LASER → Light Amplification Stimulated by Emission of Radiation

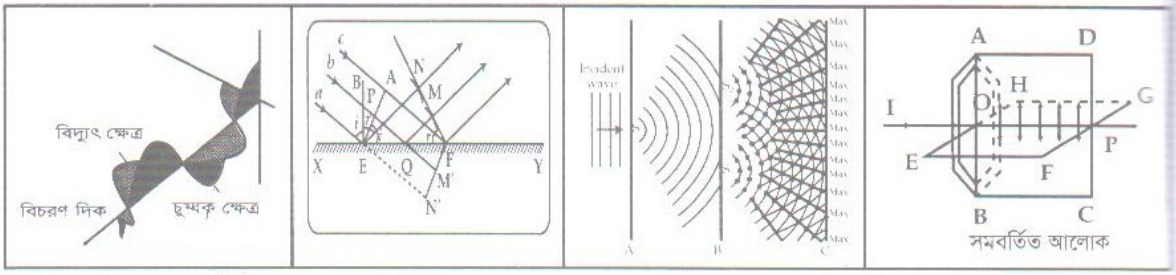
# ৭

# ভৌত আলোকবিজ্ঞান
## PHYSICAL OPTICS

প্রধান শব্দ (Key Words) : তড়িৎচৌম্ব… তরঙ্গ, পয়েন্টিং ভেক্টর, তড়িৎচৌম্ব… স্পেকট্রাম, তরঙ্গমুখ, আলোর ব্যতি…, ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষা, ব্যতিচার ব…, অপবর্তন, অপবর্তন গ্রেটিং, আলোর সমবর্ত…, কম্পন তল, সরলাক্ষ, সমবর্তন তল।




## 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।

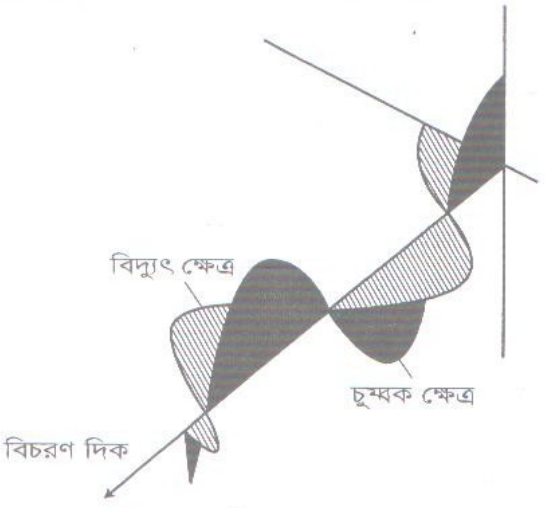
**আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব (Wave theory of light) :**

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 $\epsilon_0$, 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 $\mu_0$ হলো শূন্য মাধ্যমে প্রবেশ্যতার ধ্রুবক এবং এর মান $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \text{NA}^{-2}$।

সমীকরণ (7.1)-এ $\epsilon_0$ ও $\mu_0$-এর মান বসালে $c$-এর মান পাওয়া যায় $3 \times 10^{10}\ \text{ms}^{-1}$।

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

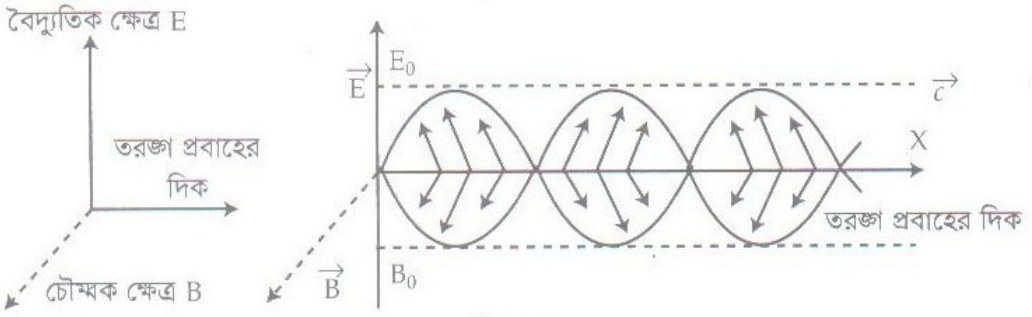
$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times B \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.2)$$

অর্থাৎ, $\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$ ... ... ... (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 $\lambda$ ও কম্পাঙ্ক $\upsilon$-এর মধ্যে নিম্নোক্ত সম্পর্ক প্রযোজ্য :

$$c = \upsilon\lambda$$

৬। শূন্য মাধ্যমে এ তরঙ্গের বেগ $3 \times 10^8\ ms^{-1}$।

## গাণিতিক উদাহরণ

**১। একটি তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ 20 MHz কম্পাঙ্কসহ মুক্ত স্থানে Z অক্ষ বরাবর সঞ্চালিত হচ্ছে। কোনো নির্দিষ্ট বিন্দুতে এর তড়িৎ ক্ষেত্র $\vec{E} = 5\hat{i}\ Vm^{-1}$ হলে, ঐ বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এর মান কত?**

আমরা জানি,

$$B = \frac{E}{c}$$

বা, $B = \frac{5}{3 \times 10^8}$

$= 1.67 \times 10^{-8}\ T$

এখানে,

তড়িৎ ক্ষেত্রের মান, $E = 5Vm^{-1}$

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

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

আমরা জানি,

$$c_w = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{1}{\sqrt{K_m\mu_0 K_e\epsilon_0}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{K_m K_e}} \times \frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{K_m K_e}} \times c \quad \left[\because c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}}\right]$$

$$= \frac{1}{\sqrt{0.022 \times 80}} \times 3 \times 10^8 = 2.28 \times 10^8\ ms^{-1}$$

এখানে,

আপেক্ষিক ভেদনযোগ্যতা, $K_e = 80$

আপেক্ষিক চৌম্বক প্রবেশ্যতা, $K_m = 0.022$

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

পানিতে আলোর দ্রুতি, $c_w = ?$

## ৭.২ তড়িৎচুম্বকীয় স্পেকট্রাম বা বর্ণালী

**Electromagnetic spectrum**

যে কোনো পর্যাবৃত্ত (Periodic) তরঙ্গের কম্পাঙ্ক $f$ এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda$ রয়েছে। পর্যাবৃত্ত তরঙ্গের কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সঙ্গে তরঙ্গের গতিবেগের সম্পর্ক হলো,

$$v = \lambda\upsilon \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.4)$$

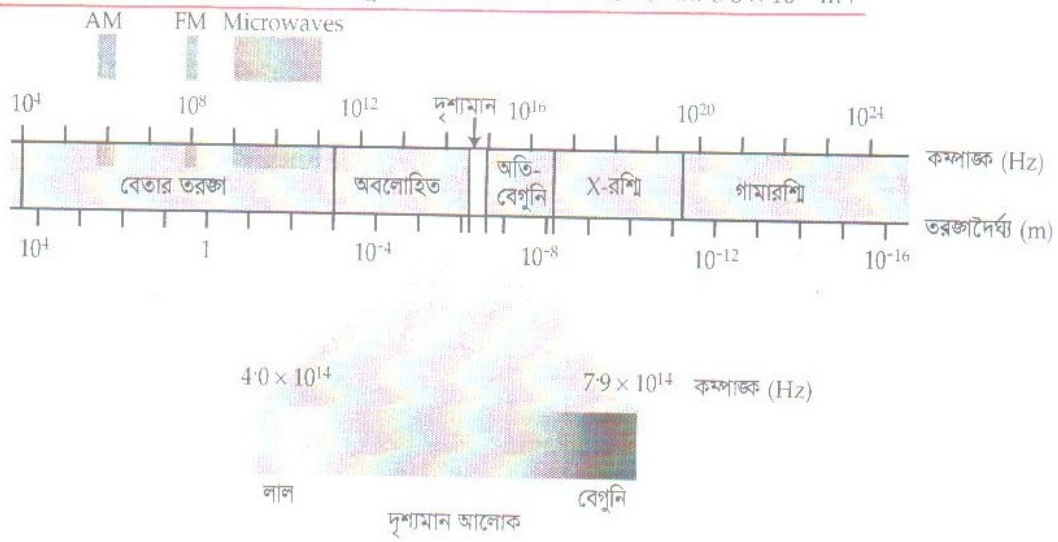
তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গের শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে সঞ্চালন ক্ষেত্রে তরঙ্গের গতিবেগ আলোর গতিবেগের সমান। অর্থাৎ $v = c$। সুতরাং,

$$c = \lambda\upsilon \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.5)$$

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 $7.8 \times 10^{-7}$ m থেকে $3.9 \times 10^{-7}$ m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বা $3.8 \times 10^{14}$ Hz থেকে $7.7 \times 10^{14}$ 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 $7{\cdot}5 \times 10^{-7}$ m, আবার বেগুনি রঙ-এর আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় $3{\cdot}8 \times 10^{-7}$ 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 | $10^{-1}$m থেকে $5 \times 10^4$ m | (i) এ্যান্টেনার মধ্যে দোলায়িত তড়িৎ আধান<br>(ii) স্পন্দিত তড়িৎ বর্তনী (oscillating electric circuit) | (i) উচ্চ কম্পাঙ্কের স্পন্দিত তড়িৎ প্রবাহ<br>(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।<br>(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। |

| তরঙ্গ পট্টি | তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিসর | নিঃসরণকারী উৎস | নিঃসরণের কারণ | বৈজ্ঞানিক প্রয়োগ / ব্যবহার |
|---|---|---|---|---|
| অবলোহিত রশ্মি | $10^{-3}$m থেকে $4 \times 10^{-7}$m | (i) উত্তপ্ত সকল বস্তু হতে কমবেশি অবলোহিত রশ্মি নির্গত হয়।<br>(ii) আই.আর. (IR) ল্যাম্প নামে বিশেষ ধরনের বাতি থেকে পাওয়া যায়।<br>(iii) সূর্যরশ্মি থেকে পাওয়া যায়। | (i) পরমাণুস্থ ইলেকট্রনের ক্ষুদ্র পরিমাণ শক্তির পরিবর্তনের জন্য।<br>(ii) স্থায়ী তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামকসম্পন্ন ত্রিপরমাণুর 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<br>বেগুনি..........<br>নীল ............<br>আসমানী.......<br>সবুজ...........<br>হলুদ ..........<br>কমলা..........<br>লাল............ | $7 \times 10^{-7}$m থেকে $4 \times 10^{-7}$m<br>$3{\cdot}8 \times 10^{-7}$m–$4{\cdot}25 \times 10^{-7}$m<br>$4{\cdot}25 \times 10^{-7}$m –$4{\cdot}45 \times 10^{-7}$m<br>$4{\cdot}45 \times 10^{-7}$m– $5 \times 10^{-7}$m<br>$5 \times 10^{-7}$m–$5{\cdot}75 \times 10^{-7}$m<br>$5{\cdot}75 \times 10^{-7}$m– $5{\cdot}85 \times 10^{-7}$m<br>$5{\cdot}85 \times 10^{-7}$m–$6{\cdot}20 \times 10^{-7}$m<br>$6{\cdot}20 \times 10^{-7}$m –$7{\cdot}8 \times 10^{-7}$ 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 | $5 \times 10^{-7}$ m থেকে<br>$5 \times 10^{-9}$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<br>(X-ray) | $5 \times 10^{-8}$m থেকে<br>$5 \times 10^{-15}$m | এক্সরে টিউব | (i) এক্সরে টিউবে উচ্চ গতির ইলেকট্রনকে মন্দন সৃষ্টির মাধ্যমে এই রশ্মি তৈরি করা হয়।<br>(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, চোরাচালান নিরোধে এক্সরে ব্যবহৃত হয়। |
| গামা রশ্মি | $5 \times 10^{-11}$m থেকে<br>$5 \times 10^{-15}$m বা এর চেয়ে কম। | (i) তেজস্ক্রিয় বস্তু হতে<br>(ii) নিউক্লীয় ফিশন ও ফিউশন বিক্রিয়ায়<br>(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।<br>(ii) তেজস্ক্রিয় পরমাণুর বিশ্লেষণের সময় এই রশ্মি নির্গত হয়।<br>(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। |

**কাজ :** নিম্নলিখিত বিস্তৃত শ্রেণির তরঙ্গসমূহকে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ক্রম অনুযায়ী সাজাও (বড় থেকে ছোট)।
দৃশ্যমান আলোক রশ্মি, অতিবেগুনি রশ্মি, অবলোহিত রশ্মি, টিভি ও রেডিও তরঙ্গ, $\gamma$-রশ্মি, X-রশ্মি।

(i) রেডিও এবং টিভি তরঙ্গ, (ii) অবলোহিত রশ্মি, (iii) দৃশ্যমান আলোক রশ্মি, (iv) অতিবেগুনী রশ্মি, (v) X-রশ্মি এবং (vi) $\gamma$-রশ্মি।

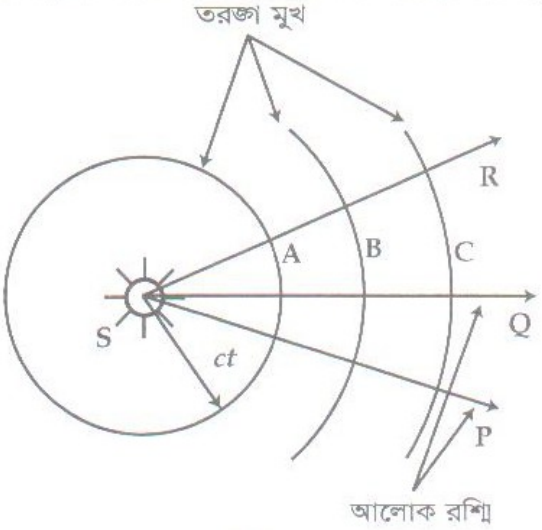
## ৭·৩ তরঙ্গমুখ
**Wave front**

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।

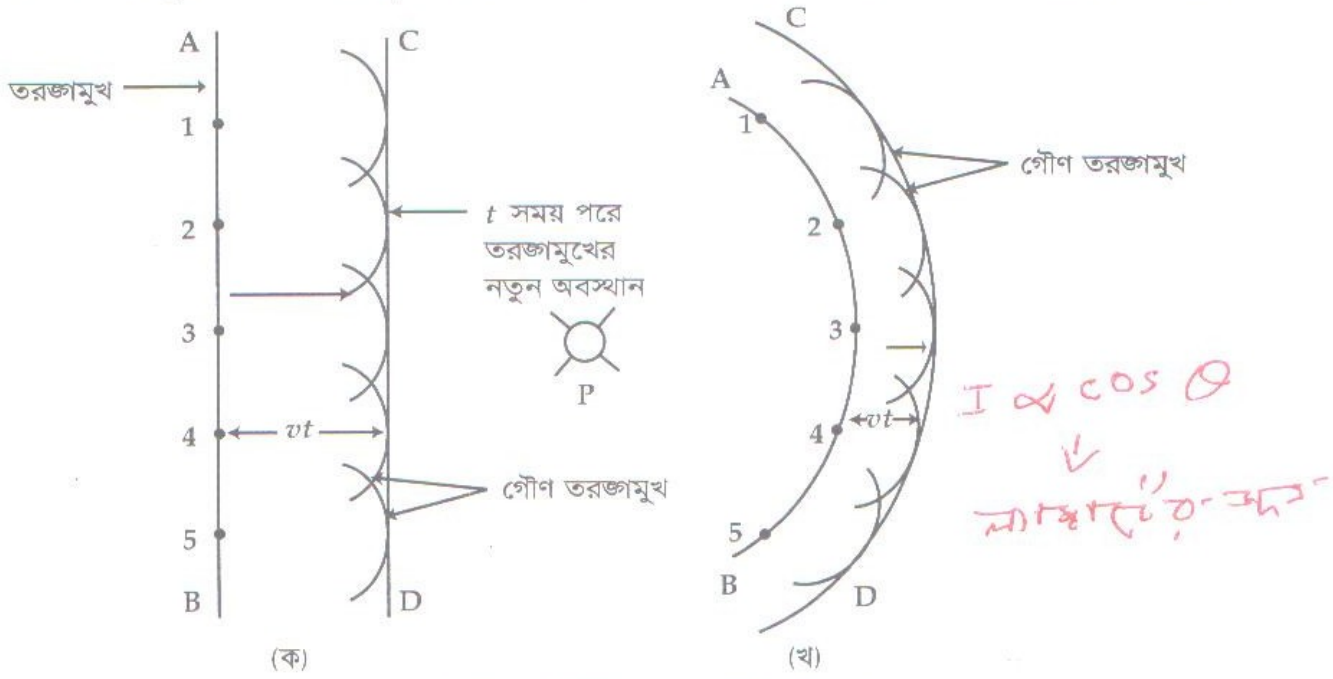
গৌণ তরঙ্গগুলো মূল তরঙ্গের সমান বেগে সামনের দিকে অগ্রসর হয়। হাইগেনস-এর নীতিকে আমরা নিম্নোক্তভাবে বিবৃত করতে পারি।

**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**

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




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।**

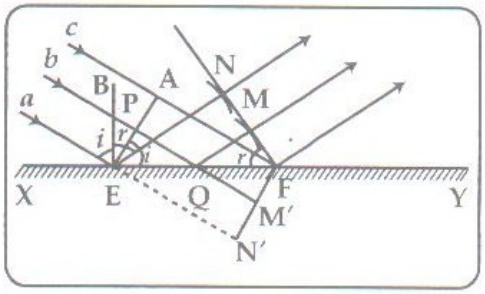
তরঙ্গমুখের উপর অঙ্কিত অভিলম্বকে রশ্মি (ray) বলা হয়। তরঙ্গের শক্তি এই রশ্মি বরাবর শূন্যস্থান বা মাধ্যমের এক অংশ থেকে অন্য অংশে স্থানান্তরিত হয়।

## 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 :**

$\Delta AEF$ ও $\Delta NEF$-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,

$\angle aEB + \angle BEA = \angle BEA + \angle AEF = 1$ সমকোণ

$\therefore$ $\angle aEB = \angle AEF =$ 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।**

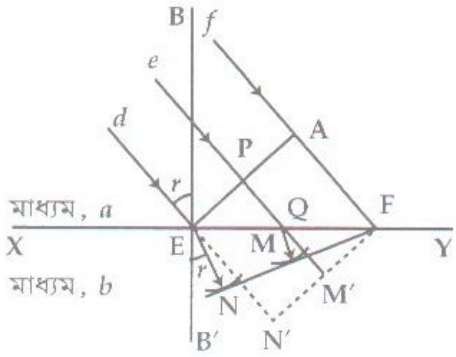
আবার, আপতিত রশ্মি $aE$, প্রতিফলিত রশ্মি EN এবং আপতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব EB কাগজের একই সমতলে অবস্থিত। **এটি দ্বারা আলোকের প্রতিফলনের প্রথম সূত্রটি প্রমাণিত হলো।**

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 $\dfrac{\sin i}{\sin r} = \dfrac{\sin \angle dEB}{\sin \angle B'EN} = \dfrac{\sin \angle AEF}{\sin \angle EFN}$

$$= \frac{AF/EF}{EN/EF} = \frac{AF}{EN} = \frac{v_a t}{v_b t} = \frac{v_a}{v_b} = \text{একটি ধ্রুব সংখ্যা} = {}_a\mu_b \qquad \ldots \qquad (7.9)$$

${}_a\mu_b$ 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 $2·24 \times 10^8\ ms^{-1}$।**

আমরা জানি,

$${}_w\mu_d = \frac{v_w}{v_d}$$

$$\therefore \quad v_d = \frac{v_w}{{}_w\mu_d}$$

বা, $\quad v_d = \dfrac{2·28 \times 10^8}{1·805}$

$$= 1·26 \times 10^8\ ms^{-1}$$

এখানে,

${}_a\mu_w = 1·33$

${}_a\mu_d = 2·4$

${}_w\mu_d = \dfrac{{}_a\mu_d}{{}_a\mu_w} = \dfrac{2·4}{1·33}$

$= 1·805$

$v_w = 2·28 \times 10^8\ ms^{-1}$

$v_d = ?$

## ৭·৫ আলোকের ব্যতিচার
## 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** $y = y_1 - y_2$

**(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।**

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 $n = 0, \pm 1, \pm 2 \ldots\ldots$ 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 $n = 0, \pm 1, \pm 2 \ldots\ldots$ 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 :**

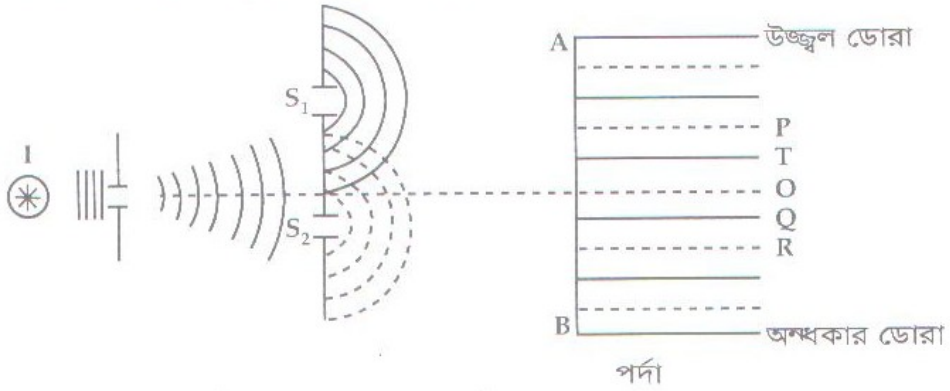
১। দুটি সুসঙ্গত উৎস হতে একই মাধ্যমের কোনো বিন্দুতে আলোক তরঙ্গমালার উপরিপাতনের ফলে ব্যতিচার সৃষ্টি হয়।
২। ব্যতিচার ঝালরে সাধারণত পট্টিগুলোর বেধ সমান হয়।
৩। ব্যতিচারে উজ্জ্বল পট্টি ও অন্ধকার পট্টিগুলোর অন্তর্বর্তী দূরত্বগুলো সমান থাকে।
৪। ব্যতিচারে অন্ধকার পট্টিতে কোনো আলো থাকে না। এরা সম্পূর্ণ অন্ধকার 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

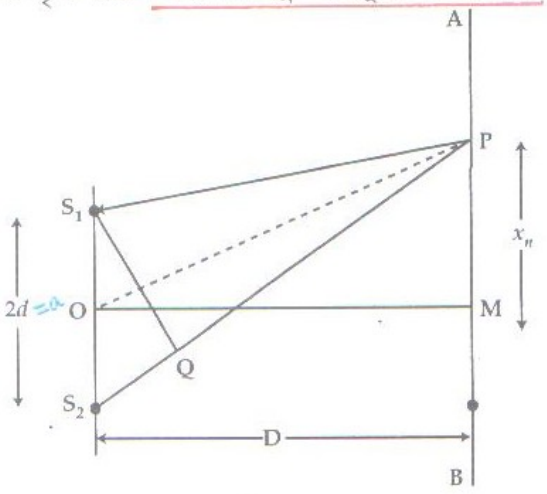
হাইগেনসের নীতি ব্যবহার করে ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় সৃষ্ট ব্যতিচার ব্যাখ্যা করা যায়। চিড় S গোলীয় তরঙ্গামুখ প্রেরণ করে। $S_1$ ও $S_2$ থেকে S এর দূরত্ব সমান হওয়ায় একই সময়ে একই তরঙ্গামুখ $S_1$ ও $S_2$-তে এসে পৌঁছায়। এই তরঙ্গামুখের উপর অবস্থিত $S_1$ ও $S_2$ বিন্দু এখন গৌণ তরঙ্গ নিঃসৃত করে যেগুলো 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 উপরিপতনের 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, $\lambda$ 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

$$y_1 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} vt \quad \ldots \ldots \ldots \quad (7.10)$$

এখানে, $y_1$ = আলোক তরঙ্গের সরণ, $v$ = তরঙ্গের বেগ, $\lambda$ = 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,

$$y_2 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt + x) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.11)$$

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, $(S_2P + S_1P)(S_2P - S_1P) = 4x_n d$

এখন P বিন্দু M বিন্দুর খুবই সন্নিকটে অবস্থিত বলে

$S_1P \simeq S_2P \simeq D$ ধরা যায়।

অতএব, $(S_2P - S_1P) = \frac{4x_n d}{(S_2P + S_1P)} \simeq \frac{4x_n d}{2D} = \frac{2x_n d}{D}$

এখন $S_1$ হতে $S_2P$ এর উপর $S_1Q$ লম্ব টানি। সুতরাং এই দুটি তরঙ্গের পথ পার্থক্য

$$\sigma = S_2Q = (S_2P - S_1P) = \frac{2x_n d}{D} \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.14)$$

এখন সমীকরণ (7.12) হতে জানি, $n$-তম উজ্জ্বল ডোরার জন্য পথ পার্থক্য $n\lambda$-এর সমান হতে হবে।

$$\therefore \frac{2x_n d}{D} = n\lambda, \text{ এখানে } n = 0, 1, 2, 3 \ldots \ldots$$

বা, $x_n = \frac{D}{2d} n\lambda$

অনুরূপভাবে M বিন্দু হতে $(n+1)$-তম উজ্জ্বল ডোরার দূরত্ব

$$x_{n+1} = \frac{D}{2d}(n+1)\lambda$$

∴ পরপর দুটি উজ্জ্বল ডোরার কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব বা ব্যবধান

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) ]

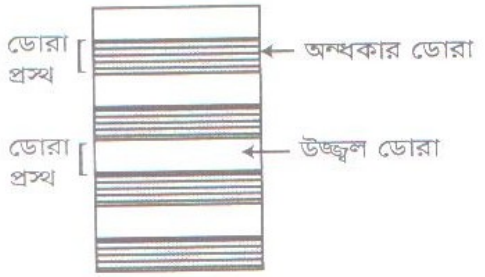
$$\therefore \frac{2x_n d}{D} = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$$

অনুরূপভাবে, M হতে $(n+1)$-তম অন্ধকার ডোরার দূরত্ব

$$x_{n+1} = \frac{D}{2d}[(2(n+1)+1]\frac{\lambda}{2}$$

$$= \frac{D}{2d}(2n+3)\frac{\lambda}{2}$$

∴ পরপর দুটি অন্ধকার ডোরার কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব বা ব্যবধান



চিত্র ৭·১০

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 $5890 \times 10^{-10}$ m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণী আলো দ্বারা আলোকিত করা হলে উজ্জ্বল ডোরার প্রস্থ নির্ণয় কর।

**Hints :** ডোরার প্রস্থ, $b = \frac{D\lambda}{2 \times 2d} = \frac{1 \times 5890 \times 10^{-10}}{2 \times 0{\cdot}8 \times 10^{-3}}$

$$= 0{\cdot}37 \times 10^{-3} \text{ m} = 0{\cdot}37 \text{ mm}$$

## গাণিতিক উদাহরণ

**১। 0·4 mm ব্যবধানবিশিষ্ট দুটি চিড় হতে 1m দূরত্বে অবস্থিত পর্দার উপর ব্যতিচার সজ্জা সৃষ্টি হলো। ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গউদর্ঘ্য 5000 Å হলে পরপর দুটি উজ্জ্বল ও অন্ধকার পট্টির কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব কত?**

আমরা জানি,

$$x_n = \frac{D\lambda}{2d}$$

$$= \frac{1 \times 5000 \times 10^{-10}}{4 \times 10^{-4}}$$

$$= 1{\cdot}25 \times 10^{-3} \text{ m} = 1{\cdot}25 \text{ mm}$$

এখানে,

$2d = 0{\cdot}4 \text{ mm}$

$= 4 \times 10^{-4} \text{ m}$

$D = 1 \text{ m}$

$\lambda = 5000 \text{ Å} = 5000 \times 10^{-10} \text{ m}$

$x_n = ?$

**২। একটি ইয়ং এর দ্বিচিড় পরীক্ষায় চিড় দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·4 মিমি। চিড়ের সমান্তরালে 1 মিটার দূরত্বে 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, $\lambda = \frac{x_n \times 2d}{nD}$

$\therefore \quad \lambda = \frac{9{\cdot}3 \times 10^{-3} \times 0{\cdot}4 \times 10^{-3}}{12 \times 1}$

$= 0{\cdot}31 \times 10^{-6}\,\text{m} = 3100\ \text{Å}$

এখানে,

$n = 12$

$x_n = 9{\cdot}3\,\text{mm} = 9{\cdot}3 \times 10^{-3}\,\text{m}$

$D = 1\,\text{m}$

$2d = 0{\cdot}4\,\text{mm} = 0{\cdot}4 \times 10^{-3}\,\text{m}$

**৩। ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় আলোর কম্পাঙ্ক $6 \times 10^{14}$ 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,

$$c = \upsilon\lambda$$

$$\therefore \quad \lambda = \frac{c}{\upsilon} = \frac{3 \times 10^8}{6 \times 10^{14}} = 5 \times 10^{-7}\,\text{m}$$

আবার, $2d = \frac{D\lambda}{\beta} = \frac{1{\cdot}55 \times 5 \times 10^{-7}}{0{\cdot}75 \times 10^{-3}}$

$= 1{\cdot}03 \times 10^{-3}\,\text{m} = 1{\cdot}03\,\text{mm}$

এখানে,

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

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

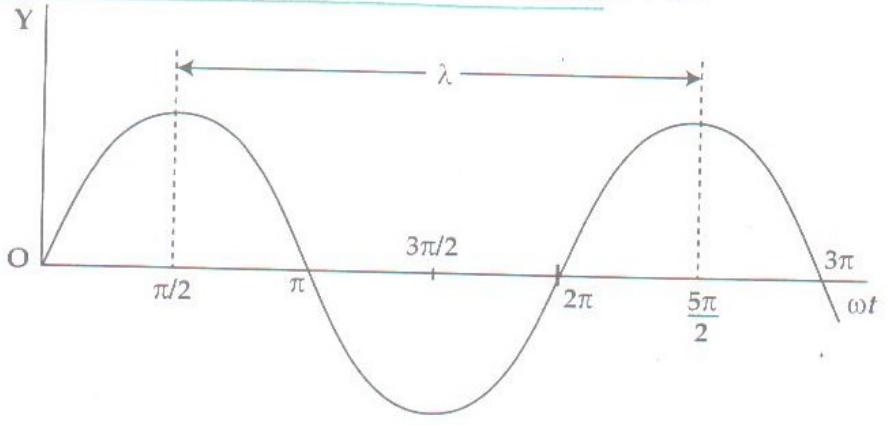
$D = 1{\cdot}55\,\text{m}$

$\beta = 0{\cdot}75\,\text{mm}$

$= 0{\cdot}75 \times 10^{-3}\,\text{m}$

$2d = ?$

**পথ পার্থক্য ও দশা পার্থক্যের মধ্যে সম্পর্ক :** আমরা জানি, কোনো তরঙ্গের দুটি তরঙ্গশীর্ষ বা তরঙ্গ পাদ-এর দূরত্ব হচ্ছে তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda$ এবং ঐ দুটি বিন্দুর মধ্যে দশা পার্থক্য $= 2\pi$ [ চিত্র ৭·১১ ]




চিত্র ৭·১১

অতএব, পথ পার্থক্য $\lambda$-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, $\delta = \frac{2\pi}{\lambda}x$ ... ... ... (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 $\mu$ = 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
## 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 ঘেষে 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 $\lambda$-এর সমান বা কাছাকাছি মানের হতে হবে।

(২) **সরু ছিদ্রের ক্ষেত্রে :** ছিদ্র খুবই সরু হতে হবে যাতে এর ব্যাস তরঙ্গদৈর্ঘ্যের $\lambda$-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।

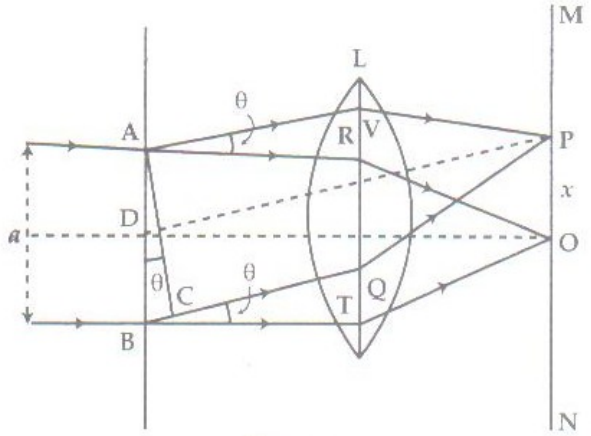
**ফ্রনহফার শ্রেণি অপবর্তন : যখন উৎস এবং পর্দা তাদের মধ্যবর্তী বাধা হতে অসীম দূরত্বে অবস্থান করে তখন ঐ বাধার দরুন পর্দায় যে অপবর্তন পরিলক্ষিত হবে তাকে ফ্রনহফার শ্রেণি অপবর্তন বলে।** এই অপবর্তনের ক্ষেত্রে তরঙ্গমুখ সমতল হয়ে থাকে। কোনো উত্তল লেন্সের ফোকাস তলে একটি আলোক উৎস স্থাপন করলে লেন্সে প্রতিসরণের 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 ?

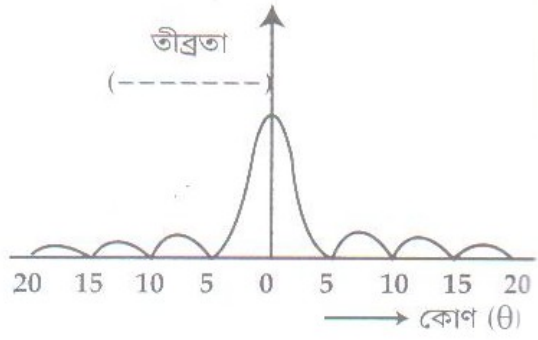
একক রেখাচিত্রে ফ্রনহফার ব্যতিচার ঝালরে কেন্দ্রীয় পট্টি সর্বদা উজ্জ্বল। কিন্তু ফ্রেনেল ব্যতিচার ঝালরের কেন্দ্রীয় পট্টি উজ্জ্বল কিংবা অন্ধকার হতে পারে। যা নির্ভর করে একক রেখাচিত্রে অর্ধপর্যায় কাল অঞ্চলের সংখ্যার উপর।

## একক রেখাছিদ্র বা চিড়ের জন্য অপবর্তন
**Diffraction at a single slit**

**একক রেখা চিড়ে ফ্রন্‌হফার অপবর্তন (Fraunhofer diffraction at a single slit) :** মনে করি AB একটি রেখাচিড় যার বেধ = $a$ [চিত্র ৭·১২ ]। ধরি $\lambda$ 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 $\theta$ 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 $\theta$ 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 :**

$$a \sin\theta = (2n + 1)\lambda/2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.19)$$

এবং **অন্ধকার বিন্দুর জন্য :**

$$a \sin\theta = n\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.20)$$

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 $\theta$ হলে,

$$a \sin\theta = \lambda$$

বা, $\sin\theta = \lambda/a.$

তেমনি O বিন্দুর উভয় পার্শ্বে $n$-তম অবম বিন্দুর ক্ষেত্রে অপবর্তন কোণ $\theta_n$ হলে,

$$a \sin\theta_n = n\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.21)$$

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,

$$\sin\theta_n = \frac{n\lambda}{a} = \frac{x_n}{f}$$

বা, $$x_n = \frac{n\lambda f}{a} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.22)$$

উক্ত সমীকরণের সাহায্যে মুখ্য চরম বিন্দু হতে বিভিন্ন অবম বিন্দুর ($n = 1, 2, 3$ ইত্যাদি) অবস্থান পাওয়া যায়।

পুনঃ, $$a\sin\theta = \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}, \frac{7\lambda}{2} \ldots\ldots (2n+1)\lambda/2 \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.23)$$

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 $\theta'_n$ এবং O হতে ঐ বিন্দুর দূরত্ব $x_n'$ হলে,

$$a\sin\theta'_n = (2n+1)\lambda/2 = \frac{a.x'_n}{f} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.24)$$

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 $a\sin\theta = n\lambda$

$$\therefore \quad \sin\theta = \frac{n\lambda}{a} = \left(\frac{1\times 5890\times 10^{-10}}{2\times 10^{-4}}\right) = 2945\times 10^{-6}$$

$\therefore$ $\theta = 17'$ 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 $\theta$ এবং $n = 1, 2, 3, \ldots\ldots$। সঠিক হিসাব অনুযায়ী $a\sin\theta = \pm 1·43\lambda$, $\pm 2·46\lambda$, ..... 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
## 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)।

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 অগ্রভাগ 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 $= 1$টি

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,

$a = 0{\cdot}22 \text{ mm} = 2{\cdot}2 \times 10^{-4}\text{m}$

$n = 1$

$\lambda = 5600 \text{ Å} = 5600 \times 10^{-10}\text{m}$

$\theta = ?$

**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,

$$(a+b)\sin\theta_n = n\lambda$$

$$\text{বা, } \frac{1}{N}\sin\theta_n = n\lambda \text{ বা, } \lambda = \frac{\sin\theta_n}{Nn}$$

$$= \frac{\sin 30^\circ}{2{\cdot}38 \times 10^{-6} \times 2} = 1{\cdot}05 \times 10^5 \text{ m}$$

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—

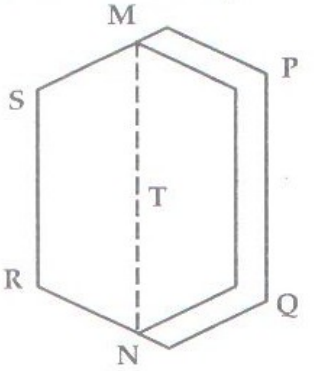
(১) আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়।

(২) একই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুটি বর্ণালী রেখা পৃথক করা যায়।

(৩) তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সাপেক্ষে অপবর্তন কোণের পরিবর্তনের হার নির্ণয় করা যায়।

## ৭·৭ আলোকের সমবর্তন
**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 লম্বিক 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 ?

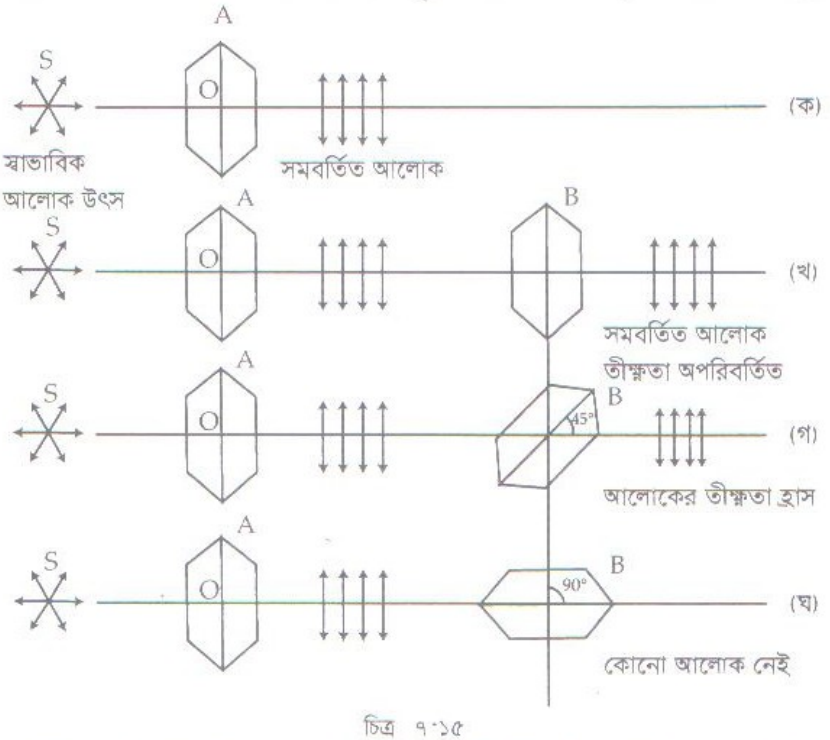


চিত্র ৭·১৪

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 সঙ্গে 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।

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।

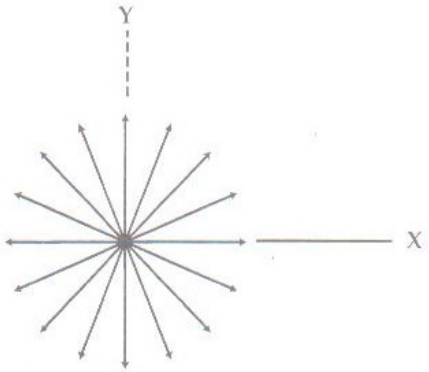
**সংজ্ঞা : যে প্রক্রিয়ায় বিভিন্ন তলে কম্পমান আলোক তরঙ্গকে একটি নির্দিষ্ট তল বরাবর কম্পনক্ষম করা যায় তাকে আলোকের সমবর্তন বা পোলারায়ন বলে।**

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

**(ক) অসমবর্তিত আলোক (Unpolarised light) :** সাধারণ আলোক যার কম্পন গতিপথের লম্ব অভিমুখে চারদিকে সমান বিস্তারে কম্পিত হয় তাকে অসমবর্তিত আলোক বলে [চিত্র ৭·১৬ ]।

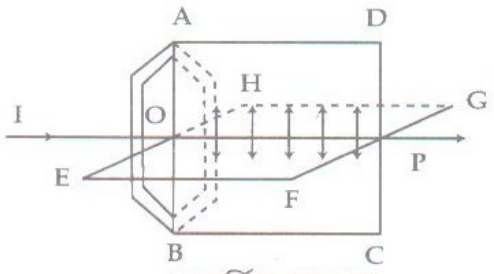


অসমবর্তিত আলোক

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

$$_a\mu_b = \frac{c_a}{c_b} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

$$_a\mu_g = \frac{\lambda_a}{\lambda_g} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

$$\frac{\delta}{\lambda} = \frac{\sigma}{2\pi} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\in_0 \mu_0}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

$$c = \frac{E}{B} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

$$\beta = \frac{D}{2d}\ \lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

$$\Delta x = \lambda \frac{d}{a} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

$$a \sin\theta = n\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

$$(a + b) \sin\theta = n\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9)$$

$$\frac{1}{N} \sin\theta_n = n\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10)$$

$$a \sin\theta = (2n + 1)\lambda/2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (11)$$

$$\lambda = \frac{\sin\theta}{nN} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (12)$$

## 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 $= {}_a\mu_g = 1.5$

বস্তুতে তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda_a = 6000\text{Å}$

কাঁচে তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda_g = ?$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_a}{{}_a\mu_g} = \frac{6000\text{Å}}{1.5} = 4000\text{Å}$$

মাধ্যম স্থান পরিবর্তন করলে তরঙ্গের কম্পাঙ্ক পরিবর্তিত হয় না।

তরঙ্গস্থিত ফোটনের শক্তি, $E = h\upsilon = h\frac{c}{\lambda} = h \times \frac{c_a}{\lambda_a}$

$$= \frac{h \times 3 \times 10^8}{6000 \times 10^{-10}} = 3.315 \times 10^{-19}\ \text{J} = 2.072\ \text{eV}$$

(খ) এখানে তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 6000\text{Å}$

পথ-পার্থক্য, $\delta = 15000\text{Å}$

দশা পার্থক্য, $\sigma$ হলে,

আমরা জানি,

$$\frac{\delta}{\lambda} = \frac{\sigma}{2\pi}$$

বা, $\sigma = \frac{\delta}{\lambda} \times 2\pi = \frac{15000\text{Å}}{6000\text{Å}} \times 2\pi = 5\pi = (4\pi + \pi)$

$4\pi$ দশা পার্থক্য এবং শূন্য দশা পার্থক্য একই কথা।

সুতরাং $5\pi$ বা $(4\pi + \pi)$ দশা পার্থক্য এবং $(0 + \pi)$ দশা পার্থক্য একই কথা।

অতএব বায়ু মাধ্যমে তরঙ্গদ্বয়ের মধ্যকার পথ-পার্থক্য $15000\text{Å}$ হলে এদের শেষ বিন্দু দুটির মধ্যকার দশা পার্থক্য হবে $\pi$ 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 $200\text{Å}$। 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, $\mu_d = 2·4$

শূন্য মাধ্যমে বিকিরণটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda_0 = ?$

আমরা জানি, $\mu_d = \dfrac{\lambda_0}{\lambda_d}$

$\therefore \quad \lambda_0 = \lambda_d \times \mu_d$

$= 200\text{Å} \times 2·4 = 480\text{Å}$

সুতরাং শূন্য মাধ্যমে তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য $= 480\text{Å}$

(খ) শূন্য মাধ্যমে কোনো তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য $1·4\text{Å}$ হতে $1000\text{Å}$ 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 $480\text{Å}$ যা $1·4\ \text{Å}$ ও $1000\text{Å}$ এর মাঝামাঝি স্থানে বিদ্যমান।

এক্স-রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা $5 \times 10^{-8}$ m হতে $5 \times 10^{-15}$ m এর মধ্যে।

অন্যদিকে গামা রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা $5 \times 10^{-11}$ m হতে $5 \times 10^{-15}$ 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 $6 \times 10^5$ 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 $\theta$ 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, $\sin\theta = 0·27$

$\therefore \quad \theta = \sin^{-1}(0·27) = 15·66°$

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, $\sin\theta = 1·08$. $\sin\theta$ এর সর্বোচ্চ মান $= +1$

$\therefore \quad \sin\theta \neq 1·08$

অর্থাৎ চতুর্থ ক্রমের অপবর্তন সম্ভব নয়।

৪। আলোর ব্যতিচার পরীক্ষণে পরীক্ষার্থীরা প্রথম দুটি সুসংগত উৎস ব্যবহার করলো যেগুলো থেকে সমদশাবিশিষ্ট 5500 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক তরঙ্গ নির্গত হয়। পর্দায় মিলিত তরঙ্গদ্বয়ের পথ পার্থক্য 11000 Å 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, $\lambda = 5500\ \text{Å} = 5500 \times 10^{-10}\ \text{m}$

পথ পার্থক্য $= 11000\ \text{Å} = 11000 \times 10^{-10}\ \text{m}$

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 $4\pi$ 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 $5.5 \times 10^{14}$ 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) $\Delta z = \frac{\lambda D}{a} = \frac{cD}{na}$

$\therefore \quad a = \frac{cD}{n\Delta z} = \frac{3 \times 10^{8} \times 1.55}{5.5 \times 10^{14} \times 0.75 \times 10^{-3}}$

$= 1.127 \times 10^{-3}\ \text{m} = 1.127\ \text{mm}$

$D = 1.55\ \text{m}$

$\Delta z = 0.75\ \text{mm} = 0.75 \times 10^{-3}\ \text{m}$

$n = 5.5 \times 10^{14}\ \text{Hz}$

$a = ?$

ধরি, $c$ = আলোর বেগ

$\therefore \quad \lambda = \frac{c}{n}$

(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 $\mu$ 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 $\lambda$-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 প্রধান 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 $4 \times 10^{-7}$ m — $7 \times 10^{-7}$ 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]

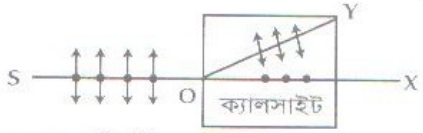
৮। ব্যতিচার এক ধরনের উপরিপাতন। শব্দ তরঙ্গের পোলারণ সম্ভব না।

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°। $\alpha$-কণা তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ নয়।

১৬। পথ পার্থক্য দশা পার্থক্যের $\frac{\lambda}{2\pi}$ গুণ। সম্পর্কটি হলো $\frac{\delta}{\lambda} = \frac{\sigma}{2\pi}$ এখানে $\sigma$= দশা পার্থক্য, $\delta$ = 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 $\pi$ 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 $\pi$।

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 তরঙ্গামুখ (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 তরঙ্গামুখের বিভিন্ন অংশ হতে নির্গত গৌণ তরঙ্গামুখের উপরিপাতনের ফলে সৃষ্টি হয় অপবর্তন।

৩১। ফ্রনহফার শ্রেণির অপবর্তনে আলোক রশ্মিসমূহ ও তরঙ্গামুখ 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 $\pi$ এর অযুগ্ম গুণিতক হয় (ii) প্রাবল্য সর্বনিম্ন হয়।

৩৪। ব্যতিচারের ক্ষেত্রে উজ্জ্বল ডোরা সৃষ্টি হবে যখন—(i) দশা পার্থক্য $\pi$ এর যুগ্ম গুণিতক হয় (ii) তরঙ্গদ্বয়ের প্রাবল্য সর্বোচ্চ হয়।

৩৫। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে পথ পার্থক্য $\frac{5\lambda}{4}$। 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 ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

২। কোনটি তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ নয় ?
ক দৃশ্যমান আলো
খ এক্স-রশ্মি
গ গামা রশ্মি
ঘ আলফা রশ্মি

৩। তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের ক্ষেত্রে—
(i) মাধ্যমের প্রয়োজন হয় না
(ii) কম্পাঙ্ক ধ্রুব থাকে
(iii) তরঙ্গের বেগ $3 \times 10^8\ ms^{-1}$
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৪। তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের ক্ষেত্রে তড়িৎক্ষেত্র $\vec{E}$ এবং চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$ পরস্পর কত ডিগ্রী কোণে থাকে ?
ক $45°$
খ $180°$
গ $120°$
ঘ $90°$

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 $2\pi$
গ $\pi$
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 $\lambda$

১৭। পথ পার্থক্য $\delta$, দশা পার্থক্য $\sigma$ এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda$ 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 ?

ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ 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 $3000\text{Å}$। 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 $\pi$
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

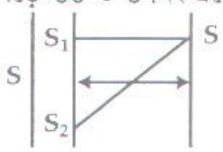
৩২। নিচের কোনটির ক্ষেত্রে অপবর্তন সবচেয়ে বেশি হয়?
ক গামা রশ্মি
খ অতি বেগুনি রশ্মি
গ অবলোহিত রশ্মি
ঘ রেডিও তরঙ্গ

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 $\pi$

নিচের উদ্দীপকটি পড়ে ৩৬ ও ৩৭নং প্রশ্নের উত্তর দাও :



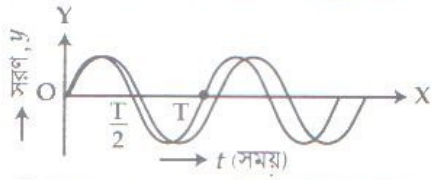

চিত্রটি ইয়ং এর দ্বিচিড় পরীক্ষা নির্দেশ করে।

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 $2\pi$
গ $\pi$
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 $\pi$

৪০। তরঙ্গদ্বয়ের পথ পার্থক্য কত হবে ?

ⓚ $\frac{\pi}{2}$

ⓛ $\frac{\pi}{4}$

ⓜ $\frac{\pi}{8}$

ⓝ 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 ?

ⓚ $5 \times 10^{-2}$ cm

ⓛ $3{\cdot}33 \times 10^{-3}$ cm

ⓜ $5 \times 10^{-4}$ cm

ⓝ $3{\cdot}33 \times 10^{-4}$ cm

৪২। তরঙ্গটি নিচের কোন প্রকারের ?

ⓚ অবলোহিত

ⓛ বেতার তরঙ্গ

ⓜ দৃশ্যমান তরঙ্গ

ⓝ 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

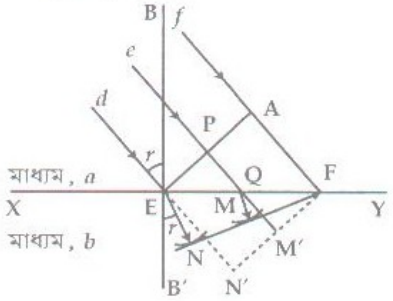
১। নিচের চিত্রে '$a$' ও '$b$' দুটি স্বচ্ছ সমসত্ত্ব মাধ্যম। '$a$' মাধ্যমে আলোকের বেগ $v_a$ এবং '$b$' মাধ্যমে আলোকের বেগ $v_b$। $d, e, f$ তিনটি সমান্তরাল রশ্মি তির্যকভাবে XY বিভেদ তলে আপতিত হয়েছে।

(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।

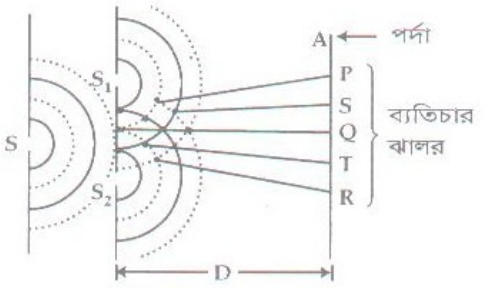



২। নিচে ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষার চিত্র দেয়া হলো।

(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 ?

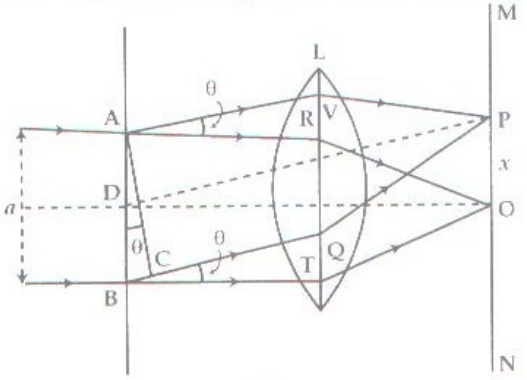
(গ) T বিন্দুতে $S_1$ ও $S_2$ উৎসদ্বয় হতে আগত তরঙ্গদ্বয়ের পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$ হলে তাদের মধ্যে দশা পার্থক্য কত?



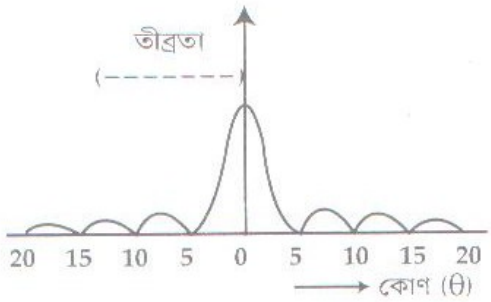

চিত্র : ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষা।

(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) সুসজ্জাত 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) "সুসজ্জাত 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। তরঙ্গমুখ কী ? হাইগেনের নীতিটি লিখ ও ব্যাখ্যা কর।
৪। তরঙ্গমুখে অবস্থিত যে কোনো দুটি বিন্দুর দশা পার্থক্য কত ?
৫। একটি আলোকরশ্মি তরঙ্গমুখের সাথে কত ডিগ্রী কোণে আনত থাকে ?
৬। একই তরঙ্গের দুটি তরঙ্গমুখ কী পরস্পরকে ছেদ করতে পারে ?
৭। উত্তল লেন্সের ফোকাস বিন্দুতে আলোক উৎস রাখলে লেন্স থেকে নির্গত আলোর তরঙ্গমুখ 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 $\lambda$ 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 : $1{\cdot}67 \times 10^{-12}\ T$]

২। পানি ও কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·33 ও 1·15 হলে, কাচে আলোর বেগ কত ? [পানিতে আলোর বেগ $2{\cdot}28 \times 10^{8}\ ms^{-1}$] [উত্তর : $2{\cdot}63 \times 10^{8}\ ms^{-1}$]

৩। বায়ু সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·5। বায়ুতে এক আলোক বছর $9{\cdot}4 \times 10^{12}$ km হলে, কাচে এক আলোক বছর কত ? [উত্তর : $6{\cdot}266 \times 10^{12}$ 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 $10{\cdot}91 \times 10^{-3}$ m দূরত্ব জুড়ে থাকলে দুটি চিড়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব কত ? [$\lambda = 5890$Å] [উত্তর : $9{\cdot}72 \times 10^{-4}$ m]

৬। $0.6 \times 10^{-3}$ m ব্যবধানে দুটি ছিদ্র হতে 1.50 m দূর অবস্থিত একটি পর্দার উপর ব্যতিচার ঝালর সৃষ্টি হলো। ব্যতিচার ঝালরের বেধ $1.5 \times 10^{-3}$ 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) $4\pi$ বা শূন্য; (খ) গঠনমূলক ব্যতিচার]

৮। ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় পর পর দুটি উজ্জ্বল ডোরার মধ্যবর্তী দূরত্ব $6.25 \times 10^{-5}$ m। চিড় দুটি হতে পর্দার দূরত্ব 0.8m। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য $6.25 \times 10^{-7}$ 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 : 5 I ]

১১। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে পথ পার্থক্য $\lambda/2$ । বিন্দুদ্বয়ের দশা পার্থক্য নির্ণয় কর। [উত্তর : $\pi$]

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 $3000 \times 10^2$ 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: $2028 \times 10^2$ ]

১৬। $2 \times 10^{-4}$ m বেধের একক রেখাচিড়ের দরুন পর্দায় সৃষ্ট অপবর্তন ঝালরের কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল রেখার বিপরীত দুপাশের অন্ধকার রেখার মধ্যে দূরত্ব $28 \times 10^{-4}$ m হলে আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উত্তর : $56 \times 10^{-8}$ m]

১৭। একটি সমতল গ্রেটিং-এ $6 \times 10^{-7}$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 : $8333 \times 10^2$, $12 \times 10^{-7}$ m]

১৮। $5.46 \times 10^{-7}$ m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকের আলোকিত $0.1 \times 10^{-4}$ m দূরে অবস্থিত দুটি সমান্তরাল ছিদ্র হতে 0.8 m দূরে পর্দায় ফ্রনহফারের অপবর্তন লক্ষ করা গেল। কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল রেখা হতে ৩য় উজ্জ্বল রেখার দূরত্ব কত?

[ উত্তর : $1.31 \times 10^{-2}$ 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 $8 \times 10^{-7}$ m তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট আলোর প্রথম ক্রমে 30° অপবর্তন কোণ উৎপন্ন করে। গ্রেটিং-এ প্রতি মিটারে রেখার সংখ্যা কত ? [উত্তর : $6.25 \times 10^5$ /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°]