত মৌলিক কণা মনে করেন। এ পর্যন্ত ছয় ধরনের কোয়ার্কের সন্ধান পাওয়া গেছে। কোয়ার্কের নিজস্ব কোয়ান্টাম সংখ্যা আছে। কোয়ার্কের হাইপার চার্জ ও ইলেকট্রনীয় চার্জ ভগ্নাংশিক মানসম্পন্ন। সকল কোয়ার্কই ফার্মিয়ন যাদের স্পিন $\frac{1}{2}, \frac{3}{2}$......।

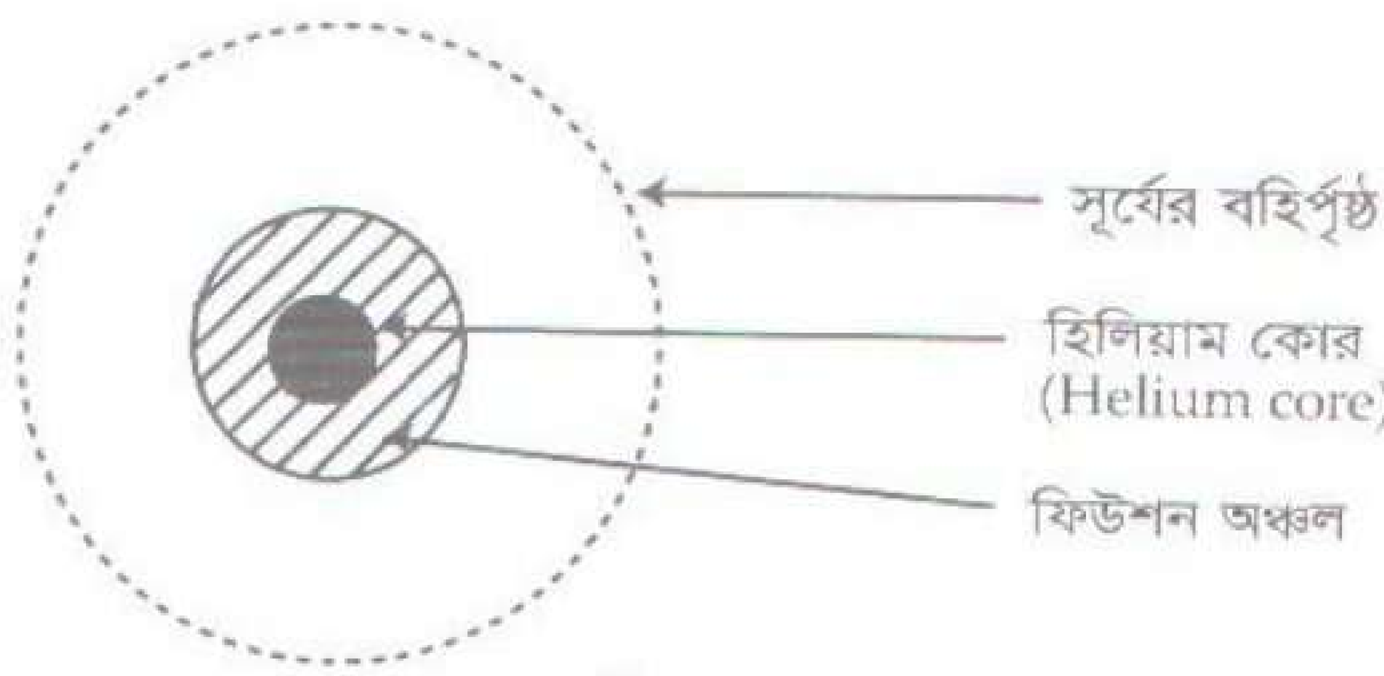
নক্ষত্রের জীবন কাহিনী
Life history of stars

(ক) নক্ষত্রের জন্ম (Birth of a star)

রাতের বেলায় পরিষ্কার নীল আকাশের দিকে তাকালে অসংখ্য আলোক বিন্দু মিট মিট করে জ্বলতে দেখা যায়। এদেরকে নক্ষত্র বলে। খালি চোখে হাজার হাজার নক্ষত্র দেখা যায়। নক্ষত্র হলো জ্বলন্ত অগ্নিপিণ্ড যা গ্যাস এবং

ধূলিকণার সমন্বয়ে গঠিত। ধারণা করা হয় যে, এক মহাবিস্ফোরণের মধ্য দিয়ে এ মহাবিশ্বের সৃষ্টি। নক্ষত্র সৃষ্টির আদিতে মহাকাশের বিস্তৃত বিশাল অঞ্চল জুড়ে শীতল হাইড্রোজেন, হিলিয়ামসহ অন্যান্য গ্যাসের পরমাণু ছড়ানো ছিটানো অবস্থায় ছিল। একে গ্যাসের ধূলিমেঘ (dust cloud) বলে। ধূলিমেঘে প্রায় 75% হাইড্রোজেন, 24% হিলিয়াম এবং কার্বন, নাইট্রোজেন, অক্সিজেনসহ অন্যান্য গ্যাস 1% ছিল।

আমরা জানি পরমাণু নিরপেক্ষ এবং এদের মধ্যে কোনো বৈদ্যুতিক আকর্ষণ বা বিকর্ষণ নেই। এদের মধ্যে একমাত্র ক্রিয়াশীল বল হলো মহাকর্ষ বল। এই মহাকর্ষ বলের প্রভাবে গ্যাস পরমাণুর মেঘ আস্তে আস্তে জমাট বাঁধতে থাকে। এই প্রক্রিয়ায় যেহেতু গ্যাস পরমাণুর মধ্যকার গড় দূরত্ব কমতে থাকে, সুতরাং এদের স্থিতিশক্তিও কমতে থাকে। শক্তির নিত্যতা বজায় রাখার জন্য এদের গতিশক্তির বৃদ্ধি ঘটে এবং পরমাণুর মধ্যে সংঘর্ষ বাড়ে। গতিশক্তি বৃদ্ধি এবং সংঘর্ষের কারণে তাপমাত্রা বাড়তে থাকে। মহাকর্ষ বলের টানে এই ধূলিমেঘ যত সঙ্কুচিত হতে থাকে তত অধিক সংখ্যক পরমাণু কেন্দ্রের দিকে আকৃষ্ট হয়। ফলে কেন্দ্রের নিকটবর্তী অংশের ঘনত্ব এবং তাপমাত্রা উভয়ই বাইরের অংশের তুলনায় দ্রুত বাড়তে থাকে। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে এই গ্যাসপিণ্ড থেকে বিকিরণ শক্তির পরিমাণও বাড়তে থাকে এবং গ্যাসপিণ্ড থেকে অনুজ্জ্বল আলো নির্গত হয়। এভাবে গ্যাসপিণ্ডের সঙ্কোচন প্রক্রিয়া অব্যাহত থাকে এবং কেন্দ্রের তাপমাত্রা বৃদ্ধিও অব্যাহত থাকে। তাপমাত্রা বেড়ে যখন 10^7 K-এ পৌঁছায় তখন নিউক্লীয় ফিউশন (Nuclear fusion) বিক্রিয়া শুরু হয়। এই ফিউশন বিক্রিয়ায় প্রচুর পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন হয় এবং কেন্দ্র থেকে বাইরের দিকে বেরিয়ে আসে। এর ফলে গভীর বহির্চাপের সৃষ্টি হয়। বিকিরণ থেকে সৃষ্ট এই বহির্চাপ মহাকর্ষের সঙ্কোচনকে বাধা প্রদান করে। যখন বহির্চাপ এবং সঙ্কোচন বল সমান হয় তখন সুস্থিত (stable) বা সাম্যাবস্থা সৃষ্টি হয়। এভাবে একটি তারকা পূর্ণতা এবং স্থায়িত্ব লাভ করে। অবশ্য এ ধরনের ধ্বংসোন্মুখ গ্যাস ও ধূলিকণার মেঘপুঞ্জ থেকে একটি মাত্র জ্বলন্ত অগ্নিপিণ্ড তৈরি না হয়ে শত শত তারকার সমন্বয়ে নক্ষত্রপুঞ্জের সৃষ্টি হয়। বয়স বাড়ার সাথে নক্ষত্রপুঞ্জের আকার বাড়তে থাকে এবং নক্ষত্রগুলির মধ্যে দূরত্ব বাড়তে থাকে। এক সময়ে এরা স্বতন্ত্র তারকা বা নক্ষত্র হিসেবে দূরে সরে যায়। তবে এই প্রক্রিয়া সম্পন্ন হতে কোটি কোটি বছর লাগে। আমাদের সূর্যও সম্ভবত এভাবেই নক্ষত্রপুঞ্জ থেকে বেরিয়ে এসেছে আজ থেকে 500 কোটি বছর আগে। ১১.৭ চিত্রে সূর্যের গঠন দেখানো হলো।



চিত্র ১১.৭

হিসাব : একই পরম ঔজ্জ্বল্যবিশিষ্ট 2টি তারার মধ্যে একটি অপরটি থেকে 1000 গুণ দূরে অবস্থিত। এদের ঔজ্জ্বল্যের পার্থক্য কত হবে ? কোনটির ঔজ্জ্বল্য বেশি হবে ?

আমরা জানি, $m_2 - m_1 = 5 \log \frac{d_2}{d_1}$

$$= 5 \log \left(\frac{1000\, d_1}{d_1} \right)$$

$$= 5 \log 10^3 = 15$$

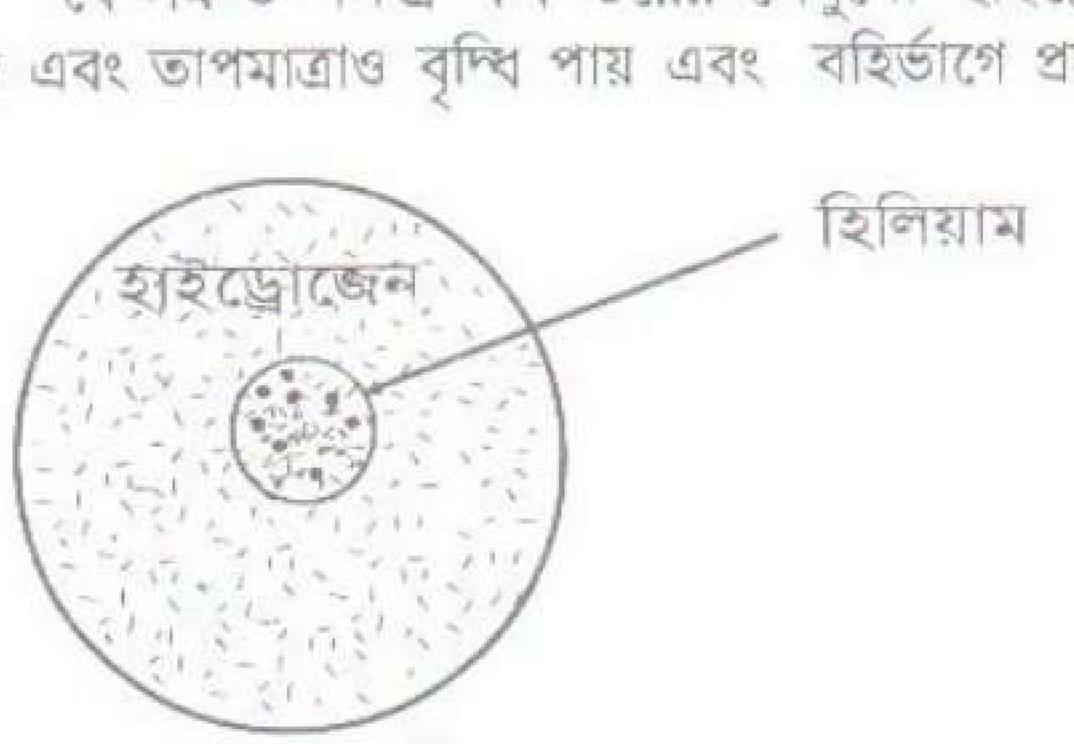
$$\therefore \quad m_2 = 15 + m_1$$

অর্থাৎ তারাদ্বয়ের ঔজ্জ্বল্যের পার্থক্য হবে 15 একক। ঔজ্জ্বল্যের স্কেল কম ঔজ্জ্বল্যের সাংখ্যিক মান বেশি হওয়ার কারণে দূরবর্তী তারার ঔজ্জ্বল্য 15 একক বেশি হবে।

(খ) নক্ষত্রের মৃত্যু (Death of a star)

যদিও একটি নক্ষত্রের সুস্থিত বা সাম্যাবস্থা কোটি কোটি বছর ধরে চলবে, তবুও প্রশ্ন জাগে যখন হাইড্রোজেন জ্বালানি শেষ হয়ে যাবে তখন কি ঘটবে ? চিত্র ১১.৮-এ একটি হিলিয়াম কোর বা মূল অংশ এবং এর বাইরে হাইড্রোজেনের আবরণ দেখান হয়েছে। কোরের অভ্যন্তরে তাপমাত্রা এক কোটি ডিগ্রী সেলসিয়াসের বেশি; কিন্তু বহিরাবরণের তাপমাত্রা মাত্র কয়েক হাজার ডিগ্রী সেলসিয়াস। যদিও হাইড্রোজেন আবরণ বাইরে রয়েছে; কিন্তু তাপমাত্রা যথেষ্ট বেশি না হওয়ায় ফিউশন বিক্রিয়া ঘটে না। ফিউশন বিক্রিয়া বন্ধ হলে কোরে উৎপন্ন বহির্মুখী চাপ কমতে থাকে এবং মহাকর্ষীয় আকর্ষণ বলের কারণে সঙ্কোচন বাড়তে থাকে। অর্থাৎ আকর্ষণ বল প্রাধান্য লাভ করে এবং কোরের সঙ্কোচন চলতে থাকে।

যে সমস্ত নক্ষত্র কম ভরের সেগুলো হাইড্রোজেন জ্বালানি ফুরিয়ে গেলে সঙ্কোচনের ফলে মূল অংশের ঘনত্ব বাড়ে এবং তাপমাত্রাও বৃদ্ধি পায় এবং বহির্ভাগে প্রসারণ ঘটে। তবে মূল অংশের তাপমাত্রা এতটা বাড়ে না যে হিলিয়াম ফিউশন বিক্রিয়া শুরু হতে পারে। বাইরের আবরণ স্ফীতির ফলে তারকার আকার অনেক বড় হয় এবং তাপমাত্রা কমে যাওয়ায় তারকার পৃষ্ঠ থেকে নির্গত বিকিরণ লালচে দেখায়। এই তারকাকে রক্তিম দৈত্য (red giant) বলে। এরপর এটি এমন একটি ধাপে পৌঁছায় যে এর বাইরের আবরণ বিচ্ছিন্ন বা ভেঙ্গে যায়। অবশিষ্ট যা থাকে তাকে শ্বেত বামন (white dwarf) বলে। সময়ের সাথে শ্বেত বামন নক্ষত্রের উজ্জ্বলতা কমতে কমতে একসময়ে কালো বামন (black dwarf) হয় এবং মৃত্যু ঘটে।



চিত্র ১১.৮

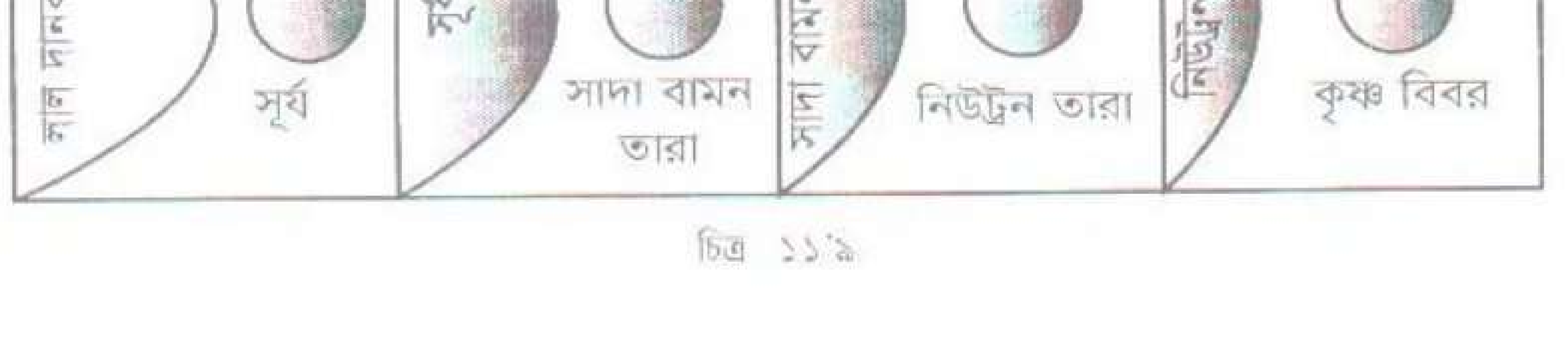
তবে যে সমস্ত তারকার ভর অনেক বেশি সেগুলোতে মহাকর্ষ আকর্ষণ বলের ফলে মূল অংশের সঙ্কোচন বেশি হয় এবং তাপমাত্রাও অনেক বেড়ে যায়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেয়ে যখন 10 কোটি ডিগ্রী সেলসিয়াসের কাছাকাছি পৌঁছায় তখন হিলিয়াম নিউক্লিয়াস ফিউশন বিক্রিয়া শুরু হয়। এক্ষেত্রে তিনটি হিলিয়াম নিউক্লিয়াস ফিউশন বিক্রিয়ার মাধ্যমে কার্বন নিউক্লিয়াস গঠন করে এবং সেই সঙ্গে প্রচুর পরিমাণে শক্তি নির্গত করে। এই শক্তি আকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে বহির্মুখী চাপ সৃষ্টি করে এবং আকর্ষণ বলকে প্রতিহত করে সাম্যাবস্থা সৃষ্টি করে। তবে কোরের ভেতরের চাপ বৃদ্ধির প্রভাব বাইরের আবরণে বিস্তার লাভ করে এবং আবরণেরও প্রসারণ ঘটতে থাকে। অর্থাৎ তারকার আকারও বেড়ে যায় এবং উজ্জ্বলতাও বাড়ে। একটি পূর্ণ তারকার চেয়ে শতগুণ বড় হয়ে সুস্থিত (stable) অবস্থায় আসে। বহিরাবরণের প্রসারণের ফলে তাপমাত্রা কমে যায় এবং তারকা লালচে দেখায়। এ অবস্থায় বা ধাপের তারকাকে বলা হয় **রক্তিম দৈত্য বা অতি রক্তিম দৈত্য তারকা** (super giant star)। সূর্য যখন হাইড্রোজেন জ্বালানি শেষ করে এই ধাপে পৌঁছাবে তখন সূর্যের আকার এতটা বেড়ে যাবে যে বুধ, শুক্র, পৃথিবী এবং এমনকি মঙ্গলগ্রহও গ্রাস করে ফেলবে। অবশ্য এই অবস্থা সৃষ্টি হতে এখনও 600 কোটি বছর দেরি আছে।

তারকার আকার যদি আরও বড় হয়, তবে হিলিয়াম শেষ হলে কার্বন এবং অন্যান্য জ্বালানি ব্যবহার করে লৌহ পর্যন্ত পৌঁছতে পারে।

এখন প্রশ্ন হলো রক্তিম দৈত্য অবস্থার পরে কী ঘটবে ? এর পরের অবস্থাই শ্বেত বামন (white dwarf) অবস্থা যা আগেই বলা হয়েছে। আমরা শ্বেত বামন অবস্থাকে নক্ষত্রের অন্তিম অবস্থা হিসেবে ভাবতে পারি।

ভিন্ন ভিন্ন ভরের তারকা ভিন্ন ভিন্ন প্রক্রিয়ায় মৃত্যুবরণ করে। কম বা মাঝারি ভরের নক্ষত্র হাইড্রোজেন জ্বালানি নিঃশেষ করে তুলনামূলকভাবে বেশ নীরবেই মৃত্যুবরণ করে। এদের জীবনচক্রে সবচেয়ে বড় ঘটনা হলো বাইরের আবরণ বিচ্ছিন্ন হয়ে নেবুলা (Nebula) শ্রেণির গ্রহ সৃষ্টি। কিন্তু **সূর্যের ভরের তুলনায় অনেক ভারী নক্ষত্রগুলো জ্বালানি শেষ হলে সঙ্কোচন অত্যন্ত তীব্র হয় এবং মূল অংশের ঘনত্ব এত বেড়ে যায় যে প্রচণ্ড বিস্ফোরণের মধ্য দিয়ে মৃত্যুবরণ করে। এই প্রচণ্ড বিস্ফোরণকে বলা হয় সুপারনোভা (supernova) বিস্ফোরণ।** 1054 খ্রিস্টাব্দে চীনা জ্যোতির্বিদরা এই ধরনের সুপারনোভা বিস্ফোরণ প্রত্যক্ষ করেন যা বেশ কয়েকদিন পর্যন্ত দিনের বেলায়ও প্রজ্বলিত অবস্থায় দেখা গেছে। এই বিস্ফোরণে বহিরাবরণ ভেঙ্গে টুকরা টুকরা হয়ে যায় এবং মূল অংশ অবশিষ্ট থাকে মাত্র। অবশিষ্ট এই মূল অংশের ভর অনুসারে কোনোটি নিউট্রন তারকা (Neutron star) আবার কোনোটি কৃষ্ণ বা কাল বিবর (black hole)-এ পরিণত হয়।

কাজ : একটি নক্ষত্রের মৃত্যু কীভাবে হবে ?
জেনে রাখ : লাল দানব তারা কীভাবে কৃষ্ণবিবরে পরিণত হচ্ছে তা লক্ষ কর। এদের ব্যাস কীভাবে সংকুচিত হচ্ছে তা নিচের চিত্রে দেখ।



চিত্র ১১.৯

সবচেয়ে ছোট তারা সবচেয়ে বড় তারার চেয়ে দশ কোটি ভাগ ছোট। তারার ভর 1 সূর্য ভর হলে বিভিন্ন তারার ব্যাস কত হবে ?

লাল দানব	:	14 কোটি কি. মি.
সূর্য	:	14 লক্ষ কি. মি.
সাদা বামন	:	13 হাজার কি. মি.
নিউট্রন তারা	:	16 কি. মি.
ব্ল্যাকহোল	:	2.5 কি. মি.

সুতরাং তারকার মৃত্যু পর্ব কয়েকটি ধাপে ঘটতে পারে। এই ধাপগুলো নির্ভর করে মৃত্যু পর্ব শুরুর সময়ের ভর অনুসারে। যৌবন পর্বের ভর বিবেচনা করা হয় না এ কারণে যে তারকা রক্তিম দৈত্য হিসেবে, অথবা সুপারনোভার মধ্যে কিংবা নেবুলা গ্রহ সৃষ্টির মাধ্যমে ভর হারায়। ধাপগুলো হলো—

১। যে সমস্ত তারকার ভর সূর্যের ভর অপেক্ষা 1·4 গুণ কম সেগুলো শ্বেত বামন (white dwarf) হবে। শ্বেত বামন আস্তে আস্তে তাপীয় শক্তি বিকিরণের মাধ্যমে স্তিমিত হয়ে কালো বামন (black dwarf) হবে এবং জীবন চক্র শেষ করবে।

২। যে সমস্ত তারকার ভর 1·4 Mo (Mo হলো সূর্যের ভর) এবং 3 Mo-এর মধ্যে সেগুলো নিউট্রন তারকায় পরিণত হবে।

৩। যে সমস্ত তারকার ভর 3 Mo-এর চেয়ে বেশি সেগুলো কালো বিবর (black hole)-এ পরিণত হবে।

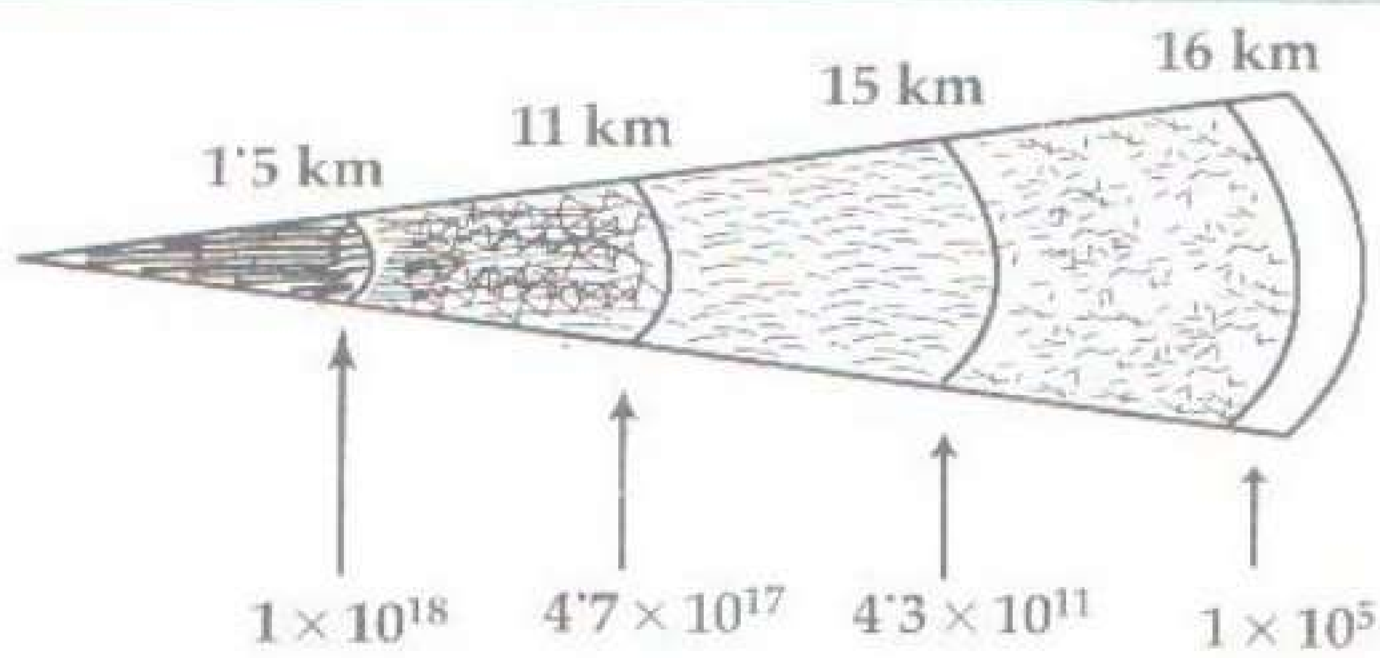
উপরে বর্ণিত তিনটি ধাপের তারকাগুলোর যৌবনকালীন ভর হয়ত অনেক বেশি থাকতে পারে। তারপর মৃত্যু পর্ব শুরুর আগে বিভিন্ন প্রক্রিয়ায় তারকা ভর হারাতে বা কমাতে পারে। যদি কোনো তারকা যৌবন কালীন ভর কমাতে না পারে এবং মৃত্যুপর্ব শুরুর মুহূর্তে 1·4 Mo-এর বেশি ভর থাকে, তবে কোনো ভাবেই এটি শ্বেত বামন হতে পারবে না। এই 1·4 Mo ভরের সীমাকেই **চন্দ্রশেখর সীমা** (Chandrasekhar limit) বলে। চন্দ্রশেখরের আগে জ্যোতির্পদার্থবিদদের ধারণা ছিল যে সকল ভরের নক্ষত্রই শ্বেত বামন হিসেবে জীবন চক্র শেষ করবে। কিন্তু ভারতীয় বিখ্যাত জ্যোতির্পদার্থবিদ চন্দ্রশেখর গাণিতিক মডেলের সাহায্যে দেখান যে 1·4 Mo ভরের বেশি ভরের কোনো নক্ষত্র শ্বেত বামন হবে না।

নিউট্রন তারকা
Neutron star

সুপারনোভা বিস্ফোরণের পর মূল অংশের ভর যদি 1·4 Mo-এর বেশি এবং 3 Mo-এর কম হয় তবে মহাকর্ষজনিত কেন্দ্রমুখী আকর্ষণ বলের জন্য মূল অংশ এতটা সঙ্কোচিত হয় যে ইলেকট্রন ও প্রোটন নিম্নের বিক্রিয়ায় নিউট্রন গঠন করে।

$$p^+ + e^- \longrightarrow n + \gamma$$

এভাবে নিউট্রন গ্যাস উৎপন্ন হয়। সঙ্কোচনের ফলে মূল অংশের ঘনত্ব যখন 10^{19} kg/m^3 মানে পৌঁছায় তখন নিউট্রন ডিজেনারেট (Neutron degenerate) অবস্থার সৃষ্টি হয় এবং নিউট্রন কঠিন পদার্থের দেওয়ালের মতো আচরণ করে। এই অবস্থায় নিউট্রন সঙ্কোচন প্রক্রিয়াকে বাধা প্রদান করে। অর্থাৎ নিউট্রন গ্যাস বহির্মুখী চাপ সৃষ্টি করে এবং



চিত্র ১১·১০

এই চাপের দ্বারা মহাকর্ষীয় সঙ্কোচনকে প্রতিহত করে সুস্থিত (stable) অবস্থায় আসে। একেই নিউট্রন তারকা বলে। চিত্র ১১·১০-এ একটি 1·4 Mo ভরের বেশি নিউট্রন তারকার কেন্দ্র থেকে বহির্মুখী বিভিন্ন অংশের ঘনত্ব পানির ঘনত্বের সাপেক্ষে দেখানো হয়েছে। নিউট্রন তারকাটির ভর সূর্যের ভরের চেয়ে 1·4 গুণের বেশি হলেও এর ব্যাসার্ধ মাত্র 16 km

(সূর্যের ব্যাসার্ধ 7,00,000 km!)। বিজ্ঞানীরা ধারণা করেন যে নিউট্রন তারকা দ্রুত ঘূর্ণন গতিসম্পন্ন এবং এর অত্যন্ত শক্তিশালী চৌম্বক ক্ষেত্র রয়েছে। নিউট্রন তারকা থেকে নির্দিষ্ট সময় অন্তর অন্তর বেতার স্পন্দন (radio pulse) পাওয়া যায়। তাই একে পালসার (pulsar) বলে।

কৃষ্ণ বিবর
Black hole

জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা গাণিতিক মডেলের সাহায্যে দেখিয়েছেন যে একটি নক্ষত্রের মৃত্যু পূর্ব ভর 3 Mo-এর বেশি হলে নক্ষত্রটির ভেতরে মহাকর্ষ বলের কারণে সঙ্কোচন ক্রিয়া অব্যাহত থাকবে এবং আমাদের জানামতে এমন কোনো শক্তি নেই যে এর অব্যাহত সঙ্কোচন প্রতিহত করতে পারে। এভাবে সঙ্কোচিত হয়ে এটি শূন্য ব্যাসার্ধ এবং অসীম ঘনত্বের বিন্দু বস্তুতে পরিণত হতে পারে। বস্তুটি বিন্দু হোক বা না হোক এর আকর্ষণ বল এত বৃদ্ধি পাবে যে এর আশেপাশে থেকে কোনো কিছুই এমনকি আলোও বেরিয়ে আসতে পারবে না। **বস্তুটি এবং এর আশেপাশে যে অঞ্চল থেকে কোনো তথ্য পাওয়া সম্ভব নয়, যেখান থেকে আলো বা কোনো বস্তু বেরিয়ে আসতে পারে না ঐ অঞ্চলকে কৃষ্ণ বিবর বা গহ্বর (black hole) বলে।** এই অঞ্চলের সীমাকেই বলা হয় **ঘটনা দিগন্ত** (Event horizon)। কার্ল শোয়ার্জশিল্ড (Karl Schwarzchild) আইনস্টাইনের সাধারণ আপেক্ষিক তত্ত্বের সাহায্যে 1916 খ্রিস্টাব্দে কালো বিবরের ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ R_s-এর রাশিমালা নির্ণয় করেন :

$R_s = \frac{2GM}{c^2}$, এখানে M হলো বস্তুর ভর, c আলোর বেগ এবং G মহাকর্ষীয় ধ্রুবক।

অর্থাৎ M ভরবিশিষ্ট অঘূর্ণনশীল কোনো গোলকীয় বস্তুর ব্যাসার্ধ যদি R_s হয় তাহলে কোনো বিন্দুই এই বস্তুপৃষ্ঠ হতে মুক্ত হতে পারবে না এবং বস্তুটি কৃষ্ণবিবর হিসেবে কাজ করবে। এক্ষেত্রে R_s ব্যাসার্ধের মধ্যে কোনো বস্তু থাকলে কৃষ্ণবিবরের মহাকর্ষ আকর্ষণ দ্বারা আটকা পড়বে এবং বস্তুটি থেকে মুক্ত হতে পারবে না এবং বস্তুটি কৃষ্ণ বিবর হিসেবে কাজ করবে। এক্ষেত্রে R_s ব্যাসার্ধের মধ্যে কোনো বস্তু থাকলে কৃষ্ণবিবরের মহাকর্ষ আকর্ষণ দ্বারা আটকা পড়বে এবং তা কোনো দিনই মুক্ত হতে পারবে না।

তাঁর নামানুসারে এই ব্যাসার্ধ শোয়ার্জশিল্ড ব্যাসার্ধ বলে। একে সংকট ব্যাসার্ধও বলা হয়। এই ব্যাসার্ধ শুধুমাত্র বস্তুটির ভরের উপর নির্ভর করে। 5 Mo ভরের একটি কৃষ্ণ বিবরের ব্যাসার্ধ হবে প্রায় 15 km। অর্থাৎ 15 km ব্যাসার্ধের ভেতরে কোনো কিছুই দেখা যাবে না এবং আলোসহ কোনো কিছুই বেরিয়ে আসতে পারবে না। তবে কৃষ্ণ বিবরের উপস্থিতি অনুভব করা যাবে। সূর্য যদি বর্তমান আকার থেকে সঙ্কোচনের মাধ্যমে 3 km ব্যাসার্ধে পৌঁছায় তবে এটি আমাদের কাছে অদৃশ্য মনে হবে। কিন্তু এর অভিকর্ষীয় প্রভাব থেকে যাবে। যেমন পৃথিবী সূর্যের চারদিকে ঘুরছে, তখনও ঘুরবে। "Seeing is believing" এই প্রবাদ তখন খাটবে না। তবে সূর্য কৃষ্ণ বিবর হবে না কেননা এর ভর অনেক কম।

1974 খ্রিস্টাব্দে বিশ্ববিখ্যাত ব্রিটিশ বিজ্ঞানী **স্টিভেন হকিং** (Steven Hawking) তত্ত্বীয় ভাবে দেখান যে কৃষ্ণ বিবর কণা নির্গমনের উৎস হতে পারে। অনেক বিজ্ঞানী মনে করেন যে কৃষ্ণ বিবরে সে সমস্ত বস্তু পতিত হয় সেগুলো আবার মহাবিশ্বের অন্য কোথাও বা অন্য কোনো মহাবিশ্বে আবির্ভূত হয়। একে শক্তির উৎস হিসেবে ব্যবহারের সম্ভাবনার কথাও অনেকে বলেছেন। সুতরাং,কৃষ্ণ বিবর আগামী দিনের তাত্ত্বিক এবং ব্যবহারিক অনেক গবেষণার দ্বার উন্মোচন করেছে নিঃসন্দেহে।

হিসাব কর : একটি নক্ষত্রের ভর 5 Mo। নক্ষত্রটি কৃষ্ণ বিবরে পরিণত হলে কৃষ্ণ বিবরের ব্যাসার্ধ কত হবে ? [সূর্যের ভর $M = 1.99 \times 10^{30}$ kg]

১১.৪ মহাকাশ পর্যবেক্ষণে ব্যবহৃত যন্ত্রের মূলনীতি
Principles of the instruments used for observing the space

মহাবিশ্ব সৃষ্টির রহস্য এবং মহাবিশ্বের পরিণতি নিয়ে বিজ্ঞানীদের গবেষণার অন্ত নেই। এছাড়া মহাবিশ্বে অবস্থিত মূল বস্তু ও নানাবিধ ঘটনা পর্যবেক্ষণ তাদের গতিবিধি অবলোকন এবং গঠন পর্যালোচনা ও প্রকৃতি জানতে বিজ্ঞানীরা অবিরাম পরিশ্রম করে যাচ্ছে। যেসব বিজ্ঞানী মহাবিশ্ব নিয়ে গবেষণা করেন তাদের জ্যোতির্বিজ্ঞানী বলে। আগের দিনে জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা খালি চোখে আকাশ দেখতেন। পরবর্তীতে বিশাল এবং শক্তিশালী দূরবিন নিয়ে তারা আকাশ পর্যবেক্ষণ করেন। কিন্তু সব নক্ষত্র, গ্রহ এবং উপগ্রহ দূরবিন দিয়ে দৃষ্টিগোচর হয় না। প্রয়োজন হয় নানাবিধ বৈজ্ঞানিক কৌশল ও যন্ত্রের। তাদের মধ্যে অন্যতম রেডিও টেলিস্কোপ, অপটিক্যাল টেলিস্কোপ, গামা ও এক্স-রে এবং কৃত্রিম উপগ্রহের, সেগুলো কতগুলি মূলনীতির উপর প্রতিষ্ঠিত। জ্যোতির্বিজ্ঞানীদের কাজে ব্যবহৃত এই সকল উপকরণের (টেলিস্কোপের) মূলনীতিসহ বিস্তারিত বর্ণনা করা হলো :

রেডিও টেলিস্কোপ
Radio Telescope

রেডিও টেলিস্কোপ এক ধরনের দিক নির্দেশী (Directional) বেতার এ্যান্টেনা যা বেতার জ্যোতির্বিদ্যায় ব্যবহৃত হয়। একই ধরনের এ্যান্টেনা উপগ্রহ থেকে উপাত্ত সংগ্রহ এবং মহাকাশ গবেষণায় ব্যবহৃত হয়। জ্যোতির্বিদ্যায় ভূমিকার ক্ষেত্রে রেডিও টেলিস্কোপ অপটিক্যাল টেলিস্কোপ থেকে আলাদা কারণ রেডিও টেলিস্কোপ তড়িৎচুম্বকীয় বর্ণালীর বেতার কম্পাংক অংশ ব্যবহার করে। বেতার, টেলিভিশন এবং রাডার হতে নির্গত তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের সঙ্গে যাতে ব্যতিচার না ঘটে এজন্য রেডিও টেলিস্কোপগুলোকে লোকালয় থেকে দূরে স্থাপন করা হয়। এরিকিবো মানমন্দিরে ব্যবহৃত রেডিও টেলিস্কোপটি জগৎ বিখ্যাত এবং সংবেদনশীল। বর্তমানে ব্যবহৃত ডিস এন্টেনা হলো রেডিও টেলিস্কোপের একটি ক্ষুদ্র সংস্করণ।

বেতার বর্ণালী তড়িৎচুম্বকীয় বর্ণালীর একটা বড় পরিসর জুড়ে অবস্থান করে (3kHz–300GHz)। এর অর্থ রেডিও টেলিস্কোপে যে ধরনের এ্যান্টেনা ব্যবহৃত হয় সেগুলোর নকশা, আকার এবং বিন্যাসের দিক থেকে বেশ ভিন্নতর। তারা, নক্ষত্র, কোয়াজার ও অন্যান্য জ্যোতি পদার্থ থেকে প্রাকৃতিকভাবে নির্গত বেতার নির্গমন অধ্যয়ন ও পর্যালোচনা করার জন্য রেডিও টেলিস্কোপ ব্যবহৃত হয়। রেডিও টেলিস্কোপ উপরোক্ত বস্তুগুলোর প্রতিবিম্বও গঠন করতে পারে।

মূলনীতি (Principle of operation)

এই যন্ত্রের মৌলিক কার্যনীতি দৃশ্যমান তরঙ্গদৈর্ঘ্যে ব্যবহৃত প্রতিফলন দূরবীক্ষণ যন্ত্রের মতোই। আপতিত তরঙ্গ, তা বেতার বা দৃশ্যমান যা-ই হোক না কেন, একটি নিখুঁত দর্পণে বাধাগ্রস্ত হয়ে একটি সাধারণ অভিসারী বিন্দুতে মিলিত হয়। এক্ষেত্রে প্রতিফলন পৃষ্ঠতল এবং আপতিত তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বৈশিষ্ট্যগুলো বেশ গুরুত্বপূর্ণ। প্রতিফলন পৃষ্ঠতলের আকৃতি এমন হতে হবে যেন বেতার তরঙ্গগুলো সেখান থেকে প্রতিফলনের পর অভিসারী বিন্দুতে একই দশায় মিলিত হতে পারে। এর জন্য প্রতিফলন বিন্দু থেকে অভিসারী বিন্দু পর্যন্ত পথের দৈর্ঘ্য পৃষ্ঠতলের বিভিন্ন বিন্দুতে একই হতে হবে। এই শর্ত অবশ্য সহজেই মেটানো যায়, কেবল প্রতিফলন পৃষ্ঠতলটি পরাবৃত্ত আকৃতির করে দিলেই হলো। এজন্যেই আধুনিক বেতার দূরবীক্ষণ যন্ত্রগুলোর প্রতিফলন পৃষ্ঠতল তথা ডিশের আকৃতি পরাবৃত্তীয় হয়ে থাকে। এছাড়া এ ধরনের দূরবীক্ষণের দর্শন তথা পর্যবেক্ষণের কাজটি 1 মিমি থেকে 30 মিটার তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মধ্যে করতে হয়। কারণ তরঙ্গদৈর্ঘ্য 30 মিটারের বেশি হলে আয়নমণ্ডলে শোষণ ঘটে আর 1 মিলিমিটারের চেয়ে কম হলে বায়ুমণ্ডলের পানি, কার্বন ডাই-অক্সাইড এবং ওজোন কর্তৃক শোষিত হয়।

এভাবে অভিসারী বিন্দুতে বেতার তরঙ্গগুলোকে একত্রিত করা হলেও সেগুলো সাধারণত খুবই ক্ষীণ থাকে। এদেরকে পর্যবেক্ষণের উপযোগী করতে হলে বিবর্ধিত করতে হয়। প্রথমে আপতিত এবং অভিসারী বিন্দুতে একত্রিত বেতার কম্পাঙ্ক সংকেতকে অভিসারী বিন্দুতে 10 থেকে 1000 গুণ বিবর্ধিত করা হয়। এই বিবর্ধিত কম্পাঙ্ককে তাদের ক্ষুদ্রতর কম্পাঙ্কে পরিবর্তিত করা হয় যাকে মধ্যবর্তী কম্পাঙ্ক বলা হয়। এই মধ্যবর্তী কম্পাঙ্ককে সহজেই তারের মাধ্যমে অভিসারী বিন্দু থেকে দূরবীক্ষণ নিয়ন্ত্রণ কক্ষে পাঠানো যায়। এখানে মধ্যবর্তী কম্পাঙ্ককে আরও বর্ধিত করা হয় যাতে সেটি স্পষ্ট হয়ে ওঠে। এই স্পষ্ট কম্পাঙ্ককে এমনভাবে তথ্যপ্রদর্শনী যন্ত্রে প্রদর্শন করা হয় যার মাধ্যমে জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা পর্যবেক্ষণ কাজে সর্বোচ্চ উপযোগিতা লাভ করতে পারেন। ১১·১১ চিত্রে রেডিও টেলিস্কোপ দেখানো হলো।

চিত্র ১১.১১ : রেডিও টেলিস্কোপ।

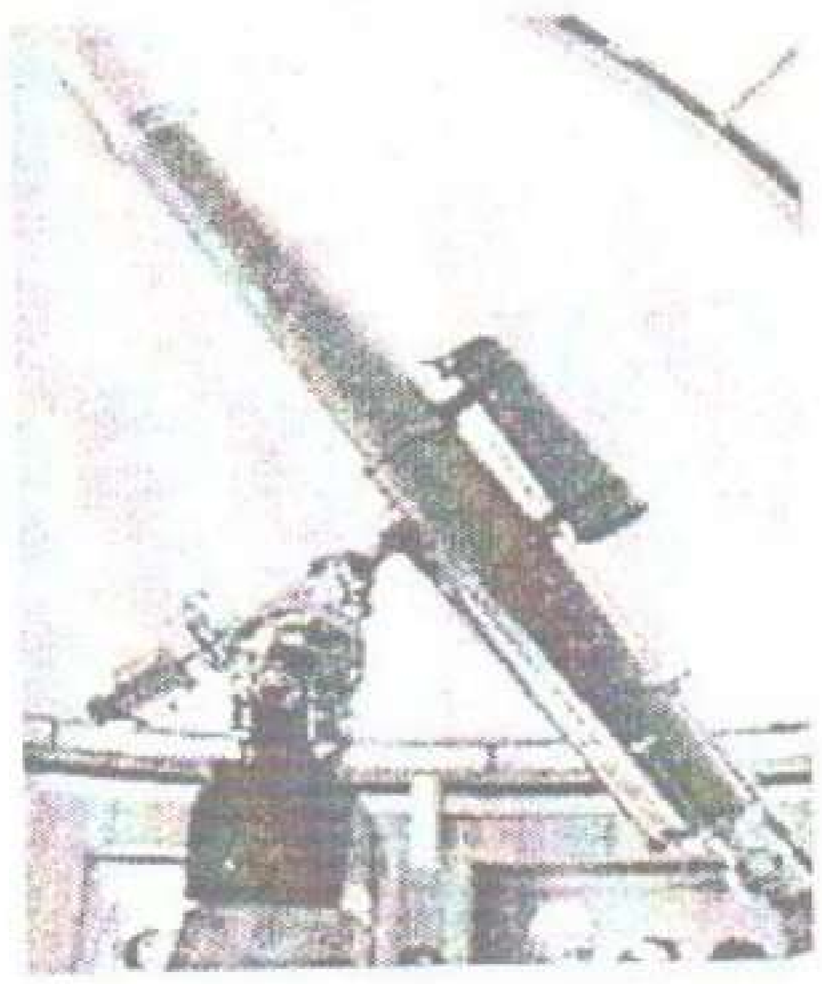
অপটিক্যাল টেলিস্কোপ
Optical Telescope

অপটিক্যাল টেলিস্কোপে সরাসরি বস্তুর বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব দেখা, আলোকচিত্র নেয়া এবং উপাত্ত সংগ্রহের জন্য তড়িৎচুম্বকীয় বর্ণালীর প্রধানত দৃশ্যমান অংশ সংগ্রহ এবং নিবন্ধ করে। অপটিক্যাল টেলিস্কোপ প্রধানত তিন ধরনের–

(১) প্রতিসারক— লেন্স ব্যবহৃত হয়।
(২) প্রতিফলক— আয়না ব্যবহৃত হয়।
(৩) ক্যাটাডায়পট্রিক— লেন্স এবং আয়না উভয়ই ব্যবহৃত হয়।

পর্যবেক্ষণীয় জ্যোতির্বিজ্ঞান, পক্ষিবিজ্ঞান, শত্রুপক্ষের অবস্থান নির্ণয় ইত্যাদি কর্মকাণ্ডে অপটিক্যাল টেলিস্কোপ ব্যবহৃত হয়।

মূলনীতি (Principle of operation)



চিত্র ১১.১২ : অপটিক্যাল টেলিস্কোপ।

অপটিক্যাল টেলিস্কোপে আগত রশ্মিগুলোকে বস্তু লেন্সের সাহায্যে একত্রিত করে টেলিস্কোপের ভেতর প্রেরণ করে। রশ্মিগুলো একত্রিত করার কাজটি টেলিস্কোপের সামনে লাগানো বস্তু লেন্স (উত্তল লেন্স বা অবতল দর্পণ) সম্পন্ন করে। দূর থেকে আগত আলোক রশ্মি ফোকাস তলের একটি বিন্দুতে মিলিত হয়ে বস্তুর বাস্তব প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে। এই প্রতিবিম্ব বা ইমেজ চক্ষু লেন্সের দ্বারা বিবর্ধিত চোখে এসে পড়ে এবং লক্ষ্যবস্তুর বিবর্ধিত বাস্তব প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। এখানে চক্ষু লেন্স বিবর্ধিত কাঁচের (Magnifying glass) ন্যায় কার্য সম্পন্ন করে। এটাই অপটিক্যাল লেন্সের মূলনীতি। ১১.১২ চিত্রে অপটিক্যাল টেলিস্কোপ দেখানো হলো।

গামা রে টেলিস্কোপ
Gamma Ray Telescope

আমরা জানি, তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গের কম্পাঙ্ক/তরঙ্গদৈর্ঘ্যের প্রসার অত্যন্ত বেশি। তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গের বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য অনুসারে বহু আগে থেকেই বিভিন্ন নামকরণ প্রচলিত আছে। যেমন, রেডিও তরঙ্গ, অবলোহিত তরঙ্গ, দৃশ্যমান তরঙ্গ, এক্স-রশ্মি, গামা রশ্মি ইত্যাদি। গামা রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিসর 10^{-11}m থেকে 10^{-15}m পর্যন্ত বিস্তৃত। তড়িৎ চৌম্বকীয় বর্ণালীর সবচেয়ে শক্তিশালী ফোটন দ্বারা গামা রশ্মি গঠিত। এই ফোটনের শক্তি 10^{7} eV থেকে 10^{15} eV পর্যন্ত বিস্তৃত। ফলে এর ভেদন ক্ষমতা অত্যন্ত বেশি। পারমাণবিক নিউক্লিয়াস থেকে গামা রশ্মি বিকিরণ ১১.১৩ চিত্রে দেখানো হলো।

গামা রশ্মি নিঃসরণের উৎসসমূহ নিম্নরূপ :

(i) পরমাণুর নিউক্লিয়াস উত্তেজিত হয়ে উচ্চ শক্তিস্তর থেকে নিম্ন শক্তিস্তরে স্থানান্তরের ফলে এ রশ্মি নির্গত হয়।

(ii) তেজস্ক্রিয় পরমাণুর বিশ্লেষণের (disintegration) সময় এ রশ্মি নির্গত হয়।

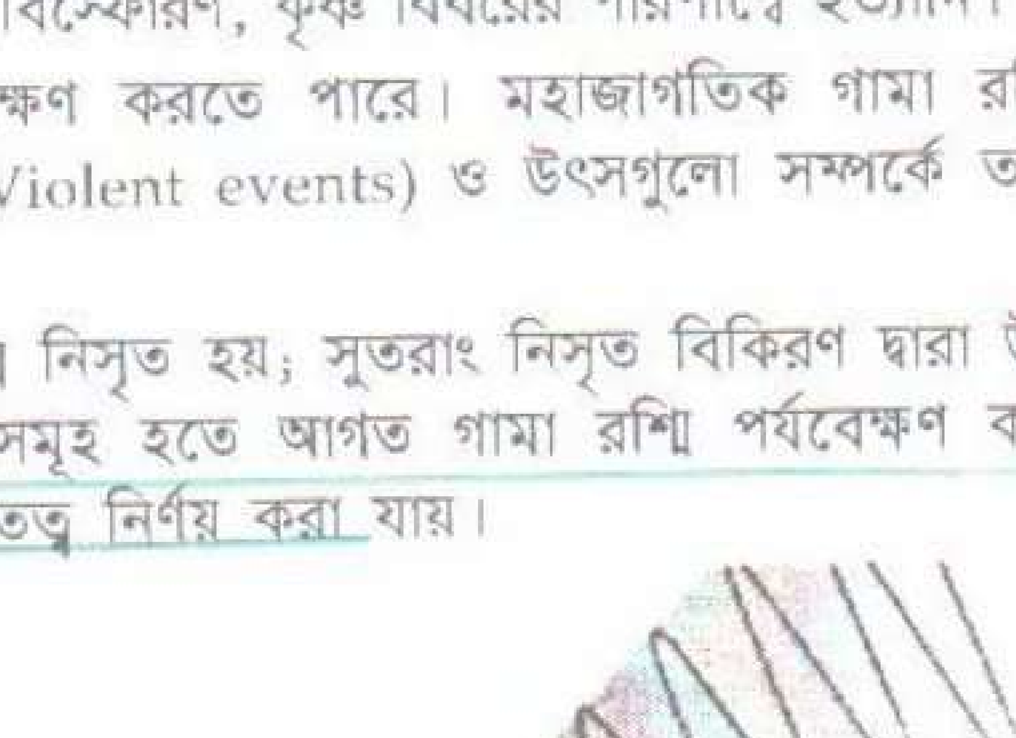
(iii) মহাবিশ্বে সবচেয়ে উত্তপ্ত এবং শক্তিশালী বস্তুসমূহে বিভিন্ন বিক্রিয়ার কারণে গামা রশ্মি উৎপন্ন হয়। যেমন—নিউট্রন নক্ষত্র, পালসার (Pulsar), সুপারনোভা বিস্ফোরণ, কৃষ্ণ বিবরের পরিপার্শ্বে ইত্যাদি।

গামা-রে টেলিস্কোপ গামা রশ্মি বিকিরণকে চিহ্নিত ও পর্যবেক্ষণ করতে পারে। মহাজাগতিক গামা রশ্মি বিশ্লেষণের মাধ্যমে মহাশূন্যে সংঘটিত বিভিন্ন প্রচণ্ড ধ্বংসাত্মক ঘটনা (Violent events) ও উৎসগুলো সম্পর্কে তথ্য সংগ্রহ করা সম্ভব।

প্রতিটি তেজস্ক্রিয় নিউক্লিয়াস হতে নিজস্ব বৈশিষ্ট্যসূচক গামা রশ্মি নিসৃত হয়; সুতরাং নিসৃত বিকিরণ দ্বারা উক্ত নির্দিষ্ট মৌলিক পদার্থ সনাক্ত করা সম্ভব। মহাবিশ্বের নক্ষত্র, ছায়াপথসমূহ হতে আগত গামা রশ্মি পর্যবেক্ষণ করে নির্দিষ্ট মৌলিক পদার্থের উপস্থিতি এবং নির্দিষ্ট নিউক্লিয় ঘটনাবলির অস্তিত্ব নির্ণয় করা যায়।

মূলনীতি (Principle of operation) :

গামা-রে টেলিস্কোপ সাধারণ টেলিস্কোপের মতো নয়। আলো বা এক্স রশ্মির মতো সাধারণ দর্পণে গামা রশ্মি ধরা যায় না। গামা রশ্মির ভেদনক্ষমতা অনেক বেশি হওয়ায় দর্পণের ভেতর দিয়ে চলে যায় এবং শোষণ বা প্রতিফলন ঘটায় না। গামা রশ্মি সনাক্তকরণের জন্য এক বিশেষ ধরনের ডিটেকটর (detector) ব্যবহার করা হয় যাকে সিন্টিলেশন ডিটেকটর (Scintillation detector) বলা হয়। এই ডিটেকটরের ভেতরে ঘন সন্নিবিষ্ট স্ফটিক (Crystal)-এর ব্লক থাকে। গামা রশ্মি যখন এই স্ফটিকে প্রবেশ করে তখন এর ইলেকট্রনের সাথে সংঘর্ষ হয় এবং চার্জিত কণা সৃষ্টি হয়। এই চার্জিত কণা ডিটেকটরের সেন্সরে ধরা পড়ে এবং প্রতিবিম্ব তৈরি করে। কম্পটন বিক্ষেপ টেলিস্কেপ (Compton Scatter Telescope) এ ধরনের একটি গামা-রে টেলিস্কোপ।

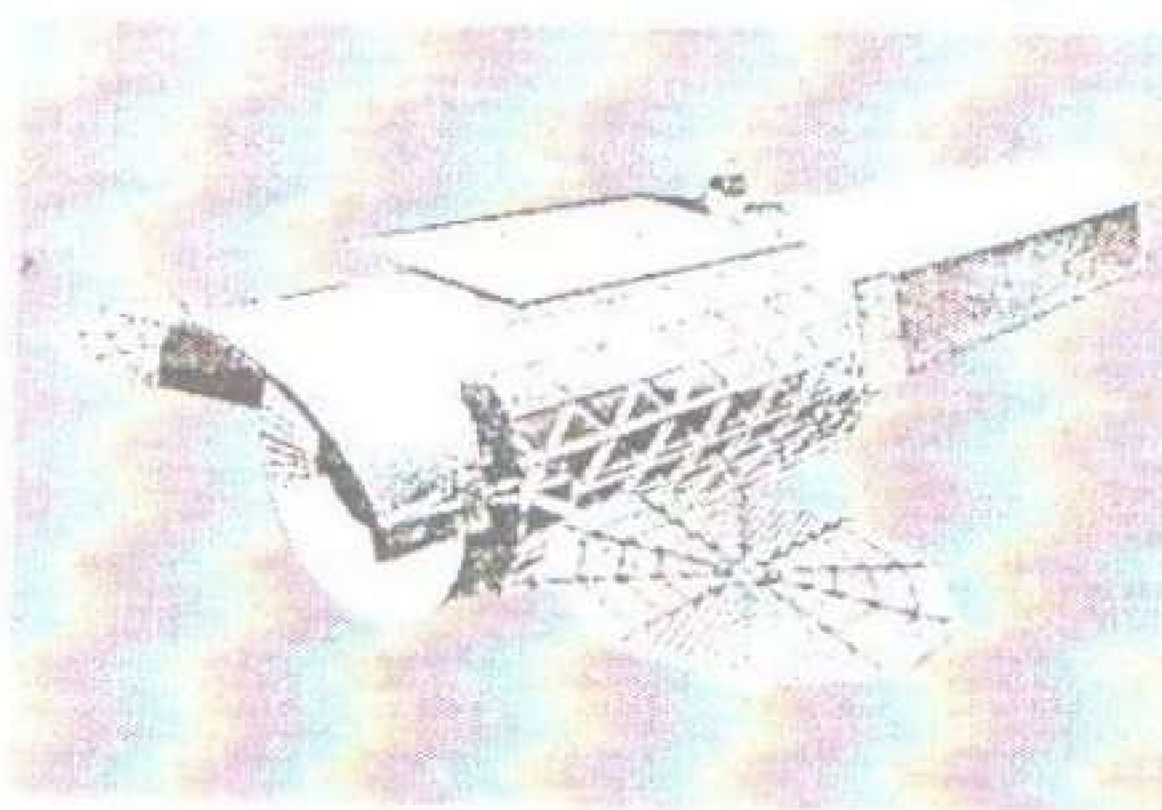


চিত্র ১১.১৩ : পারমাণবিক নিউক্লিয়াস থেকে গামা বিকিরণ।

এক্স-রে টেলিস্কোপ
X-ray Telescope

মহাকাশে সংঘটিত বিভিন্ন ধ্বংসাত্মক (violent) ঘটনা থেকে এক্স-রে নির্গত হয়। যেমন কোনো নক্ষত্রের বিস্ফোরণে প্রচণ্ড তাপ ও শক্তি উৎপন্ন হয় এবং এক্সরে নির্গত হয়। এক্স-রে অতি ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এবং উচ্চ শক্তির তড়িৎ চৌম্বকীয় বিকিরণ। এক্স-রে টেলিস্কোপ এসব এক রশ্মি পর্যবেক্ষণ এবং বিশ্লেষণ করে বিভিন্ন মহাজাগতিক ঘটনা সম্পর্কে ধারণা প্রদান করে।

পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলে বেশির ভাগ মহাজাগতিক এক্স-রশ্মি শোষিত হয় বলে এক্স-রে টেলিস্কোপ কৃত্রিম উপগ্রহ, রকেট বা বেলুনে স্থাপন করে বিভিন্ন উৎস থেকে নির্গত এক্স রশ্মি পর্যবেক্ষণ করা হয়। এক্স-রে অত্যন্ত শক্তিশালী হওয়ায় সাধারণ দর্পণের ভেতর দিয়ে সহজেই চলে যেতে পারে, তাই এক্স-রে টেলিস্কোপে এক্স-রে চিহ্নিত করার জন্য ধাতব দর্পণ ব্যবহার করা হয়। টেলিস্কোপে দর্পণগুলো এমনভাবে স্থাপন করা হয় যাতে এক্স রশ্মি অতি ক্ষুদ্র কোণে আপতিত ও প্রতিফলিত হয় যেমন কোনো পাতলা গুড়ি পাথর পুকুরের পানির উপর অতি অল্প কোণে নিক্ষেপ করলে পানির তলকে স্পর্শ করে সামনের দিকে এগিয়ে যায়।



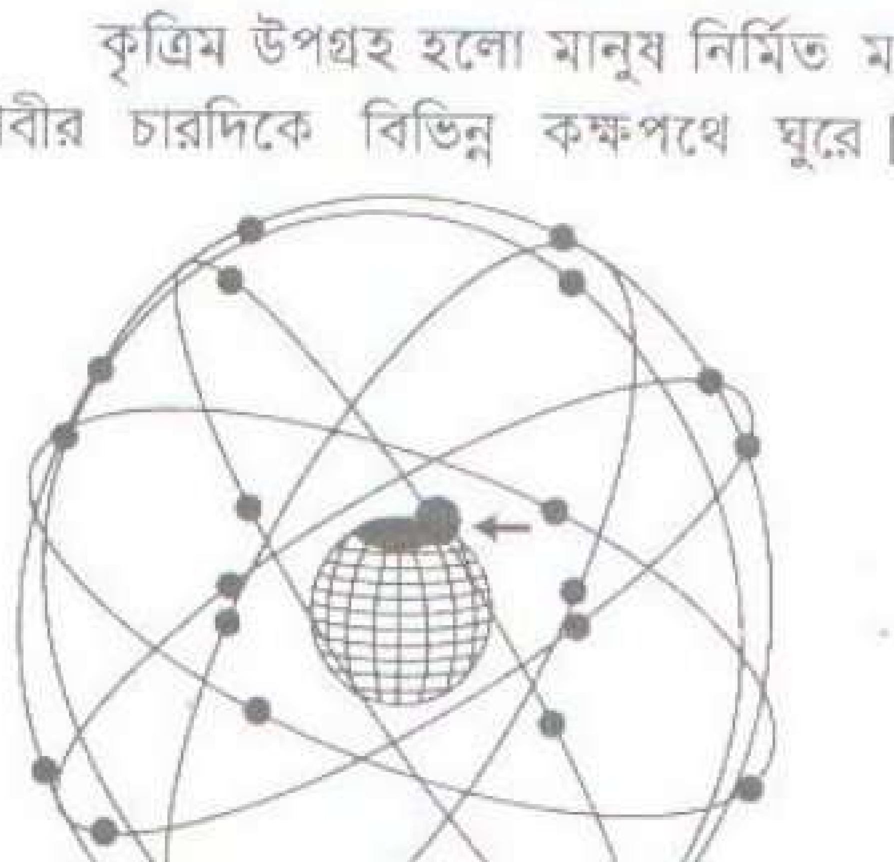
চিত্র ১১.১৪ : এক্স রশ্মি টেলিস্কোপ।

মূলনীতি (Principle of operation) : এক্স-রে টেলিস্কোপে ধাতব নির্মিত দর্পণ ব্যবহার করা হয়। মহাজাগতিক বস্তু থেকে আগত এক্স রশ্মি যাতে টেলি-স্কোপের দর্পণে শোষিত না হয় সেজন্য দর্পণের পৃষ্ঠগুলো স্বর্ণ বা ইরিডিয়ামের পাতলা স্তর দিয়ে প্রলেপ দেওয়া হয়। এক্স-রশ্মিকে দর্পণ তলে অতিক্ষুদ্র কোণে আপতিত ও প্রতিফলিত করা হয়। প্রতিফলিত এক্স রশ্মি ফোটন ডিটেকটরে সংগ্রহ করা হয়। ডিটেকটর শোষিত ফোটনের শক্তি, সময়, দিক রেকর্ড করে। ফটো ডায়োড চার্জড কাপলড ডিভাইস (Charged Coupled Device)-এর মাধ্যমে প্রাপ্ত উপাত্ত বিশ্লেষণ করা হয়। সংগৃহীত উপাত্ত থেকে মহাজাগতিক পরিবেশের গঠন এবং অবস্থা সম্পর্কে স্পষ্ট ধারণা লাভ করা সম্ভব হয়। চিত্র ১১.১৪-এ একটি এক্স-রে টেলিস্কোপ দেখানো হয়েছে।

১৯৯৯ সালে স্থাপিত চন্দ্র (Chandra) নামে একটি মহাকাশ এক্স-রে টেলিস্কোপ পৃথিবীকে প্রদক্ষিণ করছে। এই টেলিস্কোপ ছায়াপথের বিভিন্ন নক্ষত্র, নিউট্রন তারকা, কৃষ্ণ গহ্বরের ছবি প্রেরণ করে নতুন নতুন তথ্য সরবরাহ করছে।

কৃত্রিম মহাকাশ গবেষণায় কৃত্রিম উপগ্রহ
Artificial satellite in space research

কৃত্রিম উপগ্রহ হলো মানুষ নির্মিত মহাকাশযান যা রকেটের সাহায্যে মহাশূন্যে উৎক্ষেপণের পর নির্দিষ্ট উচ্চতায় পৃথিবীর চারদিকে বিভিন্ন কক্ষপথে ঘুরে [চিত্র ১১.১৫] জোতির্বিজ্ঞান সম্পর্কিত গবেষণা, মহাজাগতিক বস্তু নিঃসৃত রশ্মি ও বিকিরণ সম্পর্কে তথ্য সংগ্রহে কৃত্রিম উপগ্রহ বিশেষ ভূমিকা পালন করছে। কৃত্রিম উপগ্রহের সাহায্যে পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের অনেক উপরে বিশেষ ধরনের টেলিস্কোপ স্থাপন করে মহাজাগতিক বস্তু পর্যবেক্ষণ ও অনুসন্ধান করা যায়। হাবল টেলিস্কোপ, এক্স-রে টেলিস্কোপ, গামা-রে টেলিস্কোপ এ ধরনের টেলিস্কোপ। 1990 সালে হাবল স্পেস টেলিস্কোপ (Hubble Space Telescope) পৃথিবী হতে 600 km উচ্চতায় কৃত্রিম উপগ্রহে স্থাপন করা হয়। এই টেলিস্কোপ মহাকাশের বিভিন্ন নক্ষত্র, গ্যালাক্সির স্পষ্ট চিত্র পৃথিবীতে প্রেরণ করছে যা পর্যালোচনা করে মহাবিশ্বের বয়স, কৃষ্ণ গহ্বর ইত্যাদি সম্পর্কে অনেক নতুন নতুন তথ্য পাওয়া যাচ্ছে। মহাবিশ্ব যে সম্প্রসারণশীল তা হাবল টেলিস্কোপ প্রেরিত তথ্য বিশ্লেষণ করে প্রমাণিত হয়েছে।



চিত্র ১১.১৫ : কৃত্রিম উপগ্রহের ঘূর্ণনের কক্ষপথ।

মূলনীতি (Principle of operation) : কৃত্রিম উপগ্রহকে কক্ষপথে স্থাপন করার জন্য প্রয়োজনীয় উচ্চ বেগসম্পন্ন রকেটের সাহায্য নেওয়া হয়। বায়ুর বাধা এড়ানোর জন্য এই রকেট দিয়ে উপগ্রহকে কয়েকশ' কিলোমিটার উপরে কক্ষপথে স্থাপন করা হয়। কৃত্রিম উপগ্রহ এমনভাবে পৃথিবীর চারদিকে ঘূর্ণায়মান হয় যাতে ঘূর্ণনের জন্য

প্রয়োজনীয় কেন্দ্রমুখী বল এটি পৃথিবীর অভিকর্ষীয় বল হতে পায়। কৃত্রিম উপগ্রহের বেগ এবং পর্যায়কাল নিম্নের সমীকরণ থেকে নির্ণয় করা যায়।

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$$

এবং $$T = 2\pi (R + h) \sqrt{\frac{R+h}{GM}}$$

এখানে R = পৃথিবীর ব্যাসার্ধ, M = পৃথিবীর ভর, h = পৃথিবী পৃষ্ঠ হতে উপগ্রহের উচ্চতা, G = মহাকর্ষ ধ্রুবক কৃত্রিম উপগ্রহের বেগ এবং পর্যায়কাল তার ভরের উপর নির্ভরশীল নয়।

গাণিতিক উদাহরণ

১। একটি নক্ষত্রের ভর 4 M_0। নক্ষত্রটি যদি কৃষ্ণ বিবরে রূপান্তরিত হয় তবে এর শোয়ার্জশিল্ড বা সংকট ব্যাসার্ধ কত হবে ? (সূর্যের ভর $M_0 = 1.99 \times 10^{30}$ kg)

আমরা জানি,

শোয়ার্জশিল্ড ব্যাসার্ধ,

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

$$= \frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11}\ \text{Nm}^2\text{kg}^{-2} \times 4 \times 1.99 \times 10^{30}\ \text{kg}}{(3 \times 10^8\ \text{ms}^{-1})^2}$$

$$= 11.80 \times 10^3\ \text{m}$$

$$= 11.80\ \text{km}$$

এখানে,

$M = 4\,M_0$

$M_0 = 1.99 \times 10^{30}$ kg

২। জ্যোতির্পদার্থবিজ্ঞানে মহাবিশ্বের ভবিষ্যৎ থেকে জানা যায় যে, ভস্মীভূত নক্ষত্র এর নিজের মহাকর্ষের প্রভাবেই ধ্বংস হয়ে কৃষ্ণ বিবরে রূপ নিতে পারে। তবে এজন্য এর ভর হতে হবে দুই সৌর ভরের সমান। (সূর্যের ভর = 2×10^{30} kg হলো এর সৌর ভর)। এ রকম ক্ষেত্রে ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ কত ?

আমরা জানি,

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

$$= \frac{2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 4 \times 10^{30}}{(3 \times 10^8)^2}$$

$$= 5.93 \times 10^3\ \text{m}$$

$$= 5.93\ \text{km}$$

এখানে,

নক্ষত্রের ভর,

$M = 2 \times$ সূর্যের ভর

$= 2 \times 2 \times 10^{30}$ kg

$= 4 \times 10^{30}$ kg

ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ, $R_s = ?$

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$v = Hd$, V = বেগ, H = হাবল ধ্রুবক, d = দূরত্ব ... ... (1)

$m_2 - m_1 = 5 \log \frac{d_2}{d_1}$, d_1, d_2 = দুটি তারার মধ্যবর্তী দূরত্ব; m_1, m_2 তারা দুটির ঔজ্জ্বল্য ... (2)

$R_s = \frac{2GM}{C^2}$, R_s = সংকট ব্যাসার্ধ, M = নক্ষত্রের ভর, M_0 = সূর্যের ভর ... ... (3)

$\frac{v}{c} = \frac{\Delta l}{l}$, Δl = বিচ্যুতি, l = আদি বর্ণালী রেখার দৈর্ঘ্য, c = আলোর বেগ, v = তারার বেগ ... (4)

$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$ ... ... (5)

$T = 2\pi(R + h) \sqrt{\frac{R+h}{GM}}$ ... ... (6)

উচ্চতর দক্ষতাসম্পন্ন নমুনা গাণিতিক উদাহরণ

১। রুবেল হাইড্রোজেন বর্ণালী পর্যবেক্ষণ করে দেখতে পেল কোনো তারার হাইড্রোজেন বর্ণালী রেখা 486.1×10^{-9} মি. থেকে 485.7×10^{-9} মি. এ বিচ্যুত হয়েছে।

(ক) তারাটি দর্শকের দিকে এগোচ্ছে নাকি দূরে সরে যাচ্ছে?

(খ) কত বেগে এগুচ্ছে ?

(ক) এখানে তরঙ্গদৈর্ঘ্য কমে যাচ্ছে। অর্থাৎ, তা বর্ণালীর নীল অঞ্চলের দিকে সরে যাচ্ছে। এ থেকে বোঝা যায় তারাটি দর্শকের দিকে এগোচ্ছে।

(খ) ডপলারের সমীকরণ থেকে আমরা জানি,

$$\frac{v}{c} = \frac{\Delta l}{l} = \frac{486.1 \times 10^{-9} - 485.7 \times 10^{-9}}{486.1 \times 10^{-9}}$$

$$\therefore \quad v = \frac{0.4 \times 10^{-9}}{486.1 \times 10^{-9}} \times 3 \times 10^{5} \text{ কি.মি. /সে.}$$

$$= 249 \text{ কি.মি./সে. বেগে}$$

২। হাবলের সূত্র থেকে আমরা জানি গ্যালাক্সিসমূহ পরস্পর হতে দূরে সরে যাচ্ছে, এই সরে যাবার দ্রুতি এদের মধ্যকার দূরত্বের সমানুপাতিক। এক্ষেত্রে সমানুপাতিক ধ্রুবক হাবল ধ্রুবকের সমান। এই তথ্যের আলোকে একজন জ্যোতির্বিজ্ঞানী গবেষণা করছিলেন।

(ক) হাবল ধ্রুবকের মান $H = 2.3 \times 10^{-18}\, s^{-1}$ এবং কোয়াসের দূরে সরে যাবার দ্রুতি $2.8 \times 10^{8}\ ms^{-1}$ হলে কোয়াসটির আনুমানিক দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) জ্যোতির্বিজ্ঞানীর নির্ণয়কৃত বয়স কত হতে পারে এবং তা কতটুকু নিখুঁত হবে? গাণিতিকভাবে তোমার ধারণা ব্যক্ত কর।

(ক) আমরা জানি, $v = Hr$

$$\therefore \quad r = \frac{v}{H} = \frac{2.8 \times 10^{8}\ ms^{-1}}{2.3 \times 10^{-18}\ s^{-1}}$$

$$= 1.217 \times 10^{26}\ m$$

এখানে,

উদ্দীপক মতে $v = 2.8 \times 10^{8}\ ms^{-1}$

হাবল ধ্রুবক, $H = 2.3 \times 10^{-18}\ s^{-1}$

দূরত্ব, $r = ?$

(খ) হাবলের সূত্র ব্যবহার করে মহাজগতের বয়স নির্ধারণ করতে হলে সর্বাধিক দূরে অবস্থিত জ্যোতিষ্কের সরে যাওয়ার দ্রুতি নির্ণয় করতে হবে।

উদ্দীপকের হিসাব মতে, সর্বোচ্চ দ্রুতি,

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

$\therefore$ পৃথিবী হতে সর্বাধিক দূরে অবস্থিত জোতিষ্কের দূরত্ব

$$\gamma_{max} = \frac{v_{max}}{H} = \frac{3 \times 10^{8}}{2.3 \times 10^{-18}} = 1.3043 \times 10^{26}\ m$$

$\therefore$ উদ্দীপকে উল্লেখিত নির্ণয়কৃত মহাবিশ্বের বয়স

$$\frac{v_{max}}{\text{শূন্যস্থানে আলোর দ্রুতি}} = \frac{1.3043 \times 10^{26}}{3 \times 10^{8}}$$

$$= 4.3478 \times 10^{17}\ sec$$

$$= 5.03220 \times 10^{12}\ sec$$

$$= 14 \times 10^{9}\ years$$

নির্ণয়কৃত এই বয়স নিখুঁত হবে না। কারণ এক্ষেত্রে হাবল গোলকের অভ্যন্তরে অবস্থিত জ্যোতিষ্কসমূহ বিবেচনা করা হয়েছে। এর বাইরে অবস্থিত জোতিষ্কসমূহ বিবেচনা করা হয়নি। তাছাড়া এখনও পর্যন্ত জানা যায়নি এই মহাবিশ্ব সসীম না অসীম। মহাবিশ্ব অসীম হলে নির্ণীত বয়স কোনোক্রমেই সঠিক নয়।

৩। ক্যামব্রীজ বিশ্ববিদ্যালয়ের জ্যোতির্পদার্থবিদ্যার প্রফেসর ডগলাস জেমস্ দুজন ছাত্র নিয়ে মহাবিশ্বের ভবিষ্যতের উপর গবেষণা করছিলেন। একজন ছাত্রের অভিমত হলো মহাবিশ্ব ক্রমশ প্রসারিত হচ্ছে। এক সময় এই প্রসারণ থেমে যাবে এবং সংকোচন শুরু হবে। অন্য ছাত্রের অভিমত মহাবিশ্বের প্রসারণ অনন্তকাল ধরে চলবে। প্রথম ছাত্র গবেষণা করে জানতে পেরেছিল কোনো একটি কৃষ্ণ গহ্বরের ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ 5·9 km। উক্ত কৃষ্ণ গহ্বরের ভর ও পরিমাপ করতে সক্ষম হয়েছিল।

(ক) উদ্দীপকে বর্ণিত কৃষ্ণগহ্বরের ভর কত ছিল?

(খ) উদ্দীপকে মহাবিশ্বের পরিণতি সম্পর্কে যে কোনো ছাত্রের সমর্থনে পদার্থবিজ্ঞানের আলোকে তোমার যুক্তি দেখাও।

(ক) আমরা জানি, মহাকর্ষ ধ্রুবক, $G = 6{\cdot}673 \times 10^{-11}\ \text{Nm}^2\ \text{kg}^{-2}$

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

ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ, $R_s = 5{\cdot}9\ \text{km} = 5{\cdot}9 \times 10^3\ \text{m}$

কৃষ্ণ গহ্বরের ভর, $M = ?$

আমরা জানি, $R_s = \dfrac{2GM}{c^2}$

$$\therefore\ M = \frac{R_s c^2}{2G} = \frac{5{\cdot}9 \times 10^3 \times (3 \times 10^8)^2}{2 \times 6{\cdot}673 \times 10^{-11}} = 3{\cdot}98 \times 10^{30}\ \text{kg}$$

(খ) প্রথম ছাত্রের অভিমত হলো মহাবিশ্বের প্রসারণ একদিন থেমে যাবে এবং সংকোচন শুরু হবে। এই মতবাদের সপক্ষে পদার্থবিজ্ঞানের আলোকে সঙ্গত যুক্তি নিম্নে দেওয়া হলো।

মহা সংকোচন তত্ত্ব মতে, মহাবিশ্বের গড় ঘনত্ব তার সম্প্রসারণকে বন্ধ করার জন্য যথেষ্ট। তাই মহাবিশ্বের সম্প্রসারণ কমতে কমতে এক সময় তার সম্প্রসারণ বন্ধ হয়ে যাবে এবং তা সংকুচিত হতে শুরু করবে। এক পর্যায়ে গোটা মহাবিশ্ব এক মাত্রাহীন সিঙ্গুলারিটিতে কলাপ্স (Collapse) করবে। আরেকটি তত্ত্বের ধারণা অনুযায়ী মহাবিশ্বের সংকোচনের পর পুনরায় মহাবিস্ফোরণ ঘটবে। তারপর আবার মহাসংকোচন ঘটবে। অর্থাৎ এই চক্রের পুনরাবৃত্তি ঘটবে। এই তত্ত্ব বিগ বাউন্স তত্ত্ব নামে পরিচিত।

সার-সংক্ষেপ

শ্বেত বামন	:	মৃত্যু পর্ব শুরুর মুহূর্তে যে সমস্ত তারকার ভর সূর্যের ভরের অপেক্ষা 1.4 গুণ কম, সেগুলো শ্বেত বামন। রক্তিম দৈত্য স্ফীতির ফলে ক্রমশ একটি ধাপে পৌঁছায় যে এর বাইরের আবরণ বিচ্ছিন্ন বা ভেঙ্গে যায়, অবশিষ্ট যা থাকে তাকে শ্বেত বামন বলে।
রক্তিম দৈত্য	:	তারকার হাইড্রোজেন জ্বালানি ফুরিয়ে গেলে সংকোচনের ফলে তারকার মূল অংশের ঘনত্ব বাড়ে এবং তাপমাত্রাও বৃদ্ধি পায় এবং বহির্ভাগে প্রসারণ ঘটে। বাইরের আবরণের স্ফীতির ফলে তারকার আকার অনেক বড় হয় এবং তাপমাত্রা কমে যাওয়ায় তারকার পৃষ্ঠ থেকে নির্গত আলো লালাভ দেখায়। এই তারকাকে রক্তিম দৈত্য বলে।
সুপারনোভা	:	সূর্যের ভরের তুলনায় অনেক ভারী নক্ষত্রগুলো জ্বালানি শেষ হলে সঙ্কোচন অত্যন্ত তীব্র হয় এবং মূল অংশের ঘনত্ব এত বেড়ে যায় যে প্রচণ্ড বিস্ফোরণের মধ্য দিয়ে মৃত্যুবরণ করে। এই প্রচণ্ড বিস্ফোরণকে সুপারনোভা (supernova) বিস্ফোরণ বলা হয়।
কৃষ্ণ বিবর বা কৃষ্ণ গহ্বর	:	একটি নক্ষত্রের মৃত্যুপূর্ব ভর সূর্যের ভরের তিনগুণের বেশি হলে নক্ষত্রটির ভেতর মহাকর্ষ বলের কারণে সংকোচন ক্রিয়া অব্যাহত থাকবে এবং এটি সংকোচিত হয়ে অসীম ঘনত্বের বিন্দু বস্তুতে পরিণত হতে পারে। এতে আকর্ষণ বল এত বৃদ্ধি পাবে যে বস্তুটির আশেপাশের অঞ্চল থেকে কোনো কিছুই এমনকি আলোও বেরিয়ে আসতে পারে না। ঐ অঞ্চলকে কৃষ্ণ গহবর বা কালো বিবর বলে।
ঘটনা দিগন্ত	:	কৃষ্ণ বিবর অঞ্চলের সীমাকে ঘটনা দিগন্ত বলে।
শোয়ার্জফিল্ড ব্যাসার্ধ	:	কালো বিবরের ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধকে শোয়ার্জফিল্ড ব্যাসার্ধ বলে।
চন্দ্রশেখর সীমা	:	মৃত্যুপর্ব শুরুর মুহূর্তে যদি কোনো তারকার ভর 1.4 M_0 এর বেশি থাকে; তবে কোনোভাবেই এটি শ্বেত বামন হতে পারবে না। এই 1.4 M_0 ভরের সীমাকে চন্দ্রশেখর সীমা বলে।
রেডিও টেলিস্কোপ	:	রেডিও টেলিস্কোপ এক ধরনের দিক নির্দেশী (Directional) বেতার এ্যান্টেনা যা বেতার জ্যোতির্বিদ্যায় ব্যবহৃত হয়।

গামা-রশ্মি	:	তেজস্ক্রিয় পদার্থ হতে নির্গত রশ্মির উপর চৌম্বক ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে কিছু রশ্মি বামে, কিছু রশ্মি ডানে বিক্ষিপ্ত হয়। কিছু রশ্মি বিক্ষিপ্ত না হয়ে সোজা চলে যায়। এ রশ্মিকে গামা-রশ্মি বলে। গামা-রশ্মি অতি ক্ষুদ্র তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ। এদের কোনো চার্জ নেই।
এক্স-রশ্মি	:	দৃশ্যমান আলোকের ন্যায় এক্স-রে বিদ্যুৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ। এরা অদৃশ্য রশ্মি। এর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য অপেক্ষা অনেক কম।
কৃত্রিম উপগ্রহ	:	মানুষ সৃষ্ট উপগ্রহকে কৃত্রিম উপগ্রহ বলে।
স্বাভাবিক উপগ্রহ	:	যে সব উপগ্রহ প্রাকৃতিক কারণে সৃষ্ট তাদেরকে স্বাভাবিক উপগ্রহ বলে।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। মহাবিস্ফোরণের মাধ্যমে মহাবিশ্ব সৃষ্টির উৎপত্তিকে বিগ ব্যাং বলে।

২। পদার্থবিজ্ঞানের যে শাখায় মহাবিশ্ব সৃষ্টির বিভিন্ন তত্ত্ব এবং মহাকাশের নক্ষত্র, গ্রহ-উপগ্রহ, গ্রহাণুপুঞ্জ এ সব জ্যোতিষ্কপুঞ্জ সম্পর্কে আলোচনা করা হয় তাকে জ্যোতির্বিজ্ঞান বলে।

৩। আলো 1 বছরে শূন্য মাধ্যমে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে এক আলোক বর্ষ বলে।

৪। যে বস্তুটি এবং এর আশেপাশের যে অঞ্চল থেকে কোনো তথ্য পাওয়া সম্ভব নয়, সেখান থেকে আলো বা কোনো বস্তু বেরিয়ে আসতে পারেনা ঐ অঞ্চলকে কৃষ্ণ বিবর বলে।

৫। মহাকাশের বস্তু দ্বারা নিঃসৃত তাড়িতচৌম্বক বিকিরণ তাড়িতচৌম্বক বর্ণালীর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সকল পাল্লা জুড়ে থাকে। এই বিকিরণের প্রধান অংশ বায়ুমন্ডল দ্বারা শোষিত বা প্রতিফলিত হয়। ফলে পৃথিবী শুধু দৃশ্যমান বিকিরণ ও রেডিও তরঙ্গের সামান্য পরিমাণ গ্রহণ করে। বাকিটা মহাশূন্য গ্লোব নামে পরিচিত যা দৃশ্যমান নয়।

৬। আমাদের পৃথিবী, অন্যান্য গ্রহ, উপগ্রহ, সূর্য, অন্যান্য নক্ষত্র এবং গ্যালাক্সি নিয়ে যে জগৎ গঠিত হয় তাকে মহাবিশ্ব বলে।

৭। গামারশ্মি এক ধরনের তাড়িতচুম্বকীয় তরঙ্গ, 1972 সালে উপগ্রহে স্থাপিত যন্ত্রে সর্বপ্রথম গামা বিকিরণ ধরা পড়ে।

৮। r দূরত্বে অবস্থিত কোনো মহাজাগতিক বস্তুর দূরে সরে যাবার বেগ v হলে গাণিতিকভাবে হাবলের সূত্র হলো $v = Hr$, H = হাবল ধ্রুবক, এর মান $H = 80\ kms^{-1}\ MPc^{-1}$ বা $2 \times 10^{-18}\ s^{-1}$।

৯। বিগ-ব্যাং বা মহাবিস্ফোরণ 15 বিলিয়ন বছর আগে সংঘটিত হয়েছিল।

১০। শ্বেত বামন নক্ষত্রের জন্য ভরের সীমা 1·4 সৌর ভর। শ্বেত বামন নক্ষত্র এক সময় কালো বামন নক্ষত্রে পরিণত হয়।

১১। ভারতের বিজ্ঞানী সুব্রামানিয়াম চন্দ্রশেখর মরণোত্তর নোবেল পুরস্কার পেয়েছিলেন।

১২। মহাকাশে এক ধরনের মহাশূন্যতা, তবে সম্পূর্ণ শূন্য নয়; সেখানে ছড়িয়ে আছে গ্যাস ও ধুলোর সুবিশাল মেঘের পর মেঘ। আকাশে মেঘলা বা কুয়াশা আকারের এদেরকেই বলা হয় নীহারিকা বা নেবুলা।

১৩। বিজ্ঞানী হাবল সর্বপ্রথম প্রমাণ করেন "মহাবিশ্ব সম্প্রসারণশীল", হাবল টেলিস্কোপ হলো বিশ্বের সবচেয়ে আধুনিক টেলিস্কোপ। ইহা প্রতিফলন টেলিস্কোপ নয়।

১৪। গামারশ্মি ধাতব স্তরের মধ্যে প্রবেশ করলে ইলেকট্রন ও পজিট্রন তৈরি হয়।

১৫। বেলা 5 হলো উপগ্রহ। মহাবিশ্বে যা কিছু দেখা যায় তা পরমাণু দিয়ে গঠিত।

১৬। বেতার দূরবীক্ষণ যন্ত্রের কার্যনীতি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের মতো। মহাকাশ গবেষণায় এক্স-রে ব্যবহার করা হয়।

১৭। পালসার হলো ঘূর্ণায়মান নিউট্রন নক্ষত্র। মহাবিশ্বের বয়স প্রায় 15 বিলিয়ন বছর বা 14×10^9 বছর।

১৮। মহাবিশ্বের অন্তিম পরিণতি বিষয়ে তত্ত্বগুলো হলো মহা সংকোচন, বিকরিণ, মহাহিমায়ন।

১৯। সূর্য একটি 2য় জেনারেশন নক্ষত্র, আলোক বর্ষের একক বছর। সাধারণ নক্ষত্রের জ্বালানি হলো হিলিয়াম। সূর্য একটি বামন নক্ষত্র।

২০। কৃষ্ণ বিবর সৃষ্টির কারণ মহাকর্ষ বল। কৃষ্ণ বিবরের সীমাকে বলে ঘটনা দিগন্ত। সোয়ার্জস্কাইভ ব্যাসার্ধ হলো কৃষ্ণ গহ্বরের কেন্দ্র হতে ঘটনা দিগন্ত পর্যন্ত দূরত্ব।

২১। কোয়েসার থেকে বেতার তরঙ্গ নির্গত হয়। বুধ গ্রহের কেন্দ্রে রয়েছে লোহা ও নিকেল।

২২। মহাকাশে তারকার বিস্ফোরণকে সুপারনোভা বলে। এটি লোহা অপেক্ষা ভারী।

২৩। আকাশগঙ্গা সর্পিলাকার গ্যালাক্সি। হাবল বিধি অনুসারে ছায়াপথগুলোর অপসারণ বেগ দূরত্বের সমানুপাতিক হয়।

২৪। সূর্য রক্তিম দৈত্য হলে নিকটস্থ গ্রহসমূহকে গ্রাস করবে।

২৫। তারকার জন্ম হয় গ্যাস ও মেঘপুঞ্জ জমাট বাঁধার ফলে। সূর্য এখন থেকে 500 কোটি বছর পরে দানব নক্ষত্রে পরিণত হবে।

২৬। সূর্যের মধ্যে ফিউশান বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন থেকে হিলিয়াম তৈরি হচ্ছে এবং বিপুল পরিমাণে তাপ শক্তি নির্গত হচ্ছে।

২৭। যে সকল তারকার ভর সূর্যের ভর অপেক্ষা 1·4 গুণ কম সেগুলোকে শ্বেত বামন বলে এবং যাদের ভর 1·4 M_0 এবং 3 M_0 এর মধ্যে সেগুলোকে নিউট্রন তারকা বলে এবং যে সকল তারকার ভর 1·4 M_0 এর চেয়ে বেশি সেগুলো হলো ব্লাক হোল।

২৮। মহাবিশ্বের গড় ঘনত্ব সংকট ঘনত্বের বেশি হলে মহাসংকোচন শুরু হবে।

২৯। মেসনের স্পিন 0, বেরিয়নের স্পিন শূন্য নয়, সকল কোয়ার্কই ফার্মিয়ন যাদের স্পিন $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$ ......।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। মহাকাশের দূরত্ব মাপার একক কী ?
- ⓚ নভো একক
- ⓧ আলোক বছর
- ⓖ পারসেক একক
- ⓘ সবগুলো

২। নিউট্রন তারকা সংকুচিত হয়ে পরিণত হয়—
- ⓚ সুপারনোভা
- ⓧ কৃষ্ণবস্তু
- ⓖ পালসার
- ⓘ ব্ল্যাক হোল

৩। বেতার তরঙ্গ পর্যবেক্ষণের জন্য ব্যবহৃত হয়—
- ⓚ অপটিক্যাল টেলিস্কোপ
- ⓧ রেডিও টেলিস্কোপ
- ⓖ হাবল স্পেস টেলিস্কোপ
- ⓘ গ্যালিলীয় টেলিস্কোপ

৪। যে সকল কণা তড়িচ্চুম্বকীয় মিথস্ক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে সেগুলো হলো—
- ⓚ গ্রাভিটন
- ⓧ লেপটন
- ⓖ ফোটন
- ⓘ হেড্রন

৫। নক্ষত্রের জন্ম হয়—
- (i) মহাকর্ষ বলের প্রভাবে ধূলিমেঘের সংকোচনের ফলে
- (ii) তাপ নিউক্লিয় ফিউশন বিক্রিয়ার ফলে
- (iii) বিপুল পরিমাণ শক্তি নির্গমনের ফলে

নিচের কোনটি সঠিক ?
- ⓚ i ও ii
- ⓧ ii ও iii
- ⓖ i ও iii
- ⓘ i, ii ও iii

৬। মৌলিক কণিকা কয় ধরনের ?
- ⓚ তিন ধরনের
- ⓧ দুই ধরনের
- ⓖ চার ধরনের
- ⓘ পাঁচ ধরনের

৭। লেপটন কণার স্পিন—
- ⓚ 1
- ⓧ $\frac{3}{2}$
- ⓖ $\frac{1}{2}$
- ⓘ 0

৮। লেপটন কণা কয় ধরনের—
- ⓚ তিন ধরনের
- ⓧ চার ধরনের
- ⓖ পাঁচ ধরনের
- ⓘ দুই ধরনের

৯। হ্যাড্রন কণা—
- ⓚ তিন ধরনের
- ⓧ চার ধরনের
- ⓖ পাঁচ ধরনের
- ⓘ দুই ধরনের

১০। লেপটন কণা—
- (i) বিদ্যুৎ চুম্বকীয় পরিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করতে পারে
- (ii) শক্তিশালী নিউক্লিয় পরিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করতে পারে
- (iii) এদের স্পিন $\frac{1}{2}$

নিচের কোনটি সঠিক ?
- ⓚ i ও ii
- ⓧ ii ও iii
- ⓖ i ও iii
- ⓘ i, ii ও iii

১১। কোন কণা 'ঈশ্বর কণা' নামে পরিচিতি ?

[ঢা. বো. ২০১৫; ব. বো. ২০১৫]
- ⓚ বোসন কণা
- ⓧ মেসন কণা
- ⓖ হিগস-বোসন কণা
- ⓘ লেপটন কণা

১২। হাবল বিধি অনুসারে ছায়াপথগুলোর অপসারণ বেগ দূরত্বের—

ক) ব্যস্তানুপাতিক
খ) বর্গের ব্যস্তানুপাতিক
গ) সমানুপাতিক
ঘ) বর্গের সমানুপাতিক

১৩। হাবল সূত্র অনুযায়ী—

ক) $H = vd$
খ) $v = Hd$
গ) $v = Hd^2$
ঘ) $H = vd^2$

১৪। কার পরীক্ষায় ইথারের অস্তিত্ব ভুল প্রমাণিত হয়?

ক) ইয়ং
খ) মাইকেলসন-মর্লি
গ) আইনস্টাইন
ঘ) গ্যালিলিও

১৫। মৃত্যুপর্ব শুরুর মুহূর্তে যদি কোনো তারকার ভর $1.4\ M_0$ এর বেশি থাকে, তবে কোনোভাবেই এটি শ্বেত বামন হতে পারবে না। ভরের এই সীমাকে বলা হয়—

ক) নিউটন সীমা
খ) আইনস্টাইন সীমা
গ) চন্দ্রশেখর সীমা
ঘ) সোয়ার্জশিল্ড সীমা

১৬। মৃত্যুপর্ব শুরুর মুহূর্তে যে সমস্ত তারকার ভর $3\ M_0$ অপেক্ষা বেশি, সেগুলো জীবনচক্র শেষ করবে—

ক) নিউট্রন তারকা হিসেবে
খ) দৈত্য তারকা হিসেবে
গ) কৃষ্ণ বিবর হিসেবে
ঘ) শ্বেত বামন হিসেবে

১৭। ঘটনা দিগন্ত ব্যাসার্ধ বা শোয়ার্জশিল্ড ব্যাসার্ধ নির্ণয়ের সমীকরণ হলো—

[ব. বো. ২০১৫; রা. বো.২০১৫; কু. বো. ২০১৫]

ক) $R_s = \sqrt{\frac{2GM}{c}}$
খ) $R_s = \sqrt{\frac{2GM}{R^2}}$
গ) $R_s = \frac{2GM}{c^2}$
ঘ) $R_s = \frac{2GM}{R^2}$

১৮। গ্রহাণু কোন দুটি গ্রহের কক্ষপথের মাঝ দিয়ে সূর্যকে প্রদক্ষিণ করে? [সি. বো. ২০১৫]

ক) মঙ্গল ও শনি
খ) বুধ ও শুক্র
গ) বৃহস্পতি ও শনি
ঘ) মঙ্গল ও বৃহস্পতি

১৯। মহাবিশ্ব প্রতিনিয়ত প্রসারিত হচ্ছে এ বিষয়টি উপস্থাপন করেন— [চ. বো. ২০১৫]

ক) স্টিফেন হকিং
খ) এডুইন হাবল
গ) ফ্রিডম্যান
ঘ) আইনস্টাইন

২০। মহাবিশ্বের চূড়ান্ত পরিণতি প্রধানত নির্ভর করে— [ঢা. বো. ২০১৫]

(i) মহাবিশ্বের জ্যামিতিক আকৃতি
(ii) অদৃশ্য শক্তি
(iii) অদৃশ্য বস্তু

কোনটি সঠিক?

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

২১। সূর্য প্রতি সেকেন্ড শক্তি বিকিরণ করে— [দি. বো. ২০১৫]

ক) 4×10^{26} J
খ) 4×10^{27} J
গ) 4×10^{28} J
ঘ) 4×10^{29} J

২২। মহাবিস্ফোরণ তত্ত্বের প্রবর্তক কে? [দি. বো. ২০১৫]

ক) জর্জ গ্যামো
খ) জর্জ লেমিটার
গ) ফ্রেড থেয়েল
ঘ) গোল্ড

২৩। যে সব নক্ষত্রের ভর তিন সৌর ভর অপেক্ষা বেশি তাদের জীবনচক্র কীভাবে শেষ হবে? [রা. বো. ২০১৫]

ক) নিউট্রন তারা
খ) সাদা বামন তারা
গ) কৃষ্ণ গহ্বর
ঘ) লাল দানব তারা

২৪। নিচের কোনটি এখনও রহস্যময়? [চ. বো. ২০১৫]

ক) দৈর্ঘ্য সংকোচন
খ) সময় প্রসারণ

(গ) মহাবিশ্বের সংকোচন
(ঘ) ভরের আপেক্ষিকতা

২৫। বিগ-ব্যাং সংঘটিত হয়েছিল— [চ. বো. ২০১৫]
(ক) মহাকাশে
(খ) পৃথিবীতে
(গ) সৌরজগতে
(ঘ) সর্বত্র

২৬। সূর্যের ভর 1.99×10^{30} kg। একটি নক্ষত্রের ভর সূর্যের ভরের 6 গুণ। এটি কৃষ্ণ বিবরে পরিণত হলে এর ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ—
(ক) 2.97 km
(খ) 11.80 km
(গ) 17.70 km
(ঘ) 35.40 km

২৭। মৃত্যুপর্ব শুরুর মুহূর্তে যদি কোনো তারকার ভর সৌর ভরের 1.4 গুণ এর বেশি থাকে, তবে কোনোভাবেই এটি শ্বেত বামন হতে পারবে না। [সি. বো. ২০১৫]
(ক) নিউট্রন সীমা
(খ) আইনস্টাইন সীমা
(গ) চন্দ্রশেখর সীমা
(ঘ) সোয়ার্জশিল্ড ব্যাসার্ধ

২৮। যে সব নিউট্রন তারকা রেডিও তরঙ্গ বিকিরণ করে তাদেরকে কী বলে?
(ক) শ্বেত বামন
(খ) কৃষ্ণগহ্বর
(গ) পালসার
(ঘ) সুপারনোভা

২৯। মহাবিশ্বের জ্বালানি পুড়ে শেষ হলে অবশিষ্ট থাকতে পারে—
(i) শ্বেতবামন
(ii) নিউট্রন তারা
(iii) কৃষ্ণগহ্বর
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i
(খ) i ও ii
(গ) ii ও iii
(ঘ) i, ii ও iii

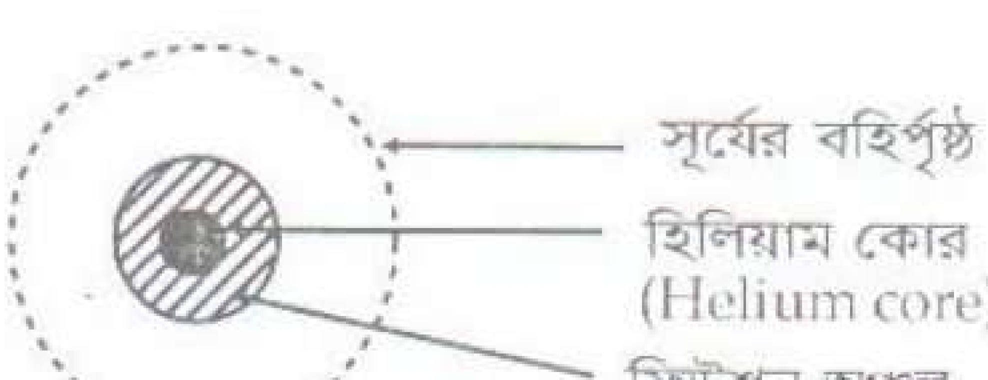
৩০। একটি শ্বেত বামনের ক্ষেত্রে সত্য—
(i) শ্বেত বামনের ব্যাস পৃথিবীর ব্যাসের সমান
(ii) শ্বেত বামনের ভর সূর্যের ভরের সমান
(iii) শ্বেত বামনের ব্যাস নিউট্রন নক্ষত্রের ব্যাসের সমান
নিচের কোনটি সঠিক?
(ক) i ও ii
(খ) ii ও iii
(গ) i ও iii
(ঘ) i, ii ও iii

উত্তর :

১। ঘ	২। ঘ	৩। খ	৪। গ	৫। ঘ	৬। ক	৭। গ	৮। ক	৯। ঘ	১০। গ
১১। গ	১২। গ	১৩। খ	১৪। খ	১৫। গ	১৬। গ	১৭। গ	১৮। ঘ	১৯। খ	২০। গ
২১। ক	২২। খ	২৩। গ	২৪। গ	২৫। ঘ	২৬। গ	২৭। ঘ	২৮। গ	২৯। ঘ	৩০। ক

(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১। নিচের চিত্রে সূর্যের গঠন দেখানো হয়েছে।



(ক) কৃষ্ণ বিবর কী ?
(খ) সুপারনোভা কীভাবে গঠিত হয় ?
(গ) সূর্যের গঠন ও তাপ আলোক বিকিরণ প্রক্রিয়া বর্ণনা কর।
(ঘ) কৃষ্ণ বিবর কীভাবে সৃষ্টি হয় ব্যাখ্যা কর।

২। সূর্য যদি সংকোচনের মাধ্যমে 3 km ব্যাসার্ধের গোলকে পরিণত হয় তবে এটি আমাদের কাছে অদৃশ্য মনে হবে অর্থাৎ কৃষ্ণ গহ্বরে পরিণত হবে। "Seeing is believing" এ প্রবাদ তখন খাটবে না।
(ক) কখন নিউট্রন নক্ষত্র পালসারে পরিণত হয় ?
(খ) সূর্য কৃষ্ণ গহ্বরে পরিণত হলে পৃথিবী কি সূর্যের চারদিকে ঘুরবে? —ব্যাখ্যা কর।
(গ) সূর্যের সমান ব্যাসার্ধের নক্ষত্রের ভর কত হলে এটি কৃষ্ণ গহ্বরে পরিণত হবে?
সূর্যের ব্যাসার্ধ = 6.96×10^{8} m।

(ঘ) সূর্য যদি সংকোচনের মাধ্যমে 3 km ব্যাসার্ধের গোলকে পরিণত হয় তাহলে গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে উদ্দীপকের উক্তির যথার্থতা যাচাই কর।

৩। আমরা মহাবিশ্বের খুব ছোট একটি অংশে বাস করি। সমগ্র মহাবিশ্বের তুলনায় এটি খুবই নগণ্য। যার ভর 6×10^{24} kg। এই পৃথিবী হতে আমরা সূর্যসহ অনেক নক্ষত্রকে দেখতে সক্ষম হই। এই মহাবিশ্ব একদিন ধ্বংস হয়ে যাবে।

(ক) এক আলোক বর্ষ কী?
(খ) বিগ-ব্যাং এর পূর্বে মহাবিশ্বের অবস্থা কীরূপ ছিল বলে তুমি মনে কর?
(গ) পৃথিবীকে কৃষ্ণগহ্বরে রূপান্তর করা হলে এর সোয়ার্জস্কাইল্ড ব্যাসার্ধ কত হবে?
(ঘ) পদার্থবিজ্ঞানের আলোকে মহাবিশ্বের স্থায়িত্ব নিয়ে তোমার ভাবনা সম্পর্কে মতামত দাও।

৪। রুবেল অ্যাস্ট্রোফিজিক্স বিষয়ে হাবল ল্যাবরেটরীতে গবেষণা করে। সে সূর্যের অতি সন্নিকটে একটি নক্ষত্রের উপর গবেষণা করছিল। উক্ত নক্ষত্রের ভর সূর্যের ভরের 4 গুণ এবং ব্যাসার্ধ 22×10^{3} m অন্যদিকে সূর্যের ভর 2×10^{30} kg এবং ব্যাসার্ধ 6.96×10^{8} m।

(ক) কোন তারকা নিউট্রন তারকায় পরিণত হবে?
(খ) কখন নিউট্রন নক্ষত্র পালসারে পরিণত হবে?
(গ) সূর্যের মুক্তিবেগ নির্ণয় কর।
(ঘ) উদ্দীপকে নক্ষত্রটি কৃষ্ণবিবরে পরিণত হবে কী? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে তোমার মতামত দাও।

৫। ঢাকার আগারগাঁও-এ অবস্থিত স্পারসো কেন্দ্রে রেডিও টেলিস্কোপ এবং অপটিক্যাল টেলিস্কোপ দিয়ে মহাকাশের বিভিন্ন গ্রহ, উপগ্রহ ও নক্ষত্র নিয়ে গবেষণা করা হয়। রেডিও টেলিস্কোপে একটি অ্যান্টেনা ও গ্রাহকযন্ত্র থাকে। অন্যদিকে অপটিক্যাল টেলিস্কোপে অভিলক্ষ এবং অভিনেত্র ব্যবহার করা হয়।

(ক) বিগ-ব্যাং কী?
(খ) কোনো কৃষ্ণবিবরের সোয়ার্জশিল্ড 27 km বলতে কী বুঝ?
(গ) মহাকর্ষের প্রভাবে যদি কোনো নক্ষত্র ধ্বংস হয়ে কৃষ্ণ বিবরে পরিণত হতে হয় তাহলে নক্ষত্রের ভর হতে হবে সূর্যের ভরের সমান। যদি সূর্যের ভর 2×10^{30} kg হয় তাহলে নক্ষত্রটিকে ভাঙলে কী পরিমাণ শক্তি পাওয়া যাবে?
(ঘ) রেডিও টেলিস্কোপ ও অপটিক্যাল টেলিস্কোপের মধ্যে তুলনামূলক আলোচনা কর। রেডিও টেলিস্কোপ দ্বারা বেতার তারকা সনাক্ত করা যায় কীভাবে?

(গ) সাধারণ প্রশ্ন

১। মহাবিশ্ব কী ?
২। মহাবিস্ফোরণ কী ?
৩। বিগ ক্রাঞ্চ তত্ত্ব কী ?
৪। পালসার থিওরি কাকে বলে ?
৫। ইলেকট্রন-পজিট্রন যুগল কখন সৃষ্টি হয়েছিল বলে ধারণা করা হয় ?
৬। জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা কীভাবে মহাবিশ্বের বয়স নির্ধারণ করেছেন ?
৭। 'বৃহৎ বিস্ফোরণ' তত্ত্বের পক্ষে কোন বিজ্ঞানী যুক্তি ও ব্যাখ্যা উপস্থাপন করেন ?
৮। মহাবিশ্বের পরিণতি সম্বন্ধে কয়টি মত রয়েছে এবং কী কী ?
৯। 'উন্মুক্ত মহাবিশ্ব' তত্ত্ব ব্যাখ্যা কর।
১০। 'আবদ্ধ মহাবিশ্ব' তত্ত্ব ব্যাখ্যা কর।
১১। 'সমতল মহাবিশ্ব' তত্ত্ব ব্যাখ্যা কর।
১২। গ্যালাক্সি কী ?
১৩। নক্ষত্রের শক্তির উৎস কী ? ব্যাখ্যা কর।
১৪। রক্তিম দৈত্য কাকে বলে ?
১৫। নিউট্রন তারকা কাকে বলে ?
১৬। সুপারনোভা কী ?
১৭। কৃষ্ণ গহ্বর বা বিবর কী বা কাকে বলে ?

১৮। চন্দ্রশেখর সীমা কী ?

১৯। লাল বর্ণের অপসারণের সাহায্যে মহাবিশ্ব যে স্ফীত হচ্ছে তা কীভাবে বোঝা যায় ?

২০। নক্ষত্রের জন্মের বিভিন্ন ধারা আলোচনা কর।

২১। নক্ষত্রের মৃত্যুর বিভিন্ন ধারা আলোচনা কর।

২২। মৌলিক কণা কী ? ঈশ্বর কণা, হেড্রন কণা, লেপটন কণা ও কোয়ার্ক কী ?

২৩। হাবল বিধি ব্যাখ্যা কর।

২৪। রেডিও টেলিস্কোপ এবং অপটিক্যাল টেলিস্কোপের মূলনীতি লিখ।

২৫। এক্স-রে টেলিস্কোপ কী ? এর ব্যবহার উল্লেখ কর।

২৬। গামা-রে টেলিস্কোপ কী ? এর ব্যবহার উল্লেখ কর।

২৭। কৃত্রিম উপগ্রহ বলতে কী বোঝ ?

২৮। জ্যোতির্বিদ্যা গবেষণায় কৃত্রিম উপগ্রহের ভূমিকা আলোচনা কর।

২৯। কৃত্রিম উপগ্রহের বেগের সমীকরণ লিখ।

৩০। কৃত্রিম উপগ্রহের পর্যায়কালের সমীকরণ লিখ।

(ঘ) ক্রিয়াকর্ম

পৃথিবী সৃষ্টির রহস্য এবং মহাবিশ্বের পরিণতির উপর একটি প্রতিবেদন রচনা কর এবং শ্রেণিশিক্ষকের নিকট উপস্থাপন কর। শ্রেণিশিক্ষক তিনটি সেরা প্রতিবেদন শ্রেণিকক্ষে উপস্থাপন করবেন।

(ঙ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। কোনো কৃষ্ণবিবরের ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ 5·9 km। এর ভর ও গড় ঘনত্ব নির্ণয় কর।

[উত্তর : $m = 4{\cdot}0 \times 10^{30}$ kg, $\rho = 4{\cdot}66 \times 10^{18}$ kg m^{-3}]

২। একটি গ্রহাণুর কক্ষপথে অর্ধবৃত্তাকার দৈর্ঘ্য 3·5 জ্যোতির্বিদ্যার একক। এর আবর্তনকাল কত ?

[**Hints :** $T^2 \propto d^3$, উত্তর : 6·5 বছর]

৩। পর্যবেক্ষণ করে দেখা গেল কোনো তারার হাইড্রোজেন বর্ণালী $486{\cdot}1 \times 10^{-9}$ m থেকে $485{\cdot}7 \times 10^{-9}$ m এ বিচ্যুতি হয়েছে। তারাটি দর্শকের দিকে এগোচ্ছে নাকি দূরে সরে যাচ্ছে ? কত বেগে ?

[**Hints :** $\frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{(486{\cdot}1 - 485{\cdot}7) \times 10^{-9}}{486{\cdot}1 \times 10^{-9}}$; উত্তর : 249 km s^{-1}]

৪। Cygnus X – 1 কৃষ্ণ বিবরের ভর সৌর ভরের 8 গুণ। এর ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। সূর্যের ভর $= 2 \times 10^{30}$ kg।

[উত্তর : 23·726 km]

৫। কোনো কোয়াসার হতে আগত আলোক রশ্মি বিশ্লেষণ করে পৃথিবী হতে কোয়াসারটির সরে যাওয়ার দ্রুতি পাওয়া গেল $2{\cdot}8 \times 10^8$ ms^{-1}। পৃথিবী হতে কোয়াসারটির দূরত্ব কত ? [হাবল ধ্রুবক, $H = 71{\cdot}0$ (kms^{-1})/MPc]

[উত্তর : $12{\cdot}6 \times 10^9$ Ly]

৬। যদি NGC 4472 গ্যালাক্সি পৃথিবী হতে 770 km/s দ্রুতিতে পশ্চাদপসারণ করে তবে পৃথিবী হতে গ্যালাক্সিটির দূরত্ব নির্ণয় কর। [এখানে $H = 71$ (kms^{-1})/MPc]

[উত্তর : 10·89 MPc]

৭। মহাবিশ্বের ভবিষ্যৎ পর্যালোচনা করে জানা যায় যে, ভস্মীভূত নক্ষত্র এর নিজের মহাকর্ষের প্রভাবেই ধ্বংস হয়ে ব্লাক হোলে পরিণত হবে। তবে এর জন্য ভর হতে হবে দুই সৌর ভরের সমান। সূর্যের ভর $= 2 \times 10^{30}$ kg হলো এর সৌর ভর। উক্ত ক্ষেত্রে ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ কত হবে ?

[**Hints :** $R_s = \frac{2GM}{c^2}$, উত্তর : 5·93 km]

৮। একটি তারকার ভর $6M_0$। তারকাটি কৃষ্ণবিবরে পরিণত হলে এর শোয়ার্জফিল্ড বা সংকট ব্যাসার্ধ কত হবে?

[উত্তর : 17·7 km]

৯। দুটি কৃষ্ণ বস্তুর ঘটনা দিগন্তের ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 27 km ও 9 km হলে, এদের ভরের তুলনা কর।

[উত্তর : 3 : 1]