লাল - সবুজে দাগানো
TEXT BOOK

পদার্থ বিজ্ঞান
২য় পত্র

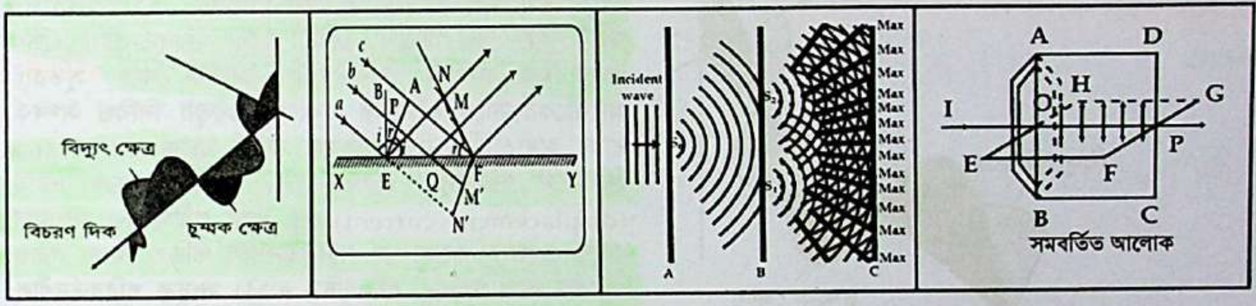
New Edition

উন্মেষ
মেডিকেল এন্ড ডেন্টাল এডমিশন কেয়ার

৭

ভৌত আলোকবিজ্ঞান
PHYSICAL OPTICS

প্রধান শব্দ (Key Words) : তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ, পয়েন্টিং ভেক্টর, তড়িৎ চুম্বকীয় স্পেকট্রাম, তরঙ্গমুখ, আলোর ব্যতিচার, ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষা, ব্যতিচার ঝালর, অপবর্তন, অপবর্তন গ্রেটিং, আলোর সমবর্তন, 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 ব্যাখ্যায় 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 উল্লিখিত 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—

- তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- আলোক তরঙ্গ তড়িৎ চুম্বকীয় 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 আমাদের আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব সম্পর্কে জানা প্রয়োজন।

৭·১·১ আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব
Wave theory of light

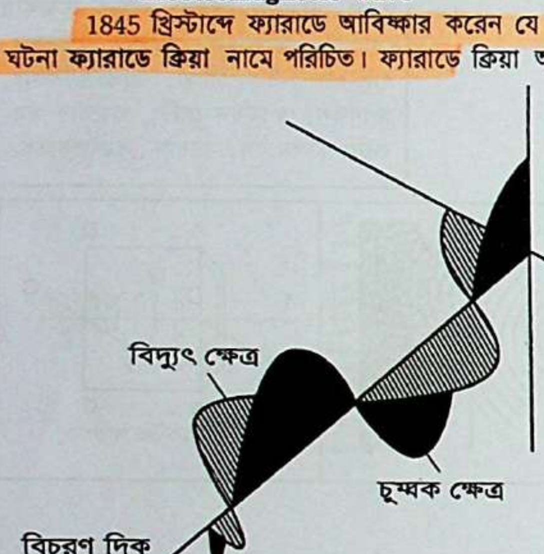
DAT: 18-19

স্যার আইজ্যাক নিউটনের সমসাময়িক ডাচ বিজ্ঞানী হাইগেন্স (Huygens) প্রথম 1678 খ্রিস্টাব্দে আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব উপস্থাপন করেন। পরে ইয়ং, ফ্রেনেল এবং আরও অনেক বিজ্ঞানী এই 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 ব্যাখা করা যায় না। পরবর্তীকালে মাইকেলসন-মর্লির পরীক্ষায় প্রতিষ্ঠিত হয় যে, প্রকৃতিতে ইথার নামক কোনো বস্তুর অস্তিত্ব নেই।

৭·১·২ তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ
Electromagnetic wave

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, পরিবর্তনশীল 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 ওপর 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 চুম্বকীয় তরঙ্গ বলে। ম্যাক্সওয়েল এ সিদ্ধান্তে উপনীত হন যে, স্পন্দন দ্বারা সৃষ্ট তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের তড়িৎ ক্ষেত্র $(\vec{E})$ এবং চৌম্বক ক্ষেত্র $(\vec{B})$ একই সমতলে পরস্পরের ওপরে লম্ব এবং সমতল ক্ষেত্রের অভিলম্ব বরাবর তরঙ্গের শক্তি সঞ্চালিত হয়। এ তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ শূন্যস্থানের মধ্য দিয়ে,



চিত্র ৭·১

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.1)$$

বেগে চলে। এখানে ϵ_0, শূন্য মাধ্যমের ভেদনযোগ্যতা এবং এর মান,

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9} \text{ coul}^2\,\text{N}^{-1}\text{m}^{-2} = 8{\cdot}85 \times 10^{-12}\text{ coul}^2/\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$$

এবং μ_0 হলো শূন্য মাধ্যমে প্রবেশ্যতার ধ্রুবক এবং এর মান $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ NA^{-2}

সমীকরণ (7.1)-এ ϵ_0 ও μ_0-এর মান বসালে c-এর মান পাওয়া যায় 3×10^{10} ms^{-1}

অর্থাৎ তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ শূন্যস্থানে আলোর বেগে চলে। সুতরাং আলোক তরঙ্গ এবং তড়িৎ চুম্বকীয় 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 চুম্বকীয় তরঙ্গ বলে।** চৌম্বক ক্ষেত্র B এবং তড়িৎ ক্ষেত্র E এর তরঙ্গ সমীকরণ,

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) \text{ এবং } \mathbf{E} = \mathbf{E}_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)$$

ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎ চুম্বকীয় তত্ত্ব অনুসারে তড়িৎ ক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্রের বিস্তারের মধ্যে নিম্নোক্ত সম্পর্ক রয়েছে,

$\text{E}_0 = c\text{B}_0$ বা, $c = \frac{\text{E}_0}{\text{B}_0}$; এখানে, E_0 = তড়িৎ ক্ষেত্রের বিস্তার, B_0 = চৌম্বক ক্ষেত্রের বিস্তার এবং c = আলোর বেগ।

ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎ চুম্বকীয় 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 চুম্বকীয় তরঙ্গ ব্যতীত অন্য কিছু নয়। এ ভাবেই আলোকের তড়িৎ চুম্বকীয় তত্ত্বের উৎপত্তি ঘটে।

জানা দরকার : যদি কোনো মাধ্যমের আপেক্ষিক তড়িৎ ভেদ্যতা $\in_r$ এবং আপেক্ষিক চৌম্বক প্রবেশ্যতা μ_r হয়, তবে ওই মাধমে তরঙ্গের তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের গতিবেগের রাশিমালা, $v = \dfrac{1}{\sqrt{\mu_0 \mu_r \in_0 \in_r}}$।

৭·১·৩ পয়েন্টিং ভেক্টর
Poynting vector

তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের একটি প্রধান বৈশিষ্ট্য হলো এই যে এই তরঙ্গ এক স্থান থেকে অন্য স্থানে শক্তি বহন করতে পারে। কোনো তড়িৎ চুম্বক 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

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

বা, $S = \dfrac{EB \sin 90°}{\mu_0}$

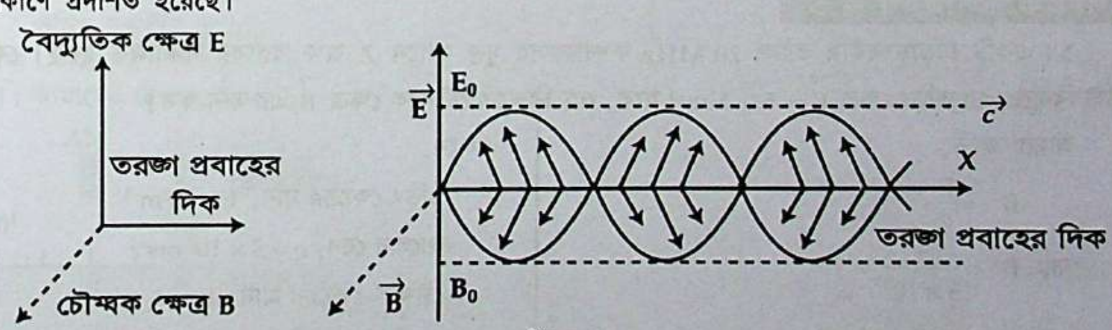
বা, $S = EH, \qquad \left[\because H = \dfrac{B}{\mu_0}\right]$

$$\therefore \quad \vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7.3)$$

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 : এই তত্ত্বের সাহায্যে ঋজুগতি প্রতিফলন, প্রতিসরণ ব্যাখ্যা করা যায়; কিন্তু ব্যতিচার, সমবর্তন, অপবর্তন, বিচ্ছুরণ ব্যাখ্যা করা যায় না।

(ii) হাইগেনের তরঙ্গ তত্ত্ব : এই তত্ত্বের সাহায্যে প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, অপবর্তন ব্যাখ্যা করা যায়; কিন্তু সমবর্তন ব্যাখ্যা করা যায় না।

(iii) ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎ চুম্বকীয় তত্ত্ব : এই তত্ত্বের সাহায্যে আলোর সমবর্তন ব্যাখ্যা করা যায়; কিন্তু ফটো-তড়িৎ ক্রিয়া ব্যাখ্যা করা যায় না।

(iv) আইনস্টাইনের কোয়ান্টাম তত্ত্ব : এই তত্ত্বের সাহায্যে কৃষ্ণবস্তু বিকিরণ, ফটো–তড়িৎ ক্রিয়া ব্যাখ্যা করা যায়; কিন্তু ব্যতিচার, অপবর্তন, সমবর্তন ব্যাখ্যা করা যায় না।

৭.১.৪ তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য
Characteristics of electromagnetic wave

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 ওপর লম্ব। তাই তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ আড় তরঙ্গ।

৩। তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের সঞ্চালনের জন্য কোনো মাধ্যমের প্রয়োজন হয় না।

৪। তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণের তীব্রতা দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতে হ্রাস পায়। অর্থাৎ

$E \propto \frac{1}{r^2}$, এখানে E হলো তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণের তীব্রতা এবং r হলো উৎস হতে দূরত্ব। সুতরাং, দূরত্ব দ্বিগুণ বৃদ্ধি পেলে তীব্রতা চারগুণ হ্রাস পাবে।

৫। তড়িচ্চুম্বকীয় সকল বিকিরণের জন্য তরঙ্গের বেগ c, তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ ও কম্পাঙ্ক υ-এর মধ্যে নিম্নোক্ত সম্পর্ক প্রযোজ্য :

$$c = \upsilon\lambda$$

৬। শূন্য মাধ্যমে এই তরঙ্গের বেগ $\boxed{3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}}$ MAT : 19-20
MAT : 15-16

৭.১.৫ আলোক বর্ষ
Light year, (ly)

এক বছরে আলোক রশ্মি যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে 1 আলোক বর্ষ বলে।

বিভিন্ন নক্ষত্রের অবস্থান এবং দূরত্ব প্রকাশের জন্য এই একক ব্যবহার করা হয়।

1 আলোক বর্ষ = শূন্য মাধ্যমে আলোকের গতি বেগ × 1 বছরের সেকেন্ড সংখ্যা

$$= 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ s}$$

$$= 9{\cdot}46 \times 10^{15} \text{ m} = \boxed{9{\cdot}46 \times 10^{12} \text{ km}}$$ DAT : 19-20

এটি দূরত্ব পরিমাপের একক খুবই বড়। নভোমণ্ডলীর পরিমাপে এই একক ব্যবহার করা হয়।

গাণিতিক উদাহরণ ৭.১

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, ওই বিন্দুতে চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{B}$-এর মান কত?

আমরা জানি,

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

বা, $$B = \frac{5}{3 \times 10^8}$$

$$= 1{\cdot}67 \times 10^{-8} \text{ T}$$

এখানে,

তড়িৎ ক্ষেত্রের মান, $E = 5\text{Vm}^{-1}$

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

চৌম্বক ক্ষেত্রের মান, $B = ?$

২। পানির আপেক্ষিক ভেদনযোগ্যতা ও আপেক্ষিক চৌম্বক প্রবেশ্যতা যথাক্রমে 80 ও 0·022 হলে পানিতে আলোর দ্রুতি নির্ণয় কর। [শূন্য মাধ্যমে আলোর দ্রুতি = 3×10^8 ms^{-1}]

আমরা জানি,

$$c_w = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{1}{\sqrt{K_m\mu_0K_e\epsilon_0}} = \frac{1}{\sqrt{K_mK_e}} \times \frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{K_mK_e}} \times c \qquad \left[\because c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\epsilon_0}}\right]$$

$$= \frac{1}{\sqrt{0{\cdot}022 \times 80}} \times 3 \times 10^8$$

$$= 2{\cdot}28 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

এখানে,

আপেক্ষিক ভেদনযোগ্যতা, $K_e = 80$

আপেক্ষিক চৌম্বক প্রবেশ্যতা, $K_m = 0{\cdot}022$

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

পানিতে আলোর দ্রুতি, $c_w = ?$

৭·১·৬ দৃশ্যমান আলোর বর্ণালি
Spectrum of visible light

সূর্যের সাদা আলো 7টি বর্ণের সমন্বয়ে গঠিত। এগুলো হলো—বেগুনি, নীল, আসমানি, সবুজ, হলুদ, কমলা ও লাল। বর্ণগুলোর নাম ও ক্রম সহজে মনে রাখার জন্য এদের নামের আদ্যক্ষরগুলো নিয়ে বাংলায় বেনীআসহকলা ও ইংরেজিতে VIBGYOR শব্দ গঠন করা হয়েছে। এই বর্ণগুলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সীমা নিচে দেওয়া হলো :

বেগুনি	3.80×10^{-7} m থেকে 4.25×10^{-7} m
নীল	4.25×10^{-7} m থেকে 4.45×10^{-7} m
আসমানি	4.45×10^{-7} m থেকে 5.00×10^{-7} m
সবুজ	5.00×10^{-7} m থেকে 5.75×10^{-7} m
হলুদ	5.75×10^{-7} m থেকে 5.85×10^{-7} m
কমলা	5.85×10^{-7} m থেকে 6.20×10^{-7} m
লাল	6.20×10^{-7} m থেকে 7.80×10^{-7} m

৭·২ তড়িৎ চুম্বকীয় স্পেকট্রাম বা বর্ণালি
Electromagnetic spectrum

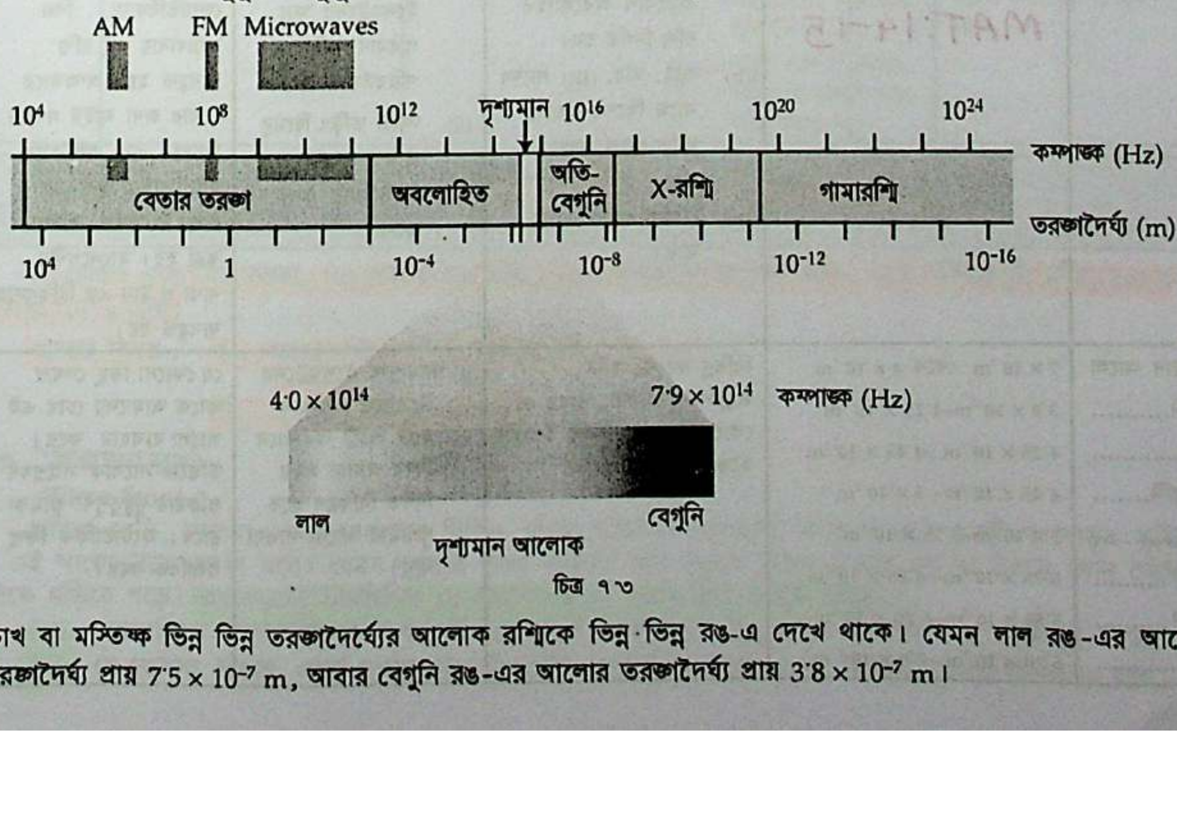
যে কোনো পর্যাবৃত্ত (Periodic) তরঙ্গের কম্পাঙ্ক υ এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ রয়েছে। পর্যাবৃত্ত তরঙ্গের কম্পাঙ্ক ও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সঙ্গে তরঙ্গের গতিবেগের সম্পর্ক হলো,

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

তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে সঞ্চালন ক্ষেত্রে তরঙ্গের গতিবেগ আলোর গতিবেগের সমান। অর্থাৎ $v = c$। সুতরাং, $c = \lambda\upsilon \qquad \ldots \qquad (7.5)$

তড়িৎ চুম্বকীয় 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 বর্ণালি (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 বর্ণালির মধ্যে আমাদের সবচেয়ে পরিচিত অংশ হলো দৃশ্যমান আলোক। এর ব্যাপ্তি খুবই সামান্য। মাত্র 7.8×10^{-7} m থেকে 3.9×10^{-7} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বা 3.8×10^{14} Hz থেকে 7.7×10^{14} Hz কম্পাঙ্কের মধ্যে। আমাদের চোখ শুধুমাত্র এটুকু তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বা কম্পাঙ্কের তড়িৎ চৌম্বক তরঙ্গের প্রতি সংবেদনশীল। আমাদের



চিত্র ৭·৩

চোখ বা মস্তিষ্ক ভিন্ন ভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক রশ্মিকে ভিন্ন ভিন্ন রঙ-এ দেখে থাকে। যেমন লাল রঙ-এর আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় 7.5×10^{-7} m, আবার বেগুনি রঙ-এর আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় 3.8×10^{-7} m।

উৎস : পদার্থের অণু-পরমাণু সব ধরনের বর্ণালির মূল উৎস। যখন কোনো বস্তুর ওপর 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 স্তরের পরিবর্তন ঘটে এবং বর্ণালি সৃষ্টি হয়। এভাবে বিভিন্ন ধরনের বর্ণালির সৃষ্টি হয়। [সারণি ১ : তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালির বৈশিষ্ট্যমূলক ছক দ্রষ্টব্য]

সারণি ১ : তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালির বৈশিষ্ট্যমূলক ছক

তরঙ্গ পট্টি	তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিসর	নিঃসরণকারী উৎস	নিঃসরণের কারণ	বৈজ্ঞানিক প্রয়োগ / ব্যবহার
বেতার তরঙ্গ	10^{-1} m থেকে 5×10^{4} m DAT: 10-11	(i) এ্যান্টেনার মধ্যে দোলায়িত তড়িৎ আধান (ii) স্পন্দিত তড়িৎ বর্তনী (oscillating electric circuit)	(i) উচ্চ কম্পাঙ্কের স্পন্দিত তড়িৎ প্রবাহ (ii) পরমাণুস্থ ইলেকট্রনের খুবই ক্ষুদ্র পরিমাণ শক্তির পরিবর্তনের জন্য	বিভিন্ন ধরনের বেতার যোগাযোগ ব্যবস্থা অর্থাৎ দূরবর্তী স্থানে স্পন্দিত ছবি প্রেরণের জন্য বেতার তরঙ্গ ব্যবহৃত হয়। MAT: 15-16
মাইক্রোওয়েভ তরঙ্গ DAT: 19-20	10^{-1}m থেকে 10^{-3} m DAT: 09-10	(i) ক্লাইস্ট্রন (Klystron) ও ম্যাগনেট্রন (Magnetron) নামে বিশেষ ধরনের বালব। (ii) মেসার (Microwave Amplifications by Stimulated Emission of Radiation এর সংক্ষিপ্ত নাম MASER)। মেসার অর্থ হলো বিকিরণের উদ্দীপিত নিঃসরণ দ্বারা মাইক্রোওয়েভ বিবর্ধন।	স্থায়ী তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামক-সম্পন্ন দ্বিপরমাণুর ঘূর্ণনের ফলে মাইক্রোওয়েভ বর্ণালির উৎপত্তি হয়।	রাডার যন্ত্রে, নৌ ও বিমান চালনায়, রেডিও যোগাযোগ ব্যবস্থায়, শিল্প কারখানায় এই তরঙ্গ ব্যবহৃত হয়। এই ছাড়া খাবার গরম করা ও রান্নার কাজে মাইক্রোওভেন ব্যবহৃত হয়।
অবলোহিত রশ্মি	10^{-3}m থেকে 4×10^{-7}m MAT: 14-15	(i) উত্তপ্ত সকল বস্তু হতে কমবেশি অবলোহিত রশ্মি নির্গত হয়। (ii) আই. আর. (IR) ল্যাম্প নামে বিশেষ ধরনের বাতি থেকে পাওয়া যায়। (iii) সূর্যরশ্মি থেকে পাওয়া যায়।	(i) পরমাণুস্থ ইলেকট্রনের ক্ষুদ্র পরিমাণ শক্তির পরিবর্তনের জন্য। (ii) স্থায়ী তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামকসম্পন্ন ত্রিপরমাণুর কম্পনের ফলে	বিভিন্ন রোগের চিকিৎসায়, জ্যোতির্বিদ্যায়, শিল্প কারখানায় এই রশ্মি ব্যবহৃত হয়। অন্ধকারে দেখার জন্য নাইট গগলস হিসেবে এবং অন্ধকারে ছবি তোলার জন্য এই রশ্মির ক্যামেরা ব্যবহার করা হয়। মাংসপেশীর ব্যথা ও টান এর চিকিৎসায় ব্যবহৃত হয়।
দৃশ্যমান আলো বেগুনি.......... নীল .... আসমানি....... সবুজ........... হলুদ .... কমলা .... লাল	7×10^{-7}m থেকে 4×10^{-7}m $3{\cdot}8 \times 10^{-7}$m–$4{\cdot}25 \times 10^{-7}$m $4{\cdot}25 \times 10^{-7}$m –$4{\cdot}45 \times 10^{-7}$m $4{\cdot}45 \times 10^{-7}$m– 5×10^{-7}m 5×10^{-7}m–$5{\cdot}75 \times 10^{-7}$m $5{\cdot}75 \times 10^{-7}$m– $5{\cdot}85 \times 10^{-7}$m $5{\cdot}85 \times 10^{-7}$m–$6{\cdot}20 \times 10^{-7}$m $6{\cdot}20 \times 10^{-7}$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।

তরঙ্গ পট্টি	তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিসর	নিঃসরণকারী উৎস	নিঃসরণের কারণ	বৈজ্ঞানিক প্রয়োগ / ব্যবহার
অতিবেগুনি রশ্মি	5×10^{-7} m থেকে 5×10^{-9}m	খুবই উত্তপ্ত বস্তু যেমন তড়িৎ বিচ্ছুরণ (electric arc). কোয়ার্টজ টিউবের ভেতরে পারদ গ্যাসের মধ্য দিয়ে তড়িৎক্ষরণের ফলে এবং সূর্য রশ্মি হতে পাওয়া যায়।	পরমাণুস্থ ইলেকট্রনের বিভিন্ন স্তরের মধ্যে উচ্চ শক্তির পরিবর্তনের জন্য।	আয়নায়ন ঘটানোর কাজে, প্রতিপ্রভ সৃষ্টিতে ব্যবহৃত হয়। রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটানোর কাজে, ফটো-ইলেকট্রিক ক্রিয়া সংঘটনে, ফটোগ্রাফিক ফিল্ম প্রভাবিত করার কাজে, অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণ ক্ষমতা বৃদ্ধির কাজে এবং শরীরে ভিটামিন D তৈরির কাজে ব্যবহৃত হয়।
এক্স-রে (X-ray)	5×10^{-8} m থেকে 5×10^{-15}m	এক্সরে টিউব	(i) এক্সরে টিউবে উচ্চ গতির ইলেকট্রনকে মন্দন সৃষ্টির মাধ্যমে এই রশ্মি তৈরি করা হয়। (ii) ভারী মৌলের পরমাণুকে উচ্চ শক্তির ইলেকট্রন দ্বারা আঘাত করলে পরমাণুর গভীরে অবস্থিত ইলেকট্রনের উত্তেজনার দ্বারা এই রশ্মি সৃষ্টি হয়।	চিকিৎসা ক্ষেত্রে, গবেষণা কাজে, শিল্প কারখানায়, নিরাপত্তার কাজে, চোরা-চালান নিরোধে এক্স-রে ব্যবহৃত হয়।
গামা রশ্মি	5×10^{-11}m থেকে 5×10^{-15}m বা এর চেয়ে কম।	(i) তেজস্ক্রিয় বস্তু হতে (ii) নিউক্লীয় ফিশন ও ফিউশন বিক্রিয়ায় (iii) মৌলিক কণার মিথস্ক্রিয়ায় এই রশ্মি নির্গত হয়।	(i) পরমাণুর নিউক্লিয়াস উত্তেজিত হয়ে উচ্চ শক্তি স্তর হতে নিম্ন শক্তি স্তরে স্থানান্তরের ফলে এই রশ্মি নির্গত হয়। (ii) তেজস্ক্রিয় পরমাণুর বিশ্লেষণের সময় এই রশ্মি নির্গত হয়। (iii) সূর্যের মধ্যে ফিউশন বিক্রিয়ার কারণে গামা রশ্মি উৎপন্ন হয়।	চিকিৎসা ক্ষেত্রে বিভিন্ন রোগ নির্ণয়ে, বিজ্ঞানাগারে গবেষণার কাজে, ধাতব পদার্থের খুঁত নির্ণয়ে এই রশ্মি ব্যবহৃত হয়। মানব দেহে ক্যান্সার আক্রান্ত সেলকে ধ্বংস করতে এই রশ্মি ব্যবহৃত হয়।

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

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

জানার বিষয় : I. মহাজাগতিক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য $<10^{-14}$ m

II. $\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$ এর একক $m^{-1}s$

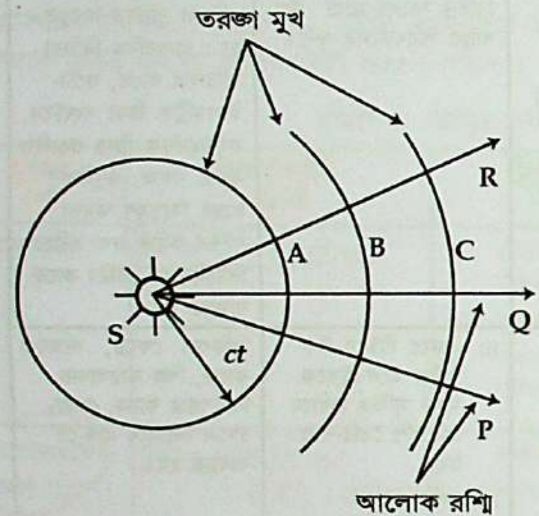
৭·৩ তরঙ্গমুখ
Wave front

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 একই দশায় থাকা বিন্দুগুলি যে রেখা বা তলের ওপর অবস্থিত তাকে 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 ওই গোলকের উপরিতলে অবস্থিত প্রতিটি বিন্দুর দশা একই হবে। গোলকের উপরিতলই সমদশা-গ্রস্ত কণাগুলোর অবস্থান নির্দেশ করবে। সুতরাং, ওই 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। 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

৭.৪.১ 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।

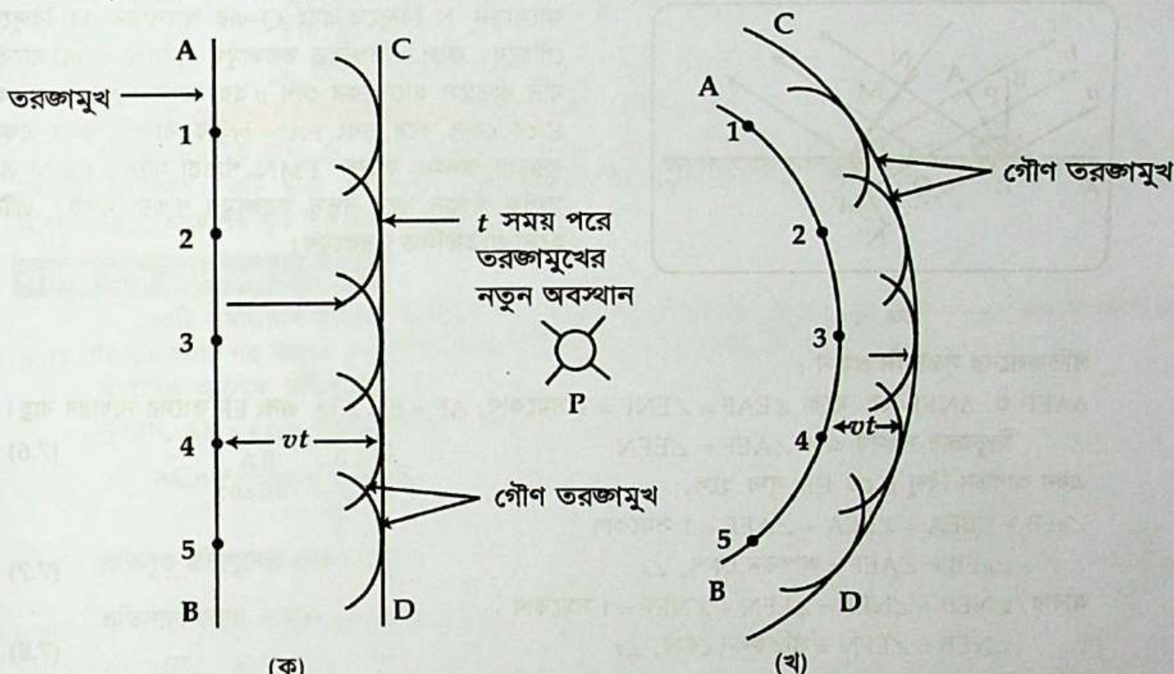
বিবৃতি : কোনো একটি তরঙ্গমুখের ওপর অবস্থিত প্রতিটি বিন্দু এক একটি অণু তরঙ্গের বা গৌণ তরঙ্গের উৎস হিসেবে বিবেচিত হয়। ওই গৌণ উৎসগুলো থেকে সৃষ্ট তরঙ্গমালা মূল তরঙ্গের সমান বেগে সামনের দিকে অগ্রসর হয়। যে কোনো সময়ে ওই সব গৌণ তরঙ্গমালাকে স্পর্শ করে একটি তল অঙ্কন করলে ওই তলই ওই সময়ের তরঙ্গমুখের নতুন অবস্থান নির্দেশ করে।

৭.৪.২ হাইগেনস-এর নীতি অনুসারে তরঙ্গমুখ-এর অবস্থান
Position of wave front according to Huygens's principle

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 তরঙ্গামুখের অবস্থান বের করতে হবে। তরঙ্গামুখের 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



চিত্র ৭.৫ : (ক) সমতল তরঙ্গের বেলায় ; (খ) গোলকীয় তরঙ্গের বেলায়।

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 তরঙ্গামুখের নতুন 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। ওই 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 তরঙ্গামুখের কোনো এক সময়ের অবস্থান AB দেখানো হয়েছে। এই তরঙ্গামুখের ওপর কয়েকটি বিন্দু নিয়ে ওপরের নিয়মে vt ব্যাসার্ধ নিয়ে বৃত্ত গোলীয় চাপ এঁকে একটি সাধারণ স্পর্শক CD আঁকলে CD হবে তরঙ্গামুখের নতুন অবস্থান। হাইগেনসের নীতি অনুসারে এটি সমতল তরঙ্গামুখ নির্দেশ করে।

সংজ্ঞা : কোনো তরঙ্গের উপর অবস্থিত সমদশাসম্পন্ন কণাগুলোর গতিপথকে তরঙ্গামুখ বলে।

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

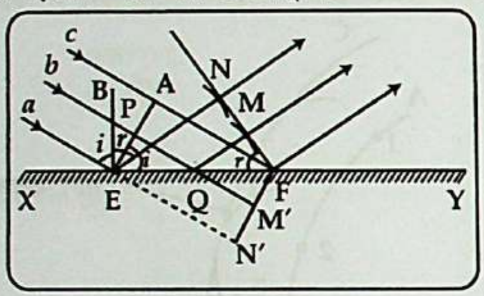
৭.৪.৩ হাইগেনসের নীতির ভিত্তিতে আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণ
Reflection and refraction of light on the basis of Huygens's principle

হাইগেনসের নীতি ব্যবহার করে আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্র বিশ্লেষণ করা যায়। নিম্নে তা বর্ণনা করা হলো।

৭.৪.৩.১ আলোর প্রতিফলন
Reflection of light

মনে করি, XY একটি সমতল প্রতিফলক তল। a, b, c তিনটি সমান্তরাল আলোক রশ্মি। এরা তির্যকভাবে XY তলের ওপর আপতিত হলো [চিত্র ৭.৬]। ধরি, EPA এই সমান্তরাল রশ্মিগুলোর তরঙ্গামুখ। 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। **এটিই হলো প্রতিফলিত তরঙ্গমুখ।**



চিত্র ৭.৬

প্রতিফলনের সূত্রাবলি প্রমাণ :

ΔAEF ও ΔNEF-এর মধ্যে $\angle EAF = \angle ENF = 1$ সমকোণ, $AF = EN = vt$ এবং EF তাদের সাধারণ বাহু।

$\therefore$ ত্রিভুজদ্বয় সর্বসম এবং $\angle AEF = \angle EFN$ ... ... (7.6)

এখন আপতন বিন্দু E-তে EB লম্ব হলে,

$\angle aEB + \angle BEA = \angle BEA + \angle AEF = 1$ 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।**

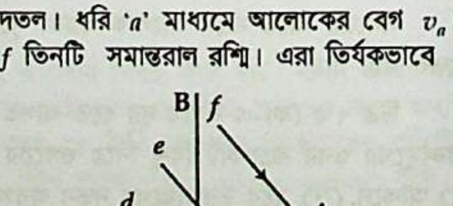
আবার, আপতিত রশ্মি aE, প্রতিফলিত রশ্মি EN এবং আপতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব EB কাগজের একই সমতলে অবস্থিত। **এ দ্বারা আলোকের প্রতিফলনের প্রথম সূত্রটি প্রমাণিত হলো।**

অতএব আলোকের তরঙ্গ তত্ত্বকে ভিত্তি করে প্রতিফলনের দুটি সূত্রই প্রমাণিত হলো।

৭.৪.৩.২ 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 ওই 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 ওপর FN স্পর্শক টানলে FMN প্রতিসৃত তরঙ্গমুখ নির্দেশ করবে।



চিত্র ৭.৭

প্রতিসরণের সূত্রাবলি প্রমাণ : E বিন্দু দিয়ে XY-এর ওপর লম্ব BEB′ অঙ্কন করি।

এখন, $\angle dEB + \angle BEA = \angle BEA + \angle AEF = 1$ সমকোণ

$\therefore$ $\angle dEB = \angle AEF =$ আপতন কোণ, $\angle i$

আবার, $\angle B'EN + \angle NEF = \angle NEF + \angle EFN = 1$ সমকোণ

$\therefore$ $\angle B'EN = \angle EFN =$ প্রতিসরণ কোণ, $\angle r$

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

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

${}_a\mu_b$ হলো a মাধ্যম সাপেক্ষে b মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক।

এটি দ্বারা স্নেলের সূত্র বা প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্রটি প্রমাণিত হলো।

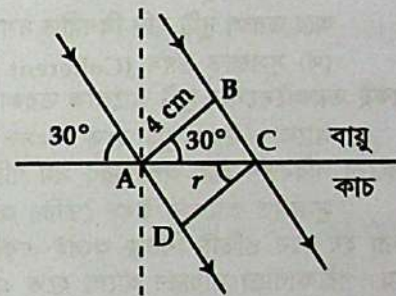
আবার আপতিত রশ্মি dE, প্রতিসৃত রশ্মি EN এবং আপতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব BEB′ কাগজের একই সমতলে অবস্থিত। এটি দ্বারা আলোকের প্রতিসরণের প্রথম সূত্রটি প্রমাণিত হলো। অতএব তরঙ্গ তত্ত্বের ভিত্তিতে আলোকের প্রতিসরণের দুটি সূত্র প্রমাণিত হলো।

গাণিতিক উদাহরণ ৭.২

১। একটি সমান্তরাল আলোক রশ্মিগুচ্ছ বায়ু থেকে কাচে আপতিত হলো। এর বেধ 4 cm এবং আপতন কোণ 30°। প্রতিসৃত হবার পর কাচের মধ্য দিয়ে রশ্মির বেধ কত হবে ? [কাচের প্রতিসরাঙ্ক = 1·5]

আপতিত আলোক রশ্মিগুচ্ছের বেধ = 4 cm

সুতরাং, AB = 4 cm, আপতন কোণ = 30°



$\therefore \quad AC = \frac{AB}{\cos 30°} = \frac{4}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{8}{\sqrt{3}}$

প্রতিসৃত রশ্মিগুচ্ছের বেধ = CD

প্রতিসরণ কোণ r হলে $\sin 30° = 1{\cdot}5 \sin r$ $\left[\because \frac{\sin i}{\sin r} = 1{\cdot}5\right]$

$\therefore \quad \sin r = \frac{1}{3}$

$\therefore \quad \cos r = \sqrt{1 - \frac{1}{9}} = \frac{\sqrt{8}}{3}$

ACD ত্রিভুজ থেকে,

$CD = AC \cos r = \frac{8}{\sqrt{3}} \times \frac{\sqrt{8}}{3} = 4{\cdot}35$ cm

২। পানি ও হীরকের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·33 এবং 2·4 হলে, হীরকে আলোর বেগ নির্ণয় কর। পানিতে আলোর বেগ $2{\cdot}28 \times 10^8$ ms^{-1}।

আমরা জানি,

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

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

$$\text{বা,} \quad v_d = \frac{2{\cdot}28 \times 10^8}{1{\cdot}805} = 1{\cdot}26 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

এখানে,

${}_a\mu_w = 1{\cdot}33$

${}_a\mu_d = 2{\cdot}4$

${}_w\mu_d = \frac{{}_a\mu_d}{{}_a\mu_w} = \frac{2{\cdot}4}{1{\cdot}33} = 1{\cdot}805$

$v_w = 2{\cdot}28 \times 10^8$ ms^{-1}

$v_d = ?$

৩। পানি ও কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·33 এবং 1·5 হলে কাচে আলোর বেগ কত ? পানিতে আলোর বেগ $2{\cdot}28 \times 10^8$ ms^{-1}। [রা. বো. ২০১০; সি. বো. ২০০৭]

আমরা জানি,

$${}^g_w\mu = \frac{c_g}{c_w}$$

$$\text{বা,} \quad \frac{\mu_w}{\mu_g} = \frac{c_g}{c_w}$$

$$\therefore \quad c_g = \frac{\mu_w}{\mu_g} \times c_w = \frac{1{\cdot}33}{1{\cdot}5} \times 2{\cdot}28 \times 10^8 = 2{\cdot}02 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

৭.৫ আলোকের ব্যতিচার
Interference of light

৭.৫.১ ধারণা
Concept

আমরা জানি, যখন দুটি সমান বিস্তার ও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের শব্দ চলতে চলতে একে অপরের ওপর আপতিত হয় তখন শব্দের প্রাবল্যের পর্যায়ক্রমিক হ্রাস বা বৃদ্ধি ঘটে। এ অধ্যায়ে আমরা লক্ষ করব আলোর ক্ষেত্রেও একই ঘটনা ঘটে। ইহাই আলোর ক্ষেত্রে ব্যতিচার। আলোকের ব্যতিচার আলোচনা করার পূর্বে (ক) **তরঙ্গের উপরিপাতন** এবং (খ) **সুসঙ্গত আলোক উৎস কী**—তাই আলোচনা করব।

(ক) তরঙ্গের উপরিপাতন (Superposition of waves) : দুটি তরঙ্গ কোনো মাধ্যমের কোনো একটি কণাকে একই সঙ্গে অতিক্রম করলে প্রতিটি তরঙ্গই কণাটিকে স্থানান্তরিত করবে। ফলে কণাটির একটি লব্ধি সরণ ঘটবে। এই লব্ধি সরণ তরঙ্গ দুটি কর্তৃক পৃথক পৃথক সরণের বীজগাণিতিক যোগফলের সমান হবে। **একে তরঙ্গের উপরিপাতন বলে।**

মনে করি দুটি তরঙ্গ কোনো মাধ্যমের কোনো একটি কণাকে একই সঙ্গে অতিক্রম করল। ধরি, তরঙ্গ দুটি কর্তৃক কণাটির পৃথক পৃথক সরণ যথাক্রমে y_1 ও y_2।

যদি তরঙ্গ দুটি একই দশায় আপতিত হয়, তবে কণাটির লব্ধি সরণ $y = y_1 + y_2$

আর তরঙ্গ দুটি যদি বিপরীত দশায় আপতিত হয় তবে লব্ধি সরণ $y = y_1 \sim y_2$

(খ) সুসঙ্গত উৎস (Coherent source) : দুটি উৎস হতে সমদশাসম্পন্ন বা কোনো নির্দিষ্ট দশা পার্থক্যের একই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুটি আলোক তরঙ্গ নিঃসৃত হলে তাদেরকে সুসঙ্গত উৎস বলে।

আলোক উৎস দুটি হতে নিঃসৃত তরঙ্গুলির দশা পার্থক্য সব সময় একই থাকে এবং একটি তরঙ্গের দশার কোনো পরিবর্তন হলে অপরটিরও সম পরিমাণ দশা পরিবর্তন হতে হবে।

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।

৭.৫.২ ব্যতিচার
Interference

দুটি সুসঙ্গত উৎস হতে নিঃসৃত দুটি আলোক তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে কোনো বিন্দুর আলোক তীব্রতা বৃদ্ধি পায় আবার কোনো বিন্দুর আলোক তীব্রতা হ্রাস পায়। এর ফলে কোনো তলে পর্যায়ক্রমে আলোক উজ্জ্বলতা বা অন্ধকার অবস্থার সৃষ্টি হয়। আলোর এই ঘটনাকে ব্যতিচার বলে।

কোনো বিন্দুতে ওই তরঙ্গ দুটি একই দশায় আপতিত হলে অর্থাৎ ওই বিন্দুতে উভয় তরঙ্গের তরঙ্গশীর্ষ বা তরঙ্গপাদ আপতিত হলে ওই 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 ওই বিন্দুতে একটি তরঙ্গের তরঙ্গশীর্ষ অপরটির তরঙ্গপাদ বা প্রথমটির তরঙ্গপাদ দ্বিতীয়টির তরঙ্গশীর্ষের সাথে মিলিত হলে লব্ধি বিস্তার শূন্য হবে। ফলে বিন্দুটি অন্ধকার দেখাবে। এটিই 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। গঠনমূলক ব্যতিচারে তরঙ্গ দুটির উপরিপাতন সমদশায় হয়ে থাকে।

ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার (Destructive interference) : দুটি উৎস হতে সমান কম্পাঙ্ক ও বিস্তারের দুটি আলোক তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে অন্ধকার বিন্দু পাওয়া গেলে তাকে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার বলে। ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারে তরঙ্গ দুটির উপরিপাতন বিপরীত দশায় হয়ে থাকে।

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 $n = 0, \pm 1, \pm 2 \cdots\cdots$ 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 জন্য চিড়ের প্রস্থ আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ক্রমের হতে হয়।

জানার বিষয় : আলো একটি আড় তরঙ্গ। ইহা ব্যতিচারের মাধ্যমে ব্যাখ্যা করা যায়।

৭.৫.৩.১ ব্যতিচারের শর্তাবলি
Conditions for interference

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 $(\lambda/2)$ যুগ্ম ও অযুগ্ম গুণিতক হতে হবে।

উপরোক্ত শর্তসমূহ পালিত হলে ব্যতিচার পাওয়া যাবে।

৭.৫.৩.২ আলোকের ব্যতিচারের বৈশিষ্ট্য
Characteristics of interference

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।

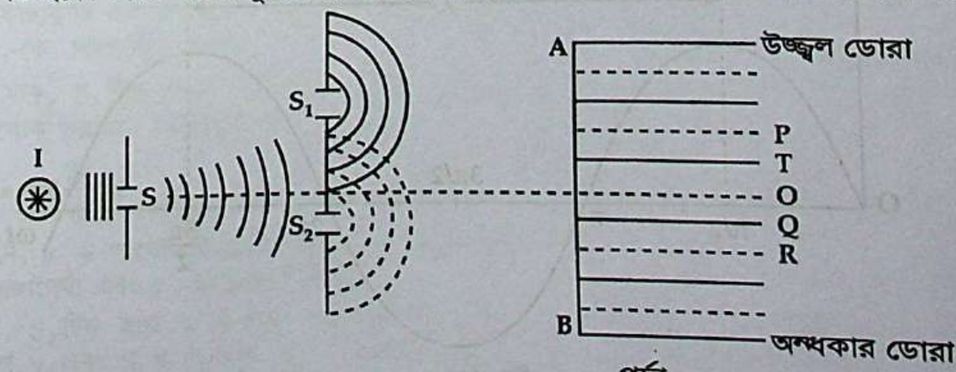
৫। ব্যতিচারে সব উজ্জ্বল পট্টিগুলোর আলোক প্রাবল্য সমান থাকে।

৭.৬ 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 ওপর 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 ৭৮

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।

৭.৭ দশা পার্থক্য ও পথ পার্থক্যের মধ্যে সম্পর্ক
Relation between phase difference and path difference

ক. গাণিতিক পদ্ধতি (Mathematical method)

মনে করি λ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একরঙা আলোর দুটি উৎস S_1 ও S_2 [চিত্র ৭.৯] হতে একই সঙ্গে নির্গত আলোক তরঙ্গ প্রায় একই দিকে c বেগে সঞ্চালিত হয়ে P বিন্দুতে উপরিপাতিত হয়।

যে কোনো t সময়ে P বিন্দুতে আলোক তরঙ্গের সরণ S_1 থেকে আগত তরঙ্গের জন্য y_1 এবং S_2 থেকে আগত তরঙ্গের জন্য y_2 হলে

$$y_1 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(ct - x_1) \text{ এবং } y_2 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(ct - x_2)$$

P বিন্দুতে S_1 ও S_2 থেকে আগত তরঙ্গের দশা কোণ যথাক্রমে $\frac{2\pi}{\lambda}(ct - x_1)$ এবং $\frac{2\pi}{\lambda}(ct - x_2)$

∴ P বিন্দুতে তরঙ্গদ্বয়ের দশা পার্থক্য

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(ct - x_1) - \frac{2\pi}{\lambda}(ct - x_2)$$

$$= \frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1)$$

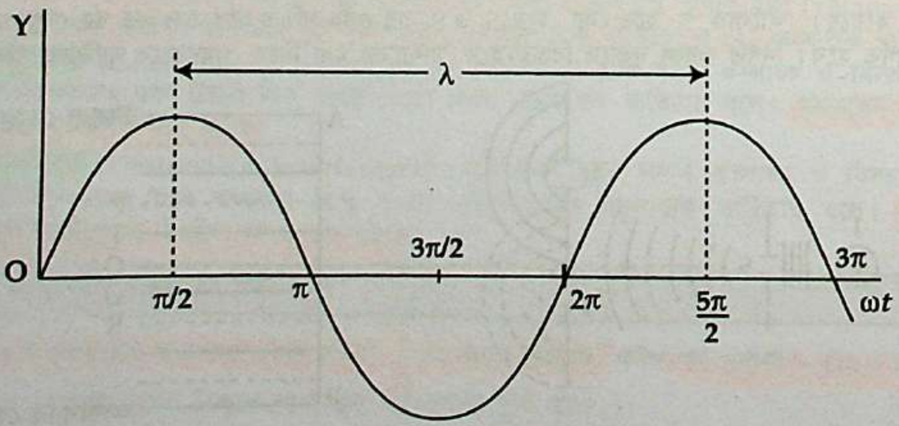
$$= \frac{2\pi}{\lambda}(S_2P - S_1P)$$

কিন্তু $x_2 - x_1 = S_2P - S_1P$ হচ্ছে তরঙ্গ দুটির পথ পার্থক্য।

∴ দশা পার্থক্য, $\delta = \frac{2\pi}{\lambda} \times$ পথ পার্থক্য

খ. লেখচিত্রের মাধ্যমে (By graphical method)

আমরা জানি, কোনো তরঙ্গের দুটি তরঙ্গশীর্ষ বা তরঙ্গ পাদ-এর দূরত্ব হচ্ছে তরঙ্গদৈর্ঘ্য, λ এবং ওই দুটি বিন্দুর মধ্যে দশা পার্থক্য $= 2\pi$ [চিত্র ৭.৯]



চিত্র ৭.৯

অতএব, পথ পার্থক্য λ-এর জন্য দশা পার্থক্য $= 2\pi$

পথ পার্থক্য l-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, $\delta = \frac{2\pi}{\lambda} x$ ... ... (7.10)

সমীকরণ (7.10) দশা ও পথ পার্থক্যের মধ্যে সম্পর্ক নির্দেশ করে।

গাণিতিক উদাহরণ ৭.৩

১। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{4}$। বিন্দুদ্বয়ের দশা পার্থক্য কত ?

[য. বো. ২০১৯; ব. বো. ২০১৯]

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 = ?

২। $\frac{\pi}{3}$ দশা পার্থক্যের সদৃশ দুটি অস্থায়ী তরঙ্গ একই দিকে ধাবিত হচ্ছে। এদের বিস্তার যথাক্রমে 4 এবং 5 একক হলে লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার কত?

[BUET Admission Test, 2015–16]

আমরা জানি,

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos\alpha}$$

$$= \sqrt{(4)^2 + (5)^2 + 2 \times 4 \times 5 \cos\frac{\pi}{3}}$$

$= 7{\cdot}81$ একক

এখানে,

দশা পার্থক্য, $\alpha = \frac{\pi}{3}$

$A_1 = 4$ একক

$A_2 = 5$ একক

৭.৮ ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষার ব্যাখ্যা
Explanation of Young's double slit experiment

হাইগেনসের নীতি ব্যবহার করে ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় সৃষ্ট ব্যতিচার ব্যাখ্যা করা যায়। চিড় S গোলীয় তরঙ্গমুখ প্রেরণ করে। S_1 ও S_2 থেকে S এর দূরত্ব সমান হওয়ায় একই সময়ে একই তরঙ্গমুখ S_1 ও S_2-তে এসে পৌঁছায়। এই তরঙ্গমুখের ওপর অবস্থিত S_1 ও S_2 বিন্দু এখন গৌণ তরঙ্গ নিঃসৃত করে যেগুলো পরস্পরের সাথে একই দশায় থাকে। সুতরাং S_1 ও S_2 চিত্র থেকে নিঃসৃত গৌণ তরঙ্গসমূহ সুসঙ্গত। কেননা তাদের কম্পাঙ্ক ও বিস্তার একই। এখন S_1 ও S_2 থেকে নিঃসৃত তরঙ্গ দুটি উপরিপাতিত হয়ে ব্যতিচার সৃষ্টি করে। সমদশাসম্পন্ন কণাগুলো উপরিপাতিত হয়ে গঠনমূলক এবং বিপরীত দশাসম্পন্ন কণাগুলোর উপরিপাতনের ফলে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার সৃষ্টি হয়। ৭.১০ চিত্রে হাইফেন (-) লাইন দ্বারা গঠনমূলক এবং সলিড লাইন দ্বারা ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার বুঝানো হয়েছে।

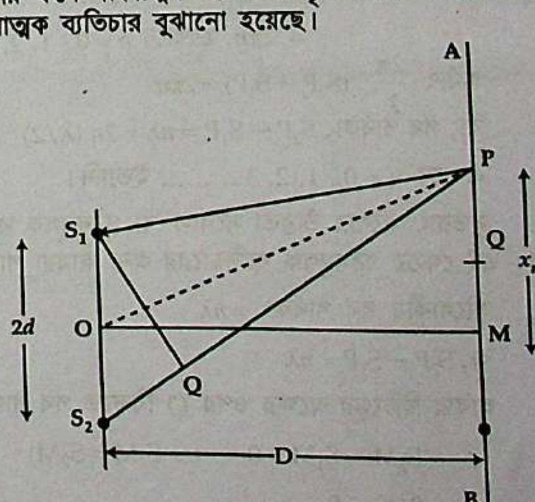
ধরা যাক, একটি সূক্ষ্ম চিড় S, λ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণী আলোক দ্বারা আলোকিত। S হতে নির্গত গোলাকৃতির আলোক তরঙ্গ S-এর কাছাকাছি এবং সমদূরত্বে অবস্থিত দুটি সমান্তরাল চিড় S_1 ও S_2-কে আলোকিত করে।

ধরা যাক, S_1 চিড় হতে P বিন্দুতে [চিত্র ৭.১০] আপতিত আলোক তরঙ্গের সমীকরণ

$$y_1 = a \sin\frac{2\pi}{\lambda}\, vt \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.11)$$

এখানে, y_1 = আলোক তরঙ্গের সরণ, v = তরঙ্গের বেগ, λ = তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং a = তরঙ্গের বিস্তার।

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,



চিত্র ৭.১০

$$y_2 = a \sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt + x) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.12)$$

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।

দ্বি-চিড় পরীক্ষার ফলাফল :

(১) দ্বি-চিড় পরীক্ষায় আলোর ব্যতিচার ঘটে।

(২) যেহেতু আলোর তরঙ্গের দরুন ব্যতিচার ঘটে, কাজেই আলো এক প্রকার তরঙ্গ। দ্বি-চিড় পরীক্ষা আলোর তরঙ্গ তত্ত্বকে সমর্থন করে।

ব্যতিচারের শর্তাবলি :

১. গঠনমূলক ব্যতিচার বা 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, $x = n\lambda = 2n\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ ... ... (7.13)

সুতরাং, আলোর তীব্রতা সর্বোচ্চ অর্থাৎ উজ্জ্বল হওয়ার শর্ত হলো পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$-এর যুগ্ম গুণিতক হতে হবে।

দুটি তরঙ্গ যখন একই দশায় মিলিত হয় তখন লব্ধি তরঙ্গের বিস্তার তথা তীব্রতা সর্বাধিক হয় ফলে উজ্জ্বল ডোরার সৃষ্টি হয় বা গঠনমূলক ব্যতিচার ঘটে। অর্থাৎ গঠনমূলক ব্যতিচার সৃষ্টি হবে যখন,

দশা পার্থক্য, $\delta = 0, 2\pi, 4\pi, 6\pi$ .... ইত্যাদি π এর জোড় গুণিতক

$= 2\pi n$, যেখানে $n = 0, 1, 2, 3$ .... ইত্যাদি।

অর্থাৎ $\frac{2\pi}{\lambda}(S_2P - S_1P) = 2\pi n$

বা, পথ পার্থক্য, $S_2P - S_1P = n\lambda = 2n(\lambda/2)$

এখানে $n = 0, 1, 2, 3$ .... ইত্যাদি।

সুতরাং আলোর তীব্রতা সর্বোচ্চ বা গঠনমূলক ব্যতিচারের শর্ত হলো পথ পার্থক্য $(\lambda/2)$ এর যুগ্ম গুণিতক হতে হবে। এই ক্ষেত্রে গঠনমূলক ব্যতিচারের জন্য আমরা পাই,

আলোকীয় পথ পার্থক্য $= n\lambda$

বা, $S_2P - S_1P = n\lambda$ ... ... [7.13(a)]

আবার দ্বিচিড়ের অক্ষের ওপর O বিন্দুতে পথ পার্থক্য

$= S_2M - S_1M = 0 \quad (\because S_1M = S_2M)$

$= 0 \times \lambda = 0$

সুতরাং M বিন্দুতে একটি উজ্জ্বল ডোরা সৃষ্টি হয়। এটিকে অনেক সময় কেন্দ্রীয় চরম বলা হয়।

M থেকে প্রথম উজ্জ্বল ডোরাটি পাওয়া যাবে P-তে যেখানে $n = 1$ এবং পথ পার্থক্য $= S_2P - S_1P = 1 \times \lambda$

২. ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার বা অন্ধকার বিন্দুর শর্ত : বিস্তার তথা প্রাবল্য সর্বনিম্ন হবে অর্থাৎ ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার হবে, যখন—

$$\cos\frac{\pi x}{\lambda} = 0$$

বা, $$\frac{\pi x}{\lambda} = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (2n+1)\frac{\pi}{2}$$

বা, $$x = (2n+1)\frac{\lambda}{2} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (7.14)$$

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।

যখন ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার ঘটে, তখন অন্ধকার ডোরা পাওয়া যায় এবং সাধারণভাবে তা ঘটে যখন তরঙ্গ দুটি বিপরীত দশায় মিলিত হয় অর্থাৎ যখন দশা পার্থক্য $\delta = \pi, 3\pi, 5\pi, 7\pi$ .... ইত্যাদি π এর বিজোড় গুণিতক $(2n+1)\pi$, যেখানে $n = 0, 1, 2, 3$ .... ইত্যাদি।

অর্থাৎ যখন $\frac{2\pi}{\lambda}(S_2P - S_1P) = (2n+1)\pi$

অতএব, পথ পার্থক্য, $S_2P - S_1P = (2n+1)\lambda/2$

সুতরাং আলোর তীব্রতা সর্বনিম্ন বা অন্ধকার হওয়ার শর্ত হলো পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$-এর অযুগ্ম গুণিতক হতে হবে।

অর্থাৎ পথ পার্থক্য $$= \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad [7.14(a)]$$

যেখানে, $n = 1, 2, 3$ ইত্যাদি

৭·১০ চিত্রে Q বিন্দুতে একটি অন্ধকার ডোরা সৃষ্টি হয় এবং M থেকে এটিই প্রথম অন্ধকার ডোরা। সুতরাং $n = 1$ এবং পথ পার্থক্য—

$$S_2Q - S_1Q = \left(1 + \frac{1}{2}\right)\lambda = \frac{3\lambda}{2}$$

৭·৯ পরপর দুটি উজ্জ্বল বা অন্ধকার ডোরার কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব এবং ডোরার প্রস্থ

Distance between two consecutive centres of the dark or bright bands and width of the bands

১. উজ্জ্বল বা অন্ধকার ডোরার দূরত্ব

Distance of bright or dark bands

চিত্র ৭·১০ হতে আমরা পাই,

$(S_1P)^2 = D^2 + (x_n - d)^2$; x_n = দুটি উজ্জ্বল ও অন্ধকার পট্টির কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব

এবং $(S_2P)^2 = D^2 + (x_n + d)^2$

$$\therefore \quad (S_2P)^2 - (S_1P)^2 = \{D^2 + (x_n + d)^2\} - \{D^2 + (x_n - d)^2\}$$
$$= (x_n + d)^2 - (x_n - d)^2$$

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 ওপর S_1Q লম্ব টানি। সুতরাং এই দুটি তরঙ্গের পথ পার্থক্য

$$\sigma = S_2Q = (S_2P - S_1P) = \frac{2x_n d}{D} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7.15)$$

এখন সমীকরণ (7.15) হতে জানি, n-তম উজ্জ্বল ডোরার জন্য পথ পার্থক্য $n\lambda$-এর সমান হতে হবে।

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

$$\text{বা, } x_n = \frac{D}{2d} n\lambda$$

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

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

$\therefore$ পরপর দুটি উজ্জ্বল ডোরার কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব বা ব্যবধান

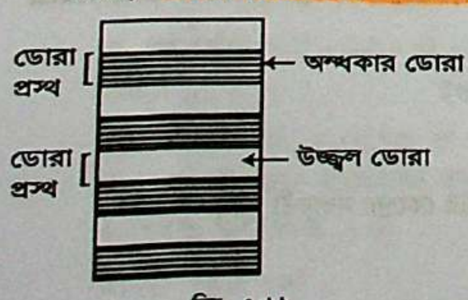
$$\begin{aligned} \text{অর্থাৎ } \beta &= x_{n+1} - x_n \\ &= \frac{D}{2d}(n+1)\lambda - \frac{D}{2d} n\lambda \\ &= \frac{D}{2d}\lambda \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7.16) \end{aligned}$$

সুতরাং যেকোনো দুটি উজ্জ্বল ডোরার ব্যবধান, $\beta = \frac{D\lambda}{2d}$

উজ্জ্বল ঝালরের বা ডোরার অবস্থান

ঝালর বা ডোরা	n	পথ পার্থক্য	কেন্দ্র হতে দূরত্ব, x
কেন্দ্রীয়	0	0	0
প্রথম	1	λ	$\frac{D\lambda}{2d}$
দ্বিতীয়	2	2λ	$\frac{2D\lambda}{2d}$
....	....	....	....
n-তম	n	$n\lambda$	$\frac{nD\lambda}{2d}$

আবার, অন্ধকার ডোরার জন্য পথ পার্থক্য $(2n+1)\frac{\lambda}{2}$-এর সমান হতে হবে [সমীকরণ (7.14)]



চিত্র ৭·১১

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

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

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= \frac{D}{2d}[(2(n+1)+1]\frac{\lambda}{2} \\ &= \frac{D}{2d}(2n+3)\frac{\lambda}{2} \end{aligned}$$

$\therefore$ পরপর দুটি অন্ধকার ডোরার কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব

$$\begin{aligned} \text{অর্থাৎ, } \beta &= (x_{n+1}) - x_n \\ &= \frac{D}{2d}(2n+3)\frac{\lambda}{2} - \frac{D}{2d}(2n+1)\frac{\lambda}{2} \\ &= \frac{D}{2d}\lambda \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7.17) \end{aligned}$$

অন্ধকার ঝালরের বা ডোরার অবস্থান

ঝালর বা ডোরা	n	পথ পার্থক্য	কেন্দ্র হতে দূরত্ব, x
কেন্দ্রীয়	1	$\frac{1}{2}\lambda$	$\frac{1}{2}\frac{D\lambda}{2d}$
প্রথম	2	$\frac{3}{2}\lambda$	$\frac{3}{2}\frac{D\lambda}{2d}$
দ্বিতীয়	3	$\frac{5}{2}\lambda$	$\frac{5}{2}\frac{D\lambda}{2d}$
....	....	....	....
n-তম	m	$\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda$	$\left(\frac{2m+1}{2}\right)\frac{D\lambda}{2d}$

২. ডোরার প্রস্থ
Width of bands

এখন একটি উজ্জ্বল বা অন্ধকার ডোরার প্রস্থ বা বেধ (width) দুটি অন্ধকার ডোরা বা দুটি উজ্জ্বল ডোরার ব্যবধানের অর্ধেক। সুতরাং ডোরার প্রস্থ বা বেধ,

$$b=\frac{\lambda D/2d}{2}=\frac{\lambda D}{4d} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.18)$$

সমীকরণ (7.18) হতে দেখা যায় যে—

(i) b এর রাশিমালায় n নেই। সুতরাং, এটি স্পষ্ট যে ব্যতিচার ঝালরের প্রস্থ ঝালর সংখ্যার ওপর নির্ভর করে না। অর্থাৎ সকল ঝালর একই প্রস্থের।

(ii) ঝালর প্রস্থ আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ-এর সমানুপাতিক। তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি হলে b বেশি হবে অর্থাৎ ঝালরের প্রস্থ বেশি হবে বা মোটা হবে এবং b কম হলে ঝালর সরু হবে। তাই লাল ঝালরের প্রস্থ বেশি, পক্ষান্তরে বেগুনি ঝালরের প্রস্থ কম।

(iii) D-এর মান বেশি হলে এবং d এর মান কম হলে ঝালরের প্রস্থ বেশি হবে।

(iv) পানি বা কোনো তরলে পরীক্ষণ ব্যবস্থাটি ডুবালে তরঙ্গদৈর্ঘ্য হ্রাস পায় $\left(\lambda'=\frac{\lambda}{\mu}\right)$। সুতরাং ঝালরের প্রস্থ কমে।

সিদ্ধান্ত : ডোরা বা ঝালরের প্রস্থ (β) তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) এর সমানুপাতিক তাই আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেড়ে গেলে ডোরার প্রস্থ বেশি হবে আবার তরঙ্গদৈর্ঘ্য ছোট হলে ডোরার প্রস্থ কম হবে। সমীকরণ (7.16) ও (7.17) 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 চিড় দুটি কাছাকাছি থাকলে ডোরার প্রস্থ বাড়ে। এই পরীক্ষা সিদ্ধান্ত দুটিকে সমর্থন করে।

হিসাব : ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় চিড় দুটির মধ্যে দূরত্ব 0·8 mm এবং চিড়গুলি থেকে পর্দার দূরত্ব 1 m। চিড়গুলিকে 5890×10^{-10} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণী আলো দ্বারা আলোকিত করা হলে উজ্জ্বল ডোরার প্রস্থ নির্ণয় কর।

Hints : ডোরার প্রস্থ, $b=\frac{D\lambda}{2\times 2d}=\frac{1\times5890\times10^{-10}}{2\times0{\cdot}8\times10^{-3}}$
$=0{\cdot}37\times10^{-3}\text{ m}=0{\cdot}37\text{ mm}$

ঝালরের কৌণিক বেধ
Angular width of the fringe

পর্দায় n-তম ঝালর বা ডোরার কৌণিক অবস্থান θ_n হলে, আমরা পাই

$$\theta_n=\frac{x_n}{D}=\frac{Dn\lambda/2d}{D}=\frac{n\lambda}{2d}$$

এবং $(n+1)$-তম ঝালরের কৌণিক অবস্থান,

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

সুতরাং, পরপর দুটি ঝালরের মধ্যে কৌণিক অবস্থানের পার্থক্য বা ব্যবধান অর্থাৎ ঝালরের কৌণিক বেধ,

$$\theta = \theta_{n+1} - \theta_n = \frac{(n+1)\lambda}{2d} - \frac{n\lambda}{2d} = \frac{\lambda}{2d} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

সমীকরণ (i) হতে দেখা যায় যে—

(ক) এই কৌণিক বেধ পর্দার অবস্থানের ওপর নির্ভর করে না।

(খ) সুসংগত উৎস দুটির মধ্যে দূরত্ব ($2d$) বাড়লে কৌণিক বেধ কমবে এবং দূরত্ব কমলে কৌণিক বেধ বাড়বে।

(গ) কৌণিক বেধ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ওপর নির্ভর করবে। তরঙ্গদৈর্ঘ্য বাড়লে θ বাড়বে, আবার λ কমলে θ কমবে। যদি সমগ্র পরীক্ষণ ব্যবস্থাটি μ প্রতিসরাঙ্কের তরলে নিমজ্জিত করা হয় তবে কৌণিক বেধ কমবে, কেননা $\lambda_{\text{তরল}} < \lambda_{\text{বায়ু}}$ ।

গাণিতিক উদাহরণ ৭.৪

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

[চ. বো. ২০১২; সি. বো. ২০০৬, রা. বো. ২০০৫]

আমরা জানি,

$$x_n = \frac{D\lambda}{2 \times 2d}$$ [পরপর দুটি উজ্জ্বল ও অন্ধকার পট্টির মধ্যবর্তী ব্যবধান বুঝাতে 2 দ্বারা গুণ করা হয়েছে]

$$= \frac{1 \times 5000 \times 10^{-10}}{2 \times 4 \times 10^{-4}} = 0·625 \times 10^{-3}\ \text{m}$$

$$= 0·625\ \text{mm}$$

এখানে,

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

$D = 1\ \text{m}$

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

$x_n = ?$

২। একটি ইয়ং-এর দ্বি-চিড় 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, $$\lambda = \frac{x_n \times 2d}{nD}$$

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

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

এখানে,

$n = 12$

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

$D = 1\ \text{m}$

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

৩। বায়ুতে ইয়ং–এর দ্বি–চিড় পরীক্ষায় 6000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করলে ডোরার ব্যবধান হয় 2·0 mm। যদি সমস্ত পরীক্ষা যন্ত্রটিকে 1·33 প্রতিসরাঙ্কের একটি তরলে ডুবানো হয় তাহলে ডোরার ব্যবধান কত হবে?

[BUET Admission Test, 2013–14]

আমরা জানি,

$$\frac{\lambda_a}{\lambda_l} = \frac{\mu_l}{\mu_a} = \frac{x_a}{x_l}$$

$$\therefore x_l = \frac{\mu_a}{\mu_l} \times x_a$$

$$= \frac{1}{1·33} \times 2\text{mm}$$

$$= 1·504\ \text{mm}$$

৪। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় আলোর কম্পাঙ্ক 6×10^{14} Hz। পার্শ্ববর্তী দুটি ডোরার কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·75 mm। পর্দাটি যদি 1·55 m দূরে থাকে তাহলে চিড় দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব কত ?

মনে করি চিড় দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব = $2d$

আমরা জানি,

$$c = \upsilon\lambda$$

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

আবার, $2d = \frac{D\lambda}{\beta} = \frac{1.55 \times 5 \times 10^{-7}}{0.75 \times 10^{-3}}$

$= 1.03 \times 10^{-3}\text{ m} = 1.03\text{ mm}$

এখানে,

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

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

$D = 1.55\text{ m}$

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

$2d = ?$

৫। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় চিড় দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·18 mm। চিড়গুলো থেকে 90 cm দূরে পর্দায় কোনো একটি একবর্ণী আলোর সাহায্যে ডোরা সৃষ্টি করা হলে, যদি 3rd উজ্জ্বল ডোরাটি কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল ডোরা থেকে 8·1 mm দূরত্বে অবস্থিত হয়, তাহলে আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [BUET Admission Test, 2017–18]

আমরা জানি,

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

$$\therefore \lambda = \frac{x_n 2d}{nD} = \frac{8.1 \times 10^{-3} \times 1.8 \times 10^{-4}}{3 \times 0.9}$$

$$= 5.4 \times 10^{-7}\text{ m}$$

এখানে,

$x_n = 8.1\text{ mm} = 8.1 \times 10^{-3}\text{ mm}$

$n = 3$

$2d = 0.18\text{ mm} = 1.8 \times 10^{-4}\text{ m}$

$D = 90\text{ m} = 0.9\text{ m}$

৬। ইয়ং-এর ব্যতিচারের দ্বি-চিড় পরীক্ষায় 4.69×10^{14} Hz কম্পাঙ্কের লাল আলো ব্যবহারের ফলে ডোরার প্রস্থ 2.4×10^{-4} m হয়। যদি 7.5×10^{14} Hz কম্পাঙ্কের নীল আলো ব্যবহার করা হয় তাহলে ডোরার প্রস্থের পরিবর্তন কত হবে? [BUET Admission Test, 2016–17]

লাল আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$$\lambda_R = \frac{c}{\upsilon_r} = \frac{3 \times 10^8}{4.69 \times 10^{14}} = 6.397 \times 10^{-7}\text{ m} = 6.4 \times 10^{-7}\text{ m}$$

নীল আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$$\lambda_B = \frac{c}{\upsilon_b} = \frac{3 \times 10^8}{7.5 \times 10^{14}} = 4 \times 10^{-7}\text{ m}$$

লাল আলোর জন্য ডোরার প্রস্থ,

$$X_{nR} = \frac{nD}{2d}\lambda_R$$

$$\therefore \frac{nD}{2d} = 2.4 \times 10^{-4} \times \frac{1}{6.4 \times 10^{-7}} = 375$$

নীল আলোর জন্য ডোরা প্রস্থ,

$$X_{nB} = \frac{nD}{2d}\lambda_B = 375 \times 4 \times 10^{-7} = 1.5 \times 10^{-4}\text{ m}$$

$$\therefore \Delta x_n = X_{nR} - X_{nB} = 2.4 \times 10^{-4} - 1.5 \times 10^{-4} = 0.9 \times 10^{-4}\text{ m} = 9 \times 10^{-5}\text{ m}$$

এখানে,

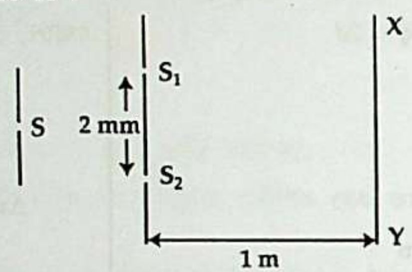
লাল আলোর কম্পাঙ্ক, $\upsilon_g = 4.69 \times 10^{14}$ Hz

নীল আলোর কম্পাঙ্ক, $\upsilon_b = 7.5 \times 10^{14}$ Hz

ডোরার প্রস্থ $= 2.4 \times 10^{-4}$ m

ডোরার প্রস্থ পরিবর্তন, $\Delta x = ?$

৭। নিচের চিত্রে ইয়ং-এর দ্বি–চিড় পরীক্ষার একটি ব্যবস্থা দেখানো হয়েছে। যেখানে S_1 ও S_2 দুটি সুসংগত উৎস। ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5800 Å।



পর্দার দূরত্ব 20 cm বৃদ্ধি করে একই প্রস্থের ডোরা পাওয়া সম্ভব কী ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

আমরা জানি, ডোরার প্রস্থ,

$$x = \frac{\lambda D}{2d} = \frac{5800 \times 10^{-10} \times 1}{2 \times 10^{-3}}$$
$$= 2{\cdot}9 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

এখানে,
$\lambda = 5800$ Å $= 5800 \times 10^{-10}$ m
$2d = 2\ \text{mm} = 2 \times 10^{-3}$ m
$D = 1$ m
$x = ?$

পর্দার দূরত্ব 20 cm বৃদ্ধি করে একই প্রস্থের ডোরা পাওয়া সম্ভব। সেক্ষেত্রে ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য পরিবর্তন করতে হবে।

পরিবর্তিত পর্দার দূরত্ব, $D' = 1\text{m} + 20\ \text{cm} = 1{\cdot}2$ m

ধরি, পরিবর্তিত তরঙ্গ দৈর্ঘ্য $= \lambda'$

$$\therefore \quad x' = \frac{\lambda' D'}{2d}$$

$$\text{বা,}\ \lambda' = \frac{2dx'}{D'} = \frac{2 \times 10^{-3} \times 2{\cdot}9 \times 10^{-4}}{1{\cdot}2}$$
$$= 4{\cdot}833 \times 10^{-7}\ \text{m} = 4833 \times 10^{-10}$$
$$= 4833\ \text{Å}$$

সুতরাং পর্দার দূরত্ব 20 cm বৃদ্ধি করে একই প্রস্থের ডোরা পেতে হলে 4833 Å এর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করতে হবে।

৮। নীল LED হতে নিঃসৃত আলো একটি অপবর্তন গ্রেটিং–এর ওপর লম্বভাবে আপতিত হয়। এ অপবর্তন গ্রেটিং–এ 25·4 mm প্রস্থে সমব্যবধানে $1{\cdot}26 \times 10^4$টি রেখা টানা আছে। কেন্দ্রীয় অক্ষ হতে কত ডিগ্রি কোণে দ্বিতীয় চরম উৎপন্ন হবে? নীল আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = 450 \times 10^{-9}$ m। [BUET Admission Test, 2014–15]

আমরা জানি,

$$1\ \text{m-এ রেখার সংখ্যা}\ N = \frac{1{\cdot}26 \times 10^4 \times 1}{25{\cdot}4 \times 10^{-3}} = 4{\cdot}96 \times 10^5\ \text{টি}$$

$$\therefore \quad d = \frac{1}{N} = 2{\cdot}0159 \times 10^{-6}\ \text{m}$$

$$d \sin\theta = n\lambda$$

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{n\lambda}{d}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{2 \times 450 \times 10^{-9}}{2{\cdot}0159 \times 10^{-6}}\right) = 26{\cdot}52°$$

৯। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় রেখা ছিদ্র পরীক্ষায় ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5890 Å এবং ছিদ্রদ্বয়ের মধ্যে দূরত্ব, $2d = 1$ mm। ছিদ্রদ্বয় ও পর্দার মধ্যে দূরত্ব D। কৌণিক বিস্তারের মান নির্ণয় কর।

আমরা জানি, কৌণিক ব্যবধান,

$$\theta = \frac{\lambda}{2d}$$
$$= \frac{5890 \times 10^{-10}}{1 \times 10^{-3}} \times \frac{180}{\pi}$$
$$= 0{\cdot}03°$$

এখানে,
$\lambda = 5890$ Å $= 5890 \times 10^{-10}$ m
$2d = 1\ \text{mm} = 1 \times 10^{-3}$ m
$\theta = ?$

১০। 5200 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সবুজ আলো একটি সূক্ষ্ম চিড় হতে ইয়ং–এর দ্বি–চিড় এ আপতিত হচ্ছে। 200 cm দূরে পর্দার ওপর 10টি পট্টির দূরত্ব 4 cm। চিড়ের দূরত্ব নির্ণয় কর। [KUET Admission Test, 2003–04]

আমরা জানি,

$$\Delta x = \frac{n\lambda D}{2d}$$

$$\therefore \quad 2d = \frac{n\lambda D}{\Delta x} = \frac{10 \times 5200 \times 10^{-10} \times 2}{0.04}$$

$$= 2.6 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

এখানে,

$\lambda = 5200\ \text{Å} = 5200 \times 10^{-10}\ \text{m}$

$D = 200\ \text{cm} = 2\ \text{m}$

$\Delta x = 4\ \text{cm} = 0.04\ \text{m}$

১১। 1.5 m দূরে অবস্থিত পর্দায় পরস্পর থেকে 0.03 cm দূরত্বে ডোরা তৈরি হলো। কেন্দ্রীয় চরম থেকে 1 cm দূরে চতুর্থ উজ্জ্বল ডোরাটি তৈরি হলো। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

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

$$\therefore \quad \lambda = \frac{x_n \times 2d}{nD} = \frac{10^{-2} \times 3 \times 10^{-4}}{4 \times 1.5}$$

$$= 5 \times 10^{-7}\ \text{m} = 5000\ \text{Å}$$

এখানে,

ক্রম সংখ্যা, $n = 4$

চির দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব, $2d = 0.03$ cm

$\therefore \ 2d = 3 \times 10^{-4}$ m

কাজ : দুটি একই ধরনের আলোক উৎস ব্যতিচার সৃষ্টি করতে পারে না —ব্যাখ্যা কর।

আলোর ব্যতিচার সৃষ্টির শর্ত হলো— (১) ব্যতিচার সৃষ্টিকারী উৎস দুটিকে সুসংগত হতে হবে এবং (২) যে দুটি তরঙ্গের উপরিপাতের ফলে ঝালর তৈরি হবে তাদের দশা পার্থক্য সর্বক্ষণের জন্য অপরিবর্তিত থাকতে হবে। কিন্তু দুটি একই আলোর উৎস ওপরের শর্ত পূরণ করে না, তাই ব্যতিচার সৃষ্টি করতে পারে না।

সম্প্রসারিত কাজ : ব্যতিচার সৃষ্টিকারী দুটি তরঙ্গের একটির পথে একটি পাতলা কাচ প্লেট রাখলে ঝালরের কি পরিবর্তন হবে ?

ব্যতিচার সৃষ্টিকারী দুটি তরঙ্গের যে কোনো একটির পথে t বেধের একটি পাতলা কাচ প্লেট রাখলে তরঙ্গদ্বয়ের মধ্যে $(\mu - 1)t$ পরিমাণ অতিরিক্ত পথ পার্থক্যের সৃষ্টি হবে। এখানে μ = কাচের প্রতিসরাঙ্ক। ফলে সমগ্র ব্যতিচার ঝালর, কাচ প্লেটের যেদিকে রাখা হয়েছে সেদিকে সরে যাবে। কিন্তু ব্যতিচার ঝালরে সরণ ঘটলেও ঝালর প্রস্থের কোনো পরির্বতন হবে না।

হিসাব কর : দুটি একই ধরনের ছিদ্র দ্বারা গঠিত ব্যতিচার ঝালরে কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল পট্টির তীব্রতা I। যদি একটি চিড় বন্ধ করে দেওয়া হয় তবে ওই স্থানে তীব্রতা কত হবে ?

ধরা যাক, তরঙ্গ দুটির প্রতিটির বিস্তার, A

$\therefore \quad A_{max} = A + A = 2A$

সুতরাং, $I_{max} = A^2_{max} = (2A)^2 = 4A^2 = 4I_0$ [এখানে, I_0 প্রতিটি চিড়ের জন্য তীব্রতা]

এখন, একটি চিড় বন্ধ করে দিলে ওই স্থানে তীব্রতা হবে,

$$I_0 = \frac{I_{max}}{4}$$

অর্থাৎ কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল ডোরার তীব্রতা 4 গুণ হ্রাস পাবে।

৭.১০ 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।

সংজ্ঞা : কোনো প্রতিবন্ধকের কিনারা বা ধার ঘেষে বা সরু চিড়ের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় জ্যামিতিক ছায়া অঞ্চলের মধ্যে আলোর বেঁকে যাওয়ার ঘটনাকে আলোর অপবর্তন বলে। তরঙ্গদৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পেলে এই ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়।

শব্দ যেহেতু তরঙ্গধর্মী, সুতরাং শব্দেরও অপবর্তন হয় এবং একে শব্দের অপবর্তন বলে।

অপবর্তনের শর্ত : অপবর্তন সৃষ্টির দুটি শর্ত রয়েছে; যথা—

(১) খাড়া ধারের (straight edge) ক্ষেত্রে : ধার খুব তীক্ষ্ণ হতে হবে এবং এর প্রস্থ আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ-এর সমান বা কাছাকাছি মানের হতে হবে।

(২) সরু ছিদ্রের ক্ষেত্রে : ছিদ্র খুবই সরু হতে হবে যাতে এর ব্যাস তরঙ্গদৈর্ঘ্যের λ-এর সমান বা কাছাকাছি মানের হতে হয়।

আলোকের অপবর্তন দুই প্রকার; যথা—

(১) ফ্রেনেল শ্রেণি অপবর্তন (Fresnel's class of diffraction) এবং

(২) ফ্রনহফার শ্রেণি অপবর্তন (Fraunhofer's class of diffraction)।

৭.১০.১ ফ্রেনেল শ্রেণি অপবর্তন

প্রতিবন্ধক বা ছিদ্র থেকে আলোক উৎস বা পর্দা অথবা উভয়ই সসীম দূরত্বে থাকলে যে সকল অপবর্তনের ঘটনাবলি ঘটে তাদের ফ্রেনেল শ্রেণি অপবর্তন বলে।

খাড়া ধারে (straight edge), **সরু তারে** (narrow wire) এবং **অল্প পরিসর ছিদ্রে** (narrow slit) এই ধরনের অপবর্তন ঘটে। এক্ষেত্রে আপতিত তরঙ্গমুখ গোলীয় বা সিলিন্ডার আকৃতির হয়।

৭.১০.২ ফ্রনহফার শ্রেণি অপবর্তন

প্রতিবন্ধক বা ছিদ্র থেকে আলোক উৎস এবং পর্দা উভয়ই অসীম দূরত্বে থাকলে যে সকল অপবর্তন ঘটনাবলি ঘটে তাদের 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 চিড়ের ওপর আপতিত 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 তরঙ্গদৈর্ঘ্য অঞ্চলের সংখ্যার ওপর।

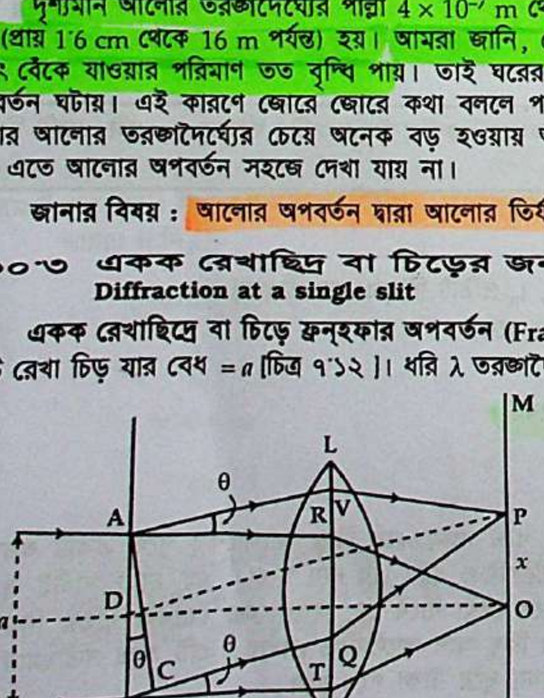
অনুসন্ধান : জোরে জোরে কথা বললে পাশের কক্ষ থেকে শোনা যায় অর্থাৎ অপবর্তন সৃষ্টি করে কিন্তু একটি সুচের ছিদ্রের মধ্য দিয়ে আলোর অপবর্তন লক্ষ করা যায় না কেন, ব্যাখ্যা কর।

দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা 4×10^{-7} m থেকে 7×10^{-7} m এবং শ্রুতিগোচর শব্দের তরঙ্গদৈর্ঘ্য যথেষ্ট দীর্ঘ (প্রায় 1.6 cm থেকে 16 m পর্যন্ত) হয়। আমরা জানি, কোনো তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য যত বেশি হয় অপবর্তনের মাত্রা অর্থাৎ বেঁকে যাওয়ার পরিমাণ তত বৃদ্ধি পায়। তাই ঘরের দরজা, জানালার ছিদ্র শব্দ তরঙ্গের গতিপথের উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন ঘটায়। এই কারণে জোরে জোরে কথা বললে পাশের ঘর থেকে শোনা যায়। কিন্তু সুচের পিছনের ছিদ্রের আকার আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চেয়ে অনেক বড় হওয়ায় আলোর গতিপথের কোনো উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন ঘটায় না, তাই এতে আলোর অপবর্তন সহজে দেখা যায় না।

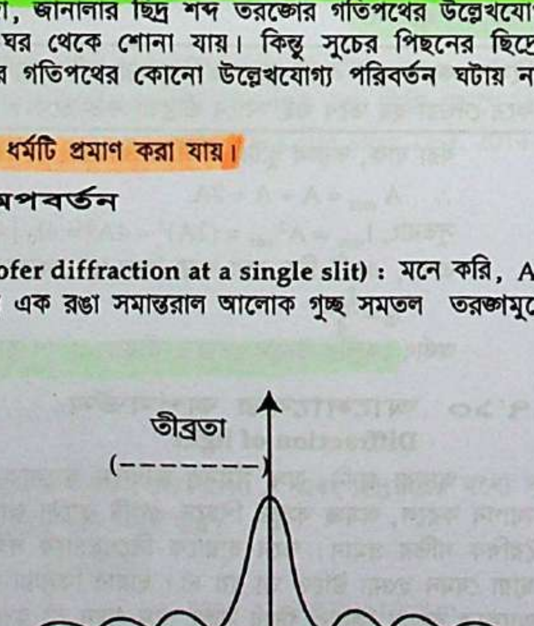
জানার বিষয় : আলোর অপবর্তন দ্বারা আলোর তির্যকরূপ ধর্মটি প্রমাণ করা যায়।

৭.১০.৩ একক রেখাছিদ্র বা চিড়ের জন্য অপবর্তন
Diffraction at a single slit

একক রেখাছিদ্রে বা চিড়ে ফ্রনহফার অপবর্তন (Fraunhofer diffraction at a single slit) : মনে করি, AB একটি রেখা চিড় যার বেধ $= a$ [চিত্র ৭.১২]। ধরি λ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক রঙা সমান্তরাল আলোক গুচ্ছ সমতল তরঙ্গমুখে



চিত্র ৭.১২



চিত্র ৭.১৩

AB ছিদ্রের ওপর লম্বভাবে আপতিত হলো। AB-এর মধ্য দিয়ে নির্গত আলোকগুচ্ছকে একটি উত্তল লেন্স L দ্বারা এর ফোকাস তলে MN পর্দার ওপর 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। 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 তরঙ্গামুখের প্রতিটি কণা সমদশাসম্পন্ন। ওই সব কণা হতে গৌণ তরঙ্গা উৎপন্ন হয়। যে সব আড় তরঙ্গা ব্যবর্তিত না হয়ে সোজা DO-এর সমান্তরালে গমন করে L লেন্স দ্বারা পর্দার O বিন্দুতে একত্রিত হয় তারা ওই বিন্দুকে খুব উজ্জ্বল বিন্দুতে পরিণত করে, এখানে AB রেখার ঠিক মধ্য বিন্দু D। কারণ O বিন্দুতে পৌঁছতে তরঙ্গাসমূহের 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 তরঙ্গা θ কোণে ব্যবর্তিত হয়ে DP অভিমুখের সমান্তরালে চলে L লেন্স দ্বারা P বিন্দুতে একত্রিত হয়। এ ক্ষেত্রে আড় তরঙ্গাসমূহ সমান পথ অতিক্রম করে না বলে P বিন্দুতে ওই সব তরঙ্গের দশা সমান হয় না। এই পথ পার্থক্য নির্ণয়ের জন্য B বিন্দু হতে θ কোণে ব্যবর্তিত BQ রেখার ওপর AC লম্ব টানি। তা হলে, $\angle PDO = \theta$

$\therefore$ A ও B বিন্দু হতে নির্গত তরঙ্গের মধ্যে পথ পার্থক্য $= BC$

কিন্তু $BC = AB \sin\theta = a\sin\theta$

কাজেই, উজ্জ্বল বিন্দুর জন্য :

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

এবং অন্ধকার বিন্দুর জন্য :

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

এখানে n একটি সংখ্যা এবং $n = 1, 2, 3, 4$ ইত্যাদি।

এখন $a\sin\theta = \lambda$ হলে, সব তরঙ্গের দরুন P বিন্দুতে লব্ধি সরণ শূন্য হবে। কারণ A বিন্দু হতে নির্গত তরঙ্গা ও রেখাছিদ্রের মধ্যবিন্দু D হতে নির্গত তরঙ্গের মধ্যে পথ পার্থক্য হবে $\lambda/2$ এবং পরস্পরের প্রভাব নাকচ করে দিবে। এমনিভাবে তরঙ্গামুখের উভয় অর্ধের প্রতি দুটি অনুরূপ বিন্দুর (Corresponding points) মধ্যে পথ পার্থক্য $\lambda/2$ হয়ে ওই সব বিন্দু হতে নির্গত তরঙ্গাগুলো পরস্পরের প্রভাব নাকচ করবে।

$\therefore$ O বিন্দুর উভয় পার্শ্বে প্রথম অবম বিন্দুর ($n = 1$) ক্ষেত্রে অপবর্তন কোণ θ হলে,

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

বা, $\sin\theta = \lambda/a$

তেমনি O বিন্দুর উভয় পার্শ্বে n-তম অবম বিন্দুর ক্ষেত্রে অপবর্তন কোণ θ_n হলে,

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

L লেন্স হতে AB রেখাছিদ্র খুব নিকটে থাকলে অথবা L লেন্স হতে পর্দা বেশ দূরে থাকলে $x_n = OP_n =$ মুখ্য চরম বিন্দু O হতে n-তম অবম বিন্দুর দূরত্ব এবং লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f হলে আমরা পাই,

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

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

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

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

হলে ব্যাখ্যা করা যায় যে তারা O বিন্দুর উভয় পার্শ্বে আরও কতগুলো চরম বিন্দু উৎপন্ন করবে এবং পর্যায়ক্রমে তারা প্রতি দুটি অবম বিন্দুর মধ্যে অবস্থান করবে। এ সব চরম বিন্দুকে গৌণ বা সম্পূরক চরম বিন্দু (Secondary or Subsidiary maxima) বলে।

n-তম গৌণ চরম বিন্দুর ক্ষেত্রে অপবর্তন কোণ θ'_n এবং O হতে ওই বিন্দুর দূরত্ব x'_n হলে,

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

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে মুখ্য চরম বিন্দুর উভয় পার্শ্বে অপবর্তনের দরুন পর্যায়ক্রমে অন্যান্য অবম ও চরম বিন্দু গঠিত হচ্ছে। গৌণ চরম বিন্দুগুলোর উজ্জ্বলতা বা দীপন মাত্রা ক্রমশ হ্রাস পায়।

হিসাব : একটি ফ্রনহফার শ্রেণির একক চিড়ের অপবর্তন পরীক্ষায় 5890 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করা হলো। চিড়টির বেধ 0.2 mm হলে প্রথম অবমের জন্য অপবর্তন কোণ নির্ণয় কর।

Hints : অবমের শর্তানুসারে $a \sin\theta = n\lambda$

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

$\therefore \quad \theta = 0.17°$ প্রায়, অবমের জন্য অপবর্তন কোণ 0.17°

কাজ : একক রেখাছিদ্র দ্বারা সৃষ্ট ফ্রনহফার অপবর্তন ঝালরের চরম ও অবম বিন্দুর শর্ত কী ?

একক রেখাছিদ্র দ্বারা সৃষ্ট ফ্রনহফার অপবর্তন ঝালরে চরম ও অবম বিন্দুর শর্ত হলো—

কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল পট্টি $(\theta = 0)$ এর উভয় দিকে গৌণ চরম বিন্দুগুলির ক্ষেত্রে পথ পার্থক্য $a\sin\theta = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$, যখন রেখাছিদ্রের বেধ $= a$, আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য $= \lambda$, অপবর্তন কোণ θ এবং $n = 1, 2, 3, \ldots\ldots$। সঠিক হিসাব অনুযায়ী $a\sin\theta = \pm 1.43\lambda, \pm 2.46\lambda, \ldots\ldots$ 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।

৭.১০.৪ 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।

৭.১০.৫ আলোর অপবর্তন এবং ব্যতিচারের মধ্যে পার্থক্য
Distinction between diffraction and interference of light

ব্যতিচার	অপবর্তন
১। একই উৎস হতে নির্গত দুটি সুসঙ্গত তরঙ্গমুখ থেকে প্রাপ্ত তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে ব্যতিচার সৃষ্টি হয়। উৎস দুটি ক্ষুদ্র ও সূক্ষ্ম হতে হবে।	১। একই তরঙ্গমুখের বিভিন্ন অংশ থেকে নির্গত গৌণ তরঙ্গসমূহের উপরিপাতনের ফলে অপবর্তনের সৃষ্টি হয়।
২। ব্যতিচারে সৃষ্ট অন্ধকার ডোরাগুলোতে কোনো আলো থাকে না।	২। অপবর্তনে সৃষ্ট অন্ধকার ডোরাগুলো কখনো সম্পূর্ণ অন্ধকার হয় না। এতে সব সময় কিছু আলো থাকে।
৩। ব্যতিচারে সৃষ্ট ডোরাগুলোর প্রস্থ সমান হতেও পারে, নাও পারে।	৩। অপবর্তনে সৃষ্ট ডোরাগুলোর প্রস্থ সমান হয় না।
৪। ব্যতিচারে সৃষ্ট সকল উজ্জ্বল ডোরার তীব্রতা তথা উজ্জ্বলতা সমান হয়।	৪। অপবর্তনে সৃষ্ট সকল উজ্জ্বল ডোরার তীব্রতা সমান হয় না।

৭.১০.৬ 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।

নিঃসরণ গ্রেটিং
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 নিঃসরণ গ্রেটিং বলে।

সাধারণ কাজের জন্য পরীক্ষাগারে আর এক প্রকারের নিঃসরণ গ্রেটিং ব্যবহার করা হয়। প্রকৃত রেখাঙ্কিত গ্রেটিং হতে সেলুলয়েড ফিল্মের ওপর ঢালাই পদ্ধতিতে এই গ্রেটিং প্রস্তুত করা হয়। এর নাম প্রতিলিপি গ্রেটিং (Replica grating)।

৭·১০·৭ 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

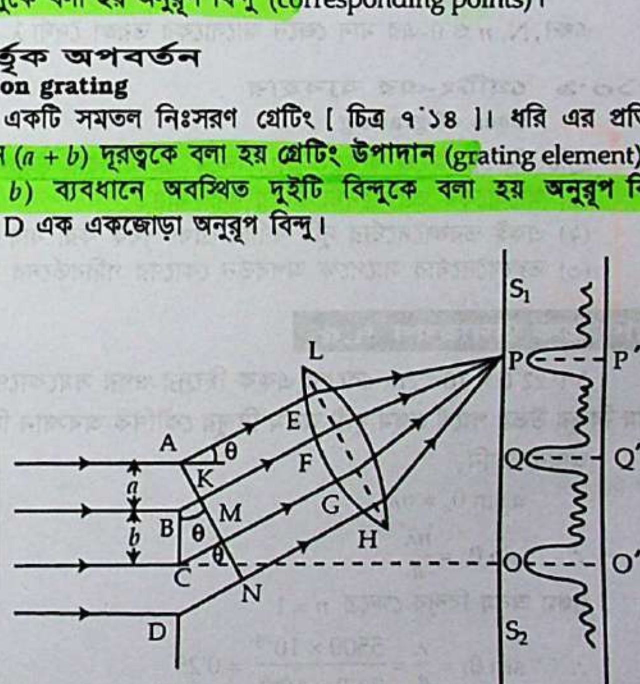
অতএব, একক দৈর্ঘ্যে রেখার সংখ্যা, $N = \frac{1}{d} = \frac{1}{a+b}$ ... ... (7.25)

গ্রেটিং-এর $(a + b)$ ব্যবধানে অবস্থিত দুটি বিন্দুকে বলা হয় অনুরূপ বিন্দু (corresponding points)।

৭·১০·৮ সমতল নিঃসরণ গ্রেটিং কর্তৃক অপবর্তন
Diffraction by a plane transmission grating

মনে করি, ABCD কাগজের অভিলম্ব তলে একটি সমতল নিঃসরণ গ্রেটিং [চিত্র ৭˙১৪]। ধরি এর প্রতিটি অস্বচ্ছ রেখার বেধ 'b' ও স্বচ্ছ অংশের বেধ 'a'. এখানে $(a + b)$ দূরত্বকে বলা হয় গ্রেটিং উপাদান (grating element) বা গ্রেটিং ধ্রুবক (grating constant)। গ্রেটিং-এর $(a + b)$ ব্যবধানে অবস্থিত দুইটি বিন্দুকে বলা হয় অনুরূপ বিন্দু (Corresponding points)। চিত্রে A ও C অথবা B ও D এক একজোড়া অনুরূপ বিন্দু।

মনে করি একটি একরঙা সমতল তরঙ্গামুখ অর্থাৎ সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ গ্রেটিং-এর ওপর অভিলম্ব-ভাবে আপতিত হলো। বেশির ভাগ রশ্মি অপবর্তিত না হয়ে সরাসরি সোজা পথে যাবে এবং L উত্তল লেন্স দ্বারা এর ফোকাস তলে অবস্থিত S_1S_2 পর্দার O বিন্দুতে একত্রিত হবে। ফলে O বিন্দুটি খুবই উজ্জ্বল দেখাবে। একে **কেন্দ্রীয় চরম বিন্দু** (Central maxima) বলে। এখানে অন্যান্য আলোক রশ্মি প্রতিটি রেখা বা দাগ অতিক্রম করবার সময় অপবর্তিত হয়ে বিভিন্ন দিকে গমন করবে। এই অপবর্তিত সমান্তরাল রশ্মিসমূহ উত্তল লেন্স দ্বারা প্রতিসৃত হয়ে লেন্সের ফোকাস তলে স্থাপিত পর্দার P বিন্দুতে একত্রিত হবে। ওই বিন্দুতে অপবর্তিত রশ্মিসমূহ যে গঠনমূলক বা ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার সৃষ্টি করে তার ওপর ওই বিন্দুর উজ্জ্বলতা নির্ভর করে। এখন A হতে অপবর্তিত রশ্মিসমূহের ওপর AKMN লম্ব টানি।



চিত্র ৭˙১৪

A ও C হতে রশ্মিদ্বয় θ কোণে অপবর্তিত হলে আলোক রশ্মি দুইটির পথ-পার্থক্য,

$CM = AC \sin\theta = (a + b)\sin\theta$

একইভাবে B ও D দুইটি অনুরূপ বিন্দু হতে রশ্মিদ্বয় θ কোণে ব্যবর্তিত হওয়ায় আলোক রশ্মি দুইটির পথ-পার্থক্য

$= DN - BK$

$= (a + b + a)\sin\theta - a\sin\theta$

$= (a + b)\sin\theta$

এরূপে দেখানো যায় প্রতিক্ষেত্রেই যে কোনো দুইটি অনুরূপ বিন্দুর মধ্যে পথ-পার্থক্য $= (a + b)\sin\theta$

∴ P বিন্দু চরম বা উজ্জ্বল হলে,

$(a + b)\sin\theta = n\lambda$ ... ... (7.26)

এবং অবম বা অন্ধকার হলে,

$(a + b)\sin\theta = (2n + 1)\lambda/2$ ... ... (7.27)

এখানে, n = একটি পূর্ণ সংখ্যা, এর মান 0, 1, 2, 3 ইত্যাদি অথবা − 1, − 2, − 3 ইত্যাদি হতে পারে ও λ = আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য।

$n = 0$ হলে কেন্দ্রীয় চরম বিন্দু পাওয়া যাবে। এই বিন্দুকে মুখ্য চরম বিন্দু (Principal maxima) বলে।

$n = 1$ বা − 1 বসালে মুখ্য চরম বিন্দুর দুই পার্শ্বে প্রথম উজ্জ্বল রেখা (first order maxima) দেখা যাবে। পুনঃ $n = 2$, বা − 2 হলে, মুখ্য চরম বিন্দুর দুই পার্শ্বে দ্বিতীয় উজ্জ্বল রেখা (second order maxima) দেখা যাবে ইত্যাদি।

অনুরূপভাবে অবম বিন্দুর শর্তে $n = 0, 1, 2, 3$ ইত্যাদি বসালে তাদের অবস্থান পাওয়া যাবে। উল্লেখ্য প্রতি দুইটি চরম বিন্দুর মধ্যে একটি অবম বিন্দু থাকে। মুখ্য চরম বা মুখ্য অবম বিন্দু ব্যতীত যেসব চরম বা অবম বিন্দু পাওয়া যায় তাদেরকে যথাক্রমে গৌণ চরম বা গৌণ অবম বিন্দু বলে।

গ্রেটিং-এর প্রতি একক দৈর্ঘ্যে N সংখ্যক রেখা থাকলে,

$N(a + b) = 1$

বা, $N = \frac{1}{a+b}$

$\therefore$ সমীকরণ (7.26) হতে পাই, $\frac{1}{N}\sin\theta = n\lambda$

বা, $\lambda = \frac{\sin\theta}{N.n}$ ... ... (7.28)

এখন, N, n ও θ-এর মান জেনে আলোকের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ-এর মান বের করা হয়।

৭.১০.৯ 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 বর্ণালি রেখা পৃথক করা যায়।

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

গাণিতিক উদাহরণ ৭.৫

১। 22.0×10^{-5} cm বেধের একক ছিদ্রের ওপর সমকোণে 5500 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ফেলা হলো। কেন্দ্রীয় চরম বিন্দুর উভয় পার্শ্বে প্রথম দুটি অবম বিন্দুর কৌণিক অবস্থান নির্ণয় কর।

এখানে,
$\lambda = 5500$ Å $= 5500 \times 10^{-8}$ cm
বেধ, $a = 22.0 \times 10^{-5}$ cm

আমরা জানি,

$a\sin\theta_n = n\lambda$

$\therefore \sin\theta_n = \frac{n\lambda}{a}$

প্রথম অবম বিন্দুর ক্ষেত্রে $n = 1$

$\therefore \sin\theta_1 = \frac{\lambda}{a} = \frac{5500 \times 10^{-8}}{22.0 \times 10^{-5}} = 0.25$

$\therefore \theta_1 = \sin^{-1}(0.25) = 14°29'$

এবং দ্বিতীয় অবম বিন্দুর ক্ষেত্রে, $n = 2$

$\therefore \sin\theta_2 = \frac{2\lambda}{a} = \frac{2 \times 5500 \times 10^{-8}}{22.0 \times 10^{-5}} = 0.5$

$\therefore \theta_2 = \sin^{-1}(0.5) = 30°$

অতএব, কেন্দ্রীয় চরম বিন্দুর উভয় পার্শ্বে প্রথম দুটি অবম বিন্দুর কৌণিক অবস্থান,

$\theta_1 = 14°29'$ এবং $\theta_2 = 30°$

২। 0.4 mm বেধের একটি ছিদ্রকে 589 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো দ্বারা আলোকিত করলে যে অপবর্তন নকশা উৎপন্ন করে তা 30 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের লেন্সের সাহায্যে দেখা হচ্ছে। অক্ষ হতে প্রথম অবম ও পরবর্তী উজ্জ্বল পট্টির মধ্যে দূরত্ব নির্ণয় কর।

এখানে,
$\lambda = 589$ nm $= 589 \times 10^{-9}$ m
$a = 0.4$ mm $= 0.4 \times 10^{-3}$ m
$f = 30$ cm $= 0.3$ m

আমরা জানি, অবমের শর্তানুযায়ী,

$a\sin\theta_n = n\lambda$

বা, $\sin\theta_n = \frac{n\lambda}{a}$

প্রথম অবমের জন্য $n = 1$

$$\sin\theta_1 = \frac{\lambda}{a} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

$$\therefore \quad \theta_1 = \sin^{-1}\left(\frac{\lambda}{a}\right)$$

আবার, $\sin\theta_1 = \frac{x_1}{f} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$

সমীকরণ (i) ও (ii) হতে পাই,

$$\frac{x_1}{f} = \frac{\lambda}{a}$$

$$\therefore \quad x_1 = \frac{\lambda \times f}{a} = \frac{589 \times 10^{-9} \times 0{\cdot}3}{0{\cdot}4 \times 10^{-3}}$$

$$= 4{\cdot}42 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

এখন, গৌণ উজ্জ্বল পট্টির ক্ষেত্রে,

$$a\sin\theta_n = \frac{(2n+1)\lambda}{2}$$

$\therefore$ গৌণ প্রথম উজ্জ্বল পট্টির জন্য $n = 1$ এবং

$$\sin\theta_2 = \frac{x_2}{f}$$

$$\therefore \quad \frac{x_2}{f} = \frac{3\lambda}{2a}$$

বা, $x_2 = \frac{3\lambda \times f}{2a} = \frac{3}{2}x_1 = 1{\cdot}5 \times 4{\cdot}42 \times 10^{-4}$

$$= 6{\cdot}62 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

সুতরাং, প্রথম অন্ধকার এবং পরবর্তী উজ্জ্বল পট্টির মধ্যে দূরত্ব,

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 6{\cdot}62 \times 10^{-4} - 4{\cdot}42 \times 10^{-4}$$

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

৩। একটি ফ্রনহফার শ্রেণির একক চিড়ের দরুন অপবর্তন পরীক্ষায় 5600 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করা হলো। প্রথম ক্রমের অন্ধকার (অবম) পট্টির জন্য অপবর্তন কোণ নির্ণয় কর। [চিড়ের বিস্তার 0·22 mm]

আমরা জানি,

অবমের শর্ত অনুসারে,

$$a\sin\theta = n\lambda \quad \therefore \quad \sin\theta = \frac{n\lambda}{a}$$

বা, $\theta = \sin^{-1}\left(\frac{1 \times 5600 \times 10^{-10}}{2{\cdot}2 \times 10^{-4}}\right)$

$= 0{\cdot}145°$ (প্রায়)

এখানে,

$a = 0{\cdot}22$ mm

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

$n = 1$

$\lambda = 5600$ Å

$= 5600 \times 10^{-10}$m

$\theta = ?$

৪। কোনো অপবর্তন গ্রেটিং-এ প্রতি সেন্টিমিটারে 4200 রেখা রয়েছে। এর উপর সোডিয়াম আলোর সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অভিলম্বভাবে আপতিত হলে বর্ণালি রেখার দ্বিতীয় ক্রম 30° অপবর্তন কোণ উৎপন্ন করে। সোডিয়াম আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

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

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

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

এখানে,

$N = \frac{1}{a+b} = \frac{1\ \text{cm}}{4200} = \frac{1 \times 10^{-2}\ \text{m}}{4200}$

$= 2{\cdot}38 \times 10^{-6}$

$n = 2$

$\theta_n = 30°$

$\lambda = ?$

৫। প্রতি মিটারে 6×10^5 সংখ্যক রেখাসম্পন্ন কোনো অপবর্তন গ্রেটিং এর মধ্য দিয়ে 450 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো কোনো ফিল্টারের সাহায্যে লম্বভাবে আপতিত হলো।

(ক) 450 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর প্রথম ক্রমের অপবর্তন কোণ কত ?

(খ) প্রশ্নমতে আলোকে চতুর্থ ক্রমের অপবর্তন সম্ভব কিনা ?

(ক) আমরা জানি,

$$d \sin\theta = n\lambda$$

$$\therefore \quad \sin\theta = \frac{n\lambda}{d}$$

$$= 1 \times 450 \times 10^{-9}\,\text{m} \times 6 \times 10^5\,\text{m}^{-1} = 0{\cdot}27$$

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

এখানে,

$\lambda = 450\,\text{nm} = 450 \times 10^{-9}\,\text{m}$

$d = \frac{1}{N} = \frac{1}{6 \times 10^5}\,\text{m}^{-1}$

$n = 1$

(খ) চতুর্থ ক্রমের অপবর্তনের জন্য $n = 4$; এক্ষেত্রে $\sin\theta$ এর গ্রহণযোগ্য মান পাওয়া গেলে এই সিদ্ধান্তে উপনীত হওয়া যাবে যে, চতুর্থ ক্রমের অপবর্তন সম্ভব।

পুনরায়, $d \sin\theta = n\lambda$

$$\sin\theta = \frac{n\lambda}{d} = 4 \times 450 \times 10^{-9} \times 6 \times 10^5$$

বা, $\sin\theta = 1{\cdot}08$

কিন্তু $\sin\theta$ এর সর্বোচ্চ মান 1 হতে পারে। সুতরাং প্রাপ্ত মান গ্রহণযোগ্য নয়। সুতরাং চতুর্থ ক্রমের অপবর্তন সম্ভব নয়।

৬। একটি গ্রেটিং-এর প্রতি সে.মি. দৈর্ঘ্যে 500টি রেখা রয়েছে। দ্বিতীয় পর্যায়ের বর্ণালি রেখার ব্যবর্তন কোণ 4° হলে আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

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

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

বা, $\lambda = \frac{\sin\theta_n}{Nn}$

$$\therefore \lambda = \frac{\sin 4°}{500 \times 2} = \frac{0{\cdot}0698}{1000} = 6980 \times 10^{-8}\,\text{cm} = 6980\,\text{Å}$$

এখানে,

$N = 500$/সেমি.

$\theta_n = 4°$

$\lambda = ?$

৭। কোনো অপবর্তন গ্রেটিংয়ের প্রতি সেন্টিমিটারে 6000 বা প্রতি মিলিমিটারে 600 রেখা রয়েছে। এর ভেতর দিয়ে 5896 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ফেললে দ্বিতীয় চরমের জন্য অপবর্তন কোণ বের কর। [ঢা. বো. ২০১২]

আমরা জানি,

$$d \sin\theta = n\lambda$$

$$\therefore \quad \sin\theta = \frac{n\lambda}{d}$$

$$= \frac{2 \times 5896 \times 10^{-10} \times 6000}{1 \times 10^{-2}}$$

$$= 0{\cdot}7052$$

$$\therefore \quad \theta = \sin^{-1}(0{\cdot}7052) = 45{\cdot}03°$$

এখানে,

ক্রম সংখ্যা, $n = 2$

তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 5896\,\text{Å}$

$= 5896 \times 10^{-10}\,\text{m}$

গ্রেটিং ধ্রুবক, $d = \frac{1}{6000}\,\text{cm} = \frac{1 \times 10^{-2}}{6000}\,\text{m}$

বা, $\frac{1}{d} = \frac{6000}{1 \times 10^{-2}}$

৮। একটি সমতল অপবর্তন গ্রেটিং-এর চিড়ের ও দাগের বেধ যথাক্রমে 0·0006 mm এবং 0·001 mm। 5000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যে একবর্ণী আলোক তরঙ্গ লম্বভাবে গ্রেটিং তলের ওপর আপতিত হচ্ছে। প্রথম ক্রমের উজ্জ্বল রেখার জন্য অপবর্তন কোণ নির্ণয় কর। [য. বো. ২০১২]

আমরা জানি,

$$d \sin\theta = n\lambda$$

$$\therefore \quad \sin\theta = \frac{n\lambda}{d}$$

$$= \frac{1 \times 5000 \times 10^{-10}\,\text{m}}{1{\cdot}6 \times 10^{-6}\,\text{m}} = 0{\cdot}3125$$

$$\therefore \theta = \sin^{-1}(0{\cdot}3125) = 18{\cdot}2°$$

এখানে, গ্রেটিং ধ্রুবক,

d = চিড়ের প্রস্থ (a) + দাগের প্রস্থ (b)

$= 0{\cdot}0006 + 0{\cdot}001 = 1{\cdot}6 \times 10^{-3}\,\text{mm}$

$= 1{\cdot}6 \times 10^{-6}\,\text{m}$

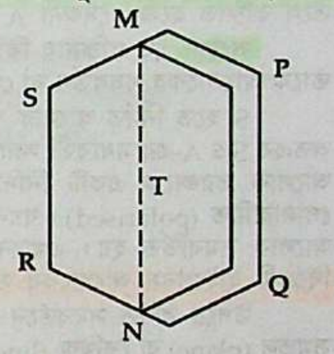
$\lambda = 5000\,\text{Å} = 5000 \times 10^{-10}\,\text{m}$

ক্রম সংখ্যা, $n = 1$

$\theta = ?$

৭·১১ 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 কী 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। এই পরীক্ষা হতে নিঃসন্দেহে প্রমাণিত হয় যে, আলোক আড় তরঙ্গ। আলোকের সমবর্তন আড় তরঙ্গের একটি প্রকৃষ্ট প্রমাণ। এখন আলোচনা করা যাক আলোকের সমবর্তন কী ?



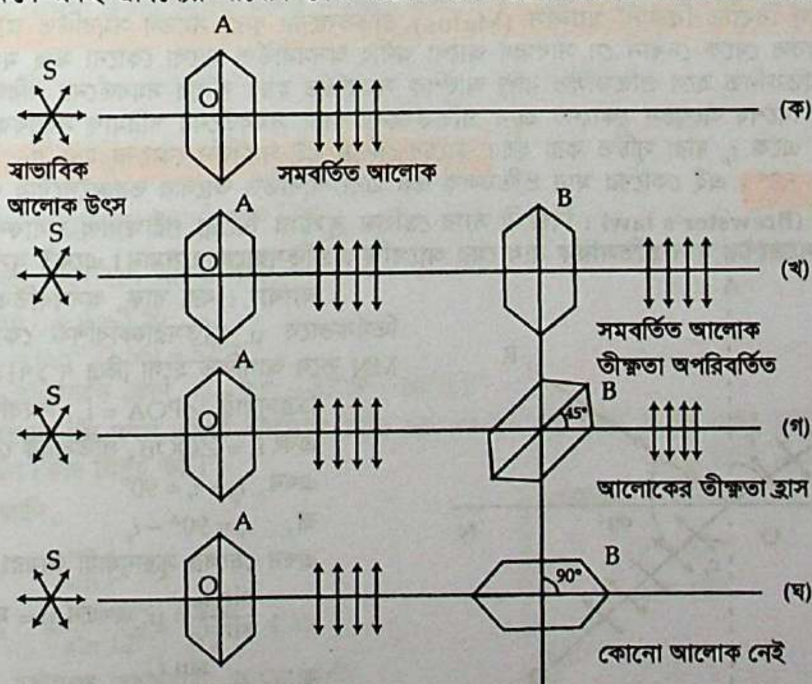
চিত্র ৭·১৫

টুর্ম্যালিন কেলাসের পরীক্ষা আলোচনা করার পূর্বে টুর্ম্যালিন কেলাস কী তা জানা যাক। টুর্ম্যালিন হচ্ছে কয়েকটি ধাতুর অক্সাইডের রাসায়নিক সংমিশ্রণে তৈরি ষড়ভুজ আকৃতির স্বচ্ছ এবং হালকা সবুজ বর্ণের কেলাস। ছয় বাহুবিশিষ্ট হালকা সবুজ রঙের এই কেলাস PQRS-কে দেখান হলো [চিত্র ৭·১৫]। এর সর্বাপেক্ষা বড় (MN) কর্ণটির নাম সরলাক্ষ (Optic axis)। নিম্নের টুর্ম্যালিন কেলাস পরীক্ষার দ্বারা আলোর সমবর্তন ব্যাখ্যা করা হলো। টুর্ম্যালিন, নিকল প্রিজম এবং পোলারয়েড ইত্যাদি সমবর্তক ও বিশ্লেষক হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

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 ৭·১৬ (ক)]।

কেলাসের অপর দিকে নজর করলে একই প্রাবল্যের বা তীক্ষ্ণতার আলোক দেখা যাবে। কেলাস হতে নির্গত আলোক কেলাসের প্রকৃতির ওপর 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



চিত্র ৭·১৬

একটি টুর্ম্যালিন কেলাস B এমনভাবে স্থাপন করি যাতে এর সরলাক্ষ আলোকের গতিপথের সাথে লম্বভাবে অবস্থান করে [চিত্র ৭·১৬ (খ)]। এমতাবস্থায় B কেলাসের অপর পার্শ্ব হতে তাকালে 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 ৭.১৬ (গ)]। যখন B কেলাসটি A কেলাসের সাথে সমকোণে স্থাপন করা হবে তখন B কেলাস হতে কোনো আলোক নির্গত হবে না [চিত্র ৭.১৬(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 নয়, 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 অংশের আলোক সমবর্তিত হয়। এখানে A-কে সমবর্তক (polariser) ও B-কে বিশ্লেষক (analyser) 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।

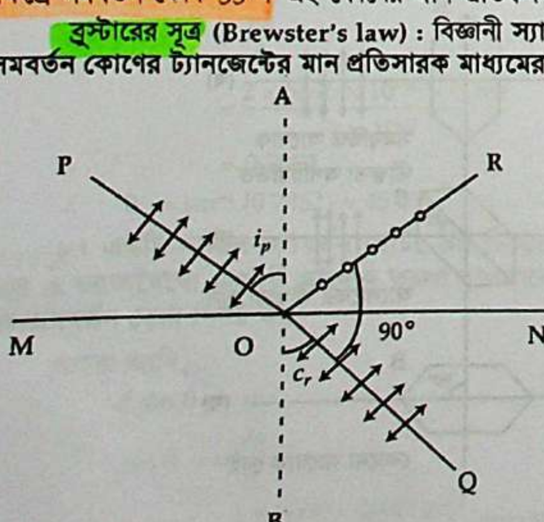
পরীক্ষা : কোনো আলো সমবর্তিত না অসমবর্তিত কীভাবে তুমি পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করবে ? ব্যাখ্যা কর।

আলোক রশ্মির গতিপথে একটি টুর্ম্যালিন কেলাস স্থাপন করে কেলাসের পিছন থেকে তাকালে কেলাস থেকে নির্গত আলো দেখা যাবে। এবার কেলাসটি ধীরে ধীরে ঘুরানো হলে যদি কেলাস থেকে নির্গত আলোর উজ্জ্বলতার কোনো পরিবর্তন না হয় বুঝতে হবে যে আলোক রশ্মিটি অসমবর্তিত। কিন্তু নির্গত আলোর উজ্জ্বলতা যদি পর্যায়ক্রমে পরিবর্তিত হয় এবং কেলাসটির একটি পূর্ণ আবর্তনে যদি উজ্জ্বলতা দুবার কমে শূন্য হয় তবে বোঝা যাবে যে আলোক রশ্মিটি সমবর্তিত।

৭.১২ প্রতিফলনের দ্বারা সমবর্তন
Polarisation by reflection

1808 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত বিজ্ঞানী ম্যালাস (Malus) প্রতিফলনের দ্বারা সমতল সমবর্তিত আলো উৎপন্ন করেন। তিনি পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে দেখান যে সাধারণ আলো অর্থাৎ অসমবর্তিত আলো কোনো স্বচ্ছ মাধ্যমে (যেমন পানি, কাচ ইত্যাদি) দ্বারা প্রতিফলিত হলে প্রতিফলিত রশ্মি আংশিক সমবর্তিত হয়। রশ্মির সমবর্তনের পরিমাণ আপতন কোণের ওপর নির্ভর করে। যে বিশেষ আপতন কোণের জন্য প্রতিফলনের দ্বারা সমবর্তনের পরিমাণ সর্বাধিক হয়, ওই কোণকে সমবর্তন কোণ বলে। একে i_p দ্বারা সূচিত করা হয়। কাচের ক্ষেত্রে এই সমবর্তন কোণের মান 56° এবং বিশুদ্ধ পানির ক্ষেত্রে সমবর্তন কোণ 53°। এই কোণের মান প্রতিফলক তল এবং আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ওপর নির্ভর করে।

ব্রুস্টারের সূত্র (Brewster's law) : বিজ্ঞানী স্যার ডেভিড ব্রুস্টার বিভিন্ন পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে দেখান যে, সমবর্তন কোণের ট্যানজেন্টের মান প্রতিসারক মাধ্যমের আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্কের সমান। একেই ব্রুস্টারের সূত্র বলে।



চিত্র ৭.১৭

ব্যাখ্যা : ধরা যাক, অসমবর্তিত আলোক রশ্মি PO তির্যকভাবে μ প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট কোনো স্বচ্ছ মাধ্যমের MN তলে আপতিত হলো [চিত্র ৭.১৭]।

চিত্রানুযায়ী $\angle POA = i_p$, সমবর্তিত কোণ

এবং $i_r = \angle QOB$, প্রতিসারক কোণ।

এখন, $i_p + i_r = 90°$

বা, $i_r = 90° - i_p$

এখন স্নেলের সূত্রানুযায়ী আমরা পাই,

$$\frac{\sin i_p}{\sin i_r} = \mu, \text{ এখানে } \mu = \text{মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক}$$

বা, $$\frac{\sin i_p}{\sin (90° - i_p)} = \mu$$

বা, $$\frac{\sin i_p}{\cos i_p} = \mu$$

বা, $\mu = \tan i_p$ $[\because \sin (90° - i_p) = \cos i_p]$

অর্থাৎ সমবর্তন কোণের ট্যানজেন্টের মান প্রতিসারক মাধ্যমের আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্কের সমান।

বি. দ্র. যেহেতু মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ওপর নির্ভর করে, তাই সমবর্তন কোণও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ওপর নির্ভর করে।

আবার, $\angle ROQ = 180° - (i_p + i_r) = 180° - 90° = 90°$

সুতরাং, প্রতিফলিত রশ্মি (OR) এবং প্রতিসৃত রশ্মি (OQ) পরস্পরের সমকোণে অবস্থিত।

কাজ : সমবর্তন কোণ ও সংকট কোণের মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর।

ব্রুস্টারের সূত্রানুসারে,

$\mu = \tan i_p$

আবার, স্নেলের সূত্রানুসারে,

$\mu = \dfrac{1}{\sin \theta_c}$

বা, $\tan i_p = \dfrac{1}{\sin \theta_c} = \text{cosec}\, \theta_c$

বা, $i_p = \tan^{-1} (\text{cosec}\, \theta_c)$

এটিই নির্ণেয় সম্পর্ক।

এখানে,
i_p = সমবর্তন কোণ
μ = মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক
θ_c = সংকট কোণ

গাণিতিক উদাহরণ ৭.৬

১। 1·53 প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট একটি কাচের প্লেটের ওপর সমবর্তন কোণে একটি আলোকরশ্মি আপতিত হলো। প্রতিসারক কোণের মান কত ?

আমরা জানি,

$\mu = \tan i_p = 1·53$

$\therefore\ i_p = \tan^{-1} (1·53) = 56°50'$

এবং $i_r = 90° - 56°50' = 33°10'$

এখানে,
$\mu = 1·53$

২। কাচে কোনো একটি নির্দিষ্ট বর্ণের আলোর জন্য সংকট কোণ 40°। সমবর্তন কোণ ও প্রতিসারক কোণের মান নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$\mu = \dfrac{1}{\sin \theta_c}$

$\therefore\ \mu = \dfrac{1}{\sin 40°} = \dfrac{1}{0·6428} = 1·56$

i_p সমবর্তন কোণ হলে আমরা পাই,

$\tan i_p = \mu = 1·56$

$\therefore\ i_p = \tan^{-1} (1·56) = 57°3'$

অতএব, প্রতিসারক কোণ, $i_r = 90° - 57°3' = 32°57'$

এখানে,
$\theta_c = 40°$

৩। হীরকের পৃষ্ঠ তলে একটি আলোক রশ্মি 60° কোণে আপতিত হলো এবং 12° কোণে প্রতিসৃত হলো। হীরকের সমবর্তন কোণ নির্ণয় কর। [CUET Admission Test, 2015-16]

আমরা জানি,

$\mu = \dfrac{\sin i}{\sin r}$

$\therefore\ \mu = \dfrac{\sin 60°}{\sin 12°} = \dfrac{0·866}{0·2} = 4·33$

আবার, ব্রুস্টারের সূত্রানুযায়ী, আমরা জানি,

$\tan i_p = \mu$

$\therefore\ i_p = \tan^{-1} (4·33)$

$\therefore\ i_p = 77°$

এখানে,
$\angle i = 60°$
$\angle r = 12°$

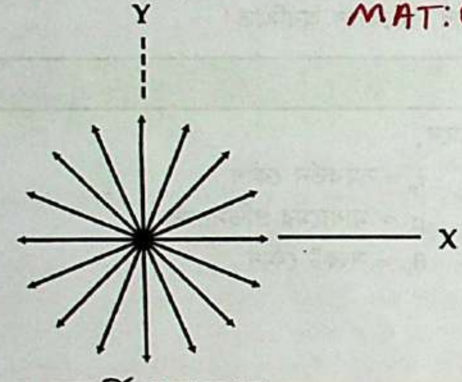
৭·১৩ সমবর্তন বিষয়ক কতকগুলো রাশি
Some terms relating polarisation

(ক) অসমবর্তিত আলোক (Unpolarised light) : সাধারণ আলোক যার কম্পন গতিপথের লম্ব অভিমুখে চারদিকে সমান বিস্তারে কম্পিত হয় তাকে অসমবর্তিত আলোক বলে [চিত্র ৭.১৮]।

MAT: 09-10

(খ) সমবর্তিত আলোক (Polarised light) : একটি তলে বা এর সমান্তরাল তলে কম্পমান আড় তরঙ্গবিশিষ্ট আলোককে সমবর্তিত আলোক বলে।

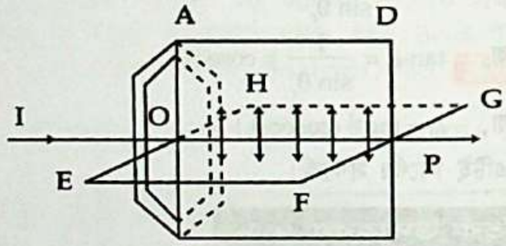
(গ) সমতল সমবর্তিত আলোক (Plane polarised light) : কোনো আলোক তরঙ্গের কণাগুলোর কম্পন কেবলমাত্র একটি তলে সীমাবদ্ধ থাকলে একে সমতল সমবর্তিত আলোক বলে।



অসমবর্তিত আলোক

চিত্র ৭·১৮

(ঘ) কম্পন তল (Plane of vibration) : আলোক তরঙ্গের কণাসমূহ যে সমতলে কম্পিত হয় তাকে কম্পন তল বলে। চিত্র ৭.১৯-এ ABCD কম্পন তল।



সমবর্তিত আলোক

চিত্র ৭·১৯

(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 ৭.১৯-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।

(জ) ব্রুস্টারের সূত্র (Brewster's angle) : সমবর্তন কোণের ট্যানজেন্ট প্রতিফলক মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের সমান।

(ঝ) ম্যালাসের সূত্র : সমবর্তিত আলোক বিশ্লেষকের মধ্য দিয়ে যাওয়ার ফলে এর তীব্রতা সমবর্তক ও বিশ্লেষকের সমবর্তন অক্ষদ্বয়ের মধ্যবর্তী কোণের কোসাইনের বর্গের সমানুপাতিক হয়। নিঃসৃত আলোর তীব্রতা I এবং সমবর্তন অক্ষদ্বয়ের মধ্যবর্তী কোণ θ হলে, $I \propto (\cos\theta)^2$।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

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

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

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

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (4)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

বিশ্লেষণাত্মক ও মূল্যায়নধর্মী গাণিতিক সমস্যাবলির সমাধান

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 কাচে প্রবেশ কালে তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং তরঙ্গাশ্রিত ফোটনের শক্তি কত হবে?

(খ) বায়ু মাধ্যমে তরঙ্গদ্বয়ের মধ্যকার পথ পার্থক্য 15000 Å হলে এদের শেষ বিন্দু দুটির মধ্যে দশা পার্থক্য কত হবে? এই দশা পার্থক্য নিয়ে উপরিপাতন ঘটলে কী ধরনের ব্যতিচার হবে মতামত ব্যক্ত কর।

(ক) বায়ু সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক $= {}_a\mu_g = 1{\cdot}5$

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

কাচে তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda_g = ?$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_a}{{}_a\mu_g} = \frac{6000\text{Å}}{1{\cdot}5} = 4000\text{Å}$$

মাধ্যম স্থান পরিবর্তন করলে তরঙ্গের কম্পাঙ্ক পরিবর্তিত হয় না।

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

$$= \frac{h \times 3 \times 10^8}{6000 \times 10^{-10}}$$

$$= 3{\cdot}315 \times 10^{-19}\text{ J} = 2{\cdot}072\ eV$$

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

পথ পার্থক্য, $\delta = 15000$ Å

দশা পার্থক্য, σ হলে,

আমরা জানি,

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

বা, $\sigma = \frac{\delta}{\lambda} \times 2\pi = \frac{15000\text{Å}}{6000\text{Å}} \times 2\pi$

$$= 5\pi = (4\pi + \pi)$$

4π দশা পার্থক্য এবং শূন্য দশা পার্থক্য একই কথা।

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

অতএব বায়ু মাধ্যমে তরঙ্গদ্বয়ের মধ্যকার পথ পার্থক্য 15000Å হলে এদের শেষ বিন্দু দুটির মধ্যকার দশা পার্থক্য হবে π radian। দশা পার্থক্য এরূপ হওয়ার ফলে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার সৃষ্টি হবে।

২। রুবেল বিভিন্ন তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ছকটি পর্যবেক্ষণ করে দেখল নির্দিষ্ট মাধ্যমে বিভিন্ন তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ভিন্ন ভিন্ন। শুধু তাই নয় একটি তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ যখন মাধ্যম পরিবর্তন করে, তখন এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য পরিবর্তিত হয়। যেমন হীরকে একটি তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 200Å। স্পষ্টত শূন্য মাধ্যমে উক্ত বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ভিন্ন মানের হবে।

(ক) হীরকের পরম প্রতিসরাঙ্ক 2·4 হলে শূন্য মাধ্যমে উক্ত বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত হবে ?

(খ) উক্ত তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণের এবং গামা রশ্মি বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য সীমা তুলনা কর এবং উভয়ের ব্যবহার আলোচনা কর।

(ক) এখানে হীরক তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda_d = 200\text{Å}$

হীরকের পরম প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_d = 2{\cdot}4$

শূন্য মাধ্যমে বিকিরণটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda_0 = ?$

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

$$\therefore \quad \lambda_0 = \lambda_d \times \mu_d$$
$$= 200\text{Å} \times 2{\cdot}4 = 480\text{Å}$$

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

(খ) শূন্য মাধ্যমে কোনো তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 1·4Å হতে 1000Å মানের হলে বিকিরণটিকে এক্স-রশ্মি হিসেবে চিহ্নিত করা হয়। সুতরাং উদ্দীপকে বর্ণিত তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণটিকে এক্স-রশ্মি হিসেবে শনাক্ত করা যায়। কারণ শূন্য মাধ্যমে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 480Å যা 1·4 Å ও 1000Å এর মাঝামাঝি স্থানে বিদ্যমান।

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

অন্যদিকে গামা রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পাল্লা 5×10^{-11} m হতে 5×10^{-15} m বা এর চেয়ে কম।

এক্স-রশ্মির ব্যবহার : চিকিৎসা ক্ষেত্রে, গবেষণা কাজে, শিল্পে কলকারখানায় নিরাপত্তার কাজে, চোরা চালান নিরোধে এক্স-রে ব্যবহৃত হয়। এছাড়া দেহের ক্ষতিকর সেল, টিউমার ধ্বংস করতে ও হাড়ভাঙ্গা ও দেহের অভ্যন্তরে কোনো অঙ্গ-প্রত্যঙ্গের ছবি তুলতে এক্স-রে ব্যবহৃত হয়। ধাতব পাতে কোনো ফাটল আছে কি না তা নির্ধারণেও এক্স-রশ্মি ব্যবহৃত হয়।

গামা রশ্মির ব্যবহার : মানব দেহে ক্যান্সার আক্রান্ত সেল ধ্বংস করতে, বিভিন্ন রোগ নির্ণয়ে, বিজ্ঞানাগারে গবেষণার কাজে ও ধাতব বস্তুতে ফাটল নির্ণয়ে গামা রশ্মি ব্যবহৃত হয়।

৩। প্রতি মিটারে 6×10^5 সংখ্যক রেখাসম্পন্ন কোনো অপবর্তন গ্রেটিং-এর মধ্য দিয়ে 450 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো কোনো ফিল্টারের সাহায্যে লম্বভাবে আপতিত করা হলো। [রা. বো. ২০১৫]

(ক) 450 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর প্রথম ক্রমের অপবর্তন কোণ কত ?

(খ) উদ্দীপকের আলোকে চতুর্থ ক্রমের অপবর্তন সম্ভব কি-না বিশ্লেষণ কর।

(ক) অপবর্তন কোণ θ হলে,

$$d \sin\theta = n\lambda$$

বা, $\sin\theta = \dfrac{n\lambda}{d}$

বা, $\sin\theta = Nn\lambda = 6 \times 10^5 \times 1 \times 450 \times 10^{-9}$

বা, $\sin\theta = 0{\cdot}27$

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

এখানে,

$\lambda = 450\text{ nm} = 450 \times 10^{-9}\text{ m}$

$n = 1$

$N = 6 \times 10^5$

(খ) চতুর্থ ক্রমের জন্য $n = 4$

$$\sin\theta = nN\lambda$$

বা, $\sin\theta = 4 \times 6 \times 10^5 \times 450 \times 10^{-9}$

বা, $\sin\theta = 1{\cdot}08$. $\sin\theta$ এর সর্বোচ্চ মান $= +1$

$\therefore \quad \sin\theta \neq 1{\cdot}08$

অর্থাৎ চতুর্থ ক্রমের অপবর্তন সম্ভব নয়।

৪। আলোর ব্যতিচার পরীক্ষণে পরীক্ষার্থীরা প্রথম দুটি সুসংগত উৎস ব্যবহার করলো যেগুলো থেকে সমদশাবিশিষ্ট 5500 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।

(ক) উৎস থেকে নির্গত প্রতিটি ফোটনের শক্তি $E = ?$

আমরা জানি, $E = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda} \quad [\because c = \upsilon\lambda]$

$$= \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{5500 \times 10^{-10}}$$

$$= 3.62 \times 10^{-19}\ \text{J} = 2.26\ \text{eV}$$

(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 4π দশা পার্থক্য এবং শূন্য দশা পার্থক্য একই কথা। তরঙ্গদ্বয়ের মধ্যে দশা পার্থক্য শূন্য হলে গঠনমূলক ব্যতিচার হয়। তাই এক্ষেত্রে শিক্ষার্থীরা গঠনমূলক ব্যতিচার পর্যবেক্ষণ করবে।

৫। ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষার জন্য রাসেল 5.5×10^{14} Hz কম্পাঙ্কবিশিষ্ট আলো ব্যবহার করে চিড় হতে 1.55 m দূরত্বের পর্দায় ব্যতিচার ঝালর সৃষ্টি করল। যার পর পর দুটি উজ্জ্বল ডোরার মধ্যবর্তী দূরত্ব 0.75 mm। অন্যদিকে আরিফের পরীক্ষায় চিড় দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব ছিল 2.0 mm। চিড় হতে 1 m দূরে পরপর দুটি উজ্জ্বল ডোরার ব্যবধান 0.295 mm।

(ক) রাসেলের পরীক্ষায় চিড় দুটির মধ্যবর্তী ব্যবধান কত ছিল ?

(খ) রাসেল ও আরিফের মধ্যে কে বেশি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করেছে, গাণিতিক যুক্তি দাও।

(ক) $\Delta z = \frac{\lambda D}{a} = \frac{cD}{na}$

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

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

এখানে,
$D = 1.55\ \text{m}$
$\Delta z = 0.75\ \text{mm} = 0.75 \times 10^{-3}\ \text{m}$
$n = 5.5 \times 10^{-14}\ \text{Hz}$
$a = ?$
ধরি, $c =$ আলোর বেগ
$\therefore \lambda = \frac{c}{n}$

(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,

$a = 2\ \text{mm} = 2 \times 10^{-3}\ \text{m}$

$D = 1\ \text{m},\ \Delta z = 0.295\ \text{mm} = 0.295 \times 10^{-3}\ \text{m}$

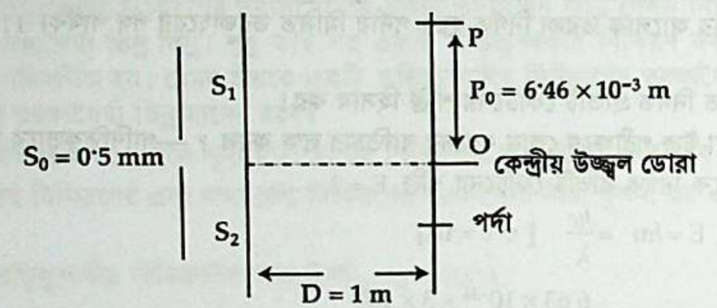
$\Delta z = \frac{\lambda' D}{a}$

$\therefore \quad \lambda' = \frac{a \times \Delta z}{D} = \frac{2 \times 10^{-3}\ \text{m} \times 0.295 \times 10^{-3}\ \text{m}}{1\text{m}}$

$= 5.9 \times 10^{-7}\ \text{m}$

যেহেতু $\lambda' > \lambda$ কাজেই আরিফ রাসেল অপেক্ষা বেশি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করেছে।

৬।



উদ্দীপকে 3800 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করে ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষা সম্পন্ন করা হচ্ছে। চিত্রে $S_1S_2 = 0.5$ mm, $OP = 6.46 \times 10^{-3}$ m, D = 1m

(ক) উদ্দীপকে কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল ডোরা হতে পঞ্চম অন্ধকার ডোরার দূরত্ব কত ?

(খ) উদ্দীপকের P বিন্দুতে গঠনমূলক ব্যতিচার না ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার হবে গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে মতামত দাও। [কু. বো. ২০১৬]

(ক) ধরি কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল ডোরা হতে পঞ্চম অন্ধকার ডোরার দূরত্ব, x

উদ্দীপক হতে $\lambda = 3800 \text{ Å} = 3800 \times 10^{-10}$ m

$a = 0.5 \text{ mm} = 5 \times 10^{-4}$ m

D = 1 m

$x = ?$

কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল ডোরা হতে পঞ্চম অন্ধকার ডোরার দূরত্ব,

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

$$= \frac{1 \times (2 \times 5 + 1)}{5 \times 10^{-4}} \times \frac{3800 \times 10^{-10}}{2}$$

$$= \frac{11 \times 3.8 \times 10^{-7} \times 10^{4}}{10}$$

$$= 4.18 \times 10^{-3} \text{ m} = 4.18 \text{ mm}$$

(খ) কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল ডোরা থেকে P বিন্দুর দূরত্ব, $OP = x_n = 6.46 \times 10^{-4}$ m

চিড়দ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব, $a = 0.5 \text{ mm} = 5 \times 10^{-4}$ m

চিড় হতে পর্দার দূরত্ব, D = 1 m

আমরা জানি, পথ পার্থক্য

$$\sigma = \frac{x_n a}{D} = \frac{6.46 \times 10^{-3} \times 5 \times 10^{-4}}{1}$$

$$= 3.23 \times 10^{-6} \text{ m} = 32300 \times 10^{-10} \text{ m}$$

$$= 32300 \text{ Å}$$

দশা পার্থক্য δ হলে,

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

বা, $$\frac{\delta}{2\pi} = \frac{32300}{3800}$$

বা, $$\frac{\delta}{2\pi} = 8.5$$

$\therefore \quad \delta = 17\pi = (8 \times 2\pi + \pi) = \pi$

যেহেতু দশা পার্থক্য π এর অযুগ্ম গুণিতক সেহেতু P বিন্দুতে ব্যতিচার হবে ধ্বংসাত্মক।

৭। রায়হান অপটিকস ল্যাবে 600 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একবর্ণী আলো 2 μm প্রস্থের চিড়বিশিষ্ট একটি অপবর্তন গ্রেটিং-এর ওপর লম্বভাবে আপতিত করল। সে ধারণা করেছিল যে নয়টি চরম বিন্দু দেখতে পারবে।

(ক) ১ম ক্রম চরমগুলোর মধ্যবর্তী কৌণিক দূরত্ব কত ?

(খ) রায়হানের ধারণা কী সঠিক ছিল ? গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর। [সি. বো. ২০১৭]

(ক) আমরা জানি,

$$a \sin \theta_n' = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$$

বা, $\sin \theta_n' = (2n+1)\frac{\lambda}{2a}$

বা, $\sin \theta_n' = (2n+1) \times \frac{600 \times 10^{-9}}{2 \times 2 \times 10^{-6}} = 0\text{·}45$

$\therefore \quad \theta_n' = \sin^{-1}(0\text{·}45) = 26\text{·}74°$

$\therefore \quad 2\theta_n' = 2 \times 26\text{·}74 = 53\text{·}48°$

এখানে,
আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, $\lambda = 600 \text{ nm} = 600 \times 10^{-9} \text{ m}$
ক্রম সংখ্যা, $n = 1$
চিড়ের বেধ, $a = 2\,\mu\text{m} = 2 \times 10^{-6} \text{ m}$
১ম ক্রমের চরমগুলির মধ্যবর্তী কৌণিক দূরত্ব, $2\theta_n' = ?$

অতএব, ১ম ক্রম চরমগুলোর মধ্যবর্তী কৌণিক দূরত্ব $53\text{·}48°$.

(খ) উদ্দীপক হতে পাই,

আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, $\lambda = 600 \text{ nm} = 600 \times 10^{-9} \text{ m}$

চিড়ের বেধ, $a = 2\,\mu\text{m} = 2 \times 10^{-6} \text{ m}$

অপবর্তন কোণ সর্বোচ্চ, $\theta = 90°$ হতে পারে। এক্ষেত্রে যে কোনো একপাশে সর্বোচ্চ ক্রমের চরম বিন্দু সৃষ্টি হলে,

$$a \sin 90° = (2n+1)\frac{\lambda}{2} \quad \therefore n = 0, 1, 2, 3 \ldots\ldots$$

বা, $2n + 1 = \frac{2a}{\lambda}$

বা, $2n = \frac{2a}{\lambda} - 1$

$\therefore \quad n = \frac{a}{\lambda} - \frac{1}{2} = \frac{2 \times 10^{-6}}{600 \times 10^{-9}} - \frac{1}{2} = 2\text{·}83 \approx 3$ [$\because$ n এর মান পূর্ণ সংখ্যক]

রায়হান কেন্দ্রীয় চরম ও এর উভয় পাশে তিনটি করে চরম দেখতে পাবে। অর্থাৎ রায়হান মোট $3 + 3 + 1 = 7$টি চরম বিন্দু দেখতে পাবে।

অতএব, রায়হানের ধারণা সঠিক ছিল না।

৮। 4800 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো দ্বারা পরস্পর হতে 0·5 mm দূরত্বে অবস্থিত দুটি রেখাছিদ্রকে আলোকিত করায় রেখাছিদ্রের পিছনে 1 m দূরত্বে অবস্থিত একটি পর্দার ওপর ব্যতিচার ঝালর সৃষ্টি করল।

(ক) ওই ব্যতিচার ঝালরের পরপর দুটি উজ্জ্বল পট্টির মধ্যকার দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের রেখাছিদ্রের পিছনে কত দূরত্বে একটি পর্দা রাখা হলে তার ওপর পট্টির প্রস্থ 1 mm হবে ? গাণিতিকভাবে দেখাও।

(ক) ধরা যাক, পরপর দুটি উজ্জ্বল পট্টির মধ্যকার দূরত্ব, x

আমরা জানি,

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

$\therefore \quad x = \frac{100 \times 4800 \times 10^{-8}}{0\text{·}05} = \frac{48 \times 10^{-2}}{5}$

$= 9\text{·}6 \times 10^{-2} = 0\text{·}96 \text{ mm}$

এখানে,
তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 4800$ Å $= 4800 \times 10^{-8}$ cm
$2d = 0\text{·}5 \text{ mm} = 0\text{·}05 \text{ cm}$
$D = 1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$

(খ) ধরা যাক, পর্দার দূরত্ব, D

আমরা জানি,

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

বা, $D = \frac{2dx}{\lambda}$

$\therefore D = \frac{0.05 \times 0.1}{4800 \times 10^{-8}}$

$= \frac{5 \times 10^{-3} \times 10^{5}}{4.8}$

$= \frac{500}{4.8} = 104.17 \text{ cm}$

এখানে,
$x = 1 \text{ mm} = 0.1 \text{ cm}$
$2d = 0.05 \text{ cm}$

সুতরাং, 104·17 cm দূরে পর্দা স্থাপন করলে 1 mm প্রস্থের পট্টি সৃষ্টি হবে।

৯। একটি সরু রেখা ছিদ্র দ্বারা ফ্রনহফার অপবর্তন ঝালর তৈরি করার জন্য লেন্স থেকে 2 m দূরে পর্দা রাখা হলো। রেখাছিদ্রের প্রস্থ 0·2 mm হলে দেখা গেল যে মুখ্য চরম বিন্দুর উভয় পার্শ্বে 5 mm দূরত্বে প্রথম অবম বিন্দু গঠিত হলো।

(ক) আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের আলোর দ্বারা একটি a প্রস্থের একক রেখাছিদ্রকে আলোকিত করা হলো। 30° অপবর্তন কোণে প্রথম চরম বিন্দুর জন্য রেখাছিদ্রের প্রস্থ a-এর মান কত হবে ?

(ক) আমরা জানি, মুখ্য চরম বিন্দু থেকে n-তম অবম বিন্দুর দূরত্ব x_n হলে,

$$x_n = \frac{nf\lambda}{a}$$

বা, $0.5 = \frac{1 \times 200 \times \lambda}{0.02}$

বা, $\lambda = \frac{0.5 \times 0.02}{200}$

$= \frac{5 \times 2 \times 10^{-3} \times 10^{-2}}{2}$

$= 5 \times 10^{-5} = 5000 \times 10^{-8} \text{ cm} = 5000 \text{ Å}$

এখানে,
$n = 1$
$a = 0.2 \text{ mm} = 0.02 \text{ cm}$
$x_n = 5 \text{ mm} = 0.5 \text{ cm}$
$f = 2 \text{ m} = 200 \text{ cm}$
$\lambda = ?$

(খ) আবার, n-তম চরম বিন্দু গঠনের শর্ত হলো,

$$a \sin\theta = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$$

বা, $a = \frac{(2n+1)\frac{\lambda}{2}}{\sin\theta}$

$= \frac{(2n+1)\lambda}{2\sin\theta} = \frac{3\lambda}{2\sin\theta}$

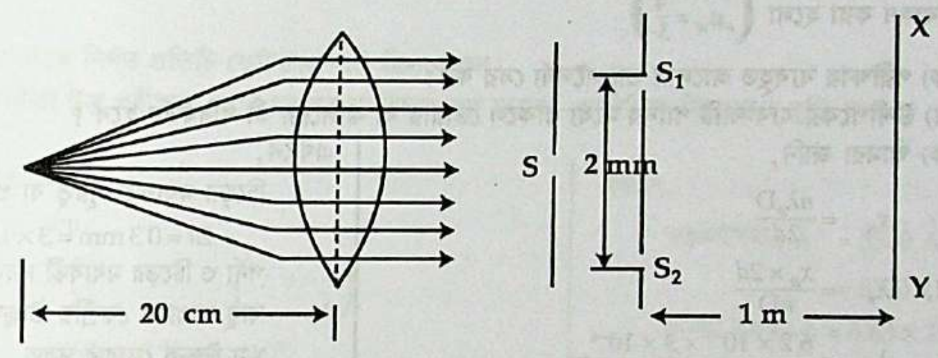
$= \frac{3 \times 5000 \times 10^{-8}}{2 \sin 30°}$

$= 15 \times 10^{-5} \text{ cm} = 15 \times 10^{-7} \text{ m}$

এখানে,
$\lambda = 5000 \text{ Å} = 5000 \times 10^{-8} \text{ cm}$
$n = 1$
$\theta = 30°$
$a = ?$

সুতরাং, 15×10^{-7} m প্রস্থের রেখাছিদ্রের জন্য 30° অপবর্তন কোণে প্রথম চরম বিন্দু গঠিত হবে।

১০। নিচের চিত্রে ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষার একটি ব্যবস্থা বোঝানো হয়েছে, যেখানে S_1 ও S_2 দুটি সুসংগত উৎস। ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5800 Å।



(ক) উদ্দীপকে ব্যবহৃত লেন্সের ক্ষমতা নির্ণয় কর।

(খ) পর্দার দূরত্ব 20 cm বৃদ্ধি করে একই প্রস্থের ডোরা পাওয়া সম্ভব কী ? গাণিতিক বিশ্লেষণসহ মতামত দাও। [ব. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি, ক্ষমতা,

$$P = \frac{1}{f}$$

$$\therefore \quad P = \frac{1}{0.2} = 5\,\text{D}$$

এখানে,
লেন্সের ফোকাস দূরত্ব, $f = 20\text{ cm} = 0.2\text{ m}$
ক্ষমতা, $P = ?$

(খ) আমরা জানি, ডোরার প্রস্থ,

$$x = \frac{\lambda D}{2d} \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

$$\therefore \quad x = \frac{5800 \times 10^{-10} \times 1}{2 \times 10^{-3}}\,\text{m}$$

$$= 2.9 \times 10^{-4}\,\text{m}$$

এখানে,
দুই চিড়ের মধ্যেবর্তী দূরত্ব, $2d = 2\text{ mm} = 2 \times 10^{-3}\text{ m}$
পর্দার দূরত্ব, $D = 1\text{ m}$
আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 5800\text{ Å} = 5800 \times 10^{-10}\text{ m}$
ডোরার প্রস্থ, $x = ?$

সমীকরণ (i) থেকে দেখা যায় যে ডোরার প্রস্থ তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ, পর্দার দূরত্ব D এবং দুই চিড়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব $2d$ এর ওপর নির্ভর করে। কিন্তু চিড় পরিবর্তন না করে মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিবর্তন করা সম্ভব নয়। পর্দার দূরত্ব পরিবর্তন করলে একই প্রস্থের ডোরা পেতে হলে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিবর্তন করতে হবে অর্থাৎ উৎস পরিবর্তন করতে হবে।

ধরা যাক, নতুন উৎসের তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ_1 এবং

$D_1 = 1\text{ m} + 0.2\text{ m} = 1.2\text{ m}$

এখন,

$$x' = \frac{\lambda_1 D_1}{2d}$$

$$\text{বা;} \quad \lambda_1 = \frac{2dx'}{D_1}$$

$$\therefore \quad \lambda_1 = \frac{2 \times 10^{-3} \times 2.9 \times 10^{-4}}{1.2} = 4.833 \times 10^{-7}\,\text{m}$$

$$= 4833 \times 10^{-10}\,\text{m} = 4833\text{ Å}$$

এখানে,
$x' = 2.9 \times 10^{-4}\text{ m}$
$D_1 = 1.2\text{ m}$
$2d = 2 \times 10^{-3}\text{ m}$
$\lambda_1 = ?$

সুতরাং, 4833 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করে একই প্রস্থের ডোরা পাওয়া সম্ভব।

১১। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় চিড়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·3 mm। পর্দা থেকে চিড় দুটির দূরত্ব 1 m। বায়ু মাধ্যমে পরীক্ষায় উৎপন্ন কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল ডোরা থেকে ৮ম উজ্জ্বল ডোরার দূরত্ব 6·2 mm। এ ব্যবস্থাটিকে পানির মধ্যে স্থাপন করে পর্যবেক্ষণ করা হলো $\left({}_a\mu_w = \frac{4}{3}\right)$

(ক) পরীক্ষায় ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বের কর।

(খ) উদ্দীপকের ব্যবস্থাটি পানির মধ্যে থাকলে ডোরার বা ঝালরের কী পরিবর্তন হবে ? [রা. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি,

$$x_n = \frac{n\lambda_a D}{2d}$$

বা, $$\lambda_a = \frac{x_n \times 2d}{nD}$$

$$\therefore \quad \lambda_a = \frac{6·2 \times 10^{-3} \times 3 \times 10^{-4}}{8 \times 1}\,\text{m}$$

$$= 2·325 \times 10^{-7}\text{ m}$$

$$= 2325 \times 10^{-10}\text{ m} = 2325\ \text{Å}$$

এখানে,

চিড়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব বা প্রস্থ,

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

পর্দা ও চিড়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব, $D = 1\text{ m}$

বায়ু মাধ্যমে কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল ডোরা থেকে ৮ম উজ্জ্বল ডোরার দূরত্ব,

$x_n = 6·2\text{ mm} = 6·2 \times 10^{-3}\text{ m}$

${}_a\mu_w = \frac{4}{3}$

ডোরার ক্রম, $n = 8$

বায়ুতে আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda_a = ?$

(খ) আবার, আমরা জানি,

$${}_a\mu_w = \frac{\lambda_a}{\lambda_w},$$ এখানে, λ_w = পানিতে আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য

বা, $$\lambda_w = \frac{\lambda_a}{{}_a\mu_w} = \frac{2325 \times 10^{-10}}{\frac{4}{3}}$$

$$\therefore \quad \lambda_w = \frac{2325 \times 3 \times 10^{-10}}{4}$$

$$= 1743·8 \times 10^{-10}\text{ m} = 1743·8\ \text{Å}$$

এখন পানিতে ৮ম উজ্জ্বল ডোরার দূরত্ব,

$$x_w = \frac{n\lambda_w D}{2d}$$

$$\therefore \quad x_w = \frac{8 \times 1743·8 \times 10^{-10} \times 1}{3 \times 10^{-4}}\,\text{m}$$

$$= 4650 \times 10^{-6}\text{ m}$$

$$= 4·65 \times 10^{-3}\text{ m} = 4·65\text{ mm}$$

এখানে, $x_a > x_w$; অর্থাৎ পানিতে ৮ম উজ্জ্বল ডোরা কেন্দ্রীয় ডোরার দিকে $(6·2 - 4·65)\text{ mm} = 1·55\text{ mm}$ সরে আসে। অর্থাৎ ডোরার প্রস্থ কমে যায়।

আমরা জানি, বায়ুতে ডোরার প্রস্থ

$$x_a = \frac{\lambda_a D}{2d} = \frac{2325 \times 10^{-10} \times 1}{3 \times 10^{-4}}\text{ m} = 775 \times 10^{-6}\text{ m}$$

$$= 0·775\text{ mm}$$

এবং পানিতে ডোরার প্রস্থ,

$$x_w = \frac{\lambda_w D}{2d} = \frac{1743·8 \times 10^{-10} \times 1}{3 \times 10^{-4}} = 581 \times 10^{-6}\text{ m} = 0·581\text{ mm}$$

প্রতিটি ডোরার প্রস্থ হ্রাস পায়,

$$x_a - x_w = 0·775\text{ mm} - 0·581\text{ mm} = 0·194\text{ mm}$$

অর্থাৎ পানিতে ডোরার প্রস্থ হ্রাস পাবে = = 0·194 mm

১২। আলোর ব্যতিচার পরীক্ষণে শিক্ষার্থীরা প্রথম দুটি সুসংগত উৎস ব্যবহার করল। সেগুলো থেকে সমদশা-বিশিষ্ট 5500 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক তরঙ্গ নির্গত হয়। তারা পর্দায় মিলিত তরঙ্গদ্বয়ের পথ পার্থক্য 11000 Å লক্ষ করল।

(ক) উৎস থেকে নির্গত প্রতিটি ফোটনের শক্তি হিসাব কর।

(খ) শিক্ষার্থীরা উক্ত পরীক্ষায় কোন ধরনের ব্যতিচার লক্ষ করল—গাণিতিক বিশ্লেষণসহ যুক্তি দাও।

[চ. বো. ২০১৫]

(ক) আমরা জানি,

$$E = h\upsilon$$

বা, $$E = h\frac{c}{\lambda} \qquad \left(\because \upsilon = \frac{c}{\lambda}\right)$$

$$\therefore \quad E = \frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^{8}}{5500\times10^{-10}}$$

$$= \frac{6.63\times3\times10^{-34}\times10^{8}\times10^{7}}{5.5} = 3.616\times10^{-19}\,\text{J}$$

$$= \frac{3.616\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}} = 2.26\,eV$$

এখানে,

তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 5500\,\text{Å} = 5500\times10^{-10}\,\text{m}$

প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক, $h = 6.63\times10^{-34}\,\text{Js}$

আলোর বেগ, $c = 3\times10^{8}\,\text{ms}^{-1}$

প্রতিটি ফোটনের শক্তি, $E = ?$

(খ) আমরা জানি, ব্যতিচার সৃষ্টির শর্ত,

গঠনমূলক ব্যতিচারের ক্ষেত্রে n জোড় সংখ্যা এবং ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের ক্ষেত্রে n বিজোড় সংখ্যা,

$$x = n\lambda$$

বা, $$n = \frac{x}{\lambda}$$

$$= \frac{11000\times10^{-10}}{5500\times10^{-10}} = 2$$

এখানে,

পথ পার্থক্য, $x = 11000\,\text{Å} = 11000\times10^{-10}\,\text{m}$

তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 5500\,\text{Å} = 5500\times10^{-10}\,\text{m}$

যেহেতু n জোড় সংখ্যা, অতএব শিক্ষার্থীরা পরীক্ষণে গঠনমূলক ব্যতিচার লক্ষ করল।

১৩। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় 5000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো প্রয়োগ করা হলো। চিড়দ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0.1 mm এবং চিড় থেকে পর্দার দূরত্ব 2 m। [অভিন্ন প্রশ্ন (ক ও খ সেট) ২০১৮]

(ক) কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল ডোরা হতে দশম উজ্জ্বল ডোরার দূরত্ব কত ?

(খ) দশম উজ্জ্বল ডোরা এবং দশম অন্ধকার ডোরার মধ্যকার কৌণিক অবস্থান গাণিতিক বিশ্লেষণসহ তুলনা কর।

(ক) আমরা জানি,

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

$$= \frac{10\times5\times10^{-7}\times2}{0.1\times10^{-3}} = 0.1\,\text{m}$$

এখানে,

$D = 2\text{m}$

$\lambda = 5000\,\text{Å} = 5\times10^{-7}\,\text{m}$

$2d = 0.1\,\text{mm} = 0.1\times10^{-3}\,\text{m}$

(খ) উজ্জ্বল ডোরার ক্ষেত্রে আমরা জানি,

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

বা, $$\sin\theta = \frac{n\lambda}{a}$$

$$\therefore \quad \theta = \sin^{-1}\frac{n\lambda}{a}$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{10\times5\times10^{-7}}{0.1\times10^{-3}}\right) = 2.87°$$

অন্ধকার ডোরার ক্ষেত্রে,

$$a \sin \theta' = (2n-1)\frac{\lambda}{2}$$

$$\therefore \quad \theta' = \sin^{-1}(2n-1) \times \frac{\lambda}{2a}$$

$$= \sin^{-1}(2 \times 10 - 1) \times \frac{5 \times 10^{-7}}{2 \times 0.1 \times 10^{-3}} = 2.72°$$

সুতরাং গাণিতিক বিশ্লেষণ থেকে দেখা যায় দশম উজ্জ্বল ডোরা ও দশম অন্ধকার ডোরার মধ্যবর্তী কৌণিক অবস্থানের পার্থক্য $\Delta\theta = \theta - \theta' = 2.87 - 2.72 = 0.15°$.

১৪। পরীক্ষাগারে ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষা সম্পন্ন করতে গ্রুপ বি-এর শিক্ষার্থীরা 5460 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সবুজ আলো দ্বারা একটি পর্দাকে আলোকিত করলো। ফলে স্লিটগুলো হতে 1 m দূরে পর্দার ওপর যে ব্যতিচার পট্টি দেখা গেল তার চারটি উজ্জ্বল ডোরার ব্যবধান 5 mm।

(ক) উদ্দীপকে ব্যবহৃত স্লিট দুটোর মধ্যবর্তী দূরত্ব কত ?

(খ) উদ্দীপকের পরীক্ষণটি পানিতে রেখে সম্পন্ন করলে ডোরার প্রস্থের কোনোরূপ পরিবর্তন হতো কি না? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে তোমার মতামত দাও। [রা. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি,

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

$$\text{বা,} \quad 2d = \frac{nD\lambda}{x_n} = \frac{4 \times 1 \times 5460 \times 10^{-10}}{5 \times 10^{-3}}$$

$$\therefore \quad 2d = 0.437 \times 10^{4} \times 10^{-7}\text{ m} = 0.437 \times 10^{-3}\text{ m}$$
$$= 0.437\text{ mm}$$

এখানে,
$\lambda = 5460\text{ Å} = 5460 \times 10^{-10}\text{ m}$
$D = 1\text{ m}$
$n = 4$
$x_n = 5\text{ mm} = 5 \times 10^{-3}\text{ m}$
$2d = ?$

সুতরাং, স্লিট দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব, $2d = 0.437$ mm

(খ) আবার, আমরা জানি,

$${}_a\mu_w = \frac{\lambda_a}{\lambda_w} \text{ বা, } \lambda_w = \frac{\lambda_a}{{}_a\mu_w} = \frac{5460 \times 10^{-10}}{1.5} = 3640 \times 10^{-10}\text{ m}$$

এখন পানিতে চারটি ডোরার প্রস্থ,

$$x_w = \frac{n\lambda_w D}{2d} = \frac{4 \times 3640 \times 10^{-10}}{0.437 \times 10^{-3}}$$
$$= 3.33 \times 10^{-3}\text{ m} = 3.33\text{ mm}$$

এখানে $x_n > x_w$, অর্থাৎ পানিতে চারটি উজ্জ্বল ডোরা কেন্দ্রের দিকে $(5 - 3.33) = 1.67$ mm সরে আসবে।

১৫। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় চিড় দুটির ব্যবধান 0.4 mm এবং পর্দার দূরত্ব 1 m। 3100 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো চিড়ের ওপর ফেলা হলে পর্দায় কেন্দ্র হতে ডানে বা বায়ে 12টি উজ্জ্বল ডোরা দেখা যায়। চিড়ের মধ্যবর্তী ব্যবধান কমানো হলে পর্দায় দৃশ্যমান ডোরার পরিবর্তন হয়।

(ক) পর্দায় 12তম উজ্জ্বল ডোরার কৌণিক সরণ নির্ণয় কর।

(খ) চিড় দুটির ব্যবধান অর্ধেক করা হলে পূর্ববর্তী 12টি উজ্জ্বল ডোরার স্থানে পরিবর্তিত ডোরার সংখ্যার কী পরিবর্তন হবে? উদ্দীপকের আলোকে গাণিতিক বিশ্লেষণ দাও। [কু. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি, কৌণিক ব্যবধান,

$$\theta = \frac{\lambda}{2d}$$

$$\text{বা,} \quad \theta = \frac{3100 \times 10^{-10}}{0.4 \times 10^{-3}}$$

$$\therefore \quad \theta = \frac{3100 \times 10^{-10}}{0.4 \times 10^{-3}} \times \frac{180}{\pi}$$
$$= 0.044°$$

এখানে,
$2d = 0.4\text{ mm} = 0.4 \times 10^{-3}\text{ m}$
$D = 1\text{ m}$
$\lambda = 3100\text{ Å} = 3100 \times 10^{-10}\text{ m}$
$n = 12$

(খ) আবার, আমরা জানি, 12তম ডোরার দূরত্ব,

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

$$\therefore \quad x_{12} = \frac{12 \times 3100 \times 10^{-10} \times 1}{0{\cdot}4 \times 10^{-3}} = 9{\cdot}3 \times 10^{-3}\ \text{m}$$

এখন, চিড় দুটির ব্যবধান অর্ধেক করা হলে, অর্থাৎ $2d = \frac{0{\cdot}4\,\text{mm}}{2} = 0{\cdot}2\ \text{mm} = 0{\cdot}2 \times 10^{-3}\ \text{m}$ করলে ওই দূরত্বে ডোরার সংখ্যা পাই,

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

$$\therefore \quad n = \frac{x_n \times 2d}{\lambda D} = \frac{9{\cdot}3 \times 10^{-3} \times 0{\cdot}2 \times 10^{-3}}{3100 \times 10^{-10} \times 1} = 6$$

এখানে,
$x_n = 9{\cdot}3 \times 10^{-3}\ \text{m}$
$\lambda = 3100 \times 10^{-10}\ \text{m}$
$D = 1\ \text{m}$
$n = ?$

সুতরাং, চিড় দুটির ব্যবধান অর্ধেক করা হলে 6টি ডোরা সৃষ্টি হবে।

১৬। সুমি প্রতি সেন্টিমিটারে 6000 দাগবিশিষ্ট অপবর্তন গ্রেটিং-এর 5890 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক ফেললো। অপরদিকে রুমি প্রতি সেন্টিমিটারে $1{\cdot}25 \times 10^5$ সংখ্যক দাগবিশিষ্ট অপবর্তন গ্রেটিং-এ 2200 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ফেললো।

(ক) সুমির পরীক্ষণে প্রথম চরমের জন্য অপবর্তন কোণ নির্ণয় কর।

(খ) রুমির পরীক্ষণে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের কীরূপ পরিবর্তন আনলে দ্বিতীয় চরমের জন্য সুমি ও রুমি উভয়ের ক্ষেত্রে অপবর্তন কোণ একই পাওয়া যাবে ? গাণিতিক বিশ্লেষণ কর। [য. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা পাই, অপবর্তন কোণ θ হলে,

$$d \sin\theta = n\lambda$$

বা, $\sin\theta = \frac{n\lambda}{d} = Nn\lambda$

বা, $\sin\theta = 6 \times 10^5 \times 1 \times 5890 \times 10^{-10} = 0{\cdot}3534$

$\therefore \quad \theta = \sin^{-1}(0{\cdot}3534) = 20{\cdot}7°$

এখানে,
$\lambda = 5890\text{Å} = 5890 \times 10^{-10}\ \text{m}$
$n = 1$
$N = 6 \times 10^3\ \text{cm}^{-1} = 6 \times 10^5\ \text{m}^{-1}$

(খ) দ্বিতীয় চরমের জন্য সুমির পরীক্ষণে অপবর্তন কোণ,

$$\theta_2 = \sin^{-1}(Nn\lambda) = \sin^{-1}(6 \times 10^5 \times 2 \times 5890 \times 10^{-10})$$
$$= \sin^{-1}(0{\cdot}7068) = 44{\cdot}98°$$

একই পরিমাণ অপবর্তন কোণের জন্য রুমির পরীক্ষণের আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য হবে,

$$\sin\theta = Nn\lambda$$

বা, $\lambda = \frac{\sin\theta}{Nn} = \frac{0{\cdot}7068}{1{\cdot}25 \times 10^7 \times 2}$ [রুমির গ্রেটিং $= 1\ N = 1{\cdot}25 \times 10^7\ \text{m}^{-1}$]

$$\therefore \quad \lambda = \frac{0{\cdot}7068 \times 10^{-7}}{2{\cdot}5} = \frac{706{\cdot}8 \times 10^{-10}}{2{\cdot}5}$$
$$= 282{\cdot}72 \times 10^{-10}\ \text{m}$$

রুমির পরীক্ষণে ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 2200Å বা, 2200×10^{-10} m। অতএব পরীক্ষণে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিবর্তন করতে হবে, $2200 \times 10^{-10} - 282{\cdot}72 \times 10^{-10}\ \text{m} = 1917{\cdot}28 \times 10^{-10}\ \text{m} = 1917{\cdot}28$Å। অর্থাৎ তরঙ্গদৈর্ঘ্য 1917·28Å কমাতে হবে।

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 বর্ণালি : 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 বর্ণালি বলে।

তরঙ্গমুখ : তরঙ্গাস্থিত সমদশাসম্পন্ন বিন্দুগুলি যে তলে অবস্থান করে তাকে উক্ত তরঙ্গের তরঙ্গমুখ বলে।

হাইগেনসের নীতি : কোনো একটি তরঙ্গামুখের ওপর অবস্থিত প্রতিটি বিন্দু কম্পন বা আন্দোলনের এক একটি উৎস হিসেবে বিবেচিত হয়। ওই গৌণ উৎসগুলো হতে সৃষ্ট তরঙ্গামালা মূল তরঙ্গের সমান বেগে সামনের দিকে অগ্রসর হয়। যে কোনো সময়ে ওই সব গৌণ তরঙ্গামালাকে স্পর্শ করে একটি তল অংকন করলে ওই তলই ওই সময়ের তরঙ্গামুখের নতুন অবস্থান নির্দেশ করে।

প্রতিফলনের সূত্র— ১ম সূত্র : আপতিত রশ্মি, আপতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব এবং প্রতিফলিত রশ্মি একই সমতলে অবস্থান করে।

২য় সূত্র : আপতন কোণ $\angle i$ = প্রতিফলন কোণ $\angle r$।

প্রতিসরণের সূত্র— ১ম সূত্র : আপতিত রশ্মি, আপতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব এবং প্রতিসৃত রশ্মি একই সমতলে অবস্থান করে।

২য় সূত্র : এক জোড়া নির্দিষ্ট মাধ্যম এবং একটি নির্দিষ্ট বর্ণের আলোক রশ্মির জন্য আপতন কোণের সাইন এবং প্রতিসরণ কোণের সাইন-এর অনুপাত একটি ধ্রুব রাশি। একে μ দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এর নাম প্রতিসরাঙ্ক।

আলোকের ব্যতিচার : একই রং-এর সমান কম্পাঙ্ক ও বিস্তারের দুটি আলোক তরঙ্গ কোনো মাধ্যমের কোনো একটি বিন্দুর মধ্য দিয়ে একই সঙ্গে গমন করলে তরঙ্গ দুটির উপরিপাতনের ফলে বিন্দুটি কখনো খুব উজ্জ্বল ও কখনো কখনো অন্ধকার দেখায়। এই ঘটনাকে আলোকের 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 ওই 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 ওই 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 ওপর সূঁচালো হীরক বিন্দু দ্বারা সমব্যবধানে সমান্তরালভাবে খুবই কাছাকাছি বহু সংখ্যক দাগ কাটা থাকে।

অপবর্তনের শর্ত : অপবর্তনের দুটি শর্ত রয়েছে; যথা—

(ক) **খাড়া ধারের ক্ষেত্রে :** ধার খুব তীক্ষ্ণ হতে হবে এবং এর প্রস্থ আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ-এর সমান বা কাছাকাছি মানের হতে হবে।

(খ) **সরু ছিদ্রের ক্ষেত্রে :** ছিদ্র খুবই সরু হতে হবে যাতে এর ব্যাস তরঙ্গদৈর্ঘ্যের 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 ওই রশ্মি এবং কেলাসের সরলাক্ষের মধ্য দিয়ে গমন করে।

প্রধান ছেদ : কোনো কেলাসের সরলাক্ষ বরাবর এবং এর দুই বিপরীত পৃষ্ঠের সমকোণে বিবেচিত তলকে ঐ কেলাসের প্রদান ছেদ বলে।

1 আলোক বর্ষ : এক বছরে আলোক রশ্মি যে দূরত্ব অতিক্রম করে তাকে 1 আলোক বর্ষ বলে।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। আলো এক প্রকার তড়িৎচুম্বক তরঙ্গ। তড়িচুম্বকীয় তরঙ্গ লম্বিক তরঙ্গ না অনুপ্রস্থ তরঙ্গ তা সমবর্তন পরীক্ষা থেকে জানা যায়।

২। তড়িৎ চৌম্বক বর্ণালিতে 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 বর্ণালির উৎপত্তির ব্যাখ্যা করা যায় না।

৫। দৃশ্যমান বর্ণালির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিমাণ 4×10^{-7} m — 7×10^{-7} m এবং শক্তি পাল্লা (2 – 3) eV হয়।

৬। আলোর কম্পন বলতে বোঝায়— (i) $\vec{E}$ এর কম্পন (ii) $\vec{B}$ এর কম্পন (iii) $\vec{E}$ ও $\vec{B}$ এর মধ্যবর্তী কোণ 90°।

৭। তিনটি বর্ণের জন্য $\lambda_R > \lambda > \lambda_v$ [য. বো. ২০১৫]

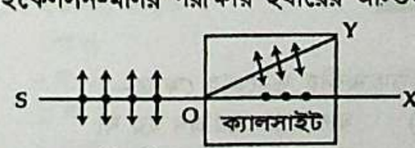
৮। ব্যতিচার এক ধরনের উপরিপাতন। শব্দ তরঙ্গের পোলারণ সম্ভব না।

৯। সমবর্তন নামক আলোকীয় ঘটনা মাধ্যমের পরিবর্তনের কারণে প্রভাবিত হয় না।

১০। সূর্যের আলোর তরঙ্গগুলোর আকৃতি সমতল, সমবর্তন ঘটে আড় তরঙ্গে।

১১। মাইকেলসন-মর্লির পরীক্ষায় ইথারের অস্তিত্ব ভুল প্রমাণিত হয়।

১২।



চিত্রে OY প্রতিসরিত রশ্মি।

১৩। একক চিড়ের দরুন অপবর্তনের ক্ষেত্রে অবমের শর্ত হলো $d \sin\theta = (2n)\lambda/2$। আবার ফ্রনহফার অপবর্তনের জন্য আপতিত আলোক তরঙ্গমুখ হতে হবে সমতল।

১৪। তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে ঘটে ব্যতিচার।

১৫। তরঙ্গমুখে কণাগুলোর দশা পার্থক্য 0°। α-কণা তড়িৎচুম্বকীয় তরঙ্গ নয়।

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

১৭। গঠনমূলক ব্যতিচারের জন্য পথ পার্থক্য $n\lambda$। আর ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের জন্য পথ পার্থক্য $(2n + 1)\lambda/2$।

১৮। 1 $\mathring{A}$ 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 $\frac{\lambda}{4}$ হলে, দশা পার্থক্য হবে $\frac{\pi}{2}$। আবার একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে দশা পার্থক্য π হলে বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$ এবং একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর দশা পার্থক্য $\frac{\pi}{2}$ হলে বিন্দুদ্বয়ের পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{4}$। আবার পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$ হলে দশা পার্থক্য π।

২৩। দুটি চিড়ের ব্যবধান a ও চিড় হতে পর্দার দূরত্ব D হলে ব্যতিচার ঝালরে পরপর দুটি উজ্জ্বল ও অন্ধকার ডোরার ব্যবধান হবে $\beta = \frac{D}{2d}\lambda$।

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 ডোরার প্রস্থ চারগুণ হবে।

২৬। আলোর তরঙ্গ তত্ত্বের প্রবক্তা হাইগেন, কণা তত্ত্বের প্রবর্তক নিউটন। আলোর কোয়ান্টাম 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। কাচে 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 বর্ণালি রেখা পৃথক করতে (iii) তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সাপেক্ষে অপবর্তন কোণের পরিবর্তনের হার নির্ণয়ে।

৩৩। ব্যতিচারের ক্ষেত্রে অন্ধকার ডোরা সৃষ্টি হবে যখন— (i) দশা পার্থক্য π এর অযুগ্ম গুণিতক হয় (ii) প্রাবল্য সর্বনিম্ন হয়।

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

৩৫। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে পথ 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 তড়িৎ ক্ষেত্র ও চৌম্বক ক্ষেত্রের লম্ব সমবায়
(iii) তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের সঞ্চালনের জন্য মাধ্যম প্রয়োজন হয়
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓛ i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓘ i, ii ও iii

২। কোনটি তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ নয় ?
ⓚ দৃশ্যমান আলো
ⓛ এক্স-রশ্মি
ⓖ গামা রশ্মি
ⓘ আলফা রশ্মি

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

৪। একটি তরঙ্গামুখে কণাগুলোর মধ্যে দশা পার্থক্য— [ঢা. বো. ২০১৫]
ⓚ 0°
ⓛ 90°
ⓖ 45°
ⓘ 180°

৫। হাইগেনের আলোক তত্ত্বের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়— [ঢা. বো. ২০১৬]
(i) আলোর ব্যতিচার
(ii) আলোর সমবর্তন
(iii) আলোর প্রতিসরণ
নিচের কোনটি সঠিক ?
ⓚ i ও ii
ⓚh i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖh i, ii ও iii

৬। মাধ্যমের পরিবর্তন হলে আলোর বৈশিষ্ট্যের কী পরিবর্তন ঘটে ?
ⓚ তরঙ্গদৈর্ঘ্য
ⓚh কম্পাঙ্ক
ⓖ বর্ণ
ⓖh কোনোটাই নয়

৭। 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 ?
ⓚ i ও ii
ⓚh i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖh i, ii ও iii

৮। আলোর ব্যতিচারের শর্ত— [কু. বো. ২০১৬]
(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 ?
ⓚ i ও ii
ⓚh i ও iii
ⓖ ii ও iii
ⓖh i, ii ও iii

৯। 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?
ⓚ 7m
ⓚh 10^{-7} m
ⓖ 10^{-8} m
ⓖh 0.2 m

১০। টমাস ইয়ং দ্বি-চিড় পরীক্ষার মাধ্যমে কী প্রদর্শন করেন ?
ⓚ আলোর সমবর্তন
ⓚh আলোর প্রতিসরণ
ⓖ আলোর ব্যতিচার
ⓖh আলোর বিচ্ছুরণ

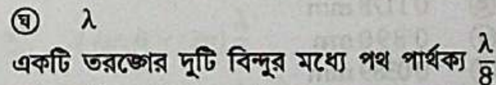
১১। দুটি সুসঙ্গত একবর্ণী আলো গঠনমূলক ব্যতিচার সৃষ্টি করে যখন তাদের দশা পার্থক্য হয়—
ⓚ $\frac{3}{2}\pi$
ⓚh 2π
ⓖ π
ⓖh $\frac{\pi}{2}$

১২। ইয়ং-এর পরীক্ষায় দুটি চিড় থাকার কারণ হলো—
ⓚ দুটি সুসঙ্গত উৎস সৃষ্টির জন্য
ⓚh একটি চিড় কম্পাঙ্কের জন্য এবং অপরটি তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের জন্য
ⓖ পথের দূরত্বের পার্থক্য সৃষ্টির জন্য
ⓖh একটি চিড় $\vec{E}$ ক্ষেত্রের জন্য এবং অপরটি $\vec{B}$ ক্ষেত্রের জন্য

১৩। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে দশা পার্থক্য $\frac{\pi}{2}$। বিন্দুদ্বয়ের পথ পার্থক্য কত ?
[সি. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন); দি. বো. ২০১৬; ঢা. বো. ২০১৫; CUET Admission Test, 2012-13]
ⓚ $\frac{\lambda}{2}$
ⓚh $\frac{\lambda}{4}$
ⓖ $\frac{3\lambda}{4}$
ⓖh λ

১৪। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{8}$ হলে দশা পার্থক্য কত ? [য. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন); ব. বো. ২০১৯; ঢা. বো. ২০১৬]
ⓚ $\frac{\pi}{2}$
ⓚh $\frac{\pi}{4}$
ⓖ $\frac{\pi}{6}$
ⓖh $\frac{\pi}{8}$

১৫। চিত্রে প্রদর্শিত ঘটনাকে বলে আলোর— [ঢা. বো. ২০১৬]



ⓚ অপবর্তন
ⓚh সমবর্তন
ⓖ ব্যতিচার
ⓖh উপরিপাতন