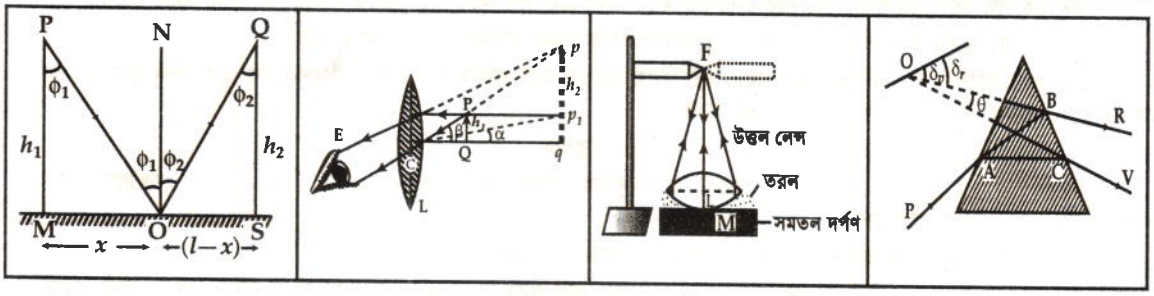
৬

জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান
GEOMETRICAL OPTICS

প্রধান শব্দ (Key Words) : ফার্মাট-এর নীতি, গোলকীয় দর্পণ, লেন্সের ক্ষমতা, লেন্সের ক্ষমতার একক, অণুবীক্ষণ যন্ত্র, দূরবীক্ষণ যন্ত্র, নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র, প্রিজম, প্রিজমের প্রতিসরণ তল, প্রিজমের শীর্ষ, প্রিজম কোণ, প্রিজমের ভূমি, বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি, ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ, বিচ্ছুরণ, বর্ণালি।



সূচনা
Introduction

পদার্থবিজ্ঞানের যে শাখায় আলো সংক্রান্ত বিষয়াদি নিয়ে আলোচনা করা হয় তাকে **আলোকবিজ্ঞান** বলে। আলোকবিজ্ঞানকে সাধারণত দুই ভাগে ভাগ করা হয়; যথা—জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান (Geometrical optics) ও ভৌত বা প্রাকৃতিক আলোকবিজ্ঞান (Physical optics)। জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান শাখায় ধরে নেওয়া হয় যে, পরীক্ষায় ব্যবহৃত যন্ত্রপাতির আকারের তুলনায় (যেমন কোনো ছিদ্র বা প্রতিবন্ধকের আকারের তুলনায়) আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য খুবই ছোট। পক্ষান্তরে ভৌত বা প্রাকৃতিক আলোকবিজ্ঞানে ওই আকার আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সঙ্গে তুলনীয়।

আমরা জানি, কোনো একটি স্বচ্ছ ও সমসত্ত্ব মাধ্যমে আলোক সরল পথে গমন করে। কিন্তু আলোক রশ্মি এক স্বচ্ছ মাধ্যম হতে অন্য স্বচ্ছ মাধ্যমে তির্যকভাবে প্রবেশের সময় এর দিক পরিবর্তিত হয়। একে প্রতিসরণ বলে। প্রতিসরণ আলোকের একটি বিশেষ ধর্ম। এ অধ্যায়ে সমতল ও গোলকীয় তলে আলোকের প্রতিসরণ, বিচ্ছুরণ, প্রিজম, লেন্স ইত্যাদি সম্বন্ধে আলোচনা করা হবে।

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

- ফার্মাটের নীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- ফার্মাটের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্র বিশ্লেষণ করতে পারবে।
- লেন্স তৈরির গাণিতিক সমীকরণ প্রতিপাদন করতে পারবে।

  ব্যবহারিক :

  ১. সমতল দর্পণ ও উত্তল লেন্স ব্যবহার করে তরলের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় করতে পারবে।

  ২. লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয় করতে পারবে।
- মাইক্রোস্কোপের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- রিফ্লেক্টিং টেলিস্কোপের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- প্রিজমে আলোর প্রতিসরণ ও বিচ্ছুরণ ব্যাখ্যা করতে পারবে।

৬·১ ফার্মাট-এর নীতি
Fermat's principle

৬·১·১ ধারণা
Concept

আমরা জানি, আলোকরশ্মি কোনো একটি বিন্দু হতে চলে সমতল পৃষ্ঠ কর্তৃক প্রতিফলন বা প্রতিসরণ-এর পর অন্য কোনো বিন্দুতে পৌঁছতে যদি কম দূরত্ব অতিক্রম করে তাহলে যে সময় লাগে তাও সর্বাপেক্ষা কম হয়। অতএব আলোক রশ্মির ক্ষুদ্রতম পথ অতিক্রম করার অর্থ ন্যূনতম সময় লাগা। এখন ক্ষুদ্রতম পথ বা ন্যূনতম সময় বিষয়ক যে নীতি তা কেবল সমতল পৃষ্ঠের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। গোলকীয় তলে এর ব্যতিক্রম দেখা যায়। কোনো গোলকীয় তলে যখন আলোক রশ্মির প্রতিফলন বা প্রতিসরণ ঘটে, তখন আলোক রশ্মি হয় দীর্ঘতম না হয় ক্ষুদ্রতম পথ অতিক্রম করবে। তবে

দীর্ঘতম বা ক্ষুদ্রতম পথ যাই অতিক্রম করুক না কেন পথ সর্বদা স্থির (stationary) থাকবে। 1650 খ্রিস্টাব্দে **পিয়ারে ফার্মাট** আলোক পথ সংক্রান্ত একটি নীতি আবিষ্কার করেন যা **ফার্মাটের নীতি** নামে পরিচিত। এই নীতির সাহায্যে আলোর সরলরৈখিক গতি, আলোর প্রতিফলন, প্রতিসরণের সূত্র প্রতিপাদন করা যায়। ফার্মাট-এর নীতি অনুসারে, **"যখন কোনো আলোক রশ্মি প্রতিফলন বা প্রতিসরণ-এর সূত্র মেনে কোনো সমতল পৃষ্ঠে প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হয়, তখন তা সর্বদা ক্ষুদ্রতম পথ অনুসরণ করে।"**

উপরোক্ত আলোচনার প্রেক্ষিতে সমতল বা গোলকীয় তল উভয়ের ক্ষেত্রে ফার্মাট-এর নীতিকে সাধারণ অর্থে (in general form) নিম্নলিখিতভাবে বিবৃত করা যায় :

এক বিন্দু হতে অপর এক বিন্দুতে যাওয়ার সময় আলোক রশ্মির প্রতিফলন বা প্রতিসরণ যত সংখ্যক বারই হোক না কেন অনুসৃত পথ চরম বা অবম বা স্থির দৈর্ঘ্যের হবে এবং এই পথ অতিক্রম করতে সর্বাপেক্ষা কম সময় লাগে।

সূত্রানুসারে, **বস্তু ও প্রতিবিম্বের মধ্যবর্তী আলোকপথ সকল রশ্মির ক্ষেত্রে সমান হবে।**

মনে করি আলোকরশ্মি বিভিন্ন মাধ্যমের মধ্য দিয়ে কয়েক বার প্রতিফলন ও প্রতিসরণের পর এক বিন্দু হতে অপর এক বিন্দুতে আসল। অতএব এর আলোক পথ হবে,

$$s_0 = \mu_1 s_1 + \mu_2 s_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots + \mu_s s_n = \sum \mu s = \text{ধ্রুবক}$$

এখানে $\mu_1, \mu_2, \mu_3 \ldots\ldots\ldots \mu_n$ হলো মাধ্যমগুলির প্রতিসরাঙ্ক এবং $s_1, s_2, s_3 \ldots\ldots\ldots s_n$ যথাক্রমে ওই মাধ্যমসমূহে অতিক্রান্ত পথের দৈর্ঘ্য।

আমরা জানি, ধ্রুবকের অন্তরকলন করলে শূন্য (0) হয়। $\therefore \delta[\sum \mu s] = 0$

$\delta[f(x)] = 0$ হলে, $f(x)$-এর চরম (maximum) মান এবং অবম (minimum) অবস্থান সূচিত করে। তাই মোট আলোক পথ (μ_s) হয় চরম না হয় অবম হবে।

আলোক পথ : কোনো মাধ্যমের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মি কোনো নির্দিষ্ট সময়ে যে পথ অতিক্রম করে তার সমতুল্য আলোক পথ বলতে বোঝায় ওই নির্দিষ্ট সময়ে আলোক রশ্মি শূন্য মাধ্যমে যে পথ অতক্রিম করে তা।

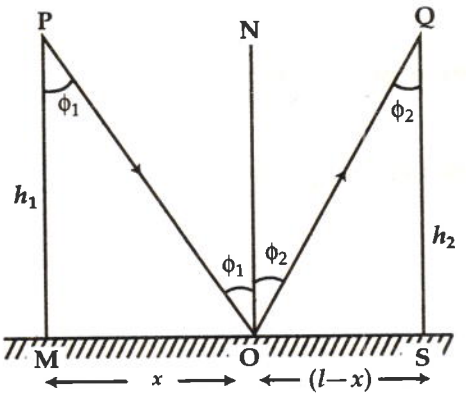
আলোক পথ = মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক × মাধ্যমে আলো কর্তৃক অতিক্রান্ত পথের দৈর্ঘ্য। $\therefore l_0 = \mu_0 \times l$

৬·১·২ ফার্মাট-এর নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্রাবলি
Laws of reflection and refraction of light with the help of Fermat's principle

ক. প্রতিফলনের সূত্রাবলি
Laws of reflection

RMDAC

মনে করি, MS একটি সমতল প্রতিফলক। PO এবং OQ যথাক্রমে আপতিত এবং প্রতিফলিত রশ্মি [চিত্র ৬.১]। ফার্মাটের নীতি অনুসারে P ও Q এর মধ্যে POQ দূরত্ব ক্ষুদ্রতম। P এবং Q থেকে MS প্রতিফলকের ওপর যথাক্রমে PM = h_1 এবং QS = h_2 অভিলম্ব টানা হলো। ধরা যাক OM = x এবং MS = l; তাহলে OS = $(l - x)$। এখানে প্রাথমিক ও অন্তিম বিন্দু P ও Q স্থির হলে MS = l দূরত্ব স্থির। যেহেতু অনিয়মিত প্রতিফলিত রশ্মি P থেকে Q-তে MO প্রতিফলকের যে কোনো বিন্দুতে আপতিত হতে পারে, সেহেতু O বিন্দু থেকে M বিন্দুর দূরত্ব x একমাত্র চলরাশি (variable)।



চিত্র ৬·১

চিত্র ৬·১ থেকে, POQ = s = PO + OQ

$$= \sqrt{h_1^2 + x^2} + \sqrt{h_2^2 + (l-x)^2}$$

ফার্মাটের নীতি অনুযায়ী P থেকে আগত আলোক রশ্মি প্রতিফলনের পর O থেকে Q-তে যে পথে যায় তার জন্য s গরিষ্ঠ অথবা লঘিষ্ঠ (maximum or minimum) হবে। অর্থাৎ

$$\frac{ds}{dx} = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.1)$$

$$\therefore \quad \frac{ds}{dx} = 0 = \frac{1}{2}(h_1^2 + x^2)^{-\frac{1}{2}} \, 2x - \frac{1}{2}\{h_2^2 + (l-x)^2\}^{-\frac{1}{2}} . \, 2(l-x)$$

$$\text{বা,} \quad 0 = x(h_1^2 + x^2)^{-\frac{1}{2}} - (l-x)\{h_2^2 + (l-x)^2\}^{-\frac{1}{2}}$$

$$\text{বা,} \quad 0 = \frac{x}{\sqrt{h_1^2 + x^2}} - \frac{l-x}{\sqrt{h_2^2 + (l-x)^2}} = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.2)$$

বা, $\frac{MO}{PO} - \frac{OS}{OQ} = 0$

বা, $\frac{MO}{PO} = \frac{OS}{OQ}$

বা, $\sin OPM = \sin OQS$

বা, $\sin \phi_1 = \sin \phi_2$ ... ... (6.3)

অর্থাৎ আপতন কোণ, $\angle PON$ = প্রতিফলন কোণ $\angle QON$

∴ আপতন কোণ = প্রতিফলন কোণ

ইহাই প্রতিফলনের দ্বিতীয় সূত্র।

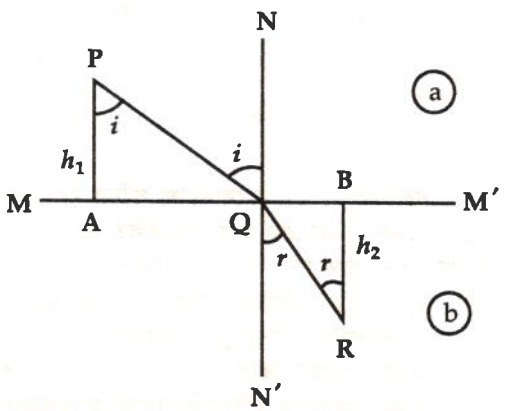
আবার PO এবং OQ প্রতিফলকের লম্ব তলে থাকবে। পুন ON সমতল প্রতিফলনের ওপর লম্ব বিধায়, PO এবং OQ যে সমতল গঠন করে ON ওই সমতলে অবস্থান করে। অর্থাৎ আপতিত রশ্মি PO, প্রতিফলিত রশ্মি OQ এবং অভিলম্ব ON একই সমতলে অবস্থান করে।

ইহাই প্রতিফলনের প্রথম সূত্র।

খ. প্রতিসরণের সূত্রাবলি
Laws of refraction

ধরা যাক PQ আলোক রশ্মি স্থির বিন্দু P থেকে Q বিন্দু হয়ে অন্য একটি স্থির বিন্দু R-এ পৌঁছাল। PQ আলোক রশ্মি a ও b স্থির মাধ্যমের MM′ বিভেদ তলে Q বিন্দুতে i কোণে আপতিত হয়ে b মাধ্যমের r কোণে প্রতিসৃত হচ্ছে [চিত্র ৬·২]।

বিভেদতল MM′-এর ওপর PA এবং RB লম্ব টানা হলো।



চিত্র ৬·২

মনে করি, PA = h_1, RB = h_2, AB = d এবং AQ = x তাহলে QB = $d-x$। যদি a ও b মাধ্যমে আলোর বেগ যথাক্রমে c_a ও c_b হয় এবং PQ ও QR পথ অতিক্রম করতে আলোর t সময় লাগে, তবে

$$t = \frac{PQ}{c_a} + \frac{QR}{c_b} = \frac{\sqrt{h_1^2 + x^2}}{c_a} + \frac{\sqrt{h_2^2 + (d-x)^2}}{c_b}$$

ফার্মাটের নীতি অনুযায়ী t সময় ন্যূনতম হবে; কাজেই

$$\frac{dt}{dx} = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.4)$$

অতএব, $\frac{dt}{dx} = \frac{2x}{c_a\sqrt{h_1^2 + x^2}} - \frac{2(d-x)}{c_b\sqrt{h_2^2 + (d-x)^2}} = 0$

বা, $2\left\{\frac{x}{c_a\sqrt{h_1^2 + x^2}} - \frac{(d-x)}{c_b\sqrt{h_2^2 + (d-x)^2}}\right\} = 0$

বা, $\frac{x}{c_a\sqrt{h_1^2 + x^2}} - \frac{d-x}{c_b\sqrt{h_2^2 + (d-x)^2}} = 0$ ... ... (6.5)

বা, $\frac{\sin i}{c_a} = \frac{\sin r}{c_b}$

∴ $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c_a}{c_b} = {}_a\mu_b$ ... ... (6.6)

ইহাই প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্র বা স্নেলের সূত্র।

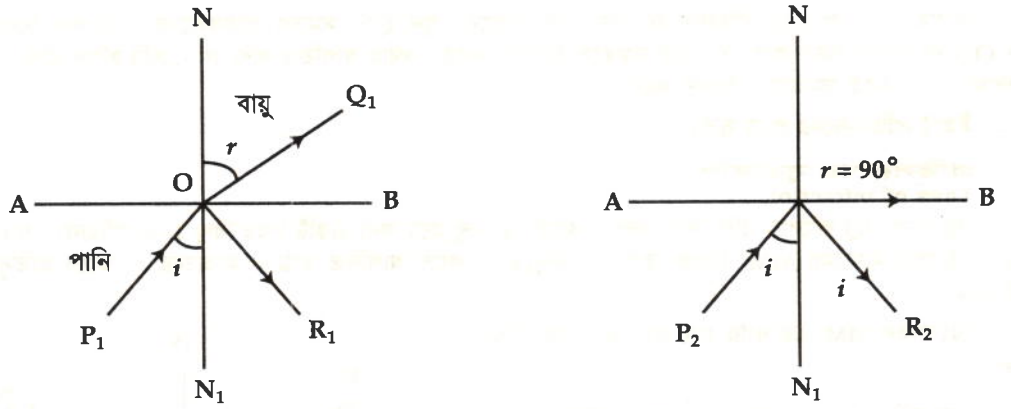
আবার PQ এবং QR রেখাদ্বয় পরস্পর Q বিন্দুতে মিলিত হয়ে একটি সমতল গঠন করে। যেহেতু PQR পথ ক্ষুদ্রতম সেহেতু এই সমতলে বিভেদতল NN′-এর ওপর লম্ব হবে। NN′ অভিলম্ব বিভেদতলের ওপর লম্ব হওয়ায় PQ

এবং QR যে সমতলে অবস্থিত সেই সমতলে NN'ও অবস্থিত। কাজেই আপতিত রশ্মি PQ, প্রতিসৃত রশ্মি QR এবং অভিলম্ব NN' একই সমতলে অবস্থিত।

ইহাই প্রতিসরণের প্রথম সূত্র।

৬·১·৩ পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন
Total internal reflection

আলো যখন এক মাধ্যম থেকে অন্য মাধ্যমে গমন করে তখন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের ওপর নির্ভর করে আলোকরশ্মি অভিলম্বের দিক অথবা অভিলম্ব হতে দুরে সরে যায়। যদি মাধ্যম ঘন হয়, তবে প্রতিসরিত রশ্মি অভিলম্বের দিকে বেঁকে যায় এবং মাধ্যম হাল্কা হলে বিপরীত ঘটনা ঘটে অর্থাৎ অভিলম্ব থেকে দূরে সরে যায়।



চিত্র ৬·৩

ধরা যাক, P_1O আলোকরশ্মি পানির মধ্য দিয়ে গমন করে বায়ু মাধ্যমের বিভেদ তলে O বিন্দুতে আপতিত হলো [চিত্র ৬·৩ (ক)]। এর এক অংশ প্রতিফলিত হয়ে OR_1 পথে পানি মাধ্যমে ফিরে আসে এবং অপর অংশ প্রতিসৃত হয়ে বায়ু মাধ্যমে OQ_1 পথে চলে যায়। এখানে প্রতিসরণ কোণ $\angle QON$ আপতন কোণ $\angle P_1ON_1$ অপেক্ষা বড় হয়। আপতন কোণ যত বড় হয় প্রতিসরণ কোণও তত বড় হবে। আপতন কোণের একটি বিশেষ মানের জন্য প্রতিসরণ কোণ 90° হয়, যাতে প্রতিসরিত রশ্মি দুই মাধ্যমের বিভেদতল ঘেঁষে যায় [চিত্র ৬·৩ (খ)]। ঘন মাধ্যমে আপতন কোণের এই সীমাস্থ মানকে **সংকট কোণ** (Critical angle) বলা হয়।

সংজ্ঞা : আলোক রশ্মি ঘন মাধ্যম থেকে হাল্কা মাধ্যমে প্রতিসৃত হওয়ার সময় যে আপতন কোণের জন্য প্রতিসরণ কোণ 90° হয় এবং প্রতিসৃত রশ্মি দুই মাধ্যমের বিভেদতল ঘেঁষে যায়, তাকে সংকট কোণ বলে।

৬·১·৪ পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের শর্তাবলি
Conditions of total internal reflection

পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের শর্তাবলি হলো :

(ক) আলোক রশ্মি অবশ্যই ঘন মাধ্যম থেকে হাল্কা মাধ্যমে গমন করবে।

(খ) আপতন কোণের মান অবশ্যই মাধ্যমদ্বয়ের সংকট কোণ অপেক্ষা বড় হতে হবে।

সংকট কোণ এবং ঘন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক

ধরা যাক, $\angle PON_1 = \theta_C =$ দুটি মাধ্যমের মধ্যে সংকট কোণ। (এক্ষেত্রে পানি এবং বায়ু) [চিত্র ৬·৩(খ)] এখানে প্রতিসরণ কোণ 90°, যদি পানির সাপেক্ষে বায়ুর প্রতিসরাঙ্ক ${}_w\mu_a$, তবে

$$ {}_w\mu_a = \frac{\sin\theta_C}{\sin 90^\circ} \text{ বা, } \sin\theta C = \frac{1}{{}_w\mu_a} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

অতএব, সংকট কোণের মান এক মাধ্যমের সাপেক্ষে অন্য মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের ওপর নির্ভর করে। এখন যদি মাধ্যমে দুটি 'a' এবং 'b' দ্বারা সূচিত করি এবং $\mu_a > \mu_b$ হয়, তবে

$$\sin\theta_C = \frac{1}{{}_w\mu_a} = \frac{\mu_b}{\mu_a} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$$

৬·১·৫ পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের প্রয়োগ
Application of the phenomenon of total internal reflection

আলোকবাহী তন্তুর মধ্য দিয়ে আলোর চলাচল [DAT: 23-24] [MAT: 22-23]

একটি তন্তু যা আলোকরশ্মি এক স্থান হতে অন্য স্থানে পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের মাধ্যমে পাঠাতে পারে তাকে **আলোকবাহী তন্তু** (Optical fibre) বলা হয়। ইহা কাচ, কোয়ার্টজ (quartz) অথবা আলোকীয় গ্রেডের প্লাস্টিক দ্বারা নির্মিত।

আলোকবাহী তন্তু লম্বা এবং খুবই সরু পাইপ যার ব্যাস প্রায় 10^{-5} m। পাইপের ভেতরের অংশকে বলা হয় কোর (core) [চিত্র ৬·৪]। এই কোরের মাধ্যমে আলো এক স্থান থেকে অন্য স্থানে গমন করে। কোরের ওপরে নিম্ন প্রতিসরাঙ্ক (μ) সম্পন্ন পদার্থের এর আস্তরণ থাকে। এই অন্তরককে বলা হয় ক্লাডিং (cladding)। কোরের অভ্যন্তরে আলোক রশ্মি

চিত্র ৬·৪

চিত্র ৬·৫

প্রবেশের পর কোর এবং ক্লাডিং–এর বিভেদতলে পরপর পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের দ্বারা সঞ্চালিত হয় এবং অপর প্রান্ত দিয়ে নির্গত হয়। যেহেতু, পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন আলোকবাহী তন্তুর অভ্যন্তরে ঘটে ফলে আলোর তীব্রতা অক্ষুণ্ন থাকে। একটি বৃহৎ বস্তুর চিত্র পাঠাতে হলে তন্তুর বান্ডেল বা তন্তুর কেবল (cable) বা তার ব্যবহার করা হয় [চিত্র ৬·৫]। বস্তুর বিভিন্ন অংশ হতে আলোকরশ্মি বিভিন্ন আলোক-বাহী তন্তুর দ্বারা সঞ্চালিত হয়ে তারের অপর প্রান্তে বস্তুর ছবি উৎপন্ন করে।

আলোকবাহী তন্তুর ব্যবহার

যোগাযোগ ব্যবস্থা ও চিকিৎসা বিজ্ঞানে আলোকবাহী তন্তু বহুল পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। নিম্নে কয়েকটি উল্লেখযোগ্য ব্যবহার উল্লেখ করা হলো :

১। দেহের অভ্যন্তরে বিভিন্ন অংশের চিত্র তৈরির কাজে যা সাধারণ চোখে দেখা সম্ভব নয়, যথা—ফুসফুস, টিস্যু, অন্ত্র ইত্যাদি।

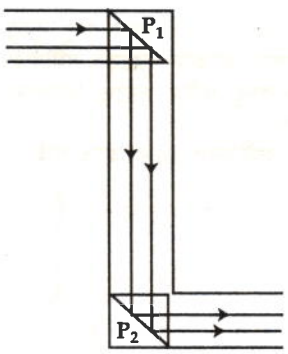
২। চিকিৎসার উদ্দেশ্য তীক্ষ্ণ লেজার রশ্মি সঞ্চালনের জন্য এই তন্তু ব্যবহার করা যায়।

৩। এক জায়গা থেকে অন্য জায়গায় ভিডিও সংকেত সঞ্চালন করা যায়, ডিজিটাল পদ্ধতিতে তথ্য সম্প্রচার করা যায়। কোনো বাধা ছাড়াই বিভিন্ন ডিজিটাল সংকেত এই তন্তু দ্বারা পাঠানো যায়।

প্রিজম টেলিস্কোপ
Prism telescope

প্রিজম টেলিস্কোপ দুটি সমকোণী সমদ্বিবাহু প্রিজম P_1 ও P_2 দ্বারা গঠিত। এগুলো এমনভাবে রাখা হয় যাতে তাদের অতিভুজ তল দুটি পরস্পরের সমান্তরালে থাকে। এখন P_1 প্রিজম ওপরে এমনভাবে বসানো থাকে যেন দূরবর্তী কোনো বস্তু থেকে আগত আলোকরশ্মি একটি জানালার মধ্য দিয়ে প্রিজমে আপতিত হয় এবং পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের মাধ্যমে অতিভুজ থেকে নিচের দিকে গমন করে। P_2 প্রিজম তলায় স্থির অবস্থায় থাকে। এই প্রিজম আগত আলোকরশ্মি গ্রহণ করে এবং সম্পূর্ণ প্রতিফলনের মাধ্যমে সমকোণে অনুভূমিক দিকে দর্শকের চোখে পৌছায়। এক্ষেত্রে প্রিজমে আলোর পূর্ণ প্রতিফলনের ফলে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। ফলে দর্শক বহুদূরের বস্তুর প্রতিবিম্ব স্পষ্ট দেখতে পায়।

সাধারণ পেরিস্কোপের চেয়ে প্রিজম পেরিস্কোপ অনেক বেশি উজ্জ্বল প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে।



চিত্র ৬·৬

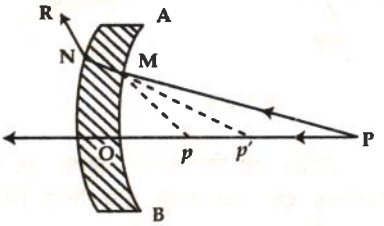
কাজ : কোনো পদার্থের পরম প্রতিসরাঙ্কের মান 1-এর থেকে কম হতে পারে কী ? —ব্যাখ্যা কর।

কোনো মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক বলতে শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ ও ওই মাধ্যমে আলোর বেগের অনুপাতকে বোঝায়। এখন যেহেতু শূন্য স্থানে আলোর বেগ অন্য যে কোনো মাধ্যমে আলোর বেগের চেয়ে বেশি, সেহেতু কোনো মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক 1-এর কম হতে পারে না।

৬·২ গোলীয় তলে প্রতিসরণ
Refraction in spherical surface

৬·২·১ লেন্স প্রস্তুতকারকের সূত্র বা লেন্স তৈরির সমীকরণ
Lens maker's formula or equation of lens formation

মনে করি AB একটি সরু লেন্সের প্রধান ছেদ [চিত্র ৬·৭]। এর প্রধান অক্ষ OP-এর ওপর P একটি বিন্দু-বস্তু এবং O এর আলোক কেন্দ্র। ধরা যাক P হতে বায়ুর মধ্য দিয়ে আগত PM আলোক রশ্মিটি লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠে আলোক কেন্দ্র হতে সামান্য দূরে M বিন্দুতে আপতিত হওয়ায় রশ্মিটি প্রথম পৃষ্ঠে MN বরাবর এবং দ্বিতীয় পৃষ্ঠে N বিন্দু হতে NR বরাবর প্রতিসৃত হলো। আবার P হতে লেন্সের ওপর আপতিত প্রধান অক্ষ বরাবর PO রশ্মিটি একই রেখায় লেন্স হতে বায়ুতে নির্গত হলো। কাজেই উপরোক্ত নির্গত রশ্মিদ্বয়ের ছেদ বিন্দু p-ই বস্তু P-এর অলীক বা অবাস্তব প্রতিবিম্ব হবে। কেননা লেন্সের অপর পার্শ্ব হতে দেখলে ওই রশ্মি দুটি উক্ত বিন্দু হতে নির্গত হচ্ছে মনে হবে।



চিত্র ৬·৭

ধরা যাক NM-কে পশ্চাৎ দিকে বর্ধিত করায় তা PO-কে p' বিন্দুতে ছেদ করল। তা হলে প্রথম গোলকীয় পৃষ্ঠে প্রতিসরণের জন্য p'-ই P-এর অবাস্তব প্রতিবিম্ব হবে এবং দ্বিতীয় পৃষ্ঠের সাপেক্ষে p' অবাস্তব বস্তু হিসেবে ক্রিয়া করবে। সুতরাং দ্বিতীয় পৃষ্ঠে প্রতিসরণের জন্য p-ই p'-এর প্রতিবিম্ব হবে।

ধরা যাক বস্তুর দূরত্ব $OP = u$, প্রতিবিম্বের দূরত্ব $Op = v$ এবং $Op' = v'$, প্রথম ও দ্বিতীয় গোলকীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে r_1 ও r_2 এবং বায়ুর সাপেক্ষে লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $= \mu$

চিহ্নের বাস্তব ধনাত্মক প্রথা অনুযায়ী :

প্রথম গোলকীয় তলে P-এর সৃষ্ট প্রতিবিম্ব p'-এর ক্ষেত্রে লেখা যায়,

$$\frac{\mu}{v'} + \frac{1}{u} = \frac{\mu - 1}{r_1} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.7)$$

দ্বিতীয় তলে p'-এর সৃষ্ট প্রতিবিম্ব p-এর ক্ষেত্রে লেখা যায়,

$$\frac{\frac{1}{\mu}}{v} + \frac{1}{-v'} = \frac{\frac{1}{\mu} - 1}{r_2}$$ [লক্ষ্যবস্তু অবাস্তব হেতু v' ঋণ রাশি।]

উভয় পক্ষকে μ দ্বারা গুণনে পাওয়া যায়,

$$\frac{1}{v} - \frac{\mu}{v'} = -\frac{\mu - 1}{r_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.8)$$

সমীকরণ (6.7) ও (6.8) যোগে পাওয়া যায়,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.9)$$

সমীকরণ (6.9) লেন্সে বস্তু দূরত্ব, প্রতিবিম্ব দূরত্ব ও বক্রতার ব্যাসার্ধের মধ্যকার সম্পর্ক নির্দেশক সমীকরণ।

লেন্সের ফোকাস দূরত্বের সমীকরণ :

লক্ষ্যবস্তু অসীম দূরত্বে অবস্থান করলে তার প্রতিবিম্ব লেন্সের দ্বিতীয় প্রধান ফোকাসে গঠিত হবে। এক্ষেত্রে $u = \infty$ এবং $v = f$

$\therefore$ সমীকরণ (6.9) হতে পাই,

$$\frac{1}{f} + \frac{1}{\infty} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

বা, $$\frac{1}{f} + 0 = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

বা, $$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.10)$$

ইহাই লেন্সের ফোকাস দূরত্বের সাধারণ সমীকরণ। লেন্স তৈরির কাজে এই সমীকরণ ব্যবহার করা হয় বলে একে লেন্স তৈরির সমীকরণ বা লেন্স প্রস্তুতকরণের সমীকরণও বলে।

বেষ্টনকারী মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক μ_1 এবং লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক μ_2 হলে সমীকরণ (6.10)-এ μ-এর স্থলে $\frac{\mu_2}{\mu_1}$ বসিয়ে লেখা যায়,

$$\frac{1}{f}=\left(\frac{\mu_2}{\mu_1}-1\right)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.11)$$

একে লেন্স প্রস্তুতকারকের সূত্র বলা হয়। একে লেন্সের ফোকাস দূরত্বের সূত্রও বলা হয়। এটি লেন্সের মাধ্যম, বেষ্টনকারী মাধ্যম এবং লেন্সের দুটি তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ দ্বারা নির্ধারিত।

কাজ : লেন্সের চারপাশের মাধ্যম পরিবর্তন করলে তার ফোকাস দূরত্ব পরিবর্তন হয় কেন ?

লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক যদি তার চারপাশের মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের চেয়ে বেশি হয় তাহলে আপতিত রশ্মিগুচ্ছ প্রতিসরণের পর অভিসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হবে। কিন্তু যদি লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক চারপাশের মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের চেয়ে কম হয় তাহলে উত্তল লেন্সে আপতিত রশ্মিগুচ্ছকে প্রতিসরণের পর অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত করবে। অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে বিপরীত ঘটনা ঘটবে। এভাবে ফোকাস দূরত্ব পরিবর্তন হয়।

জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞানে কোনো তলে, দর্পণে, লেন্সে বা আলোক যন্ত্রে আলোর প্রতিফলন বা প্রতিসরণে ফোকাস দূরত্ব, প্রতিবিম্বের দূরত্ব ধনাত্মক এবং সকল অবাস্তব দূরত্ব ঋণাত্মক। বাস্তব দূরত্ব বলতে আলোক রশ্মি প্রকৃত লক্ষ্যে যে দূরত্ব অতিক্রম করে তা বোঝায়। অন্যদিকে অবাস্তব দূরত্ব হলো আলোক রশ্মি যে দূরত্ব অতিক্রম করে না।

৬·২·২ গোলীয় তলে আলোর প্রতিসরণের নিয়ম
Rules of refraction in spherical surface

I. গোলীয় উত্তল বা অবতল পৃষ্ঠে আলোর প্রতিসরণের জন্য এবং বিম্ব বাস্তব, অবাস্তব, সোজা ও উল্টার ক্ষেত্রে :

$$\frac{\mu}{v}+\frac{1}{u}=\frac{\mu-1}{r}$$

II. আলো μ প্রতিসরাঙ্কের ঘন মাধ্যম থেকে বায়ুতে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে :

$$\frac{1}{v}+\frac{\mu}{u}=\frac{1-u}{r}$$

III. μ_1 প্রতিসরাঙ্কের কোনো মাধ্যম থেকে গোলীয় পৃষ্ঠে আপতিত হয়ে μ_2 প্রতিসরাঙ্কের কোনো মাধ্যমে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে :

$$\frac{\mu_2}{v}+\frac{\mu_1}{u}=\frac{\mu_2-\mu_1}{r}$$

৬·২·৩ ক্ষমতা এবং বক্রতার ব্যাসার্ধের সম্পর্ক
Relation of radius of curvature of a lens with its power

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$$

যদি উভয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ সমান হয়, তবে উভোত্তল ও উভাবতল লেন্সের ক্ষেত্রে আমরা জানি,

$$\frac{1}{f}=(\mu-1)\frac{2}{r}$$

অতএব, লেন্সের ক্ষমতা,

$$P=\pm(\mu-1)\frac{2}{r};\ \text{অর্থাৎ}\ P\propto\frac{1}{r}$$

সুতরাং, যদি উভোত্তল বা উভাবতল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ বৃদ্ধি পায় তবে লেন্সের ক্ষমতা হ্রাস পায় এবং পরস্পর বিপরীতধর্মী।

গাণিতিক উদাহরণ ৬.১

১। বায়ু সাপেক্ষে পানি এবং কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে $\frac{4}{3}$ এবং $\frac{3}{2}$। দেখাও যে, পানিতে একটি কাচ লেন্সের ফোকাস দূরত্ব বায়ুতে ফোকাস দূরত্বের চার গুণ। যদি লেন্সের ফোকাস 60 cm হয় তাহলে পানিতে ফোকাস দূরত্ব কত হবে ? [কু. বো. ২০০৪]

লেন্সের দুই পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ r_1 ও r_2 হলে আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{\mu_2}{\mu_1} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

বাতাসের ক্ষেত্রে,

$$\frac{1}{f_1} = \left(\frac{3}{2} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

বা, $\frac{1}{f_1} = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$

পানির ক্ষেত্রে,

$$\frac{1}{f_2} = \left(\frac{\frac{3}{2}}{\frac{4}{3}} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) = \left(\frac{9}{8} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \frac{1}{8}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(iii)}$$

(ii) নং সমীকরণকে (iii) নং সমীকরণ দ্বারা ভাগ করে পাই, $\frac{f_2}{f_1} = 4$

বা, $f_2 = 4f_1$ (প্রমাণিত)

∴ পানিতে একটি কাচ লেন্সের ফোকাস দূরত্ব বায়ুতে ফোকাস দূরত্বের 4 গুণ।

এখন $f_1 = 60$ cm ∴ $f_2 = 4f_1 = 4 \times 60$ cm $= 240$ cm

এখানে,
লেন্সের কাচের প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_2 = \frac{3}{2}$
ধরি,
যখন $\mu_1 = 1$ (বাতাসে),
তখন ফোকাস দূরত্ব = $f_1 = 60$ cm
যখন $\mu_1 = \frac{4}{3}$ (পানিতে)
তখন ফোকাস দূরত্ব = f_2

[মনে রাখবে : $\mu_2 \rightarrow$ লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক সূত্রের লবে (numerator) বসবে। আর $\mu_1 \rightarrow$ মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক সূত্রের হরে (denominator) বসবে।]

২। একটি উভোত্তল লেন্সের দুই পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ 15 cm এবং 30 cm। লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব 20 cm হলে এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর। [ঢা. বো. ২০০৯; KUET Admission Test, 2018-19 (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

বা, $\frac{1}{20} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{15} - \frac{1}{-30}\right)$

$$= (\mu - 1)\left(\frac{2+1}{30}\right)$$

বা, $(\mu - 1) = \frac{30}{3 \times 20} = 0.5$

∴ $\mu = 1 + 0.5 = 1.5$

এখানে,
উত্তল লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_1 = +15$ cm
উত্তল লেন্সের দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_2 = -30$ cm
উত্তল লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব, $f = +20$ cm
প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = ?$

[মনে রাখবে : উভাবতল লেন্সের ক্ষেত্রে $r_1 \rightarrow$ ঋণাত্মক, $r_2 \rightarrow$ ধনাত্মক এবং উভোত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে $r_1 \rightarrow$ ধনাত্মক, $r_2 \rightarrow$ ঋণাত্মক হয়।]

৩। 30 cm ফোকাস দূরত্ববিশিষ্ট একটি সমোত্তল লেন্স-এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·52 হলে এর পৃষ্ঠদ্বয়ের বক্রতার ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r}\right)$$

বা, $\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{2}{r}\right)$

বা, $\frac{1}{30} = (1.52 - 1)\left(\frac{2}{r}\right)$

∴ $r = 31.2$ cm

এখানে,
প্রত্যেক পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ = r
উত্তল লেন্সের ১ম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_1 = r_2$
২য় পৃষ্ঠের ব্যাসার্ধ, $r_2 = -r$
প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = 1.52$
ফোকাস দূরত্ব, $f = 30$ cm

৪।একটি উভাবতল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 30 cm এবং 20 cm। লেন্সের উপাদান প্রতিসরাঙ্ক 1·52 হলে, এর ফোকাস দূরত্ব কত ? [JU unit-H and A Admission Test, 2020-21]

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

বা, $\frac{1}{f} = (1{\cdot}52 - 1)\left(\frac{1}{30} - \frac{1}{-20}\right)$

বা, $\frac{1}{f} = 0{\cdot}52 \times \left(\frac{5}{60}\right)$

$\therefore \quad f = 23{\cdot}1 \text{ cm}$

এখানে,

প্রথম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_1 = 30$ cm

দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_2 = 20$ cm

প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = 1{\cdot}52$

ফোকাস দূরত্ব, $f = ?$

৫। 1·62 প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট একটি কাচের প্লেটে আলোক রশ্মি আপতিত হয়। যদি প্রতিফলিত এবং প্রতিসরিত রশ্মি একে অপরের সাথে লম্বভাবে অবস্থান করে তবে আপতন কোণের মান নির্ণয় কর।

[RUET Admission Test, 2019-20]

এখানে, $i = r$

চিত্র থেকে পাই, $R + 90° + r = 180°$

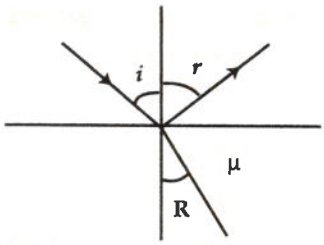
এখন, স্নেলের সূত্রানুযায়ী, $\mu = \frac{\sin i}{\sin R}$

বা, $1{\cdot}62 = \frac{\sin i}{\sin (90° - i)}$

বা, $1{\cdot}62 = \frac{\sin i}{\cos i} = \tan i$

$\therefore \quad i = \tan^{-1}(1{\cdot}62) = 58{\cdot}31°$

সুতরাং, আপতন কোণ $i = 58{\cdot}31°$



এখানে,

$\mu = 1{\cdot}62$

৬। একটি লেন্সের বায়ুতে ফোকাস দূরত্ব 18 cm। পানিতে নিয়ে গেলে এর ফোকাস দূরত্ব কত হবে? ($_a\mu_w = 4/3$, $_a\mu_g = 3/2$) [BUET Admission Test, 2015–16]

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = ({}_a\mu_{b-1})\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

১ম ক্ষেত্রে, $\frac{1}{f_a} = ({}_a\mu_{g-1})\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$

২য় ক্ষেত্রে, $\frac{1}{f_w} = ({}_w\mu_{g-1})\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$

$\therefore \quad {}_w\mu_g = \frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_w} = \frac{3/2}{4/3}$

$= \frac{3}{2} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{8}$

(i) ÷ (ii) $\Rightarrow \frac{f_w}{f_a} = \frac{{}_a\mu_{g-1}}{{}_w\mu_{g-1}}$

$\therefore \quad f_w = f_a\left(\frac{\frac{3}{2} - 1}{\frac{9}{8} - 1}\right) = 72 \text{ cm}$

৭। একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 0·2 m এবং এটি গ্লাসের তৈরি যার প্রতিসরাঙ্ক 1·50। এটিকে 1·33 প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট পানিতে ডুবালে লেন্সটির ফোকাস দূরত্বের পরিবর্তন নির্ণয় কর।

[BUET Admission Test, 2019-20]

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f_a} = \left(\frac{\mu_g}{\mu_a} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$\therefore \quad \frac{1}{0{\cdot}2} = (1{\cdot}5 - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

এখানে,

$f_a = 0{\cdot}2\,\text{m}$

$\mu_g = 1{\cdot}5$

$\mu_w = 1{\cdot}33$

আবার,

$$\frac{1}{f_w} = \left(\frac{\mu_g}{\mu_w} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \left(\frac{1{\cdot}50}{1{\cdot}33} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$

সমীকরণ (i) কে সমীকরণ (ii) দ্বারা ভাগ করে পাই,

$$\frac{f_w}{0{\cdot}2} = \frac{0{\cdot}5}{\frac{1{\cdot}50}{1{\cdot}33} - 1} = \frac{0{\cdot}5 \times 1{\cdot}33}{1{\cdot}50 - 1{\cdot}33}$$

$$= \frac{0{\cdot}665}{0{\cdot}17} = 3{\cdot}91$$

$\therefore \quad f_w = 0{\cdot}2 \times 3{\cdot}91 = 0{\cdot}782$

$\therefore$ ফোকাস দূরত্বের পরিবর্তন $= 0{\cdot}782 - 0{\cdot}2 = 0{\cdot}582\,\text{m}$

৮। বায়ু সাপেক্ষে কাচের সঙ্কট কোণ 42° এবং বায়ু সাপেক্ষে পানির সঙ্কট কোণ 48° হলে পানির সাপেক্ষে কাচের সঙ্কট কোণ কত ? [BUET Admission Test, 2015-16; 2012-13]

আমরা জানি,

$$_w\mu_g = \frac{1}{\sin {}_w\theta_g} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

$$_a\mu_g = \frac{1}{\sin {}_a\theta_g} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$

এবং $_a\mu_w = \frac{1}{\sin {}_a\theta_w} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(iii)}$

$$\therefore \quad \frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_w} = \frac{\sin {}_a\theta_w}{\sin {}_a\theta_g}$$

বা, $_w\mu_g = \frac{\sin {}_a\theta_w}{\sin {}_a\theta_g} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(iv)}$

(i) ও (iv) তুলনা করে পাই,

$$\frac{1}{\sin {}_w\theta_g} = \frac{\sin {}_a\theta_w}{\sin {}_a\theta_g}$$

বা, $\sin {}_w\theta_g = \frac{\sin {}_a\theta_g}{\sin {}_a\theta_w}$

$$= \frac{\sin 42°}{\sin 48°} = \frac{0{\cdot}669}{0{\cdot}743} = 0{\cdot}9$$

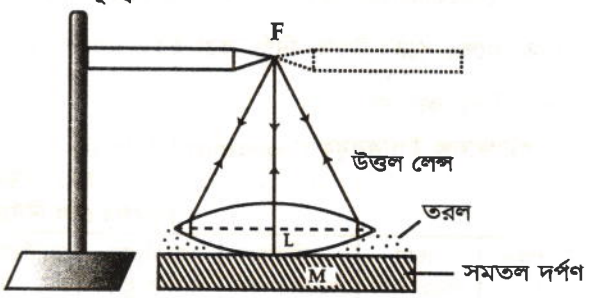
$\therefore \quad \sin {}_w\theta_g = 0{\cdot}9$

$_w\theta_g = \sin^{-1}(0{\cdot}9) = 64{\cdot}2°$

৬·৩ ব্যবহারিক
Experimental

পরীক্ষণের নাম :	তরলের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় (সমতল দর্পণ ও উত্তল লেন্সের সাহায্যে)
পিরিয়ড : ২	Determination of the refractive index of a liquid using plane mirror and convex Lens

তত্ত্ব (Theory) : কোনো সমতল দর্পণের ওপর ২–৩ ফোঁটা তরল রেখে যদি এই তরল পদার্থের ওপর f_1 ফোকাস দূরত্বের একটি উত্তল লেন্স স্থাপন করা হয় [চিত্র ৬·৮], তবে লেন্স ও সমতল দর্পণের মধ্যস্থিত তরল পদার্থের আবরণ f_2 ফোকাস দূরত্বের একটি সমাবতল তরল লেন্স গঠন করে। এই অবস্থায় গঠিত লেন্সের (সমাবতল) বক্রতার ব্যাসার্ধ ব্যবহৃত উত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধের সমান। লেন্সদ্বয় মিলিতভাবে একক সংযোজিত লেন্স গঠন করে যা উত্তল লেন্সের ন্যায় ক্রিয়া করে। ধরা যাক, এই লেন্সের ফোকাস দূরত্ব F।



চিত্র ৬·৮

সুতরাং আমরা লিখতে পারি

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$$

এখানে F এবং f_1 এর মান ঋণাত্মক।

$$\therefore \quad -\frac{1}{F}=-\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$$

$$\text{বা,} \quad \frac{1}{f_2}=\frac{1}{f_1}-\frac{1}{F}=\frac{F-f_1}{Ff_1}$$

$$\text{বা,} \quad \frac{1}{f_2}=\frac{F-f_1}{Ff_1}$$

$$\therefore \quad f_2=\frac{f_1F}{F-f_1} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

পরীক্ষার সাহায্যে f_1 ও F এর মান নির্ণয় করে সমীকরণ (i)-এ বসিয়ে f_2 এর মান নির্ণয় করা যায়।

এখানে বায়ুর সাপেক্ষে তরল পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক μ, সমাবতল লেন্সের গোলকীয় তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ r_1 এবং সমতল দর্পণের ব্যাসার্ধ r_2 হলে সমাবতল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f_2 কে লেখা যায়,

$$\frac{1}{f_2}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$

কিন্তু সমতলের বক্রতার ব্যাসার্ধ অসীম হলে, অর্থাৎ $r_2=\infty$ হলে, সমীকরণ (ii) কে লেখা যায়,

$$\frac{1}{f_2}=(\mu-1)\frac{1}{r_1}$$

$$\text{বা,} \quad f_2\ (\mu-1)=r_1$$

$$\text{বা,} \quad \mu-1=\frac{r_1}{f_2}$$

$$\therefore \mu=1+\frac{r_1}{f_2} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(iii)}$$

যন্ত্রপাতি (Apparatus) : উত্তল লেন্স, সমতল দর্পণ, পিন স্ট্যান্ড, মিটার স্কেল, স্লাইড ক্যালিপার্স, স্ফেরোমিটার, পরীক্ষণীয় তরল পদার্থ ইত্যাদি।

কার্যপদ্ধতি বা কাজের ধারা (Working procedure) :

১। স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে ব্যবহৃত উত্তল লেন্সের বেধ নির্ণয় করা হয়। তারপর এই বেধ t-কে 2 দ্বারা ভাগ করে লেন্সের উপরিতলের বেধ $\frac{t}{2}$ পাওয়া যায়।

২। টেবিলের ওপর একটি সমতল দর্পণ রেখে এর ওপর উত্তল লেন্সটি বসানো হয়।

৩। তারপর লক্ষ্যবস্তু পিন এমনভাবে স্ট্যান্ডের সাথে আটকানো হলো যেন পিনের ধারালো প্রান্ত লেন্সের প্রধান অক্ষের সমান্তরাল থাকে।

৪। এখন লক্ষ্যবস্তু পিনটাকে নিচ হতে ক্রমশ ওপরের দিকে উঠানো হয়। যখন লম্বন ত্রুটি থাকে না এবং বাস্তব প্রতিবিম্ব গঠিত হয় তখন মিটার স্কেলের সাহায্যে লেন্সের উপরিতলের মধ্যবিন্দু হতে পিনের শীর্ষবিন্দু পর্যন্ত

উচ্চতা h_1 পরিমাপ করা হয়। এখন $f_1 = \left(h_1 + \frac{t}{2}\right)$-এর সাহায্যে উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় করা হয়।

৫। সমতল দর্পণ হতে লেন্সটিকে সরিয়ে দর্পণের ওপর ২–৩ ফোঁটা তরল পদার্থ ঢালা হয়। আবার সমতল দর্পণের ওপর উত্তল লেন্সটিকে স্থাপন করা হয়।

৬। পুনরায় লক্ষ্যবস্তু পিনটিকে নিচ হতে ক্রমশ ওপরের দিকে উঠানো হয়। যখন লম্বন ত্রুটি থাকে না এবং বাস্তব প্রতিবিম্ব গঠিত হয় তখন মিটার স্কেলের সাহায্যে লেন্সের উপরিতলের মধ্যবিন্দু হতে পিনের শীর্ষবিন্দু পর্যন্ত উচ্চতা h_2 পরিমাপ করা হয়। এখন $F = \left(h_2 + \frac{t}{2}\right)$-এর সাহায্যে সংযোজিত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় করা হয়।

৭। স্ফেরোমিটারের তিন পায়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিমাপ করা হয় এবং গড় মান D নেওয়া হয়। সমতল দর্পণের পৃষ্ঠ হতে লেন্সের পৃষ্ঠের উচ্চতা নির্ণয় করা হয়। অতঃপর $r_1 = \left(\frac{D^2}{6h} + \frac{h}{2}\right)$ সূত্রের সাহায্যে উত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ r_1 নির্ণয় করা হয়।

পরীক্ষালব্ধ উপাত্তসমূহ (Experimental data) :

ছক–১ (নমুনা)

[লেন্সের বেধ নির্ণয়ের জন্য]

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	প্রধান স্কেল পাঠ M cm	ভার্নিয়ার স্কেলের পাঠ V	ভার্নিয়ার পাঠের ধ্রুবক C cm	ভার্নিয়ার পাঠের মান F = V × C cm	মোট পাঠ (M + F)	গড় পাঠ t cm	লেন্সের মধ্য বিন্দুর পাঠ $t/2$ cm
1	0·5	3	0·01	0·03	0·53	0·54	0·27
2	0·5	4		0·04	0·54		
3	0·5	5		0·05	0·55		

ছক–২

[উচ্চতা (h) নির্ণয়ের জন্য]

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	কোন তল	রৈখিক স্কেল পাঠ M cm	বৃত্তাকার স্কেল পাঠ V	লঘিষ্ঠ ধ্রুবক C cm	বৃত্তাকার পাঠের মান F = V × C cm	মোট পাঠ (M + F) cm	গড় পাঠ t cm	$h = (x_2 - x_1)$ cm
1	সমতল	0	7	0·001	0·007	0·007	0·0075	0·1975
2	দর্পণের ওপর (x_1)	0	8	0·001	0·008	0·008		
1	লেন্সের ওপর	0·2	4	0·001	0·004	0·204	0·205	
2	(x_2)	0·2	6	0·001	0·006	0·206		

ছক–৩

[(f_1) ও (F) এর মান নির্ণয়ের জন্য]

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	উচ্চতা h_1 cm	গড় উচ্চতা h_1 cm	ফোকাস দূরত্ব $f_1 = \left(h_1 + \frac{t}{2}\right)$ cm	উচ্চতা h_2 cm	গড় উচ্চতা h_2 cm	ফোকাস দূরত্ব $F = \left(h_2 + \frac{t}{2}\right)$ cm
1	14·1	14·2	14·2 + 0·27 = 14·47	22·2	22·3	22·3 + 0·27 = 22·57
2	14·3			22·4		
3	14·2			22·3		

স্ফেরোমিটারের পায়ার দূরত্ব D নির্ণয় :

$$D = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{3}$$

$$D = \frac{3{\cdot}9 + 3{\cdot}9 + 3{\cdot}9}{3} = 3{\cdot}9\ \text{cm}$$

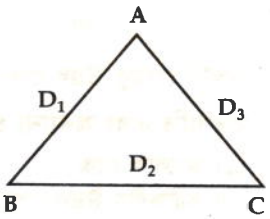
হিসাব (Calculation) :

$$r_1 = \frac{D^2}{6h} + \frac{h}{2} = \frac{3{\cdot}9 \times 3{\cdot}9}{6 \times 0{\cdot}1975} + \frac{0{\cdot}1975}{2}$$

$$= \frac{15{\cdot}21}{1{\cdot}185} + 0{\cdot}09875 = 12{\cdot}84 + 0{\cdot}09875$$

$$= 12{\cdot}93\ \text{cm}$$

$$f_2 = \frac{F \times f_1}{F - f_1} = \frac{22{\cdot}57 \times 14{\cdot}47}{22{\cdot}57 - 14{\cdot}47} = \frac{326{\cdot}5879}{8{\cdot}10} = 40{\cdot}31\ \text{cm}$$



চিত্র ৬·৯

সুতরাং

$$\mu = 1 + \frac{r_1}{f_2} = 1 + \frac{12{\cdot}93}{40{\cdot}31} = 1 + 0{\cdot}32 = 1{\cdot}32$$

ফলাফল (Result) :

পানির পরীক্ষালব্ধ প্রতিসরাঙ্ক = 1·32

সতর্কতা ও আলোচনা (Precautions and discussions) :

১। লম্বন ত্রুটি যথাযথ পরিহার করা হয়।

২। পিনের অগ্রভাগ লেন্সের প্রধান অক্ষ বরাবর রাখা হয়।

৩। দর্পণে কম পরিমাণ তরল পদার্থ ব্যবহার করা হয়।

৪। লেন্সের বেধ সঠিকভাবে পরিমাপ করা হয়।

পরীক্ষণের নাম :	লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয়
পিরিয়ড : ২	Determination of the focal length and power of a lens

$\frac{1}{u}$ এবং $\frac{1}{v}$ লেখচিত্রের সাহায্যে একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয় (To determine the focal length and power of a convex lens by plotting $\frac{1}{u}$ and $\frac{1}{v}$ graph.)

মূলতত্ত্ব (Theory) : ফোকাস দূরত্ব : কোনো একটি লেন্সের আলোক কেন্দ্র হতে প্রধান ফোকাস পর্যন্ত দূরত্বকে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব বলে এবং তাকে 'f' দ্বারা প্রকাশ করা হয় এবং কোনো একটি লেন্সের ফোকাস দূরত্বকে মিটারে প্রকাশ করে তার বিপরীত রাশির চিহ্ন পরিবর্তন করলে ডায়প্টারে লেন্সের ক্ষমতা পাওয়া যায়। u এবং v যথাক্রমে বস্তু দূরত্ব এবং প্রতিবিম্ব দূরত্ব হলে, প্রকৃত প্রতিবিম্বের জন্য আমরা পাই—

$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$; এখন, $\frac{1}{u}$-কে X অক্ষের দিকে এবং $\frac{1}{v}$-কে Y-অক্ষের দিকে নির্দেশ করে একটি লেখচিত্র অঙ্কন করলে তা একটি সরলরেখা হবে। সরলরেখাটি মূলবিন্দু হতে উভয় অক্ষকে সমান দূরে ছেদ করবে। মূলবিন্দু হতে উভয় অক্ষের ছেদবিন্দু পর্যন্ত দূরত্ব $\frac{1}{f}$-এর সমান। কারণ চিত্র ৬·৭-এ X-অক্ষে $\frac{1}{v} = 0$; অতএব, $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ সমীকরণকে লেখা যায়, $\frac{1}{u} + 0 = \frac{1}{f}$; বা, $u = f$। অনুরূপভাবে Y-অক্ষে $\frac{1}{u} = 0$; অতএব, $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ সমীকরণ হবে $0 + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$; বা, $v = f$। তবে কেন্দ্র হতে ছেদবিন্দুদ্বয়ের দূরত্ব সমান না হলে গড় মান নিতে হবে।

ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় করার পর নিম্নের সমীকরণ ব্যবহার করে লেন্সের ক্ষমতা নির্ণয় করা যায় :

লেন্সের ক্ষমতা : কোনো লেন্স দ্বারা আলোক রশ্মিগুচ্ছের অভিসারিতা (convergence) বা অপসারিতা (divergence) উৎপাদনের সামর্থ্যকে তার ক্ষমতা বলে। লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যত কম, তা দ্বারা তত কম দূরত্বের মধ্যে

সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অভিসারী বা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয়। অর্থাৎ ওই লেন্সের ক্ষমতা বেশি। এ জন্য কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্বের বিপরীত সংখ্যাকে তার ক্ষমতা বলা হয়। সুতরাং কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্ব জানা থাকলে লেন্সের ক্ষমতা নিম্নের সমীকরণ ব্যবহার করে নির্ণয় করা যায় :

$$\text{লেন্সের ক্ষমতা, } P = \frac{100}{f(\text{cm})} \text{ ডায়প্টার (D) বা } \frac{1}{f}$$

$$\text{বা, } P = \frac{1}{f(\text{m})} \text{ ডায়প্টার (D)।}$$

লেন্সটি যেহেতু উত্তল লেন্স অতএব এর ক্ষমতা ধনাত্মক হবে।

যন্ত্রপাতি এবং অন্যান্য প্রয়োজনীয় দ্রব্যাদি (Apparatus and other necessary materials) :

(১) আলোক বেঞ্চ,
(২) পরীক্ষণীয় উত্তল লেন্স,
(৩) বস্তু-আলপিন,
(৪) পর্দা আলপিন,
(৫) সূচক দণ্ড,
(৬) ছক কাগজ ইত্যাদি।

কার্যপদ্ধতি বা কাজের ধারা (Working procedure)

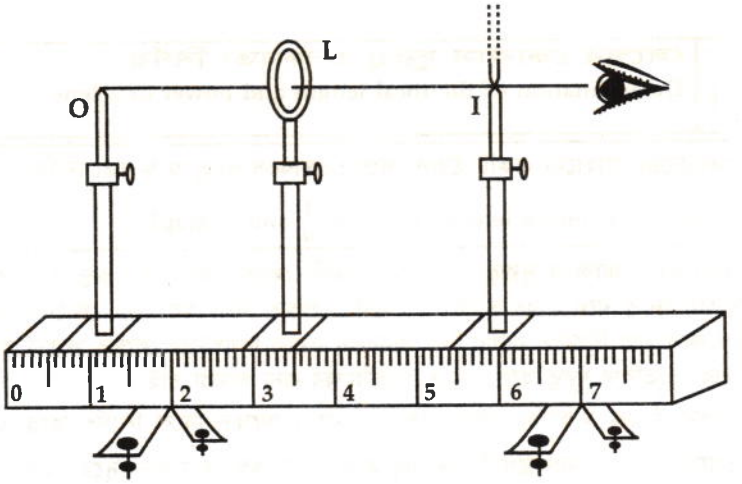
(১) একটি উত্তল লেন্স নেয়া হয় এবং আলোক বেঞ্চের একটি দণ্ডের ওপর তাকে স্থাপন করা হয়।

(২) লেন্সের সম্মুখে আলোক বেঞ্চের অপর একটি দণ্ডে একটি আলপিন স্থাপন করা হয়।

(৩) লেন্সের অপর পার্শ্বে আলোক বেঞ্চের ওপর একটি দণ্ডে অপর একটি আলপিনকে এমনভাবে স্থাপন করা হয় যেন প্রথম আলপিনের প্রকৃত প্রতিবিম্ব দৃষ্টিভ্রম ত্রুটি এড়িয়ে তার ওপর সমাপতিত হয়।

(৪) আলোক বেঞ্চের স্কেল হতে লেন্স, বস্তু -আলপিন এবং প্রতিবিম্ব আলপিনের অবস্থানের পাঠ নেয়া হয় এবং u ও v-এর আপাত মান বের করা হয়।

(৫) উত্তল লেন্সের বিভিন্ন অবস্থানের জন্য উপরোক্ত প্রক্রিয়াগুলো অনুসরণ করে u ও v-এর কয়েকটি আপাত মান বের করা হয়।



চিত্র ৬·১০

(৬) বস্তু দূরত্ব এবং প্রতিবিম্ব দূরত্বের সূচক ত্রুটি বের করা হয় এবং u ও v-এর প্রকৃত মান নির্ণয় করা হয়।

(৭) প্রতি ক্ষেত্রেই $\frac{1}{u}$ এবং $\frac{1}{v}$-এর মান বের করা হয়।

(৮) লেখচিত্রের X অক্ষের দিকে $\frac{1}{u}$-কে এবং Y অক্ষের দিকে $\frac{1}{v}$-কে স্থাপন করে একটি লেখচিত্র অঙ্কন করা হয়। লেখ হতে প্রাপ্ত সরলরেখা X এবং Y অক্ষকে যে বিন্দুতে ছেদ করে লেখের মূলবিন্দু হতে এদের দূরত্ব বের করা হয় এবং গড় মান নির্ণয় করা হয় যার মান $\frac{1}{f}$-এর সমান। এর বিপরীত মানই পরীক্ষণীয় লেন্সের নির্ণেয় ফোকাস দূরত্ব।

সূচক ত্রুটি নির্ণয় :

সূচক দণ্ডের দৈর্ঘ্য = x সেমি

লেন্স ও বস্তুর মধ্যে আপাত দূরত্ব = y সেমি

লেন্স ও প্রতিবিম্বের মধ্যে আপাত দূরত্ব = z সেমি

∴ বস্তু দূরত্বের সূচক ত্রুটি = $(x \sim y)$ = ... সেমি

প্রতিবিম্ব দূরত্বের সূচক ত্রুটি = $(x \sim z)$ = ... সেমি

সংশোধিত দূরত্ব নির্ণয়ের সময় এই ত্রুটি যোগ বা বিয়োগ করতে হয়।

পর্যবেক্ষণ এবং সন্নিবেশন (Observation and Manipulation) :

উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয়ের ছক

পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	লেন্সের অবস্থান = L সেমি	বস্তুর অবস্থান = O সেমি	প্রতিবিম্বের অবস্থান = I সেমি	আপাত বস্তুর দূরত্ব = (L ~ O) সেমি	আপাত প্রতিবিম্ব দূরত্ব = (L ~ I) সেমি	বস্তু দূরত্বের সূচক ত্রুটি $(x \sim y)$ সেমি	প্রতিবিম্ব দূরত্বের সূচক ত্রুটি $(x \sim z)$ সেমি	সংশোধিত বস্তু দূরত্ব = u সেমি	সংশোধিত প্রতিবিম্ব দূরত্ব = v সেমি	$\frac{1}{v} + \frac{1}{u}$ সেমি$^{-1}$ $(\text{cm}^{-1}) = \frac{1}{f}\text{cm}^{-1}$	$\frac{1}{v}$ সেমি$^{-1}$ $(\text{cm}^{-1}) = \frac{1}{f}\text{cm}^{-1}$	f সেমি cm	গড় f সেমি cm	ক্ষমতা $P = \frac{1}{f(\text{m})} D = -D$
1														
2														
3														

হিসাব বা গণনা (Calculation) :

(১) X-অক্ষের ছেদক, $\frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ = ... cm^{-1}

বা, f = ...cm = ...m

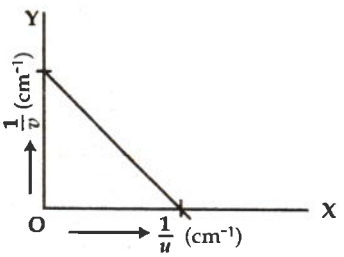
(২) Y-অক্ষের ছেদক, $\frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ = ... cm^{-1}

বা, f = ...cm = ...m

বা, f এর গড় মান [(১) ও (২) এর গড়]

= ... ... cm = ... m

লেন্সের ক্ষমতা, $P = \frac{1}{f}$ $D = -$ ... ... D



চিত্র ৬·১১

ফলাফল (Result) : প্রদত্ত লেন্সের নির্ণেয় ফোকাস দূরত্ব, $f = -$ cm $= -$ m এবং এর ক্ষমতা $P = -$ ..... D.

সতর্কতা (Precautions) :

(১) বস্তু-আলপিন ও প্রতিবিম্ব আলপিন লেন্সের প্রধান অক্ষের সাথে একই সরলরেখায় হওয়া উচিত।

(২) বস্তু ও প্রতিবিম্বের শীর্ষভাগের মধ্যে দৃষ্টিভ্রম ত্রুটি থাকা উচিত নয়।

(৩) পাঠগুলো নির্ভুল হওয়া উচিত।

(৪) সূচক ত্রুটি নির্ণয় করা উচিত।

আলোচনা (Discussions) :

(১) সূচক ত্রুটি নির্ণয় করা না হলে বস্তু-দূরত্ব এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্ব সঠিক হবে না। ফলে পরীক্ষালব্ধ ফলাফল ত্রুটিপূর্ণ হবে।

(২) পরীক্ষালব্ধ পাঠগুলো নির্ভুল না হলে ফলাফল সঠিক হবে না।

৬·৪ কতিপয় প্রয়োজনীয় সংজ্ঞা
Some necessary definitions

আলোর প্রতিসরণ (Refraction) : আলোক রশ্মি এক স্বচ্ছ মাধ্যম থেকে অন্য স্বচ্ছ মাধ্যমে যাওয়ার সময় মাধ্যমদ্বয়ের বিভেদতলে তির্যকভাবে আপতিত আলোক রশ্মির দিক পরিবর্তন করার ঘটনাকে আলোর প্রতিসরণ বলে।

বিম্ব (Image) : কোনো বিন্দু থেকে নিঃসৃত আলোক রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হয়ে যদি দ্বিতীয় কোনো বিন্দুতে মিলিত হয় বা দ্বিতীয় কোনো বিন্দু হতে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হয়, তাহলে ওই দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর বিম্ব বা প্রতিবিম্ব বলে।

বাস্তব বিম্ব (Real image) : কোনো বিন্দু হতে নিঃসৃত আলোক রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর দ্বিতীয় কোনো বিন্দুতে মিলিত হলে এই দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর বাস্তব প্রতিবিম্ব বলে। এই বিম্ব চোখে দেখা যায়, পর্দায়ও ফেলা যায়। অবতল দর্পণে ও উত্তল লেন্সে এই বিম্ব গঠিত হয়।

অবাস্তব বিম্ব (Virtual image) : কোনো বিন্দু হতে নিঃসৃত আলোক রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর দ্বিতীয় কোনো বিন্দু থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হলে দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর অবাস্তব বিম্ব বলে। এই বিম্ব চোখে দেখা যায় কিন্তু পর্দায় ফেলা যায় না। সবরকম দর্পণ ও লেন্সে উৎপন্ন হয়।

প্রতিসরাঙ্ক (Refractive index) : আলো যখন এক স্বচ্ছ মাধ্যম হতে অন্য স্বচ্ছ মাধ্যমে তির্যকভাবে প্রবেশ করে তখন নির্দিষ্ট একজোড়া মাধ্যম ও নির্দিষ্ট বর্ণের আলোর জন্য আপতন কোণের সাইন এবং প্রতিসরণ কোণের সাইন এর অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা হয়। এই ধ্রুব সংখ্যাকে ওই বর্ণের জন্য প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বলে।

অর্থাৎ $\frac{\sin i}{\sin r} = \mu$ = ধ্রুব সংখ্যা = প্রতিসরাঙ্ক।

একে প্রতিসরণের ২য় সূত্র বা স্নেলের সূত্র বলে।

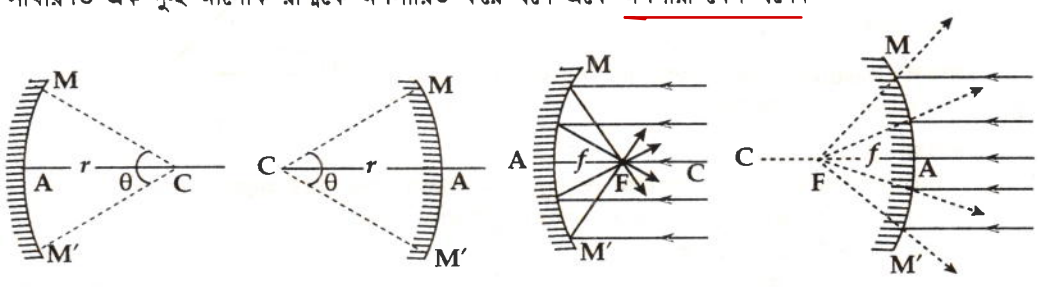
আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক (Specific refractive index) : আলোক রশ্মি যখন এক স্বচ্ছ মাধ্যম হতে অন্য কোনো স্বচ্ছ মাধ্যমে তির্যকভাবে প্রবেশ করে তখন নির্দিষ্ট বর্ণের আলোর জন্য আপতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাতকে ওই বর্ণের জন্য ওই মাধ্যমের আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক বলে।

পরম প্রতিসরাঙ্ক (Absolute refractive index) : আলোক রশ্মি যখন শূন্য মাধ্যম হতে অন্য কোনো মাধ্যমে প্রবেশ করে তখন নির্দিষ্ট বর্ণের আলোর জন্য আপতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাতকে ওই বর্ণের জন্য ওই মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক বলে।

লেন্স (Lens) : দুটি গোলীয় বা একটি সমতল অথবা দুটি বেলনাকৃতি অথবা একটি বেলনাকৃতি ও একটি সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ কোনো স্বচ্ছ প্রতিসারক মাধ্যমকে লেন্স বলে।

উত্তল লেন্স (Convex lens) : যে লেন্সের মধ্যভাগ মোটা ও প্রান্ত সরু তাকে উত্তল লেন্স বলে। এই লেন্স সাধারণত একগুচ্ছ আলোক রাশ্মিকে অভিসারী করে বলে ওকে অভিসারী লেন্সও বলে।

অবতল লেন্স (Concave lens) : যে লেন্সের মধ্যভাগ সরু ও প্রান্তের দিক মোটা তাকে অবতল লেন্স বলে। এই লেন্স সাধারণত এক গুচ্ছ আলোক রশ্মিকে অপসারিত করে বলে একে অপসারী লেন্স বলে।



(ক) (খ) (গ) (ঘ)

চিত্র ৬·১২

মেরুবিন্দু (Pole) : গোলকীয় দর্পণের প্রতিফলক তলের মধ্য বিন্দুকে দর্পণের মেরুবিন্দু বলে। একে A দ্বারা ব্যক্ত করা হয় [চিত্র ৬·১২ (ক) ও ৬·১২ (খ)]।

বাস্তব	অবাস্তব
১. মিলিত হবে	১. অপসৃত হবে
২. প্রকৃত মিলন	২. প্রকৃত মিলন নয়
৩. চোখে দেখা/ পর্দায় ফেলা	৩. ?
৪. অবতল দর্পণ উত্তল লেন্স	৪. সমতল দর্পণ ও লেন্স
৫. উল্টা	৫. সোজা

বউ সর্বদা উল্টা (মিথ্যা)

বাস্তব মিথ্যা

উত্তল লেন্স

↕

অবতল দর্পণ

বক্রতার কেন্দ্র (Centre of curvature) : গোলকীয় দর্পণ যে গোলকের অংশ বিশেষ তার কেন্দ্রকে ওই দর্পণের বক্রতার কেন্দ্র বলে। একে C দ্বারা ব্যক্ত করা হয় [চিত্র ৬·১২ (ক) ও ৬·১২ (খ)]।

প্রধান অক্ষ (Principal axis) : গোলকীয় দর্পণের বক্রতার কেন্দ্র এবং মেরুর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত সরলরেখাকে ওই দর্পণের প্রধান অক্ষ বলে। অথবা, কোনো গোলকীয় দর্পণের মধ্য দিয়ে তার পৃষ্ঠের লম্বভাবে অতিক্রান্ত সরলরেখাকে উক্ত দর্পণের প্রধান অক্ষ বলে। এখানে AC রেখা দর্পণের প্রধান অক্ষ [চিত্র ৬·১২ (ক) ও ৬·১২ (খ)]।

প্রধান ছেদ (Principal section) : কোনো গোলকীয় দর্পণের প্রধান অক্ষের মধ্য দিয়ে অতিক্রমকারী কোনো তল যে বৃত্তাকার রেখায় দর্পণকে ছেদ করে তাকে ওই দর্পণের প্রধান ছেদ বলে। ৬·১২নং চিত্রে MAM′ দর্পণের প্রধান ছেদ। দর্পণ সংক্রান্ত সব বর্ণনায় তার প্রধান ছেদই অঙ্কিত হয়।

প্রধান তল (Principal plane) : গোলকীয় দর্পণের মেরুবিন্দুর মধ্য দিয়ে প্রধান অক্ষের সাথে লম্বভাবে অঙ্কিত তলকে দর্পণের প্রধান তল বলে।

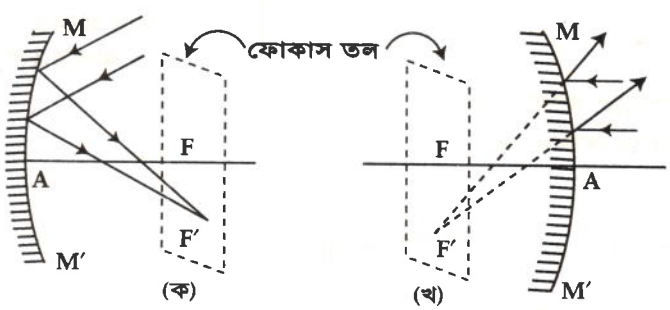
উন্মেষ (Aperture) : গোলকীয় দর্পণে প্রধান ছেদ বক্রতার কেন্দ্রে যে কোণ উৎপন্ন করে, তাকে দর্পণের উন্মেষ বলে। এখানে প্রধান ছেদের প্রান্ত-বিন্দু দুটিকে বক্রতার কেন্দ্রের সাথে যুক্ত করলে দর্পণের উন্মেষ পাওয়া যায়। চিত্র ৬·১২ (ক) ও ৬·১২ (খ)-এ θ দর্পণের উন্মেষ এবং $\theta = \frac{\text{চাপ, MAM′}}{\text{বক্রতার ব্যাসার্ধ, } r}$। কোনো দর্পণের উন্মেষ 10° অপেক্ষা কম হলে ওই দর্পণকে ক্ষুদ্র উন্মেষযুক্ত দর্পণ বলে। [DAT: 18-19] $< 10^\circ$

বক্রতার ব্যাসার্ধ (Radius of curvature) : গোলকীয় দর্পণ যে গোলকের অংশ বিশেষ উক্ত গোলকের ব্যাসার্ধকে ওই দর্পণের বক্রতার ব্যাসার্ধ বলে। এটাই বক্রতার ব্যাসার্ধের ভাষাগত সংজ্ঞা। এর গাণিতিক সংজ্ঞা আছে; যেমন কোনো একটি গোলকীয় দর্পণের মেরুবিন্দু এবং বক্রতার কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্বকে ওই গোলকীয় দর্পণের বক্রতার ব্যাসার্ধ বলে। একে r দ্বারা প্রকাশ করা হয়। [চিত্র ৬·১২ (ক) ও ৬·১২ (খ)-এ $AC = r$]

প্রধান ফোকাস বা মুখ্য ফোকাস (Principal focus) : একগুচ্ছ সমান্তরাল আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরালে কোনো একটি গোলকীয় দর্পণে আপতিত হবার পর প্রতিফলিত রশ্মিসমূহ প্রধান অক্ষের যে বিন্দুতে মিলিত হয় (অবতল দর্পণে) বা প্রধান অক্ষের যে বিন্দু হতে ছড়িয়ে পড়ছে বলে মনে হয় (উত্তল দর্পণে) ওই বিন্দুকে দর্পণের প্রধান বা মুখ্য ফোকাস বলে। একে 'F' দ্বারা প্রকাশ করা হয় [চিত্র ৬·১২ (গ) ও ৬·১২ (ঘ)]।

ফোকাস দূরত্ব (Focal length) : গোলকীয় দর্পণের মেরুবিন্দু এবং প্রধান ফোকাসের মধ্যবর্তী দূরত্বকে তার ফোকাস দূরত্ব বলে। একে 'f' দ্বারা প্রকাশ করা হয় [চিত্র ৬·১২ (গ) ও ৬·১২ (ঘ)-এ $AF = f$]।

ফোকাস তল (Focal plane) : গোলকীয় দর্পণের প্রধান ফোকাসের মধ্য দিয়ে প্রধান অক্ষের লম্বভাবে কল্পিত বা অঙ্কিত তলকে তার ফোকাস তল বলে। চিত্র ৬·১৩-এ FF′ তল হলো ফোকাস তল।



চিত্র ৬·১৩

গৌণ ফোকাস (Secondary focus) : একগুচ্ছ সমান্তরাল আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সাথে আনতভাবে চলে দর্পণের ওপর আপতিত হবার পর প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ দর্পণের ফোকাস তলের যে বিন্দুতে মিলিত হয় (অবতল দর্পণে) বা ফোকাস তলের যে বিন্দু হতে ছড়িয়ে পড়ছে বলে মনে হয় (উত্তল দর্পণে) ওই বিন্দুকে দর্পণের একটি গৌণ ফোকাস বলে। চিত্র ৬·১৩-এ F′ বিন্দু একটি গৌণ ফোকাস।

গৌণ অক্ষ (Secondary axis) : মেরু ব্যতীত দর্পণের কোনো একটি বিন্দু এবং বক্রতার কেন্দ্রে সংযোজক রেখাকে গৌণ অক্ষ বলে ।

৬·৫ প্রতিসরাঙ্ক ও আলোর বেগ
Refractive index and velocity of light

বিভিন্ন মাধ্যমে আলোর বেগের বিভিন্নতার জন্যই আলোর প্রতিসরণ ঘটে বা আলোক রশ্মি দিক পরিবর্তন করে। শূন্যস্থানে সকল বর্ণের আলোর বেগ একই। কিন্তু অন্য কোনো মাধ্যমে বিভিন্ন বর্ণের আলোর বেগের মান বিভিন্ন হয়। কাজেই মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের সাথে আলোর বেগের ঘনিষ্ঠ সম্পর্ক আছে।

কোনো মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক,

$$\mu = \frac{\text{শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ } (c_0)}{\text{ওই মাধ্যমে আলোর বেগ } (c_m)}$$

বা, $\boxed{\mu = \frac{c_0}{c_m}}$

এখন আলোক রশ্মি যদি 'a' মাধ্যম থেকে 'b' মাধ্যমে প্রবেশ করে তাহলে 'a' মাধ্যমের সাপেক্ষে 'b' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক,

$$_a\mu_b = \frac{\text{'}a\text{' মাধ্যমে আলোর বেগ } (c_a)}{\text{'}b\text{' মাধ্যমে আলোর বেগ } (c_b)}$$

বা, $\boxed{_a\mu_b = \frac{c_a}{c_b}}$

a, b, c তিনটি ক্রমবর্ধমান প্রতিসরাঙ্কের মাধ্যম হলে এবং a হতে c মাধ্যমে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে,

$_a\mu_b \times {}_b\mu_c \times {}_c\mu_a = 1$ হয়

বা, $_b\mu_c = \frac{1}{{}_c\mu_a \times {}_a\mu_b} = \frac{{}_a\mu_c}{{}_a\mu_b}$

বা, $_c\mu_b = \frac{{}_a\mu_b}{{}_a\mu_c} = \frac{\mu_b}{\mu_c}$

গাণিতিক উদাহরণ ৬.২

১। কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 এবং পানির প্রতিসরাঙ্ক $\frac{4}{3}$। পানিতে আলোর বেগ $2·25 \times 10^8$ ms^{-1} হলে কাচে আলোর বেগ কত ?

এখানে,
কাচের প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_g = 1·5$
পানির প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_w = \frac{4}{3}$
পানিতে আলোর বেগ, $v_w = 2·25 \times 10^8$ ms^{-1}
কাচে আলোর বেগ, $v_g = ?$

আমরা জানি,

$$_w\mu_g = \frac{\mu_g}{\mu_w}$$

$$\therefore \quad _w\mu_g = \frac{1·5}{\frac{4}{3}} = \frac{9}{8}$$

আবার, $_w\mu_g = \frac{\text{পানিতে আলোর বেগ}}{\text{কাচে আলোর বেগ}} = \frac{v_w}{v_g}$

বা, $v_g = \frac{v_w}{{}_w\mu_g}$

$$\therefore \quad v_g = \frac{2·25 \times 10^8}{\frac{9}{8}} = \frac{2·25 \times 10^8 \times 8}{9} = 2 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

২। একটা পানিপূর্ণ পাত্রে পানির গভীরতা 18 cm বলে মনে হয়। পাত্রে আরও পানি ঢেলে প্রকৃত গভীরতা 8 cm বাড়ালে পাত্রের পানির আপাত গভীরতা 24 cm বলে মনে হয়। পানির প্রতিসরাঙ্ক এবং পাত্রে পানির প্রাথমিক প্রকৃত গভীরতা নির্ণয় কর।

আমরা জানি, তরলের প্রতিসরাঙ্ক $= \frac{\text{তরলের প্রকৃত গভীরতা}}{\text{তরলের আপাত গভীরতা}}$

ধরা যাক, পানির প্রতিসরাঙ্ক μ এবং পানির প্রাথমিক প্রকৃত গভীরতা $= x$

$$\therefore \quad \mu = \frac{x}{18} \text{ বা, } x = 18\,\mu \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

পাত্রে আরও পানি ঢালার পর পানির প্রকৃত গভীরতা হলো $(x + 8)$ cm

সুতরাং, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে,

$$\mu = \frac{x+8}{24}$$

বা, $24\mu = x + 8 = 18\mu + 8$

বা, $24\mu - 18\mu = 8$

বা, $6\mu = 8$

$\therefore \mu = \frac{8}{6} = 1{\cdot}33$

সমীকরণ (i)–এ μ এর মান বসিয়ে পানির প্রাথমিক প্রকৃত গভীরতা পাই,

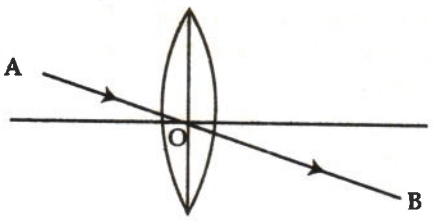
$$x = 18\mu = 18 \times 1{\cdot}33 \simeq 24 \text{ cm}$$

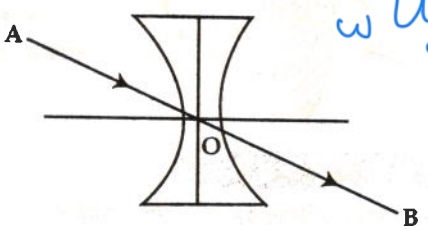
বায়ু — 1
পানি — 1.33
কেরোসিন — 1.44
গ্লিসারিন — 1.46
কাচ — 1.55
হিরক — 2.4
$_w\mu_g = 1.127$

৬.৫.১ লেন্সের আলোক রশ্মি চিত্র
Ray diagram in lens

লেন্স দ্বারা কোনো বস্তুর প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হলে এর আকৃতি অনেক রকম হতে পারে। জ্যামিতিক পদ্ধতিতে কোনো বস্তুর প্রতিবিম্ব অঙ্কন করার সময় নিম্নলিখিত তিনটি শর্ত মনে রাখতে হবে।

১। যে আলোক রশ্মি লেন্স-এর আলোক কেন্দ্র দিয়ে যাবে, প্রতিসরণের পর এর দিক অপরিবর্তিত থাকবে। নিচের চিত্রে তা দেখানো হলো।

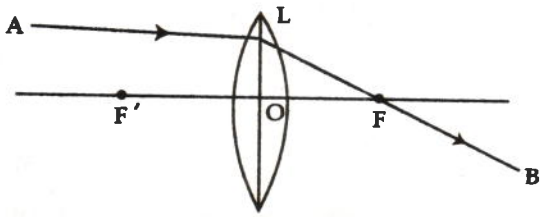




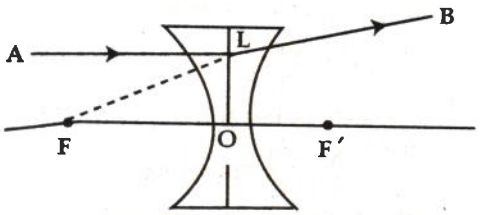
চিত্র ৬·১৪ (ক)

চিত্র ৬·১৪ (খ)

২। বস্তু হতে আগত আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরালে গমন করে লেন্সের ওপর আপতিত হলে প্রতিসৃত রশ্মি দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস দিয়ে যাবে অথবা দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস হতে ছড়িয়ে পড়ছে বলে মনে হয়।

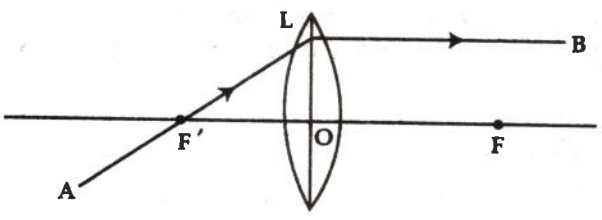


চিত্র ৬·১৪ (গ)

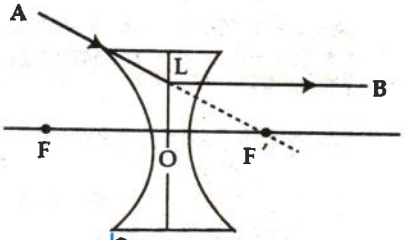


চিত্র ৬·১৪ (ঘ)

৩। কোনো রশ্মি উত্তল লেন্সের প্রথম প্রধান ফোকাস দিয়ে গমন করে বা অবতল লেন্স এর প্রথম প্রধান ফোকাসের দিকে অগ্রসর হয়ে লেন্সে আপতিত হলে তা প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষের সমান্তরাল হবে।



চিত্র ৬·১৪ (ঙ)



চিত্র ৬·১৪ (চ)

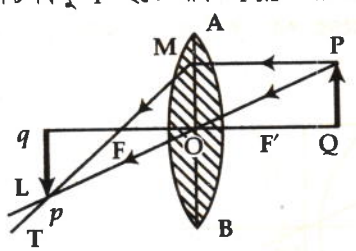
৬·৬ লেন্সের সাধারণ সমীকরণ
General equation of lenses

লেন্সের আলোক কেন্দ্র হতে **বস্তু-দূরত্ব**, **প্রতিবিম্ব-দূরত্ব** এবং **ফোকাস-দূরত্বকে** যথাক্রমে u, v এবং f দ্বারা প্রকাশ করা হয়। এই রাশিগুলোর মধ্যে একটি সম্পর্ক আছে। এই সম্পর্ক প্রকাশের জন্য আমরা যে সমীকরণ ব্যবহার করে থাকি, তাকে **লেন্সের সাধারণ সমীকরণ** বলে।

আমরা জানি দুই প্রকারের লেন্স আছে; যথা—একটি উত্তল লেন্স, অপরটি অবতল লেন্স। নিম্নে এই দুই প্রকার লেন্সের জন্য একটি সাধারণ সমীকরণ প্রতিপাদন করতে গিয়ে প্রথমে উত্তল লেন্স এবং পরে অবতল লেন্স বিবেচনা করা হলো।

অবশ্য উত্তল লেন্সে লক্ষ্যবস্তুর বাস্তব ও অবাস্তব প্রতিবিম্ব গঠনের ক্ষেত্রে দুটি এবং অবতল লেন্সে বস্তুর সর্বদা অবাস্তব প্রতিবিম্ব গঠনের বিষয়টি সাধারণভাবে আলোচনা করা হবে। এখানে উল্লেখ করা যায় যে, অবতল লেন্সে লক্ষ্যবস্তুর বাস্তব প্রতিবিম্ব হয় না।

(১) বাস্তব প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রে উত্তল লেন্স : মনে করি AB একটি সরু উত্তল লেন্সের প্রধান ছেদ [চিত্র ৬·১৫]। O হলো এর আলোক কেন্দ্র, F দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস এবং QOq প্রধান অক্ষ ; মনে করি একটি বস্তু PQ প্রথম প্রধান ফোকাসের বাইরে অর্থাৎ লেন্সের ফোকাস দূরত্ব অপেক্ষা বেশি দূরে প্রধান অক্ষের ওপর লম্বভাবে অবস্থিত। বস্তুটির সর্বোচ্চ বিন্দু P হতে আগত PM আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরালে লেন্সে M বিন্দুতে আপতিত হয়ে MFT পথে প্রতিসৃত হলো। অপর একটি রশ্মি PO আলোক কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে সোজা POL রেখায় OL-এর দিকে প্রতিসৃত হলো। এই প্রতিসৃত রশ্মি দুটি p বিন্দুতে ছেদ করল। সুতরাং p হলো P বিন্দুর বাস্তব প্রতিবিম্ব। p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। অতএব pq বস্তু PQ-এর **বাস্তব** এবং **উল্টা** প্রতিবিম্ব হবে।



চিত্র ৬·১৫

এখন POQ এবং pOq দুটি সদৃশ ত্রিভুজ।

$$\therefore \quad \frac{PQ}{pq}=\frac{OQ}{Oq} \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.12)$$

আবার, MOF এবং pqF দুটি সদৃশ ত্রিভুজ।

$$\therefore \quad \frac{MO}{pq}=\frac{OF}{qF} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.13)$$

কিন্তু , যেহেতু PM প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং MO ও PQ প্রধান অক্ষের ওপর লম্ব, কাজেই PQ = MO

সমীকরণ (6.13) হতে আমরা পাই,

$$\frac{PQ}{pq}=\frac{OF}{qF} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.14)$$

এখন সমীকরণ (6.12) এবং (6.14) হতে আমরা পাই,

$$\frac{OQ}{Oq}=\frac{OF}{qF}=\frac{OF}{Oq-OF} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.15)$$

চিহ্নের বাস্তব ধনাত্মক প্রথা অনুযায়ী লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব $OQ = u$, প্রতিবিম্বের দূরত্ব $Oq = v$ এবং $OF = f$ ধনাত্মক।

$\therefore$ সমীকরণ (6.15) হতে আমরা পাই, $\frac{u}{v}=\frac{f}{v-f}$ বা, $vf = uv - uf$

বা, $uf + vf = uv$

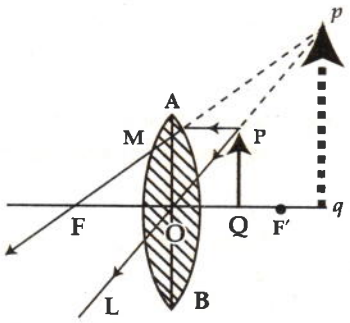
উভয় পার্শ্বকে 'uvf' দ্বারা ভাগ করে আমরা পাই,

$$\frac{uf}{uvf}+\frac{vf}{uvf}=\frac{uv}{uvf}$$

$$\therefore \quad \boxed{\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.16)$$

(২) অবাস্তব প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রে উত্তল লেন্স : মনে করি AB একটি সরু উত্তল লেন্সের প্রধান ছেদ [চিত্র ৬·১৬]। O হলো এর আলোক কেন্দ্র, F দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস এবং QOF প্রধান অক্ষ।

মনে করি একটি বস্তু PQ লেন্স ও প্রথম প্রধান ফোকাসের মাঝে প্রধান অক্ষের ওপর লম্বভাবে অবস্থিত। বস্তুটির সর্বোচ্চ বিন্দু P হতে আগত PM আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরালে লেন্সের ওপর M বিন্দুতে আপতিত হয়ে দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস F দিয়ে MF পথে প্রতিসৃত হলো। অপর একটি রশ্মি PO আলোক কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে সোজা POL রেখায় প্রতিসৃত হলো। এই দুটি প্রতিসৃত রশ্মিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করায় এরা p বিন্দুতে ছেদ করল। সুতরাং p হলো P-এর অবাস্তব প্রতিবিম্ব। p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। অতএব pq লক্ষ্যবস্তু PQ-এর **অবাস্তব** এবং **সিধা** প্রতিবিম্ব।



চিত্র ৬·১৬

এখন POQ এবং pOq দুটি সদৃশ ত্রিভুজ।

$$\therefore \quad \frac{PQ}{pq}=\frac{OQ}{Oq} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.17)$$

আবার MOF এবং pqF দুটি সদৃশ ত্রিভুজ।

$$\therefore \quad \frac{MO}{pq}=\frac{OF}{qF} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.18)$$

কিন্তু যেহেতু PM প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং MO ও PQ প্রধান অক্ষের ওপর লম্ব; কাজেই PQ = MO

$\therefore$ সমীকরণ (6.18) হতে আমরা পাই,

$$\frac{PQ}{pq}=\frac{OF}{qF} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.19)$$

এখন সমীকরণ (6.17) এবং (6.19) হতে আমরা পাই,

$$\frac{OQ}{Oq}=\frac{OF}{qF}=\frac{OF}{Oq+OF} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.20)$$

চিহ্নের বাস্তব ধনাত্মক রীতি : বস্তু বাস্তব। অতএব u ধনাত্মক। প্রতিবিম্ব অলীক বা অবাস্তব। সুতরাং v ঋণাত্মক। প্রধান ফোকাস বাস্তব বিন্দু। অতএব f ধনাত্মক।

$\therefore$ সমীকরণ (6.20) হতে আমরা পাই, $\frac{u}{-v}=\frac{f}{-v+f}$

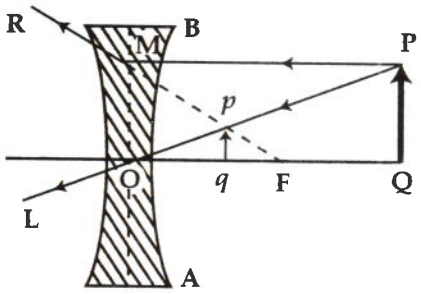
বা, $-uv+uf=-vf$ বা, $uf+vf=uv$

উভয় পার্শ্বকে 'uvf' দ্বারা ভাগ করে আমরা পাই,

$\frac{uf}{uvf}+\frac{vf}{uvf}=\frac{uv}{uvf}$ বা, $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$

$$\therefore \quad \boxed{\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.21)$$

অবতল লেন্স : মনে করি AB একটি সরু অবতল লেন্সের প্রধান ছেদ [চিত্র ৬·১৭]। O হলো এর আলোক কেন্দ্র, F দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস এবং OFQ প্রধান অক্ষ। মনে করি একটি বস্তু PQ লেন্সের প্রধান অক্ষের ওপর লম্বভাবে অবস্থিত।



চিত্র ৬·১৭

বস্তুটির সর্বোচ্চ বিন্দু P হতে আগত PM আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরালে লেন্সের ওপর M বিন্দুতে আপতিত হয়ে MR পথে প্রতিসৃত হলো। একে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে প্রধান ফোকাস F দিয়ে যাবে। অপর একটি রশ্মি PO আলোক কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে POL রেখায় সোজা OL-এর দিকে প্রতিসৃত হলো। এই প্রতিসৃত রশ্মি দুটিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে তারা p বিন্দুতে ছেদ করল। সুতরাং p হলো P-এর অবাস্তব প্রতিবিম্ব। p হতে প্রধান অক্ষের উপর pq লম্ব টানি। অতএব pq লক্ষ্যবস্তু PQ-এর **অবাস্তব** বা **অলীক** এবং **সিধা** প্রতিবিম্ব। এই প্রতিবিম্ব লক্ষ্যবস্তুর চেয়ে আকারে ছোট হয়।

এখানে POQ এবং pOq দুটি সদৃশ ত্রিভুজ।

$$\therefore \quad \frac{PQ}{pq} = \frac{OQ}{Oq} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.22)$$

আবার, MOF এবং pqF দুটি সদৃশ ত্রিভুজ।

$$\therefore \quad \frac{MO}{pq} = \frac{OF}{qF} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.23)$$

কিন্তু যেহেতু PM প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং MO ও PQ প্রধান অক্ষের ওপর লম্ব; কাজেই PQ = MO

$\therefore$ সমীকরণ (6.23) হতে আমরা পাই,

$$\frac{PQ}{pq} = \frac{OF}{qF} \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.24)$$

এখন সমীকরণ (6.22) এবং (6.24) হতে আমরা পাই,

$$\frac{OQ}{Oq} = \frac{OF}{qF} = \frac{OF}{OF - Oq} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.25)$$

চিহ্নের বাস্তব ধনাত্মক রীতি : এখানে বস্তু বাস্তব ও প্রতিবিম্ব অবাস্তব। সুতরাং u ধনাত্মক এবং v ঋণাত্মক। প্রধান ফোকাস অবাস্তব বিন্দু। অতএব f ঋণাত্মক।

সমীকরণ (6.25) হতে আমরা পাই,

$$\frac{u}{-v} = \frac{-f}{-f-(-v)}$$

বা, $\quad vf = -uf + uv$

বা, $\quad uf + vf = uv$

উভয় পার্শ্বকে 'uvf' দ্বারা ভাগ করে আমরা পাই,

$$\frac{uf}{uvf} + \frac{vf}{uvf} = \frac{uv}{uvf}$$

বা, $\quad \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

$$\therefore \quad \boxed{\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.26)$$

উল্লেখ্য : সমীকরণ (6.26)-ই উত্তল বা অবতল লেন্সে ফোকাস যুগলের অবস্থান নির্দেশক সমীকরণ।

কাজ : লেন্স স্পর্শ না করে কীভাবে শনাক্ত করবে কোনটি কোন লেন্স ?

উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্বের মধ্যে কোনো লক্ষ্যবস্তু থাকলে সেই বস্তুর অবাস্তব, সোজা ও বিবর্ধিত বিম্ব গঠিত হয়। আবার অবতল লেন্সের সামনে লক্ষ্যবস্তু থাকলে তার অবাস্তব, সোজা ও খর্বিত বিম্ব গঠিত হয়। সুতরাং লেন্স শনাক্ত করার জন্য লেন্সের সামনে খুব কাছাকাছি একটু আঙুল রেখে অপর দিক থেকে দেখলে যদি আঙুলের সোজা ও বিবর্ধিত বিম্ব গঠিত হয় তাহলে বুঝতে হবে লেন্সটি উত্তল আর যদি সোজা কিন্তু খর্বিত বিম্ব গঠিত হয় তাহলে বুঝতে হবে লেন্সটি অবতল।

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৩

১। একটি উত্তল লেন্স থেকে 90 cm দূরে একটি বস্তুকে রাখা হলে 45 cm দূরের পর্দায় একটি বাস্তব প্রতিবিম্ব তৈরি করে। এই লেন্সের গা ঘেঁষে একটি অবতল লেন্স লাগানো হলে আরও 75 cm দূরে একটি বাস্তব প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হয়। অবতল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর। [BUET Admission Test, 2016–17]

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{90} + \frac{1}{45} = \frac{1}{30}$$

আবার, $\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v'} = \frac{1}{90} + \frac{1}{(45+75)} = \frac{7}{360}$

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

বা, $\quad \frac{1}{f_2} = \frac{1}{f} - \frac{1}{f_1} = \frac{7}{360} - \frac{1}{30} = \frac{-1}{72}$

$\therefore \quad f_2 = -72$ cm

২। 0·25 m ফোকাস দূরত্ববিশিষ্ট একটি অবতল দর্পণ হতে 0·4 m দূরে একটি বস্তু স্থাপন করা হলো। যদি বস্তুটি 0·2 m দীর্ঘ হয়, তবে প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও আকার নির্ণয় কর।

[RUET Admission Test, 2008–09]

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{u}+\frac{1}{v}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{0\cdot25}=\frac{1}{0\cdot4}+\frac{1}{v}$$

$$\therefore \quad v=0\cdot667\ \text{m}$$

আবার, $l'=ml=\left(\frac{v}{u}\right)l=\left|\frac{0\cdot667}{0\cdot4}\right|\times 0\cdot2=0\cdot333$ m এবং বিম্বের প্রকৃতি বাস্তব।

৬·৭ বিবর্ধন
Magnification

বিবর্ধন শব্দের অভিধানগত অর্থ "বিশেষ বর্ধন" বা "বিশেষ বৃদ্ধি"। বিজ্ঞানের ভাষায় বিবর্ধন শব্দের অর্থ— **"বস্তুর তুলনায় এর প্রতিবিম্ব কত গুণ বড় বা কত গুণ ছোট।"** বস্তুত বিবর্ধন বলতে রৈখিক বিবর্ধন (Linear Magnification) বুঝায় যার সংজ্ঞা নিম্নে দেওয়া হলো।

সংজ্ঞা : রৈখিক বিবর্ধন বলতে প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা এবং বস্তুর দৈর্ঘ্য বা উচ্চতার অনুপাতকে বুঝায়। একে 'm' দ্বারা ব্যক্ত করা হয়।

ব্যাখ্যা : মনে করি, বস্তুর দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা $= PQ = x$ এবং প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা $= pq = y$

∴ আমরা পাই,

$$\text{বিবর্ধন, } m = \frac{\text{প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা}}{\text{বস্তুর দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা}}$$

RMDAC

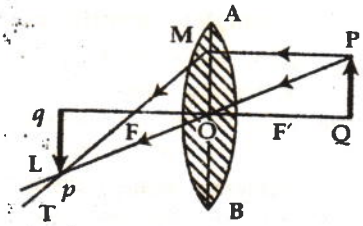
$$=\frac{-pq}{PQ}=\frac{-y}{x} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.27)$$

প্রতিবিম্ব লক্ষ্যবস্তুর সাপেক্ষে উল্টা তাই ঋণাত্মক চিহ্ন ব্যবহৃত হয়েছে।

কিন্তু সাধারণভাবে বিবর্ধন বলতে প্রতিবিম্বের আকার এবং বস্তুর আকারের অনুপাতকে বুঝায়। অতএব,

$$\text{বিবর্ধন, } m = \frac{\text{প্রতিবিম্বের আকার}}{\text{বস্তুর আকার}}$$

$$=\frac{pq}{PQ} \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.28)$$



চিত্র ৬·১৮

কিন্তু প্রতিবিম্বের আকার এবং বস্তুর আকারের অনুপাত প্রতিবিম্বের দূরত্ব এবং বস্তুর দূরত্বের অনুপাতের সমান। কেননা, $\frac{pq}{PQ}=\frac{Oq}{OQ}$ [চিত্র ৬·১৬, ৬·১৭ ও ৬·১৮]

চিহ্নের বাস্তব ধনাত্মক প্রথা অনুসারে, বস্তুর দূরত্ব, $OQ = u$ এবং প্রতিবিম্ব অবাস্তব বলে প্রতিবিম্বের দূরত্ব $Oq = -v$

$$\therefore \quad \text{বিবর্ধন, } m=\frac{\text{প্রতিবিম্বের দূরত্ব}}{\text{বস্তুর দূরত্ব}}=-\frac{v}{u} \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.29)$$

একইভাবে অবতল লেন্সের ক্ষেত্রেও [চিত্র ৬·১৭] পাওয়া যায়, $m=-\frac{v}{u}$

সুতরাং, লেন্স উত্তল বা অবতল, বিম্ব সোজা বা উল্টা, বাস্তব বা অবাস্তব সকল ক্ষেত্রেই $m=-\frac{v}{u}$ হবে।

লেন্স-এর সাধারণ সমীকরণের সাহায্যে বিবর্ধনের সমীকরণও নির্দেশ করা যায়। লেন্স-এর সাধারণ সমীকরণ হলো $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$

(ক) উভয় পার্শ্বকে 'v' দ্বারা গুণ করে আমরা পাই,

$$1+\frac{v}{u}=\frac{v}{f}$$

বা, $1-\left(-\frac{v}{u}\right)=\frac{v}{f}$

বা, $1-m=\frac{v}{f}$

বা, $m=1-\frac{v}{f}$

বা, $m=\frac{f-v}{f}$ ... ... (6.30)

(খ) আবার লেন্স-এর সাধারণ সমীকরণকে 'u' দ্বারা গুণ করে আমরা পাই,

$$\frac{u}{v}+1=\frac{u}{f}$$

বা, $\frac{u}{v}=-1+\frac{u}{f}=\frac{u-f}{f}$

বা, $m=-\frac{v}{u}=\frac{f}{f-u}$ ... ... (6.31)

$\therefore \quad m=\frac{f}{f-u}$

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৪

১। একটি পর্দা থেকে 30 cm দূরে একটি মোমবাতি রাখা আছে। পর্দার ওপর মোমবাতির তিনগুণ বিবর্ধিত একটি বিম্ব পেতে কত ফোকাস দূরত্বের কী ধরনের দর্পণ ব্যবহার করতে হবে? [KUET Admission Test, 2006–07]

$$m=\frac{v}{u}$$

বা, $3u=v$

আবার, $v=u+30$

$\therefore \quad u=15$ এবং $v=45$

$$f=\left(\frac{1}{v}+\frac{1}{u}\right)^{-1}=11{\cdot}25 \text{ cm}$$ (অবতল দর্পণ)

৬·৮ বিম্বের পূর্ণ বিবরণ
Complete description of an image

কোনো একটি বিম্বের পূর্ণ বিবরণ জানতে হলে তার অবস্থান, প্রকৃতি এবং আকৃতি জানা দরকার।

(ক) অবস্থান : বিম্বের অবস্থান বলতে লেন্স হতে এর দূরত্ব বুঝায়। v-এর মান যত হবে লেন্স থেকে এর বিম্বের দূরত্বও তত হবে। v ঋণাত্মক হলে বিম্ব লেন্সের সামনে হবে, অর্থাৎ লক্ষ্যবস্তু লেন্সের যে পার্শ্বে থাকে বিম্ব সেই পার্শ্বে হবে। v ধনাত্মক হলে লেন্সের যে পার্শ্বে লক্ষ্যবস্তু রয়েছে, বিম্ব তার বিপরীত পার্শ্বে হবে।

(খ) প্রকৃতি : বিম্বের প্রকৃতি বলতে বিম্বটি বাস্তব না অবাস্তব এবং সোজা না উল্টা তা বুঝায়।

এখন v-এর চিহ্ন দেখে বিম্ব বাস্তব না অবাস্তব তা নির্ণয় করা হয় এবং m-এর চিহ্ন দেখে বিম্ব সোজা না উল্টা তা নির্ণয় করা হয়।

v ধনাত্মক হলে বিম্ব বাস্তব হয়, v ঋণাত্মক হলে বিম্ব অবাস্তব হয়।

m ধনাত্মক হলে বিম্ব সোজা হয়, m ঋণাত্মক হলে বিম্ব উল্টা হয়।

(গ) আকৃতি : বিম্বের আকৃতি বলতে বিম্বটি লক্ষ্যবস্তুর তুলনায় বড় না ছোট, না লক্ষ্যবস্তুর সমান, তা বুঝায়। আকৃতি নির্ণয়ের জন্য m -এর শুধু মান নিতে হয়। m-এর পরম মান,

$|m|=\left|\frac{v}{u}\right|$ হয়।

m-এর মান 1-এর বড় হলে বিম্বটি বিবর্ধিত অথবা লক্ষ্যবস্তুর চেয়ে বড়। 1-এর কম হলে বিম্বটি লক্ষ্যবস্তুর চেয়ে ছোট। আবার $|m|=1$ হলে বুঝতে হবে যে বিম্ব লক্ষ্যবস্তুর সমান।

বিম্বের দৈর্ঘ্য নির্ণয় : লক্ষ্যবস্তুর দৈর্ঘ্য 'l' জানা থাকলে বিম্বের দৈর্ঘ্য l' নিম্নোক্ত সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়।

$$l'=|m|\,l \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.32)$$

একে লেন্স প্রস্তুতকারকের সূত্র বলা হয়। একে লেন্সের ফোকাস দূরত্বের সূত্রও বলা হয়। এটি লেন্সের মাধ্যম, বেষ্টনকারী মাধ্যম এবং লেন্সের দুটি তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ দ্বারা নির্ধারিত।

1. <u>অবস্থান</u> : $v(+)$ = উল্টোপাশে (বাস্তব)

$v(-)$ = একইপাশে (অবাস্তব)

2. প্রকৃতি : $v(+)$, $m(-)$ > বাস্তব, উল্টা

$v(-)$, $m(+)$ > অবাস্তব, সোজা

3. আকৃতি : $m > 1$ ⟶ বড় বিম্ব

$m < 1$ ⟶ ছোট বিম্ব

$m = 1$ ⟶ সমান

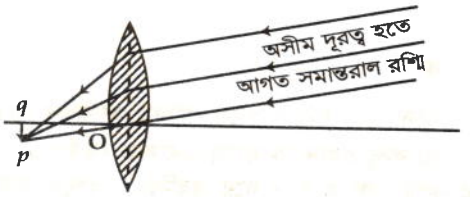
৬·৯ জ্যামিতিক উপায়ে লক্ষ্যবস্তুর বিভিন্ন অবস্থানের জন্য প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও আকার নির্ণয়

Determination of location, nature and size of images by geometrical means of an object located at different positions

কোনো একটি লক্ষ্যবস্তুকে অসীম দূরত্ব হতে ক্রমাগত লেন্সের আলোক কেন্দ্রের দিকে আনতে থাকলে বস্তুর বিভিন্ন অবস্থানের জন্য প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি এবং আকৃতিও বিভিন্ন হবে। উল্লেখ্য **প্রতিবিম্বের পূর্ণ বিবরণের জন্য এর অবস্থান, প্রকৃতি এবং আকার নির্দেশ করতে হয়।**

উত্তল লেন্স : মনে করি নিচের প্রত্যেকটি চিত্রে AOB একটি সরু উত্তল লেন্সের প্রধান ছেদ, O এটির আলোক কেন্দ্র, F দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস এবং F′ প্রথম প্রধান ফোকাস। ধরি OQ এর প্রধান অক্ষ ও PQ প্রধান অক্ষের ওপর লম্বভাবে অবস্থিত একটি লক্ষ্যবস্তু এবং f লেন্সের ফোকাস দূরত্ব।

(ক) বস্তু অসীম দূরত্বে অবস্থিত (অর্থাৎ $u = \infty$) : অসীম দূরত্বে অবস্থিত কোনো বস্তু হতে আগত রশ্মিসমূহ পরস্পর সমান্তরালভাবে প্রধান অক্ষের সাথে একটি কোণ উৎপন্ন করে লেন্সে প্রবেশ করে এবং লেন্সে প্রতিসরিত হওয়ার পর কোনো একটি বিন্দুতে মিলিত হয়। চিত্র ৬·১৯-এ প্রতিসরিত রশ্মিসমূহ p বিন্দুতে মিলিত হয়েছে। এখন p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। অতএব pq-ই বস্তুটির প্রতিবিম্ব।



চিত্র ৬·১৯

অবস্থান : ফোকাস তলে অর্থাৎ $|v| = f$

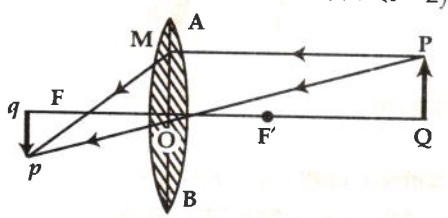
প্রকৃতি : বাস্তব ও উল্টা।

আকার : বস্তুর সাপেক্ষে অত্যন্ত ছোট।

কেননা, $|m| = \frac{|v|}{u} = \frac{f}{\infty} \approx 0$

উত্তল লেন্সের এই ধর্মকে কাজে লাগিয়ে দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য (objective) তৈরি করা হয়।

(খ) বস্তু উত্তল লেন্স থেকে $2f$ এর বেশি দূরে অবস্থিত (অর্থাৎ $u > 2f$) : মনে করি PQ একটি লক্ষ্যবস্তু [চিত্র ৬·২০]। এটি প্রধান অক্ষের ওপর লেন্স হতে $2f$ অপেক্ষা অধিক দূরে অবস্থিত। বস্তুর সর্বোচ্চ প্রান্ত P হতে একটি আলোক রশ্মি PM-কে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং অপর একটি রশ্মি PO-কে আলোক কেন্দ্র বরাবর বিবেচনা করলে প্রতিসরণের পর প্রথম রশ্মিটি ফোকাস F দিয়ে ও দ্বিতীয় রশ্মিটি না বেঁকে সোজা যাবে ও এরা p বিন্দুতে মিলিত হবে। অতএব p-ই P বিন্দুর বাস্তব প্রতিবিম্ব। এখন p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। অতএব pq-ই PQ-এর প্রতিবিম্ব।



চিত্র ৬·২০

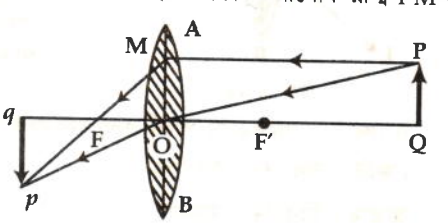
অবস্থান : f এবং $2f$-এর মধ্যে অর্থাৎ $2f > |v| > f$

প্রকৃতি : বাস্তব ও উল্টা।

আকার : বস্তুর তুলনায় ছোট। কেননা, $|m| = \frac{|v|}{u} < 1$

লেন্সের এই ধর্মকে কাজে লাগিয়ে ক্যামেরা তৈরি করা হয়।

(গ) বস্তু লেন্স থেকে $2f$ দূরে অবস্থিত (অর্থাৎ $u = 2f$) : মনে করি PQ একটি লক্ষ্যবস্তু [চিত্র ৬·২১]। এটি লেন্সের প্রধান অক্ষের ওপর লেন্স হতে $2f$ দূরে অবস্থিত। বস্তুর সর্বোচ্চ প্রান্ত P হতে একটি আলোক রশ্মি PM-কে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং অপর একটি রশ্মি PO-কে আলোক কেন্দ্র বরাবর বিবেচনা করলে প্রতিসরণের পর প্রথম রশ্মিটি ফোকাস F দিয়ে ও দ্বিতীয় রশ্মিটি না বেঁকে সোজা যাবে ও এরা p বিন্দুতে মিলিত হবে। অতএব p-ই P বিন্দুর বাস্তব প্রতিবিম্ব। এখন p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। সুতরাং pq-ই PQ-এর বাস্তব প্রতিবিম্ব।



চিত্র ৬·২১

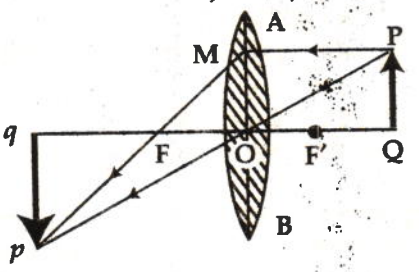
অবস্থান : $2f$ দূরে অর্থাৎ $|v| = 2f$

প্রকৃতি : বাস্তব ও উল্টা।

আকার : লক্ষ্যবস্তুর সমান। কেননা, $|m| = \frac{|v|}{u} = \frac{2f}{2f} = 1$

লেন্সের এই ধর্মকে কাজে লাগিয়ে ভূ-দূরবীক্ষণ যন্ত্রে উল্টা প্রতিবিম্বকে একই আকারের সমশীর্ষ প্রতিবিম্বে পরিণত করা হয়।

(ঘ) বস্তু f এবং $2f$-এর মধ্যে অবস্থিত (অর্থাৎ $2f > u > f$) : মনে করি PQ একটি লক্ষ্যবস্তু [চিত্র ৬·২২]। এটি লেন্সের প্রধান অক্ষের ওপর f এবং $2f$ দূরত্বের মধ্যে অবস্থিত। বস্তুর সর্বোচ্চ প্রান্ত P হতে একটি আলোক রশ্মি PM-কে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং অপর একটি রশ্মি PO-কে আলোক কেন্দ্র বরাবর বিবেচনা করলে প্রতিসরণের পর প্রথম রশ্মিটি ফোকাস F দিয়ে ও দ্বিতীয় রশ্মিটি না বেঁকে সোজা যাবে ও এরা p বিন্দুতে মিলিত হবে। অতএব p-ই P-এর বাস্তব প্রতিবিম্ব। এখন p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। সুতরাং pq-ই PQ-এর প্রতিবিম্ব।



চিত্র ৬·২২

অবস্থান : $2f$ অপেক্ষা বেশি দূরে অর্থাৎ $|v| > 2f$

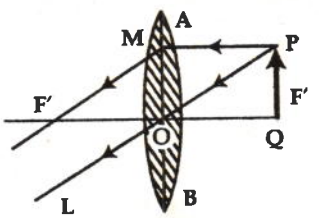
প্রকৃতি : বাস্তব ও উল্টা।

আকার : বস্তুর সাপেক্ষে বিবর্ধিত অর্থাৎ আকারে বড়।

কেননা, $|m| = \frac{|v|}{u} > 1$

লেন্সের এই ধর্মকে কাজে লাগিয়ে অণুবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্য (objective) তৈরি করা হয়।

(ঙ) বস্তু প্রধান ফোকাসে অবস্থিত (অর্থাৎ $u = f$) : মনে করি, PQ একটি লক্ষ্যবস্তু [চিত্র ৬·২৩]। এটি প্রধান অক্ষের ওপর লেন্স হতে f দূরে অবস্থিত। বস্তুর সর্বোচ্চ প্রান্ত P হতে একটি আলোক রশ্মি PM-কে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং অপর একটি রশ্মি PO-কে আলোক কেন্দ্র বরাবর বিবেচনা করলে প্রতিসরণের পর প্রথম রশ্মিটি ফোকাস F দিয়ে এবং দ্বিতীয় রশ্মিটি না বেঁকে সোজা যাবে ও এরা পরস্পরের সমান্তরালে গমন করবে এবং অসীমে প্রতিবিম্ব গঠন করবে।



চিত্র ৬·২৩

অবস্থান : অসীমে অর্থাৎ $v = \infty$।

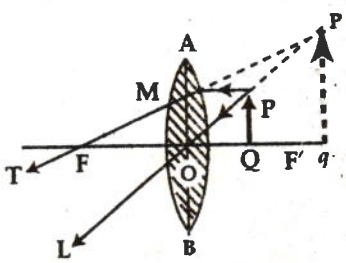
প্রকৃতি : বাস্তব ও উল্টা অথবা অবাস্তব ও সিধা।

আকার : বস্তুর তুলনায় খুবই বিবর্ধিত।

কেননা, $|m| = \frac{|v|}{u} = \frac{\infty}{f} \approx \infty$

বর্ণালি বীক্ষণ যন্ত্রে উত্তল লেন্সের এই ধর্মকে কাজে লাগিয়ে সমান্তরাল রশ্মি গুচ্ছ তৈরি করা হয়।

(চ) বস্তু আলোক কেন্দ্র ও প্রথম প্রধান ফোকাসের মধ্যে অবস্থিত (অর্থাৎ $u < f$): মনে করি PQ একটি লক্ষ্যবস্তু [চিত্র ৬·২৪]। এটি প্রধান অক্ষের ওপর লেন্সের আলোক কেন্দ্র O এবং প্রথম প্রধান ফোকাস F'-এর মধ্যে অবস্থিত। বস্তুর সর্বোচ্চ বিন্দু P হতে একটি আলোক রশ্মি PM-কে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং অপর একটি রশ্মি PO-কে আলোক কেন্দ্র বরাবর বিবেচনা করলে প্রতিসরণের পর প্রথম রশ্মিটি ফোকাস দিয়ে এবং দ্বিতীয় রশ্মিটি না বেঁকে সোজা যাবে ও এরা পরস্পর অপসারী হবে। এই দুটি রশ্মিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে এরা p বিন্দু হতে অপসৃত হয়েছে বলে মনে হবে। অতএব p-ই P বিন্দুর প্রতিবিম্ব। এখন p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। সুতরাং pq-ই PQ-এর প্রতিবিম্ব। এখানে, $v > u$।



চিত্র ৬·২৪

অবস্থান : লেন্সের যে পার্শ্বে বস্তু অবস্থিত প্রতিবিম্বও সেই পার্শ্বে অবস্থিত।

প্রকৃতি : অবাস্তব এবং সিধা।

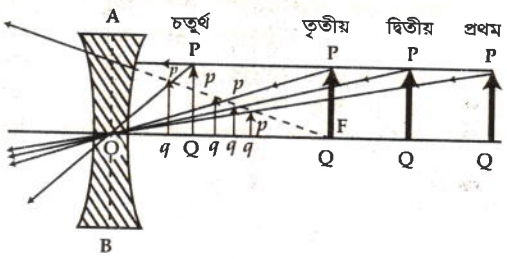
আকার : বিবর্ধিত। কেননা, $|m| = \frac{v}{u} > 1$

উত্তল লেন্সের এই ধর্মকে কাজে লাগিয়ে বিবর্ধন কাচ, অণুবীক্ষণ ও দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিনেত্র (eye piece) তৈরি করা হয়।

৬·১০ অবতল লেন্স
Concave lens

৬·২৫নং চিত্রে AOB একটি সরু অবতল লেন্সের প্রধান ছেদ। লেন্সটির আলোক কেন্দ্র O, দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস F এবং প্রধান অক্ষ OQ-এর ওপর দণ্ডায়মান PQ একটি বস্তু। বস্তুটির বিভিন্ন অবস্থানে তার প্রতিবিম্ব লেন্সে কীভাবে উৎপন্ন হবে তা বস্তুর সর্বোচ্চ বিন্দু P হতে দুটি রশ্মির গতিপথ দেখিয়ে নির্দেশ করা হয়েছে।

বস্তুর সর্বোচ্চ বিন্দু P হতে প্রধান অক্ষের সমান্তরালে লেন্সে আপতিত আলোক রশ্মিটি লেন্স হতে এমনভাবে নির্গত হবে যে তাকে F বিন্দু হতে নির্গত হচ্ছে মনে হবে। আবার P হতে লেন্সের আলোক কেন্দ্র O অভিমুখী লেন্সে আপতিত PO রশ্মিটি লেন্স হতে না বেঁকে সোজা PO বরাবর নির্গত হবে। নির্গত পরস্পর অপসারী এই রশ্মি দুটির ছেদবিন্দু p-ই P-এর অবাস্তব প্রতিবিম্ব এবং p হতে প্রধান অক্ষের ওপর অঙ্কিত লম্ব pq-ই সমগ্র বস্তু PQ-এর প্রতিবিম্ব হবে।



চিত্র ৬·২৫

অবস্থান : বস্তু ও প্রতিবিম্ব লেন্সের একই পার্শ্বে অবস্থিত।
প্রকৃতি : অবাস্তব এবং সিধা।
আকার : বস্তুর তুলনায় ছোট। কেননা, $|m| = \frac{v}{u} < 1$

চিত্রে PQ বস্তুটির ১ম, ২য়, ৩য় ও ৪র্থ অবস্থানে থাকলে তার প্রতিবিম্ব ক্রমশ লেন্সের দিকে অনুরূপভাবে সরে কীভাবে উৎপন্ন হবে দেখানো হয়েছে। চিত্রগুলো লক্ষ্য করে অনায়াসে বলা যায় যে—

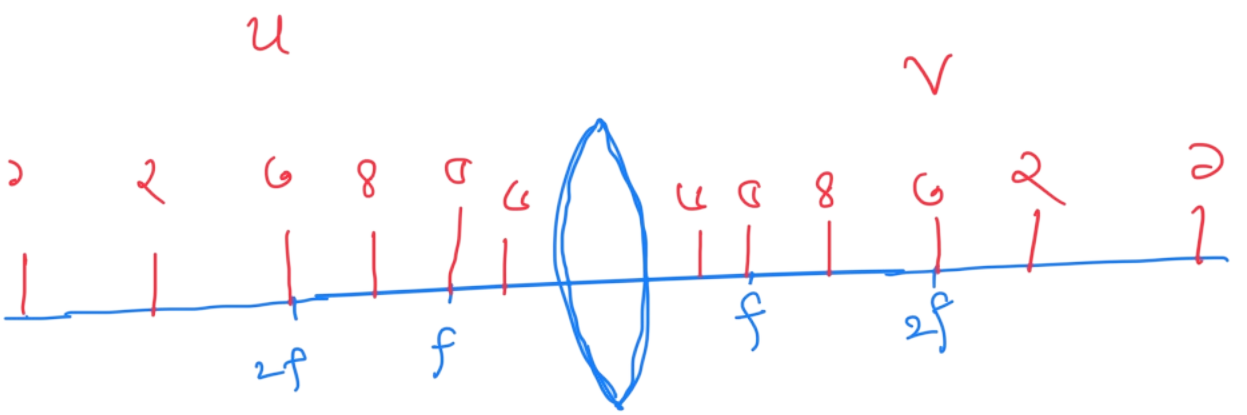
(১) লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব সর্বদা সিধা, অবাস্তব ও আকারে বস্তুর চেয়ে ছোট হবে এবং বস্তুর একই পার্শ্বে উৎপন্ন হবে।

(২) আলোক কেন্দ্র হতে প্রতিবিম্বের দূরত্ব লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব অপেক্ষা কম হবে।

(৩) বস্তু যতই আলোক কেন্দ্রের দিকে অগ্রসর হবে প্রতিবিম্ব ততই আকারে বৃদ্ধি পাবে কিন্তু কোনো সময় আকারে বস্তুর সমান হবে না।

৬·১১ লেন্সে প্রতিবিম্বের অবস্থান ও প্রকৃতি নির্ণয়
Determination of position and nature of images formed by lenses

লেন্স	লেন্সের সাপেক্ষে বস্তুর অবস্থান	প্রতিবিম্বের অবস্থান	প্রতিবিম্বের প্রকৃতি ও বস্তুর সাপেক্ষে আকার
উত্তল লেন্স	অসীম দূরত্ব ($u = \infty$)	দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস তলে ($v = f$)।	বাস্তব, উল্টা ও আকারে বস্তুর চেয়ে অত্যন্ত ছোট ($\|m\| \approx 0$)।
	$2f$ অপেক্ষা বেশি দূরে ($u > 2f$)।	লেন্সের পশ্চাতে f ও $2f$ দূরত্বের মাঝে ($2f > v > f$)।	বাস্তব, উল্টা ও আকারে বস্তুর চেয়ে ছোট ($\|m\| < 1$)।
	$2f$ দূরত্বে ($u = 2f$)	লেন্সের পশ্চাতে $2f$ দূরত্বে ($v = 2f$)।	বাস্তব, উল্টা ও আকারে বস্তুর সমান ($\|m\| = 1$)।
	f ও $2f$ দূরত্বের মাঝে ($2f > u > f$)	লেন্সের পশ্চাতে $2f$ অপেক্ষা বেশি দূরে ($v > 2f$)।	বাস্তব, উল্টা ও আকারে বড় ($\|m\| > 1$)।
	f দূরত্বে ($u = f$)	অসীম দূরত্বে ($v = \infty$)	বাস্তব, উল্টা ও আকারে অত্যন্ত বড় ($\|m\| \approx \infty$)।
	আলোক কেন্দ্র ও f দূরত্বের মাঝে ($f > u > 0$)	বস্তুর একই পার্শ্বে এবং সামনে ($v > u$)।	অবাস্তব, সিধা ও আকারে বড় ($\|m\| > 1$)।
অবতল লেন্স	আলোক কেন্দ্র ও অসীম দূরত্বের মাঝে ($\infty > u > 0$)	বস্তুর একই পার্শ্বে আলোক কেন্দ্র ও দ্বিতীয় প্রধান ফোকাসের মাঝে ($f > v > 0$)।	অবাস্তব, সিধা ও ছোট ($m < 1$)।
	অসীম দূরত্বে ($u = \infty$)	দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস তলে বস্তুর একই পার্শ্বে ($v = f$)।	অবাস্তব, সিধা ও ছোট ($m < 1$)।



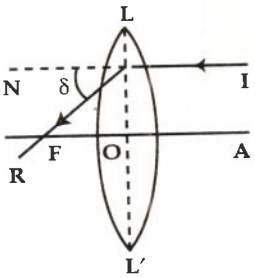
$$v = 6 - u$$

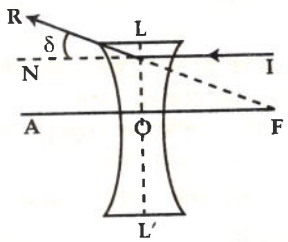
জানার বিষয় : যদি পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক অপেক্ষা বেশি হয় তাহলে উত্তল লেন্স অবতল লেন্সের ন্যায় এবং অবতল লেন্স উত্তল লেন্সের ন্যায় আচরণ করে।

৬·১২ লেন্সের ক্ষমতা
Power of a lens

কোনো লেন্স দ্বারা আলোক রশ্মিগুচ্ছের অভিসারিতা (convergence) বা অপসারিতা (divergence) [চিত্র ৬·২৬ ও ৬·২৭] উৎপাদনের সামর্থ্যকে তার ক্ষমতা বলে। যদি কোনো লেন্স একগুচ্ছ সমান্তরাল আলোক রশ্মিকে বেশি পরিমাণে অভিসারিত বা অপসৃত করতে পারে, তবে তার ক্ষমতা বেশি আর যদি কম পরিমাণে অভিসারিত বা অপসৃত করতে পারে তবে তার ক্ষমতা কম। কাজেই লেন্সে আপতিত প্রধান অক্ষের সমান্তরাল আলোক রশ্মির প্রতিসরণজনিত কৌণিক বিচ্যুতি δ দ্বারাই লেন্সের ক্ষমতা নির্ধারিত হবে। যে লেন্সের ক্ষেত্রে δ যত বেশি হবে ওই লেন্সের ক্ষমতাও

চিত্র ৬·২৬





চিত্র ৬·২৭

তত বেশি। আবার যে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যত কম, তা দ্বারা তত কম দূরত্বের মধ্যে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অভিসারী বা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয়। অর্থাৎ ওই লেন্সের ক্ষমতা বেশি। এজন্য **কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্বের বিপরীত সংখ্যাকে তার ক্ষমতা বলা হয়।**

মনে করি কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্ব $= f$; অতএব এর ক্ষমতা, $P = \frac{1}{f}$ ।

লেন্সের ক্ষমতার একক : লেন্সের ক্ষমতা একটি পরিমেয় রাশি। অতএব এর একক আছে। লেন্সের ক্ষমতার একক ডায়প্টার সংক্ষেপে 'D' দ্বারা সূচিত করা হয়। **1 মিটার ফোকাস দূরত্বের কোনো লেন্সের ক্ষমতাকে 1 ডায়প্টার (D) বলে। লেন্সের ফোকাস দূরত্বকে মিটারে প্রকাশ করে তার বিপরীত রাশি নিলে ডায়প্টারে লেন্সের ক্ষমতা পাওয়া যায়।**

ধরি লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f(m)। অতএব এর ক্ষমতা,

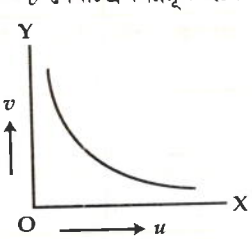
$$P = \frac{1}{f\,(m)} \text{ ডায়প্টার} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.33)$$

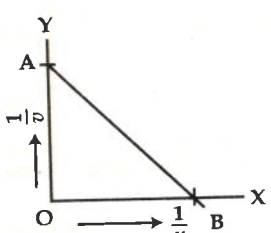
$$P = \frac{1}{f(m)} D$$

উত্তল লেন্সের ক্ষমতা ধন রাশি এবং অবতল লেন্সের ক্ষমতা ঋণ রাশি।

কাজ : লেন্সে u বনাম v লেখচিত্র কীরূপ হবে ?

লেন্সের ক্ষেত্রে $u - v$ লেখচিত্র নিম্নরূপ হবে :





কাজ : ঘন মাধ্যমে কাচ লেন্সের ক্ষমতা হ্রাস পায় কেন ?

লেন্স প্রস্তুতকারক সূত্র এবং সাধারণ সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, বায়ু থেকে ঘনতর কোনো মাধ্যমে যেমন পানি, কেরোসিন, গ্লিসারিন ইত্যাদিতে একটি কাচের লেন্স রাখলে এর ফোকাস দূরত্ব বৃদ্ধি পায়। আর যেহেতু লেন্সের ক্ষমতা তার ফোকাস দূরত্বের ব্যস্তানুপাতিক, তাই বায়ুর চেয়ে ঘনতর কোনো মাধ্যমে কাচ লেন্সের ক্ষমতা হ্রাস পায়।

Digest- 102

'একটি চশমার ক্ষমতা + 4 ডায়প্টার'—এর অর্থ কী ?

এখানে, P = + 4 ডায়প্টার।

∴ $f = +\frac{1}{4}$ m = + 0·25 m [DAT: 16-17]

তা হলে 'চশমার ক্ষমতা + 4 ডায়প্টার' কথাটির অর্থ হলো— **ব্যবহৃত লেন্সটি উত্তল এবং এর ফোকাস দূরত্ব 0·25 m।**

আবার কোনো লেন্সের ক্ষমতা – 2D বলতে বুঝায় লেন্সটি অবতল

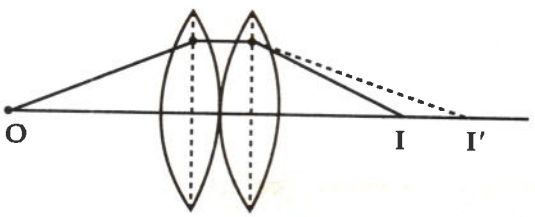
এবং এর ফোকাস দূরত্ব, $f = -\frac{1}{2}$ m = – 0·5 m [MAT: 15-16; 14-15]

দুটি লেন্সের ক্ষমতা P_1 এবং P_2 হলে লেন্স দুটিকে সংস্পর্শে রেখে সমবায় গঠন করলে ওই সমবায় ক্ষমতা, $P = P_1 + P_2$ হবে।

লেন্সের সমবায় ও তুল্য লেন্স
Combination of lenses and equivalent lens

f_1 ও f_2 ফোকাস দূরত্বের দুটি লেন্স L_1 ও L_2 পরস্পরের সংস্পর্শে সমাক্ষীয়ভাবে রয়েছে [চিত্র ৬·২৮]। সমবায়ের অক্ষের ওপর O একটি বিন্দু বস্তু।

চিত্র ৬·২৮



প্রথমে L_1 লেন্সটি I′ বিন্দুতে বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন করে।

$$\therefore \frac{1}{f_1} = \frac{1}{v_1} - \frac{1}{u} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

এখানে u = বস্তু দূরত্ব এবং v_1 = L_1 লেন্সের প্রতিবিম্ব দূরত্ব। P′ বিন্দু L_2 লেন্সের অসদ বস্তু হিসেবে আচরণ করে এবং চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব I বিন্দুতে গঠিত হয়।

$$\therefore \frac{1}{f_2} = \frac{1}{v} - \frac{1}{v_1} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$

এখন, সমীকরণ (i) ও (ii) হতে পাই,

$$\frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(iii)}$$

লেন্স সমবায়টির পরিবর্তে F ফোকাস দূরত্বের একটি লেন্স নেওয়া হলো যা বস্তু O-এর প্রতিবিম্ব I বিন্দুতে গঠন করে। তাহলে 'F' ফোকাস দৈর্ঘ্যের লেন্সটি তুল্য লেন্স।

$$\therefore \frac{1}{F} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(iv)}$$

সমীকরণ (iii) ও (iv) তুলনা করলে আমরা পাই,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

তুল্য লেন্সের ক্ষমতা $P = \frac{1}{F}$, L_1 লেন্সের ক্ষমতা $P_1 = \frac{1}{f_1}$ এবং L_2 লেন্সের ক্ষমতা $P_2 = \frac{1}{f_2}$

$$\therefore P = P_1 + P_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6·34)$$

∴ মোট বিবর্ধন, $m = m_1 \times m_2$, এখানে m_1 এবং m_2 যথাক্রমে L_1 এবং L_2 লেন্স কর্তৃক উৎপন্ন বিবর্ধন।

কোনো লেন্স সমবায়ের N সংখ্যক লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যদি যথাক্রমে $f_1, f_2, \ldots\ldots, f_n$ এবং তুল্য লেন্সের ফোকাস দূরত্ব F হয় তা হলে,

$$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}+\frac{1}{f_3}+\ldots\ldots\ldots+\frac{1}{f_n} \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 6.34(a)$$

সুতরাং, তুল্য লেন্সের ক্ষমতা,

$$P=P_1+P_2+P_3+\ldots\ldots\ldots\ldots P_n \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad 6.34(b)$$

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৫

১। 6 cm লম্বা একটি বস্তুকে 16 cm ফোকাস দূরত্বের উত্তল লেন্স থেকে 12 cm দূরে স্থাপন করা হলো। বিম্বের আকার বের কর।

এখানে,
$f = 16\,cm$
$u = 12\,cm$
বস্তুর আকার $= 6\,cm$

আমরা জানি,

$$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$$

বা, $\frac{1}{12}+\frac{1}{v}=\frac{1}{16}$

বা, $\frac{1}{v}=\frac{1}{16}-\frac{1}{12}$

$=\frac{3-4}{48}=-\frac{1}{48}$

$\therefore\ v=-48\,cm$

আবার, $\frac{\text{প্রতিবিম্বের আকার } (l)}{\text{বস্তুর আকার } (l')}=\frac{\text{প্রতিবিম্বের দূরত্ব } (v)}{\text{বস্তুর দূরত্ব } (u)}$

$\therefore$ প্রতিবিম্বের আকার, $l=\frac{v}{u}\times l'=\frac{48}{12}\times 6=24\,cm$

২। কোনো লেন্সের ক্ষমতা +4 D। লেন্সটি থেকে কত দূরে বস্তু রাখলে বস্তুর অর্ধেক আকারের প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হবে ? **[KUET Admission Test, 2019-20]**

এখানে,
$P = 4\,D$
$m=\frac{v}{u}=\frac{\text{প্রতিবিম্বের আকার}}{\text{বস্তুর আকার}}=\frac{1}{2}$
$v=\frac{u}{2}$

আমরা জানি,

$$P=\frac{1}{f(m)}$$

বা, $f=\frac{1}{P}$ $\qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad$ (i)

আবার, $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ $\qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad$ (ii)

সমীকরণ (ii) হতে পাই,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

বা, $\frac{1}{\frac{u}{2}}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$

বা, $\frac{2}{u}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$

বা, $\frac{3}{u}=\frac{1}{f}=\frac{1}{0.25}$ $\qquad \left[\because f=\frac{1}{P}=\frac{1}{4}=0.25\,m\right]$

$\therefore\ u=3\times 0.25=0.75\,cm$

৩। সূর্যের আলোতে একটি উত্তল লেন্স রেখে লেন্স থেকে 30 cm দূরে একটি পর্দায় সবচেয়ে স্পষ্ট ও উজ্জ্বল আলোর স্পট পাওয়া গেল। লেন্সটির প্রত্যেক পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ 30 cm হলে পানিতে তার ক্ষমতা নির্ণয় কর। পানির প্রতিসরাঙ্ক $\frac{4}{3}$।

[BUET Admission Test, 2017-18]

আমরা জানি,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=(\mu_g-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$$

বা, $\frac{1}{30}+\frac{1}{\infty}=(\mu_g-1)\left(\frac{1}{30}-\frac{1}{-30}\right)$

বা, $\frac{1}{30}=(\mu_g-1)\left(\frac{2}{30}\right)$

বা, $\mu_g-1=\frac{1}{2}$ $\quad\therefore\ \mu_g=1\cdot5$

আবার,

$$P=\frac{1}{f}=\left(\frac{\mu_g}{\mu_w}-1\right)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$$

$$=\left(\frac{1\cdot5}{4/3}-1\right)\left(\frac{1}{0\cdot30}-\frac{1}{-0\cdot30}\right)$$

$$=\left(\frac{4\cdot5}{4}-1\right)\left(\frac{2}{0\cdot30}\right)$$

$= 0\cdot83$ D (এখানে r_1 ও r_2 মিটারে প্রকাশিত)

৪। 13 cm ফোকাস দূরত্ববিশিষ্ট উত্তল লেন্স থেকে কত দূরে বস্তু স্থাপন করলে বাস্তব বিম্বের আকার বস্তুর আকারের তিন গুণ হবে ?

আমরা জানি,

$m=\frac{v}{u}=3$

বা, $v=3u$

বাস্তব বিম্বের জন্য v ধনাত্মক

$\therefore\ v=+3u$

এখন $\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$

বা, $\frac{1}{u}+\frac{1}{3u}=\frac{1}{f}=\frac{1}{15}$

বা, $\frac{3+1}{3u}=\frac{1}{15}$

বা, $\frac{4}{3u}=\frac{1}{15}$

বা, $3u=60$

$\therefore\ u=20$ cm সামনে।

এখানে,
$f=+15$ cm
বিবর্ধন, $m=3$
$u=?$

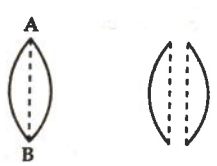
৫। একটি উভোত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f [চিত্র ১]। যদি লেন্সটি AB বরাবর দুটি অংশে কাটা হয় তবে প্রতিটি লেন্সের ফোকাস দূরত্ব কত হবে ?

ধরা যাক, উভোত্তল লেন্সের প্রতিটি তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ r এবং এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক μ। লেন্স তৈরির ফর্মূলা থেকে পাই,

$$\frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}\right)$$

$$=(\mu-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r}\right)$$

$$=\frac{2}{r}(\mu-1)\quad\cdots\quad\cdots\quad(i)$$



চিত্র-১

প্রতিটি অর্ধাংশের বক্রতার তলের ক্ষেত্রে, $r_1 = r$ এবং সমতল পৃষ্ঠের ব্যাসার্ধ, $r_2 = \infty$

ধরা যাক, কাটা প্রতিটি অংশের ফোকাস দূরত্ব $= x$

$\therefore \quad \frac{1}{x} = (\mu - 1) \times \frac{1}{r} = \frac{1}{2f}$ (সমীকরণ (i) হতে)

$\therefore \quad x = 2f$

৬। একটি উভোত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব এর বক্রতার ব্যাসার্ধের সাথে সম্পর্ক হলো $f = r$। লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

উভোত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে, $r_1 = r,\ r_2 = -r$

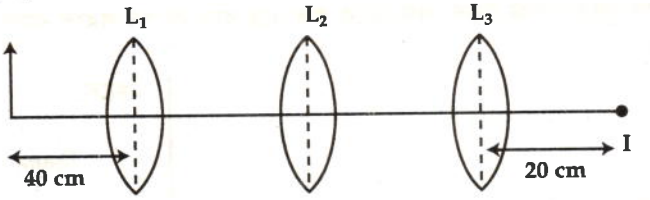
$$\therefore \quad \frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r}\right)$$

$$= (\mu - 1)\left(\frac{1+1}{r}\right) = (\mu - 1)\frac{2}{r}$$

বা, $\frac{1}{r} = (\mu - 1)\frac{2}{r} \quad [\because f = r]$

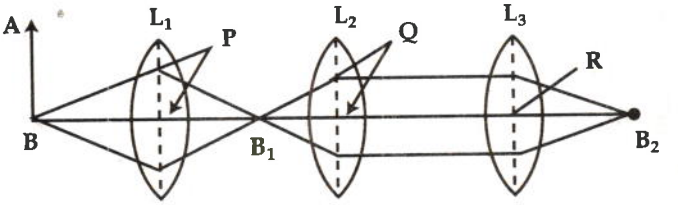
বা, $(\mu - 1) = \frac{1}{2}$ বা, $\mu = \frac{3}{2} = 1{\cdot}5$

৭। তোমাকে L_1, L_2 ও L_3 তিনটি লেন্স দেওয়া হলো যাদের প্রত্যেকটির ফোকাস দূরত্ব 20 cm। L_1 এর 40 cm সামনে একটি বস্তু রাখা হলো [চিত্র -১ এর অনুরূপ]। চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব L_3 লেন্সের ফোকাস বিন্দু I-তে উৎপন্ন হয়। L_1, L_2 ও L_3 এর মধ্যে দূরত্ব নির্ণয় কর।



চিত্র ১

চিত্র ২-এ শুধু দুরত্বের মান বিবেচনা করা হয়েছে।



চিত্র ২

L_1 লেন্সের জন্য, $u = PB = 40\text{ cm} = 2 \times 20\text{ cm} = 2f$

অতএব, $u = 2f = 2 \times 20\text{ cm} = 40\text{ cm} = PB$

চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব B_2 ফোকাস বিন্দু L_3-তে দেখানো হয়েছে।

সুতরাং, $AB_2 = 20\text{ cm}$

অতএব, L_2 এবং L_3 এর রশ্মিসমূহ অবশ্যই পরস্পর সমান্তরাল হবে। এতে দেখা যায় যে B_1 হচ্ছে L_2 এর ফোকাস বিন্দু। সুতরাং $B_1Q = 20\text{ cm}$।

অতএব, L_1 এবং L_2 মধ্যে দূরত্ব $= PQ = PB_1 + B_1Q = 40 + 20 = 60\text{ cm}$

পুনরায়, L_2 ও L_3 লেন্সের মধ্যে সমান্তরাল রশ্মি নির্দেশ করে। এই দুটি লেন্স এদের মধ্যবর্তী যেকোনো অবস্থানে রাখা যেতে পারে।

৮। একটি 2.5D ক্ষমতার অবতল লেন্স এবং একটি 2.0D ক্ষমতার উত্তল লেন্সদ্বয়ের সমন্বয়ে একটি যৌগিক লেন্স তৈরি করা হলো। উক্ত যৌগিক লেন্সের সামনে 300 cm দূরে একটি বস্তু রাখলে বস্তুটির প্রতিবিম্ব কোথায় পাওয়া যাবে?

[BUET Admission Test, 2020-21]

আমরা জানি, তুল্য ক্ষমতা,

$$P = P_1 + P_2 = 2 - 2.5 = -0.5D$$

আবার, $f = \frac{1}{P} = -\frac{1}{0.5} = -2\,m$

এখন, $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

বা, $\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u} = -\frac{1}{2} - \frac{1}{3}$

$= -\frac{-3-2}{6} = -\frac{5}{6}$

$\therefore \quad v = \frac{-6}{5} = -1.2\,m$

প্রতিবিম্বটি অবাস্তব এবং সোজা হবে।

এখানে,

অবতল লেন্সের ক্ষমতা, $P_2 = -2.5D$

উত্তল লেন্সের ক্ষমতা, $P_1 = 2.0D$

বস্তুর দূরত্ব, $u = 300\,cm = 3\,m$

৯। যদি একটি বস্তু উত্তল লেন্স থেকে 4 cm দূরে রাখা হয়, তবে লেন্স থেকে 20 cm দূরে একটি বাস্তব প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। যদি লেন্সটি বিবর্ধক কাচ হিসাবে ব্যবহার করা হয় তবে এ থেকে সর্বোচ্চ কত বিবর্ধন পাওয়া যাবে? স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব 25 cm।

আমরা জানি,

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

বা, $\frac{1}{20} - \frac{1}{-4} = \frac{1}{f}$

বা, $\frac{1+4}{20} = \frac{1}{f}$

বা, $f = 5\,cm$

এখন, বিবর্ধক কাচের সর্বোচ্চ বিবর্ধন,

$$m = 1 + \frac{D}{f}$$

$\therefore \quad m = 1 + \frac{25}{5} = 1 + 5 = 6$

এখানে,

$u = -4\,cm$

$v = 20\,cm$

$D = 25\,cm$

১০। একটি অবতলোত্তল লেন্সের দুটি তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ সমান। লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয় কর। এই ধরনের লেন্স কোথায় ব্যবহার হয়।

ধরি লেন্সের ফোকাস দূরত্ব, f

লেন্সের তৈরির ফর্মূলা থেকে আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= (\mu - 1)\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r}\right) \quad [\because r_1 = r_2]$$

$\therefore \quad \frac{1}{f} = 0$ বা, $f = \infty$

পুনরায়, লেন্সের ক্ষমতা, $P = \frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} = 0$

সানগ্লাসে এই ধরনের লেন্স ব্যবহার করা হয়।

১১। একটি সমতল দর্পণের ওপর 25 cm ফোকাস দূরত্বের একটি উত্তল লেন্স স্থাপন করা হলো। যদি একটি বস্তু [চিত্র ১] লেন্সের অক্ষ বরাবর কেন্দ্রে লেন্স থেকে 25 cm ওপরে স্থাপন করা হয় তবে প্রতিবিম্ব কোথায় গঠিত হবে?

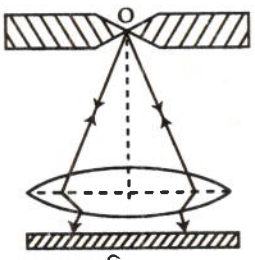
আমরা জানি,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

বা, $\frac{1}{v}+\frac{1}{25}=\frac{1}{25}$

বা, $\frac{1}{v}=\frac{1}{25}-\frac{1}{25}=\frac{1-1}{25}=\frac{0}{25}$

$\therefore \quad v=\infty$



চিত্র ১

এখানে,

$u = 25\,\text{cm}$

$f = 25\,\text{cm}$

$v = ?$

অতএব, প্রতিসরিত রশ্মি লেন্সের অক্ষের সমান্তরালে অগ্রসর হয়ে সমতল দর্পণের অভিলম্ব বরাবর আপতিত হবে। সুতরাং প্রতিফলিত রশ্মি একই পথ অনুসরণ করবে এবং প্রতিবিম্ব গঠন না করে বস্তু O এর সাথে মিলে যাবে [চিত্র ১]।

অনুসন্ধান কর : সান গ্লাস (গগলস্)-এর দুটি বক্র তল রয়েছে, অথচ এদের ক্ষমতা শূন্য, কেন ?

চিত্র ১

সান গ্লাসের লেন্সে ব্যবহৃত দুটি তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ সমান এবং একই চিহ্নের (একই দিকে বাঁকা) [চিত্র ১]।

$$\therefore \quad \text{ক্ষমতা, } P=\frac{1}{f}=({}_a\mu_g-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$$

$$=0 \quad [\because r_1=r_2]$$

৬·১৩ বীক্ষণ যন্ত্রাবলি
Visual instruments

একটি বস্তু আকারে খুব ছোট হলে অথবা দূরে অবস্থান করলে তাকে খালি চোখে স্পষ্ট দেখা যায় না। এ কারণে উপযোগী যন্ত্রের সাহায্যে কাছের অতি ক্ষুদ্র বস্তুর বড় প্রতিবিম্ব গঠন করে অথবা দূরের বস্তুর প্রতিবিম্ব নিকটে উৎপন্ন করে দর্শন উপযোগী করা হয়। এসব যন্ত্রগুলোকে **দৃষ্টি সহায়ক বীক্ষণ যন্ত্র** বলে। যেমন অণুবীক্ষণ যন্ত্র, দূরবীক্ষণ যন্ত্র, বাইনোকুলার, পেরিস্কোপ ইত্যাদি। এসব যন্ত্রে এমন ধরনের লেন্স ব্যবহার করা হয়, যা চোখে বেশি মানের বীক্ষণ কোণ বা দৃষ্টি কোণ উৎপন্ন করে। এখন আমরা বীক্ষণ কোণ বা দৃষ্টি কোণ কী এবং কৌণিক বিবর্ধন আলোচনা করব।

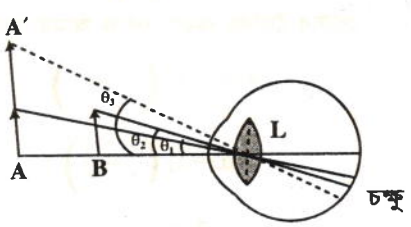
৬·১৩·১ বীক্ষণ কোণ বা দৃষ্টি কোণ ও কৌণিক বিবর্ধন
Visual angle and angular magnification

বীক্ষণ কোণ বা দৃষ্টি কোণ

একটি বস্তু চোখে যে কোণ উৎপন্ন করে তাকে দৃষ্টি কোণ বা বীক্ষণ কোণ বলে। চোখে একটি বস্তু বড় না ছোট দেখবে তা নির্ভর করে বস্তু কর্তৃক উৎপন্ন দৃষ্টি কোণের ওপর।

ব্যাখ্যা : চিত্র ৬·২৯-এ A ও B একই বস্তু দুটি ভিন্ন অবস্থানে রয়েছে। B অবস্থানে বস্তুটি থাকায় একে A অবস্থানের চেয়ে বড় দেখায়।

যদিও বস্তু দুটি একই দৈর্ঘ্যের; কিন্তু বীক্ষণ কোণ বা দৃষ্টি কোণ $\theta_2 > \theta_1$ হওয়ায় কাছের বস্তু বড় মনে হচ্ছে। সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে বিম্বের উচ্চতা বা দৈর্ঘ্য দৃষ্টি কোণের সমানুপাতিক। একই অবস্থানে A ও A′ থাকলেও $\theta_3 > \theta_1$ হওয়ায় A′ > A। দৃষ্টি কোণ যত বড় বস্তু তত বড় দেখায়।



চিত্র ৬·২৯

দর্পণ এবং লেন্স আলোচনায় বিম্বের আকার বস্তুর আকারের চেয়ে কত বড় বা ছোট তা রৈখিক বিবর্ধন সূচক (index) দ্বারা প্রকাশ করা হয়েছে। কিন্তু অনেক দৃষ্টি সহায়ক যন্ত্রে যে বিম্ব সৃষ্টি হয় তা লক্ষ্যবস্তুর তুলনায় খুবই ছোট। সেক্ষেত্রে বিম্বের আকৃতি নির্ণয়ের জন্য রৈখিক বিবর্ধন সুবিধাজনক সূচক নয়। তাই ওই সকল যন্ত্রের ক্ষেত্রে রৈখিক বিবর্ধনের পরিবর্তে কৌণিক বিবর্ধনকেই উপযোগী সূচক হিসেবে ব্যবহার করা হয়।

কৌণিক বিবর্ধন বা বিবর্ধন

বীক্ষণ যন্ত্রে বস্তু এবং প্রতিবিম্ব চোখে যে কোণ উৎপন্ন করে তাদের অনুপাতকে কৌণিক বিবর্ধন বা সংক্ষেপে বিবর্ধন বলে। একে m দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। m-কে অনেক সময় **বিবর্ধন ক্ষমতা**ও বলা হয়।

ব্যাখ্যা : দৃষ্টি সহায়ক বীক্ষণ যন্ত্রে গঠিত কোনো লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব চক্ষু লেন্সের সাপেক্ষে বস্তু হিসেবে ক্রিয়া করে। কিন্তু চোখে এই প্রতিবিম্ব ও প্রকৃত বস্তু সমান কোণ উৎপন্ন করে না। এই কারণে অক্ষিপটে বস্তুর আকার হতে ভিন্ন আকারের প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। চোখে বস্তুর আপাত আকার নির্ভর করে প্রকৃত বস্তু ও তার প্রতিবিম্বের দৃষ্টি-কোণের ওপর। এই কারণে বীক্ষণ যন্ত্রে বস্তু এবং প্রতিবিম্ব চোখে যে কোণ উৎপন্ন করে তাদের অনুপাত দ্বারা বিবর্ধন নির্দিষ্ট হয়।

$$\therefore \text{ বিবর্ধন, } m = \frac{\text{(চোখে) প্রতিবিম্ব কর্তৃক সৃষ্ট দৃষ্টিকোণ}}{\text{(চোখে) বস্তু কর্তৃক সৃষ্ট দৃষ্টিকোণ}}$$

যদি বস্তু ও প্রতিবিম্ব চোখে যথাক্রমে α ও β দৃষ্টিকোণ উৎপন্ন করে, তবে $m = \frac{\beta}{\alpha}$ ... ... (6.35)

৬.১৩.২ মাইক্রোস্কোপ (অণুবীক্ষণ যন্ত্র)
Microscope

আমাদের সামনে এমন অনেক কিছু আছে যাদেরকে আমরা খালি চোখে দেখি না। আবার এমন অনেক কিছু আছে যাদেরকে খালি চোখে দেখলেও খুব ছোট দেখা যায়। এই সকল বস্তুকে বিবর্ধিত করে স্পষ্টভাবে দেখার ব্যবস্থা হলো অণুবীক্ষণ যন্ত্র।

যে আলোক যন্ত্রের সাহায্যে নিকটবর্তী অতি ক্ষুদ্র বস্তুর খুঁটিনাটি প্রতিবিম্বের মাধ্যমে বর্ধিত করে দেখা যায় তাকে অণুবীক্ষণ যন্ত্র বলে। অণুবীক্ষণ যন্ত্র দুই প্রকার; যথা —

(ক) সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা বিবর্ধক কাচ (Simple Microscope or Magnifying glass) ও
(খ) জটিল বা যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র (Compound Microscope)।

জানার বিষয় : অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষমতা বৃদ্ধিতে ব্যবহার করা হয় অতিবেগুনি রশ্মি।

৬.১৩.৩ সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা বিবর্ধক কাচ
Simple microscope or magnifying glass

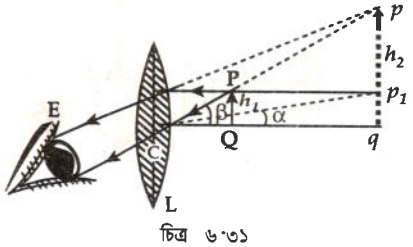
খুব বেশি বিবর্ধন প্রয়োজন না হলে এটি ব্যবহৃত হয়। এতে একটি হাতলযুক্ত ফ্রেমে অল্প ফোকাস দূরত্বের একটি উত্তল লেন্স বসানো থাকে [চিত্র ৬.৩০]। সাধারণত এটি সূক্ষ্ম কারুকার্য, অতি ক্ষুদ্র লেখা, হাতের ছাপ, অতি ক্ষুদ্র যন্ত্রপাতি ইত্যাদি দেখার কাজে ব্যবহার করা হয়।

চিত্র ৬.৩০

[DAT: 22-23]

মূলনীতি : আমরা জানি, উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব অপেক্ষা কম দূরত্বে একটি বস্তু রাখলে লেন্সে তার একটি সিধা, অবাস্তব ও আকারে বড় প্রতিবিম্ব বস্তুর একই পার্শ্বে গঠিত হয় এবং বস্তু লেন্সের যত নিকটে অবস্থান করে বিবর্ধন তত বেশি হয় বা লেন্স হতে তত দূরে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। লেন্সের অপর পার্শ্বে চোখ রাখলে বস্তুর পরিবর্তে এই বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব দেখতে পাওয়া যায়। অবশ্য প্রতিবিম্বটি চোখের স্পষ্ট দর্শনের নিকট বিন্দুতে গঠিত হলে তাকে বিনা ক্লেশে সবচেয়ে বেশি স্পষ্ট দেখা সম্ভব হয়। এটিই সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ক্রিয়া প্রণালির মূলনীতি।

বিবর্ধন : ধরা যাক একটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের উত্তল লেন্স L-এর ফোকাস দূরত্ব f অপেক্ষা কম দূরত্বে প্রধান অক্ষের ওপর লম্বভাবে একটি বস্তু PQ স্থাপন করা হয়েছে [চিত্র ৬.৩১]। এতে লেন্সের পিছনে স্থাপিত চোখ E-এর স্পষ্ট দৃষ্টির নিকট বিন্দুতে তার সিধা, অবাস্তব ও আকারে বড় প্রতিবিম্ব pq গঠিত হলো।



চিত্র ৬.৩১

এখন লেন্সের সাধারণ সমীকরণ হতে অবাস্তব প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রে লেখা যায়,

$-\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ [∵ লেন্সটি উত্তল তাই f ধনাত্মক

এবং প্রতিবিম্ব অবাস্তব বলে, v ঋণাত্মক]

অথবা, $\frac{1}{u} = \frac{1}{v} + \frac{1}{f}$

বা, $\frac{v}{u} = 1 + \frac{v}{f}$ [উভয় পক্ষকে v দ্বারা গুণ করে]

$\therefore$ বিবর্ধন, $m = \frac{v}{u} = 1 + \frac{v}{f}$ ... ... (6.36)

কিন্তু $v = D$ স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব স্বাভাবিক দৃষ্টিতে, D = 25 cm

$$\therefore \quad \boxed{m = 1 + \frac{D}{f}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.37)$$

চক্ষু যদি লেন্স হতে a দূরত্বে অবস্থান করে, তবে $D = v + a$

∴ সমীকরণ (6.35) অনুসারে পাওয়া যায়,

$$\boxed{m = 1 + \frac{D - a}{f}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.38)$$

ইহাই সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধনের রাশিমালা।

উপরোক্ত সমীকরণ হতে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায় যে,

(১) **লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f যত কম হবে তার বিবর্ধন ক্ষমতা তত বৃদ্ধি পাবে।**

(২) **স্বাভাবিক চোখ অপেক্ষা ক্ষীণ দৃষ্টিসম্পন্ন চোখে প্রতিবিম্ব ছোট এবং দূর দৃষ্টিসম্পন্ন চোখে প্রতিবিম্ব বড় দেখাবে।** [MAT: 12-13]

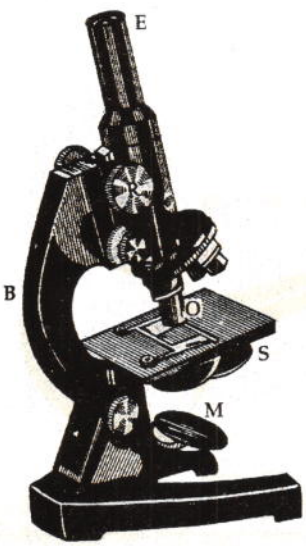
(৩) **পর্যবেক্ষকের চোখ হতে লেন্সের দূরত্ব যত কম হবে বিবর্ধন তত বেশি হবে।**

এ কারণে চোখ যথাসম্ভব লেন্সের নিকটে রাখলে প্রতিবিম্ব সবচেয়ে স্পষ্ট ও বিবর্ধিত দেখাবে।

স্পষ্টদর্শন ন্যূনতম = 25 cm

৬·১৩·৪ জটিল বা যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র
Compound microscope

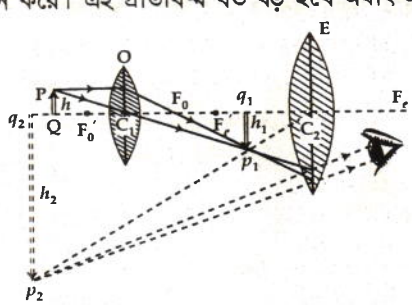
সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন ক্ষমতা তার লেন্সের ফোকাস দূরত্বের ওপর নির্ভর করে। ফোকাস দূরত্ব যত কম হবে বিবর্ধন ক্ষমতা তত বেশি হবে। ফোকাস দূরত্ব যত ইচ্ছা কমানো সম্ভব নয়। অতএব অতি ক্ষুদ্র বস্তুকে প্রয়োজনমতো বিবর্ধিত করা যায় না। সেজন্য জটিল বা যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। 1610 খ্রিস্টাব্দে দেখা যায়। এটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র অপেক্ষা অধিক মাত্রার বিবর্ধন ক্ষমতার অধিকারী। কোনো বস্তু থেকে আগত আলোক রশ্মি আমাদের চোখে যে কোণ করে তাকে বীক্ষণ কোণ বলে। বীক্ষণ কোণ বড় হলে বস্তু বড় দেখায় আর ছোট হলে বস্তু ছোট দেখায়।



চিত্র ৬·৩২

মূলনীতি ও বর্ণনা : যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দুটি উত্তল লেন্স আছে। একটি **অভিলক্ষ্য** (Objective), O এবং অপরটি **অভিনেত্র** (Eye-piece), E [চিত্র ৬·৩২]। অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ ছোট। একে সর্বদা বস্তুর দিকে রাখা হয়। আলোক রশ্মি অভিলক্ষ দ্বারা প্রতিসৃত হওয়ার পর বাস্তব উল্টা বিবর্ধিত বিম্ব গঠিত হয়। অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ বড়। অভিনেত্রকে পর্যবেক্ষকের চোখের দিকে থাকে।লেন্স দুটিকে টানা নলের (Draw Tube) মধ্যে রেখে একটি মূল নলের (Main Tube) দুই প্রান্তে সমাক্ষভাবে স্থাপন করা হয় যাতে তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিবর্তন করা যায়। মূল নলটিকে একটি দণ্ড B-এর সাথে স্থাপন করা হয় এবং স্ক্রু R-এর সাহায্যে উঠানামা করা হয়। লক্ষ্যবস্তু রাখার জন্য একটি পাটাতন আছে। মনে করি এটি S। M একটি অবতল দর্পণ। এর সাহায্যে পাটাতনের ওপর আলোক ফেলে বস্তুটিকে আলোকিত করা হয়। অভিনেত্রটিকে অপর একটি স্ক্রু-এর সাহায্যে উপরে উঠিয়ে বা নিচে নামিয়ে বস্তুটির একটি সুস্পষ্ট এবং বিবর্ধিত, সোজা এবং অবাস্তব প্রতিবিম্ব স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে গঠন করা হয়।

অভিলক্ষ্য একটি উত্তল লেন্স-এর সামনে কোনো লক্ষ্যবস্তুকে ফোকাস দূরত্বের বাইরে রেখে দিলে, লক্ষ্যবস্তু থেকে আগত আলোক রশ্মি প্রতিসরণের পর বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠন করে। এই প্রতিবিম্ব যত বড় হবে অর্থাৎ অভিলক্ষ্যে প্রতিবিম্ব যত দূরে গঠিত হবে, শেষ প্রতিবিম্ব আকারে তত বড় হবে। আবার অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব ছোট হওয়ার জন্য সৃষ্ট প্রতিবিম্ব অনেকগুণ বড় দেখায়। ৬·৩৩ চিত্রে বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব দেখানো হলো।



চিত্র ৬·৩৩

বিবর্ধন : বিবর্ধন বলতে প্রতিবিম্বের আকার এবং বস্তুর আকারের অনুপাতকে বুঝায়। যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দুই পর্যায়ে বিবর্ধন সংঘটিত হয়। প্রথমে অভিলক্ষ্যের জন্য এবং পরে অভিনেত্রের জন্য।

মনে করি, মোট বিবর্ধন $= m$

$\therefore$ আমরা পাই, $m = \dfrac{\text{প্রতিবিম্বের আকার}}{\text{বস্তুর আকার}}$

$$= \frac{p_2q_2}{PQ} = \frac{p_1q_1}{PQ} \times \frac{p_2q_2}{p_1q_1}$$

RMDAC

$$= m_1 \times m_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.39)$$

এখানে, $m_1 = \dfrac{p_1q_1}{PQ}$ = অভিলক্ষ্য দ্বারা সৃষ্ট বিবর্ধন

এবং $m_2 = \dfrac{p_2q_2}{p_1q_1}$ = অভিনেত্র দ্বারা সৃষ্ট বিবর্ধন।

ধরি, অভিলক্ষ্য হতে PQ এবং p_1q_1-এর দূরত্ব যথাক্রমে u এবং v

$\therefore$ $m_1 = \dfrac{p_1q_1}{PQ} = -\dfrac{v}{u}$ (প্রতিবিম্ব উল্টা, তাই ঋণ চিহ্ন) $\ldots \quad \ldots \quad (6.40)$

ধরি, অভিনেত্র হতে p_1q_1 ও p_2q_2 -এর দূরত্ব যথাক্রমে u_2 এবং v_2 অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব f_e, স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব D। স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে প্রতিবিম্ব গঠিত হলে, $v_2 = D$ হয়।

এখন, অভিনেত্র দ্বারা সৃষ্ট বিম্বের ক্ষেত্রে লেন্সের সমীকরণ হতে পাই,

$$-\frac{1}{v_2} + \frac{1}{u_2} = \frac{1}{f_e}$$ [চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব অবাস্তব বলে v_2 ঋণাত্মক]

বা, $\dfrac{v_2}{u_2} = 1 + \dfrac{v_2}{f_e} = 1 + \dfrac{D}{f_e}$

কিন্তু $m_2 = \dfrac{p_2q_2}{p_1q_1} = \dfrac{v_2}{u_2}$

অতএব, $m_2 = 1 + \dfrac{D}{f_e}$ $\ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.41)$

এখন সমীকরণ (6.40) এবং (6.41) হতে m_1 ও m_2-এর মান সমীকরণ (6.39)-এ বসিয়ে পাই,

$$m = -\frac{v}{u}\left(1 + \frac{D}{f_e}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.42)$$

ইহাই জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধনের রাশিমালা।

ঋণাত্মক বিবর্ধন দ্বারা প্রতিবিম্ব উল্টা বুঝায়।

জানার বিষয় : এই যন্ত্রে বস্তুর বিবর্ধন 2000 গুণ পর্যন্ত হয়ে থাকে।

সিদ্ধান্ত : ওপরের সমীকরণ হতে নিম্নলিখিত সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায়—

(ক) u যত ছোট হবে অর্থাৎ বস্তু অভিলক্ষ্যের যত নিকটে অবস্থান করবে, প্রতিবিম্ব আকারে তত বড় দেখাবে। কিন্তু লক্ষ্যবস্তুকে সর্বদা অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্বের বাইরে রাখতে হবে। সুতরাং অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব যতদূর সম্ভব ছোট হতে হবে।

(খ) v যত বড় হবে অর্থাৎ অভিলক্ষ্যে প্রতিবিম্ব যত দূরে গঠিত হবে, শেষ প্রতিবিম্ব আকারে তত বড় হবে। এতে যন্ত্রের দৈর্ঘ্য বড় হতে হবে।

(গ) অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব f_e যত ছোট হবে, যন্ত্রে তত বড় প্রতিবিম্ব গঠিত হবে।

(ঘ) যে চোখের স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব D যত বেশি হবে, সে চোখে প্রতিবিম্ব তত বড় দেখাবে।

এখন সদ বা বাস্তব প্রতিবিম্ব গঠনের ক্ষেত্রে অভিলক্ষ্য-লেন্সের সাধারণ সমীকরণ,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f_0}$$

$\therefore$ $\dfrac{v}{u} = \left(\dfrac{v}{f_0} - 1\right)$, সুতরাং সমীকরণ (6.42)-এ এই মান বসিয়ে পাই,

$$m = -\left(\frac{v}{f_0} - 1\right)\left(1 + \frac{D}{f_e}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.43)$$

যন্ত্রের দৈর্ঘ্য : L = যন্ত্রের দৈর্ঘ্য $= C_1C_2 = C_1q_1 + C_2q_1 = v + C_2q_1$

= অভিলক্ষ্যে প্রতিবিম্বের দূরত্ব + অভিনেত্রে বস্তুর দূরত্ব

হিসাব করে দেখা যায়, যন্ত্রের দৈর্ঘ্য, $L = v + \frac{D \times f_e}{D + f_e}$ হয়।

নিজে কর : অভিলক্ষ্যের ফোকাস দৈর্ঘ্য কমালে অণুবীক্ষণের বিবর্ধন ক্ষমতা কীভাবে পরিবর্তিত হয় ?

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৬

১। একটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে ব্যবহৃত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 0·15 m। স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব 0·25 m হলে ওই যন্ত্রের বিবর্ধন বের কর। [ঢা. বো. ২০০৮; য. বো. ২০০২]

আমরা জানি, সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষেত্রে,

$$m = 1 + \frac{D}{f}$$

$$\therefore m = 1 + \frac{0{\cdot}25}{0{\cdot}15} = 2{\cdot}667$$

এখানে,

$D = 0{\cdot}25\,m$

$f = 0{\cdot}15\,m$

$m = ?$

২। একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·02 m এবং 0·07 m ও তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·20 m। অভিলক্ষ্যের সামনে কত দূরে কোনো বস্তু স্থাপন করলে অভিনেত্র হতে 0·25 m দূরে তার প্রতিবিম্ব দেখা যাবে ?

আমরা জানি,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

এখানে অভিনেত্রের ক্ষেত্রে $v = -0{\cdot}25$ m এবং $f = 0{\cdot}07$ m

$\therefore$ সমীকরণ (i) হতে পাই,

$$-\frac{1}{0{\cdot}25} + \frac{1}{u} = \frac{1}{0{\cdot}07}$$

বা, $\frac{1}{u} = \frac{1}{0{\cdot}07} + \frac{1}{0{\cdot}25} = \frac{0{\cdot}25 + 0{\cdot}07}{0{\cdot}07 \times 0{\cdot}25}$

বা, $\frac{1}{u} = \frac{128}{7}$

$\therefore u = \frac{7}{128}$ m

অভিলক্ষ্য হতে এটা দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব দূরত্ব,

$$v = \left(0{\cdot}20 - \frac{7}{128}\right) = \frac{93}{640}\text{m}$$

এখন অভিলক্ষ্যের জন্য, $v = \frac{93}{640}$ m এবং $f = 0{\cdot}02$ m

$\therefore$ অভিলক্ষ্যের জন্য পাই,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

বা, $\frac{640}{93} + \frac{1}{u} = \frac{1}{0{\cdot}02}$

বা, $\frac{1}{u} = \frac{1}{0{\cdot}02} - \frac{640}{93} = \frac{80{\cdot}20}{1{\cdot}86}$

$\therefore u = \frac{1{\cdot}86}{80{\cdot}20} = 0{\cdot}023\,m$

অর্থাৎ অভিলক্ষ্য হতে বস্তু দূরত্ব = 0·023 m

৩। অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 1 cm এবং 4 cm। এদের মধ্যে দূরত্ব 14·5 cm। যদি 2 mm উচ্চতার একটি বস্তু অভিলক্ষ্য হতে 1·1 cm দূরে স্থাপন করা হয় তবে মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে প্রতিবিম্বের অবস্থান এবং আকৃতি কেমন হবে?

আমরা জানি,

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

বা, $\frac{1}{v}-\frac{1}{-11}=\frac{1}{1}$

বা, $\frac{1}{v}+\frac{1}{1\cdot1}=\frac{1}{1}$

বা, $\frac{1}{v}+\frac{10}{11}=1$

বা, $\frac{1}{v}=1-\frac{10}{11}=\frac{1}{11}$

বা, $v=11$ cm

এখানে,

$f_0 = 1$ cm

$f_e = 4$ cm

$u = -1\cdot1$ cm

$v = ?$

সুতরাং, অভিলক্ষ্য দ্বারা এর বিপরীত পার্শ্বে সৃষ্ট প্রতিবিম্বের দূরত্ব 11 cm এবং এটি বাস্তব প্রতিবিম্ব। এই প্রতিবিম্ব অভিনেত্রের বস্তু হিসেবে কাজ করে।

$\therefore \quad m_1=\frac{v}{u}=\frac{11}{1\cdot1}=10$

এখন, অভিনেত্রের সাপেক্ষে বস্তুর দূরত্ব $=-(14\cdot5-11)=-3\cdot5$ cm

যদি অভিনেত্র থেকে v দূরত্বে প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হয় তবে আমরা পাই,

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{3\cdot5}=\frac{1}{4}$$

বা, $\frac{1}{v}=-\frac{2}{7}+\frac{1}{4}=\frac{1}{28}$

$\therefore \quad v=-28$ cm

প্রতিবিম্ব অবাস্তব এবং অভিনেত্র থেকে 28 cm দূরে গঠিত হবে।

$\therefore \quad m_2=\frac{28}{3\cdot5}=8$

সুতরাং, চূড়ান্ত বিম্বের বিবর্ধন, $m = m_1 \times m_2 = 10 \times 8 = 80$

$\therefore$ চূড়ান্ত প্রতিবিম্বের আকার $= 80 \times 2 = 160$ mm $= 16$ cm

৬·১৪ টেলিস্কোপ (দূরবীক্ষণ যন্ত্র)

Telescope

ভূমণ্ডলে বা নভোমণ্ডলে অবস্থিত দূরবর্তী বস্তু খালি চোখে স্পষ্টভাবে দেখা যায় না। এসব বস্তু দূরবীক্ষণ যন্ত্রে দেখা হয়। অতএব দূরের বস্তুকে ভালোভাবে পর্যবেক্ষণের জন্য যে আলোক যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাকে দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে। দূরবীক্ষণ যন্ত্র দুই প্রকার; যথা—

(১) প্রতিসরণ দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Refracting telescope) এবং

(২) প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Reflecting telescope)।

প্রতিসরণ দূরবীক্ষণ যন্ত্রে বড় উন্মেষ এবং ফোকাস দূরত্বের লেন্স থাকে। প্রতিসরণ দূরবীক্ষণ যন্ত্রকে তিন ভাগে ভাগ করা হয়েছে। যথা—

(ক) নভো বা জ্যোতিষ দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Astronomical telescope),

(খ) ভূ-দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Terrestrial telescope) এবং

(গ) গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Galilean telescope)। [DAT: 20-21]

প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্য অবতল দর্পণের তৈরি। প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রকে আবার তিন ভাগে ভাগ করা হয়েছে, যথা—

(ক) নিউটনের দূরবীক্ষণ যন্ত্র, [DAT: 16-17]

(খ) গ্রেগরির দূরবীক্ষণ যন্ত্র এবং

(গ) হারসেলের দূরবীক্ষণ যন্ত্র।

এ অধ্যায়ে কয়েকটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন এবং কার্যপদ্ধতি আলোচনা করা হবে।

৬·১৪·১ নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র
Astronomical telescope

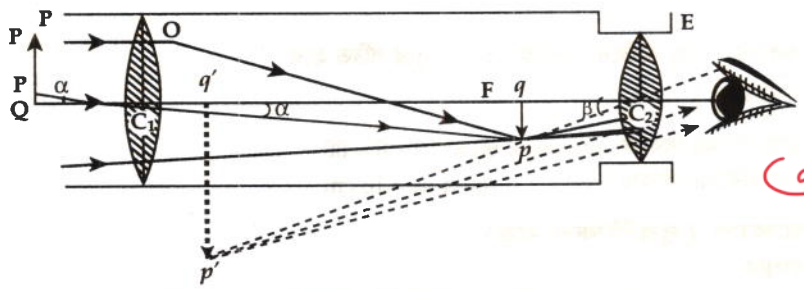
চন্দ্র, সূর্য, গ্রহ, নক্ষত্র প্রভৃতি নভোমণ্ডলীয় বস্তু পর্যবেক্ষণে যে দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাকে নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে [চিত্র ৬·৩৪]। ডেনমার্কের বিখ্যাত জ্যোতির্বিদ কেপলার 1611 খ্রিস্টাব্দে এটি সর্বপ্রথম উদ্ভাবন করেন।

চিত্র ৬·৩৪

বর্ণনা : এই যন্ত্র প্রধানত দুটি উত্তল লেন্স দ্বারা গঠিত—একটি অভিলক্ষ্য (Objective), O এবং অপরটি অভিনেত্র (Eye-piece) E [চিত্র ৬·৩৪]। অভিলক্ষ্য ক্রাউন কাচের তৈরি। একে সর্বদা লক্ষ্যবস্তুর দিকে রাখা হয়। এর ফোকাস দূরত্ব f_o এবং উন্মেষ বড়। অভিনেত্র ফ্লিন্ট কাচের তৈরি। একে দর্শক চোখের দিকে রেখে বস্তু দেখে। এর ফোকাস দূরত্ব f_e এবং উন্মেষ ছোট। লেন্স দুটিকে দুটি টানা নলের মধ্যে রেখে একটি লম্বা নলের দুই প্রান্তে সমাক্ষভাবে স্থাপন করা হয়। ফলে প্রয়োজন মতো লেন্স দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিবর্তন করা যায়।

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন বেশি, অথচ দৃষ্টিক্ষেত্র অল্প বলে তার গায়ে ভিউ ফাইন্ডার (view finder) নামে একটি ছোট যন্ত্র লাগানো থাকে। এই যন্ত্রটির বিবর্ধন অল্প, কিন্তু এর দৃষ্টিক্ষেত্র অপেক্ষাকৃত প্রশস্ত।

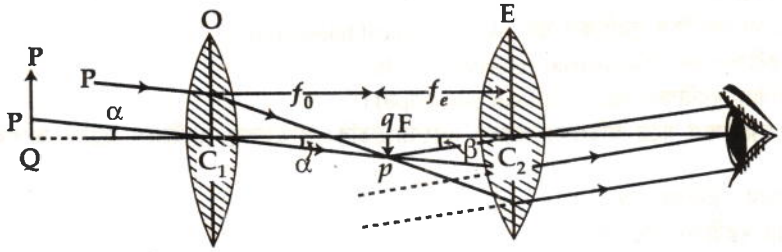
মূলনীতি (Principle) : বহুদূরবর্তী বস্তু থেকে আগত রশ্মিগুচ্ছ অভিলক্ষ্যের ওপর পরস্পরের সমান্তরালে আপতিত হয়ে প্রতিসরণের পর প্রতিসৃত রশ্মিগুচ্ছ একটি বিন্দুতে মিলিত হয়। এই বিন্দুতে বস্তুর একটি বাস্তব, উল্টা ও খুবই ছোট প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। এই অবস্থায় অভিনেত্রকে এমনভাবে উপযোজন করা হয় যেন pq অভিনেত্রের ফোকাস ও আলোক কেন্দ্র C_2 এর মধ্যে থাকে। ফলে pq অভিনেত্রের জন্য লক্ষ্যবস্তুর কাজ করবে। pq থেকে নির্গত আলোকরশ্মিগুচ্ছ অভিনেত্রে প্রতিসরণের পর অভিনেত্র চোখের নিকট বিন্দুতে অর্থাৎ স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে শেষ



চিত্র ৬·৩৫

অবাস্তব, বিবর্ধিত এবং সিধা তবে মূল বস্তুর সাপেক্ষে উল্টো প্রতিবিম্ব $p'q'$ গঠন করে [চিত্র ৬·৩৫]। এ ধরনের ফোকাসিংকে **স্পষ্ট দর্শন ফোকাসিং (focusing for distinct vision)** বলা হয়। চিত্র অনুযায়ী F অভিনেত্র ও অভিলক্ষ্যের ফোকাস বিন্দু। নিকট ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে q ও F দুটি ভিন্ন বিন্দু।

অভিনেত্র খানিকটা সরিয়ে pq-কে তার ফোকাস তলে গঠন করলে pq হতে আগত আলোক রশ্মিগুলো অভিনেত্রে পরস্পরের সমান্তরালে প্রতিসৃত হয় [চিত্র ৬·৩৬]। ফলে অভিনেত্রের পশ্চাতে চোখ রাখলে অসীম দূরত্বে এর একটি উল্টো



চিত্র ৬·৩৬

অতিবিবর্ধিত প্রতিবিম্ব দৃষ্টিগোচর হয়। দূরবীক্ষণ যন্ত্রের এই ফোকাসিংকে **অসীম দূরত্বে বা স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং** বলা হয়।

এই দুই ধরনের ফোকাসিং-এর জন্য বিবর্ধন ক্ষমতা বা বিবর্ধনের রাশিমালা ভিন্নতর হবে। নিম্নে উভয় ধরনের ফোকাসিং-এর বিবর্ধন ক্ষমতার রাশিমালা প্রতিপাদন করা হলো।

(১) অসীম দূরত্বে বা স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং-এর বিবর্ধন : অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে pq ফোকাস তলে গঠিত হয়। এমতাবস্থায় q বিন্দু অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস বিন্দু। pq হতে আলোক রশ্মিগুলো পরস্পর সমান্তরালে প্রতিসৃত হয় [চিত্র ৬·৩৬]। ফলে অভিনেত্রের বাম দিকে অসীম দূরত্বে একটি অবাস্তব, অতি বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হয়। অসীম ফোকাসিং-এ q এবং F একই বিন্দু। এমতাবস্থায়, C_2q = অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব $= f_e$ এবং C_1q = অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব $= f_0$। সুতরাং অসীম দূরত্বে বা স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে বিবর্ধন

$$m = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{C_1q}{C_2q} = \frac{f_0}{f_e} \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.44)$$

সমীকরণ (6.43) হতে দেখা যায় যে অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে বিবর্ধন m দুটি উপায়ে বৃদ্ধি করা যায়—

(ক) অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব বৃদ্ধি করে এবং

(খ) অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব কমিয়ে।

(২) স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং-এর বিবর্ধন : এক্ষেত্রে $C_2q = u_2$ = অভিনেত্রে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে বস্তুর দূরত্ব। শেষ প্রতিবিম্বের অবস্থান q' ধরলে,

C_2q' = অভিনেত্র হতে শেষ প্রতিবিম্বের দূরত্ব $= -v_2$ [$\because$ প্রতিবিম্ব অবাস্তব, তাই ঋণচিহ্ন]

$\therefore\ C_2q' = v_2 = -D$ = স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব।

অতএব, লেন্সের সমীকরণ

$$\frac{1}{v_2} + \frac{1}{u_2} = \frac{1}{f_e} \text{ হতে পাই,}$$

$$-\frac{1}{D} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f_e}$$

বা, $$\frac{1}{u} = \frac{1}{f_e} + \frac{1}{D} = \frac{D + f_e}{D \times f_e}$$

$$\therefore \quad u = \frac{D \times f_e}{D + f_e}$$

এখন, $C_1q \equiv$ অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব $= f_0$

অতএব, বিবর্ধন ক্ষমতা,

$$m = \frac{C_1q}{C_2q} = \frac{f_0}{u} = f_0\left(\frac{D + f_e}{D \times f_e}\right) = f_0\left(\frac{1}{D} + \frac{1}{f_e}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.45)$$

বা, $$m = \frac{f_0}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.46)$$

যন্ত্রের দৈর্ঘ্য : অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব হলো যন্ত্রের দৈর্ঘ্য। ধরি, যন্ত্রের দৈর্ঘ্য = L এবং অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের দূরত্ব = C_1C_2

$\therefore$ যন্ত্রের দৈর্ঘ্য, $L = C_1C_2$

(i) অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে :

এক্ষেত্রে যন্ত্রের দৈর্ঘ্য, $L = C_1C_2 = C_1q + C_2q$

এখন, অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে q বিন্দু অভিনেত্র ও অভিলক্ষ্যের ফোকাস বিন্দু।

অতএব, $C_1q = f_e$ এবং $C_2q = f_0$

$$\therefore \quad L = C_1q + C_2q = f_e + f_0 \quad \ldots \quad (6.47)$$

অর্থাৎ, অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে যন্ত্রের দৈর্ঘ্য লেন্স দুটির ফোকাস দূরত্বের যোগফলের সমান।

(ii) স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে :

এক্ষেত্রে যন্ত্রের দৈর্ঘ্য, $L = C_1C_2 = C_1q + C_2q$

এক্ষেত্রে $C_2q = f_0$ এবং $C_1q = u$

আবার, $u = \dfrac{D \times f_e}{D + f_e}$

অতএব, যন্ত্রের দৈর্ঘ্য, $L = C_1q + C_2q = f_0 + u$

$$= f_0 + \frac{D \times f_e}{D + f_e} \qquad \ldots \qquad (6.48)$$

= অভিলক্ষ্যে প্রতিবিম্বের দূরত্ব + অভিনেত্রে বস্তুর দূরত্ব

কাজ : একটি অস্বচ্ছ কাগজ দ্বারা নভো-দূরবীক্ষণের অভিলক্ষ্য লেন্সের অর্ধেক ঢেকে দিলে কি লক্ষ্যবস্তুর অর্ধেক দেখা যাবে ?

অস্বচ্ছ কাগজ দ্বারা নভো-বীক্ষণের অভিলক্ষ্য লেন্সের অর্ধাংশ ঢেকে দিলে লক্ষ্যবস্তুর পূর্ণ প্রতিবিম্বই দেখা যাবে; তবে প্রতিবিম্বের উজ্জ্বলতা কিছু হ্রাস পাবে। এর কারণ হলো যে বস্তুর বিভিন্ন অংশ হতে আলোকরশ্মি এসে লেন্সের উভয় অর্ধেই পড়ে, তবে আচ্ছাদিত অর্ধাংশের ওপর আপতিত হয়ে আলো প্রতিসৃত হতে পারে না কিন্তু অনাচ্ছাদিত অর্ধাংশের ওপর আপতিত হয়ে আলো প্রতিসৃত হয় এবং বস্তুর পূর্ণাঙ্গ প্রতিবিম্ব গঠন করে। আপতিত মোট আলোক-রশ্মির এক অর্ধ প্রতিসৃত হতে পারে না বলে প্রতিবিম্বের উজ্জ্বলতা খানিকটা হ্রাস পায়।

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৭

১। একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যের ফোকাস দৈর্ঘ্য 200 cm এবং অভিনেত্রের ফোকাস দৈর্ঘ্য 5 cm। দূরবীক্ষণ যন্ত্র দ্বারা সৃষ্ট বিবর্ধন নির্ণয় কর, যখন বস্তুটিকে (i) অসীমে এবং (ii) 25 cm দূরে রাখা হয়। উভয় ক্ষেত্রেই লেন্স দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব নির্ণয় কর। [চ. বো. ২০০১]

মনে করি, বিবর্ধন ক্ষমতা $= m$

আমরা পাই,

(i) $m = \dfrac{f_0}{f_e} = \dfrac{2\cdot00}{0\cdot05} = 40$

এবং $L = f_0 + f_e = 2\cdot00 + 0\cdot05 = 2\cdot05$ m

এখানে

$f_0 = 200$ cm $= 2\cdot00$ m

$f_e = 5$ cm $= 0\cdot05$ m

$D = 25$ cm $= 0\cdot25$ m

(ii) $m = f_0 \times \left(\dfrac{1}{D} + \dfrac{1}{f_e}\right) = 2 \times \left(\dfrac{1}{0\cdot25} + \dfrac{1}{0\cdot05}\right) = 48$

এবং $L = f_0 + \left(\dfrac{D \times f_e}{D + f_e}\right) = 2 + \left(\dfrac{0\cdot25 \times 0\cdot05}{0\cdot25 + 0\cdot05}\right) = 2\cdot04$ m

২। স্বাভাবিক দর্শনের জন্য 4 বিবর্ধনবিশিষ্ট একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের লেন্স দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·36 m (বা 36 cm) হলে লেন্স দুটির ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর।

[সি. বো. ২০১১; রা. বো. ২০০৯; দি. বো. ২০০৯; কু. বো. ২০০৮; চ. বো. ২০০৮; ঢা. বো. ২০০৪]

মনে করি, ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে f_0 এবং f_e।

∴ আমরা পাই,

$$f_0 + f_e = 0\cdot36 \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$$

এবং $m = \dfrac{f_0}{f_e}$

বা, $4 = \dfrac{f_0}{f_e}$

$$\therefore \quad f_0 = 4f_e \qquad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$$

এখন সমীকরণ (i) এবং (ii) হতে পাই,

$$4f_e + f_e = 0.36$$

বা, $5f_e = 0.36$

$\therefore \quad f_e = \frac{0.36}{5} = 0.072\ \text{m}$

এখন সমীকরণ (ii) হতে পাই,

$$f_0 = 4 \times 0.072 = 0.288\ \text{m}$$

$\therefore$ অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব = 0.288 m এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব = 0.072 m

৩। একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 45 cm ও 5 cm। স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে যন্ত্রটির দৈর্ঘ্য এবং এর দ্বারা সৃষ্ট বিবর্ধন নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

নলের দৈর্ঘ্য, $l = f_0 + \left(\frac{D \times f_e}{D + f_e}\right)$

এবং বিবর্ধন, $m = \frac{f_0}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right)$

$\therefore \quad l = 45 + \left(\frac{25 \times 5}{25 + 5}\right)$

$= 45 + \frac{25}{6} = 49.2\ \text{cm}$

এবং $m = \frac{45}{5}\left(1 + \frac{5}{25}\right)$

$= 9 \times \left(1 + \frac{1}{5}\right)$

$= 9 \times \frac{6}{5} = 10.8$

এখানে

অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব, $f_0 = 45\ \text{cm}$

অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব, $f_e = 5\ \text{cm}$

স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব, $D = 25\ \text{cm}$

নলের দৈর্ঘ্য, $l = ?$

বিবর্ধন, $m = ?$

৪। একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের নলের দৈর্ঘ্য 55 cm এবং কৌণিক বিবর্ধন 10। এর অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব কত ?

আমরা জানি, বিবর্ধন,

$$m = \frac{f_0}{f_e}$$

বা, $f_e = \frac{f_0}{m}$

এখন, নলের দৈর্ঘ্য,

$$L = f_0 + f_e = f_0 + \frac{f_0}{m}$$

$$= f_0\left(1 + \frac{1}{m}\right) = f_0\left(\frac{m+1}{m}\right)$$

বা, $f_0 = L\left(\frac{m}{m+1}\right)$

$= 55 \times \left(\frac{10}{10+1}\right)$

$= 55 \times \frac{10}{11} = 50\ \text{cm}$

অতএব, অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব 50 cm।

এখানে,

$L = 55\ \text{cm}$

$m = 10$

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের সুবিধা :

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রে চারটি সুবিধা পরিলক্ষিত হয়; যথা—

(ক) এটি অধিক পরিমাণে বিবর্ধন সৃষ্টি করে,

(খ) এর দৃষ্টিক্ষেত্র প্রশস্ত,

(গ) প্রতিবিম্ব প্রায় ত্রুটিমুক্ত (aberration free) এবং

(ঘ) প্রয়োজনে ক্রসওয়ার এবং মাইক্রোমিটার স্ক্রু ব্যবহার করা হয়।

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অসুবিধা :

এই যন্ত্রের দুটি অসুবিধা পরিলক্ষিত হয়; যথা—

(ক) নলটি খুবই দীর্ঘ হওয়ায় যন্ত্রটি বেশ বড় হয়, এবং

(খ) এই যন্ত্র বস্তুর উল্টা প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে বলে ভূপৃষ্ঠের দূরের বস্তু পর্যবেক্ষণে ব্যবহারযোগ্য হয় না।

কাজ : ভূ-দূরবীক্ষণ যন্ত্র কী ? বর্ণাপেরণ কী ? প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে বর্ণাপেরণের সৃষ্টি হলেও প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে বর্ণাপেরণের সৃষ্টি হয় না কেন ?

ভূপৃষ্ঠের দূরবর্তী কোনো বস্তুকে দেখার জন্য যে দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করা হয় তাকে ভূ-দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে।

লেন্সের মধ্য দিয়ে সাদা আলোক রশ্মি প্রতিসরণের সময় এক এক বর্ণের আলোর দরুন লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব প্রধান অক্ষের এক এক জায়গায় গঠিত হয়ে একটি ত্রুটিপূর্ণ বর্ণিল ও ঝাপসা প্রতিবিম্ব গঠন করে। লেন্সের এ ধরনের ত্রুটির নাম বর্ণাপেরণ।

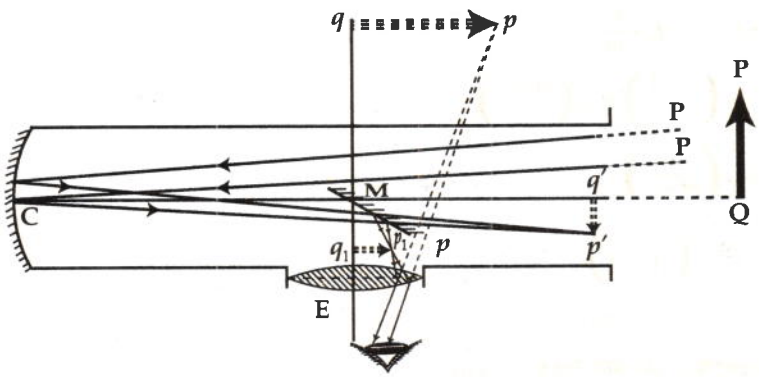
প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্য হিসেবে লেন্স ব্যবহার করা হয়। লেন্সের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণের সময় সাদা আলোক রশ্মি সাতটি বর্ণের রশ্মিতে বিশ্লিষ্ট হয়ে পড়ে। ফলে এক এক বর্ণের আলোর দরুন লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব বর্ণিল ও ঝাপসা প্রতিবিম্ব গঠন করে যা **বর্ণাপেরণ** নামে পরিচিত। অন্যদিকে প্রতিফলন দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্য হিসেবে দর্পণ ব্যবহার করা হয়। ফলে এতে বর্ণাপেরণ সৃষ্টির সুযোগ থাকে না। এজন্য প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে বর্ণাপেরণের সৃষ্টি হলেও প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে বর্ণাপেরণের সৃষ্টি হয় না।

৬·১৪·২ রিফ্লেক্টিং টেলিস্কোপ বা প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র
Reflecting telescope

1663 খ্রিস্টাব্দে **গ্রেগরি** নামক একজন বিজ্ঞানী সর্বপ্রথম এই যন্ত্র উদ্ভাবন করেন। 1668 খ্রিস্টাব্দে স্যার আইজ্যাক নিউটন সর্বাপেক্ষা প্রচলিত প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র প্রথম নির্মাণ করেন। পরবর্তীতে **হার্সেল** (Herschel)-ও প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র আবিষ্কার করেন।

সাধারণভাবে বলা যায় যে, একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ যত বড় হবে তাতে লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব তত বড় ও উজ্জ্বল দেখাবে। কিন্তু বড় আকারের অভিলক্ষ্য লেন্সে সাদা আলোকের বর্ণ বিচ্যুতি ঘটে বলে লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্বের বর্ণ ত্রুটি ও আকার বিকৃতি ঘটে। প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে প্রতিবিম্বের এই ত্রুটিগুলো মোটামুটি বড় ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষের অবতল দর্পণের তৈরি অভিলক্ষ্য দ্বারা দূর করা হয়। এই কারণে পৃথিবীর বড় বড় মান-মন্দিরের নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রগুলো প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র—প্রতিসরণ দূরবীক্ষণ যন্ত্র নয়।

এই যন্ত্রে একটি ফাঁপা নলের এক প্রান্তে বড় ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষের একটি অবতল দর্পণ C থাকে এবং অপর প্রান্ত খোলা থাকে [চিত্র ৬·৩৭]। এই নলের এক পার্শ্বে এবং অবতল দর্পণ হতে তার ফোকাস দূরত্ব অপেক্ষা কম দূরত্বে



চিত্র ৬·৩৭

একটি ফাঁপা পার্শ্বনল থাকে। এই নলে একটি উত্তল লেন্স E অভিনেত্র হিসেবে বসানো থাকে। এ ছাড়া অবতল দর্পণ ও উত্তল লেন্সের প্রধান অক্ষের ছেদ বিন্দুতে একটি সমতল দর্পণ M অবতল দর্পণের প্রধান অক্ষের সাথে 45° কোণে আনত অবস্থায় নলের অভ্যন্তরে বসানো থাকে। দর্পণের প্রতিফলক পৃষ্ঠ অবতল দর্পণ ও লেন্সের দিকে মুখ করে থাকে।

মূলনীতি ও বর্ণনা : বহু দূরের বস্তু PQ-এর যেকোনো বিন্দু হতে আগত আলোক রশ্মি যন্ত্রের অবতল দর্পণ C-এ প্রায় পরস্পর সমান্তরালে আপতিত হয় এবং রশ্মিগুলো অবতল দর্পণ C-এ প্রতিফলিত হবার পর দর্পণের ফোকাস তলে বস্তুর আকারের চেয়ে অতি ছোট প্রতিবিম্ব $p'q'$ উৎপন্ন করার চেষ্টা করে। কিন্তু প্রতিফলিত রশ্মিগুলো প্রতিবিম্ব $p'q'$ গঠন করার পূর্বে সমতল দর্পণ M-এ প্রতিফলিত হয়ে পার্শ্ব নলে বস্তুর বাস্তব প্রতিবিম্ব p_1q_1 গঠন করে।

স্পষ্ট দর্শনে প্রতিবিম্ব গঠনের বা ফোকাসিং-এর জন্য অভিলক্ষ্য E-কে সামনে-পিছনে সরিয়ে এমন এক স্থানে রাখা হয় যাতে লেন্সের মধ্য দিয়ে তাকালে লক্ষ্যবস্তুর একটি সুস্পষ্ট বিবর্ধিত ও সিধা প্রতিবিম্ব pq চোখের স্পষ্ট দর্শনের নিকট বিন্দুতে গঠিত হয়।

অসীম দূরত্বে বা স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং-এর জন্য উত্তল লেন্সের অবস্থান এমনভাবে ঠিক করা হয় যেন প্রতিবিম্ব p_1q_1 উত্তল লেন্সটির ফোকাস তলে গঠিত হয়। এ অবস্থায় p_1q_1 হতে আগত আলোক রশ্মিগুলো উত্তল লেন্সে পরস্পরের সমান্তরালে প্রতিসৃত হয়। ফলে একটি অবাস্তব, সিধা এবং বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব অসীম দূরত্বে গঠিত হয়।

এখন, অবতল দর্পণ ও উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে f_0 ও f_e হলে স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে দেখানো যায় যে,

বিবর্ধন, $$m = f_0\left(\frac{1}{D}+\frac{1}{f_e}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.49)$$

এখানে, D হলো স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব।

অসীম দূরত্বে বা স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে দেখানো যায় যে,

বিবর্ধন, $$m = \frac{f_0}{f_e} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.50)$$

কাজ : দূরবীক্ষণ যন্ত্রে নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের চেয়ে অতিরিক্ত একটি লেন্স ব্যবহার করা হয় কেন ?
অথবা, নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র দিয়ে পৃথিবীর দূরবর্তী বস্তুকে দেখতে হলে অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের মাঝে একটি অতিরিক্ত উত্তল লেন্স ব্যবহার করতে হয় কেন ?

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রে সৃষ্ট চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব লক্ষ্যবস্তুর সাপেক্ষে বাস্তব ও উল্টা হয়। নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের মাঝে একটি উত্তল লেন্স ব্যবহার করলে প্রতিবিম্বকে আরও একবার উল্টিয়ে লক্ষ্যবস্তুর সাপেক্ষে সোজা চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব গঠন করে। এজন্য অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের মাঝে একটি উত্তল লেন্স ব্যবহার করতে হয়।

প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রের সুবিধা ও অসুবিধা

সুবিধা :

১। এই দূরবীক্ষণে বর্ণ ত্রুটি বা গোলকীয় ত্রুটি থাকে না। ফলে উজ্জ্বল ও ত্রুটিমুক্ত প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়।
২। বড় উন্মেষের লেন্স তৈরির চেয়ে বড় উন্মেষের দর্পণ তৈরি অনেক সহজ।
৩। একই আকৃতির প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্রের চেয়ে প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র তৈরিতে খরচ অনেক কম হয়।

অসুবিধা :

১। দর্পণটি সহজে নড়ে যেতে পারে, ফলে নলের সমাক্ষ লাভ হতে পারে।
২। সুবিধাজনক জায়গায় বিম্ব দেখার জন্য একটি গৌণ দর্পণ ব্যবহার করতে হয়। এই দর্পণ এবং তার ধারক অপবর্তন ঘটাতে পারে।
৩। প্রতিফলক দূরবীক্ষণের নলের বাইরের মুখ খোলা থাকায় দর্পণ প্রায়শই পরিবর্তনের প্রয়োজন হয়।

৬·১৫ অণুবীক্ষণ যন্ত্র ও দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বৈশিষ্ট্য
Characteristics of microscope and telescope

অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বৈশিষ্ট্য :

১। নিকটবর্তী অতি ক্ষুদ্র বস্তু পর্যবেক্ষণের কাজে ব্যবহৃত হয়।
২। অভিনেত্রের সাপেক্ষে অভিলক্ষ্য লেন্সের উন্মেষ ও ফোকাস দূরত্ব ছোট হয়।
৩। অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র উভয় দ্বারা প্রতিবিম্ব কম-বেশি বিবর্ধিত হয়।
৪। অভিলক্ষ্যে লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব তার ফোকাস দূরত্ব অপেক্ষা অধিক দূরত্বে গঠিত হয়।
৫। চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব লক্ষ্যবস্তুর সাপেক্ষে উল্টা হয়।

দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বৈশিষ্ট্য :

১। দূরের বস্তু দেখার কাজে ব্যবহৃত হয়।

২। অভিনেত্রের সাপেক্ষে অভিলক্ষ্য লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ বড় হয়।

৩। অভিলক্ষ্যে লক্ষ্যবস্তুর আকারের চেয়ে ছোট আকারের প্রতিবিম্ব গঠিত হয় এবং ওই প্রতিবিম্ব অভিনেত্র দ্বারা গঠিত হয়।

৪। অভিলক্ষ্যে লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব তার ফোকাস তলে গঠিত হয়।

৫। চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব কোনো কোনো দূরবীক্ষণ যন্ত্রে লক্ষ্যবস্তুর সাপেক্ষে সিধা ও কোনো কোনো দূরবীক্ষণ যন্ত্রে উল্টা হয়।

৬·১৫·১ আলোকীয় যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা
Resolving power of optical instruments

আমাদের চোখ একটি আলোকীয় যন্ত্র। যদি দুটি বস্তু বা তাদের প্রতিবিম্ব খুবই কাছাকাছি অবস্থিত হয় তবে আমাদের চোখের পক্ষে এদেরকে আলাদাভাবে দেখা সম্ভব হয় না। এদেরকে একই বস্তু বা একই প্রতিবিম্ব বলে মনে হয়।

ব্যাখ্যা : ধরা যাক একটি সাদা দেয়ালের ওপর কতকগুলো সমান্তরাল কালো রেখা 1 mm ব্যবধানে আঁকা হয়েছে। খুব কাছে থেকে তাকালে এদেরকে আলাদাভাবে দেখা সম্ভব, কিন্তু দেয়াল থেকে দূরে সরে আসলে এক সময় রেখাগুলো পরস্পরের সাথে মিশে গেছে বলে মনে হয়। অর্থাৎ রেখাগুলোকে আর আলাদাভাবে চিহ্নিত করা সম্ভব হয় না।

এখন, পাশাপাশি যে কোনো দুটি বস্তুকে আলাদাভাবে দেখা নির্ভর করে বস্তু দুটি চোখে যে কোণ উৎপন্ন করে তার ওপর। ওপরের উদাহরণে রেখাগুলো থেকে দূরে যাওয়ার কারণে চোখে উৎপন্ন কোণের মান কমে যায়। তাই একটি নির্দিষ্ট দূরত্বের পর আর আলাদাভাবে চেনা যায় না।

পরীক্ষা থেকে দেখা গেছে যে, বস্তু দুটি হতে চোখে সৃষ্ট কোণ যদি 1 মিনিটের বা $\frac{1}{60}$ ডিগ্রির কম হয় তবে চোখ বস্তু দুটিকে আলাদাভাবে দেখতে পায় না। এই কোণকে চোখের বিশ্লেষণী সীমা বলে।

আলোকীয় যন্ত্রেরও কাছাকাছি অবস্থানে অবস্থিত দুটি বস্তুর পৃথক প্রতিবিম্ব গঠনের অনুরূপ সীমা রয়েছে। সুতরাং বিশ্লেষণী ক্ষমতার নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়।

বিশ্লেষণী সীমা : কোনো আলোকীয় যন্ত্রের মাধ্যমে কাছাকাছি অবস্থানে অবস্থিত দুটি বস্তুকে পারস্পরিক যে ন্যূনতম দূরত্বের ব্যবধানে পৃথকভাবে দুটি স্পষ্ট প্রতিবিম্ব গঠন করা যায়, তাকে ওই যন্ত্রের বিশ্লেষণী সীমা বলে।

বিশ্লেষণী ক্ষমতা : দুটি বস্তুর পৃথক প্রতিবিম্ব গঠনের সামর্থ্যকে বিশ্লেষণী ক্ষমতা বলে। অর্থাৎ কোনো আলোকীয় যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা বলতে কাছাকাছি অবস্থানে অবস্থিত দুটি বস্তুর পৃথক প্রতিবিম্ব গঠনের সামর্থ্যকে বোঝায়।

৬·১৫·২ অণুবীক্ষণ ও দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা
Resolving power of a microscope and a telescope

অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা : কাছাকাছি অবস্থানে অবস্থিত দুটি বস্তুকে অণুবীক্ষণ যন্ত্র যদি আলাদাভাবে দেখতে সক্ষম হয় তবে ওই বস্তু দুটির মধ্যবর্তী দূরত্বের বিপরীত (inverse) রাশিকে অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা বলে। একে R দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

বস্তুদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব Δd হলে অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা,

$$R = \frac{1}{\Delta d} = \frac{2\mu \sin\theta}{\lambda},$$ এখানে, λ = ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য, μ = বস্তুদ্বয় ও অণুবীক্ষণ যন্ত্রের মধ্যবর্তী মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক এবং θ = অভিলক্ষ্যের ব্যাসার্ধ কর্তৃক যে কোনো একটি বস্তুতে উৎপন্ন কোণ।

দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা : পরস্পরের কাছাকাছি অবস্থানে অবস্থিত দুটি বস্তুকে যখন নভোবীক্ষণ যন্ত্র আলাদাভাবে বিশ্লেষণ করতে পারে তখন ওই বস্তু দুটি যন্ত্রের অভিলক্ষ্যে যে কোণ উৎপন্ন হয় তার বিপরীত (inverse) রাশিকে দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা বলে। বস্তু দুটি কর্তৃক অভিলক্ষ্যে সৃষ্ট কোণ $\Delta\theta$ হলে,

$$R = \frac{1}{\Delta\theta} = \frac{a}{1{\cdot}22\,\lambda},$$ এখানে, a = নভোবীক্ষণের অভিলক্ষ্যের ব্যাস।

কাজ : একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যের ব্যাসকে তিনগুণ করা হলে ওই যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতার কী পরিবর্তন ঘটবে?

নভোবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা $R = \frac{a}{1{\cdot}22\,\lambda}$। এখন যন্ত্রের বিশ্লেষণ ক্ষমতা অভিলক্ষ্যের ব্যাসের সমানুপাতিক হওয়ায় ব্যাস তিনগুণ বৃদ্ধি করা হলে নভোবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতাও তিনগুণ বৃদ্ধি পাবে।

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৮

১। একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যের ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 2 cm ও 6 cm। এদের মধ্যে ব্যবধান 20 cm। চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে গঠিত হলে যন্ত্রের বিবর্ধন ক্ষমতা নির্ণয় কর।

আমরা জানি, অভিনেত্রের ক্ষেত্রে

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f_e}$$

অভিনেত্র অসদ বা অবাস্তব বিম্ব গঠন করে, তাই

$v = -25$ cm

[∵ বিম্ব স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে গঠিত]

$$\therefore \frac{1}{-25} + \frac{1}{u} = \frac{1}{6}$$

বা, $\frac{1}{u} = \frac{1}{6} + \frac{1}{25}$

বা, $u = \frac{6 \times 25}{31} = 4.83$ cm

সুতরাং অভিলক্ষ্যের প্রতিবিম্বের দূরত্ব, $v_1 = (L - u) = 20 - 4.83 = 15.17$ cm

$$\therefore \text{মোট বিবর্ধন, } m = \left(\frac{v_1}{f_0} - 1\right)\left(1 + \frac{D}{f_e}\right)$$

$$= \left(\frac{15.17}{2} - 1\right)\left(1 + \frac{25}{6}\right)$$

$$= (6.58)\,(5.167) \approx 34$$

এখানে,
অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব, $f_0 = 2$ cm
অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব, $f_e = 6$ cm
লেন্সের মধ্যবর্তী দূরত্ব, L = 20 cm
স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব, D = 25 cm

২। একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যের ব্যাস 205 cm। দূরবীক্ষণ যন্ত্রটির সাহায্যে একটি নক্ষত্রকে দেখা হয়। নক্ষত্র থেকে যে আলো দূরবীক্ষণ যন্ত্রে আসছে তার তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5800 Å হলে যন্ত্রটির বিশ্লেষণী ক্ষমতার মান নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা,

$$R = \frac{a}{1.22\,\lambda} = \frac{205}{1.22 \times 5800 \times 10^{-8}}$$

$$= 2.897 \times 10^{6}$$

এখানে,
অভিলক্ষ্যের ব্যাস, $a = 205$ cm
আপতিত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য,
$\lambda = 5800$ Å $= 5800 \times 10^{-8}$ cm

৬·১৬ প্রিজমে আলোর প্রতিসরণ ও বিচ্ছুরণ
Refraction and dispersion of light in a prism

প্রিজম
Prism

প্রিজমের সংজ্ঞা সম্পর্কে বিভিন্ন পদার্থবিদ বিভিন্ন ধারণা পোষণ করেন। এসব ধারণার প্রেক্ষিতে প্রিজমের নিম্নলিখিত যে কোনো একটি সংজ্ঞা দেয়া যেতে পারে—

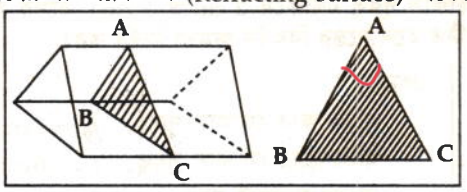
(১) তিনটি পরস্পরচ্ছেদী সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ একটি স্বচ্ছ সমসত্ত্ব মাধ্যমকে প্রিজম বলে।

(২) দুটি পরস্পর হেলানো সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ কোনো স্বচ্ছ সমসত্ত্ব প্রতিসারক মাধ্যমকে প্রিজম বলে।

(৩) তিনটি আয়তক্ষেত্রাকার এবং দুটি ত্রিভুজাকার সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ কোনো স্বচ্ছ সমসত্ত্ব প্রতিসারক মাধ্যমকে প্রিজম বলে। প্রিজমের মোট পাঁচটি তল থাকে।

(৪) একটি স্বচ্ছ বস্তুকে যদি ছয়টি আয়তক্ষেত্রিক তল দ্বারা এমনভাবে সীমাবদ্ধ করা হয় যে, যেকোনো দুই জোড়া বিপরীত তল সমান্তরাল, কিন্তু অপর দুটি তল সমান্তরাল না হয়ে পরস্পর আনত অবস্থায় থাকে, তা হলে তাকে প্রিজম বলে।

প্রিজমের যে তল দিয়ে আলোক রশ্মি প্রবেশ করে এবং যে তল দিয়ে আলোক রশ্মি বের হয়ে যায় তাদেরকে প্রিজমের **প্রতিসরণ তল** (Refracting surface) বলে। প্রতিসরণ তলদ্বয় যে রেখায় ছেদ করে তাকে **প্রিজমের শীর্ষ** (edge) বলে এবং তাদের মধ্যবর্তী কোণকে **প্রিজম কোণ** (Angle of the prism) বা **প্রতিসরণ কোণ** (Refracting angle) বলে। প্রিজম কোণের বিপরীত তলকে **প্রিজমের ভূমি** (Base) বলে। প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণ তলদ্বয়ের সাথে লম্ব হয় এমন যেকোনো একটি কল্পিত সমতলকে **প্রিজমের ছেদ** (Section) বলে।

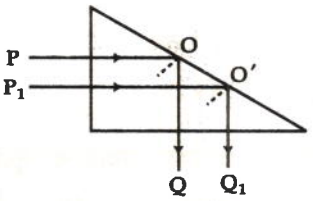


চিত্র ৬·৩৮

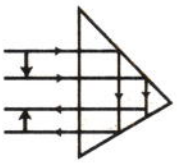
৬·৩৮নং চিত্রে AB এবং AC প্রিজমের প্রতিসরণ তল, ∠A প্রিজম কোণ, BC প্রিজমের ভূমি এবং ABC প্রিজমের ছেদ।

পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম (Total reflecting prism)

মসৃণ তলবিশিষ্ট স্বচ্ছ কাচের সমদ্বিবাহু সমকোণী প্রিজমের মধ্য দিয়ে আলোর প্রতিফলন ঘটে [চিত্র ৬·৩৮(ক)]। তাই এ ধরনের প্রিজমকে পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম বলে।



চিত্র ৬·৩৮(ক)


চিত্র ৬·৩৮(খ)

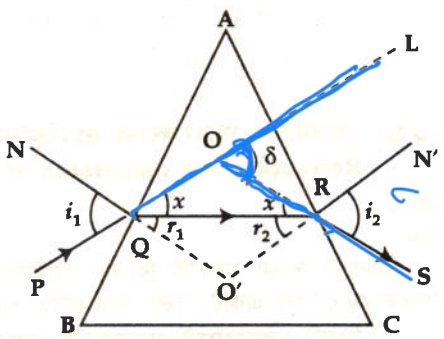
জানার বিষয় : পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম ব্যবহার করে অবশীর্ষ প্রতিবিম্বকে সমশীর্ষ করা যায় বলে এভাবে ব্যবহৃত প্রিজমকে সমশীর্ষকারী প্রিজম বলে [চিত্র ৬·৩৮(খ)]।

RMDAC

৬·১৬·১ প্রিজমের মধ্য দিয়ে আলোকের প্রতিসরণ
Refraction of light through prism

মনে করি, ABC একটি প্রিজমের প্রধান ছেদ। AB এবং AC প্রতিসরণ তল, ∠A প্রিজম কোণ এবং BC প্রিজমের ভূমি [চিত্র ৬·৩৯]।

মনে করি PQ কোনো আপতিত রশ্মি বায়ু হতে প্রিজমের AB তলের Q বিন্দুতে তির্যকভাবে আপতিত হলো। এক্ষেত্রে আলোক রশ্মি লঘুতর মাধ্যম হতে ঘনতর মাধ্যমে প্রবেশ করার ফলে প্রতিসৃত রশ্মি Q বিন্দুতে AB তলের ওপর অঙ্কিত অভিলম্ব NQO'-এর অভিমুখে সরে গিয়ে QR পথে প্রতিসৃত হবে। এর পর ওই রশ্মি AC তলের R বিন্দুতে আপতিত হবে এবং আবার বায়ু মাধ্যমে RS পথে নির্গত হবে। তা হলে আবার রশ্মিটির প্রতিসরণ ঘটবে এবং কাচ হতে বায়ুতে যাবার ফলে প্রতিসৃত রশ্মি AC তলের R বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব N'R হতে দূরে সরে যাবে। এখানে PQRS আলোক রশ্মির পথ নির্দেশ করে। যদি আলোকের পথে প্রিজমটি না থাকত তা হলে আপতিত রশ্মি PQ সোজাপথে চলে যেত। প্রিজমের উপস্থিতির ফলে আলোক রশ্মির পথ পরিবর্তিত হয়েছে অর্থাৎ আলোক রশ্মির বিচ্যুতি ঘটেছে। এখন আপতিত রশ্মি PQ-কে সামনের দিকে L পর্যন্ত এবং নির্গত রশ্মি RS-কে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে এরা O বিন্দুতে মিলিত হবে। এখানে ওই রশ্মির জন্য ∠SOL বিচ্যুতি কোণ নির্দেশ করে। এটিকে δ বা D দ্বারা সূচিত করা হয়।



চিত্র ৬·৩৯

$$\therefore \quad \angle SOL = \delta \text{ বা } D \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.51)$$

বিচ্যুতি কোণের সংজ্ঞা : প্রিজমে আপতিত রশ্মিকে সামনের দিকে এবং নির্গত রশ্মিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে এদের অন্তর্ভুক্ত কোণকে বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি বলে। এক কথায় বলা যায়, আপতিত রশ্মি এবং নির্গত রশ্মির অন্তর্ভুক্ত কোণকে বিচ্যুতি কোণ বলে। একে δ বা D দ্বারা সূচিত করা হয়।

অঙ্কন : ধরি N′R-কে পিছনের দিকে বর্ধিত করায় তা NQO′-এর সাথে O′ বিন্দুতে মিলিত হলো।

বিচ্যুতির হিসাব : মনে করি $\angle PQN = i_1$, $\angle O'QR = r_1$, $\angle SRN' = i_2$ এবং $\angle O'RQ = r_2$।

তা হলে মোট বিচ্যুতি, δ = Q বিন্দুতে বিচ্যুতি + R বিন্দুতে বিচ্যুতি

বা, $\delta = x + x' = (i_1 - r_1) + (i_2 - r_2)$

বা, $\delta = (i_1 + i_2) - (r_1 + r_2)$ ... ... (6.52)

এখন, O′QR ত্রিভুজে, $\angle O' + \angle r_1 + \angle r_2$ = দুই সমকোণ ... (6.53)

পুনরায় AQO′R চতুর্ভুজে, $\angle AQO' = \angle ARO'$ = এক সমকোণ

$\therefore$ $\angle A + \angle O'$ = দুই সমকোণ ... ... (6.54)

$\therefore$ সমীকরণ (6.52) এবং (6.53) হতে আমরা পাই,

$\angle A + \angle O' = \angle O' + \angle r_1 + \angle r_2$

$\therefore$ $\boxed{\angle A = \angle r_1 + \angle r_2}$ ... ... (6.55)

এখন সমীকরণ (6.52)-এ $(r_1 + r_2)$-এর মান বসিয়ে আমরা পাই,

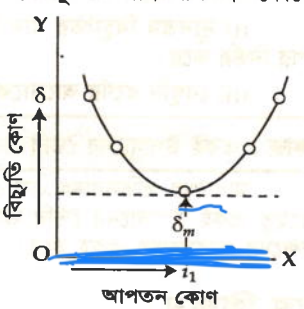
বিচ্যুতি, $\boxed{\delta = \angle i_1 + \angle i_2 - \angle A}$ ... (6.56)

এটিই হলো প্রিজমের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মির বিচ্যুতির পরিমাণ নির্দেশক রাশিমালা।

অতএব, প্রথম আপতন কোণ, দ্বিতীয় প্রতিসরণ কোণ এবং প্রিজম কোণের মান জেনে প্রিজমের মধ্য দিয়ে অতিক্রমশীল রশ্মির বিচ্যুতি নির্ণয় করা যায়।

ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ, δ_m (Angle of minimum deviation, δ_m)

আমরা জানি, কোনো একটি প্রিজমের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মি গমন করলে প্রতিসরণজনিত কারণে তার বিচ্যুতি ঘটে এবং আপতিত ও নির্গত রশ্মির মধ্যবর্তী কোণই বিচ্যুতির পরিমাণ নির্দেশ করে। এই বিচ্যুতির মান আপতন কোণের ওপর নির্ভর করে। নিম্নমান হতে শুরু করে আপতন কোণের মান ক্রমাগত বাড়াতে থাকলে বিচ্যুতির মান কমতে থাকে এবং আপতন কোণের এক নির্দিষ্ট মানের জন্য বিচ্যুতি সর্বাপেক্ষা কম হয় [চিত্র ৬·৪০]। এর পর আপতন কোণ বাড়ালে বিচ্যুতি বাড়তে থাকে। **বিচ্যুতির এ সর্বনিম্ন মানকে ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ বলে** এবং একে δ_m বা D_m দ্বারা ব্যক্ত করা হয়।



চিত্র ৬·৪০

সংজ্ঞা : প্রিজমে আপতিত রশ্মির আপতন কোণের একটি নির্দিষ্ট মানের জন্য বিচ্যুতি কোণের মান সর্বনিম্ন হয়। বিচ্যুতি কোণের এই সর্বনিম্ন মানকেই ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ বলে।

প্রিজমের যে অবস্থানে ন্যূনতম বিচ্যুতি হয়, সেই অবস্থানকে প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতির অবস্থান (Position of minimum deviation) বলে।

আপতন কোণ i_1-কে X-অক্ষে এবং বিচ্যুতি কোণ δ-কে Y-অক্ষে স্থাপন করে একটি লেখচিত্র অঙ্কন করলে যে আপতন কোণের জন্য বিচ্যুতি কোণের মান সবচেয়ে কম, ওই বিচ্যুতি কোণই ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ। চিত্র ৬·৪০-এ δ_m ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ।

পরীক্ষালব্ধ ফলাফল হতে দেখা যায় যে, ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে $i_1 = i_2$ ও $r_1 = r_2$। কাজেই ন্যূনতম বিচ্যুতিতে আলোক রশ্মি নিম্নের কয়েকটি শর্ত মেনে চলবে।

ন্যূনতম বিচ্যুতির শর্ত (Conditions for minimum deviation)

ন্যূনতম বিচ্যুতির তিনটি শর্ত আছে, যথা—

(১) ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে, $\boxed{\angle i_1 = \angle i_2 = \angle \frac{A + \delta_m}{2}}$ হবে ... ... (6.57)

(২) ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে, $\boxed{\angle r_1 = \angle r_2 = \angle \frac{A}{2}}$ হবে ... ... (6.58)

(৩) ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে আলোক রশ্মি প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসমভাবে (symmetrically) গমন করে অর্থাৎ প্রিজমের শীর্ষ হতে প্রথম ও দ্বিতীয় প্রতিসরণ পৃষ্ঠে আলোক রশ্মির আপতন বিন্দুর দূরত্ব সমান হবে [চিত্র ৬·৩৪ AQ = AR]। এ অবস্থায় প্রতিসৃত রশ্মি সমদ্বিবাহু বা সমবাহু প্রিজমের ভূমির সমান্তরাল হবে।

৬·১৭ প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক এবং ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণের মধ্যে সম্পর্ক
Relation between the refractive index of the material of the prism and angle of minimum deviation

মনে করি, চারপাশের মাধ্যমের সাপেক্ষে প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক = μ

$\therefore$ আমরা পাই, $\mu = \dfrac{\sin i_1}{\sin r_1} = \dfrac{\sin i_2}{\sin r_2}$ ... ... (6.59)

আমরা জানি, $\delta = i_1 + i_2 - A$ এবং $A = r_1 + r_2$

কিন্তু ন্যূনতম বিচ্যুতিতে আলোক রশ্মি প্রিজমের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করলে, $i_1 = i_2$ এবং $r_1 = r_2$

$\therefore \quad \delta_m = i_1 + i_2 - A = 2i_1 - A$

$\therefore \quad 2i_1 = A + \delta_m$

বা, $i_1 = \dfrac{A + \delta_m}{2}$ এবং $A = r_1 + r_2 = 2r_1$

$\therefore \quad r_1 = \dfrac{A}{2}$

এখন সমীকরণ (6.59)-এ i_1 এবং r_1-এর মান বসিয়ে আমরা পাই,

$$\mu = \frac{\sin\dfrac{A + \delta_m}{2}}{\sin\dfrac{A}{2}} \quad \text{... (6.60)}$$

উপরের সমীকরণ প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক এবং ন্যূনতম বিচ্যুতির মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করে।

কোনো প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতি 36° বলতে বুঝায় প্রিজমের আপতিত আলোক রশ্মির আপতন কোণের একটি নির্দিষ্ট মানের জন্য বিচ্যুতি কোণের সর্বনিম্ন মান 36° হয়। 36° কে ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণও বলে।

এখানে উল্লেখ করা যায় যে,

(i) ন্যূনতম বিচ্যুতির মান প্রিজমের উপাদান, চারপার্শ্বস্থ মাধ্যম, প্রিজমের কোণ ও আপতিত আলোকের বর্ণের ওপর নির্ভর করে।

(ii) বেগুনি বর্ণের আলোকের চেয়ে লাল বর্ণের আলোকের জন্য ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ কম।

কাজ : একই উপাদানের তৈরি একটি ছোট প্রিজম ও একটি বড় প্রিজম উভয়ের প্রতিসরাঙ্ক সমান হবে কী ?

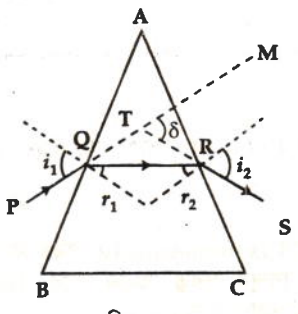
মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক এক জোড়া নির্দিষ্ট মাধ্যম ও একই বর্ণের আলোর ওপর নির্ভরশীল। তাই প্রিজম দুটি যেহেতু একই উপাদানের তৈরি তাই প্রিজম ছোট বা বড় এর ওপর প্রতিসরাঙ্ক নির্ভর করে না। এক্ষেত্রে তাই উভয় প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক একই হবে।

সরু প্রিজম
Thin prism

যে প্রিজমের প্রতিসারক কোণ ক্ষুদ্র (10° এর বেশি নয়) তাকে সরু প্রিজম বলে।

সরু প্রিজম কর্তৃক সৃষ্ট বিচ্যুতি (Deviation produced by thin prism)

ধরা যাক, ABC একটি সরু প্রিজম [চিত্র ৬·৪১]। PQ রশ্মি AB প্রতিসারক তলের ওপর প্রায় অভিলম্বভাবে আপতিত হয়েছে। প্রায় অভিলম্ব অপতনের জন্য,



চিত্র ৬·৪১

$i_1 = 0 \quad \therefore \quad i_1 \simeq 0$

যদি μ প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক হয় তবে,

$\mu = \dfrac{\sin i_1}{\sin r_1} = \dfrac{i_1}{r_1}$ বা, $i_1 = \mu r_1$

এবং $\dfrac{\sin i_2}{\sin r_2} = \dfrac{i_2}{r_2}$ বা, $i_2 = \mu r_2$

সুতরাং রশ্মির বিচ্যুতি,

$$\begin{aligned}\delta &= i_1 + i_2 - A = \mu r_1 + \mu r_2 - A = \mu(r_1 + r_2) - A \\ &= \mu A - A \qquad [\because r_1 + r_2 = A] \\ &= (\mu - 1)A\end{aligned}$$

পুনরায় যদি PQ রশ্মি AB তলে অভিলম্বভাবে আপতিত হয়, তবে

$i_1 = i_2 = 0$ বা, $A = r_2$

সুতরাং রশ্মির বিচ্যুতি,

$\delta = i_1 + i_2 - A = \mu r_2 - A = \mu A - A = (\mu - 1)A$

সুতরাং, অভিলম্ব এবং প্রায় অভিলম্ব আপতনের জন্য সরু প্রিজম বিচ্যুতি,

$$\delta = (\mu - 1)A \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.61)$$

সমীকরণ (6.61) থেকে দেখা যায় যে **অভিলম্ব বা প্রায় অভিলম্ব আপতনের জন্য সরু প্রিজমে রশ্মির বিচ্যুতি প্রিজমের প্রতিসারক কোণ এবং উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের ওপর নির্ভর করে। সুতরাং, যদি আপতন কোণ ছোট হয় তবে সরু প্রিজমে রশ্মির বিচ্যুতি স্থির থাকে।**

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৯

১। একটি সরু প্রিজম একটি আলোক রশ্মিকে 4° কোণে বিচ্যুতি ঘটায়। প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 হলে প্রিজম কোণ কত?

আমরা জানি প্রিজমের বিচ্যুতি কোণ,

$\delta = (\mu - 1)A$

বা, $4° = (1·5 - 1)A$

বা, $0·5A = 4°$

$\therefore A = \frac{4°}{0·5} = 8°$

এখানে,

$\delta = 4°$

$\mu = 1·5$

২। 6° প্রতিসারক কোণ এবং 1·6 প্রতিসরাঙ্ক বিশিষ্ট একটি সরু প্রিজমকে 1·5 প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট অন্য একটি সরু প্রিজমের পাশে রাখা হলো যাতে একটি অপরটির সাথে উল্টোভাবে থাকে। খাড়াভাবে আপতিত একটি রশ্মি প্রথম প্রিজমে আপতিত হয়ে দ্বিতীয় প্রিজমের মধ্য দিয়ে কোনো বিচ্যুতি ছাড়াই নির্গত হয়। দ্বিতীয় প্রিজমের প্রতিসারক কোণ নির্ণয় কর।

আমরা জানি সরু প্রিজমের ক্ষেত্রে বিচ্যুতি কোণ,

$\delta = (\mu - 1)A$

শর্তানুসারে এখানে,

$(\mu_1 - 1)A_1 = (\mu_2 - 1)A_2$

বা, $(1·6 - 1) \times 6° = (1·5 - 1)A_2$

বা, $A_2 = \frac{0·6 \times 6}{0·5} = 7·2°$

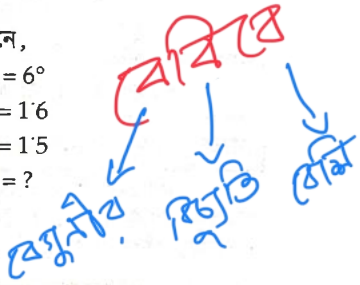
এখানে,

$A_1 = 6°$

$\mu_1 = 1·6$

$\mu_2 = 1·5$

$A_2 = ?$



নিজে কর : লাল আলো এবং বেগুনি আলোর জন্য প্রতিসরাঙ্কের মানের কোনো তারতম্য হবে কী ?

মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ওপর নির্ভরশীল। তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মান বেশি হলে প্রতিসরাঙ্কের মান কমে যায়। আবার তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মান কমে গেলে প্রতিসরাঙ্কের মান বেড়ে যায়। তাই লাল আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি হওয়ায় এই আলোর জন্য মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক কম হবে। অন্যদিকে বেগুনি আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কম হওয়ায় বেগুনি আলোর জন্য মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বেশি হবে।

জানা দরকার : যদি প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক অপেক্ষা কম হয়, তবে প্রিজম থেকে নির্গত আলোক রশ্মি ভূমির দিকে না বেঁকে শীর্ষ কোণের দিকে বেঁকে যাবে।

গাণিতিক উদাহরণ ৬.১০

১। 1·5 প্রতিসরাঙ্কের কোনো কাচ প্রিজমের এক পৃষ্ঠের ওপর আলোক রশ্মি লম্বভাবে আপতিত হয় এবং প্রিজমের দ্বিতীয় পৃষ্ঠের গা ঘেঁষে নির্গত হয়। প্রিজম কোণ নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$r_1 + r_2 = A \quad \ldots \quad \ldots \quad (i)$

এবং $\mu = \frac{1}{\sin \theta_c} \quad \ldots \quad \ldots \quad (ii)$

এখানে,

$\mu = 1·5$

$r_2 = \theta_c$

$i_1 = 0°$

সমীকরণ (ii) থেকে পাই, $1.5 = \frac{1}{\sin\theta_c}$

$\therefore \sin\theta_c = \frac{1}{1.5}$

$\therefore \theta_c = 41.81° = r_2$

এখন, $i_1 = 0$

$\therefore r_1 = 0$

সমীকরণ (i) থেকে পাই,

$0 + 41.81° = A$

$\therefore A = 41.81°$

২। একটি প্রিজমকে ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানে স্থাপন করে আপতন কোণের মান 40° পাওয়া যায়। প্রিজমটির উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1.5 হলে প্রিজম কোণ কত ? [য. বো. ২০০৪]

আমরা জানি,

$$\mu = \frac{\sin\frac{A+\delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

এখানে,

$i_1 = i_2 = 40°$

$\mu = 1.5$

$A = ?$

বা, $1.5 = \frac{\sin\frac{A + i_1 + i_2 - A}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$

বা, $1.5 = \frac{\sin\frac{i_1 + i_2}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$ [ন্যূনতম বিচ্যুতি $\delta_m = i_1 + i_2 - A$ এবং $i_1 = i_2$]

বা, $1.5 = \frac{\sin i_1}{\sin\frac{A}{2}}$

বা, $\sin\frac{A}{2} = \frac{\sin 40°}{1.5} = \frac{0.6428}{1.5} = 0.4285$

বা, $\frac{A}{2} = \sin^{-1} 0.4285 = 25.37°$

$\therefore A = 2 \times 25.37° = 50.74° = 50°44'$

৩। একটি প্রিজমে কোনো একটি রশ্মির নির্গমন কোণ প্রিজম কোণের সমান কিন্তু ওই তলের আপতন কোণের দ্বিগুণ। প্রিজম উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{3}$ হলে দেখাও যে, প্রিজম কোণ 60°। [কু. বো. ২০০৪]

আমরা জানি, আলোক রশ্মিটি কাচ থেকে বায়ুতে গেলে,

$$_g\mu_a = \frac{\sin i}{\sin r}$$

$$\therefore \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sin\frac{A}{2}}{\sin A}$$

$$= \frac{\sin\frac{A}{2}}{2\sin\frac{A}{2}\cos\frac{A}{2}}$$

এখানে,

নির্গমন কোণ, $i_2 = A = r$

আপতন কোণ, $i_1 = \frac{r_2}{2} = \frac{A}{2} = i$

$_a\mu_g = \sqrt{3}$

$\therefore {}_g\mu_a = \frac{1}{\sqrt{3}}$

$A = ?$

$\therefore \cos\frac{A}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$

$\therefore \frac{A}{2} = 30°$

$\therefore A = 60°$ (প্রমাণিত)

৪। প্রতিসারক কোণ 60° এবং 1·6 প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট একটি কাচের প্রিজমকে পানিতে ($_a\mu_w = 1·33$) নিমজ্জিত করলে, এর বিচ্যুতি কোণ কত পাওয়া যাবে ?

পানিতে নিমজ্জিত করলে ধরা যাক, ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ = δ_m

আমরা জানি,

$$_a\mu_g = \frac{\sin\frac{A+\delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

বা, $1·2 = \dfrac{\sin\frac{60°+\delta_m}{2}}{\sin\frac{60°}{2}}$

বা, $1·2 \times \sin 30° = \sin\left(\frac{60°+\delta_m}{2}\right)$

বা, $\sin\left(\frac{60°+\delta_m}{2}\right) = 1·2 \times \frac{1}{2} = 0·6 = \sin 36·87°$

বা, $\frac{60°+\delta_m}{2} = 36·87°$

বা, $\delta_m = 36·87° \times 2 - 60° = 73·74° - 60° = 13·74°$

এখানে,

$A = 60°$

$_a\mu_g = 1·6$

$_a\mu_w = 1·33$

$\therefore \; _a\mu_g = \frac{_a\mu_g}{_a\mu_w} = \frac{1·6}{1·33} = 1·2$

৫। একটি প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60° এবং এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·48। ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ নির্ণয় কর। ন্যূনতম বিচ্যুতির অবস্থায় আপতন কোণ কত ? [সি. বো. ২০১০; ব. বো. ২০০৯; চ. বো. ২০০৪; KUET Admission Test, 2017-18]

আমরা জানি, $\mu = \dfrac{\sin\frac{A+\delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$

বা, $1·48 = \dfrac{\sin\frac{60°+\delta_m}{2}}{\sin\frac{60°}{2}}$

বা, $1·48 = \dfrac{\sin\frac{60°+\delta_m}{2}}{\sin 30°}$

বা, $1·48 = \dfrac{\sin\frac{60°+\delta_m}{2}}{\frac{1}{2}}$

বা, $\sin\frac{60°+\delta_m}{2} = \frac{1·48}{2}$

বা, $\frac{60°+\delta_m}{2} = \sin^{-1}\frac{1·48}{2}$

বা, $\frac{60°+\delta_m}{2} = 47·73$

বা, $60° + \delta_m = 95·46°$

$\therefore \; \delta_m = 35·46°$

এখানে,

$A = 60°$

$\mu = 1·48$

আবার, ন্যূনতম বিচ্যুতির অবস্থায়—

$r_1 = r_2$

$\therefore \quad A = r_1 + r_2 = r_1 + r_1 = 2r_1$

বা, $r_1 = \frac{60°}{2} = 30°$

এখন, $\mu = \frac{\sin i_1}{\sin r_1}$

বা, $1{\cdot}48 = \frac{\sin i_1}{\sin 30°}$

বা, $\sin i_1 = 1{\cdot}48 \times \sin 30° = 1{\cdot}48 \times 0{\cdot}5 = 0{\cdot}74 = \sin 47{\cdot}8°$

$\therefore \quad i_1 = 47{\cdot}8°$

৬। একটি ফ্লিন্ট কাচের তৈরি প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 12°। লাল আলোর জন্য উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·64 হলে বিচ্যুতি কোণ নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$\delta = (\mu - 1)A$

$= (1{\cdot}64 - 1) \times 12°$

$= 0{\cdot}64 \times 12° = 7{\cdot}68°$

এখানে,

$A = 12°$

$\mu = 1{\cdot}64$

$\delta = ?$

৭। একটি কাচ প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60° এবং প্রতিসরাঙ্ক 1·6। যদি প্রথম প্রতিসরাক তলে আপতন কোণ 45° হয় তবে রশ্মির বিচ্যুতি নির্ণয় কর।

প্রথম তলে প্রতিসরণের জন্য,

$\mu = \frac{\sin i_1}{\sin r_1}$

বা, $\text{sir } r_1 = \frac{\sin i_1}{\mu} = \frac{\sin 45°}{1{\cdot}6}$

$= \frac{1}{\sqrt{2} \times 1{\cdot}6} = 8{\cdot}449 = \sin 26{\cdot}23°$

এখানে,

$A = 60°$

$\mu = 1{\cdot}6$

$i_1 = 45°$

$\therefore \quad r_1 = 26{\cdot}23°$

আমরা জানি,

$A = r_1 + r_2 \quad$ বা, $r_2 = A - r_1 = 60° - 26{\cdot}23° = 33{\cdot}77°$

দ্বিতীয় তলের প্রতিসরণের জন্য,

$\mu = \frac{\sin i_2}{\sin r_2} \quad$ বা, $1{\cdot}6 = \frac{\sin i_2}{\sin 33{\cdot}77°}$

বা, $\sin i_2 = 1{\cdot}6 \times \sin 33{\cdot}77° = 1{\cdot}6 \times 0{\cdot}5559 = 0{\cdot}8894 = \sin 62{\cdot}8°$

$\therefore \quad i_2 = 62{\cdot}8°$

অতএব, বিচ্যুতি কোণ, $\delta = i_1 + i_2 - A$

$= 45° + 62{\cdot}8° - 60 = 47{\cdot}8°$

৮। একটি ফাঁপা সমবাহু প্রিজম একটি বিশেষ তরল দ্বারা পূর্ণ। যদি আলোক রশ্মির প্রিজম 60° প্রতিসরণ কোণের জন্য নূন্যতম বিচ্যুতি কোণ 30° হয় তবে তরলের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$\mu = \frac{\sin \frac{A + \delta_m}{2}}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{60° + 30°}{2}}{\sin \frac{60°}{2}}$

$= \frac{\sin 45°}{\sin 30°} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{2}{1} = \sqrt{2} = 1{\cdot}414$

এখানে,

$A = 60°$

$\delta_m = 1{\cdot}6$

$\mu = ?$

কাজ : লেন্স এবং প্রিজমের আলোর প্রতিসরণ তুলনা কর।

লেন্সের মধ্য দিয়ে একগুচ্ছ আলোকরশ্মি গমনকালে কোথাও মিলিত হবে না (অবতল লেন্সে) অথবা কোনো কিছু থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হয় (অবতল লেন্সে)। অপর পক্ষে, প্রিজমের মধ্য দিয়ে সাদা আলোক রশ্মি প্রতিসরণের ফলে সাতটি মূল বর্ণের একটি সজ্জা পাওয়া যায় যাকে বর্ণালি বলে। বিচ্ছুরিত আলোক রশ্মিসমূহ প্রত্যেকেই একবর্ণী।

৬·১৮ আলোর বিচ্ছুরণ
Dispersion of light

হীরা, মূল্যবান রত্ন, স্ফটিক ইত্যাদির মধ্য দিয়ে আলো প্রবেশ করলে তা বিভিন্ন উজ্জ্বল বর্ণের সৃষ্টি করে, এই অভিজ্ঞতা মানুষের প্রাচীনকাল থেকেই ছিল। বিভিন্ন উজ্জ্বল বর্ণ সৃষ্টির ক্ষমতার ওপর নির্ভর করেই রত্নরাজির মূল্য কম-বেশি হতো। কিন্তু সাধারণ আলো প্রবেশে কেন উজ্জ্বল বর্ণের আলো সৃষ্টি হয় তার ব্যাখ্যা কারো জানা ছিল না। 1666 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত বিজ্ঞানী স্যার আইজ্যাক নিউটন পরীক্ষার সাহায্যে প্রথম প্রমাণ করেন যে, **সাদা আলোর প্রকৃতি যৌগিক।**

সূর্যের সাদা রশ্মি কাচ প্রিজমের মধ্য দিয়ে গমন করলে প্রতিসৃত রশ্মি সাতটি ভিন্ন বর্ণে বিচ্ছুরিত হবার কারণ কী ? কেনই বা রশ্মিগুলো প্রিজমের দিকে বেঁকে যায় ? কাচের মতো বিচ্ছুরক মাধ্যমে বিভিন্ন বর্ণের আলোকরশ্মির গতিবেগ বিভিন্ন। লাল আলোর গতিবেগ সর্বাপেক্ষা বেশি এবং বেগুনি বর্ণের সর্বাপেক্ষা কম। বিভিন্ন গতিবেগের ফলে প্রিজমের বেধ অতিক্রম করতে লাল, নীল প্রভৃতি আলোকরশ্মি বিভিন্ন সময় নেয় এবং পরস্পর হতে পৃথক হয়ে পড়ে। শূন্য মাধ্যমে অথবা বায়ুতে বিভিন্ন বর্ণের আলোকরশ্মির গতিবেগ সমান বলে শূন্য মাধ্যম অথবা বায়ু মাধ্যম দিয়ে যাবার সময় সাদা আলোর কোনো বিচ্ছুরণ হয় না। সাদা রঙের আলোর এই সাতটি রঙে বিশ্লিষ্ট হওয়ার প্রক্রিয়াকে বিচ্ছুরণ বলে। প্রিজম হতে নির্গত রশ্মিকে পর্দার ওপর ফেললে সাতটি রঙের এক মনোরম পট্টি (Band) দেখা যায়। এই রঙিন পট্টির নাম বর্ণালি (Spectrum)। সুতরাং, বিচ্ছুরণ বর্ণালির নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়।

সংজ্ঞা : সাদা আলোক রশ্মি প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণের ফলে সাতটি মূল বর্ণের আলোকে বিভক্ত হওয়াকে আলোর বিচ্ছুরণ বলে।

সাধারণভাবে বলা যায় যে, **কোনো যৌগিক আলোক রশ্মির বিভিন্ন বর্ণে বিভক্ত হওয়াকে বিচ্ছুরণ বলে।**

বিচ্ছুরণের ফলে মূল বর্ণসমূহের যে সজ্জা পাওয়া যায় তাকে বর্ণালি বলে।

বিচ্ছুরক মাধ্যম : যে মাধ্যম এ ধরনের বিচ্ছুরণ ঘটায় তাকে বিচ্ছুরক মাধ্যম (Dispersive medium) বলে।

সাদা আলোক বিশ্লিষ্ট হলে যে সাতটি বর্ণ পাওয়া যায় এদের প্রত্যেকটির একটিমাত্র তরঙ্গদৈর্ঘ্য থাকে, তাই প্রত্যেকটিকে একবর্ণী আলোক বলে।

অর্থাৎ **যে আলোক রশ্মির একটিমাত্র তরঙ্গদৈর্ঘ্য থাকে তাকে একবর্ণী আলো (monochromatic light) বলে।**

আলো যখন কোনো মাধ্যমের মধ্য দিয়ে অগ্রসর হয় তখন পদার্থের ইলেকট্রন দ্বারা উক্ত বিকিরণ শোষিত হয়। ফলে ওই সকল ইলেকট্রন অতিরিক্ত শক্তির কারণে নতুনভাবে ছন্দিত গতিসম্পন্ন হয় এবং অণু-অণু সংঘর্ষ কিংবা পুনরায় বিকিরণের মাধ্যমে এই শক্তি হ্রাস পায়। সুতরাং ছন্দিত গতিসম্পন্ন ইলেকট্রন শোষিত বিকিরণ পুনরায় স্পেসে বিকিরণ করতে পারে। **এই প্রক্রিয়াকে বিকিরণের বিক্ষেপণ বলে।**

সাদা আলোক বিশ্লিষ্ট হলে যে সাতটি বর্ণ পাওয়া যায় ওই বর্ণগুলো যথাক্রমে **বেগুনি** (Violet), **নীল** (Indigo), **আসমানি** (Blue), **সবুজ** (Green), **হলুদ** (Yellow), **কমলা** (Orange) এবং **লাল** (Red)। এই বর্ণগুলোর এক প্রান্তে থাকে **লাল** এবং অপর প্রান্তে থাকে **বেগুনি**। লাল এবং বেগুনি বর্ণের মধ্যে থাকে বাকি পাঁচটি বর্ণ। বর্ণালির বর্ণ সজ্জাকে সহজে মনে রাখার জন্য বর্ণগুলোর নামের বাংলা প্রথম অক্ষর নিয়ে **বেনীআসহকলা** পদ গঠন করা হয়েছে। ইংরেজিতে অনুরূপ পদ 'VIBGYOR'।

[DAT: 17-18]

এই সাতটি বর্ণকে বিশুদ্ধ বর্ণ বলা হয়। বর্ণালির সাতটি বর্ণের তিনটি বিশেষ বর্ণকে উপযুক্ত পরিমাণে মিশিয়ে অন্য সব বর্ণই সৃষ্টি করা সম্ভব। এই বর্ণ তিনটি হলো **লাল, সবুজ ও নীল। এদেরকে প্রাথমিক বর্ণ বলে।** যেমন লাল ও সবুজ বর্ণের মিশ্রণে হলুদ বর্ণ পাওয়া যায়। আবার সবুজ, নীল ও লাল বর্ণের মিশ্রণে সাদা বর্ণ সৃষ্টি হয়। সাদা বর্ণ সৃষ্টির জন্য তিনটি বর্ণের মিশ্রণ জরুরি নয়; দুটি বর্ণ মিশিয়েও সাদা বর্ণ তৈরি করা যায়। যে দুটি বর্ণের মিশ্রণে সাদা বর্ণ তৈরি করা হয়, তাদেরকে পরিপূরক (complementary) বর্ণ বলে। যেমন হলুদ ও নীল বা সবুজ ও ম্যাজেন্টা মিশিয়ে সাদা বর্ণ সৃষ্টি হয়। সুতরাং হলুদ ও নীল বা সবুজ ও ম্যাজেন্টা পরিপূরক বর্ণ।

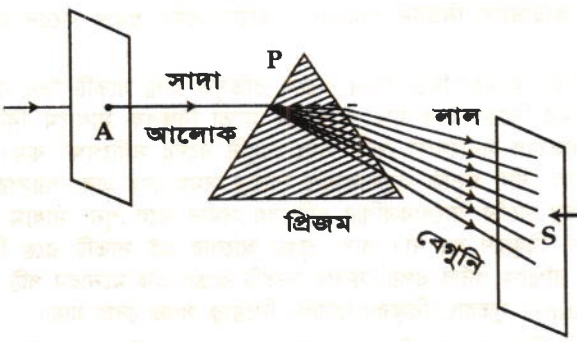
অনুসন্ধানমূলক কাজ : সাদা কাপড় ধোয়ার পর নীল দেওয়া হয় কেন ?

সাদা কাপড় ধোয়ার পর কিছুটা হলদেটে দেখায়। নীল ও হলুদ যেহেতু পরিপূরক বর্ণ, তাই নীল দিলে হলদেটে ভাব কেটে যায় এবং জামাকাপড় সাদা হয়।

জানার বিষয় : I. কাচের মধ্যে লাল আলোর বেগ বেগুনি বর্ণের আলোর বেগের চেয়ে 1·8 গুণ বেশি।
II. মাধ্যমে আলোর বেগ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক $(c \propto \lambda)$।
III. মাধ্যমে প্রতিসরাঙ্ক তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ব্যস্তানুপাতিক $(\mu \propto \frac{1}{\lambda})$।

আলোর বিচ্ছুরণ প্রদর্শন
Demonstration of dispersion of light

(১) মনে করি, অস্বচ্ছ পর্দায় A একটি সরু ছিদ্র, P একটি কাচ প্রিজম এবং প্রিজমের অপর পার্শ্বে কিছু দূরে অবস্থিত S একটি পর্দা [চিত্র ৬·৪২]। সরু ছিদ্র দিয়ে সাদা আলোক রশ্মি প্রিজমে আপতিত হলে প্রতিসৃত রশ্মিটি সাতটি



চিত্র ৬·৪২ [DAT: 23-23] [MAT: 17-18]

মূল বর্ণে বিভক্ত হবে এবং পর্দার ওপরে একটি রঙিন পট্টি পাওয়া যাবে। এই পট্টির এক প্রান্তে থাকে লাল বর্ণ এবং অপর প্রান্তে থাকে বেগুনি বর্ণ। বিভিন্ন বর্ণের সাপেক্ষে প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক বিভিন্ন বলে এই বর্ণালির সৃষ্টি হয়। দেখা যাবে **লাল বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি সর্বাপেক্ষা কম এবং বেগুনি বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি সর্বাপেক্ষা বেশি**। আবার পর্দায় বেগুনি বর্ণের আলোক সর্বাপেক্ষা বেশি এবং লাল বর্ণের আলোক সর্বাপেক্ষা কম স্থান দখল করে থাকে। হলুদ বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি লাল ও বেগুনি বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতির মাঝামাঝি। এজন্য এর বিচ্যুতিকে **গড় বিচ্যুতি** (Mean deviation) এবং **হলুদ বর্ণের রশ্মিকে মধ্য রশ্মি** (Mean ray) বলা হয়। [DAT: 16-17]

(২) মুখে পানি নিয়ে সূর্যকে পিছনে রেখে মুখ দিয়ে আস্তে আস্তে পানি ছিটিয়ে দিলে পানি বিন্দুর মধ্য দিয়ে সূর্য রশ্মির প্রতিসরণের ফলে সাতটি বর্ণবিশিষ্ট একটি ধনুকাকৃতি (arched) বর্ণালি দেখা যাবে।

(৩) সূর্যের আলোক রশ্মি মেঘের গোলাকৃতি পানি বিন্দুর ওপর আপতিত হবার পর প্রতিসরণের ফলে আকাশের গায়ে **রংধনু বা রামধনু** (Rainbow) সৃষ্টি করে। আকাশের যে দিকে সূর্য তার বিপরীতে সাধারণত এই বর্ণালি দেখা যায়।

লাল, নীল, আসমানি ইত্যাদিকে মূল বর্ণ বলা হয়। এর কারণ বর্ণগুলোর যেকোনো একটি প্রিজমের মধ্য দিয়ে গমন করলে এদের কোনো বিচ্ছুরণ ঘটবে না।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : সাদা আলো কাচ প্রিজমে প্রবেশ করলে বর্ণালি সৃষ্টি হয় কেন ?

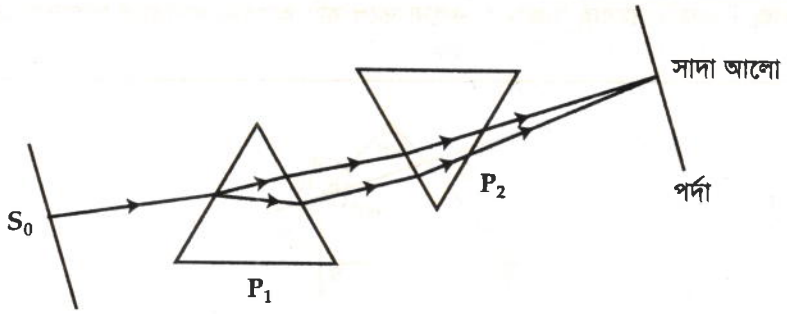
সাদা আলোতে সাতটি বর্ণের আলোক রশ্মি থাকে। প্রতিটি আলোক রশ্মির জন্য প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক ভিন্ন মানের। তাই এরা প্রিজমের মধ্য দিয়ে গমনকালে ভিন্ন ভিন্ন মানে বিচ্যুত হয়। তখন আলোক রশ্মিগুলো ভিন্ন ভিন্ন কোণে আমাদের চোখে প্রবেশ করলে সাতটি বর্ণ আমরা আলাদাভাবে বুঝতে পারি। এ কারণে সাদা আলো প্রিজমে প্রবেশ করলে বর্ণালি সৃষ্টি হয়।

জানা দরকার : শূন্যস্থানে আলোর বিচ্ছুরণ হয় কী ?

শূন্যস্থানে আলোর বিচ্ছুরণ হয় না কারণ সব বর্ণের আলো শূন্য স্থানে একই বেগে চলে।

পরীক্ষণ : বর্ণালির বিভিন্ন বর্ণকে সঠিক অনুপাতে মিশালে পুনরায় সাদা আলো পাওয়া যায়।

পরীক্ষণটি করার জন্য প্রথম প্রিজম P_1-এর মতো ঠিক একই রকম অপর একটি প্রিজম P_2 নিতে হবে। একে উল্টাভাবে P_1 প্রিজমের পিছনে এমনভাবে রাখা হলো যাতে উভয় প্রিজমের প্রতিসারক ধারগুলো এবং S রেখাছিদ্র সমান্তরাল



চিত্র ৬·৪৩

হয় [চিত্র ৬·৪৩]। দেখা যায় যে, সাদা আলো প্রথম প্রিজম দ্বারা বিভিন্ন বর্ণে বিশ্লিষ্ট হওয়ার পর দ্বিতীয় প্রিজম কর্তৃক পুনর্যোজিত হয়। দ্বিতীয় প্রিজম হতে নির্গত হবার পর রশ্মিগুলো পর্দার ওপর একটি সাদা পট্টি গঠন করে।

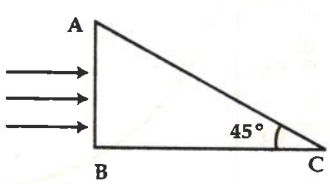
কাজ : উড্ডীয়মান উড়োজাহাজের ছায়া মাটিতে পড়ে না কেন ? ব্যাখ্যা কর।

আমরা জানি, উড্ডীয়মান উড়োজাহাজ মেঘের ওপর দিয়ে চলাচল করে। ফলে ছায়া ভূমিতে পড়ার পূর্বেই তা মেঘের ওপর পড়ে যা মেঘ ভেদ করে আর মাটিতে আসে না। এজন্যই উড্ডীয়মান উড়োজাহাজের ছায়া মাটিতে পড়ে না।

গাণিতিক উদাহরণ ৬.১১

১। একটি আলোক রশ্মিগুচ্ছে লাল, সবুজ ও নীল তিনটি বর্ণ বিদ্যমান। রশ্মিগুচ্ছটি একটি সমকোণী প্রিজমে আপতিত হলো। লাল, সবুজ ও নীল বর্ণের ক্ষেত্রে প্রিজমটির উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের মান যথাক্রমে 1·39, 1·44 এবং 1·47। প্রিজমটি কোনো বর্ণকে পৃথক করবে কী ?

চিত্র থেকে দেখা যায় যে, বিভিন্ন বর্ণের রশ্মিগুলো অতিভুজের ওপর 45° কোণে আপতিত হবে। সংশ্লিষ্ট সংকট কোণ যদি 45° হয় তবে প্রতিসরাঙ্ক,



$$\mu = \frac{1}{\sin\theta_c} = \frac{1}{\sin 45^\circ} = \sqrt{2} = 1{\cdot}414$$

এখন লাল আলোর ক্ষেত্রে, $\mu_r = 1{\cdot}39 < 1{\cdot}414$

অর্থাৎ লাল আলোর পূর্ণ প্রতিফলনের জন্য আপতন কোণের মান 45° অপেক্ষা বেশি হওয়া উচিৎ। অতএব লাল আলো প্রতিসৃত হয়ে অতিভুজ তল দিয়ে বায়ুতে নির্গত হবে। পক্ষান্তরে সবুজ ও নীল আলোর ক্ষেত্রে মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক > 1·414। সুতরাং এই দুই বর্ণের আলোর পূর্ণ প্রতিফলনের জন্য আপতন কোণের মান 45° অপেক্ষা ছোট। অতএব, ওই দুই বর্ণের আলোর পূর্ণ প্রতিফলন ঘটবে।

অনুধাবনমূলক কাজ : সূর্য ও চন্দ্রের আকারের মধ্যে অনেক পার্থক্য থাকলেও আমাদের চোখে উভয়কেই প্রায় সমান মনে হয় কেন ? ব্যাখ্যা কর।

চোখের রেটিনায় গঠিত প্রতিবিম্বের আকার নির্ভর করে বীক্ষণ কোণের ওপর। বীক্ষণ কোণ বাড়লে বস্তুর আকার বাড়ে, আবার বীক্ষণ কোণ কমলে আকার ছোট হয়। এখন সূর্য ও চন্দ্র আমাদের চোখে প্রায় একই বীক্ষণ কোণ উৎপন্ন করে বিধায় এদেরকে প্রায় সমান বলে মনে হয়।

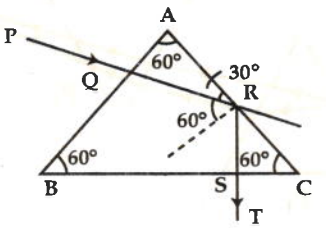
অনুসন্ধানমূলক কাজ : বর্ণালি বীক্ষণে কোন রাশিটি অধিকতর মৌলিক—কম্পাঙ্ক না তরঙ্গদৈর্ঘ্য ?

বর্ণালি বীক্ষণে কম্পাঙ্ক তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা অধিকতর মৌলিক। কারণ একবর্ণী আলো বা বিকিরণের কম্পাঙ্ক বিভিন্ন মাধ্যমে অপরিবর্তিত থাকে।

কাজ : বীক্ষণ যন্ত্র দৃষ্টি সহায়ক যন্ত্র—ব্যাখ্যা কর।

যেসব যন্ত্র কোনো বস্তুকে দেখার জন্য আমাদের চোখকে সহায়তা করে তাদেরকে বীক্ষণ যন্ত্র বলে। যেমন বাইনোকুলার, অণুবীক্ষণ যন্ত্র, দূরবীক্ষণ যন্ত্র ইত্যাদি। সুতরাং, এটি স্পষ্ট যে বীক্ষণ যন্ত্র দৃষ্টি সহায়ক যন্ত্র।

অনুধাবনমূলক কাজ : একটি সমবাহু প্রিজমের কোনো তলে যদি আলোক লম্বভাবে আপতিত হয় তবে কী রশ্মি নির্গত হবে ?

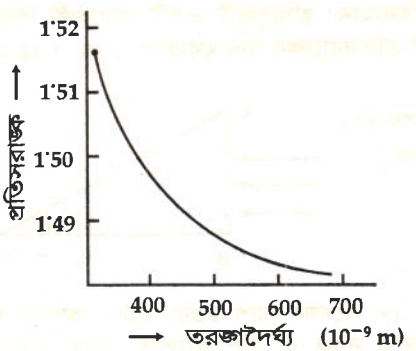


ত্রিভুজটি সমবাহু হওয়ায় ত্রিভুজের দ্বিতীয় তলে কাচের আলোক রশ্মি 60° কোণে আপতিত হবে। সুতরাং আলোকের পূর্ণ প্রতিফলন হবে; কেননা কাচের সংকট কোণ 60° এর কম। তাই কোনো রশ্মি নির্গত হবে না।

৬·১৯ বর্ণালি উৎপত্তির কারণ
Cause of formation of spectrum

প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক পদার্থের প্রকৃতি ছাড়াও আলোকের বর্ণের ওপর নির্ভর করে। বিভিন্ন আলোক বর্ণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিভিন্ন। লাল বর্ণের আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি, প্রায় 8000 Å, তাই এর বিচ্যুতি কম হয়। বেগুনি বর্ণের আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য কম, প্রায় 4000 Å বলে প্রিজমের মধ্য দিয়ে যাবার সময় এর বিচ্যুতি বেশি হয়।

আরও বলা যায় যে, বিভিন্ন বর্ণের আলোকের **প্রতিসরণীয়তা** (Refrangibility) বিভিন্ন। উপরোক্ত ব্যাখ্যাগুলো হতে **আলোকের বিচ্ছুরণ বা বর্ণালি উৎপত্তির কারণ সম্পর্কে আমরা নিম্নলিখিত দুটি সিদ্ধান্তে উপনীত হতে পারি—**



চিত্র ৬·৪৪

(১) বিভিন্ন বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের পার্থক্যভেদে বিভিন্ন হয় বলে বর্ণালি উৎপন্ন হয়।

(২) সাদা আলোকের মধ্যে যে সাতটি মূল বর্ণের আলোক আছে তাদের জন্য মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের বিভিন্নতা হেতু বর্ণালি উৎপন্ন হয়।

চিত্র ৬·৪৪-এ প্রতিসরাঙ্ক বনাম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের লেখচিত্র দেখানো হয়েছে। লেখচিত্র থেকে দেখা যায় যে, যে আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি সে আলোর প্রতিসরাঙ্ক কম, ফলে কম বেঁকে যায়। এ কারণে লাল আলোর প্রতিসরণ কম হয়; পক্ষান্তরে বেগুনি আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কম, তাই প্রতিসরাঙ্ক বেশি। ফলে বেগুনি আলোর প্রতিসরণ বেশি, ফলে বেশি বেঁকে যায়।

জানার বিষয়

I. আলোর বিক্ষেপণ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতিক।

II. বিজ্ঞানী **ওল্যাস্টন** সর্বপ্রথম সৌর বর্ণালির রেখাগুলি লক্ষ করেন।

কাজ : বিপদ সংকেতে সব সময় লাল আলো ব্যবহার করা হয় কেন ?

দৃশ্যমান আলোর সাতটি বর্ণের মধ্যে লাল আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য সর্বাপেক্ষা বেশি। আবার, তরঙ্গের বিক্ষেপণ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতিক বলে বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়ে যাবার পথে অন্যান্য বর্ণের আলোর তুলনায় লাল বর্ণের আলোর বিক্ষেপণ কম হবে। এ কারণে লাল আলো বায়ুমণ্ডলে অধিক দূর পর্যন্ত বিস্তার লাভ করতে পারে। ফলে কোনো বিপজ্জনক স্থানে আসার অনেক আগে থেকেই গাড়ির, জাহাজের বা বিমানের চালক লাল আলো দেখতে পেয়ে বিপদ সম্পর্কে সতর্ক হতে পারে। তাই বিপদ সংকেতে সর্বদা লাল আলো ব্যবহার করা হয়।

নিজে কর : সূর্যোদয় ও সূর্যাস্তের সময় দিগন্ত রেখায় আকাশের রং লাল দেখায় কেন ?

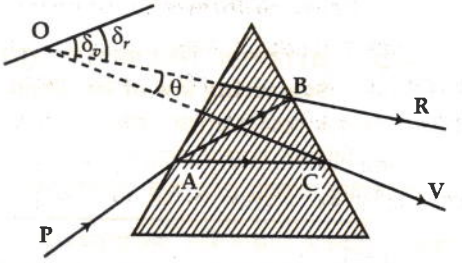
সূর্যোদয় ও সূর্যাস্তের সময় সূর্য দিগন্ত রেখার কাছাকাছি অবস্থান করে এবং এই সময় সূর্যালোককে সর্বাপেক্ষা অধিক দূরত্ব অতিক্রম করে পৃথিবীতে আসতে হয়। এতটা দীর্ঘ পথ অতিক্রমের অবকাশে বায়ুমণ্ডলের অণু ও ধূলিকণা কর্তৃক সূর্যালোক পুনঃপুন বিক্ষেপিত হয়। লাল বর্ণ এবং লাল বর্ণের কাছাকাছি বর্ণ ব্যতীত অন্যান্য বর্ণসমূহ অধিক বিক্ষেপিত হয়ে দৃষ্টি পথ হতে অন্যদিকে চলে যায়। কিন্তু লাল ও তার কাছাকাছি দীর্ঘ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বর্ণসমূহের বিক্ষেপণ কম হওয়ায় এরা পৃথিবীতে চলে আসে। তাই সূর্যোদয় ও সূর্যাস্তের সময় আকাশ লাল দেখায়।

কাজ : ক্রিকেট খেলায় সাধারণত সাদা বল ব্যবহার করা হয় কেন ?

শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে বিভিন্ন বর্ণের আলোক রশ্মির গতিবেগ সমান বলে শূন্য মাধ্যম বা বায়ু মাধ্যম দিয়ে যাওয়ার সময় সাদা আলোর কোনো বিচ্ছুরণ হয় না। ফলে এটি অনেক দূর পর্যন্ত বিস্তার লাভ করতে পারে। তাই এটি সহজে দৃশ্যমান হয়। এজন্য ক্রিকেট খেলায় সাধারণত সাদা বল ব্যবহার করা হয়।

৬·২০ বিচ্ছুরণের পরিমাপ
Magnitude of dispersion

আমরা জানি, সাদা আলোক রশ্মি কাচ প্রিজমের মধ্য দিয়ে গমন করলে প্রতিসরণের ফলে নির্গত রশ্মি সাতটি বর্ণে বিভক্ত হয় এবং এরা প্রিজমের ভূমির দিকে বেঁকে যায়। এই বর্ণসমূহের এক প্রান্তে লাল এবং অপর প্রান্তে বেগুনি বর্ণ থাকে। **প্রান্তস্থ লাল এবং বেগুনি রশ্মির কৌণিক বিচ্যুতির পার্থক্য বিচ্ছুরণের মান নির্দেশ করে। যেকোনো দুটি বর্ণের রশ্মির বিচ্যুতি কোণের পার্থক্যকে কৌণিক বিচ্ছুরণ বলে। সুতরাং, বেগুনি ও লাল বর্ণের রশ্মির বিচ্যুতি কোণের পার্থক্য ওই দুই বর্ণের সাপেক্ষে কৌণিক বিচ্ছুরণ বলে।**



চিত্র ৬·৪৫

মনে করি, δ_r এবং δ_v যথাক্রমে লাল এবং বেগুনি বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি [চিত্র ৬·৪৫] ।

$\therefore$ কৌণিক বিচ্ছুরণ, $\theta = \delta_v - \delta_r$

বা, $\theta = \delta_v - \delta_r$ ... ... (6.62)

এখন পাতলা প্রিজমের ক্ষেত্রে $\delta = A(\mu - 1)$। এখনে A = প্রিজমের প্রতিসরণ কোণ।

$\therefore \quad \theta = A(\mu_v - 1) - A(\mu_r - 1)$

$= A(\mu_v - \mu_r)$ ... ... (6.63)

তবে মধ্য রশ্মির বিচ্যুতিকেই মূল রশ্মির বিচ্যুতি ধরা হয়। বিচ্যুতি এবং বিচ্ছুরণ প্রিজম পদার্থের উপাদান, আপতন কোণ এবং প্রিজম কোণের ওপর নির্ভর করে। প্রিজমটি ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানে স্থাপিত হলে প্রতিটি রশ্মির বিচ্যুতি ন্যূনতম হবে।

৬·২০·১ বিচ্ছুরণ ক্ষমতা
Dispersive power

কোনো একটি স্বচ্ছ মাধ্যম কর্তৃক সৃষ্ট বর্ণালিতে দুই অন্তিম রশ্মির (বা যেকোনো দুটি বর্ণের আলোক রশ্মির) কৌণিক বিচ্যুতির পার্থক্য এবং মধ্য বা গড় রশ্মির কৌণিক বিচ্যুতির অনুপাতকে উক্ত মাধ্যমের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বলে। একে W দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$\therefore$ বিচ্ছুরণ ক্ষমতা, $W = \dfrac{\delta_v - \delta_r}{\delta}$ ... ... (6.64)

এখানে δ_v = বেগুনি বর্ণের বিচ্যুতি, δ_r = লাল বর্ণের বিচ্যুতি এবং δ = মধ্য বা গড় রশ্মির বিচ্যুতি।

অতএব, $W = \dfrac{A(\mu_v - \mu_r)}{A(\mu - 1)} = \dfrac{\mu_v - \mu_r}{\mu - 1}$

গাণিতিক উদাহরণ ৬.১২

১। লাল ও নীল বর্ণের ক্ষেত্রে ক্রাউন কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে $\mu_r = 1.52$ এবং $\mu_v = 1.53$। ওই দুই বর্ণের সাপেক্ষে ক্রাউন কাচের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$W = \frac{\mu_b - \mu_r}{\mu - 1}$$

এখন, $\mu = \frac{\mu_b + \mu_r}{2} = \frac{1.53 + 1.52}{2} = 1.525$

$$\therefore \quad W = \frac{1.53 - 1.52}{1.525 - 1}$$

$$= \frac{0.01}{0.525} = 0.019$$

এখানে,

$\mu_r = 1.52$

$\mu_v = 1.53$

$W = ?$

হিসাব : 12° প্রতিসারক কোণবিশিষ্ট একটি পাতলা প্রিজমে সাদা আলো আপতিত হলো। লাল এবং বেগুনি বর্ণের ক্ষেত্রে কৌণিক বিচ্ছুরণ কত ? লাল বর্ণের জন্য প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_r = 1.64$ এবং বেগুনি বর্ণের জন্য প্রতিসরাঙ্ক $\mu_v = 1.67$।

আমরা জানি, কৌণিক বিচ্ছুরণ,

$$\theta = \delta_v - \delta_r = (\mu_v - \mu_r)\, A$$

$$\therefore \quad \theta = 12° (1.67 - 1.64) = 12° \times 0.03 = 12 \times 60 \times 0.03$$

$$= 21.6 \text{ minute}$$

৬.২১ র‍্যালের বিক্ষেপণ সূত্র
Scattering law of Rayliegh

বিখ্যাত বিজ্ঞানী র‍্যালে বিক্ষিপ্ত আলোর তীব্রতা ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য সম্পর্কিত একটা সূত্র আবিষ্কার করেন। এই সূত্র অনুসারে, বিক্ষিপ্ত আলোর তীব্রতা আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতিক। ফলে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা দীর্ঘ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর চেয়ে ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকে বেশি বিক্ষেপণ করে।

কাজ : পরিষ্কার আকাশ নীল দেখায় কেন ? [কু. বো. ২০১৯]

বায়ুমণ্ডলে বিভিন্ন গ্যাসের অণু কর্তৃক সূর্যালোকের বিক্ষেপণের (scattering) জন্য আকাশ নীল দেখায়। বায়ুমণ্ডলে ভাসমান ধূলিকণাও সূর্যালোককে বিক্ষিপ্ত করতে পারে; সেক্ষেত্রে ধূলিকণার আকার দৃশ্যমান আলোর দীর্ঘতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হওয়া প্রয়োজন। বিক্ষিপ্ত আলোর তীব্রতা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়। ফলে সূর্যালোকের নীল রশ্মিগুলো লাল রশ্মিগুলো অপেক্ষা বেশি বিক্ষিপ্ত হয়। ফলে আকাশের দিকে তাকালে আকাশ নীল দেখায়।

সম্প্রসারিত কাজ : চাঁদের আকাশ কালো দেখায় কেন ?

পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল না থাকলে বিক্ষেপণ হতো না। ফলে আকাশ হতে কোনো আলো আমাদের চোখে পৌঁছাত না। এমন কি তখন দিনের বেলাতেও আকাশকে কালো দেখাত। নভোচারিগণ মহাকাশযানে বায়ুমণ্ডল অতিক্রম করার পর বস্তুত এই অভিজ্ঞতার সম্মুখীন হয়েছেন। চাঁদে কোনো বায়ুমণ্ডল নেই বলে একই কারণে চাঁদের আকাশকে কালো দেখায়।

হিসাব কর : একটি কাচের প্রিজমের প্রতিসরণ কোণ 8° এবং নীল ও লাল বর্ণের আলোর বেলায় প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1.532 ও 1.514। প্রিজম যে কৌণিক বিচ্ছুরণ উৎপন্ন করে তা নির্ণয় কর। প্রিজমের উপাদানের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা কত ?

নীল ও লাল বর্ণের ভেতর কৌণিক বিচ্ছুরণ $(\mu_b - \mu_r)\, A = (1.532 - 1.514)\, 8° = 0.144°$

বিচ্ছুরণ ক্ষমতা, $W = \frac{\mu_b - \mu_r}{\mu - 1}$

এখন, $\mu = \frac{\mu_b + \mu_r}{2} = \frac{1.532 + 1.514}{2}$

$$= 1.523$$

$$\therefore \quad W = \frac{1.532 - 1.514}{1.532 - 1} = \frac{0.018}{0.523} = 0.034$$

গাণিতিক উদাহরণ ৬.১৩

১। বেগুনি ও লাল আলোর জন্য এক প্রকার কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·65 ও 1·57। এই দুই বর্ণের আলোর মধ্যে আলোচ্য কাচের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$W = \frac{\mu_v - \mu_r}{\mu - 1}$$

এখানে, $\mu = \frac{\mu_v + \mu_r}{2} = \frac{1{\cdot}65 + 1{\cdot}57}{2} = 1{\cdot}61$

$$\therefore \quad W = \frac{1{\cdot}65 - 1{\cdot}57}{1{\cdot}61 - 1} = 0{\cdot}13$$

২। একটি ক্রাউন কাচের তৈরি প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 10°, হলুদ ও নীল আলোর জন্য এর প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·51 ও 1·54 হলে কৌণিক বিচ্ছুরণ কত হবে ?

আমরা জানি,

$$\begin{aligned}\delta_b - \delta_y &= (\mu_b - \mu_y)\,A \\ &= (1{\cdot}54 - 1{\cdot}51)\,10° \\ &= 0{\cdot}30°\end{aligned}$$

৩। লাল আলোর জন্য ক্রাউন গ্লাস ও ফ্লিন্ট গ্যাসের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·515 এবং 1·644। আবার বেগুনি আলোর জন্য ক্রাউন ও ফ্লিন্ট গ্লাসের প্রতিরাঙ্ক যথাক্রমে 1·532 এবং 1·6685। চশমার কাচ তৈরির জন্য কোন গ্লাসটি উপযোগী এবং কেন ?

ক্রাউন গ্লাসের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা,

$$W_C = \frac{1{\cdot}532 - 1{\cdot}515}{\left(\frac{1{\cdot}532 + 1{\cdot}515}{2}\right) - 1} = \frac{0{\cdot}017}{0{\cdot}5233} = 0{\cdot}0325$$

এখানে লাল আলোর জন্য,
$\mu_1 = 1{\cdot}532$
$\mu_2 = 1{\cdot}515$

ফ্লিন্ট গ্লাসের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা,

$$W_F = \frac{1{\cdot}685 - 1{\cdot}644}{\left(\frac{1{\cdot}685 + 1{\cdot}644}{2}\right) - 1} = \frac{0{\cdot}041}{0{\cdot}6645} = 0{\cdot}0617$$

এখানে বেগুনি আলোর জন্য,
$\mu_1 = 1{\cdot}685$
$\mu_2 = 1{\cdot}644$

চশমার জন্য, লেন্সের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বর্ণাপেরণ কমের জন্য সর্বনিম্ন হওয়া উচিৎ। অতএব, ক্রাউন গ্লাস চশমার লেন্স তৈরির জন্য অধিক উপযোগী।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : শূন্য মাধ্যমে আলোর বিচ্ছুরণ ঘটে কী?

না; শূন্য মাধ্যমে আলোর বিচ্ছুরণ ঘটে না, কেননা আলোর সব বর্ণের জন্য শূন্য মাধ্যম বেগের মান একই থাকে।

কাজ : মেঘ সাধারণত সাদা দেখায় কেন ? ব্যাখ্যা কর।

র‍্যালের সূত্র অনুসারে বিক্ষেপণের মাত্রা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতিক। বিক্ষেপণ সৃষ্টিকারী কণার আকার আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চেয়ে বড় হলে ওই সূত্র প্রযোজ্য হয় না। মেঘে উপস্থিত জলকণা, ধূলিকণা ইত্যাদি হতে সকল বর্ণের আলোরই প্রায় সমান বিক্ষেপণ হয়, তাই মেঘকে সাধারণত সাদা দেখায়।

বর্ণালি পাঠের প্রয়োজনীয়তা
Necessity for studying spectrum

বর্ণালি পাঠের নানারূপ প্রয়োজনীয়তা আছে। নিম্নে তা উল্লেখ করা হলো—

RMDAC

বর্ণালি বিশ্লেষণ দ্বারা :

(১) বিভিন্ন বর্ণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়।
(২) বিভিন্ন বর্ণের ক্ষেত্রে মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।
(৩) বিভিন্ন ধাতুর বৈশিষ্ট্য নির্ণয় করা যায়।
(৪) কোনো মিশ্রণে উপস্থিত অজ্ঞাত ধাতুর নাম ও প্রকৃতি নির্ণয় করা যায়।
(৫) বর্ণালি বিশ্লেষণ দ্বারা বিভিন্ন মৌলক পদার্থ শনাক্ত করা যায়।
(৬) সূর্য নক্ষত্রের আবহমণ্ডলের গঠন সম্পর্কে ধারণা পাওয়া যায়।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

$s_0 = \mu_1 s_1 + \mu_2 s_2 + \ldots\ldots\ldots + \mu_n s_n = \sum \mu s =$ ধ্রুবক ... ... (1)

$\delta \sum \mu s = 0$ ... ... (2)

$\frac{ds}{dx} = 0$ ... ... (3)

$\sin \phi_1 = \sin \phi_2$ ... ... (4)

$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c_a}{c_b} = {}_a\mu_b$ ... ... (5)

$\sin \theta_C = \frac{1}{{}_w\mu_a} = \frac{\mu_b}{\mu_a}$ ... ... (6)

$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$ ... ... (7)

$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$ ... ... (8)

$\frac{1}{f} = \left(\frac{\mu_2}{\mu_1} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$ ... ... (9)

$P = \pm (\mu - 1)\frac{2}{r}$; অর্থাৎ $P \propto \frac{1}{r}$ ... ... (10)

${}_a\mu_b = \frac{c_a}{c_b}$ ... ... (11)

$m = -\frac{v}{u} = \frac{f}{f - u}$ ... ... (12)

$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ ... ... (13)

$P = \frac{1}{f}$ (ডায়পটার) ... ... (14)

$m = 1 + \frac{D}{f}$ ... ... (15)

$m = \frac{v}{u}\left(1 + \frac{D}{f_e}\right)$ ... ... (16)

$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \ldots\ldots$ ... ... (17)

$P = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots\ldots$ ... ... (18)

$m = \frac{f_0}{f_e}$ ... ... (19)

$m = \frac{\beta}{\alpha}$ ... ... (20)

$L = f_0 + f_e = f_0\left(\frac{m+1}{n}\right)$ ... ... (21)

$m = f_0 + \left(\frac{1}{D} + \frac{1}{f_e}\right)$ ... ... (22)

$L = f_0 + \frac{D \times f_e}{D + f_e}$ ... ... (23)

$\delta = i_1 + i_2 - A$ ... ... (24)

$$A = r_1 + r_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (25)$$

$$\mu = \frac{\sin\frac{A+\delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (26)$$

$$\delta = A(\mu - 1) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (27)$$

$$\theta = \delta_v - \delta_r \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (28)$$

$$\theta = A(\mu_v - \mu_r) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (29)$$

$$W = \frac{\delta_v - \delta_r}{\delta} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (30)$$

বিশ্লেষণাত্মক ও মূল্যায়নধর্মী গাণিতিক সমস্যাবলির সমাধান

১। লেন্স প্রস্তুতকারক কারখানায় সমবক্রতার ব্যাসার্ধের 25 cm ফোকাস দূরত্বের একটি উভোত্তল লেন্স তৈরি করা হলো, যার উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·6। পরে এটিকে 1·6, 1·33 ও 1·4 প্রতিসরাঙ্কের মাধ্যমে আতশী কাচ হিসেবে ব্যবহার করা হলো।

(ক) লেন্সটির বক্রতার ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।

(খ) কোন মাধ্যমে লেন্সটি সর্বাধিক ক্ষমতায় ব্যবহৃত হয়েছিল তার গাণিতিক বিশ্লেষণ কর। [কু. বো. ২০১৯]

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$\frac{1}{25} = (1{\cdot}6 - 1)\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{-r}\right)$$

$$= 0{\cdot}6 \times \frac{2}{r}$$

বা, $r = 0{\cdot}6 \times 2 \times 25 = 30$ cm

এখানে,

$\mu = 1{\cdot}6$

$f = 25$ cm

$r_1 = r_2 = r = ?$

(খ) আবার $P = \frac{1}{f(m)}$

$\mu = 1{\cdot}6$ এর ক্ষেত্রে, $f = 25$ cm

ক্ষমতা, $P_1 = \frac{1}{0{\cdot}25} = +4D$

$\mu = 1{\cdot}33$ হলে

$$\frac{1}{f_2} = (1{\cdot}33 - 1)\left(\frac{1}{30} + \frac{1}{30}\right)$$

$$= 0{\cdot}33 \times \frac{1}{15}$$

বা, $f_2 = \frac{15}{0{\cdot}33} = 45{\cdot}45$ cm

$\therefore \quad P_2 = \frac{1}{0{\cdot}4545} = +2{\cdot}2D$

আবার, $\mu = 1{\cdot}4$ হলে,

$$\frac{1}{f_3} = (1{\cdot}4 - 1)\left(\frac{1}{30} + \frac{1}{30}\right) = 0{\cdot}4 \times \frac{1}{15}$$

$\therefore \quad f_3 = \frac{15}{0{\cdot}4} = 37{\cdot}5$ cm এবং

$P_3 = \frac{1}{0{\cdot}375} = +2{\cdot}67D$

P_1, P_2, P_3 তুলনা করে দেখা যায় যে, 1·6 প্রতিসরাঙ্কের মাধ্যমে ক্ষমতা সর্বাধিক।

২। উদ্ভিদবিজ্ঞান ল্যাবে সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে ব্যবহৃত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 14 cm। ছাত্রগণ একটি ক্ষুদ্র বস্তুকে বড় করে দেখার জন্য শিক্ষক বস্তুটিকে উক্ত সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র হতে স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বের সমান দূরত্বে রাখল এবং অপর পাশ হতে বিবর্ধিত বিম্ব দেখার চেষ্টা করল।

(ক) ল্যাবে ব্যবহৃত সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রটির বিবর্ধন নির্ণয় কর।

(খ) যন্ত্রে বিবর্ধন 2·5 হওয়া কি সম্ভব— গাণিতিকভাবে বক্তব্যটির যথার্থতা বিশ্লেষণ কর।

(ক) সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষেত্রে

$$\text{বিবর্ধন } m = 1+\frac{D}{f} = 1+\frac{25}{14}$$

$$= 1 + 1{\cdot}7857 = 2{\cdot}7857$$

এখানে,

$D = 25\,\text{cm}$

$f = 14\,\text{cm}$

(খ) লেন্সের সমীকরণ থেকে পাই

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

বা, $-\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ [প্রতিবিম্ব অবাস্তব তাই v এর মান ঋণাত্মক]

বা, $\frac{1}{u}=\frac{1}{v}+\frac{1}{f}$

বা, $\frac{v}{u} = 1+\frac{v}{f}$

বিবর্ধন $m=\frac{v}{u} = 1+\frac{v}{f}$

এখানে v = স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্ব = D

$\therefore\ m = 1+\frac{D}{f}$

এখানে ধরে নেওয়া হয়েছে যে, চোখ লেন্সের খুব কাছাকাছি। এখন লেন্স ও চোখের মধ্যবর্তী দূরত্ব d হলে $v = D - d$

$\therefore\ m = 1 + \frac{D-d}{f}$

এই সমীকরণ থেকে দেখা যায় d কমলে m বাড়ে। $d = 0$ হলে m সর্বাধিক হয়। কাজেই বিবর্ধনের জন্য চোখ যতটা সম্ভব লেন্সের নিকটে রাখতে হবে।

উপরের প্রাপ্ত মান $m = 2{\cdot}7857$ কিন্তু বাস্তবে বিবর্ধন এর কমও হতে পারে।

$m = 2{\cdot}5$ হলে d এর মান শূন্য হবে না।

তখন $m = 1 + \frac{D-d}{f}$

বা, $2{\cdot}5 = 1+\frac{25-d}{14}$

বা, $d = 4$ হয়

চোখ হতে 4 cm দূরে লেন্স রাখলে বিবর্ধন 2·5 হবে।

৩। 1·5 প্রতিসরাঙ্কের একটি উত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 0·2 m এবং 0·3 m। বায়ু সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক $\frac{3}{2}$ এবং পানির প্রতিসরাঙ্ক $\frac{4}{3}$।

(ক) বায়ু মাধ্যমে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) পানিতে লেন্সটির ফোকাস দূরত্বের তারতম্য হবে কী ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[দি. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন); য. বো. ২০১৫]

(ক) আমরা জানি,

$$\frac{1}{f_a} = ({}_a\mu_g - 1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$$

$$= (1{\cdot}5-1)\left(\frac{1}{0{\cdot}2}-\frac{1}{-0{\cdot}3}\right)$$

$$= 4{\cdot}167\ \text{m}^{-1}$$

$$\therefore\ f_a = \frac{1}{4{\cdot}167}\,\text{m} = 0{\cdot}24\,\text{m}$$

এখানে,

${}_a\mu_g = 1{\cdot}5$

$r_1 = 0{\cdot}2\,\text{m}$

$r_2 = -0{\cdot}3\,\text{m}$

বায়ুতে ফোকাস দূরত্ব, $f_a = ?$

(খ) পানিতে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব f_w হলে,

$$\frac{1}{f_w} = ({}_w\mu_g - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \left(\frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_w} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \left(\frac{3/2}{4/3} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \left(\frac{1}{8}\right)\left(\frac{1}{0·2} - \frac{1}{-0·3}\right)$$

$$\frac{1}{f_w} = \frac{1}{8} \times \frac{25}{3} = \frac{25}{24}$$

$$\therefore \quad f_w = \frac{24}{25} = 0·96 \text{ m}$$

এখানে,

${}_a\mu_g = \frac{3}{2}$

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

যেহেতু $f_w \neq f_a$ কাজেই পানিতে লেন্সটির ফোকাস দূরত্বের তারতম্য হবে।

৪। চিত্রে ABC একটি কাচ প্রিজমের প্রধান ছেদ। এখানে AB = BC = CA। প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·5। AB প্রতিসারক পৃষ্ঠে আলোক রশ্মির আপতন কোণ 27°।

(ক) প্রিজমটির ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের আলোকে রশ্মিটি AC পৃষ্ঠ দিয়ে নির্গত হবে কি-না ? যথাযথ গাণিতিক বিশ্লেষণসহ মন্তব্য কর।

[ঢা. বো. ২০১৭]

(ক) আমরা জানি,

$$\mu = \frac{\sin\frac{A + \delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

বা, $$1·5 = \frac{\sin\frac{60° + \delta_m}{2}}{\sin\frac{60°}{2}}$$

বা, $$\sin\frac{60° + \delta_m}{2} = 1·5 \times \sin 30° = 0·75$$

বা, $$\sin\frac{60° + \delta_m}{2} = 0·75$$

বা, $$\frac{60° + \delta_m}{2} = \sin^{-1}(0·75) = 48·6°$$

বা, $$60° + \delta_m = 97·2°$$

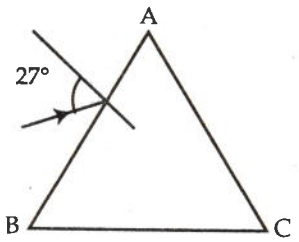
$$\therefore \quad \delta_m = 97·2° - 60° = 37·2°$$

এখানে,

AB = BC = CA অর্থাৎ প্রিজমটি সমবাহু

প্রিজম কোণ, A = 60°

প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = 1·5$



১ম আপতন কোণ, $i_1 = 27°$

(খ) ধরি প্রিজমটির ১ম প্রতিসরণ কোণ $= r_1$

২য় প্রতিসরণ কোণ $= r_2$

আমরা জানি,

১ম পৃষ্ঠের ক্ষেত্রে, $\mu = \frac{\sin i_1}{\sin r_1}$

বা, $$\sin r_1 = \frac{\sin i_1}{\mu} = \frac{\sin 27°}{1·5} = 0·3026$$

$$\therefore \quad r_1 = \sin^{-1}(0·3026) = 17·62°$$

এখানে,

$\mu = 1·5$

আপাতন কোণ, $i_1 = 27°$

প্রিজম কোণ, A = 60°

আবার, $r_1 + r_2 = A$

$\therefore \quad r_2 = A - r_1 = 60° - 17.62° = 42.38°$

২য় পৃষ্ঠের ক্ষেত্রে, $\mu = \frac{\sin i_2}{\sin r_2}$

বা, $\sin i_2 = \mu \sin r_2 = 1.5 \times \sin(42.38°) = 1.011$

কিন্তু sin এর যে কোনো মান 1 এর চেয়ে বেশি হতে পারে না।

$\therefore \quad \sin i_2 \neq 1.011$

অর্থাৎ আলোক রশ্মি AC পৃষ্ঠ দিয়ে নির্গত না হয়ে অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন ঘটবে।

৫। একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 3 cm এবং 4 cm। লেন্সদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 14.5 cm। 0.50 mm দৈর্ঘ্যের একটি বস্তু অভিলক্ষ্য হতে 3.1 cm দূরে স্থাপন করা হলো।

(ক) অভিলক্ষ্যের প্রতিবিম্বের দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের বিবর্ধনের তুলনামূলক বিশ্লেষণ কর। [য. বো. ২০১৭]

(ক) ধরি, অভিলক্ষ্যের প্রতিবিম্বের দূরত্ব, v_0

আমরা জানি,

$$\frac{1}{v_0} + \frac{1}{u_0} = \frac{1}{f_0}$$

বা, $\frac{1}{v_0} + \frac{1}{3.1} = \frac{1}{3}$

বা, $\frac{1}{v_0} = \frac{1}{3} - \frac{1}{3.1} = \frac{3.1 - 3}{3 \times 3.1} = \frac{0.1}{9.3}$

$\therefore \quad v_0 = \frac{9.3}{0.1} = 93 \text{ cm}$

সুতরাং অভিলক্ষ্যের প্রতিবিম্বের দূরত্ব 93 cm

এখানে,
অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব, $f_0 = 3 \text{ cm}$
অভিলক্ষ্য হতে লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব, $u_0 = 3.1 \text{ cm}$

(খ) উদ্দীপক অনুসারে, লেন্স দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব, $L = 14.5 \text{ cm}$

ক থেকে প্রাপ্ত অভিলক্ষ্যের প্রতিবিম্বের দূরত্ব, $v_0 = 93 \text{ cm}$

এই প্রতিবিম্ব অভিনেত্রের জন্য লক্ষ্যবস্তু হিসেবে কাজ করবে।

অভিনেত্র হতে লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব u_e হলে,

$$u_e + v_0 = L$$

বা, $u_e + 93 = 14.5$

বা, $u_e = 14.5 - 93 = -78.5 \text{ cm}$

এখানে,
অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব, $f_e = 4 \text{ cm}$
অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব, $f_0 = 3 \text{ cm}$
অভিলক্ষ্যের বিবর্ধন, $M_0 = ?$
অভিনেত্রের বিবর্ধন, $M_e = ?$
চূড়ান্ত প্রতিবিম্বের দূরত্ব, $v_e = ?$

আমরা জানি,

$$\frac{1}{v_e} + \frac{1}{u_e} = \frac{1}{f_e}$$

বা, $\frac{1}{v_e} = \frac{1}{f_e} - \frac{1}{u_e} = \frac{1}{4} - \frac{1}{-78.5} = \frac{1}{4} + \frac{1}{78.5}$

$v_e = \frac{4 \times 78.5}{(78.5 + 4)} = \frac{314}{82.5} = 3.8 \text{ cm}$

$\therefore \quad v_e = 3.8 \text{ cm}$

আবার, অভিলক্ষ্যের বিবর্ধন, $M_0 = 1 - \frac{v_0}{f_0}$

$= 1 - \frac{93}{3} = -\frac{90}{3} = -30$

এবং অভিনেত্রের বিবর্ধন, $M_e = 1 - \frac{v_e}{f_e}$

$= 1 - \frac{3.8}{4} = \frac{4 - 3.8}{4} = \frac{0.2}{4} = 0.05$

অর্থাৎ $M_0 > M_e$; অতএব ওপরের গাণিতিক বিশ্লেষণ হতে বলা যায় যে, অভিলক্ষ্যের বিবর্ধন অভিনেত্রের বিবর্ধনের চেয়ে বেশি হবে।

৬। জেমিমা বায়ুতে একটি কাচের উত্তল লেন্স নিয়ে কাজ করছিল, যার তলদ্বয়ের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 15 cm এবং 30 cm। [$_a\mu_g = \frac{3}{2}$ এবং $_a\mu_w = \frac{4}{3}$]

(ক) লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) লেন্সটিকে পানিতে নিমজ্জিত করলে এর ক্ষমতার কোনো পরিবর্তন হবে কি-না—বিশ্লেষণসহ মতামত দাও।

[ঢা. বো. ২০১৫]

(ক) আমরা জানি,

$$\frac{1}{f_a} = (_a\mu_g - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \left(\frac{3}{2} - 1\right)\left(\frac{1}{0·15} + \frac{1}{0·30}\right)$$

$$= \frac{1}{2} \times \frac{(2+1)}{0·30} = \frac{3}{2} \times \frac{1}{0·30} = \frac{1}{0·20}$$

$\therefore \quad f_a = 0·20$ m

এখানে,

লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_1 = 15$ cm $= 0·15$ m

লেন্সের দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_2 = -30$ cm $= -0·30$ m

লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক, $_a\mu_g = \frac{3}{2}$

লেন্সের ফোকাস দূরত্ব, $f_a = ?$

অতএব, লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব, $f_a = 0·20$ m

(খ) বায়ুতে লেন্সটির ক্ষমতা,

$$P = \frac{1}{f_a} D = \frac{1}{0·2} D = 5 D$$

পানিতে ফোকাস দূরত্ব,

$$\frac{1}{f_w} = (_w\mu_g - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \left(\frac{_a\mu_g}{_a\mu_w} - 1\right)\left(\frac{1}{0·15} + \frac{1}{0·30}\right)$$

$$= \left(\frac{\frac{3}{2}}{\frac{4}{3}} - 1\right)\left(\frac{2+1}{0·30}\right) = \left(\frac{9}{8} - 1\right)\left(\frac{1}{0·10}\right)$$

$$= \left(\frac{1}{8} \times \frac{1}{0·1}\right) = \frac{1}{0·8}$$

$\therefore \quad f_w = 0·8$ m

$\therefore$ পানিতে ক্ষমতা, $P_w = \frac{1}{f_w} = \frac{1}{0·8} D = 1·25 D$

এখানে,

$_a\mu_g = \frac{3}{2}$ এবং $_a\mu_w = \frac{4}{3}$

$r_1 = 0·15$ m

$r_1 = -0·30$ m

$f_w = ?$

$P_w = ?$

সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে লেন্সের ক্ষমতা পানিতে কমবে।

৭। একটি কাচ প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60° ও উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$।

(ক) উদ্দীপকের প্রিজমটির ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের প্রিজমটির ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানে প্রথম আপতন কোণ নির্ণয় সম্ভব—উক্তিটির যথার্থতা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[য. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি,

$$\mu = \frac{\sin\frac{A + \delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

$$\therefore \quad \sqrt{2} = \frac{\sin\left(\frac{60° + \delta_m}{2}\right)}{\sin\frac{60°}{2}}$$

$$\therefore \quad \sin\left(30° + \frac{\delta_m}{2}\right) = \sqrt{2}\sin 30° = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

এখানে,

প্রিজমের প্রতিসারক কোণ বা প্রিজম কোণ, A = 60°

প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = \sqrt{2}$

প্রিজমটির ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ, $\delta_m = ?$

$\therefore \quad 30° + \frac{\delta_m}{2} = \sin^{-1}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = 45°$

$\therefore \quad \delta_m = (45° - 30°) \times 2$

$= 15° \times 2 = 30°$

সুতরাং, প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ, $\delta_m = 30°$

(খ) প্রিজমের প্রথম পৃষ্ঠে আপতন কোণ i_1 এবং দ্বিতীয় পৃষ্ঠে নির্গমন কোণ i_2 হলে, ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানে আমরা জানি, $i_1 = i_2$।

বিচ্যুতি, $\delta = i_1 + i_2 - A$

সুতরাং ন্যূনতম বিচ্যুতি,

$\delta_m = i_1 + i_2 - A$

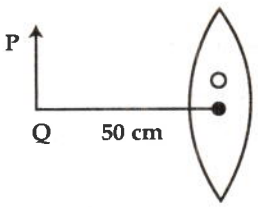
$= 2i_1 - A \qquad [\because i_1 = i_2]$

$\therefore \quad 2i_1 = \delta_m + A = 30° + 60° = 90°$

$\therefore \quad i_1 = \frac{90°}{2} = 45°$

অতএব, ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানে প্রথম আপতন কোণ নির্ণয় সম্ভব এবং তা 45°।

৮।



$\mu_g = 1{\cdot}5$
$\mu_a = 1{\cdot}33$
$r_1 = 30$ cm
$r_2 = 60$ cm

চিত্রে লক্ষ্যবস্তুর অবস্থান দেখানো হলো।

(ক) উদ্দীপক থেকে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) লেন্সটিকে পর্যায়ক্রমে বায়ু ও পানিতে স্থাপন করলে বিম্বের প্রকৃতি কেমন হবে ? গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৭ (মান ভিন্ন); দি. বো. ২০১৭]

(ক) আমরা জানি,

$\frac{1}{f_a} = (\mu_g - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$

$= (1{\cdot}5 - 1)\left(\frac{1}{0{\cdot}30} + \frac{1}{0{\cdot}60}\right)$

$= (0{\cdot}5)\left(\frac{2+1}{0{\cdot}60}\right)$

$= 0{\cdot}5 \times \frac{1}{0{\cdot}20} = \frac{0{\cdot}5}{0{\cdot}20} = 2{\cdot}5$

$\therefore \quad f_a = \frac{1}{2{\cdot}5} = 0{\cdot}40 \text{ m} = 40 \text{ cm}$

এখানে,

$\mu_g = 1{\cdot}5$

$\mu_a = 1{\cdot}33$

১ম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ,

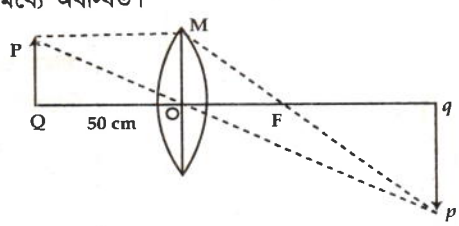
$r_1 = 30 \text{ cm} = 0{\cdot}30 \text{ m}$

২য় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ,

$r_2 = -60 \text{ cm} = -0{\cdot}60 \text{ m}$

লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব, $f_a = ?$

(খ) উদ্দীপকের 'ক' হতে বায়ু মাধ্যমে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব $f_a = 40$ cm, যা বস্তুর দূরত্ব u অপেক্ষা ছোট। অর্থাৎ $u > f_a$ বস্তু f_a এবং $2f_a$ এর মধ্যে অবস্থিত।



এখন বস্তুর সর্বোচ্চ প্রান্ত P হতে একটি আলোক রশ্মি PM-কে প্রধান অক্ষের সমান্তরালে এবং অপর একটি আলোক রশ্মি PO-কে আলোক কেন্দ্র বরাবর বিবেচনা করলে প্রতিসরণের পর প্রথম রশ্মিটি ফোকাস F দিয়ে ও দ্বিতীয়

রশ্মিটি না বেঁকে সোজা যাবে ও এরা p বিন্দুতে মিলিত হবে। অতএব p-ই P এর বাস্তব প্রতিবিম্ব। এখন p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। সুতরাং pq-ই PQ-এর প্রতিবিম্ব।

প্রতিবিম্বের অবস্থান $2f$ অপেক্ষা দূরে হবে। বিম্ব বাস্তব ও উল্টা হবে এবং বস্তুর সাপেক্ষে বিবর্ধিত হবে।

ধরি, লেন্সটি পানিতে স্থাপন করলে এর ফোকাস দূরত্ব f_w হয়।

আমরা জানি,

$$\frac{1}{f_w} = \left(\frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_w} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$= \left(\frac{1{\cdot}5}{1{\cdot}33} - 1\right)\left(\frac{1}{0{\cdot}3} + \frac{1}{0{\cdot}6}\right)$$

$$= 0{\cdot}1278 \times \frac{1}{0{\cdot}20} = 0{\cdot}639$$

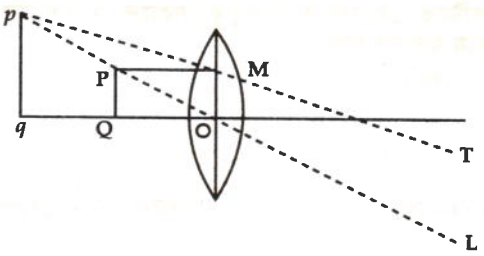
$\therefore \quad f_w = \frac{1}{0{\cdot}639} = 1{\cdot}56 \text{ m}$

এখানে,

${}_a\mu_g = 1{\cdot}5$
${}_a\mu_w = 1{\cdot}33$
$r_1 = 0{\cdot}30 \text{ m}$
$r_2 = -0{\cdot}60 \text{ m}$

অর্থাৎ পানিতে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব বেড়ে যাবে।

এখন $f_w = 1{\cdot}56$ m বস্তু দূরত্ব, $u = 0{\cdot}50$ m অপেক্ষা দ্বিগুণেরও বেশি। অর্থাৎ $u < f_w$।



মনে করি, লক্ষ্যবস্তু PQ প্রধান অক্ষের ওপর আলোক কেন্দ্র ও প্রধান ফোকাস F′ এর মধ্যে অবস্থিত। বস্তুর সর্বোচ্চ বিন্দু P হতে একটি আলোক রশ্মি PM-কে প্রধান অক্ষের সমান্তরালে এবং অপর একটি রশ্মি PO-কে আলোক কেন্দ্র বরাবর বিবেচনা করলে প্রতিসরণের পর প্রথম রশ্মিটি ফোকাস দিয়ে এবং দ্বিতীয় রশ্মিটি না বেঁকে সোজা যাবে ও এরা পরস্পর অপসারী হবে। এই দুই রশ্মিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে এরা p বিন্দু হতে অপসৃত হয়েছে বলে মনে হবে। অতএব p-ই P বিন্দুর প্রতিবিম্ব। এখন p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। সুতরাং, pq, PQ এর প্রতিবিম্ব। এখানে $v > u$।

লেন্সের যে পার্শ্বে বস্তু অবস্থিত প্রতিবিম্বও সে পার্শ্বে অবস্থিত। বিম্বের প্রকৃতি অবাস্তব ও সিধা। এর আকার বিবর্ধিত। কেননা $|m| = \frac{v}{u} > 1$।

৯। একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 200 cm ও 5 cm।

(ক) নিকট ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে যন্ত্রটির নলের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(খ) যখন একটি বস্তুকে অসীমে ও স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্বে রাখা হয় তখন কোন ক্ষেত্রে উদ্দীপকের যন্ত্রটির বিবর্ধন বেশি হয় তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করে দেখাও। [রা. বো. ২০১৭; কু. বো. ২০১৫ (মান ভিন্ন)]

(ক) আমরা জানি,

$$l = f_0 + \left(\frac{D \times f_e}{D + f_e}\right)$$

$$\therefore \quad l = 2{\cdot}0 + \left(\frac{0{\cdot}25 \times 0{\cdot}05}{0{\cdot}25 + 0{\cdot}05}\right)$$

$$= 2{\cdot}0 + \left(\frac{0{\cdot}0125}{0{\cdot}30}\right)$$

$$= 2{\cdot}0 + 0{\cdot}04 = 2{\cdot}04 \text{ m}$$

$\therefore$ নিকট ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে যন্ত্রটির নলের দৈর্ঘ্য $= 2{\cdot}04$ m

এখানে,

অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব,
$f_0 = 200 \text{ cm} = 2{\cdot}0 \text{ m}$
অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব,
$f_e = 5 \text{ cm} = 0{\cdot}05 \text{ m}$
স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব,
$D = 25 \text{ cm} = 0{\cdot}25 \text{ m}$
নলের দৈর্ঘ্য, $l = ?$

(খ) অসীম দূরত্বে ফোকাসিং এর ক্ষেত্রে আমরা জানি বিবর্ধন,

$$m = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{f_0}{f_e} = \frac{2\cdot0}{0\cdot05} = 40$$

এবং সৃষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং-এর বিবর্ধন,

$$m = \frac{f_0}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right)$$

$$\therefore \quad m = \frac{2\cdot0}{0\cdot05}\left(1 + \frac{0\cdot05}{0\cdot25}\right)$$

$$= 40 \times (1 + 0\cdot2) = 40 \times 1\cdot2 = 48$$

এখানে,

$f_0 = 2\,m$

$f_e = 0\cdot05\,m$

$D = 0\cdot25\,m$

সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে সৃষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে বিবর্ধন অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর বিবর্ধনের চেয়ে বেশি হয়।

১০। একটি উত্তল লেন্সের সামনে 20 cm দূরে কোনো বস্তু রাখলে 3 গুণ বিবর্ধিত উল্টা প্রতিবিম্ব গঠিত হয়।

(ক) লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব কত ?

(খ) বস্তুর সামনে লেন্সটিকে কোনদিকে কতটুকু সরালে 3 গুণ বিবর্ধিত সমশীর্ষ প্রতিবিম্ব দেখা যাবে ? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে মতামত দাও।

(ক) যেহেতু প্রতিবিম্ব উল্টা, সুতরাং, $m = -3$

আমরা জানি,

$$m = \frac{v}{u} = -3$$

$$v = -3u = -3 \times (-20) \qquad [\text{এখানে } u = -20\,cm]$$

$$= 60\,cm$$

আবার,

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

বা, $\frac{1}{f} = \frac{1}{60} - \frac{1}{-20} = \frac{1}{60} + \frac{1}{20} = \frac{1+3}{60} = \frac{4}{60}$

$\therefore \quad f = \frac{60}{4} = 15\,cm$

(খ) এক্ষেত্রে সমশীর্ষ প্রতিবিম্ব পেতে হলে লেন্সটিকে বস্তুর দিকে সরাতে হবে যাতে বস্তু দূরত্ব ফোকাস দূরত্বের চেয়ে কম হয়।

ধরা যাক, লেন্সটিকে x cm বস্তুর দিকে সরাতে হবে।

$\therefore$ বস্তু দূরত্ব, $u_1 = -(20 - x)$ cm

ধরা যাক, প্রতিবিম্ব দূরত্ব = v_1 cm

প্রশ্নানুসারে,

$$\frac{v_1}{u_1} = m = 3$$

বা, $v_1 = 3u_1 = 3 \times \{-(20 - x)\}$

$$= 3 \times (-20 + x) = -60 + 3x$$

এখন, লেন্সের সাধারণ সমীকরণ,

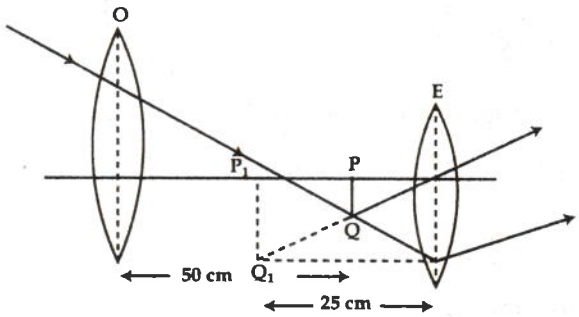
$$\frac{1}{v_1} - \frac{1}{u_1} = \frac{1}{f}$$

বা, $\frac{1}{-3(20-x)} + \frac{1}{20-x} = \frac{1}{15}$

বা, $x = 10\,cm$

অতএব, লেন্সটিকে বস্তুর দিকে 10 cm সরাতে হবে।

১১। একটি নভোবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 50 cm এবং 5 cm। যন্ত্রটিকে সূর্যের দিকে ফোকাস করা হলে চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব অভিনেত্র থেকে 25 cm দূরে গঠিত হয়।



(ক) যন্ত্রের কৌণিক বিবর্ধন কত ?

(খ) যদি সূর্যের ব্যাস অভিলক্ষ্যের কেন্দ্রে 32′ কোণ উৎপন্ন করে তবে প্রতিবিম্বের উচ্চতা কত হবে? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে উত্তর দাও।

(ক) যন্ত্রের কৌণিক বিবর্ধন,

$$m = \frac{f_0}{f_e}\left(1+\frac{f_e}{D}\right)$$

$$\therefore \quad m = \frac{50}{5}\left(1+\frac{5}{25}\right)$$

$$= 10\times\frac{30}{25} = 10\times\frac{6}{5} = 12$$

এখানে,

$f_0 = 50\,cm$
$f_e = 5\,cm$
$D = 25\,cm$
$\alpha = 32'$

(খ) চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব দ্বারা অভিনেত্রে উৎপন্ন কোণ β এবং সূর্যের দ্বারা অভিলক্ষ্যের কেন্দ্রে উৎপন্ন কোণ α হলে,

$$m = \frac{\beta}{\alpha}$$

বা, $\beta = m\alpha$

$$\therefore \quad \beta = 12\times\frac{32}{60}\times\frac{\pi}{180} = \frac{32}{5}\times\frac{\pi}{180}$$

এখানে,

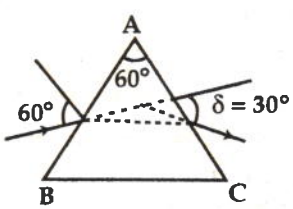
$$\alpha = 32' = \frac{32}{60}\times\frac{\pi}{180}\,rad$$

প্রতিবিম্বের উচ্চতা I হলে,

$$\beta = \frac{I}{D}$$

বা, $I = \beta D = \frac{32}{5}\times\frac{\pi}{180}\times 25 = 2{\cdot}79\,cm.$

১২। উদ্দীপক অনুসারে নিচের প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :



(ক) প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক কত ?

(খ) ন্যূনতম বিচ্যুতি ঘটাতে আপতন কোণের কীরূপ পরিবর্তন করতে হবে গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[অভিন্ন প্রশ্ন (খ সেট) ২০১৮]

(ক) আমরা জানি,

$$\delta = i_1 + i_2 - A$$

বা, $30° = 60° + i_2 - 60°$

$\therefore \quad i_2 = 30°$

এখানে,

আপতন কোণ, $i_1 = 60°$
বিচ্যুতি কোণ, $\delta = 30°$
প্রিজম কোণ, $A = 60°$

প্রিজম উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক μ হলে,

$$\mu = \frac{\sin i_1}{\sin r_1} = \frac{\sin i_2}{\sin r_2}$$

বা, $\frac{\sin 60°}{\sin r_1} = \frac{\sin 30°}{\sin (60° - r_1)}$

বা, $\sin 30° \sin r_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} (\sin 60° \cos r_1 - \cos 60° \sin r_1)$

বা, $0·5 \sin r_1 = 0·750 \cos r_1 - 0·433 \sin r_1$

বা, $0·933 \sin r_1 = 0·750 \cos r_1$

বা, $\tan r_1 = \frac{0·933}{0·750} = 1·244$

বা, $r_1 = \tan^{-1} (1·244) = 51·2°$

$\therefore \quad \mu = \frac{\sin 60°}{\sin 51·2°} = 1·11$

(খ) ন্যূনতম বিচ্যুতির শর্ত অনুযায়ী,

$i_1 = i_2$ এবং $r_1 = r_2$

এবং $r_1 = \frac{A}{2} = \frac{60°}{2} = 30°$

প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক,

$$\mu = \frac{\sin i_1}{\sin r_1}$$

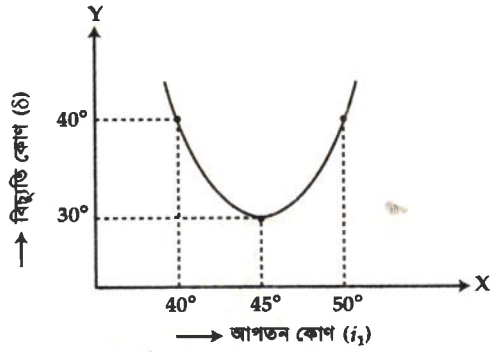
বা, $1·11 = \frac{\sin i_1}{\sin r_1}$

বা, $\sin i_1 = 0·5 \times 1·11 = 0·558$

$\therefore \quad i_1 = \sin^{-1} (0·558) = 33·92°$

সুতরাং গাণিতিক বিশ্লেষণ থেকে দেখা যায়, ন্যূনতম বিচ্যুতির জন্য আপতন কোণ 33·92° হওয়া প্রয়োজন অর্থাৎ আপতন কোণ $60° - 33·92° = 26·08°$ কমাতে হবে।

১৩। নিচের চিত্রটি লক্ষ কর এবং প্রশ্নগুলোর উত্তর দাও :



উপরের চিত্রে একটি সমবাহু প্রিজমের ভিন্ন ভিন্ন আপতন কোণের জন্য বিচ্যুতি কোণ বনাম আপতন কোণ লেখচিত্রে দেখানো হয়েছে।

(ক) উল্লিখিত প্রিজমটির উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক কত ?

(খ) উদ্দীপকের চিত্রে প্রদর্শিত তিনটি আপতন কোণের জন্য নির্গত কোণের স্ব স্ব মান সমান হবে কী ? গাণিতিক ব্যাখ্যা দাও।

(ক) আমরা জানি,

$$\mu = \frac{\sin\left(A + \frac{\delta m}{2}\right)}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{60° + 30°}{2}}{\sin \frac{60°}{2}} = \frac{\sin 45°}{\sin 30°} = 1·414$$

(খ) আমরা জানি,

$$\delta = i_1 + i_2 - A$$

বা, $40° = 40° - 60° + i_2$

$\therefore i_2 = 60°$

প্রথম ক্ষেত্রে,

$\delta = 40°$
$i_1 = 40°$
$A = 60°$
$i_2 = ?$

আবার,

$$\delta = i_1 + i_2 - A$$

বা, $30° = 45° + i_2 - 60°$

$\therefore i_2 = 45°$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে,

$\delta = 30°$
$i_1 = 45°$
$A = 60°$
$i_2 = ?$

আমরা জানি,

$$\delta = i_1 + i_2 - A$$

$40° = 50° - 60° + i_2$

$\therefore i_2 = 50°$

তৃতীয় ক্ষেত্রে,

$\delta = 40°$
$i_1 = 50°$
$A = 60°$
$i_2 = ?$

চিত্র অনুযায়ী আপতন কোণ ও বিচ্যুতি কোণের মান ধরে হিসাব করলে দেখা যায় যে, দ্বিতীয় এবং তৃতীয় ক্ষেত্রে নির্গত কোণের যে যে আপতন কোণের মানের সমান হবে। প্রকৃতপক্ষে কেবল ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে আপতন কোণ ও নির্গত কোণ সমান হওয়ার কথা। মনে হচ্ছে চিত্রটি নিখুঁত হয়নি এবং মানগুলিও সঠিক নয়।

১৪। 15 cm ও 30 cm বক্রতার ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি উভোত্তল লেন্সের সামনের 60 cm দূরে একটি বস্তু স্থাপন করলে 30 cm পিছনে প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়।

(ক) লেন্সটির উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের অন্যান্য শর্তাবলি ঠিক রেখে কী ব্যবস্থা নিলে লেন্সটির ক্ষমতা 1·54D করা যায় ? গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর।

[রা. বো. ২০১৯; চ. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

বা, $\frac{1}{f} = \frac{1}{60} + \frac{1}{30} = \frac{1+2}{60}$

$\therefore f = 20\,\text{cm}$

এখানে,

$r_1 = 15\,\text{cm}$
$r_2 = -30\,\text{cm}$
$u = 60\,\text{cm}$
$v = 30\,\text{cm}$

আবার,

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

বা, $\frac{1}{20} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{15} - \frac{1}{-30}\right)$

বা, $\frac{1}{20} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{15} + \frac{1}{30}\right)$

$$= (\mu - 1)\left(\frac{2+1}{30}\right)$$

$$= (\mu - 1) \times \frac{1}{10}$$

বা, $\mu - 1 = \frac{1}{2}$ বা, $\mu = \frac{1}{2} + 1 = \frac{3}{2} = 1{\cdot}5$

(খ) এখানে ক্ষমতা, P = 1·54 D

এখন, $P = \frac{1}{f(m)}$ বা, $f(m) = \frac{1}{P} = \frac{1}{1·54} = 0·649\ m = 64·9\ cm$

প্রশ্নানুসারে, অন্যান্য সকল শর্তাবলি ঠিক রেখে ওই মানের ফোকাস দূরত্ব পেতে হলে সিস্টেমটি তরলে নিমজ্জিত করলে ফোকাস দূরত্ব পরিবর্তন করা যায়। ধরা যাক, তরলের প্রতিসরাঙ্ক = ${}_a\mu_l$

এখানে,
${}_a\mu_g = 1·5$
$r_1 = 15\ cm$
$r_2 = -30\ cm$
${}_a\mu_l = ?$

অতএব, $\frac{1}{f_0} = \left(\frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_l} - 1\right)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$

বা, $\frac{1}{64·9} = \left(\frac{1·5}{{}_a\mu_l} - 1\right)\left(\frac{1}{15} - \frac{1}{-30}\right)$

$= \left(\frac{1·5}{{}_a\mu_l} - 1\right)\left(\frac{2+1}{30}\right)$

$= \left(\frac{1·5}{{}_a\mu_l} - 1\right)\frac{1}{10}$

বা, $\frac{1·5}{{}_a\mu_l} = \frac{10}{64·9} + 1 = \frac{74·9}{64·9} = 1·154$

∴ ${}_a\mu_l = \frac{1·5}{1·154} = 1·30$

সুতরাং, লেন্সটিকে 1·30 প্রতিসরাঙ্ক সম্পন্ন তরলে নিমজ্জিত করে পরীক্ষণ সম্পন্ন করলে লেন্সটির ক্ষমতা 1·54D করা যাবে।

১৫। কোনো প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{\frac{3}{2}}$ এবং প্রতিসারক কোণ 90°।

(ক) প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ এবং ন্যূনতম বিচ্যুতির অবস্থানে আপতন কোণ নির্ণয় কর।

(খ) আপতন কোণ 45° অপেক্ষা কম হলে কোনো নির্গত রশ্মি পাওয়া যাবে কি-না—গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে তোমার মতামত দাও।

(ক) এখানে, প্রতিসারক কোণ A = 90°, প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = \sqrt{\frac{3}{2}}$

আমরা জানি,

$$\mu = \frac{\sin\left(\frac{A + \delta_m}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}$$

$$\therefore \sqrt{\frac{3}{2}} = \frac{\sin\left(\frac{90° + \delta_m}{2}\right)}{\sin\frac{90°}{2}}$$

বা, $\sqrt{\frac{3}{2}} \sin 45° = \sin\left(\frac{90° + \delta_m}{2}\right)$

বা, $\sin\left(\frac{90° + \delta_m}{2}\right) = \sqrt{\frac{3}{2}} \times \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{3}}{2} = \sin 60°$

বা, $\left(\frac{90° + \delta_m}{2}\right) = 60°$

বা, $\delta_m + 90° = 120°$

∴ $\delta_m = 120° - 90° = 30°$

ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে আপতন কোণ,

$$i = \frac{A + \delta_m}{2}$$

বা, $i = \frac{90° + 30°}{2} = 60°$

(খ) প্রিজম থেকে নির্গত রশ্মি পাওয়ার জন্য আপতন কোণের সঠিক মান i_1 হলে লেখা যায়,

$$i_1 = \sin^{-1}\{(\sqrt{\mu^2 - 1})\sin A - \cos A\}$$

বা, $i_1 = \sin^{-1}\left\{\sqrt{\left(\left(\sqrt{\frac{3}{2}}\right)^2 - 1\right)}\sin 90° - \cos 90°\right\}$

বা, $i_1 = \sin^{-1}\left(\sqrt{\frac{3}{2} - 1}\right)$

বা, $i_1 = \sin^{-1}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$

$\therefore i_1 = 45°$

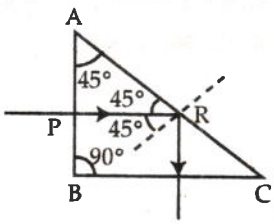
সুতরাং, দেখা যাচ্ছে যে আপতন কোণ $i_1 = 45°$-এর চেয়ে কম হলে নির্গত রশ্মি পাওয়া যাবে না।

১৬। আলোকরশ্মি একটি সমকোণী সমদ্বিবাহু প্রিজমের (চিত্র-১) একটি বাহুর ওপর লম্বভাবে আপতিত হয়ে অপর বাহু কর্তৃক পূর্ণ প্রতিফলিত হলো।

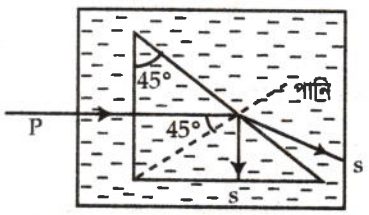
(ক) প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের নিম্নতম মান কত ?

(খ) প্রিজমকে পানিতে নিমজ্জিত করা হলে ওই আপতিত রশ্মির পূর্ণ প্রতিফলন হবে কি-না—চিত্রসহকারে গাণিতিকভাবে দেখাও। [পানির প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = \frac{4}{3}$]

(ক) চিত্র ১-এ ABC একটি সমদ্বিবাহু ত্রিভুজ। এখানে AB = BC



চিত্র ১



চিত্র ২

PQ আলোক রশ্মি AB তলে লম্বভাবে আপতিত হয়ে সরাসরি প্রিজমের মধ্যে প্রবেশ করে এবং AC তলের R বিন্দুতে আপতিত হয়। চিত্র থেকে স্পষ্ট যে R বিন্দুতে আপতিত কোণ 45°। এখন ওই রশ্মিকে R বিন্দু হতে পূর্ণ প্রতিফলিত হতে হলে ওই আপতন কোণকে প্রিজমের উপাদানের সংকট কোণের সমান বা কম হতে হবে; অর্থাৎ সর্বোচ্চ সংকট কোণ 45°। প্রিজমের উপাদানের ন্যূনতম প্রতিসরাঙ্ক μ হলে,

$$\sin\theta_c = \frac{1}{\mu} \text{ বা, } \sin 45° = \frac{1}{\mu}$$

বা, $\mu = 1{\cdot}414$

(খ) প্রিজমটি পানিতে নিমজ্জিত করলে পানির সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক,

$${}_w\mu_g = \frac{\mu_w}{\mu_g} = \frac{\sqrt{2}}{\frac{4}{3}} = \frac{3\sqrt{2}}{4} = 1{\cdot}06$$

প্রিজম এবং পানির মধ্যে সংকট কোণ θ_C' হলে,

$$\theta_C' = \sin^{-1}\left(\frac{1}{{}_w\mu_g}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1}{1{\cdot}06}\right)$$

$$= \sin^{-1}(0{\cdot}9434) = 70°48'$$

কিন্তু R বিন্দুতে আপতন কোণ 45° এবং এটি সংকট কোণ অপেক্ষা কম। সুতরাং, R বিন্দুতে আলোকরশ্মির পূর্ণ প্রতিফলন হবে না। আলোক রশ্মি প্রতিসৃত হয়ে পানিতে প্রবেশ করবে [চিত্র ২]।

এখন প্রতিসরণ কোণ r হলে,

$$\sqrt{2}\sin 45° = \frac{4}{3}\sin r$$

বা, $\sin r = \sqrt{2}\times\frac{3}{4}\times\frac{1}{\sqrt{2}} = 0.75 = \sin 48°36'$

$\therefore \quad r = 48°36'$

১৭। একটি পরীক্ষণে, একটি বস্তুকে একটা উত্তোত্তল লেন্সের 75 cm সামনে স্থাপন করা হলো। যার বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 15 cm ও 30 cm। এতে 30 cm পিছনে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। অন্য একটি পরীক্ষণে, লেন্সটিকে 1.33 প্রতিসরাঙ্কের মাধ্যমে স্থাপন করা হলো।

(ক) প্রথম ক্ষেত্রে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) দ্বিতীয় পরীক্ষায় একই দূরত্বে বস্তুটি স্থাপন করলে প্রতিবিম্বের প্রকৃতি প্রথম পরীক্ষার অনুরূপ হবে কি না— গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে মন্তব্য কর।

[ঢা. বো. ২০১৮; রা. বো. ২০১৮; য. বো. ২০১৮; চ. বো. ২০১৮; ব. বো. ২০১৮; কু. বো. ২০১৮]

(ক) আমরা জানি,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u}+\frac{1}{v} = \frac{1}{75}+\frac{1}{30}$$

$$= \frac{2+5}{150} = \frac{7}{150}$$

$\therefore \quad f = \frac{150}{7} = 21.43$ cm

এখানে,

লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব, $u = 75$ cm

প্রতিবিম্বের দূরত্ব, $v = 30$ cm

ফোকাস দূরত্ব, $f = ?$

(খ) এখন, $\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$

বা, $\frac{1}{21.43} = (\mu_r - 1)\left(\frac{1}{15}+\frac{1}{30}\right)$

বা, $(\mu_r - 1) = \frac{\frac{1}{21.43}}{\frac{1}{15}+\frac{1}{30}} = 0.47$

$\therefore \quad \mu_r = 1 + 0.47 = 1.47$

এখানে,

$f = 21.43$ cm

বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_1 = 15$ cm

বক্রততার ব্যাসার্ধ, $r_2 = -30$ cm

প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_r = ?$

ধরা যাক, 1.33 প্রতিসরাঙ্কের মাধ্যমে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব f'

$$\therefore \quad \frac{f'}{f} = \frac{\mu_r - 1}{\frac{\mu_r}{1.33}-1}$$

বা, $f' = \frac{1.47-1}{\frac{1.47}{1.33}-1}\times f = 4.465\times 21.43 = 95.68$ cm

আবার, $\frac{1}{f'} = \frac{1}{u}+\frac{1}{v}$

বা, $\frac{1}{95.68} = \frac{1}{75}+\frac{1}{v}$

বা, $\frac{1}{v} = \frac{1}{95.68}-\frac{1}{75} = -2.88\times 10^{-3}$

$\therefore \quad v = -\frac{1}{2.88\times 10^{-3}} = -346.93$ cm

এখানে,

লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব, $u = 75$ cm

যেহেতু v ঋণাত্মক। সুতরাং বিম্ব অবাস্তব।

সুতরাং, দ্বিতীয় পরীক্ষায় একই দূরত্বে বস্তুটি স্থাপন করলে প্রতিবিম্বের প্রকৃতি প্রথম পরীক্ষার অনুরূপ হবে না।

সার-সংক্ষেপ

আলোক পথ : কোনো মাধ্যমের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মি কোনো নির্দিষ্ট সময়ে যে পথ অতিক্রম করে তার সমতুল্য আলোক পথ বলতে বোঝায় ওই নির্দিষ্ট সময়ে আলোক রশ্মি যে পথ অতিক্রম করে তা। আলোক পথ = মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক × মাধ্যমে আলো কর্তৃক অতিক্রান্ত পথের দৈর্ঘ্য; অর্থাৎ, $l = \mu_0 \times l$

সংকট কোণ : আলোক রশ্মি ঘন মাধ্যম থেকে হাল্কা মাধ্যমে প্রতিসৃত হওয়ার সময় যে আপতন কোণের জন্য প্রতিসরণ কোণ 90° হয় এবং প্রতিসৃত রশ্মি দুই মাধ্যমের বিভেদ তল ঘেঁষে যায়, তাকে সংকট কোণ বলে।

আলোকবাহী তন্তু : একটি তন্তু যা আলোক রশ্মি এক স্থান হতে অন্য স্থানে পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের মাধ্যমে পাঠাতে পারে তাকে আলোকবাহী তন্তু বলে।

আলোর প্রতিসরণ : আলোক রশ্মি এক স্বচ্ছ মাধ্যম থেকে অন্য স্বচ্ছ মাধ্যমে যাওয়ার সময় মাধ্যমদ্বয়ের বিভেদতলে তির্যকভাবে আপতিত আলোক রশ্মির দিক পরিবর্তন করার ঘটনাকে আলোর প্রতিসরণ বলে।

বিম্ব : যদি কোনো বিন্দু থেকে নিঃসৃত আলোক রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর দ্বিতীয় কোনো বিন্দুতে মিলিত হয় বা দ্বিতীয় কোনো বিন্দু হতে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হয়, তবে ওই দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর বিম্ব বা প্রতিবিম্ব বলে।

বাস্তব বিম্ব : কোনো বিন্দু হতে নিঃসৃত আলোক রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর দ্বিতীয় কোনো বিন্দুতে মিলিত হলে ওই দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর বাস্তব প্রতিবিম্ব বলে।

অবাস্তব বিম্ব : কোনো বিন্দু হতে নিঃসৃত আলোক রশ্মিগুচ্ছ প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর দ্বিতীয় কোনো বিন্দু থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হলে দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর অবাস্তব বিম্ব বলে।

প্রতিসরাঙ্ক : আলোক যখন এক স্বচ্ছ মাধ্যম হতে অন্য স্বচ্ছ মাধ্যমে তির্যকভাবে প্রবেশ করে তখন নির্দিষ্ট এক জোড়া মাধ্যম এবং নির্দিষ্ট বর্ণের আলোর জন্য আপতন কোণের সাইন এবং প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা হয়। এই ধ্রুব সংখ্যাকে ওই বর্ণের জন্য প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বলে।

অর্থাৎ, $\frac{\sin i}{\sin r} = \mu$ = ধ্রুব সংখ্যা = প্রতিসরাঙ্ক

আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক : আলোক রশ্মি যখন এক স্বচ্ছ মাধ্যম হতে অন্য কোনো স্বচ্ছ মাধ্যমে তির্যকভাবে প্রবেশ করে তখন নির্দিষ্ট বর্ণের আলোর জন্য আপতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাতকে ওই বর্ণের জন্য ওই মাধ্যমের আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক বলে।

পরম প্রতিসরাঙ্ক : আলোক রশ্মি যখন শূন্য মাধ্যম হতে অন্য কোনো মাধ্যমে প্রবেশ করে তখন নির্দিষ্ট বর্ণের আলোর জন্য আপতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাতকে ওই বর্ণের জন্য ওই মাধ্যমের পরম প্রতিসরাঙ্ক বলে।

লেন্স : দুটি গোলীয় বা একটি সমতল অথবা দুটি বেলনাকৃতি অর্থাৎ একটি বেলনাকৃতি ও একটি সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ কোনো স্বচ্ছ প্রতিসারক মাধ্যমকে লেন্স বলে।

উত্তল লেন্স : যে লেন্সের মধ্যভাগ মোটা ও প্রান্ত সরু তাকে উত্তল লেন্স বলে। এই লেন্স সাধারণত একগুচ্ছ আলোক রশ্মিকে অভিসারী করে বলে ওকে অভিসারী লেন্সও বলে।

অবতল লেন্স : যে লেন্সের মধ্যভাগ সরু ও প্রান্তের দিক মোটা তাকে অবতল লেন্স বলে। এই লেন্স সাধারণত একগুচ্ছ আলোক রশ্মিকে অপসারিত করে বলে একে অপসারী লেন্স বলে।

মেরু বিন্দু : গোলকীয় দর্পণের প্রতিফলক তলের মধ্যবিন্দুকে দর্পণের মেরু বিন্দু বলে।

বক্রতার কেন্দ্র : গোলকীয় দর্পণ যে গোলকের অংশ বিশেষ তার কেন্দ্রকে ওই দর্পণের বক্রতার কেন্দ্র বলে।

প্রধান অক্ষ : গোলকীয় দর্পণের বক্রতার কেন্দ্র এবং মেরুর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত সরলরেখাকে ওই দর্পণের প্রধান অক্ষ বলে।

প্রধান ছেদ : কোনো গোলকীয় দর্পণের প্রধান অক্ষের মধ্য দিয়ে অতিক্রমকারী কোনো তল যে বৃত্তাকার রেখায় দর্পণকে ছেদ করে তাকে ওই দর্পণের প্রধান ছেদ বলে।

প্রধান তল : গোলকীয় দর্পণের মেরু বিন্দুর মধ্য দিয়ে প্রধান অক্ষের সাথে লম্বভাবে অঙ্কিত তলকে দর্পণের প্রধান তল বলে।

উন্মেষ : গোলকীয় দর্পণে প্রধান ছেদ বক্রতার কেন্দ্রে যে কোণ উৎপন্ন করে, তাকে দর্পণের উন্মেষ বলে।

বক্রতার ব্যাসার্ধ : গোলকীয় দর্পণ যে গোলকের অংশ বিশেষ উক্ত গোলকের ব্যাসার্ধকে ওই দর্পণের বক্রতার ব্যাসার্ধ বলে।

প্রধান ফোকাস বা মুখ্য ফোকাস : একগুচ্ছ সমান্তরাল আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরালে কোনো একটি গোলকীয় দর্পণে আপতিত হওয়ার পর প্রতিফলিত রশ্মিসমূহ প্রধান অক্ষের যে বিন্দুতে মিলিত হয় (অবতল দর্পণে) বা প্রধান অক্ষের যে বিন্দু হতে ছড়িয়ে পড়েছে বলে মনে হয় (উত্তল দর্পণে) ওই বিন্দুকে দর্পণের প্রধান বা মুখ্য ফোকাস বলে।

ফোকাস দূরত্ব : গোলকীয় দর্পণের মেরু বিন্দু এবং প্রধান ফোকাসের মধ্যবর্তী দূরত্বকে তার ফোকাস দূরত্ব বলে।

ফোকাস তল : গোলকীয় দর্পণের প্রধান ফোকাসের মধ্য দিয়ে প্রধান অক্ষের লম্বভাবে কল্পিত বা অঙ্কিত তলকে তার ফোকাস তল বলে।

গৌণ ফোকাস : একগুচ্ছ সমান্তরাল আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সাথে আনতভাবে চলে দর্পণের ওপর আপতিত হওয়ার পর প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ দর্পণের ফোকাস তলের যে বিন্দুতে মিলিত হয় (অবতল দর্পণে) বা ফোকাস তলের যে বিন্দু হতে ছড়িয়ে পড়েছে বলে মনে হয় (উত্তল দর্পণে) ওই বিন্দুকে একটি গৌণ ফোকাস বলে।

গৌণ অক্ষ : মেরু ব্যতীত দর্পণের কোনো একটি বিন্দু এবং বক্রতার কেন্দ্রে সংযোজক রেখাকে গৌণ অক্ষ বলে।

রৈখিক বিবর্ধন : রৈখিক বিবর্ধন বলতে প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা এবং বস্তুর দৈর্ঘ্য বা উচ্চতার অনুপাতকে বুঝায়। একে m দ্বারা প্রকাশ করা হয়। লেন্স উত্তল বা অবতল, বিম্ব সোজা বা উল্টা, বাস্তব বা অবাস্তব সকল ক্ষেত্রেই $m = -\frac{v}{u}$ হবে।

বিম্বের বিবরণ :

অবস্থান : বিম্বের অবস্থান বলতে লেন্স হতে এর দূরত্ব বুঝায়।

প্রকৃতি : বিম্বের প্রকৃতি বলতে বিম্বটি বাস্তব না অবাস্তব এবং সোজা না উল্টা তা বুঝায়।

আকৃতি : বিম্বের আকৃতি বলতে বিম্বটি লক্ষ্যবস্তুর তুলনায় বড় না ছোট, না লক্ষ্যবস্তুর সমান তা বুঝায়।

বিশ্লেষণী সীমা : কোনো আলোকীয় যন্ত্রের মাধ্যমে কাছাকাছি অবস্থানে অবস্থিত দুটি বস্তুকে পারস্পরিক যে ন্যূনতম দূরত্বের ব্যবধানে পৃথকভাবে দুটি স্পষ্ট প্রতিবিম্ব গঠন করা যায়, তাকে ওই যন্ত্রের বিশ্লেষণী সীমা বলে।

বিশ্লেষণী ক্ষমতা : দুটি বস্তুর পৃথক প্রতিবিম্বের গঠনের সামর্থ্যকে বিশ্লেষণী ক্ষমতা বলে। অর্থাৎ কোনো আলোকীয় যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা বলতে কাছাকাছি অবস্থানে অবস্থিত দুটি বস্তুর পৃথক প্রতিবিম্ব গঠনের সামর্থ্যকে বুঝায়।

অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা : কাছাকাছি অবস্থানে অবস্থিত দুটি বস্তুকে অণুবীক্ষণ যন্ত্র যদি আলাদাভাবে দেখতে সক্ষম হয় তবে ওই বস্তু দুটির মধ্যবর্তী দূরত্বের বিপরীত রাশিকে অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা বলে।

দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা : পরস্পরের কাছাকাছি অবস্থানে অবস্থিত দুটি বস্তুকে যখন নভোবীক্ষণ যন্ত্র আলাদাভাবে বিশ্লেষণ করতে পারে তখন ওই বস্তু দুটি যন্ত্রের অভিলক্ষ্যে যে কোণ উৎপন্ন করে তার বিপরীত রাশিকে দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা বলে।

প্রিজমের ছেদ : প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণ তলদ্বয়ের সাথে লম্ব হয় এমন যেকোনো একটি কল্পিত সমতলকে প্রিজমের ছেদ বলে।

পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম : মসৃণ সমতলবিশিষ্ট স্বচ্ছ কাচের সমদ্বিবাহু সমকোণী প্রিজমের মধ্য দিয়ে আলোর প্রতিসরণ ঘটে। তাই এ ধরনের প্রিজমকে পূর্ণ প্রতিফলক প্রিজম বলে।

সরু প্রিজম : যে প্রিজমের প্রতিসারক কোণ ক্ষুদ্র (10°-এর বেশি নয়) তাকে সরু প্রিজম বলে।

মূল বর্ণ : লাল, নীল, আসমানি ইত্যাদিকে মূল বর্ণ বলা হয়। এর কম বর্ণগুলোর যেকোনো একটি প্রিজমের মধ্য দিয়ে গমন করলে এদের কোনো বিচ্ছুরণ ঘটবে না।

কৌণিক বিচ্ছুরণ : যেকোনো দুটি বর্ণের রশ্মির বিচ্যুতি কোণের পার্থক্যকে কৌণিক বিচ্ছুরণ বলে।

র‍্যালের বিচ্ছুরণ সূত্র : বিক্ষিপ্ত আলোর তীব্রতা ও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মধ্যে র‍্যালে একটি সূত্র আবিষ্কার করেন। এই সূত্র অনুসারে বিক্ষিপ্ত আলোর তীব্রতা আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতিক।

ফার্মাট-এর নীতি : যখন কোনো আলোক রশ্মি প্রতিফলন বা প্রতিসরণ-এর সূত্র মেনে কোনো সমতল পৃষ্ঠে প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হয় তখন তা সর্বদা ক্ষুদ্রতম পথ অনুসরণ করে।

গোলকীয় দর্পণ : কোনো দর্পণের প্রতিফলন তল যদি কোনো গোলকের অংশবিশেষ হয় বা গোলকীয় হয় তবে তাকে গোলকীয় দর্পণ বলে।

লেন্সের ক্ষমতা : কোনো লেন্স দ্বারা আলোক রশ্মিগুচ্ছের অভিসারিতা বা অপসারিতা উৎপাদনের সামর্থ্যকে তার ক্ষমতা বলে। কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্বের বিপরীত সংখ্যাকে তার ক্ষমতা বলা হয়।

লেন্সের ক্ষমতার একক : লেন্সের একক ডায়াপটার। লেন্সের ফোকাস দূরত্বকে মিটারে প্রকাশ করে তার বিপরীত রাশি নিলে ডায়াপটারে লেন্সের ক্ষমতা পাওয়া যায়।

বীক্ষণ যন্ত্র : দূরের বস্তুকে কাছে দেখার জন্য এবং কাছের ক্ষুদ্র বস্তুকে বড় করে দেখার জন্য যে সব যন্ত্র ব্যবহার করা হয় সেগুলোকে বীক্ষণযন্ত্র বলে।

বীক্ষণ কোণ বা দৃষ্টি কোণ : একটি বস্তু চোখে যে কোণ উৎপন্ন করে তাকে বীক্ষণ কোণ বা দৃষ্টি কোণ বলে।

কৌণিক বিবর্ধন : বীক্ষণ যন্ত্রে বস্তু এবং প্রতিবিম্ব চোখে যে কোণ উৎপন্ন করে তাদের অনুপাতকে কৌণিক বিবর্ধন বা সংক্ষেপে বিবর্ধন বলে।

অণুবীক্ষণ যন্ত্র : যে আলোক যন্ত্রের সাহায্যে নিকটবর্তী অতি ক্ষুদ্র বস্তুর খুঁটিনাটি প্রতিবিম্বের মাধ্যমে বর্ধিত করে দেখা যায় তাকে অণুবীক্ষণ যন্ত্র বলে।

দূরবীক্ষণ যন্ত্র : দূরের বস্তুকে ভালোভাবে পর্যবেক্ষণের জন্য যে আলোক যন্ত্র ব্যবহার হয় তাকে দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে।

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র : চন্দ্র, সূর্য, গ্রহ, নক্ষত্র প্রভৃতি নভোমণ্ডলীয় বস্তু পর্যবেক্ষণে যে দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাকে নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে।

প্রিজম : তিনটি পরস্পরচ্ছেদী সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ একটি স্বচ্ছ সমসত্ত্ব মাধ্যমকে প্রিজম বলে।

প্রিজমের প্রতিসরণ তল : প্রিজমের যে তল দিয়ে আলোক রশ্মি প্রবেশ করে এবং যে তল দিয়ে আলোক রশ্মি বের হয় তাদেরকে প্রিজমের প্রতিসরণ তল বলে।

প্রিজমের শীর্ষ : প্রিজমের তলদ্বয় যে রেখায় ছেদ করে তাকে প্রিজমের শীর্ষ বলে।

প্রিজম কোণ : প্রতিসরণ তলদ্বয়ের মধ্যবর্তী কোণকে প্রিজম কোণ বা প্রতিসরণ কোণ বলে।

প্রিজমের ভূমি : প্রিজম কোণের বিপরীত তলকে প্রিজমের ভূমি বলে।

বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি : প্রিজমে আপতিত রশ্মিকে সামনের দিকে এবং নির্গত রশ্মিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে এদের অন্তর্ভুক্ত কোণকে বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি বলে।

ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ : প্রিজমে আপতিত রশ্মির আপতন কোণের একটি নির্দিষ্ট মানের জন্য বিচ্যুতি কোণের মান সর্বনিম্ন হয়। বিচ্যুতি কোণের এই সর্বনিম্ন মানকেই ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ বলে।

বিচ্ছুরণ : সাদা আলোক রশ্মি প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণের ফলে সাতটি মূল বর্ণের আলোকে বিভক্ত হওয়াকে আলোর বিচ্ছুরণ বলে।

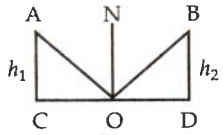
বর্ণালি : বিচ্ছুরণের ফলে মূল বর্ণসমূহের যে সজ্জা পাওয়া যায় তাকে বর্ণালি বলে।

বিচ্ছুরণ ক্ষমতা : কোনো একটি স্বচ্ছ মাধ্যম কর্তৃক সৃষ্ট বর্ণালিতে দুই অন্তিম রশ্মির কৌণিক বিচ্যুতির পার্থক্য এবং মধ্য বা গড় রশ্মির কৌণিক বিচ্যুতির অনুপাতকে উক্ত মাধ্যমের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বলে।

একবর্ণী আলো : যে আলোক রশ্মির একটি মাত্র তরঙ্গদৈর্ঘ্য থাকে তাকে একবর্ণী আলো বলে।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। ফার্মাটের নীতির সাহায্যে আলোর সরলরৈখিক গতি নির্ণয় করা যায়। চরম বা অবম দৈর্ঘ্যের পথের নীতি হলো ফার্মাট নীতি।

২। 

চিত্র অনুযায়ী ফার্মাটের নীতির সাহায্যে সময় $t=\sqrt{\frac{x_1^2+h_2^2}{v}}$

৩। ওপরের চিত্রে ফার্মাটের নীতি অনুযায়ী প্রযোজ্য $\frac{dt}{dx}=0$.

৪। লেন্স প্রস্তুতকারকের সমীকরণ হলো $\frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$.

৫। গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র হলো প্রতিসরণ দূরবীক্ষণ যন্ত্র। গ্যালিলিও জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের আবিষ্কারক।

৬। একটি জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের বিবর্ধন যথাক্রমে m_1 এবং m_2.

৭। তুল্য লেন্সের দ্বারা সৃষ্ট প্রতিবিম্ব সোজা ও সমান দেখায়।

৮। একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f। উত্তল লেন্সটি n গুণ বিবর্ধিত সদ প্রতিবিম্ব গঠন করলে বস্তুর দূরত্ব হবে $\frac{(n+1)f}{n}$.

৯। প্রতিসরাঙ্ক বেশি হলে আলো কম বেগে চলে। কোয়ার্টজ হলো দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যম।

১০। আলোর বিভিন্ন বর্ণের কারণ হলো—তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য।

১১। আলো ঘনতর মাধ্যম থেকে হালকা মাধ্যমে প্রবেশ করলে বেগ বেশি হয়।

১২। লাল আলোর বেগ বেগুনি আলোর বেগের চেয়ে 1·8 গুণ বেশি।

১৩। বেগুনি রঙের আলোর জন্য নির্দিষ্ট মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের মান সবচেয়ে বেশি হয়।

১৪। স্বাভাবিক ফোকাসিং-এর জন্য টেলিস্কোপে বিবর্ধনের মান $\frac{f_0}{f_e}\left(1+\frac{f_e}{D}\right)$।

১৫। 1·5 প্রতিসরাঙ্কের উত্তল লেন্সের উভয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ সমান হলে $f=r$ হয়।

১৬। লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও বক্রতার ব্যাসার্ধের মধ্যে সম্পর্ক হলো $f=\frac{r}{2}$।

১৭। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে 2 বার প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিনেত্রে সৃষ্ট প্রতিবিম্ব অবাস্তব ও বিবর্ধিত হয়।

১৮। বেতার তরঙ্গ পর্যবেক্ষণের জন্য ব্যবহৃত হয় রেডিও টেলিস্কোপ।

১৯। কোনো নির্দিষ্ট সময়ে μ প্রতিসরাঙ্কের কোনো মাধ্যমের ভেতর দিয়ে x দূরত্ব অতিক্রম করলে আলোকীয় পথ হবে μx।

২০। প্রতিফলক টেলিস্কোপের ক্ষেত্রে বর্ণ ত্রুটি বা গোলকীয় ত্রুটি থাকে না।

২১। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন বাড়ানোর জন্য যা কারণীয়—(i) অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব কমাতে হবে (ii) লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব কমাতে হবে (iii) অভিলক্ষ্য দ্বারা সৃষ্ট বিম্বের দূরত্ব বাড়াতে হবে।

২২। আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণ সূত্র প্রতিপাদন করা যায় (i) ফার্মাটের নীতির সাহায্যে (ii) হাইগেনস-এর নীতির সাহায্যে।

২৩। প্রতিসরাঙ্কের মান নির্ভর করে (i) স্বচ্ছ মাধ্যম দুটির প্রকৃতির ওপর, (ii) আলোক রশ্মির বর্ণের ওপর।

২৪। মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের পরিবর্তন হলে প্রতিবিম্বের পরিবর্তন হয়।

২৫। বাস্তব বিম্ব গঠিত হয় অবতল দর্পণে এবং উত্তল লেন্সে। আর অবাস্তব বিম্ব গঠিত হয় উত্তল দর্পণে, সমতল দর্পণে এবং অবতল লেন্সে।

২৬। অবাস্তব প্রতিবিম্ব—পর্দায় ফেলা যায় না, চোখে দেখা যায়।

২৭। নিউটনের দূরবীক্ষণ যন্ত্রে সমতল দর্পণ অবতল দর্পণের অক্ষের সাথে 45° কোণে আনত থাকে।

২৮। টেলিস্কোপে স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং-এ অভিলক্ষ্য ঘাত সৃষ্ট বিম্ব—(i) অভিলক্ষ্যের ফোকাস তলে গঠিত হয়, (ii) অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্বের মধ্যে গঠিত হয়।

২৯। নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রে স্বাভাবিক ফোকাসিং-এর জন্য নলের দৈর্ঘ্য হবে অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্বদ্বয়ের যোগফল।

৩০। একটি লেন্সকে পানির মধ্যে রাখলে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব বৃদ্ধি পায়।

৩১। লাল বর্ণের আলোর বিচ্যুতি সর্বনিম্ন।

৩২। সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন, $m=\frac{v}{u}$, $m=1+\frac{D}{f}$, $m=1\pm\frac{D-a}{f}$.

৩৩। লেন্সের ক্ষমতার মাত্রা L^{-1}।

৩৪। পাতলা প্রিজমের ক্ষেত্রে $\delta = A(\mu - 1)$ প্রযোজ্য।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। কোন বর্ণের রশ্মিকে মধ্যরশ্মি বলা হয়।
[ঢা. বো. ২০১৭; কু. বো. ২০১৬; সি. বো. ২০১৭, ২০১৬]

ক সবুজ
খ নীল
গ হলুদ
ঘ আসমানি

২। কোন রং এর বিচ্যুতি সবচেয়ে বেশি ?
[কু. বো. ২০১৭; চ. বো. ২০১৬; ব. বো. ২০১৬ Medical Admission Test, 2017-18; Admission Test : IU 2019-20; DU (HEC) 2020-21]

ক হলুদ
খ লাল
গ বেগুনি
ঘ কমলা

৩। সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে কী ধরনের প্রতিবিম্ব গঠিত হয়? [BSMRSTU Admission Test, 2016017]

ক সোজা ও খর্বিত
খ সোজা ও বিবর্ধিত
গ উল্টো ও বিবর্ধিত
ঘ উল্টো ও খর্বিত

[DAT: 22-23]

৪। সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধনের রাশি কোনটি ?

ক $m=\frac{v}{u}$
খ $m=1+\frac{D}{f}$
গ $m=1+\frac{D-a}{f}$
ঘ সবকটি

৫। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে গঠিত চূড়ান্ত বিম্ব কী রকম হয়? [য. বো. ২০১৫; JKKNIU Admission Test, 2019-20]

ক উল্টো ও খর্বিত
খ সোজা ও বিবর্ধিত
গ উল্টো ও বিবর্ধিত
ঘ সোজা ও খর্বিত

৬। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে অভিনেত্র—
(i) চূড়ান্ত বিম্ব তৈরি করে
(ii) প্রাথমিক বিম্ব তৈরি করে
(iii) অসদ বিম্ব তৈরি করে
নিচের কোনটি সঠিক?

ক i
খ iii
গ i ও iii
ঘ i, ii ও iii

৭। যখন সাদা আলো প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরিত হয় আলোর বিচ্যুতি—
[DU Admission Test, 2002-03]

ক নীল অপেক্ষা লালের জন্য বেশি
খ হলুদ অপেক্ষা বেগুনির জন্য বেশি
গ লালের চেয়ে সবুজের জন্য কম
ঘ কমলার চেয়ে বেগুনির জন্য কম

৮। নভোবীক্ষণ যন্ত্রে গঠিত চূড়ান্ত বিম্ব কী রকম হয়?
[BSMRSTU Admission Test, 2017-18]

ক সোজা ও খর্বিত
খ সোজা ও বিবর্ধিত
গ উল্টো ও খর্বিত
ঘ উল্টো ও বিবর্ধিত

৯। একটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে ব্যবহৃত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 0·15 m। স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব 0·25 m হলে ওই যন্ত্রের বিবর্ধন কত ?
[Admission Test : IUST-C 2017-18; IU-E 2017-18; JUST 2017-18; BRU 2016-17, 2014-15]

ক 1·5
খ 2·667
গ 1·667
ঘ 1·65

একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·5 m ও 0·05 m। ১০নং ও ১১নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [রা. বো. ২০১৯; য. বো. ২০১৯; চ. বো. ২০১৭]

১০। যন্ত্রটির বিবর্ধন কত ? [Admission Test : JU 2019-20; CU 2017-18 (মান ভিন্ন)]

ক 10
খ 12
গ 16
ঘ 20

১১। যন্ত্রটির নলের দৈর্ঘ্য কত ? [চ. বো. ২০১৫; Admission Test : BRU 2017-18 (মান ভিন্ন); CKRUET 2020-21 (মান ভিন্ন); JU 2020-21 (মান ভিন্ন)]

ক 0·60 m
খ 0·50 m
গ 0·55 m
ঘ 0·64 m

১২। নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রে স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে বিবর্ধন—

ক $m = \frac{f_e}{f_0}$
খ $m = \frac{f_0}{f_e}$
গ $m = \frac{f_0}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right)$
ঘ $m = \frac{f_e}{f_0}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right)$

১৩। দূরবীক্ষণ যন্ত্রে ব্যবহার করা হয়— [JU Admission Test, 2017-18]

ক উত্তল লেন্স
খ উভোত্তল লেন্স
গ অবতল লেন্স
ঘ উভাবতল লেন্স

১৪। একটি নভোবীক্ষণের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 200 cm এবং 10 cm। যন্ত্রটি দিয়ে স্বাভাবিক চোখে চাঁদকে পর্যবেক্ষণ করার সময় লেন্স দুটির মধ্যে দূরত্ব হবে— [JU Admission Test, 2019-20 (মান ভিন্ন)]

ক 190 cm
খ 210 cm
গ 20 cm
ঘ 1000 cm

১৫। কোনটি বিচ্ছুরক মাধ্যম নয় ? [RU-G4 Admission Test, 2017-18]

ক পানি
খ কাচ
গ গ্লিসারিন
ঘ বায়ু

১৬। যে দুটি আলোর জন্য কৌণিক বিচ্ছুরণ সর্বাধিক তা হলো— [MAT: 23-24]

ক সবুজ ও লাল
খ লাল ও নীল
গ হলুদ ও সবুজ
ঘ নীল ও কমলা

১৭। দুটি বর্ণের আলোক রশ্মির জন্য একটি প্রিজমের উপাদানের নিম্নতম বিচ্যুতি অবস্থানে— [ব. বো. ২০১৯; ঢা. বো. ২০১৭; সি. বো. ২০১৫; দি. বো. ২০১৫; MBSTU Admission Test, 2019-20]

(i) $\delta_m = 2i_1 - A$
(ii) $r_1 = r_2$
(iii) $i_1 = i_2$

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

১৯। একটি প্রিজমের প্রিজম কোণ এবং ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ যথাক্রমে 60° ও 30°। প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক কত ? [দি. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন); রা. বো. ২০১৫; Admission Test : SUST, 2016-17; BRU 2019-20; CU 2018-19]

ক 1·45
খ 1·53
গ 1·41
ঘ 1·23

২০। প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক নির্ভর করে— [য. বো. ২০১৬; দি. বো. ২০১৬]

(i) আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য
(ii) আলোর বর্ণ
(iii) প্রিজম কোণ

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

২১। যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে বেশি বিবর্ধন পেতে হলে—

ক অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব বেশি হবে এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব কম হবে
খ অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব কম হবে এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব বেশি হবে
গ অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র উভয়ের ফোকাস দূরত্ব বেশি হবে
ঘ অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র উভয়ের ফোকাস দূরত্ব কম হবে

২২। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন ক্ষমতা 100। এর অভিনেত্র দ্বারা বিবর্ধন 5 হলে অভিলক্ষ্য দ্বারা বিবর্ধন কত ?

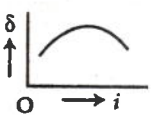
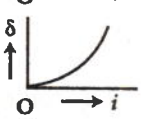
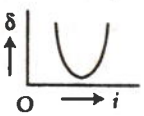
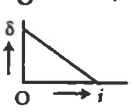
ক 40
খ 30
গ 20
ঘ 10

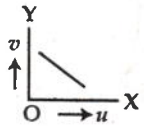
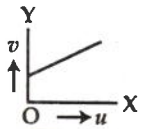
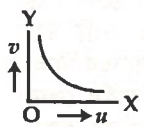
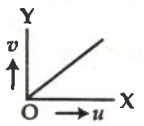
২৩। একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের স্বাভাবিক ফোকাসিং এর ক্ষেত্রে চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব গঠিত হয়—
ক অভিনেত্রের ফোকাসে
খ স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে
গ অভিলক্ষ্যের ফোকাসে
ঘ অসীমে

২৪। একটি নভো-দূরবীক্ষণের লেন্স দুটির ক্ষমতা 0·5 D এবং 20 D। যন্ত্রটির বিবর্ধন ক্ষমতা হবে—
[Admission Test : RU-G 2017-18; BRU 2019-20; MBSTU 2017-18; JU 2018-19]
ক 8
খ 20
গ 30
ঘ 40

২৫। কাচের মধ্য দিয়ে বিভিন্ন বর্ণের আলো পরিভ্রমণ করলে কোন বর্ণের আলোর বেগ বেশি হবে ?
[Admission Test : RU-H 2017-18; BRU 2019-20]
ক লাল
খ নীল
গ হলুদ
ঘ বেগুনি

২৬। একটি সমবাহু প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$ হলে এর ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ কত ? [দি. বো. ২০১৬; Admission Test : JSTU 2019-20 (মান ভিন্ন); JU 2018-19; Agri (cluster) সেট-A 2020-21]
ক 15°
খ 30°
গ 45°
ঘ 60°

২৭। প্রিজমে $i \sim \delta$ লেখচিত্র নিচের কোনটি ?
[রা. বো. ২০১৫]
ক 
খ 
গ 
ঘ 

২৮। উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে কোন লেখচিত্রটি সঠিক ? [ব. বো. ২০১৫]
ক 
খ 
গ 
ঘ 

২৯। প্রিজমের ক্ষেত্রে— [ঢা. বো. ২০১৬]
(i) $\delta = (r_1 + r_2) - (i_1 + i_2)$
(ii) $A = r_1 + r_2$
(iii) $\delta = (i_1 + i_2) - A$
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৩০। সূর্যের আলোর বিচ্ছুরণে কোন রঙটি থাকে না ? [ঢা. বো. ২০১৬]
ক লাল
খ কমলা
গ বেগুনি
ঘ কালো

৩১। সরু প্রিজমের ক্ষেত্রে কোনটি সঠিক? [রা. বো. ২০১৬]
ক $\delta = (i_1 + i_2) - A$
খ $\delta = A(\mu - 1)$
গ $\delta = \mu(A - 1)$
ঘ $\delta = A(1 - \mu)$

৩২। পানি ও কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে $\frac{4}{3}$ ও $\frac{3}{2}$। পানি ও কাচে আলোর বেগের অনুপাত কত ? [রা. বো. ২০১৬]
ক 3 : 2
খ 4 : 3
গ 8 : 9
ঘ 9 : 8

৩৩। [রা. বো. ২০১৬]

লেন্সটি কী নামে পরিচিত ?

ক উত্তল তল
খ উভোত্তল
গ অবতলোত্তল
ঘ সমতলোত্তল

উদ্দীপকের আলোকে ৩৪নং ও ৩৫নং প্রশ্নের উত্তর দাও : শিলা 9 cm ফোকাস দূরত্বের একটি উত্তল লেন্সের সামনে বস্তু রেখে 3 গুণ বিবর্ধিত অবাস্তব বিম্ব পেল। পরবর্তীতে সে লেন্সটিকে পূর্বের লেন্সের অর্ধেক ফোকাস দূরত্বের অপর একটি উত্তল লেন্স দ্বারা প্রতিস্থাপন করল। [য. বো. ২০১৬]

৩৪। লেন্স থেকে বস্তুর দূরত্ব কত ?

ক 6 cm
খ 8 cm
গ 10 cm
ঘ 12 cm

৩৫। লেন্সটি প্রতিস্থাপনের ফলে সে কী ধরনের বিম্ব দেখতে পেল ?

ক বিবর্ধন অপরিবর্তিত, বাস্তব বিম্ব
খ বিবর্ধন বিবর্ধিত, অবাস্তব বিম্ব
গ বিবর্ধন খর্বিত, অবাস্তব বিম্ব
ঘ বিবর্ধন পরিবর্তিত, বাস্তব বিম্ব

৩৬। 6 cm লম্বা একটি বস্তুকে 16 cm ফোকাস দূরত্বের একটি উত্তল লেন্স থেকে 12 cm দূরে স্থাপন করা হলো। এক্ষেত্রে— [চ. বো. ২০১৬]

(i) বস্তু যে পার্শ্বে অবস্থিত বিম্বটি সে পার্শ্বে গঠিত হবে
(ii) বিম্বের আকার 24 cm হবে
(iii) বিম্ব বাস্তব ও উল্টো হবে

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৩৭। পুকুরের পানির ভেতর মাছকে কিছুটা ওপরে দেখা যাওয়ার কারণ আলোর কোন ঘটনা ?

[ব. বো. ২০১৬; BDS Admission Test, 2017-18]

ক প্রতিফলন
খ প্রতিসরণ
গ অপবর্তন
ঘ সমবর্তন

৩৮। একটি আঁতশী কাচের লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 0·2 cm এবং বিবর্ধন 2·60 হলে ন্যূনতম কত দূরত্বে বই রেখে স্পষ্টভাবে পড়া সম্ভব হবে ? [ব. বো. ২০১৬]

ক 0·16
খ 0·32
গ 0·52
ঘ 0·64

৩৯। ফার্মাটের নীতির সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়— [রা. বো. ২০১৯; ব. বো. ২০১৯, ২০১৬]

(i) আলোর সরলরৈখিক গতি
(ii) আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণ
(iii) আলোর অপবর্তন ও সমবর্তন

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

নিচের উদ্দীপকের আলোকে ৪০নং ও ৪১নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [ঢা. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০১৬]

একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 12 cm। লেন্সটির প্রধান অক্ষের ওপর একটি বস্তু রাখা হলে বস্তুর আকারের তিনগুণ বিবর্ধিত বিম্ব পাওয়া যায়।

৪০। বস্তুর দূরত্ব কত ?

ক 8 cm
খ 9 cm
গ 16 cm
ঘ 18 cm

৪১। উদ্দীপকের লেন্সটিতে—

(i) সর্বদাই বাস্তব বিম্ব পাওয়া যায়
(ii) বাস্তব ও অবাস্তব উভয় বিম্ব পাওয়া যায়
(iii) কেবল বস্তুর দূরত্ব ফোকাস দূরত্বের কম হলে অবাস্তব বিম্ব পাওয়া যায়

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii
খ ii ও iii
গ i ও iii
ঘ i, ii ও iii

৪২। অপটিক্যাল টেলিস্কোপে বস্তুর প্রতিবিম্ব হয়— [সি. বো. ২০১৬; Admission Test : BRU 2019-20; KU 2018-19]

ক অত্যন্ত বিবর্ধিত
খ খর্বিত
গ বস্তুর সমান
ঘ বিবর্ধিত

৪৩। বায়ু সাপেক্ষে পানি ও কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে $\frac{4}{3}$ এবং $\frac{3}{2}$ হলে কাচ সাপেক্ষে পানির প্রতিসরাঙ্ক কত হবে ? [সি. বো. ২০১৬; Admission Test : JU 2019-20; SAU 2018-19]

ক $\frac{3}{2}$
খ 2
গ $\frac{8}{9}$
ঘ $\frac{9}{8}$

৪৪। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্র কয়টি উত্তল লেন্স দ্বারা গঠিত? [দি. বো. ২০১৬]

ক 1
খ 2
গ 3
ঘ 4

৪৫। +2·0 D ক্ষমতার একটি লেন্সের ফোকাস দূরত্ব কত? [দি. বো. ২০১৬; Medical Admission Test, 2015-16; RU Admission Test, 2019-20 (মান ভিন্ন)]

ক −0·2 m
খ +0·2 m
গ +0·5 m
ঘ −0·5 m

৪৬। একটি জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের বিবর্ধনের পরিমাণ যথাক্রমে m_1 এবং m_2 হলে যন্ত্রটির মোট বিবর্ধন কী ? [চ. বো. ২০১৬ J.U. Admission Test, 2017-18]

ক $M = m_1 \times m_2$
খ $M = m_1 + m_2$
গ $M = \frac{m_1}{m_2}$
ঘ কোনোটিই নয়

৪৭। নিচের কোনটি লেন্স প্রস্তুতকারক সমীকরণ ? [চ. বো. ২০১৫]

ক $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$
খ $\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$
গ $\frac{\mu}{v} + \frac{1}{u} = \frac{\mu - 1}{r}$
ঘ $m = \frac{v}{u}\left(1 + \frac{D}{f}\right)$

৪৮। f ফোকাস দূরত্বের দুটি উত্তল লেন্স পরস্পর সংস্পর্শে রাখলে তুল্য ফোকাস দূরত্ব হবে— [য. বো. ২০১৫; DU Admission Test, 2017-18]

ক শূন্য
খ $\frac{f}{2}$
গ f
ঘ $2f$

৪৯। অভিলক্ষের ফোকাস দূরত্ব বাড়ালে— [কু. বো. ২০১৫]

ক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন বাড়বে, দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন কমবে
খ অণুবীক্ষণ ও দূরবীক্ষণ যন্ত্র উভয়ের ক্ষেত্রে বিবর্ধন কমবে
গ অণুবীক্ষণ ও দূরবীক্ষণ যন্ত্র উভয়ের ক্ষেত্রে বিবর্ধন বাড়বে
ঘ অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন কমবে, দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন বাড়বে

৫০। প্রতিসরণ দূরবীক্ষণ যন্ত্র কোনটি ? [দি. বো. ২০১৫]

ক নিউটনের দূরবীক্ষণ যন্ত্র
খ গ্রেগরির দূরবীক্ষণ যন্ত্র
গ গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র
ঘ হার্সেলের দূরবীক্ষণ যন্ত্র

৫১। প্রতিফলক টেলিস্কোপের ক্ষেত্রে— [কু. বো. ২০১৫]

(i) বর্ণ ত্রুটি থাকে না
(ii) গোলীয় ত্রুটি থাকে না
(iii) অবতল লেন্স অভিলক্ষ্য হিসেবে কাজ করে

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

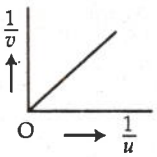
৫২। স্পষ্ট দর্শনের নিকট বিন্দুতে ফোকাসকৃত একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিনেত্রে চোখ রেখে কোনো বস্তুকে দেখলে— [ব. বো. ২০১৬]

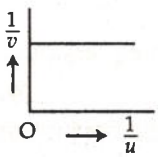
(i) বিম্ব দূরে দেখা যাবে
(ii) বিম্ব বিবর্ধিত দেখা যাবে
(iii) বিম্ব উল্টো দেখা যাবে

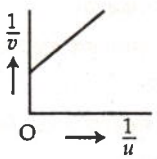
নিচের কোনটি সঠিক ?

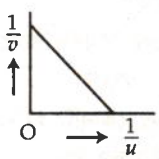
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৫৩। $\frac{1}{u} \sim \frac{1}{v}$ লেখচিত্র কীরূপ হবে ? [কু. বো. ২০১৬; ঢা. বো. ২০১৫]

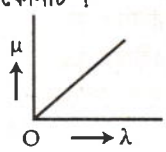
ক 

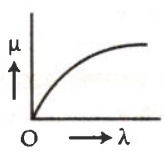
খ 

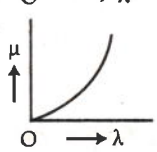
গ 

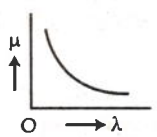
ঘ 

৫৪। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সাথে প্রতিসরাঙ্কের লেখচিত্র নিচের কোনটি ?

ক 

খ 

গ 

ঘ 

৫৫। পানি ও কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·33 ও 1·52 হলে, কাচে আলোর দ্রুতি কত ? পানিতে আলোর দ্রুতি $2·28 \times 10^8$ cms^{-1} [কু. বো. ২০১৬; ঢা. বো. ২০১৫]

ক $1·52 \times 10^8$ ms^{-1}
খ $2·61 \times 10^8$ ms^{-1}
গ $2·02 \times 10^8$ ms^{-1}
ঘ $1·99 \times 10^8$ ms^{-1}

৫৬। নভো-দূরবীক্ষণ নলের দৈর্ঘ্য হলো— [ঢা. বো. ২০১৫]

(i) $L = f_0 + f_e$
(ii) $L = f_0 + u_e$
(iii) $L = v_0 + h_e$

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

উদ্দীপকটি পড় এবং ৫৭নং ও ৫৮নং প্রশ্নের উত্তর দাও :

একজন হস্তরেখাবিদ হাতের রেখা পরীক্ষা করার জন্য যে লেন্সটি ব্যবহার করেন তার ফোকাস দূরত্ব 12·5 cm। তিনি একজন লোকের হাতের রেখা দেখার জন্য হাতটিকে লেন্স হতে একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে রাখলেন এবং স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে বিবর্ধিত বিম্ব পেলেন। [রা. বো. ২০১৫; ব. বো. ২০১৫]

৫৭। হস্তরেখাবিদ লেন্সটির সাহায্যে কতগুণ বিবর্ধিত বিম্ব পেয়েছিলেন ?

ক 0·5
খ 1·5
গ 2
ঘ 3

৫৮। উক্ত যন্ত্রটির সাহায্যে পূর্বের অবস্থানে 2·5 গুণ বিবর্ধিত বিম্ব পেতে হলে লেন্সটিকে পূর্বের অবস্থান থেকে কত দূরে সরাতে হবে ?

ক 2·5 cm
খ 6·25 cm
গ 16·66 cm
ঘ 20 cm

৫৯। সমোত্তল ও সমাবতল লেন্সে আলোক কেন্দ্রের অবস্থান কোথায় ? [Medical Admission Test, 2013-14]

ক লেন্সের ভেতর
খ বক্রতলের মেরুতে
গ লেন্সের বাইরে
ঘ লেন্সের ভেতরে মধ্য বিন্দুতে

৬০। অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বেলায় কোন উক্তিটি সঠিক নয় ? [Medical Admission Test, 1998-99]

ক নিকটবর্তী অতিক্ষুদ্র বস্তু পর্যবেক্ষণের কাজে ব্যবহৃত হয়
খ অভিনেত্রের সাপেক্ষে অভিলক্ষ্য লেন্সের উন্মেষ ও ফোকাস দূরত্ব ছোট হয়
গ অভিলক্ষ্যে লক্ষ বস্তুর প্রতিবিম্ব তার ফোকাস দুরত্ব ছোট হয়
ঘ চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব লক্ষ্য বস্তুর সাপেক্ষে উল্টো হয়

৬১। একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের সর্বনিম্ন বিবর্ধন ক্ষমতা M, যদি নলের ফোকাস দূরত্ব দ্বিগুণ করা হয়, তবে বিবর্ধন ক্ষমতা হবে—
[Medical Admission Test, 2014-15]
ক 2m
খ $\frac{m}{2}$
গ $\sqrt{2}$ m
ঘ 3m

৬২। প্রতিসরাঙ্ক $\mu > 1$ হলে— [সকল. বো. ২০১৮]
(i) আলোক রশ্মি ঘন মাধ্যম হতে হালকা মাধ্যমে যায়
(ii) আলোক রশ্মি হালকা মাধ্যম হতে ঘন মাধ্যমে যায়
(iii) আপতন কোণ প্রতিসরণ কোণ অপেক্ষা বড় হবে
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৬৩। একটি টেলিস্কোপের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 4 m ও 80 cm। অসীম ফোকাসিং এর ক্ষেত্রে বিবর্ধন কত ?
[সি. বো. ২০১৭; JU Admission Test, 2019-20]
ক 4·8
খ 5
গ 6·56
ঘ 2

৬৪। অবতল দর্পণের বক্রতার কেন্দ্রের বাহিরে বস্তু স্থাপন করলে প্রতিবিম্ব সর্বদা হবে–
[BUET Admission Test, 2010-11]
ক বাস্তব, সোজা ও খর্বিত
খ অবাস্তব, সোজা ও বিবর্ধিত
গ অবাস্তব, উল্টা ও খর্বিত
ঘ বাস্তব, উল্টা ও খর্বিত

৬৫। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের দূরত্ব যথাক্রমে 2·5 cm এবং 5·6 cm স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্বে গঠিত কোনো লক্ষ্যবস্তুর চূড়ান্ত বিম্বকে 6·25 cm লম্বা মনে হলো। বস্তুটির আসল দৈর্ঘ্য কত? যন্ত্রের নলের দৈর্ঘ্য 25 cm.
[KUET Admission Test, 2017-18]
ক 0·16 cm
খ 0·13 cm
গ 1·1 cm
ঘ 0·22 cm
ঙ 1·8 cm

৬৬। বায়ুর সাপেক্ষে কাচের সংকট কোণ 42° এবং বায়ুর সাপেক্ষে পানির সংকট কোণ 48° হলে, পানির সাপেক্ষে কাচের সংকট কোণ কত?
[Admission Test : KUET 2015-16; RU 2012-13]
ক 64·4°
খ 62·2°
গ 55·8°
ঘ 66°12′
ঙ 63°58′

৬৭। কোনো যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব 10 cm এবং 15 cm যদি অভিলক্ষ্য থেকে বাস্তব প্রতিবিম্বের দূরত্ব 50 cm হয় এবং অভিনেত্র থেকে অবাস্তব প্রতিবিম্বের দূরত্ব 60 cm হয়, তবে ওই অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন কত?
[KUET Admission Test, 2016-17]
ক 10
খ 15
গ 20
ঘ 50
ঙ 60

৬৮। একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·02 এবং 0·07 m। তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·20 m। অভিলক্ষ্যের সামনে কত দূরে কোনো বস্তু স্থাপন করলে অভিনেত্র হতে 0·25 m দূরে তার প্রতিবিম্ব দেখা যাবে? [CUET Admission Test, 2015-16]
ক 2·5 cm
খ 2·3 m
গ 0·023 cm
ঘ 0·023 m

৬৯। একটি প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$ এবং এর ভেতর হতে নির্গত আলোক রশ্মির ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ 30° হলে প্রিজম কোণ নির্ণয় কর।
[RUET Admission Test, 2015-16]
ক 60°
খ 65°
গ 55°
ঘ 50°
ঙ 45°

৭০। একটি অবতল দর্পণের ফোকাস দূরত্ব 20 cm। দর্পণটি হতে কত দূরে একটি বস্তু স্থাপন করলে চারগুণ আকারের একটি বাস্তব প্রতিবিম্ব পাওয়া যাবে? [Admission Test : RUET 2015-16; BRU 2019-20]
ক 20 cm
খ 25 cm
গ 15 cm
ঘ 30 cm
ঙ None

৭১। একটি দীর্ঘ দৃষ্টিসম্পন্ন ব্যক্তির স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্ব 50 cm। তিনি 2·5 D ক্ষমতার চশমা ব্যবহার করেন। এতে তার স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্ব কতটুকু হ্রাস পাবে?
[RUET Admission Test, 2014-15]
ক 28·78 cm
খ 29·78 cm
গ 22·22 cm
ঘ 27·78 cm

৭২। একটি লেন্সের ফোকাস দূরত্ব বাতাসে 25 cm এবং এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 3/2। একে 4/3 প্রতিসরাঙ্কের পানিতে ডুবালে এর ফোকাস দূরত্ব কত cm হবে?
[SUST Admission Test, 2016-17]
ক 75
খ 85
গ 100
ঘ 115
ঙ 125

৭৩। অপটিক্যাল ফাইবার কোন পদ্ধতিতে কাজ করে?
[Admission Test : SUST 2016-17; KU 2012-13; BHEC 2017-18]
ক আলোকের প্রতিফলন
খ আলোকের প্রতিসরণ
গ আলোকের পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন
ঘ আলোর ব্যতিচার

৭৪। একটি বিবর্ধক কাচ নিম্নোক্ত কোন বিম্বটি গঠন করে? [SUST-B Admission Test, 2017-18]
ক সোজা ও খর্বিত
খ সোজা ও সমান আকারের
গ উল্টো ও বিবর্ধিত
ঘ সোজা ও বিবর্ধিত

৭৫। একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 1000 cm হলে, লেন্সটির ক্ষমতা হবে— [MAT: 24-25]
[Admission Test : DU-A 2016-17; Com.U 2019-20; DU (প্রযুক্তি) 2020-21]
ক 100 D
খ 1/100 D
গ 1/10 D
ঘ 1 D

৭৬। বায়ু থেকে অন্য কোনো মাধ্যমের ভেতর একটি আলোক রশ্মি প্রবেশের পর তার গতি 15% হ্রাস পায়। ওই মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক কত?
[DU Admission Test, 2006-07]
ক 1·5
খ 1·33
গ 1·61
ঘ 1·18

৭৭। একটি জলাশয়ে এর প্রকৃত গভীরতা 6m। যদি পানির প্রতিসরাঙ্ক 4/3 হয় তবে এর আপাত গভীরতা কত?
[JnU-A Admission Test, 2016-17; JU Admission Test, 2014-15; Agri (cluster) সেট-A 2020-21]
ক 4m
খ 5m
গ 4·5m
ঘ 5·5m

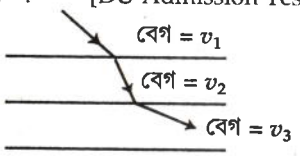
৭৮। আলো চলার পথে শক্তির অপচয় কম করে যে পথে চলে সে নীতিকে বলে—
[JU Admission Test, 2017-18]
ক হাইজেনবার্গ নীতি
খ পাউলীর বর্জন নীতি
গ ভরবেগ ভারসাম্য
ঘ ফার্মাটের নীতি

৭৯। একটি + 1·5D এবং — 3·5D ক্ষমতার দুটি উত্তল লেন্স পরস্পরের সংস্পর্শে রাখা হলো। সংযোগটির তুল্য ক্ষমতা— [JU Admission Test, 2017-18]
ক $-2D$
খ $2D$
গ $-\frac{1}{2}D$
ঘ $\frac{1}{2}D$

৮০। লাল, বেগুনি, সবুজ ও কমলা বর্ণের আলোর জন্য কোনো মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে μ_R, μ_V, μ_G ও μ_O হলে নিচের কোন সম্পর্কটি সঠিক ?
[ঢা. বো. ২০১৯]
ক $\mu_R > \mu_V > \mu_G > \mu_O$
খ $\mu_R < \mu_V < \mu_G < \mu_O$
গ $\mu_R > \mu_O > \mu_G > \mu_V$
ঘ $\mu_R < \mu_O < \mu_G < \mu_V$

৮১। আলোক রশ্মি পানি ($\mu_w = 1·33$) থেকে কাচে ($\mu_g = 1·5$) প্রবেশ করলে— [চ. বো. ২০১৯]
i. $i > r$
ii. ${}_g\mu_w < 1$
iii. $\frac{\sin i}{\sin r} < 1$
নিচের কোনটি সঠিক?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৮২। একটি আলোক রশ্মি চিত্রে প্রদর্শিত তিনটি মাধ্যম দিয়ে অতিক্রম করছে। বেগগুলোর কোন ক্রমটি সঠিক ? [DU Admission Test, 2018-19]



ⓚ $v_3 > v_1 > v_2$
ⓛ $v_3 > v_2 > v_1$
ⓜ $v_1 > v_2 > v_3$
ⓝ $v_1 > v_3 > v_2$

৮৩। h উচ্চতার একটি সুইমিং পুলের কত গভীরতা পর্যন্ত পানি দিয়ে পূর্ণ করলে মনে হবে যে তা অর্ধেক পূর্ণ হয়েছে।
[BUET Admission Test, 2011-12]

ⓚ $\frac{3}{4}h$
ⓛ $\frac{2}{3}h$
ⓜ $\frac{5}{7}h$
ⓝ $\frac{2}{5}h$

৮৪। একটি আলোক রশ্মি বায়ু থেকে কাচে (প্রতিসরাঙ্ক = 3/2) প্রবেশের সময় আংশিক প্রতিফলিত ও আংশিক প্রতিসরিত হয়। যদি আপতন কোণ 45° হয়, তবে প্রতিসরণ কোণ কত হবে?
[দি. বো. ২০১৯]

ⓚ $\sin^{-1}\left(\sqrt{\frac{2}{3}}\right)$
ⓛ $\sin^{-1}\left(\frac{\sqrt{2}}{3}\right)$
ⓜ $\sin^{-1}\left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)$
ⓝ $\sin^{-1}\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)$

৮৫। কোনো প্রিজমের ক্ষেত্রে A = 60° এবং δm = 45° হলে প্রতিসরাঙ্ক কত? [দি. বো. ২০১৯; BRU Admission Test, 2019-20]

ⓚ 1·51
ⓛ 1·58
ⓜ 1·6
ⓝ 1·62

৮৬। কোনো মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক কীসের ওপর নির্ভর করে না? [সি. বো. ২০১৯]

ⓚ মাধ্যমদ্বয়ের প্রকৃতি
ⓛ মাধ্যমের আলোকীয় ঘনত্ব
ⓜ আলোর বর্ণ
ⓝ আপতন কোণ

৮৭। ফার্মাটের নীতির সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়— [ব. বো. ২০১৯]

i. আলোর সরলরৈখিক গতি
ii. আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণ
iii. আলোর অপবর্তন ও সমবর্তন

নিচের কোনটি সঠিক?

ⓚ i ও ii
ⓛ i ও iii
ⓜ ii ও iii
ⓝ i, ii ও iii

৮৮। কোনো উভোত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 10 cm। লেন্সটি হতে কত দূরে বস্তু রাখলে বস্তুর অর্ধেক আকারের বিম্ব সৃষ্টি হবে? [কু. বো. ২০১৯]

ⓚ 10 cm
ⓛ 15 cm
ⓜ 20 cm
ⓝ 30 cm

৮৯। উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে যখন $\infty > u > 2f$ হয়, তখন কোনটি সত্য? [কু. বো. ২০১৯; IU Admission Test, 2019-20 (মান ভিন্ন)]

ⓚ $2f > v > f$
ⓛ $\infty > v > r$
ⓜ $v = f$
ⓝ $v = 2f$

নিচের উদ্দীপকের আলোকে ৯০ ও ৯১নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [ঢা. বো. ২০১৯]

4 cm ফোকাস দূরত্বের একটি উত্তল লেন্সের সামনে বস্তু স্থাপন করায় দ্বিগুণ বাস্তব বিম্ব গঠিত হয়।

৯০। বস্তুর দূরত্ব কত ?
[JUST Admission Test, 2017-18(মান ভিন্ন)]

ⓚ 6 cm
ⓛ 2 cm
ⓜ 0·375 cm
ⓝ 0·125 cm

৯১। উত্তল লেন্সটির সহিত দ্বিগুণ ফোকাস দূরত্বের অপর একটি উত্তল লেন্স স্থাপন করলে সর্বশেষ প্রতিবিম্ব—

ⓚ বাস্তব ও বিবর্ধিত
ⓛ বাস্তব ও খর্বিত
ⓜ অবাস্তব ও বিবর্ধিত
ⓝ অবাস্তব ও খর্বিত

৯২। লেন্সের বক্রতার কেন্দ্রদ্বয়ের সংযোজক সরলরেখাকে বলে— [চ. বো. ২০১৯]

ⓚ উন্মেষ
ⓛ প্রধান ছেদ
ⓜ ফোকাস দূরত্ব
ⓝ প্রধান অক্ষ

৯৩। কোন সম্পর্কটি সঠিক ? [য. বো. ২০১৯; CU-A Admission Test, 2020-21]

ⓚ ${}_a\mu_b = C_b/C_a$
ⓛ ${}_a\mu_b = C_a/C_b$
ⓜ ${}_a\mu_b = 1/{}_a\mu_b$
ⓝ ${}_a\mu_b = \mu_a/\mu_b$

৯৪। বেগুনি, নীল ও হলুদ রং এর তিনটি আলোর কম্পাঙ্ক যথাক্রমে υ_v, υ_b ও υ_y হলে নিচের কোনটি সঠিক? [চ. বো. ২০১৯]

ক $\upsilon_v > \upsilon_b > \upsilon_y$
খ $\upsilon_y > \upsilon_b > \upsilon_v$
গ $\upsilon_b > \upsilon_v > \upsilon_y$
ঘ $\upsilon_y > \upsilon_v > \upsilon_b$

৯৫। উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f এবং বস্তু দূরত্ব u-এর সম্পর্ক কীরূপ হলে সদ এবং বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠিত হবে ?

ক $f < u < 2f$
খ $u = 2f$
গ $u > 2f$
ঘ $u < f$

৯৬। একটি লেন্সের ক্ষমতা 1 dioptre হলে এর ফোকাস দৈর্ঘ্য কত ?

ক 1 cm
খ 1 m
গ -1 cm
ঘ -1 m

৯৭। 5° কোণবিশিষ্ট একটি প্রিজমের মধ্য দিয়ে সাদা আলো পাঠানো হলো। লাল ও নীল বর্ণের আলোর জন্য প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·641 এবং 1·659। ওই দুই বর্ণের কৌণিক বিচ্ছুরণ কত ?

ক 5°
খ 9°
গ 0·09°
ঘ 0·9°

৯৮। দুই বর্ণের আলোক রশ্মির জন্য একটি প্রিজম উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·66 ও 1·64। প্রিজমের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা কত ?

ক 0·02
খ 0·012
গ 0·01
ঘ 0·03

৯৯। একটি পাতলা প্রিজমের A = 6° এবং রশ্মির বিচ্যুতি 3°। প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক কত ?

[Admission Test : JU 2012-13; CU 2011-12 (মান ভিন্ন)]

ক 1
খ $\frac{4}{3}$
গ $\frac{3}{2}$
ঘ 2

১০০। একটি অবতল দর্পণের মেরু এবং ফোকাসের মধ্যখানে একটি বস্তু স্থাপন করলে বিবর্ধন কত হবে ?

ক 2
খ $\frac{1}{2}$
গ 1
ঘ $\frac{2}{3}$

১০১। উত্তল দর্পণের সামনে বস্তু রাখলে প্রতিবিম্ব সর্বদা—

ক সদ এবং বিবর্ধিত হয়
খ অসদ এবং আকারে ছোট হয়
গ সদ এবং আকারে ছোট হয়
ঘ অসদ এবং বিবর্ধিত হয়

১০২। একটি অবতল দর্পণ থেকে কত দূরত্বে বস্তু রাখলে প্রতিবিম্বের আকৃতি বস্তুর আকৃতির দ্বিগুণ হবে ? দর্পণের ফোকাস দৈর্ঘ্য = f।

ক $u = f$
খ $u = \frac{3}{2}f$
গ $u = 2f$
ঘ $u = \frac{f}{2}$

১০৩। 20 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট উত্তল দর্পণে বস্তুর অর্ধেক আকৃতির প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। দর্পণ থেকে বস্তুর দূরত্ব কত ?

ক 10 cm
খ 20 cm
গ 30 cm
ঘ 40 cm

১০৪। বায়ু সাপেক্ষে কোনো মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$ এবং বায়ু মাধ্যম থেকে 45° কোণে একটি আলোকরশ্মি ওই মাধ্যমে আপতিত হলো। প্রতিসরাঙ্কের জন্য রশ্মিটির বিচ্যুতি নির্ণয় কর।

ক 45°
খ 30°
গ 15°
ঘ 5°

১০৫। একটি সমতলোত্তল লেন্স কাচের ($\mu = 1·5$) তৈরি। এর ফোকাস দূরত্ব এবং বক্রতার ব্যাসার্ধের মধ্যে সম্পর্ক হলো—

ক $f = \frac{R}{2}$
খ $f = R$
গ $f = 2R$
ঘ $f = \frac{3}{2}R$

১০৬। একটি বস্তু উত্তল লেন্সের দিকে চলছে। যখন লেন্স থেকে দূরত্ব 60 cm, তখন বস্তুর বেগ 9 cms^{-1} হলে প্রতিবিম্বের বেগ কত ? (লেন্সের f = 24 cm)

ক 4 cms^{-1}
খ 9 cms^{-1}
গ 8 cms^{-1}
ঘ 18 cms^{-1}

১০৭। সরল অণুবীক্ষণ দ্বারা গঠিত চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব—

ক অসদ এবং অবশীর্ষ
খ সদ ও অবশীর্ষ
গ অসদ এবং সমশীর্ষ
ঘ সদ ও সমশীর্ষ

১০৮। আলোক রশ্মি কাচ মাধ্যম থেকে পানিতে প্রবেশ করলে কোন বর্ণের ক্ষেত্রে সংকট কোণ ন্যূনতম হবে ?
ক লাল
খ সবুজ
গ হলুদ
ঘ বেগুনি

১০৯। একটি আলোক রশ্মি শূন্য মাধ্যমে থেকে μ প্রতিসরাঙ্কের মাধ্যমে প্রবেশ করল। যদি আপতন কোণ প্রতিসরণ কোণের দ্বিগুণ হয় তাহলে আপতন কোণ কত ?
ক $\cos^{-1}(\mu/2)$
খ $\sin^{-1}(\mu/2)$
গ $2\cos^{-1}(\mu/2)$
ঘ $2\sin^{-1}(\mu/2)$

১১০। একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f। বস্তুর দূরত্ব u কত হলে বিবর্ধিত সদ বিম্ব গঠিত হবে?
ক $u < f$
খ $u > 4f$
গ $f < u < 2f$
ঘ $u = 2f$

১১১। 20 cm বক্রতা ব্যাসার্ধের একটি উত্তল গোলীয় দর্পণের সামনে 49 cm দূরে একটি বস্তু আছে। বস্তু থেকে কত দূরে এটি সমতল দর্পণ রাখলে উভয় দর্পণের প্রতিবিম্ব একই স্থানে গঠিত হবে?
ক 40 cm
খ 24 cm
গ 36 cm
ঘ 12 cm

১১২। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব f_0 এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব f_e। তাহলে—
ক $f_0 > f_e$
খ $f_0 < f_e$
গ $f_0 = f_e$
ঘ কোনোটিই নয়

১১৩। 60° প্রতিসারক কোণের একটি প্রিজমকে একটি তরলে নিমজ্জিত করলে ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ 30° হয়। ওই তরল সাপেক্ষে কাচের সংকট কোণ কত ?
ক 42°
খ 45°
গ 50°
ঘ 52°

১১৪। কোনো মাধ্যমে আলোর বেগ $2 \times 10^8\ ms^{-1}$। ওই মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক—
ক 1·4
খ 2·3
গ 1·5
ঘ 1·0

১১৫। লাল ও বেগুনি বর্ণের আলোর সাপেক্ষে কোনো মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে μ_r এবং μ_v হলে—
ক $\mu_r > \mu_v$
খ $\mu_r < \mu_v$
গ $\mu_r = \mu_v$
ঘ কোনোটিই নয়

১১৬। একটি সমবাহু কাচের প্রিজমের কোনো তলে যদি আলো লম্বভাবে আপতিত হয়, তবে রশ্মির বিচ্যুতি হবে—
ক 30°
খ 60°
গ 90°
ঘ 120°

নিম্নের উদ্দীপকের আলোকে ১১৭ ও ১১৮নং প্রশ্নের উত্তর দাও :

একটি প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{\frac{3}{2}}$ এবং প্রতিসরাক কোণ 90°।

১১৭। প্রিজম দ্বারা প্রতিসৃত রশ্মির ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ হবে— [Admission Test : CU 2018-19; KUET 2017-18; BSMRSTU 2017-18; JUST 2015-16 (মান ভিন্ন)]
ক 30°
খ 35°
গ 40°
ঘ 45°

১১৮। ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে আনুসঙ্গিক আপতন কোণ হবে—
ক 30°
খ 35°
গ 40°
ঘ 60°

১১৯। একটি অবতল লেন্সে ফোকাস বিন্দুতে বস্তু রাখলে প্রতিবিম্ব গঠিত হবে—
ক অসীমে
খ প্রধান অক্ষের ওপর আলোক কেন্দ্র ও ফোকাসের মধ্যে
গ আলোক কেন্দ্রে
ঘ ফোকাসে

১২০। একটি বস্তু অবতল লেন্স থেকে u দূরত্বে থাকলে বস্তুটির একটি সদবিম্ব কী শর্তে গঠিত হবে ?
ক $u = 0$
খ $0 < u < \infty$
গ $u < 0$ এবং $|u| < |f|$
ঘ কোনো শর্তেই সহবিম্ব গঠিত হবে না

১২১। বায়ুতে একটি কাচ নির্মিত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 10 cm । পানিতে ওই লেন্সের ফোকাস দূরত্ব কত হবে ? (কাচের প্রতিসরাঙ্ক = 1·51 এবং পানির প্রতিসরাঙ্ক = 1·33)
ক 18·84 cm
খ 36 cm
গ 18 cm
ঘ 37·7 cm

১২২। একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f। কোনো বস্তু লেন্সটি থেকে u দূরত্বে থাকলে, বস্তুটির সমান আকারের একটি অবশিষ্ট প্রতিবিম্ব কী শর্তে গঠিত হবে ?

ক $u = 2f$
খ $u > 2f$
গ $f < u < 2f$
ঘ $u < f$

১২৩। 20 cm ও 25 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের দুটি পাতলা লেন্স ফাঁক না রেখে যুক্ত করা হলো। সুষম লেন্সের কার্যকর ক্ষমতা—

ক 9D
খ 2D
গ 3D
ঘ 7D

১২৪। একটি অবতল লেন্সের ফোকাস দূরত্বে (f) একটি বস্তু রাখলে প্রতিবিম্বের দূরত্ব কত ?

ক $\frac{f}{2}$
খ $\frac{f}{3}$
গ $\frac{2f}{3}$
ঘ $\frac{f}{4}$

১২৫। কাচ নির্মিত একটি লেন্সের বায়ুতে ফোকাস দূরত্ব 15 cm। লেন্সটিকে $\frac{4}{3}$ প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট কোনো তরলে নিমজ্জিত করলে ফোকাস দূরত্ব হবে— (কাচের প্রতিসরাঙ্ক $= \frac{3}{2}$)

ক 30 cm
খ 60 cm
গ 90 cm
ঘ 120 cm

১২৬। একটি সমদ্বোল লেন্সের বায়ুতে ফোকাস দূরত্ব তার বক্রতার ব্যাসার্ধের সমান। লেন্সটির উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক হলো—

ক $\frac{4}{3}$
খ 2·5
গ 0·8
ঘ 1·5

১২৭। একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 30 cm। কোনো একটি বস্তুর প্রতিবিম্ব ওই লেন্সটি দ্বারা গঠিত হলে তার আকার বস্তুর আকারের $\frac{1}{4}$ ভাগ হয়। সেক্ষেত্রে বস্তুর দূরত্ব—

ক 150 cm
খ 90 cm
গ 60 cm
ঘ 30 cm

১২৮। একটি প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60° এবং উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·48। ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ কত?

[KUET Admission Test, 2017-18]

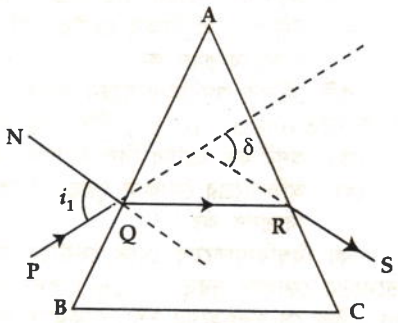
ক 35·46°
খ 45·46°
গ 28·75°
ঘ 38·25°
ঙ 31·52°

উত্তর :

১। গ	২। গ	৩। খ	৪। ঘ	৫। গ	৬। গ	৭। খ	৮। ঘ	৯। খ	১০। ক
১১। গ	১২। খ	১৩। ক	১৪। খ	১৫। ঘ	১৬। খ	১৭। গ	১৮। ঘ	১৯। গ	২০। গ
২১। ঘ	২২। গ	২৩। ঘ	২৪। ঘ	২৫। ক	২৬। খ	২৭। গ	২৮। গ	২৯। গ	৩০। ঘ
৩১। খ	৩২। ঘ	৩৩। গ	৩৪। ক	৩৫। ক	৩৬। গ	৩৭। খ	৩৮। খ	৩৯। ক	৪০। গ
৪১। খ	৪২। ঘ	৪৩। গ	৪৪। খ	৪৫। গ	৪৬। ক	৪৭। খ	৪৮। খ	৪৯। ঘ	৫০। গ
৫১। ক	৫২। খ	৫৩। ঘ	৫৪। ঘ	৫৫। গ	৫৬। ক	৫৭। ঘ	৫৮। খ	৫৯। ঘ	৬০। গ
৬১। খ	৬২। গ	৬৩। খ	৬৪। ঘ	৬৫। খ	৬৬। ঙ	৬৭। গ	৬৮। ঘ	৬৯। ক	৭০। খ
৭১। ঘ	৭২। গ	৭৩। গ	৭৪। ঘ	৭৫। গ	৭৬। ঘ	৭৭। গ	৭৮। ঘ	৭৯। ক	৮০। ঘ
৮১। ক	৮২। ক	৮৩। খ	৮৪। খ	৮৫। খ	৮৬। গ	৮৭। ক	৮৮। ঘ	৮৯। ক	৯০। ক
৯১। খ	৯২। ঘ	৯৩। খ	৯৪। ক	৯৫। ক	৯৬। খ	৯৭। গ	৯৮। ঘ	৯৯। গ	১০০। ক
১০১। খ	১০২। খ	১০৩। খ	১০৪। গ	১০৫। গ	১০৬। ক	১০৭। গ	১০৮। ঘ	১০৯। গ	১১০। গ
১১১। খ	১১২। খ	১১৩। খ	১১৪। গ	১১৫। খ	১১৬। খ	১১৭। ক	১১৮। ঘ	১১৯। খ	১২০। খ
১২১। ঘ	১২২। ক	১২৩। ক	১২৪। ক	১২৫। খ	১২৬। খ	১২৭। ক	১২৮। ক		

(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১। চিত্রে একটি কাচ প্রিজমের মধ্য দিয়ে একটি আলোক রশ্মির প্রতিসরণ দেখানো হয়েছে। এখানে A প্রিজম কোণ এবং δ বিচ্যুতি কোণ।



(ক) $A = 60°$ এবং ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ $\delta_m = 30°$ হলে প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের প্রিজমটি 1·33 প্রতিসরাঙ্কের পানিতে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত করলে ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণের কী পরিবর্তন হবে গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর।

২। বিজ্ঞানের ছাত্র গোলাপের চোখ ত্রুটিহীন কিন্তু আজাদ 40 cm এর কাছের বস্তু দেখতে পায় না। তারা একটি কোষের স্লাইড পর্যবেক্ষণ করার জন্য একটি জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য হতে 0·023 m দূরে স্লাইডটি রাখল। অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·02 m এবং 0·07 m।

(ক) গোলাপ কত বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব দেখতে পাবে?

(খ) স্লাইড পর্যবেক্ষণে উভয়ের ক্ষেত্রে যন্ত্রের দৈর্ঘ্য একই ছিল কী? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[সি. বো. ২০১৬]

৩। একটি সুইমিং পুল বেগুনি আলো দ্বারা আলোকিত। বেগুনি আলোর জন্য কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 এবং লাল আলোর জন্য প্রতিসরাঙ্ক 1·48। একজন লোক 20 cm বক্রতার ব্যাসার্ধবিশিষ্ট উভোত্তল লেন্সের চশমা পড়ে পানিতে ডুব দিলেন। তিনি 5 cm সামনে বস্তু রেখে 25 cm দূরে বিম্ব দেখতে পেলেন। কিন্তু বেগুনি আলো নিভিয়ে লাল আলো জ্বলতেই বিম্বের দূরত্বের পরিবর্তন হলো। পানির প্রতিসরাঙ্ক 1·33।

(ক) উদ্দীপকে উল্লিখিত বেগুনি আলোতে আলোকিত পানি মাধ্যমে লেন্সের ক্ষমতা কত?

(খ) বর্ণ পরিবর্তনের সাথে প্রতিবিম্বের অবস্থানের পরিবর্তন হয়—গাণিতিক যুক্তি দাও। [কু. বো. ২০১৭]

৪। একটি উভোত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 30 সেমি. ও 40 সেমি.। বায়ু সাপেক্ষে কাচ ও পানির প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·5 ও 1·33।

(ক) বায়ুতে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) লেন্সটিকে পানিতে নিমজ্জিত করলে ফোকাস দূরত্বের কীরূপ পরিবর্তন হবে? গাণিতিক বিশ্লেষণ কর।

[দি. বো. ২০১৯]

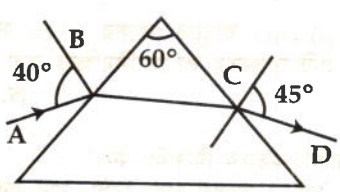
৫। ল্যাবে ব্যবহৃত জটিল অনুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 2 cm এবং 5 cm। অভিলক্ষ্যের সামনে 0·24m দূরে একটি স্লাইড রাখায় অভিলক্ষ্যের পিছনে 0·12m দূরে বিম্ব গঠিত হলো।

(ক) অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব নির্ণয় কর।

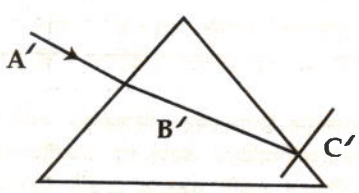
(খ) লেন্স দুটি ফোকাস দূরত্ব বিনিময় করলে যন্ত্রের বিবর্ধনের কোনোরূপ পরিবর্তন হবে কি না—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[মাদরাসা বোর্ড ২০১৮]

৬।



চিত্র ১



চিত্র ২

চিত্র ১ ও চিত্র ২-এ একই উপাদানে তৈরি দুটি প্রিজমের প্রধান ছেদ দেখানো হয়েছে।

(ক) ১নং চিত্রের আলোকে ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ এর মান নির্ণয় কর।

(খ) ১নং চিত্রের ABC আলোক পথ সরলরৈখিক নয় কিন্তু ২নং চিত্রের A′B′C′ আলোক পথ সরলরৈখিক। এ ভিন্নতার কারণ গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

[মাদরাসা বোর্ড ২০১৯]

৭। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 4×10^{-3} m এবং 5×10^{-2} m। অভিলক্ষ্য দ্বারা গঠিত কোনো বস্তুর প্রতিবিম্ব এটি হতে 22×10^{-2} m দূরে অবস্থিত। অভিনেত্র হতে চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব 25×10^{-2} m দূরে অবস্থিত।

(ক) অণুবীক্ষণ যন্ত্রটির অভিনেত্রের বিবর্ধন নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকে অণুবীক্ষণ যন্ত্রটির মোট বিবর্ধন অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের বিবর্ধনের গুণফলের সমান। গাণিতিক-ভাবে বিশ্লেষণ কর।

৮। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·02m এবং 0·05m ও তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·16 m। 0·5 mm দীর্ঘ বস্তু অভিলক্ষ্যের সামনে 0·24m দূরে স্থাপন করা হলো।

(ক) অণুবীক্ষণ যন্ত্রটির বিবর্ধন নির্ণয় কর।

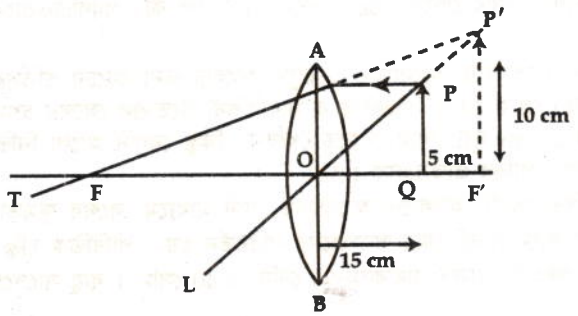
(খ) অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব অর্ধেক করা হলে বিবর্ধন পূর্বের তুলনায় কীরূপ পরিবর্তন হবে ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

৯। ঢাকা বিশ্ববিদ্যালয়ের বোস সেন্টারে রক্ষিত নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব 60·5 cm এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব 6·5 cm। পদার্থবিজ্ঞানের ছাত্রী ঝিমি একদিন চন্দ্রগ্রহণ দেখার জন্য অসীম দূরে ফোকাসিং করল। কিন্তু সে চন্দ্রগ্রহণের দৃশ্য একেবারে কাছ থেকে দেখতে চায়। তাই যন্ত্রটিকে নিকট ফোকাসিং করে নিল।

(ক) অসীমে রক্ষিত বস্তুর ক্ষেত্রে যন্ত্রের বিবর্ধন নির্ণয় কর।

(খ) স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে রক্ষিত বস্তুর ক্ষেত্রে বিবর্ধনের রাশিমালা প্রতিপাদন কর। ঝিমি যন্ত্রটির দৈর্ঘ্যের কীরূপ পরিবর্তন করে নিকট বিন্দুতে ফোকাসিং করেছিল ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

১০।



(ক) উল্লিখিত লেন্সের ক্ষমতা নির্ণয় কর।

(খ) লেন্সটিকে সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র হিসেবে ব্যবহার করে স্পষ্ট প্রতিবিম্ব দেখতে হলে বস্তু থেকে কত দূরে লেন্সটি স্থাপন করতে হবে তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করে দেখাও। [চ. বো. ২০১৬]

১১। বায়ুতে অবস্থিত একটি $\frac{3}{2}$ প্রতিসরাঙ্কের কাচের তৈরি উভোত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 6 cm এবং 12 cm।

(ক) উদ্দীপকের আলোকে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের লেন্সটিকে যদি পানিতে ডুবানো হয় তবে এর ফোকাস দূরত্বের কীরূপ পরিবর্তন হবে গাণিতিক বিশ্লেষণসহ ব্যাখ্যা কর। $[{}_a\mu_w = \frac{4}{3}]$ [দি. বো. ২০১৬]

১২। একটি উভোত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 20 cm ও 40 cm। বায়ুতে লেন্সের 60 cm সামনে একটি লক্ষ্যবস্তু রাখলে 48 cm পেছনে প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হয়। লেন্সটিকে 1·67 প্রতিসরাঙ্কের তরলে নিমজ্জিত করা হলো। [চ. বো. ২০১৭]

(ক) লেন্সটির উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।

(খ) তরলে নিমজ্জিত করার পর লেন্সটির প্রকৃতি কী হবে তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

১৩। একটি পরীক্ষণে একটি বস্তুকে একটি উভোত্তল লেন্সের 75 cm সামনে স্থাপন করা হলো, যার বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 15 cm ও 30 cm। এতে 30 cm পিছনে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। অন্য একটি পরীক্ষণে, লেন্সটিকে 1·33 প্রতিসরাঙ্কের মাধ্যমে স্থাপন করা হলো। [অভিন্ন প্রশ্ন (ক সেট) ২০১৮]

(ক) প্রথম ক্ষেত্রে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) দ্বিতীয় পরীক্ষায়, একই দূরত্বে বস্তুটি স্থাপন করলে প্রতিবিম্বের প্রকৃতি প্রথম পরীক্ষার অনুরূপ হবে কি না? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে মন্তব্য কর।

১৪। একটি 3 m বায়ুবিশিষ্ট ঘনক আকৃতির ট্যাংকে পানিশূন্য অবস্থায় দুই দেয়ালের মধ্যবর্তী স্থানে একটি উত্তল লেন্স স্থাপন করলে এর বিপরীত দেয়ালে একটি বস্তুর দ্বিগুণ বিবর্ধিত বাস্তব বিম্ব পাওয়া যায়। পরবর্তীতে ট্যাংকটি পানিপূর্ণ করা হয়। [পানি ও কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·33 এবং 1·5]

(ক) লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব কত?

(খ) পানিপূর্ণ ট্যাংকে লেন্স ও বস্তুর অবস্থান অপরিবর্তিত রাখলে বিম্বের প্রকৃতির কোনোরূপ পরিবর্তন হবে কি না? গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে যাচাই করে মন্তব্য কর। [সি. বো. ২০১৯]

১৫। একজন ছাত্র 100 cm ফোকাস দূরত্বের একটি লেন্স নিয়ে 0·01 cm দৈর্ঘ্যের কণা পরীক্ষা করছিল। পরে সে একটি নলের এক প্রান্তে এই লেন্স ও অন্য প্রান্তে 4 cm ফোকাস দূরত্বের অন্য লেন্স লাগিয়ে আকাশ পর্যবেক্ষণ করল।

(ক) ছোট কণাগুলোকে কত বড় দেখাচ্ছিল ?

(খ) নল ব্যবহার করার পর আকাশের কোনো বস্তুকে দেখতে চাইলে কোন ফোকাসিং-এ বেশি বড় দেখাবে গাণিতিকভাবে যাচাই কর। [ঢা. বো. ২০১৯]

১৬। একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 200 cm ও 5 cm।

(ক) নিকট ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে যন্ত্রটির নলের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(খ) যখন একটি বস্তুকে অসীমে ও স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্বে রাখা হয় তখন কোন ক্ষেত্রে উদ্দীপকের যন্ত্রটির বিবর্ধন বেশি তা গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ করে দেখাও। [ব. বো. ২০১৭]

১৭। একটি কাচ নির্মিত উভোত্তল লেন্সের দুই তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ 20 cm ও 30 cm।

(ক) বায়ুতে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব কত ? $\left({}_a\mu_g = \frac{3}{2}\right)$

(খ) লেন্সটি পানিতে ডোবালে, এর ফোকাস দূরত্বের কোনো পরিবর্তন হবে কী ? যদি হয় তবে কীভাবে ? গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর। $\left({}_a\mu_w = \frac{4}{3}\right)$ [দি. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন)]

১৮। সুন্দরবন বেড়াতে গিয়ে তামান্না একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করে, যার অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 20 cm এবং 5 cm। সে যন্ত্রটিকে অসীমে এবং স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব উভয় ক্ষেত্রে ফোকাসিং করে প্রাকৃতিক দৃশ্য অবলোকন করে।

(ক) তামান্না যখন যন্ত্রটিকে অসীমে ফোকাসিং করে তখন যন্ত্রের দৈর্ঘ্য কত ?

(খ) উভয় ক্ষেত্রে ফোকাসিং-এর জন্য তামান্নার পর্যবেক্ষণকৃত বিবর্ধনের তুলনামূলক গাণিতিক ব্যাখ্যা কর। [কু. বো. ২০১৫]

১৯। রুবেল পদার্থবিজ্ঞান ল্যাবরেটরিতে একটি উভোত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 55 cm এবং 60 cm নির্ণয় করল। অতঃপর লেন্সের 50 cm সামনে বস্তু রেখে দেখল 200 cm পিছনে প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হয়েছে।

(ক) লেন্সটির ক্ষমতা কত ?

(খ) লেন্সটির বক্রতার ব্যাসার্ধদ্বয় সমান হলে ফোকাস বিন্দু কোথায় পাওয়া যেতে পারে তা উদ্দীপকের আলোকে গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

২০। একটি আলোক রশ্মি একটি প্রিজমের একতলে আপতিত হয়ে অন্য একটি তল থেকে সম্পূর্ণভাবে প্রতিফলিত হয়। কাচের প্রতিসরাঙ্ক, ${}_a\mu_g = 1·5$।

(ক) প্রিজমের মধ্যে সংকট কোণ কত ?

(খ) প্রিজমটি পানিতে ডোবালে রশ্মিটি সম্পূর্ণরূপে প্রতিফলিত হবে কি-না এবং যদি না হয় তবে প্রতিসরণ কোণ কত হবে ? — গাণিতিক বিশ্লেষণসহ ব্যাখ্যা দাও। (পানির প্রতিসরাঙ্ক 1·33)

(গ) সংক্ষিপ্ত-উত্তর প্রশ্ন

১। সরু প্রিজম কাকে বলে ? [রা. বো. ২০১৬]

২। আলোকের বিচ্ছুরণ কী ? [রা. বো. ২০১৮; কু. বো. ২০১৮; য. বো. ২০১৮; ব. বো. ২০১৮; দি. বো. ২০১৬]

৩। কৌণিক বিবর্ধন কী ? [ঢা. বো. ২০১৮; সি. বো. ২০১৮; দি. বো. ২০১৮; রা. বো. ২০১৬]

৪। ফার্মাটের নীতি লিখ। [য. বো. ২০১৯; কু. বো. ২০১৬; চ. বো. ২০১৬, ২০১৫]

৫। লেন্সের ক্ষমতা কাকে বলে ?

৬। লেন্সের ক্ষমতার একক কী ?

৭। অণুবীক্ষণ যন্ত্র কী ?

৮। নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র কী ?
৯। ভূ-দুরবীক্ষণ যন্ত্র কী ?
১০। প্রিজম কাকে বলে ?
১১। প্রিজমের শীর্ষ কী ?
১২। প্রিজম কোণ কী ? [দি. বো. ২০১৯]
১৩। দৃষ্টিকোণ কাকে বলে ? [চ. বো. ২০১৯]
১৪। প্রিজমের প্রতিসরণ তল কাকে বলে ?
১৫। বিচ্যুতি কোণ কাকে বলে ?
১৬। ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ বলতে কী বোঝ ? [ঢা. বো. ২০১৮; সি. বো. ২০১৮; দি. বো. ২০১৮]
১৭। আলোর বিচ্ছুরণ বলতে কী বোঝ ?
১৮। একবর্ণী আলো কী ?
১৯। মূল বর্ণ কোনগুলো ?
২০। র‍্যালের বিক্ষেপণ সূত্র বিবৃত কর।
২১। প্রিজম কী বর্ণ সৃষ্টি করে ?
২২। রংধনু কী ?
২৩। শূন্য স্থানে কী আলোর বিচ্ছুরণ হয় ?
২৪। বর্ণাপেরণ কী ?
২৫। আলোক কেন্দ্র কী ? [রা. বো. ২০১৭]
২৬। ফোকাস দূরত্ব কী ? [দি. বো. ২০১৭]
২৭। কৌণিক বিবর্ধন কী ? [রা. বো. ২০১৫]
২৮। সরু প্রিজম কাকে বলে ? [রা. বো. ২০১৬]
২৯। আলোকের বিচ্ছুরণ কী ? [অভিন্ন প্রশ্ন ২০১৮; দি. বো. ২০১৬]
৩০। প্রিজমের মধ্য দিয়ে একবর্ণী আলো পাঠালে বিচ্ছুরণ হবে কী ?
৩১। আলোর বিচ্ছুরণের একটি প্রাকৃতিক উদাহরণ দাও।
৩২। এক গুচ্ছ লাল গোলাপ ফুলকে নীল আলোয় দেখলে কী রং দেখাবে ?
৩৩। শূন্য মাধ্যমে আলোর বিচ্ছুরণ হয় কী ?
৩৪। কোন বর্ণের আলোর জন্য প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক সর্বোচ্চ ?
৩৫। কোন বর্ণের আলোর জন্য প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক সর্বনিম্ন ?
৩৬। কোনো প্রিজমকে পানিতে ডোবালে ন্যূনতম চ্যুতি কোণের কী পরিবর্তন হয় ?
৩৭। উত্তল লেন্সকে বাতাস থেকে পানিতে রাখলে ফোকস দূরত্ব বাড়বে না কমবে ?
৩৮। উত্তল লেন্স দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব কখন অসদ হবে ?
৩৯। লেন্সের ক্ষমতার একক কী ?
৪০। একটি লেন্সকে পানির মধ্যে রাখলে এর ক্ষমতা বাড়বে না কমবে ?
৪১। সমতল কাচের ফলকের ক্ষমতা কত ?
৪২। প্রতিবিম্ব গঠনের ক্ষেত্রে লেন্সের কোন ফোকাস কার্যকর ?
৪৩। কাচের সঙ্কট কোণ 42° বলতে কী বুঝ ?

(ঘ) কাঠামোবদ্ধ ও বর্ণনামূলক প্রশ্ন

১। ফার্মাটের নীতি বর্ণনা কর।
২। ফার্মাটের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিফলন সূত্র ব্যাখ্যা কর।
৩। লেন্স তৈরির সমীকরণ প্রতিপাদন কর।
৪। একজন সাঁতারু পানির তলায় খালি চোখে বস্তুর প্রতিচ্ছবি ঘোলাটে দেখে। কিন্তু মুখোশ পরে খুবই পরিষ্কার দেখতে পায় কেন ? [দি. বো. ২০১৯]
৫। কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·5; কাচে আলোর বেগ কত ?
৬। একটি সমতল কাচ ফলকে ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা কত ?
৭। লেন্সকে বায়ু থেকে পানিতে নিমজ্জিত করলে এর ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা বাড়ে না কমে ?—ব্যাখ্যা কর।
৮। কাচের প্রতিসরাঙ্ক কোন বর্ণের আলোর জন্য সবচেয়ে কম ?
৯। আলোর কম্পাঙ্ক বাড়লে মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের কী পরিবর্তন হয় ?
১০। টেলিস্কোপের মূলনীতি লিখ।
১১। আলোর প্রতিসরণের সময় আলোর কোন ধর্মটি অপরিবর্তিত থাকে ?

১২। মাইক্রোস্কোপের মূলনীতি লিখ।
১৩। অণুবীক্ষণ যন্ত্রের চূড়ান্ত বিবর্ধন ঋণাত্মক—ব্যাখ্যা কর। [দি. বো. ২০১৯]
১৪। যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে নলের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করলে বিবর্ধন বৃদ্ধি পায়—উক্তিটি ভুল না ঠিক ?
১৫। যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব অপেক্ষা বড় না ছোট ?
১৬। একটি প্রতিফলক দূরবীক্ষণে অভিলক্ষ্য হিসেবে কী ব্যবহৃত হয় ?
১৭। অভিলক্ষ্যের ফোকাস দৈর্ঘ্য কমালে অণুবীক্ষণের বিবর্ধন ক্ষমতা কীভাবে পরিবর্তিত হয়? [চ. বো. ২০১৯] দূরবীক্ষণের ক্ষেত্রে কী হবে ? দুটি উত্তরের পার্থক্য দেখাও।
১৮। একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্র কী অণুবীক্ষণ যন্ত্রের কাজ করতে পারে ?
১৯। অণুবীক্ষণ ও দূরবীক্ষণ যন্ত্রের গঠনগত পার্থক্য লিখ। [রা. বো. ২০১৬]
২০। সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ফোকাস দূরত্ব হ্রাস পেলে এর বিবর্ধন ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়—ব্যাখ্যা কর। [চ. বো. ২০১৬]
২১। অবতল লেন্সে বাস্তব প্রতিবিম্ব পাওয়া যায় কিনা—ব্যাখ্যা কর। [ঢা. বো. ২০১৫]
২২। অবতল লেন্সে গঠিত প্রতিবিম্ব পর্দায় উৎপন্ন হয় কিনা—ব্যাখ্যা কর। [চ. বো. ২০১৫]
২৩। কোনো প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ 36° বলতে কী বুঝ ? [কু. বো. ২০১৫]
২৪। উড্ডয়মান বিমানের ছায়া মাটিতে পড়ে না কেন ? ব্যাখ্যা কর। [য. বো. ২০১৫]
২৫। সাদা আলো কাচ প্রিজমে প্রবেশ করলে বর্ণালি সৃষ্টি হয় কেন ? [দি. বো. ২০১৫]
২৬। একটি চশমার ক্ষমতা +4 ডায়প্টার-এর অর্থ কী ?
২৭। লেন্সের চারপাশের মাধ্যম পরিবর্তন করলে তার ফোকাস দূরত্ব পরিবর্তন হয় কেন ? ব্যাখ্যা কর।
২৮। একটি অস্বচ্ছ কাগজ দ্বারা নভো-দূরবীক্ষণের অভিলক্ষ্য লেন্সের অর্ধেক ঢেকে দিলে কি লক্ষ্যবস্তুর অর্ধেক দেখা যাবে? — ব্যাখ্যা কর।
২৯। প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে বর্ণাপেরণের সৃষ্টি হলেও প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে বর্ণাপেরণের সৃষ্টি হয় না কেন ? ব্যাখ্যা কর।
৩০। একই উপাদানের তৈরি একটি ছোট প্রিজম ও একটি বড় প্রিজম উভয়ের প্রতিসরাঙ্ক সমান হবে কী ? —ব্যাখ্যা কর।
৩১। লাল আলো এবং বেগুনি আলোর জন্য প্রতিসরাঙ্কের মানের কোনো তারতম্য হবে কী ? ব্যাখ্যা কর।
৩২। বর্ণালির বিভিন্ন বর্ণকে সঠিক অনুপাতে মিশালে পুনরায় সাদা আলো পাওয়া যায়—ব্যাখ্যা কর।
৩৩। ক্রিকেট খেলায় সাদা বল ব্যবহার করা হয় কেন ? —ব্যাখ্যা কর।
৩৪। চাঁদের আকাশ কালো দেখায় কেন ? —ব্যাখ্যা কর।
৩৫। সাদা আলো প্রিজমের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় বিচ্ছুরিত হয় কেন ? [কু. বো. ২০১৬]
৩৬। কাচের প্রতিসরাঙ্ক কী আলোর বর্ণের ওপর নির্ভর করে, যদি করে তবে কীভাবে ?
৩৭। কী শর্তে কোনো প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরিত রশ্মির চ্যুতি ন্যূনতম হবে ?
৩৮। প্রিজমের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় কোন বর্ণের আলো সবচেয়ে বেশি বাঁকে এবং কোন বর্ণের আলোর সবচেয়ে কম বাঁকে ?
৩৯। একটি প্রিজমের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা কী প্রিজমের কোণের ওপর নির্ভর করে ? ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৮; কু. বো. ২০১৮; য. বো. ২০১৮; ব. বো. ২০১৮; চ. বো. ২০১৮]
৪০। প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতির শর্তগুলো লিখ।
৪১। রংধনু কীভাবে সৃষ্টি হয়?
৪২। হলুদ ও নীল রঙ একত্রে মেশালে সবুজ রঙ প্রস্তুত হয়; কিন্তু পর্দার ওপর ফেললে সাদা দেখায় কেন ?
৪৩। প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে প্রতিবিম্ব বেশি উজ্জ্বল দেখায় কেন ? [ঢা. বো. ২০১৭]
৪৪। লেন্সের ক্ষমতা — 2·5 D বলতে কী বুঝায় ? [রা. বো. ২০১৭; দি. বো. ২০১৭]
৪৫। দূরে অবস্থিত গাছপালা ছোট দেখায় কেন ? [কু. বো. ২০১৭]
৪৬। একটি চশমার ক্ষমতা — 5D এর অর্থ কী ? [সি. বো. ২০১৭]
৪৭। অবতল লেন্সে বাস্তব প্রতিবিম্ব পাওয়া যায় কি-না—ব্যাখ্যা কর। [ঢা. বো. ২০১৫]
৪৮। কোনো প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ 36° বলতে কী বুঝ ? [কু. বো. ২০১৫]
৪৯। উড্ডীয়মান উড়োজাহাজের ছায়া মাটিতে পড়ে না কেন—ব্যাখ্যা কর। [য. বো. ২০১৫]
৫০। অবতল লেন্সে গঠিত প্রতিবিম্ব পর্দায় উৎপন্ন হয় কি-না ব্যাখ্যা কর। [চ. বো. ২০১৫]
৫১। লেন্স ও প্রিজমের মধ্যে আলোর প্রতিসরণের তুলনা কর। [ব. বো. ২০১৫]
৫২। লেন্সের চারিপার্শ্বস্থ মাধ্যম পরিবর্তন করলে উহার ফোকাস দূরত্ব পরিবর্তন হয় কেন ? [সি. বো. ২০১৫]
৫৩। সাদা আলো কাচ প্রিজমে প্রবেশ করলে বর্ণালি সৃষ্টি হয় কেন ? [সি. বো. ২০১৫]

৫৪। কাচে আলোক বছর 6.27×10^{12} km বলতে কী বুঝ ? [ঢা. বো. ২০১৬]
৫৫। সাদা আলো প্রিজমের মধ্য দিয়ে যাবার সময় বিচ্ছুরিত হয় কেন ? [কু. বো. ২০১৬]
৫৬। অণুবীক্ষণ ও দূরবীক্ষণ যন্ত্রের গঠনগত পার্থক্য লেখ। [রা. বো. ২০১৬]
৫৭। কাচের সংকট কোণ 42° বলতে কী বুঝ ? [চ. বো. ২০১৬]
৫৮। সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ফোকাস দূরত্ব হ্রাস পেলে এর বিবর্ধন ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়—ব্যাখ্যা কর। [রা. বো. ২০১৯; ব. বো. ২০১৬]
৫৯। চোখের নিকট বিন্দু ও দূর বিন্দু বলতে কী বোঝায় ?
৬০। আলোক রশ্মির বিচ্যুতি কি প্রিজম কোণের উপর নির্ভর করে ? ব্যাখ্যা কর। [অভিন্ন প্রশ্ন ক, খ সেট ২০১৮]
৬১। এইক আকারের কাছের বস্তু অপেক্ষা দূরের বস্তুকে ছোট দেখি কেন ? ব্যাখ্যা কর। [ব. বো. ২০১৯]
৬২। খালি চোখে পানিতে ডুব দিলে পানির ভেতরে বস্তুর প্রতিচ্ছবি ঘোলাটে দেখায় কেন ? [দি. বো. ২০১৯]
৬৩। লেন্সের ফোকাস দূরত্ব আপতিত আলোর বর্ণের ওপর নির্ভরশীল—ব্যাখ্যা কর। [ঢা. বো. ২০১৯]
৬৪। অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব কমালে অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন ক্ষমতা কীভাবে পরিবর্তিত হয় ? [রা. বো. ২০১৯; চ. বো. ২০১৯]

(ঙ) ক্রিয়াকর্ম

আকাশ নীল দেখার ঘটনা এবং অস্তগামী সূর্যের লাল দেখার ঘটনার পার্থক্যের উপর একটি প্রতিবেদন রচনা কর।

(চ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। লেন্স থেকে 30 cm দূরে কোনো বস্তুকে রাখলে অবাস্তব বিম্ব গঠিত হয়। প্রতিবিম্বের বিবর্ধন $\frac{2}{3}$ হলে প্রতিবিম্বের অবস্থান, লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর। লেন্সটির প্রকৃতি কী ? [উ. $v = 20$ cm পেছনে, $f = 60$ cm; লেন্সটি অবতল]

২। 5 cm লম্বা একটি বস্তু 30 cm ফোকাস দূরত্বের একটি অবতল লেন্স থেকে 15 cm দূরে স্থাপন করা হলো। গঠিত বিম্বের আকার কত হবে ? [উ. 10 cm] [KU Admission Test, 2016-17]

৩। একটি লেন্সের ফোকাস দূরত্ব বাতাসে 25 cm এবং উপাদানের প্রতিসরণাঙ্ক 3/2। একে 2/3 প্রতিসরণাঙ্কের পানিতে ডুবালে ফোকাস দূরত্ব কত cm হবে ? [উ. 100 cm] [SUST Admission Test, 2016-17]

৪। একটি উজ্জ্বল বস্তু এবং একটি উৎস 90 cm দূরত্বে অবস্থিত। পর্দায় বস্তুর দ্বিগুণ আকৃতির বিম্ব সৃষ্টির জন্য কী ধরনের লেন্স প্রয়োজন এবং এর ফোকাস দূরত্ব কত? [উ. উত্তল লেন্স, 20 cm]

৫। 5 cm দীর্ঘ একটি বস্তুকে 30 cm ফোকাস দূরত্ববিশিষ্ট অবতল দর্পণ থেকে 15 cm দূরে স্থাপন করা হলো। বিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও আকার বের কর। [উ. —30 cm পিছনে, অবাস্তব, বিবর্ধিত] [RUET Admission Test, 2008-09]

৬। 20 cm ফোকাস দূরত্বের একটি উত্তল লেন্সকে 30 cm ফোকাস দূরত্বের একটি অবতল লেন্সের সংস্পর্শে রাখা হলো। তুল্য লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর। তুল্য লেন্সটি কোন ধরনের লেন্সের মতো আচরণ করবে এবং এর ক্ষমতা কত হবে ? [উ. 60 cm; উত্তল লেন্সের ন্যায় আচরণ করবে; 1.67 D] [RUET Admission Test, 2006-07; CUET Admission Test, 2009-10]

৭। 0.15 m ফোকাস দূরত্ববিশিষ্ট একটি অবতল দর্পণের প্রধান অক্ষের উপরিস্থিত যে দুটি বিন্দুতে বস্তু রাখলে প্রতিবিম্ব তিনগুণ হয়, তাদের মধ্যে দূরত্ব নির্ণয় কর। [উ. 0.1 m] [BUTex Admission Test, 2005-06]

৮। কোনো লেন্স থেকে একটি বস্তু 16 cm দূরে অবস্থিত। লেন্সটি তা থেকে 24 cm দূরে অবাস্তব বিম্ব গঠন করল। লেন্সের ক্ষমতা কত ? [উ. 2.08 D]

৯। উত্তল লেন্স থেকে 15 cm দূরে বস্তু রাখলে দ্বিগুণ বিবর্ধিত বাস্তব বিম্ব গঠিত হয়। বস্তুটিকে লেন্স থেকে কত দূরে রাখলে 2 গুণ বিবর্ধিত অবাস্তব বিম্ব গঠিত হবে ? [উ. 5 cm দূরে]

১০। 0.05 m দীর্ঘ একটি বস্তু একটি উত্তল লেন্সের সামনে অবস্থিত এবং লেন্সের অপর পার্শ্বে 1 m দূরে একটি পর্দার উপর 0.25 m দীর্ঘ একটি প্রতিবিম্ব পাওয়া গেল। লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর। [উ. 0.166 m]

১১। একটি উভাবতল লেন্সের দুই পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 0.20 m এবং 0.40 m। তার ফোকাস দূরত্ব 0.20 m হলে ওই লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক কত ? [উ. 1.66]

১২। একটি সরু উভোত্তল লেন্স হতে 0.24 m দূরে একটি বস্তু রেখে লেন্সের বিপরীত পার্শ্বে 0.30 m দূরে বাস্তব প্রতিবিম্ব পাওয়া গেল। লেন্সের প্রথম ও দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ 0.16 m ও 0.20 m হলে লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর। [উ. 1.66]

১৩। কাচ দ্বারা তৈরি একটি দ্বি-উত্তল লেন্সের উভয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ সমান। কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 হলে দেখাও যে, লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব তার বক্রতার ব্যাসার্ধের সমান।

$$[\text{Hints. } r_1 = r,\ r_2 = -r,\ \frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right),\ (\therefore\ f = r)\ ]$$

১৪। একটি উভাবতল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 5 cm এবং 15 cm। লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 হলে, এর ফোকাস দূরত্ব কত ? [উ. −7·5 cm (অবতল লেন্স)]

১৫। একটি উভোত্তল লেন্সের (μ= 1·56) উভয় তলের ব্যাসার্ধ 20 cm। লেন্স থেকে 20 cm দূরে একটি বস্তু রাখলে প্রতিবিম্ব কোথায় গঠিত হবে ? [উ. 166·67 cm]

১৬। একটি সম উভোত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ 20 cm এবং এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·5। লেন্সটি (i) বাতাসে এবং (ii) পানিতে নিমজ্জিত থাকলে ফোকাস দৈর্ঘ্য কত হবে ? (পানির প্রতিসরাঙ্ক $\mu_w = \frac{4}{3}$)

[উ. (i) 20 cm, (ii) 80 cm]

১৭। 20 cm ফোকাস দূরত্ববিশিষ্ট দুটি সমোত্তল লেন্স পরস্পরকে স্পর্শ করে আছে। লেন্স দুটির মধ্যস্থান পানি দ্বারা পূর্ণ। লেন্স সংযোজনের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর। [কাচের প্রতিসরাঙ্ক = $\frac{3}{2}$, পানির প্রতিসরাঙ্ক =$\frac{4}{3}$]

[উ. 15 cm] [BUET Admission Test, 2007-08]

১৮। একটি জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব 2 cm এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব 4 cm এবং এদের ব্যবধান 20 cm। অভিনেত্র থেকে 25 cm দূরে প্রতিবিম্ব গঠিত হলে অভিলক্ষ্য থেকে বস্তু দুরত্ব কত বের কর। অণুবীক্ষণের বিবর্ধন কত ? [উ. 16·55 cm, 52]

১৯। একটি সরু উভোত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধের 10 cm ও 15 cm। লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·5। লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব কত ? [উ. 12 cm] [CUET Admission Test, 2007-08]

২০। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·02 m এবং 0·05m ও তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·16m। অভিলক্ষ্যের সামনে 0·024 m দূরে বস্তু স্থাপন করলে অভিনেত্র হতে কত দূরে প্রতিবিম্ব গঠিত হবে ? [উ. 0·20 m; অবাস্তব]

২১। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·02 m এবং 0·05 m ও তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·16 m। অভিলক্ষ্যের সামনে কত দূরে বস্তু স্থাপন করলে অভিনেত্র হতে 0·20 m দূরে প্রতিবিম্ব গঠিত হবে ? [উ. 0·024 m]

২২। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 5 mm এবং 6 cm। অভিলক্ষ্য দ্বারা গঠিত কোনো বস্তুর প্রতিবিম্ব এটি হতে 25 cm দূরে অবস্থিত। অভিনেত্র হতে শেষ অবাস্তব প্রতিবিম্ব 30 cm দূরে অবস্থিত। বিম্বের মোট বিবর্ধন বের কর। [উ. 294]

২৩। একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দৈর্ঘ্য যথাক্রমে 2 cm এবং 5 cm। এদের মধ্যে দূরত্ব 20 cm। অভিলক্ষ্য থেকে বস্তুর দূরত্ব কত হলে চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব অভিনেত্র থেকে 25 cm দূরে গঠিত হবে ? মোট বিবর্ধন কত হবে ? [উ. $u = 4·166$ cm; $m = 41·5$]

২৪। কোনো যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব 10 cm এবং 15 cm। যদি অভিলক্ষ্য থেকে বস্তুর বিম্বের দূরত্ব 50 cm হয় এবং অভিনেত্র থেকে অবাস্তব বিম্বের দূরত্ব 60 cm হয়, তবে ওই অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন কত ? [উ. 20] [KUET Admission Test, 2016-17]

২৫। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের দূরত্ব যথাক্রমে 2·5 cm এবং 5·6 cm। স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্বে গঠিত কোনো লক্ষ্যবস্তুর চূড়ান্ত বিম্বকে 6·25 cm লম্বা মনে হলো। বস্তুটির আসল দৈর্ঘ্য কত ? (যন্ত্রে নলের দৈর্ঘ্য 25 cm)

[উ. 11·44 cm]

[KUET Admission Test, 2017-18]

২৬। একটি নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·30 m এবং 0·02 m। স্বাভাবিক দর্শনের জন্য যন্ত্রের (i) কৌণিক বিবর্ধন এবং (ii) দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উ. (i) 15, (ii) 0·32 m]

২৭। একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের স্বাভাবিক ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে বিবর্ধন ক্ষমতা 8 এবং দৈর্ঘ্য 36 cm। লেন্সদ্বয়ের ফোকাস দূরত্ব বের কর। [ব. বো. ২০০৯; কু. বো. ২০০৮] [উ. $f_e = 4$ cm; $f_0 = 32$ cm]

২৮। একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·20 m এবং 0·02 m। অসীম দূরত্ব ফোকাস এর ক্ষেত্রে অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের মধ্যে দূরত্ব ও সৃষ্ট বিবর্ধন নির্ণয় কর। [উ. 0·22m ; 10]

২৯। একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 80 cm ও 5 cm। যখন স্বাভাবিক দর্শনের জন্য ফোকাস করা হয়, তখন এর বিবর্ধন ক্ষমতা কত ?

$$\left[\text{Hints : } \mu = f_0\left(\frac{1}{D} + \frac{1}{f}\right)\right]$$

[য. বো. ২০০০] [উ. 19·2]

৩০। কোনো নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 400 cm ও 4 cm। এর বিবর্ধন ও দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উ. 100; 4·04m]

৩১। একটি প্রিজমের কোণ 45° এবং উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{5}$। এই প্রিজমের এক প্রতিসরণ পৃষ্ঠে আলোক রশ্মি কত কোণে আপতিত হলে রশ্মিটির দ্বিতীয় প্রতিসরণ পৃষ্ঠ ঘেঁষে নির্গত হবে ? [উ. $i_1 = 58·84°$]

৩২। কোনো একটি আলোক রশ্মির জন্য একটি সমবাহু প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$। প্রিজমের প্রথম প্রতিসরণ তলে আলোক রশ্মি 45° কোণে আপতিত হলে দেখাও যে, রশ্মিটি ন্যূনতম বিচ্যুতিতে নির্গত হবে।

[উ. প্রমাণ করতে হবে $i_1 = i_2 = 45°$ ও $r_1 = r_2 = 30°$]

৩৩। একটি প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক কোণের মান 60° এবং সোডিয়াম আলোকরশ্মির জন্য এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·5। ওই আলোক রশ্মি প্রিজমটির মধ্য দিয়ে গেলে বিচ্যুতি কোণের ন্যূনতম মান কত হবে ? [উ. 37·18°]

৩৪। $\mu = \sqrt{3}$ প্রতিসরাঙ্কযুক্ত একটি কাচের প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক কোণের সমান। প্রিজমের কোণের মান কত ? [উ. 60°]

৩৫। একটি সমবাহু ফাঁপা প্রিজম একটি নির্দিষ্ট তরল দ্বারা পূর্ণ আছে। ওই প্রিজমে প্রতিসরণের জন্য কোনো আলোক রশ্মির ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ 60° হলে তরলের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর। [উ. 1·732]

৩৬। একটি প্রিজমের প্রতিসারক কোণের মান 60° এবং সোডিয়াম D আলোক রশ্মির জন্য এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·5। ওই আলোক রশ্মি প্রিজমটির মধ্য দিয়ে গেলে বিচ্যুতি কোণের ন্যূনতম মান কত হবে ? [উ. 37°]

৩৭। 1·6 প্রতিসরাঙ্কের একটি প্রিজমের কোণ কত হলে একটি রশ্মি 40° কোণে আপতিত হলে রশ্মিটির ন্যূনতম বিচ্যুতি হবে ? [উ. A = 47°24′]

৩৮। কোনো সমকোণী প্রিজম থেকে নির্গম রশ্মি পেতে হলে তার প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$-এর বেশি হলে চলবে না—প্রমাণ কর।

৩৯। একটি প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·5। প্রিজমের কোনো এক তলে আলোক রশ্মি 50° কোণে আপতিত হলে রশ্মিটির ন্যূনতম বিচ্যুতি ঘটে। প্রিজম কোণ নির্ণয় কর। [উ. 61·42°]

[BUTex Admission Test, 2000-01]

৪০। প্রিজম কোণ 60° এবং ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ 48°30′ হলে প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক কত হবে ? [উ. 1·623]

৪১। কোনো একটি প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$। ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ 30° হলে প্রিজমটির প্রতিসরাঙ্ক কোণের মান কত হবে ? [উ. 60°]

৪২। খুব পাতলা একটি প্রিজম আলোক রশ্মির 5° বিচ্যুতি ঘটায়। প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 হলে প্রিজমের কোণ কত ? [উ. 10°]

৪৩। একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যের ব্যাস 2·54 m। একটি নক্ষত্র থেকে আগত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6000 Å হলে দূরবীক্ষণের বিশ্লেষণের সীমা কত ? [উ. $3·46 \times 10^{-6}$ radian]

৪৪। 4500 Å এবং 4600 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যে বায়ুসাপেক্ষে কোয়ার্টজের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·425 এবং 1·460। ডিগ্রি/Å এককে কৌণিক বিচ্ছুরণ নির্ণয় কর। [উ. 00·035°/A]

৪৫। লাল ও নীল বর্ণের সাপেক্ষে ক্রাউন কাচের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা নির্ণয় কর। দেওয়া আছে, এই দুই বর্ণের ক্ষেত্রে ক্রাউন কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে $\mu_r = 1·52$ এবং $\mu_b = 1·53$। [উ. 0·019]

৪৬। লাল ও নীল বর্ণের আলোক রশ্মির জন্য ক্রাউন কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে $\mu_r = 1·517$ এবং $\mu_b = 1·523$। এই বর্ণদ্বয়ের সাপেক্ষে ক্রাউন কাচের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা নির্ণয় কর। [উ. 0·0115]

৪৭। A উপাদানবিশিষ্ট একটি প্রিজম লাল বর্ণের রশ্মিকে 10° কোণে এবং নীল বর্ণের রশ্মিকে 16° কাণে বিচ্যুত করে। B উপাদানের অপর একটি প্রিজম লাল আলোকে 8° কোণে এবং নীল আলোকে 14° কোণে বিচ্যুত করে। কোন উপাদানের কৌণিক বিচ্ছুরণ এবং বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বেশি?

[Hints : $\delta_A = 16—10 = 6°$, $\delta_B = 14 - 8 = 6°$; A প্রিজমের মধ্যবর্তী রশ্মির বিচ্যুতি

$$\delta_1 = \frac{16+10}{2} = 13°,\ \delta_2 = \frac{14+8}{2} = 11°,\ W_A = \frac{\delta_A}{\delta_1} = \frac{6}{13};\ W_B = \frac{\delta_B}{\delta_2} = \frac{6}{11},\ W_B > W_A$$]

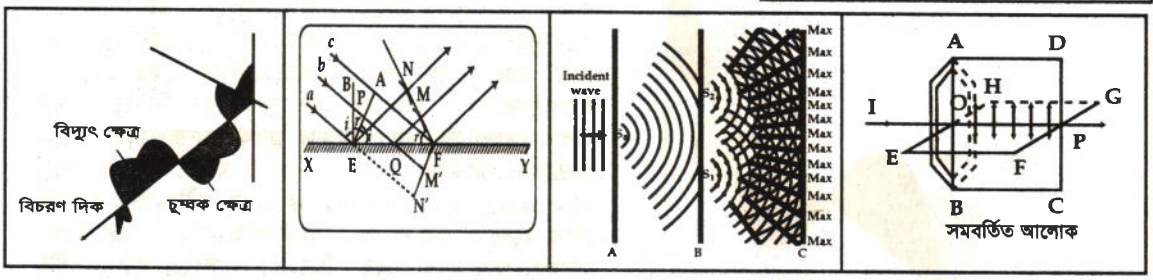
[উ. B উপাদানের কৌণিক বিচ্ছুরণ ও বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বেশি]

৪৮। লাল, হলুদ এবং নীল বর্ণের জন্য কোয়ার্টজের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·4564, 1·4585 এবং 1·463। কোয়ার্টজের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা নির্ণয় কর। [উ. 0·014]

৭

ভৌত আলোকবিজ্ঞান
PHYSICAL OPTICS

প্রধান শব্দ (Key Words) : তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ, পয়েন্টিং ভেক্টর, তড়িৎ চুম্বকীয় স্পেকট্রাম, তরঙ্গামুখ, 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।
- তরঙ্গামুখের ধারণা ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- তরঙ্গামুখ 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]

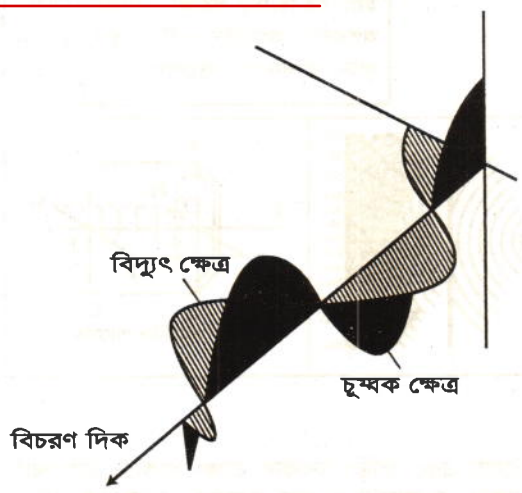
স্যার আইজ্যাক নিউটনের সমসাময়িক ডাচ বিজ্ঞানী **হাইগেন্স** (Huygens) প্রথম 1678 খ্রিস্টাব্দে আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব উপস্থাপন করেন। পরে ইয়ং, ফ্রেনেল এবং আরও অনেক বিজ্ঞানী এই তত্ত্বকে সুপ্রতিষ্ঠিত করেন। এই তত্ত্ব অনুসারে আলো ইথার নামক এক অলীক মাধ্যমের মধ্য দিয়ে তরঙ্গ আকারে সঞ্চারিত হয়ে এক জায়গা থেকে অন্য 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।

RMDAC

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



চিত্র ৭·১

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,

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

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 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ \text{NA}^{-2}$

সমীকরণ (7.1)-এ ϵ_0 ও μ_0-এর মান বসালে c-এর মান পাওয়া যায় $3 \times 10^{10}\ \text{ms}^{-1}$। $\epsilon_0\mu_0$ এর একক $\frac{1}{c^2}$ এর

$$\text{একক} = \frac{1}{(\text{Velocity})^2} = \text{m}^{-2}\text{s}^2$$

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,

$E_0 = cB_0$ বা, $c = \frac{E_0}{B_0}$; এখানে, E_0 = তড়িৎ ক্ষেত্রের বিস্তার, B_0 = চৌম্বক ক্ষেত্রের বিস্তার এবং c = আলোর বেগ।

ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎ 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

 RMDAC

প্রমাণিত হয় যে, আলো তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ ব্যতীত অন্য কিছু নয়। এভাবেই 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 মাধ্যমে 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

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

বা, $$S = \frac{EB \sin 90°}{\mu_0}$$

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

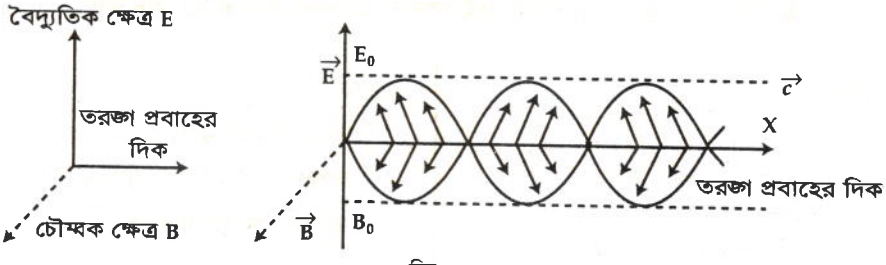
$$\therefore \quad \vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.3)$$

এবং একক হলো ওয়াট/মিটার^2 বা জুল/সেকেন্ড/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। পয়েন্টিং ভেক্টরের মাত্রা MT^{-3}।

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** কোয়াণ্টাম তত্ত্ব উপস্থাপন করেন।

কাজ : আলোর প্রকৃতি সম্বন্ধে বিভিন্ন তত্ত্বের উল্লেখ কর।

আলোকের প্রকৃতি সম্বন্ধে যেসব তত্ত্ব উদ্ভাবিত হয়েছে সেগুলো হলো—

(i) নিউটনের কণিকা তত্ত্ব : এই তত্ত্বের সাহায্যে ঋজুগতি প্রতিফলন, প্রতিসরণ এবং আলোক তড়িৎ ক্রিয়া 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।

কোয়ান্টাম তত্ত্ব →

কৃষ্ণ বর্ণের রমনী ফটো ক্যাপচার করে

- কৃষ্ণ → কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণ
- বর্ণের → বর্ণালী
- রমনী → রমন ক্রিয়া
- ফটো → ফটো ইলেকট্রিক ক্রিয়া
- ক্যাপচার → কম্পটন

→ হাইগেন সমাবর্তনে নাই

→ প্ল্যাঙ্ক/আইনস্টাইন

অসম্ভব না

- অপবর্তন
- সমবর্তন
- ব্যতিচার

ব্যাখ্যা করা যায় না কোয়ান্টাম তত্ত্ব দিয়ে

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

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

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

$= 9{\cdot}46 \times 10^{15}\ m = 9{\cdot}46 \times 10^{12}\ km$ [MAT: 24-25]

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?

[ঢা. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি,

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

বা, $B = \frac{5}{3 \times 10^8}$

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

এখানে,

তড়িৎ ক্ষেত্রের মান, $E = 5Vm^{-1}$

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

চৌম্বক ক্ষেত্রের মান, $B = ?$

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

আমরা জানি,

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

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

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

$= 2{\cdot}26 \times 10^8\ ms^{-1}$

এখানে,

আপেক্ষিক ভেদনযোগ্যতা, $K_e = 80$

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

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

পানিতে আলোর দ্রুতি, $c_w = ?$

৩। একটি তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের তড়িৎ ক্ষেত্রের সমীকরণ হলো $E = 10^{-4} \sin(12 \times 10^{13} t - 4 \times 10^5 x)$। তরঙ্গটির কম্পাঙ্ক, বেগ ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। তরঙ্গটির সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের সমীকরণটি লিখ। (প্রতিটি রাশি S.I. এককে প্রকাশিত)

এখানে তড়িৎক্ষেত্রের সমীকরণ,

$$E = 10^{-4} \sin(12 \times 10^{13} t - 4 \times 10^5 x) \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

তড়িৎক্ষেত্রের সাধারণ সমীকরণ,

$$E = E_0 \sin(\omega t - kx) \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$

সমীকরণ (i) ও (ii) তুলনা করে পাই,

$$\omega = 12 \times 10^{13} \quad \text{বা,} \quad 2\pi n = 12 \times 10^{13}$$

$$\therefore \quad n = \frac{12 \times 10^{13}}{2\pi} = \frac{12 \times 10^{13}}{2 \times 3{\cdot}14} = 1{\cdot}9 \times 10^{13} \text{ Hz}$$

তরঙ্গটির বেগ,

$$c = n\lambda = \frac{2\pi n}{\frac{2\pi}{\lambda}} = \frac{w}{k} = \frac{12 \times 10^{13}}{4 \times 10^5} = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} \quad [\text{এখানে, } k = 4 \times 10^5]$$

এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = \frac{c}{n} = \frac{3 \times 10^8}{1{\cdot}9 \times 10^{13}} = 1{\cdot}58 \times 10^{-5} \text{ m}$

সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রের সমীকরণ,

$$B = B_0(\omega t - kx) = \frac{E_0}{c} \sin(\omega t - kx) \quad \left[\because \frac{E_0}{B_0} = c\right]$$

$$= \frac{10^{-4}}{3 \times 10^8} \sin(12 \times 10^{13} t - 4 \times 10^5 x) \text{ T}$$

$$= 3{\cdot}33 \times 10^{-13} \sin(12 \times 10^{13} t - 4 \times 10^5 x) \text{ T}$$

৭·১·৬ দৃশ্যমান আলোর বর্ণালি
Spectrum of visible light [MAT: 21-22] [DAT: 10-20]

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	$3{\cdot}80 \times 10^{-7}$ m থেকে $4{\cdot}25 \times 10^{-7}$ m
নীল	$4{\cdot}25 \times 10^{-7}$ m থেকে $4{\cdot}45 \times 10^{-7}$ m
আসমানি	$4{\cdot}45 \times 10^{-7}$ m থেকে $5{\cdot}00 \times 10^{-7}$ m
সবুজ	$5{\cdot}00 \times 10^{-7}$ m থেকে $5{\cdot}75 \times 10^{-7}$ m
হলুদ	$5{\cdot}75 \times 10^{-7}$ m থেকে $5{\cdot}85 \times 10^{-7}$ m
কমলা	$5{\cdot}85 \times 10^{-7}$ m থেকে $6{\cdot}20 \times 10^{-7}$ m
লাল	$6{\cdot}20 \times 10^{-7}$ m থেকে $7{\cdot}80 \times 10^{-7}$ m

৭·২ তড়িৎ চুম্বকীয় স্পেকট্রাম বা বর্ণালি
Electromagnetic spectrum

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

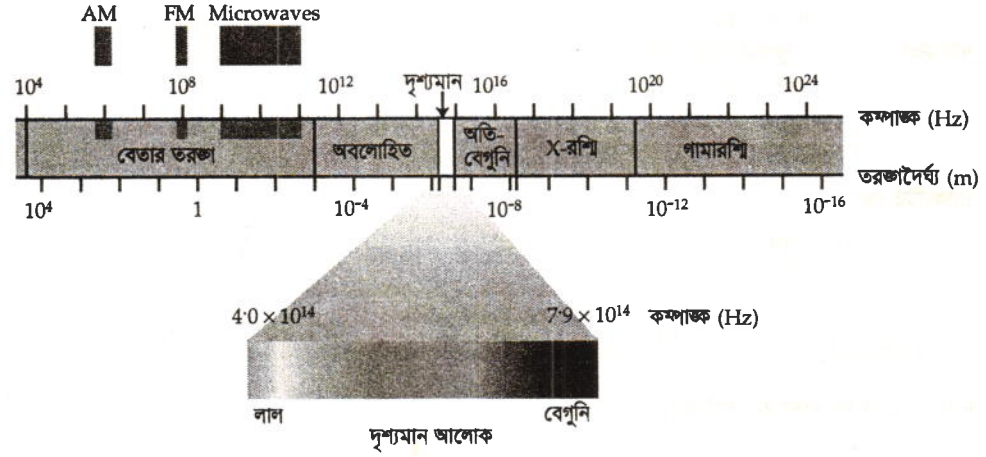
$$v = \lambda\upsilon \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.4)$$

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

তড়িৎ 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 ঊর্ধ্বে 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 $7{\cdot}8 \times 10^{-7}$ m থেকে $3{\cdot}9 \times 10^{-7}$ m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বা $3{\cdot}8 \times 10^{14}$ Hz থেকে $7{\cdot}7 \times 10^{14}$ 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 $7{\cdot}5 \times 10^{-7}$ m, আবার বেগুনি রঙ-এর আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রায় $3{\cdot}8 \times 10^{-7}$ 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]

[MAT: 16-17; 21-22]
[DAT: 20-21; 22-23]

সারণি ১ : তড়িৎ চুম্বকীয় বর্ণালির বৈশিষ্ট্যমূলক ছক

তরঙ্গ পট্টি	তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিসর	নিঃসরণকারী উৎস	নিঃসরণের কারণ	বৈজ্ঞানিক প্রয়োগ / ব্যবহার
বেতার তরঙ্গ	10^{-4}m থেকে 5×10^4 m	(i) এ্যান্টেনার মধ্যে দোলায়িত তড়িৎ আধান (ii) স্পন্দিত তড়িৎ বর্তনী (oscillating electric circuit)	(i) উচ্চ কম্পাঙ্কের স্পন্দিত তড়িৎ প্রবাহ (ii) পরমাণুস্থ ইলেকট্রনের খুবই ক্ষুদ্র পরিমাণ শক্তির পরিবর্তনের জন্য	বিভিন্ন ধরনের বেতার যোগাযোগ ব্যবস্থা অর্থাৎ দূরবর্তী স্থানে স্পন্দিত ছবি প্রেরণের জন্য বেতার তরঙ্গ ব্যবহৃত হয়।
মাইক্রোওয়েভ তরঙ্গ	10^{-1}m থেকে 10^{-3}m	(i) ক্লাইস্ট্রন (Klystron) ও ম্যাগনেট্রন (Magnetron) নামে বিশেষ ধরনের বালব। (ii) মেসার (Microwave Amplifications by Stimulated Emission of Radiation এর সংক্ষিপ্ত নাম MASER)। মেসার অর্থ হলো বিকিরণের উদ্দীপিত নিঃসরণ দ্বারা মাইক্রোওয়েভ বিবর্ধন।	স্থায়ী তড়িৎ দ্বিমের 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।

RMDAC

তরঙ্গ পদ্ধি	তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিসর	নিঃসরণকারী উৎস	নিঃসরণের কারণ	বৈজ্ঞানিক প্রয়োগ / ব্যবহার
অবলোহিত রশ্মি IR [MAT: 12-13]	10^{-3}m থেকে 4×10^{-7}m	(i) উত্তপ্ত সকল বস্তু হতে কমবেশি অবলোহিত রশ্মি নির্গত হয়। (ii) আই. আর. (IR) ল্যাম্প নামে বিশেষ ধরনের বাতি থেকে পাওয়া যায়। (iii) সূর্যরশ্মি থেকে পাওয়া যায়।	(i) পরমাণুস্থ ইলেকট্রনের ক্ষুদ্র পরিমাণ শক্তির পরিবর্তনের জন্য। (ii) স্থায়ী তড়িৎ দ্বিমেরু ভ্রামকসম্পন্ন ত্রিপরমাণুর কম্পনের ফলে [DAT: 21-22]	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, লেজার, তাপের যে কোনো বস্তু, সূর্যরশ্মি ইত্যাদি হতে পাওয়া যায়। LASER	(i) পরমাণুস্থ ইলেকট্রনের উত্তেজিত অবস্থান হতে স্থায়ী অবস্থানে ফিরে আসার সময় নির্গত বিকিরণ হতে দৃশ্যমান আলো পাওয়া যায়।	যেকোনো কিছু দেখার কাজে আমাদের চোখ এই আলো ব্যবহার করে। উদ্ভিদে সালোক সংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রাখে। ফটোগ্রাফিক ফিল্ম প্রভাবিত করে।
অতিবেগুনি রশ্মি	5×10^{-7} m থেকে 5×10^{-9}m	খুবই উত্তপ্ত বস্তু যেমন তড়িৎ বিচ্ছুরণ (electric arc), কোয়ার্টজ টিউবের ভেতরে পারদ গ্যাসের মধ্য দিয়ে তড়িৎক্ষরণের ফলে এবং সূর্য রশ্মি হতে পাওয়া যায়।	পরমাণুস্থ ইলেকট্রনের বিভিন্ন স্তরের মধ্যে উচ্চ শক্তির পরিবর্তনের জন্য।	আয়নায়ন ঘটানোর কাজে, প্রতিপ্রভ সৃষ্টিতে ব্যবহৃত হয়। রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটানোর কাজে, ফটো-ইলেকট্রিক ক্রিয়া সংঘটনে, ফটোগ্রাফিক ফিল্ম প্রভাবিত করার কাজে, অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণ ক্ষমতা বৃদ্ধির কাজে এবং শরীরে ভিটামিন D তৈরির কাজে ব্যবহৃত হয়।
এক্স-রে (X-ray)	5×10^{-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।

λ যত কম f তত বেশি, ($E = hf$)

1. B (বেতার/radio)
2. M → Microwave
3. I → IR
4. দৃশ্যমান
5. UV
6. X
7. γ (গামা)

IR : অনুর রঙিন ছবি প্রাণীদের খাবার আসতে দেখি

- অনুর → অনুশীলন
- রঙিন → রাসায়নিক বিক্রিয়া
- ছবি → photo
  - photographic film
  - photo electric effect
- প্রাণীদের → প্রতিপ্রভ
- খাবার → আয়নায়ন
- আসতে দেখি → ভিটামিন-D

ও

শল্যচিকিৎসায় যন্ত্রপাতি জীবাণুমুক্তকরণ

Q. পার্থক্য ঃ X-ray ও গামা রশ্মির ব্যবহার।

তরঙ্গ পদ্ধতি	তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিসর	নিঃসরণকারী উৎস	নিঃসরণের কারণ	বৈজ্ঞানিক প্রয়োগ / ব্যবহার
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 $m^{-1}s$

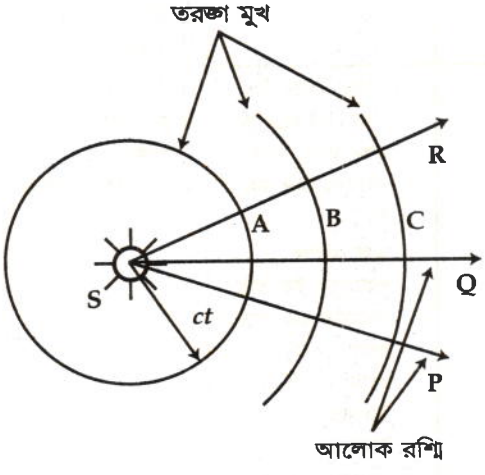
৭·৩ তরঙ্গমুখ
Wave front

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 যেকোনো একটি সংজ্ঞা দেয়া যেতে পারে—

(ক) তরঙ্গস্থিত সমদশাসম্পন্ন কণাগুলো যে তলে অবস্থান করে, তাকে সৃষ্ট তরঙ্গের তরঙ্গমুখ বলে।

(খ) যেকোনো সময়ে একই দশায় থাকা বিন্দুগুলো 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 সমদশাগ্রস্ত 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

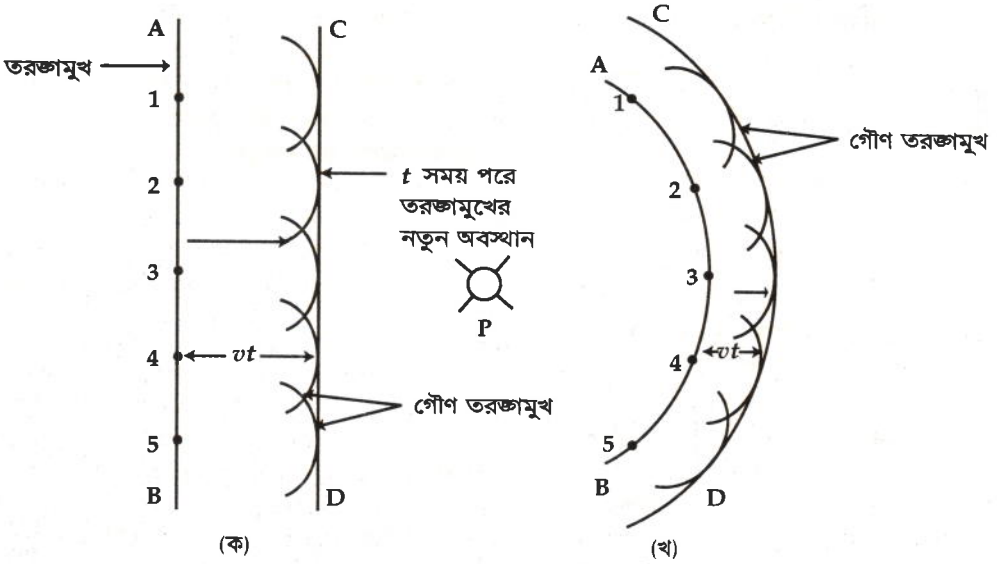
উৎস জানা থাকলে সাধারণ নিয়মে তরঙ্গমুখের যেকোনো সময়ের অবস্থান নির্ণয় করা যায়। উৎস জানা না থাকলেও কোনো এক সময়ের তরঙ্গমুখের অবস্থান ও আকৃতি জানা থাকলে হাইগেনস-এর নীতি অনুসরণ করে অন্য যেকোনো সময়ে তরঙ্গমুখের অবস্থান ও আকৃতি নির্ণয় করা যায়। হাইগেনস-এর নীতি অনুসারে তরঙ্গমুখের প্রতিটি বিন্দুকে গোলকীয় তরঙ্গের উৎস হিসেবে গণ্য করা যায়। এসব তরঙ্গকে গৌণ তরঙ্গ (secondary waves) বলে। গৌণ তরঙ্গগুলো মূল তরঙ্গের সমান বেগে সামনের দিকে অগ্রসর হয়। হাইগেনের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যাতিচার এবং অপবর্তন ব্যাখ্যা করা যায় কিন্তু সমবর্তন ব্যাখ্যা করা যায় না। 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। যেকোনো 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



চিত্র ৭·৫ : (ক) সমতল তরঙ্গের বেলায় ; (খ) গোলকীয় তরঙ্গের বেলায়।

সময়ে তরঙ্গমুখের অবস্থান বের করতে হবে। তরঙ্গমুখের AB অবস্থানে 5টি বিন্দু 1, 2, 3, 4 ও 5 ধরা হলো। (এরূপ অসংখ্য বিন্দু কল্পনা করা যায়।) হাইগেনস-এর নীতি অনুসারে প্রতিটি বিন্দু নতুন আলোড়নের উৎস হিসেবে ক্রিয়া করে

নতুন তরঙ্গ সৃষ্টি করবে। আলোকের বেগ v হলে t সময়ে তরঙ্গগুলো vt দূরত্ব অতিক্রম করবে। বিন্দুগুলোকে কেন্দ্র ধরে vt ব্যাসার্ধ নিয়ে বৃত্তচাপ আঁকি। চাপগুলোর একটি সাধারণ স্পর্শক CD আঁকি। এখন CD হলো তরঙ্গামুখের নতুন অবস্থান। বিন্দুগুলো 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।

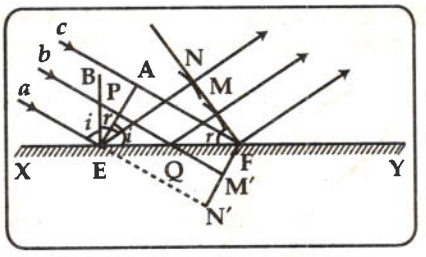
তরঙ্গামুখের ওপর যেকোনো বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্বকে রশ্মি (ray) বলা হয়। তরঙ্গের শক্তি এই রশ্মি বরাবর শূন্যস্থান বা মাধ্যমের এক অংশ থেকে অন্য অংশে স্থানান্তরিত হয়।

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 তরঙ্গামুখ 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 তরঙ্গামুখ পাওয়া যাবে। **এটিই হলো প্রতিফলিত তরঙ্গামুখ।**



চিত্র ৭·৬

প্রতিফলনের সূত্রাবলি প্রমাণ :

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

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

এখন আপতন বিন্দু E-তে EB লম্ব হলে,

$\angle a EB + \angle BEA = \angle BEA + \angle AEF = 1$ সমকোণ

$\therefore$ $\angle a EB = \angle AEF =$ আপতন কোণ, $\angle i$ ... ... (7.7)

আবার, $\angle NEB + \angle NEF = \angle EFN + \angle NEF = 1$ সমকোণ

$\therefore$ $\angle NEB = \angle EFN =$ প্রতিফলন কোণ, $\angle r$ ... ... (7.8)

সমীকরণ (7.6), (7.7) ও (7.8) হতে লেখা যায়, আপতন কোণ, $\angle i$ = প্রতিফলন কোণ, $\angle r$। **এ দ্বারা আলোকের প্রতিফলনের দ্বিতীয় সূত্র প্রমাণিত হলো।**

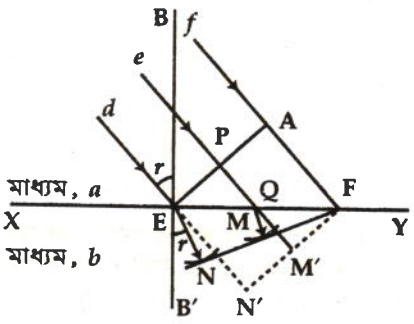
আবার, আপতিত রশ্মি aE, প্রতিফলিত রশ্মি EN এবং আপতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব EB কাগজের একই সমতলে অবস্থিত। **এ দ্বারা আলোকের প্রতিফলনের প্রথম সূত্রটি প্রমাণিত হলো।**

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 তরঙ্গামুখ। মনে করি, EPA তরঙ্গামুখ 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 তরঙ্গামুখ 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

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

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

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

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

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

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

এটি দ্বারা স্নেলের সূত্র বা প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্রটি প্রমাণিত হলো।

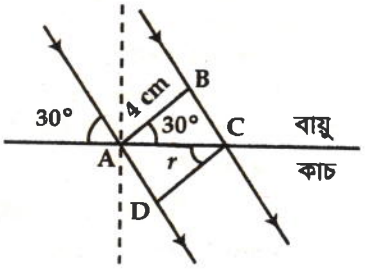
আবার আপতিত রশ্মি dE, প্রতিসৃত রশ্মি EN এবং আপতন বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব BEB′ কাগজের একই সমতলে অবস্থিত। এটি দ্বারা আলোকের প্রতিসরণের প্রথম সূত্রটি প্রমাণিত হলো। অতএব **তরঙ্গ তত্ত্বের ভিত্তিতে আলোকের প্রতিসরণের দুটি সূত্র প্রমাণিত হলো।**

গাণিতিক উদাহরণ 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 $\sin 30° = 1·5 \sin r \quad \left[\because \dfrac{\sin i}{\sin r} = 1·5\right]$

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

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

ACD ত্রিভুজ থেকে,

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

২। পানি ও হীরকের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·33 এবং 2·4 হলে, হীরকে আলোর বেগ নির্ণয় কর। পানিতে আলোর বেগ $2·28 \times 10^8$ ms^{-1}। [Admission Test : DU (প্রযুক্তি) 2020-21 (মান ভিন্ন); BUET 2013-14]

আমরা জানি,

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

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

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

$$= 1·26 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

এখানে,

$$_a\mu_w = 1·33$$

$$_a\mu_d = 2·4$$

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

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

$$v_d = ?$$

৩। (ক) পানি ও কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·33 এবং 1·5 হলে কাচে আলোর বেগ কত ? পানিতে আলোর বেগ $2·28 \times 10^8$ ms^{-1}। (খ) বায়ুতে এক আলোক বছর $9·6 \times 10^{12}$ km, কাচে এক আলোক বছরের মান বের কর। [রা. বো. ২০১০; সি. বো. ২০০৭]

(ক) আমরা জানি,

$$_w\mu_g = \frac{c_g}{c_w}$$

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

$$\therefore \quad c_g = \frac{\mu_w}{\mu_g} \times c_w = \frac{1·33}{1·5} \times 2·28 \times 10^8$$

$$= 2·02 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

(খ) কাচে এক আলোক বছর $= \frac{9·6 \times 10^{12}}{1·5} = 6·4 \times 10^{12}$ km

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 $y = y_1 - y_2$

(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 তরঙ্গদ্বয়ের 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।

RMDAC

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। তখন উৎসদ্বয়ের দশা পার্থক্য 2π হয়।

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। তখন উৎসদ্বয়ের মধ্যে দশা পার্থক্য $\frac{\pi}{2}$ হয়।

কাজ : গঠনমূলক ও ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের শর্ত কী ?

যেসব বিন্দুতে উপরিপাতিত তরঙ্গদ্বয়ের পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$ এর অযুগ্ম গুণিতক, অর্থাৎ পথ পার্থক্য $= (2n+1)\frac{\lambda}{2}$, যখন $n = 0, \pm 1, \pm 2$ ..... ইত্যাদি সেসব বিন্দুতে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের সৃষ্টি হবে।

আবার যেসব বিন্দুতে উপরিপাতিত তরঙ্গদ্বয়ের পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$ এর যুগ্ম গুণিতক, অর্থাৎ পথ পার্থক্য $= 2n, \frac{\lambda}{2}$, যখন $n = 0, \pm 1, \pm 2$ ..... ইত্যাদি সেসব বিন্দুতে গঠনমূলক ব্যতিচারের সৃষ্টি হবে।

ব্যতিচার ঝালর (Interference fringe) : কোনো তলে বা পর্দায় ব্যতিচার ঘটানো হলে সেখানে অনেকগুলো পরস্পর সমান্তরাল উজ্জ্বল ও অন্ধকার রেখা বা পট্টি পাওয়া যায়। এই উজ্জ্বল ও অন্ধকার রেখা বা ডোরাগুলোকে এক সঙ্গে আলোকের ব্যতিচার ঝালর বলে।

চিড় বা স্লিট (Slit) : দৈর্ঘ্যের তুলনায় খুবই ক্ষুদ্র প্রস্থবিশিষ্ট আয়তাকার সরু ছিদ্রকে চিড় বা স্লিট বলে। ব্যতিচারের জন্য চিড়ের প্রস্থ আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ক্রমের হতে হয়।

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

৭·৫·৩ 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।

৭·৫·৩·১ 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।

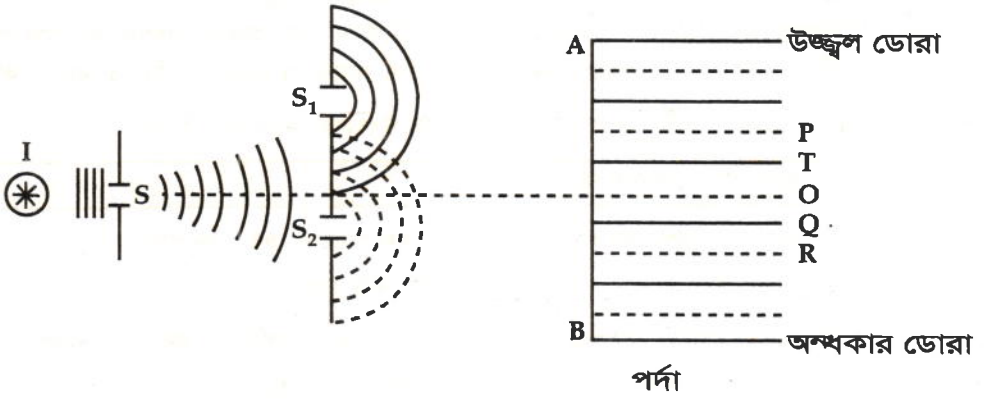
৩। ব্যতিচারে উজ্জ্বল পট্টি ও অন্ধকার পট্টিগুলোর অন্তর্বর্তী দূরত্বগুলো সমান থাকে।
৪। ব্যতিচারে অন্ধকার পট্টিতে কোনো আলো থাকে না। এরা সম্পূর্ণ অন্ধকার থাকে।
৫। ব্যতিচারে সব উজ্জ্বল পট্টিগুলোর আলোক প্রাবল্য সমান থাকে।

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 ৭·৮

ইয়ং এরকম পর্দায় রঙিন ব্যতিচার পট্টি দেখতে পান। তরঙ্গ দুটি যদি পর্দার কোনো বিন্দুতে একই দশায় মিলিত হয় তবে সে স্থান উজ্জ্বল দেখাবে। এর নাম **গঠনমূলক ব্যতিচার**। আর তরঙ্গ দুটি যদি পর্দার কোনো বিন্দুতে বিপরীত দশায় মিলিত হয়, তবে সে স্থান অন্ধকার দেখাবে। এর নাম **ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার**। চিত্রে AB **পর্দার ড্যাস ড্যাস স্থানে উজ্জ্বল বিন্দু** এবং **নিরবচ্ছিন্ন স্থানে অন্ধকার বিন্দু** সৃষ্টি হবে।

ইয়ং আরও 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 ৭·৮] হতে একই সঙ্গে নির্গত আলোক তরঙ্গ প্রায় একই দিকে c বেগে সঞ্চালিত হয়ে P বিন্দুতে উপরিপাতিত হয়।

যেকোনো 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,

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

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

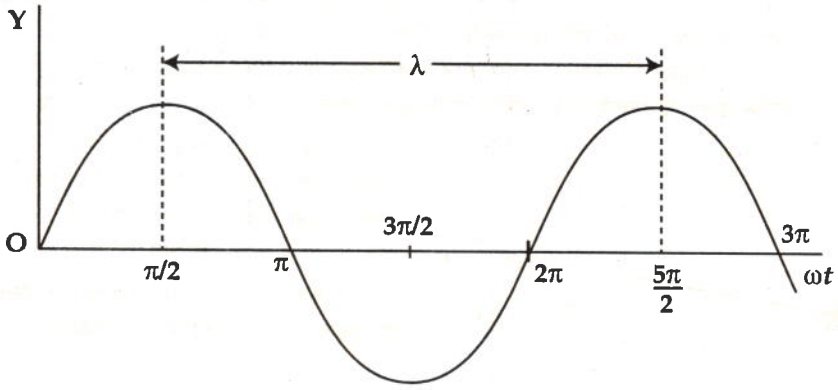
$$= \frac{2\pi}{\lambda}(S_2P - S_1P)$$

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 1-এর জন্য দশা পার্থক্য $= \frac{2\pi}{\lambda}$

∴ 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 ?

[ব. বো. ২০২১, ২০১৯; য. বো. ২০১৯; KUET Admission Test, 2013-14]

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? [Admission Test : BUET 2015–16; CKRUET 2021-22]

আমরা জানি,

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

$$= \sqrt{(4)^2 + (5)^2 + 2\times4\times5\cos\frac{\pi}{3}}$$

$$= 7.81 \text{ একক}$$

এখানে,

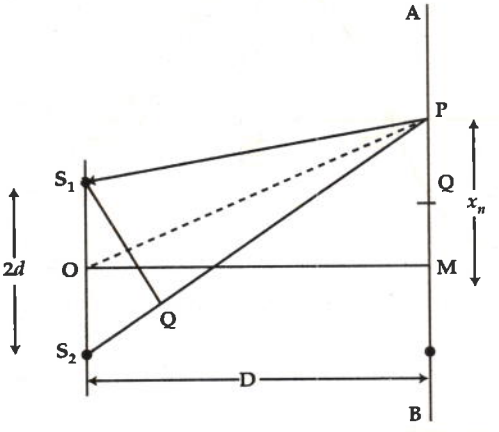
দশা পার্থক্য, $\alpha = \frac{\pi}{3}$

$A_1 = 4$ 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 তরঙ্গামুখ প্রেরণ করে। S_1 ও S_2 থেকে S এর দূরত্ব সমান হওয়ায় একই সময়ে একই তরঙ্গামুখ S_1 ও S_2-তে এসে পৌঁছায়। এই তরঙ্গামুখের 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।



চিত্র ৭.১০

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,

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

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 দ্বি-চিড়ের 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, $\frac{\pi x}{\lambda} = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$ ... ... $(2n+1)\frac{\pi}{2}$

বা, $x = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$ ... ... (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 $= \left(n+\frac{1}{2}\right)\lambda$ ... ... [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 $(S_2P)^2 = D^2 + (x_n + d)^2$

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

$= (x_n + d)^2 - (x_n - d)^2$

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,

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

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

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

বা, $x_n = \frac{D}{2d} n\lambda$

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

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

∴ পরপর দুটি উজ্জ্বল ডোরার কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব বা ব্যবধান

অর্থাৎ $\beta = x_{n+1} - x_n$

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

$$= \frac{D}{2d}\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.16)$$

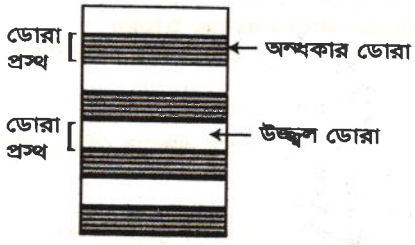
সুতরাং যেকোনো দুটি উজ্জ্বল ডোরার ব্যবধান, $\beta = \frac{D\lambda}{2d}$

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)]

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



চিত্র ৭·১১

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

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

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

∴ পরপর দুটি অন্ধকার ডোরার কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব

অর্থাৎ, $\beta = (x_{n+1}) - x_n$

$$= \frac{D}{2d}(2n+3)\frac{\lambda}{2} - \frac{D}{2d}(2n+1)\frac{\lambda}{2}$$

$$= \frac{D}{2d}\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad (7.17)$$

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।

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. ২০২১ (মান ভিন্ন), ২০১২; সি. বো. ২০০৬, রা. বো. ২০০৫]

আমরা জানি,

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

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

$$= 0{\cdot}625\ \text{mm}$$

এখানে,

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

$D = 1\ \text{m}$

$\lambda = 5000\ \text{Å}$

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

$x_n = ?$

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

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

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

এখানে,

$n = 12$

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

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

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

৩। 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?

[দি. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); BUET Admission Test, 2013–14]

আমরা জানি,

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

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

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

$= 1{\cdot}504\,\text{mm}$

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 ? [রা. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); Admission Test : KUET 2016-17 (মান ভিন্ন); CUET 2015-16 (মান ভিন্ন)]

মনে করি চিড় দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব $= 2d$

আমরা জানি,

$$c = \upsilon\lambda$$

$\therefore \quad \lambda = \frac{c}{\upsilon} = \frac{3 \times 10^8}{6 \times 10^{14}}$

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

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

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

এখানে,

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

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

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

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

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

$2d = ?$

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।

[সি. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); BUET Admission Test, 2017–18]

আমরা জানি,

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

$\therefore \quad \lambda = \frac{x_n 2d}{nD} = \frac{8{\cdot}1 \times 10^{-3} \times 1{\cdot}8 \times 10^{-4}}{3 \times 0{\cdot}9}$

$= 5{\cdot}4 \times 10^{-7}\,\text{m}$

এখানে,

$x_n = 8{\cdot}1\,\text{mm} = 8{\cdot}1 \times 10^{-3}\,\text{m}$

$n = 3$

$2d = 0{\cdot}18\,\text{mm}$

$= 1{\cdot}8 \times 10^{-4}\,\text{m}$

$D = 90\,\text{m} = 0{\cdot}9\,\text{m}$

৬। ইয়ং-এর ব্যতিচারের দ্বি-চিড় পরীক্ষায় $4{\cdot}69 \times 10^{14}$ Hz কম্পাঙ্কের লাল আলো ব্যবহারের ফলে ডোরার প্রস্থ $2{\cdot}4 \times 10^{-4}$ m হয়। যদি $7{\cdot}5 \times 10^{14}$ Hz কম্পাঙ্কের নীল আলো ব্যবহার করা হয় তাহলে ডোরার প্রস্থের পরিবর্তন কত হবে? [ম. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); BUET Admission Test, 2016–17]

লাল আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$$\lambda_R = \frac{c}{\upsilon_r} = \frac{3 \times 10^8}{4{\cdot}69 \times 10^{14}}$$

$$= 6{\cdot}397 \times 10^{-7}\ \text{m} = 6{\cdot}4 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

নীল আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$$\lambda_B = \frac{c}{\upsilon_b} = \frac{3 \times 10^8}{7{\cdot}5 \times 10^{14}} = 4 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

লাল আলোর জন্য ডোরার প্রস্থ,

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

$$\therefore \quad \frac{nD}{2d} = 2{\cdot}4 \times 10^{-4} \times \frac{1}{6{\cdot}4 \times 10^{-7}} = 375$$

নীল আলোর জন্য ডোরা প্রস্থ,

$$X_{nB} = \frac{nD}{2d}\lambda_B = 375 \times 4 \times 10^{-7} = 1{\cdot}5 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

$$\therefore \quad \Delta x_n = X_{nR} - X_{nB} = 2{\cdot}4 \times 10^{-4} - 1{\cdot}5 \times 10^{-4}$$

$$= 0{\cdot}9 \times 10^{-4}\ \text{m} = 9 \times 10^{-5}\ \text{m}$$

এখানে,

লাল আলোর কম্পাঙ্ক, $\upsilon_g = 4{\cdot}69 \times 10^{14}$ Hz

নীল আলোর কম্পাঙ্ক, $\upsilon_b = 7{\cdot}5 \times 10^{14}$ Hz

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

ডোরার প্রস্থ পরিবর্তন, $\Delta x = ?$

৭। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় দ্বি-চিড় থেকে এক চিড়কে 5 cm দূরে রাখা হলো। 5100 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সবুজ আলো এক চিড় থেকে এসে দ্বিচিড়ে আপতিত হয়। এক চিড় থেকে 205 cm রাখা পর্দায় 10টি ডোরার ব্যবধান 2 cm হলে, দ্বি-চিড়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব বের কর। [BUET Admission Test, 2018-19]

আমরা জানি, ডোরার প্রস্থ,

$$b = \frac{\lambda D}{d}$$

প্রশ্নানুসারে, $10 \times \frac{\lambda D}{d} = 2 \times 10^{-2}$

বা, $d = \frac{10\lambda D}{2 \times 10^{-2}} = \frac{10 \times 5100 \times 10^{-10} \times 2}{2 \times 10^{-2}}$

$$= 5{\cdot}1 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

এখানে,

$\lambda = 5100\text{Å} = 5100 \times 10^{-10}$ m

এক চিড় থেকে দ্বি-চিড়ের দূরত্ব = 5 cm

এক চিড় থেকে পর্দার দূরত্ব = 205 cm

∴ দ্বি-চিড় থেকে পর্দার দূরত্ব,

$D = 205 - 5 = 200\ \text{cm} = 2\ \text{m}$

10টি ডোরার ব্যবধান $= 2\ \text{cm} = 2 \times 10^{-2}$ m

$d = ?$

৮। 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,

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

$2d = 1\ \text{mm} = 1 \times 10^{-3}$ m

$\theta = ?$

৯। 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,

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

$$\therefore \quad 2d = \frac{n\lambda D}{\Delta x} = \frac{10 \times 5200 \times 10^{-10} \times 2}{0{\cdot}04}$$

$$= 2{\cdot}6 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

এখানে,

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

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

$\Delta x = 4\ \text{cm} = 0{\cdot}04\ \text{m}$

১০। 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। [RUC Admission Test, 2021-22]

আমরা জানি,

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

$$\therefore \quad \lambda = \frac{x_n \times 2d}{nD} = \frac{1\times10^{-2}\times3\times10^{-4}}{4\times1\cdot5}$$

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

এখানে,

ক্রম সংখ্যা, $n = 4$

চির দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব, $2d = 0\cdot03\ \text{cm}$

$\therefore \quad 2d = 3\times10^{-4}\ \text{m}$

$x_n = 1\ \text{cm} = 1\times10^{-2}\ \text{m}$

$D = 1\cdot5\ \text{m}$

১১। দুটি সুসঙ্গত আলোক উৎসের প্রাবল্যের অনুপাত 9 : 4। ব্যতিচার পরীক্ষায় এদের ব্যবহার করলে চরম ও অবম বিন্দুর প্রাবল্যের অনুপাত নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

তীব্রতা, $I \propto A^2$

$$\therefore \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{A_1^2}{A_2^2} = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2$$

বা, $$\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 = \frac{9}{4}$$

বা, $$\frac{A_1}{A_2} = \sqrt{\frac{9}{4}} = \frac{1}{2}$$

বা, $$\frac{A_1 + A_2}{A_1 - A_2} = \frac{3+2}{3-2}$$

বা, $$\frac{I_{max}}{I_{min}} = \left(\frac{5}{1}\right)^2$$

$$\therefore \quad I_{max} : I_{min} = 25 : 1$$

এখানে,

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{9}{4}$$

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 যেকোনো 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 পরিবর্তন 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। [MAT: 22-23]

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 যেসব 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 যেসব 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।

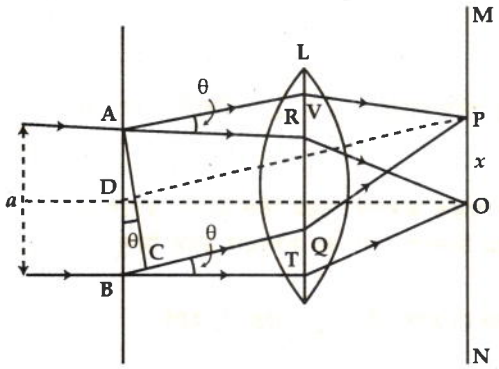
অনুসন্ধান : জোরে জোরে কথা বললে পাশের কক্ষ থেকে শোনা যায় অর্থাৎ অপবর্তন সৃষ্টি করে কিন্তু একটি সুচের ছিদ্রের মধ্য দিয়ে আলোর অপবর্তন লক্ষ করা যায় না কেন, ব্যাখ্যা কর।

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।

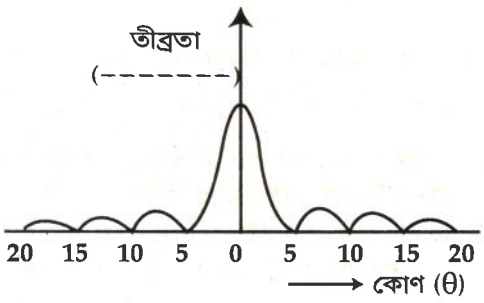
জানার বিষয় : আলোর অপবর্তন দ্বারা আলোর তির্যকরূপ ধর্মটি প্রমাণ করা যায়। RMDAC

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 তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের এক রঙা সমান্তরাল আলোক গুচ্ছ সমতল তরঙ্গামুখে



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 তরঙ্গ উৎপন্ন হয়। যেসব আড় তরঙ্গ 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 তরঙ্গসমূহের কোনো পথ পার্থক্য থাকে না। তারা সমদশায় O বিন্দুতে পৌঁছে গঠনমূলক ব্যতিচার সৃষ্টি করে। এখানে O বিন্দুকে **মুখ্য চরম বিন্দু** (Principal maxima) বলা হয়। এই বিন্দুর ঔজ্জ্বল্য সর্বাধিক।

আবার কিছু সংখ্যক আড় তরঙ্গ θ কোণে ব্যবর্তিত হয়ে DP অভিমুখের সমান্তরালে চলে L লেন্স দ্বারা P বিন্দুতে একত্রিত হয়। এ ক্ষেত্রে আড় তরঙ্গসমূহ সমান পথ অতিক্রম করে না বলে P বিন্দুতে 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 :**

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

এবং **অন্ধকার বিন্দুর জন্য :**

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

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

এখন $a \sin\theta = \lambda$ হলে, সব তরঙ্গের দরুন P বিন্দুতে লব্ধি সরণ শূন্য হবে। কারণ A বিন্দু হতে নির্গত তরঙ্গ ও রেখাছিদ্রের মধ্যবিন্দু D হতে নির্গত তরঙ্গের মধ্যে পথ পার্থক্য হবে $\lambda/2$ এবং পরস্পরের প্রভাব নাকচ করে দিবে। এমনিভাবে 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,

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

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

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

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

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

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

হলে ব্যাখ্যা করা যায় যে তারা O বিন্দুর উভয় পার্শ্বে আরও কতগুলো চরম বিন্দু উৎপন্ন করবে এবং পর্যায়ক্রমে তারা প্রতি দুটি অবম বিন্দুর মধ্যে অবস্থান করবে। এসব 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,

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

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

হিসাব : একটি ফ্রনহফার শ্রেণির একক 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 $a\sin\theta = n\lambda$

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

$$= 2945\times 10^{-6}$$

$\therefore$ $\theta = 0{\cdot}17°$ প্রায়, অবমের জন্য অপবর্তন কোণ $0{\cdot}17°$

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

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

কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল পট্টি ($\theta = 0$) এর উভয় দিকে গৌণ চরম বিন্দুগুলির ক্ষেত্রে পথ পার্থক্য $a\sin\theta = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$, যখন রেখাছিদ্রের বেধ $= a$, আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য $= \lambda$, অপবর্তন কোণ θ এবং $n = 1, 2, 3, \ldots\ldots$। সঠিক হিসাব অনুযায়ী $a\sin\theta = \pm 1{\cdot}43\lambda, \pm 2{\cdot}46\lambda, \ldots\ldots$ ইত্যাদি। অর্থাৎ গৌণ চরম বিন্দুগুলির মধ্যে দূরত্ব সমান নয়।

আবার অবম বিন্দুগুলোর ক্ষেত্রে পথ পার্থক্য $a\sin\theta = \pm n\lambda$, অর্থাৎ অবম বিন্দুগুলো পরস্পর সমদূরবর্তী, যখন $n = 1, 2, 3 \ldots\ldots$ ইত্যাদি।

৭·১০·৪ আলোকের অপবর্তনের বৈশিষ্ট্য

Reading

১। একটি তরঙ্গমুখের বিভিন্ন অংশ হতে নির্গত গৌণ তরঙ্গসমূহের ব্যতিচারের ফলে অপবর্তন সৃষ্টি হয়।

২। অপবর্তন ঝালরে পট্টিগুলোর বেধ কখনো 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

Reading

ব্যতিচার	অপবর্তন
১। একই উৎস হতে নির্গত দুটি সুসঙ্গত তরঙ্গামুখ থেকে প্রাপ্ত তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে ব্যতিচার সৃষ্টি হয়। উৎস দুটি ক্ষুদ্র ও সূক্ষ্ম হতে হবে।	১। একই তরঙ্গামুখের বিভিন্ন অংশ থেকে নির্গত গৌণ তরঙ্গাসমূহের 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

যেকোনো 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

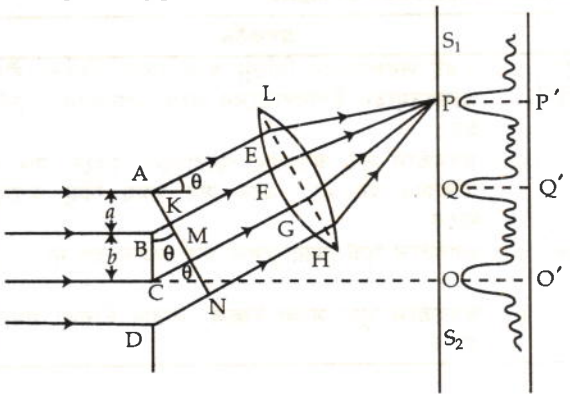
অতএব, একক দৈর্ঘ্যে রেখার সংখ্যা, $N = \frac{1}{d} = \frac{1}{a+b}$ ... ... (7.25)

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।



চিত্র ৭·১৪

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।

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 যেকোনো দুইটি অনুরূপ বিন্দুর মধ্যে পথ পার্থক্য $= (a + b) \sin\theta$

$\therefore$ P বিন্দু চরম বা উজ্জ্বল হলে,

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

এবং অবম বা অন্ধকার হলে,

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

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

$n = 0$ 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। পুন $n = 2$, 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, $N = \dfrac{1}{a + b}$

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

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

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

RMDAC

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। $22{\cdot}0 \times 10^{-5}$ 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।

[KUET Admission Test, 2017-18 (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি,
$$a \sin\theta_n = n\lambda$$
$$\therefore \quad \sin\theta_n = \frac{n\lambda}{a}$$

এখানে,
$\lambda = 5500\ \text{Å} = 5500 \times 10^{-8}$ cm
বেধ, $a = 22{\cdot}0 \times 10^{-5}$ cm

প্রথম অবম বিন্দুর ক্ষেত্রে $n = 1$

$$\therefore \quad \sin\theta_1 = \frac{\lambda}{a} = \frac{5500 \times 10^{-8}}{22{\cdot}0 \times 10^{-5}} = 0{\cdot}25$$

$$\therefore \quad \theta_1 = \sin^{-1}(0{\cdot}25) = 14°29'$$

এবং দ্বিতীয় অবম বিন্দুর ক্ষেত্রে, $n = 2$

$$\therefore \quad \sin\theta_2 = \frac{2\lambda}{a} = \frac{2 \times 5500 \times 10^{-8}}{22{\cdot}0 \times 10^{-5}} = 0{\cdot}5$$

$$\therefore \quad \theta_2 = \sin^{-1}(0{\cdot}5) = 30°$$

অতএব, কেন্দ্রীয় চরম বিন্দুর উভয় পার্শ্বে প্রথম দুটি অবম বিন্দুর কৌণিক অবস্থান,
$\theta_1 = 14°29'$ এবং $\theta_2 = 30°$

২। $0{\cdot}4$ mm বেধের একটি ছিদ্রকে 589 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো দ্বারা আলোকিত করলে যে অপবর্তন নক্শা উৎপন্ন করে তা 30 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের লেন্সের সাহায্যে দেখা হচ্ছে। অক্ষ হতে প্রথম অবম ও পরবর্তী উজ্জ্বল পট্টির মধ্যে দূরত্ব নির্ণয় কর।

আমরা জানি, অবমের শর্তানুযায়ী,
$$a \sin\theta_n = n\lambda$$
বা, $$\sin\theta_n = \frac{n\lambda}{a}$$

এখানে,
$\lambda = 589\ \text{nm} = 589 \times 10^{-9}$ m
$a = 0{\cdot}4\ \text{mm} = 0{\cdot}4 \times 10^{-3}$ m
$f = 30\ \text{cm} = 0{\cdot}3$ m

প্রথম অবমের জন্য $n = 1$

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

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

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

সমীকরণ (i) ও (ii) হতে পাই,
$$\frac{x_1}{f} = \frac{\lambda}{a}$$
$$\therefore \quad x_1 = \frac{\lambda \times f}{a} = \frac{589 \times 10^{-9} \times 0{\cdot}3}{0{\cdot}4 \times 10^{-3}}$$
$$= 4{\cdot}42 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

পদার্থবিজ্ঞান (২য়) - ৩৮(ক)

এখন, গৌণ উজ্জ্বল পট্টির ক্ষেত্রে,

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

∴ গৌণ প্রথম উজ্জ্বল পট্টির জন্য $n = 1$ এবং

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

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

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

$= 6{\cdot}63 \times 10^{-4}$ m

সুতরাং, প্রথম অন্ধকার এবং পরবর্তী উজ্জ্বল পট্টির মধ্যে দূরত্ব,

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 6{\cdot}63 \times 10^{-4} - 4{\cdot}42 \times 10^{-4}$$

$$= 2{\cdot}21 \times 10^{-4} \text{ m}$$

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

$= 0{\cdot}145^\circ$ (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, $\frac{1 \times 10^{-2} \times 10^{-4}}{0{\cdot}42} \sin 30^\circ = 2 \times \lambda$

$$\therefore \lambda = \frac{1 \times 10^{-6} \times 0{\cdot}5}{0{\cdot}42 \times 2}$$

$= 5952 \times 10^{-10}$ m $= 5952$ Å

এখানে,
$a + b = \frac{1}{N} = \frac{1 \text{ cm}}{4200} = \frac{1 \times 10^{-2}}{4200}$m $= \frac{1 \times 10^{-2} \times 10^{-4}}{0{\cdot}42}$
$n = 2$
$\theta_n = 30^\circ$
$\lambda = ?$

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 কি না ?

(ক) আমরা জানি,

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

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

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

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

এখানে,
$\lambda = 450$ nm $= 450 \times 10^{-9}$ m
$d = \frac{1}{N} = \frac{1}{6 \times 10^5}$ 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, $\sin\theta = 1.08$

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

$\therefore \lambda = \frac{\sin 4^\circ}{500 \times 2} = \frac{0.0698}{1000}$

$= 6980 \times 10^{-8}$ cm $= 6980$ Å

এখানে,

$N = 500/\text{সেমি.}$

$\theta_n = 4^\circ$

$\lambda = ?$

৭। নীল LED হতে নিঃসৃত আলো একটি অপবর্তন গ্রেটিং-এর ওপর লম্বভাবে আপতিত হয়। এ অপবর্তন গ্রেটিং-এ 25.4 mm প্রস্থে সমব্যবধানে 1.26×10^4টি 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 m-এ রেখার সংখ্যা,

$N = \frac{1.26 \times 10^4 \times 1}{25.4 \times 10^{-3}}$

$= 4.96 \times 10^5$টি

$\therefore d = \frac{1}{N} = 2.0159 \times 10^{-6}$ m

$d \sin\theta = n\lambda$

$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{n\lambda}{d}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{2 \times 450 \times 10^{-9}}{2.0159 \times 10^{-6}}\right)$

$= 26.52^\circ$

৮। একটি অপবর্তন গ্রেটিং-এর প্রতি সেন্টিমিটারে 6000 রেখা আছে, যার মাধ্যমে সোডিয়াম আলোর দ্বিতীয় চরমের বর্ণাচলন পাওয়া যায়। 2টি সোডিয়াম আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5890 Å এবং 5896 Å হলে এদের মধ্যে কৌণিক দূরত্ব কত ? [KUET Admission Test, 2019-20; RUET Admission Test, 2018-19 (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি,

$d \sin\theta = n\lambda$

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

বা, $\sin\theta = Nn\lambda$

$\therefore \theta = \sin^{-1}(Nn\lambda)$

এখানে,

$N = 6000$ cm

$\lambda_1 = 5890$ Å $= 5890 \times 10^{-8}$ cm

$\lambda_2 = 5896$ Å $= 5896 \times 10^{-8}$ cm

$n = 2$

λ_1 এর জন্য,

$\theta_1 = \sin^{-1}(Nn\lambda_1) = \sin^{-1}(6000 \times 2 \times 5890 \times 10^{-8})$
$= 44.975°$

এবং λ_2 এর জন্য,

$\theta_2 = \sin^{-1}(Nn\lambda_2) = \sin^{-1}(6000 \times 2 \times 5896 \times 10^{-8})$
$= 45.033°$

$\therefore$ কৌণিক দূরত্ব, $\theta_2 - \theta_1 = 45.033° - 44.975° = 0.058°$

৯। 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,

$d \sin\theta = n\lambda$

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

$= \frac{1 \times 5000 \times 10^{-10}\,\text{m}}{1.6 \times 10^{-6}\,\text{m}} = 0.3125$

$\therefore \theta = \sin^{-1}(0.3125) = 18.2°$

এখানে, গ্রেটিং ধ্রুবক,

d = চিড়ের প্রস্থ (a) + দাগের প্রস্থ (b)
$= 0.0006 + 0.001 = 1.6 \times 10^{-3}\,\text{mm}$
$= 1.6 \times 10^{-6}\,\text{m}$

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

ক্রম সংখ্যা, $n = 1$

$\theta = ?$

১০। 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; Admission Test : CKRUET 2021-22; KUET 2012-13]

আমরা জানি,

$d \sin\theta = n\lambda$

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

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

$= 0.7075$

$\therefore \theta = \sin^{-1}(0.7075) = 45.03°$

এখানে,

ক্রম সংখ্যা, $n = 2$

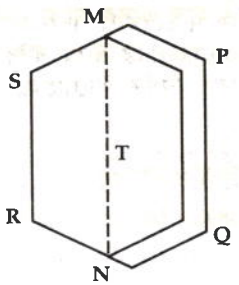
তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = 5896\,\text{Å}$
$= 5896 \times 10^{-10}\,\text{m}$

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

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

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

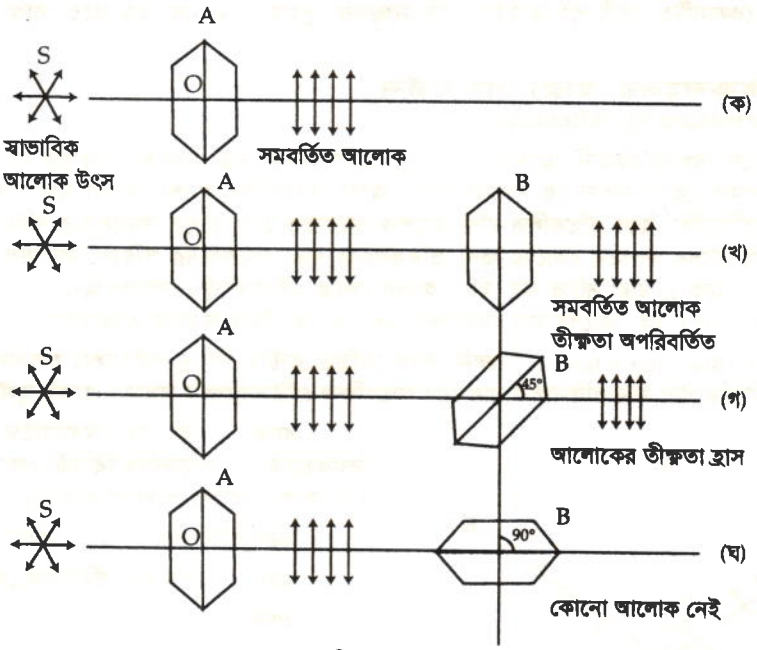
RMDAC

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 যেকোনো 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। [DAT: 23-24]

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। আলো একটি অনুপ্রস্থ তরঙ্গ তা সমবর্তন বৈশিষ্ট্যের দ্বারা জানা যায়।

উপরে বর্ণিত সমবর্তনে আলোক তরঙ্গের কম্পন একটি নির্দিষ্ট সমতলে সীমাবদ্ধ করা হয়েছে। এজন্য একে **সমতল** (plane) বা **রৈখিক** (linear) **সমবর্তন** বলা হয়।

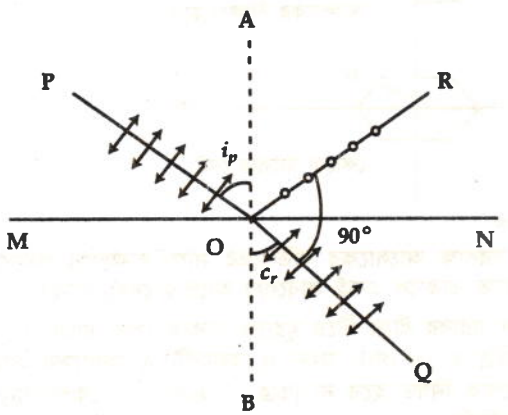
পরীক্ষা : কোনো আলো সমবর্তিত না অসমবর্তিত কীভাবে তুমি পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করবে ? ব্যাখ্যা কর।

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 $\angle POA = i_p$, সমবর্তন 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,

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

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

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

বা, $\mu = \tan i_p$

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,

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

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

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 ? [দি. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন)]

আমরা জানি,

$\mu = \tan i_p = 1{\cdot}53$

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

এবং $i_r = 90° - 56°50' = 33°10'$

এখানে,

$\mu = 1{\cdot}53$

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

আমরা জানি,

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

$\therefore \quad \mu = \frac{1}{\sin 40°} = \frac{1}{0{\cdot}6428} = 1{\cdot}56$

এখানে,

$\theta_c = 40°$

i_p সমবর্তন কোণ হলে আমরা পাই,

$\tan i_p = \mu = 1{\cdot}56$

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

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

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,

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

$\therefore \quad \mu = \frac{\sin 60°}{\sin 12°} = \frac{0{\cdot}866}{0{\cdot}2} = 4{\cdot}33$

এখানে,

$\angle i = 60°$

$\angle r = 12°$

আবার ব্রুস্টারের সূত্রানুযায়ী আমরা জানি,

$\tan i_p = \mu$

$\therefore \quad i_p = \tan^{-1} (4{\cdot}33)$

$\therefore \quad i_p = 77°$

৪। আলোক রশ্মি 1·33 প্রতিসরাঙ্কের পানি হতে 1·50 প্রতিসরাঙ্কের কাচে গমন করলে আলোর সমবর্তিত কোণ নির্ণয় কর।

ব্রুস্টারের সূত্র থেকে,

$${}_w\mu_g = \tan i_p$$

বা, $\frac{{}_w\mu_g}{{}_a\mu_w} = \tan i_p$

বা, $\frac{1{\cdot}5}{1{\cdot}33} = \tan i_p$

বা, $\tan i_p = 1{\cdot}13$

$\therefore \quad i_p = \tan^{-1}(1{\cdot}13) = 48{\cdot}5°$

এখানে,

${}_a\mu_g = 1{\cdot}5$

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

সমবর্তিত কোণ, $i_p = ?$

৫। কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·55। সমবর্তিত কোণ কত ? সমবর্তিত কোণের জন্য প্রতিসারক কোণ নির্ণয় কর।

[য. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); দি. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন)]

যদি বায়ুর সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক μ এবং সমবর্তিত কোণ i_p হয় তবে ব্রুস্টারের সূত্র থেকে আমরা পাই,

$$\mu = \tan i_p$$

বা, $\tan i_p = 1{\cdot}55$

$\therefore \quad i_p = \tan^{-1}(1{\cdot}55) = 57{\cdot}17°$

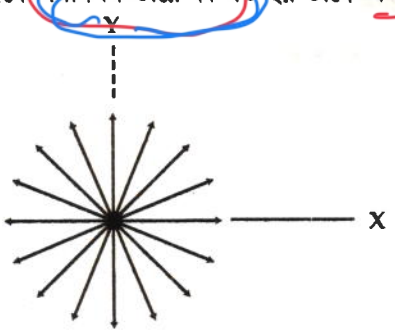
পুনরায়, সমবর্তিত কোণে আপতনের জন্য

$i_p + r = 90°$; এখানে r = প্রতিসরণ কোণ

বা, $r = 90 - i_p = 90° - 57{\cdot}17° = 32{\cdot}83°$

৭·১৩ সমবর্তন বিষয়ক কতগুলো 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]।

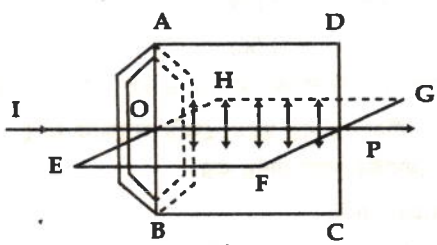


অসমবর্তিত আলোক

চিত্র ৭·১৮

(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।



সমবর্তিত আলোক

চিত্র ৭·১৯

(ঘ) **কম্পন তল (Plane of vibration) :** আলোক তরঙ্গের কণাসমূহ যে সমতলে কম্পিত হয় তাকে কম্পন তল বলে। চিত্র ৭·১৯-এ ABCD কম্পন তল।

(ঙ) **সমবর্তন 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 কতগুলো 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।

(ছ) 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

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

$${}_a\mu_b = \frac{c_a}{c_b} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

$$B = B_0 \sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

$$E = E_0 \sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

$$c = \frac{E_0}{B_0} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}\vec{E} \times \vec{B} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = {}_a\mu_b \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} x \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9)$$

গঠনমূলক ব্যতিচারের শর্ত, $x = n\lambda = 2n\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ ... ... (10)

ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের শর্ত, $x = (2n + 1)\frac{\lambda}{2}$ ... ... (11)

$${}_a\mu_g = \frac{\lambda_a}{\lambda_g} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (12)$$

$$\frac{\delta}{\lambda} = \frac{\sigma}{2\pi} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (13)$$

$$\Delta x = \lambda\frac{d}{a} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (14)$$

$$\beta = \frac{D}{2d}\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (15)$$

$$a \sin\theta = n\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (16)$$

$$(a + b)\sin\theta = n\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (17)$$

$$\frac{1}{N}\sin\theta_n = n\lambda \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (18)$$

$$a \sin\theta = (2n + 1)\lambda/2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (19)$$

$$\theta = \frac{\lambda}{2d} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (20)$$

$$\mu = \tan i_p \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (21)$$

$$i_p = \tan^{-1}(\text{cosec}\,\theta_c) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (22)$$

$$\lambda = \frac{\sin\theta}{nN} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (23)$$

বিশ্লেষণাত্মক ও মূল্যায়নধর্মী গাণিতিক সমস্যাবলির সমাধান

১। পদার্থবিজ্ঞান ল্যাবে একদল শিক্ষার্থী ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় পর্দা থেকে 1m দূরত্বে দুটি চিড় স্থাপন করল। চিড়দ্বয়ের মধ্যবর্তী ব্যবধান 4×10^{-4} m। তারা লাল আলো ব্যবহার করে পর্দার উপর 40টি ডোরা সৃষ্টি করলো। পরে সবুজ ও নীল আলো ব্যবহার করলো। $\lambda_r = 6200\text{Å}$, $\lambda g = 4950\text{Å}$ থেকে 5700Å পর্যন্ত এবং $\lambda_b = 4500\text{Å}$ থেকে 4950Å পর্যন্ত।

(ক) উদ্দীপকে লাল আলোর ক্ষেত্রে ডোরার প্রস্থ নির্ণয় কর।

(খ) শিক্ষার্থীরা যদি আরও 20টি ডোরা বেশি পেতে চায় তাহলে কোন বর্ণের আলো ব্যবহার করতে হবে? গাণিতিক ব্যাখ্যা দাও। [ব. বো. ২০২১]

(ক) আমরা জানি ডোরার প্রস্থ,

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

$$\therefore \beta = \frac{1 \times 6200 \times 10^{-10}}{4 \times 10^{-4}}$$

$$= \frac{6{\cdot}2 \times 10^{-7} \times 10^{4}}{4}$$

$$= 1{\cdot}55 \times 10^{-3}\text{ m} = 1{\cdot}55\text{ mm}$$

এখানে,

$D = 1\text{m}$

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

$\lambda_r = 6200\text{Å} = 6200 \times 10^{-10}\text{ m}$

(খ) আবার, $x_n = \frac{n\lambda D}{2d}$ ... (i)

1 ডোরার প্রস্থ $= 1{\cdot}55 \times 10^{-3}\text{ m}$

$\therefore$ 40 " " $= 1{\cdot}55 \times 40 \times 10^{-3}\text{ m}$

$= 62 \times 10^{-3}\text{ m}$

এখানে,

$n = 40 + 20 = 60$

$D = 1\text{m}$

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

$\lambda = ?$

এই ব্যবধানের মধ্যে 60টি ডোরা পেতে হলে সমীকরণ (i) থেকে পাই,

$$62 \times 10^{-3} = \frac{60 \times \lambda \times 1}{4 \times 10^{-4}}$$

বা, $\lambda = \frac{62 \times 10^{-3} \times 4 \times 10^{-4}}{60}$

$= 4{\cdot}133 \times 10^{-7} = 4133 \times 10^{-10}\text{ m}$

$= 4133\text{Å}$

যেহেতু এটি বেগুনি আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য। সুতরাং বেগুনি আলো ব্যবহার করতে হবে।

২। 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। [মাদরাসা বোর্ড, ২০১৭; 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, $E = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda}$ $[\because c = \upsilon\lambda]$

$$= \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{5500 \times 10^{-10}}$$

$$= 3{\cdot}62 \times 10^{-19}\text{ J} = 2{\cdot}26\ eV$$

এখানে,

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

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

পথ পার্থক্য, $\sigma = 1100\text{ Å} = 1100 \times 10^{-10}\text{ m}$

$\lambda = 5500\text{ Å} = 5500 \times 10^{-10}\text{ m}$

(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।

৩। ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষার জন্য রাসেল $5{\cdot}5 \times 10^{14}$ Hz কম্পাঙ্কবিশিষ্ট আলো ব্যবহার করে চিড় হতে 1·55 m দূরত্বের পর্দায় ব্যতিচার ঝালর সৃষ্টি করল। যার পরপর 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) $\Delta z = \frac{\lambda D}{a} = \frac{cD}{n \times 2d}$

$\therefore \quad a = \frac{cD}{n\Delta z} = \frac{3 \times 10^8 \times 1{\cdot}55}{5{\cdot}5 \times 10^{14} \times 0{\cdot}75 \times 10^{-3}}$

$= 1{\cdot}127 \times 10^{-3}$ m

$= 1{\cdot}127$ mm

এখানে,

$D = 1{\cdot}55$ m

$\Delta z = 0{\cdot}75$ mm $= 0{\cdot}75 \times 10^{-3}$ m

$n = 5{\cdot}5 \times 10^{14}$ Hz

ধরি, c = আলোর বেগ

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

$2d = ?$

(খ) রাসেলের ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\lambda = \frac{c}{n}$

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{5{\cdot}5 \times 10^{14}} = 5{\cdot}45 \times 10^{-7} \text{ m}$$

আরিফের পরীক্ষায় চিড়দ্বয়ের মধ্যকার দূরত্ব,

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

$D = 1 \text{ m}, \Delta z = 0{\cdot}295 \text{ mm} = 0{\cdot}295 \times 10^{-3} \text{ m}$

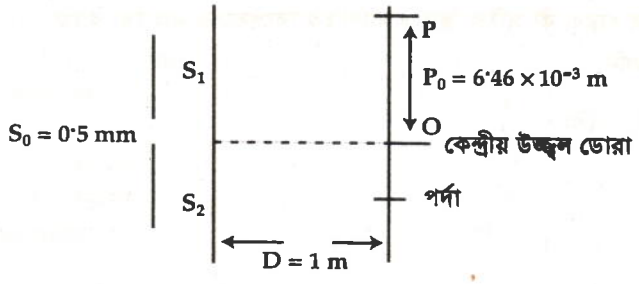
$\Delta z = \frac{\lambda' D}{2d}$

$\therefore \quad \lambda' = \frac{2d \times \Delta z}{D} = \frac{2 \times 10^{-3} \text{ m} \times 0{\cdot}295 \times 10^{-3} \text{ m}}{1 \text{ m}}$

$= 5{\cdot}9 \times 10^{-7}$ m

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

৪।



উদ্দীপকে 3800 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করে ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষা সম্পন্ন করা হচ্ছে। চিত্রে $S_1S_2 = 0{\cdot}5$ mm, OP = $6{\cdot}46 \times 10^{-3}$ 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। [ঢা. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); ম. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); কু. বো. ২০১৬]

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

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

$2d = 0.5\ \text{mm} = 5 \times 10^{-4}\ \text{m}$

$D = 1\ \text{m}$

$x = ?$

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, $OP = x_n = 6.46 \times 10^{-3}\ \text{m}$

চিড়দ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব, $2d = 0.5\ \text{mm} = 5 \times 10^{-4}\ \text{m}$

চিড় হতে পর্দার দূরত্ব, $D = 1\ \text{m}$

আমরা জানি, পথ পার্থক্য

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

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

$$= 32300\ \text{Å}$$

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।

৫। 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, $\sin\theta_n' = (2n+1) \times \frac{600 \times 10^{-9}}{2 \times 2 \times 10^{-6}} = 0.45$

$\therefore \quad \theta_n' = \sin^{-1}(0.45) = 26.74°$

$\therefore \quad 2\theta_n' = 2 \times 26.74 = 53.48°$

অতএব, ১ম ক্রম চরমগুলোর মধ্যবর্তী কৌণিক দূরত্ব 53.48°.

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, $2\theta_n' = ?$

(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, $2n + 1 = \dfrac{2a}{\lambda}$

বা, $2n = \dfrac{2a}{\lambda} - 1$

$$\therefore \quad n = \frac{a}{\lambda} - \frac{1}{2} = \frac{2 \times 10^{-6}}{600 \times 10^{-9}} - \frac{1}{2} = 2.83 \approx 3 \qquad [\because n \text{ এর মান পূর্ণ সংখ্যক}]$$

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।

৬। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় দুটি চিড়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 2 mm নেয়া হলো। এই চিড়দ্বয় থেকে 1m দূরত্বে পর্দায় ডোরার ব্যবধান 0.3 mm পাওয়া গেল।

(ক) উদ্দীপকে ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(খ) উপরোক্ত পরীক্ষায় পর্দার কোনো একটি বিন্দুতে তরঙ্গদ্বয়ের পথ পার্থক্য 12000 Å হলে উক্ত বিন্দুতে কোন ধরনের ব্যতিচার সৃষ্টি হবে? গাণিতিক বিশ্লেষণসহ মতামত দাও। [সি. বো. ২০২১]

(ক) আমরা জানি,

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

বা, $\lambda = \dfrac{2dx}{D}$

$$\therefore \quad \lambda = \frac{2 \times 10^{-3} \times 0.3 \times 10^{-3}}{1}$$

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

এখানে,

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

$D = 1\text{m}$

$x = 0.3\ \text{mm} = 0.3 \times 10^{-3}\ \text{m}$

$\lambda = ?$

(খ) এখানে পথ পার্থক্য,

$$\sigma = 12000 \times 10^{-10}\ \text{m} = 12 \times 10^{-7} = 1.2 \times 10^{-6}\ \text{m}$$

এখানে,

$\sigma = 12000\ \text{Å} = 12000 \times 10^{-10}\ \text{m}$

আমরা জানি,

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

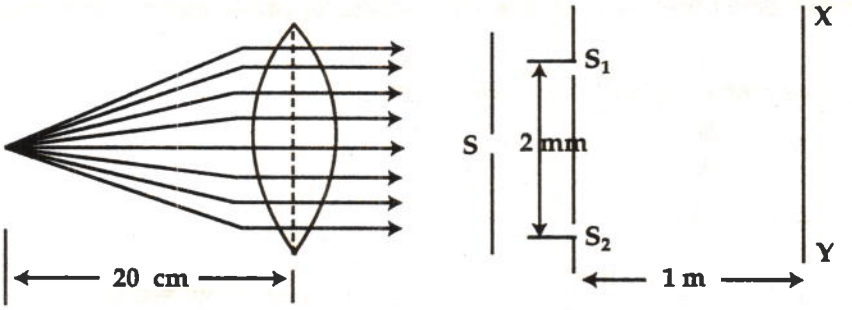
$$= \frac{2\pi}{\lambda} \times \sigma = 2\pi \times \frac{\sigma}{\lambda}$$

$$= 2\pi \times \frac{1.2 \times 10^{-6}}{6 \times 10^{-7}} = 2\pi \times 2$$

$= 2 \times 2\pi = 4\pi$, অর্থাৎ দশা পার্থক্য π এর জোড় গুণিতক যা গঠনমূলক ব্যতিচারের শর্ত।

সুতরাং, এক্ষেত্রে গঠনমূলক ব্যতিচার সৃষ্টি হবে।

৭। 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,

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

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

এখানে,

লেন্সের ফোকাস দূরত্ব,

$f = 20\,cm = 0.2\,m$

ক্ষমতা, $P = ?$

(খ) আমরা জানি, ডোরার প্রস্থ,

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

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

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

এখানে,

দুই চিড়ের মধ্যেবর্তী দূরত্ব,

$2d = 2\,mm = 2 \times 10^{-3}\,m$

পর্দার দূরত্ব, $D = 1\,m$

আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য,

$\lambda = 5800\,\text{Å} = 5800 \times 10^{-10}\,m$

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

$D_1 = 1\,m + 0.2\,m = 1.2\,m$

এখন,

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

বা, $$\lambda_1 = \frac{2\,dx'}{D_1}$$

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

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

এখানে,

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

$D_1 = 1.2\,m$

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

$\lambda_1 = ?$

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

৮। 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 ?

[ঢা. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); ম. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); ব. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন); রা. বো. ২০১৬]

(ক) আমরা জানি,

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

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

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

$= 2{\cdot}325 \times 10^{-7}\text{ m}$

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

এখানে,

চিড়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব বা প্রস্থ,

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

পর্দা ও চিড়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব, $D = 1$ m

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

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

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

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

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

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

এখন পানিতে ৮ম উজ্জ্বল ডোরার দূরত্ব,

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

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

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

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

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

আমরা জানি, বায়ুতে ডোরার প্রস্থ

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

$= 775 \times 10^{-6}\text{ m} = 0{\cdot}775\text{ mm}$

এবং পানিতে ডোরার প্রস্থ,

$x_w = \frac{\lambda_w D}{2d} = \frac{1743{\cdot}8 \times 10^{-10} \times 1}{3 \times 10^{-4}}$

$= 581 \times 10^{-6}\text{ m} = 0{\cdot}581\text{ mm}$

প্রতিটি ডোরার প্রস্থ হ্রাস পায়,

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

অর্থাৎ পানিতে ডোরার প্রস্থ হ্রাস পাবে $= = 0{\cdot}194\text{ mm}$

৯। বায়ুতে ইয়ং-এর একটি দ্বি-চিড় পরীক্ষায় ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5200Å, পর্দার দূরত্ব 90 cm এবং চিড়ের ব্যবধান 0·4 mm। এরপর পরীক্ষণটি গ্লিসারিন ও কেরোসিন মাধ্যমে সম্পন্ন করা হয়। গ্লিসারিন ও কেরোসিনের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·47 এবং 1·44।

(ক) উদ্দীপকের পরীক্ষণটি হতে 7th অন্ধকার ডোরার দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) গ্লিসারিন ও কেরোসিনে ডোরার প্রস্থ সমান পাওয়া যাবে কী? গাণিতিক মতামত দাও। [ম. বোর্ড ২০২১]

(ক) আমরা জানি,

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

$$\therefore \quad x_7 = \frac{7 \times 5200 \times 10^{-10} \times 0{\cdot}9}{0{\cdot}4 \times 10^{-3}}$$

$$= \frac{7 \times 5{\cdot}2 \times 0{\cdot}9 \times 10^{-4}}{0{\cdot}4}$$

$$= 8{\cdot}19 \times 10^{-3}\ \text{m}$$

$$= 8{\cdot}19\ \text{mm}$$

এখানে,

$n = 7$

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

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

$D = 90\ \text{cm} = 0{\cdot}9\text{m}$

(খ) আবার, $\frac{\lambda_a}{\lambda_g} = \frac{\mu_g}{\mu_a} = \frac{x_a}{x_g}$

$$\therefore \quad x_g = \frac{\mu_a x_a}{\mu_g} \quad \left[\because\ x_a = \frac{8{\cdot}19}{7} = 1{\cdot}17\ \text{mm} = 1{\cdot}17 \times 10^{-3}\ \text{m}\right]$$

$$= \frac{1 \times 1{\cdot}17 \times 10^{-3}}{1{\cdot}47}$$

$$= 0{\cdot}7959 \times 10^{-3}\ \text{m} = 0{\cdot}7959\ \text{mm}$$

এবং $x_k = \frac{1 \times 1{\cdot}17 \times 10^{-3}}{1{\cdot}44} = 0{\cdot}8125 \times 10^{-3}\ \text{m} = 0{\cdot}8125\ \text{mm}$

গ্লিসারিন ও কেরোসিনে ডোরার প্রস্থ ভিন্নতর হবে।

এখানে,

$\mu_a = 1{\cdot}00$

$\mu_g = 1{\cdot}47$

$\mu_k = 1{\cdot}44$

১০। জারা পদার্থবিজ্ঞান গবেষণাগারে ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় 0·2 cm ব্যবধানে অবস্থিত দুটি চিড়ে আলো ফেলল। চিড় থেকে 100 cm দূরে পর্দায় ডোরার প্রস্থ 0·03 cm পেল। ডোরার প্রস্থ বৃদ্ধি করার জন্য জারা চিড়ের ব্যবধান কমিয়ে 0·15 cm এবং পর্দার দূরত্ব বাড়িয়ে 150 cm করল।

(ক) পরীক্ষায় ব্যবহৃত আলোর কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।

(খ) ডোরার প্রস্থ বৃদ্ধি করার জন্য জারা যে কাজটি করেছে তা যথার্থ কি না? গাণিতিক বিশ্লেষণপূর্বক মন্তব্য কর। [রা. বো. ২০২১]

আমরা জানি,

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

বা, $3 \times 10^{-4} = \frac{\lambda \times 1}{2 \times 10^{-3}}$

$$\therefore \quad \lambda = 3 \times 2 \times 10^{-7} = 6 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

আবার, $\upsilon = \frac{c}{\lambda} \quad \therefore \upsilon = \frac{3 \times 10^8}{6 \times 10^{-7}} = 0{\cdot}5 \times 10^{15} = 5 \times 10^{14}\ \text{Hz}$

এখানে,

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

$D = 100\ \text{cm} = 1\ \text{m}$

$x = 0{\cdot}03\ \text{cm} = 3 \times 10^{-4}\ \text{m}$

$\upsilon = ?$

(খ) এক্ষেত্রে, $2d = 0{\cdot}15\ \text{cm} = 15 \times 10^{-4}\ \text{m}$ এবং $D = 150\ \text{cm} = 1{\cdot}5\ \text{m}$

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

$$\therefore \quad x = \frac{6 \times 10^{-7} \times 1{\cdot}5}{15 \times 10^{-4}} = \frac{9{\cdot}0 \times 10^{-3}}{15} = 6 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

পূর্বের তুলনায় প্রস্থ দ্বিগুণ হবে। সুতরাং, কাজটি যথার্থ হয়েছে।

১১। 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।

(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। [অভিন্ন প্রশ্ন (ক ও খ সেট) ২০১৮]

(ক) আমরা জানি,

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

$$= \frac{10\times 5\times 10^{-7}\times 2}{0\cdot1\times 10^{-3}} = 0\cdot1\ \text{m}$$

এখানে,

$D = 2\text{m}$

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

$2d = 0\cdot1\ \text{mm} = 0\cdot1\times 10^{-3}\ \text{m}$

(খ) উজ্জ্বল ডোরার ক্ষেত্রে আমরা জানি,

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

বা, $\sin\theta = \frac{n\lambda}{a}$

$$\therefore\quad \theta = \sin^{-1}\frac{n\lambda}{a} = \sin^{-1}\left(\frac{10\times 5\times 10^{-7}}{0\cdot1\times 10^{-3}}\right) = 2\cdot87^\circ$$

অন্ধকার ডোরার ক্ষেত্রে,

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

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

$$= \sin^{-1}\left\{(2\times 10-1)\times\frac{5\times 10^{-7}}{2\times 0\cdot1\times 10^{-3}}\right\} = 2\cdot72^\circ$$

সুতরাং গাণিতিক বিশ্লেষণ থেকে দেখা যায় দশম উজ্জ্বল ডোরা ও দশম অন্ধকার ডোরার মধ্যবর্তী কৌণিক অবস্থানের পার্থক্য $\Delta\theta = \theta - \theta' = 2\cdot87 - 2\cdot72 = 0\cdot15^\circ$.

১২। 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। [ব. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); রা. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি,

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

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

$$\therefore\quad 2d = 0\cdot437\times 10^{4}\times 10^{-7}\ \text{m} = 0\cdot437\times 10^{-3}\ \text{m}$$
$$= 0\cdot437\ \text{mm}$$

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, $2d = 0\cdot437\ \text{mm}$

(খ) আবার, আমরা জানি,

$$_a\mu_w = \frac{\lambda_a}{\lambda_w}\ \text{বা,}\ \lambda_w = \frac{\lambda_a}{{}_a\mu_w} = \frac{5460\times 10^{-10}}{1\cdot5} = 3640\times 10^{-10}\ \text{m}$$

এখন পানিতে চারটি ডোরার প্রস্থ,

$$x_w = \frac{n\lambda_w D}{2d} = \frac{4\times 3640\times 10^{-10}}{0\cdot437\times 10^{-3}}$$

$$= 3\cdot33\times 10^{-3}\ \text{m} = 3\cdot33\ \text{mm}$$

এখানে $x_n > x_w$, অর্থাৎ পানিতে চারটি উজ্জ্বল ডোরা কেন্দ্রের দিকে $(5 - 3\cdot33) = 1\cdot67$ mm সরে আসবে।

১৩। 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। [রা. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); য. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); চ. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); কু. বো. ২০১৯]

(ক) আমরা জানি, কৌণিক ব্যবধান,

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

বা, $\theta = \frac{3100 \times 10^{-10}}{0{\cdot}4 \times 10^{-3}}$

$$\therefore \quad \theta = \frac{3100 \times 10^{-10}}{0{\cdot}4 \times 10^{-3}} \times \frac{180}{\pi} = 0{\cdot}044^\circ$$

এখানে,

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

$D = 1\ \text{m}$

$\lambda = 3100\ \text{Å} = 3100 \times 10^{-10}\ \text{m}$

$n = 12$

(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।

১৪। রিয়া এবং রিপা দুটি অপবর্তন গ্রেটিং নিয়ে পরীক্ষা করছিল। রিয়ার গ্রেটিং-এ প্রতি সেন্টিমিটারে দাগসংখ্যা 6000। এর ভেতরে কমলা রঙের আলো ফেলা হলো। অপরদিকে রিপার গ্রেটিং-এর গ্রেটিং ধ্রুবক $1{\cdot}6 \times 10^{-6}$ m। সে সবুজ আলো নিয়ে পরীক্ষা করছিল। রিয়া বললো প্রথম উজ্জ্বল রেখার জন্য অপবর্তন কোণ আমার ক্ষেত্রে বেশি হবে। রিপা বললো, দেখা যাক।

আলোর বর্ণ	তরঙ্গদৈর্ঘ্য (Å)
কমলা	6000
সবুজ	5000
বেগুনি	4000

(ক) বেগুনি আলোর ক্ষেত্রে একটি ফোটনের শক্তি নির্ণয় কর।

(খ) রিয়ার উক্তি যথার্থ কি না— হিসাব কর। [ব. বো. ২০২২]

(ক) আমরা জানি,

$$E_V = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6{\cdot}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{4000 \times 10^{-10}}$$

$$= 4{\cdot}97 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

$$= \frac{4{\cdot}97 \times 10^{-19}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}}\ eV$$

$$= 3{\cdot}11\ eV$$

এখানে,

বেগুনি আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য :

$\lambda_V = 4000\text{Å} = 4000 \times 10^{-10}\ \text{m}$

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

$n = 1$

$E_V = ?$

কমলা আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য :

$\lambda_C = 6000\text{Å} = 6000 \times 10^{-10}\ \text{m}$

$N = 6000$

(খ) গ্রেটিং ধ্রুবক,

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

আমরা জানি,

$$d \sin\theta_1 = n\lambda$$

$$\sin\theta_1 = \frac{n\lambda}{d} = \frac{1 \times 6000 \times 10^{-10}}{\frac{1 \times 10^{-2}}{6000}}$$

$$= \frac{1 \times 6000 \times 10^{-10} \times 6000}{1 \times 10^{-2}} = 0{\cdot}36$$

$\therefore \quad \theta_1 = \sin^{-1} 0{\cdot}36 = 21{\cdot}1°$

এখানে,

রিয়ার আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য,

$\lambda = 6000\text{Å} = 6000 \times 10^{-10}\,\text{m}$

$n = 1$

আবার, $d \sin\theta_2 = n\lambda$

$$\sin\theta_2 = \frac{n\lambda}{d}$$

$$\sin\theta_2 = \frac{1 \times 5000 \times 10^{-10}}{1{\cdot}6 \times 10^{-6}}$$

$$\sin\theta_2 = 0{\cdot}3125$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}(0{\cdot}3125) = 18{\cdot}21°$$

এখানে,

রিপার আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য,

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

$n = 1$

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

$\theta_2 = ?$

এখানে $\theta_1 > \theta_2$; অর্থাৎ রিয়ার ক্ষেত্রে অপবর্তন কোণ (21·1°) রিয়ার অপবর্তন কোণ (18·21°) অপেক্ষা বেশি।
$\therefore$ রিয়ার উক্তিটি যথার্থ।

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।

তরঙ্গামুখ : তরঙ্গস্থিত সমদশাসম্পন্ন বিন্দুগুলি যে তলে অবস্থান করে তাকে উক্ত তরঙ্গের তরঙ্গামুখ 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। যেকোনো 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।

তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গ : 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।

তরঙ্গের উপরিপাতন : 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।
তরঙ্গ দুটি একই দশায় আপতিত হলে লব্ধি সরণ, $y = y_1 + y_2$
তরঙ্গ দুটি বিপরীত দশায় আপতিত হলে লব্ধি সরণ, $y = y_1 - y_2$

সুসংগত উৎস : দুটি উৎস হতে সমদশাসম্পন্ন বা কোনো নির্দিষ্ট দশা পার্থক্যের একই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুটি আলোক তরঙ্গ নিঃসৃত হলে তাদেরকে সুসংগত উৎস বলে।

গঠনমূলক ব্যতিচার : দুটি উৎস হতে সমান কম্পাঙ্ক ও বিস্তারের দুটি আলোক তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে উজ্জ্বল বিন্দু পাওয়া গেলে তাকে গঠনমূলক ব্যতিচার বলে।

ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার : দুটি উৎস হতে সমান কম্পাঙ্ক ও বিস্তারের দুটি আলোক তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে অন্ধকার বিন্দু পাওয়া গেলে তাকে ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার বলে।

গ্রেটিং ধ্রুবক : যেকোনো একটি চিড়ের শুরু থেকে পরবর্তী চিড়ের শুরু পর্যন্ত দূরত্বকে গ্রেটিং ধ্রুবক বলে। অথবা যেকোনো চিড়ের শেষ প্রান্ত থেকে পরবর্তী চিড়ের শেষ প্রান্তের দূরত্বকে গ্রেটিং ধ্রুবক বলে।

সমতল বা রৈখিক সমবর্তন : যে সমবর্তনে আলোক তরঙ্গের কম্পন একটি নির্দিষ্ট সমতলে সীমাবদ্ধ থাকে তাকে সমতল বা রৈখিক সমবর্তন বলে।

ব্রুস্টারের সূত্র : বিজ্ঞানী স্যার ডেভিড ব্রুস্টার বিভিন্ন পরীক্ষালব্ধ ফলাফল থেকে দেখান যে সমতল কোণের ট্যানজেন্টের মান প্রতিসারক মাধ্যমের আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্কের সমান। একেই ব্রুস্টারের সূত্র বলে।

ম্যালানের 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, $I \propto (\cos\theta)^2$।

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 সুচালো 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 বা পোলারায়ন : যে প্রক্রিয়ায় বিভিন্ন তলে কম্পমান আলোক তরঙ্গকে একটি নির্দিষ্ট তল বরাবর কম্পনক্ষম করা যায় তাকে আলোকের সমবর্তন বা পোলারায়ন 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 ওই কেলাসের প্রধান 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। তড়িচ্চুম্বকীয় 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 Å 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]

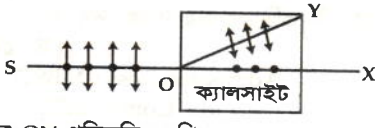
৮। ব্যতিচার এক ধরনের উপরিপাতন। শব্দ তরঙ্গের পোলারণ সম্ভব না।

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 $= 2\times10^{15}$ 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 অর্ধেক 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। ফ্রনহফার 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 $57{\cdot}5°$ 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 ? [ঢা. বো. ২০২২; Admission Test : MBSTU 2019-20; DU, Com.U 2012-13, 2017-18; RUC 2021-22]
ⓚ দৃশ্যমান আলো
ⓛ এক্স-রশ্মি
ⓜ গামা রশ্মি
ⓝ আলফা রশ্মি

৩। তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের ক্ষেত্রে—
(i) মাধ্যমের প্রয়োজন হয় না
(ii) কম্পাঙ্ক ধ্রুব থাকে
(iii) তরঙ্গের বেগ $3\times10^8\ ms^{-1}$

নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৪। একটি তরঙ্গামুখে কণাগুলোর মধ্যে দশা পার্থক্য— [রা. বো. ২০২৩, ২০২১; দি. বো. ২০২২; কু. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); ঢা. বো. ২০১৫]
ক 0°
খ 90°
গ 45°
ঘ 180°

৫। হাইগেনের আলোক তত্ত্বের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়— [রা. বো. ২০২২; ঢা. বো. ২০১৬]
(i) আলোর ব্যতিচার
(ii) আলোর সমবর্তন
(iii) আলোর প্রতিসরণ
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৬। মাধ্যমের পরিবর্তন হলে আলোর বৈশিষ্ট্যের কী পরিবর্তন ঘটে ? [ঢা. বো. ২০২২]
ক তরঙ্গাদৈর্ঘ্য
খ কম্পাঙ্ক
গ বর্ণ
ঘ কোনোটাই নয়

৭। সুসঙ্গত আলোক উৎসের ক্ষেত্রে— [সি. বো. ২০২৩; ঢা. বো. ২০২২]
(i) উৎস দুটি ক্ষুদ্র হবে
(ii) উৎস হতে সমান তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের তরঙ্গ নির্গত হবে
(iii) তরঙ্গাদ্বয়ের দশা পার্থক্য সর্বদা নির্দিষ্ট থাকবে
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

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 ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ 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 তরঙ্গাদৈর্ঘ্য কত? [কু. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); Admission Test : DU 2010-11; KUET 2012-13 (মান ভিন্ন); BUET 2021-22 (মান ভিন্ন)]
ক 7m
খ 10^{-7} m
গ 10^{-8} m
ঘ 0·2 m

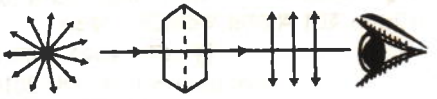
১০। টমাস ইয়ং দ্বি-চিড় পরীক্ষার মাধ্যমে কী প্রদর্শন করেন ? [কু. বো. ২০২৩]
ক আলোর সমবর্তন
খ আলোর প্রতিসরণ
গ আলোর ব্যতিচার
ঘ আলোর বিচ্ছুরণ

১১। দুটি সুসঙ্গত একবর্ণী আলো গঠনমূলক ব্যতিচার সৃষ্টি করে যখন তাদের দশা পার্থক্য হয়— [কু. বো. ২০২১(মান ভিন্ন); চ. বো. ২০২১(মান ভিন্ন); ব. বো. ২০২১(মান ভিন্ন) দি. বো. ২০২১(মান ভিন্ন); CU Admission Test, 2019-20]
ক $\frac{3}{2}\pi$
খ 2π
গ π
ঘ $\frac{\pi}{2}$

১২। ইয়ং-এর পরীক্ষায় দুটি চিড় থাকার কারণ হলো— [চ. বো. ২০২১]
ক দুটি সুসঙ্গত উৎস সৃষ্টির জন্য
খ একটি চিড় কম্পাঙ্কের জন্য এবং অপরটি তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের জন্য
গ পথের দূরত্বের পার্থক্য সৃষ্টির জন্য
ঘ একটি চিড় $\vec{E}$ ক্ষেত্রের জন্য এবং অপরটি $\vec{B}$ ক্ষেত্রের জন্য

১৩। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে দশা পার্থক্য $\frac{\pi}{2}$। বিন্দুদ্বয়ের পথ পার্থক্য কত ? [দি. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন), ২০১৬; সি. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন); ঢা. বো. ২০১৫; Admission Test : CUET 2012-13; JUST, Com.U 2014-15; BRUR-D 2017-18 BAU 2017-18]
ক $\frac{\lambda}{2}$
খ $\frac{\lambda}{4}$
গ $\frac{3\lambda}{4}$
ঘ λ

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



ক অপবর্তন
খ সমবর্তন
গ ব্যতিচার
ঘ উপরিপাতন

১৫। তরঙ্গের দুটি বিন্দুর দশা পার্থক্য নির্ভর করে— [রা. বো. ২০১৬]

(i) পথ পার্থক্যের ওপর
(ii) তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ওপর
(iii) তরঙ্গ বেগের ওপর

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

১৬। তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গ ধর্ম হলো— [রা. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন), ২০১৬; ম. বো. ২০২১]

(i) অনুপ্রস্থ তরঙ্গ
(ii) $\vec{E}$ এবং $\vec{B}$ ক্ষেত্রের সমন্বয়ে গঠিত
(iii) $\vec{E}$ এবং $\vec{B}$ পরস্পর লম্ব

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

দুটি সরু চিড় পরস্পর হতে 4 mm দূরে অবস্থিত। এ ব্যবস্থাকে 5890Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক দ্বারা আলোকিত করা হলে 0·8 m দূরে অবস্থিত পর্দায় উজ্জ্বল ও অন্ধকার ডোরার সৃষ্টি হলো।

ওপরের তথ্যের আলোকে ১৭নং ও ১৮নং প্রশ্নের উত্তর দাও :

১৭। পর্দায় সৃষ্ট ডোরার প্রস্থ কত ?

ক 0·1178 mm
খ 0·890 mm
গ 0·0589 mm
ঘ 1·78 mm

১৮। কেন্দ্রীয় চরম থেকে 0·047 cm দূরে কত ক্রমের উজ্জ্বল ডোরা পাওয়া যায় ?

ক প্রথম
খ দ্বিতীয়
গ তৃতীয়
ঘ চতুর্থ

১৯। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে পথ পার্থক্য যদি $\frac{5\lambda}{4}$ হয়, তবে তাদের দশা পার্থক্য কত ? [কু. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন), ২০১৬; ব. বো. ২০২১(মান ভিন্ন), ২০১৯; দি. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন), ২০১৭; য. বো. ২০১৯; ঢা. বো. ২০১৬ (মান ভিন্ন); JU Admission Test, 2021-22 (মান ভিন্ন)]

ক $\frac{5\pi}{4}$
খ $\frac{2}{5}\pi$
গ $\frac{5}{2}\pi$
ঘ $\frac{4}{5}\pi$

২০। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় পরপর দুটি উজ্জ্বল ডোরার মধ্যবর্তী দূরত্ব কত ? [চ. বো. ২০১৯; সি. বো. ২০১৯; য. বো. ২০১৬]

ক $\Delta x = \frac{D\lambda}{a}$
খ $\Delta x = \frac{a\lambda}{D}$
গ $\Delta x = \frac{a}{D\lambda}$
ঘ $\Delta x = \frac{aD}{\lambda}$

২১। অপবর্তন কত প্রকার ? [য. বো. ২০১৯, ২০১৬]

ক 4
খ 3
গ 2
ঘ 1

২২। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় দ্বি-চিড় হতে আগত তরঙ্গ দুটি— [য. বো. ২০১৬]

(i) সুসংগত
(ii) লম্বিক
(iii) স্থির

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i
খ i, ii ও iii
গ ii ও iii
ঘ i ও ii

২৩। নিচের কোন তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য সবচেয়ে বেশি ? [রা. বো. ২০২১; চ. বো. ২০১৯, ২০১৬; দি. বো. ২০১৯ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০১৭; Admission Test : IU 2017-18; DU 2016-17; JU 2012-13]

ক অবলোহিত
খ গামা
গ বেতার
ঘ অতি বেগুনি

২৪। নিচের কোনটি তড়িৎ চুম্বকীয় তত্ত্ব দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায় না ? [রা. বো. ২০২১; চ. বো. ২০১৬; RUC Admission Test, 2021-22]

ক সমবর্তন
খ অপবর্তন
গ আলোক তড়িৎ ক্রিয়া
ঘ ব্যতিচার

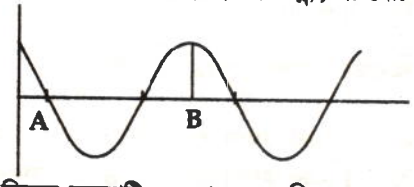
২৫। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় দুটি পাশাপাশি উজ্জ্বল ঝালর-এর মধ্যে পথ পার্থক্য কত? [সি. বো. ২০২৩; কু. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); দি. বো. ২০১৯; চ. বো. ২০১৬; Admission Test : RU 2017-18; JUST 2016-17; MBSTU 2015-16]

ক 2λ
খ λ
গ $\frac{\lambda}{2}$
ঘ $\frac{\lambda}{4}$

২৬। নিম্নের কোন কেলাসটি দ্বৈত প্রতিসারক কেলাস ? [চ. বো. ২০১৬; PUST Admission Test, 2017-18]

ক সোডিয়াম
খ পটাসিয়াম
গ কোয়ার্টজ
ঘ সোনা

২৭। [য. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); ব. বো. ২০১৬]



চিত্রের তরঙ্গটি A থেকে B বিন্দুতে গেলে কণার দশার পরিবর্তন কত হবে ?

ক $\frac{\pi}{2}$
খ π
গ $\frac{3}{2}\pi$
ঘ 2π

২৮। ব্যতিচারের ক্ষেত্রে— [সি. বো. ২০১৬]

(i) ডোরাগুলোর প্রস্থ অসমান থাকে
(ii) অন্ধকার ডোরাগুলোতে আলো থাকে না
(iii) উজ্জ্বল ডোরাগুলোর উজ্জ্বলতা সমান হয়

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii
খ ii ও iii
গ i ও iii
ঘ i, ii ও iii

২৯। দশা পার্থক্য পথ পার্থক্যের কতগুণ ? [দি. বো. ২০১৯; ব. বো. ২০১৬; Admission Test : BRU 2017-18; CU-A 2020-21]

ক 2π
খ $2\pi\lambda$
গ $\frac{2\pi}{\lambda}$
ঘ $\frac{\lambda}{2\pi}$

৩০। পয়েন্টিং ভেক্টর $\vec{S}$ হলো— [ব. বো. ২০১৯; ঢা. বো. ২০১৫; Admission Test : BUP 2021-22; CU-A 2020-21]

ক $\vec{E} \times \vec{H}$
খ $\vec{H} \times \vec{E}$
গ $\vec{E} \cdot \vec{H}$
ঘ $\vec{H} \cdot \vec{E}$

৩১। তরঙ্গ উপরিপাতের ফলে ঘটে— [রা. বো. ২০২৩; দি. বো. ২০১৫]

ক অপবর্তন
খ ব্যতিচার
গ সমবর্তন
ঘ প্রতিসরণ

৩২। একক চিড়ের দরুন অপবর্তনের ক্ষেত্রে অবমের শর্ত— [দি. বো. ২০১৫; JUST Admission Test, 2016-17]

ক $a \sin\theta = (2n)\frac{\lambda}{2}$
খ $a \sin\theta = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$
গ $d \sin\theta = (2n)\frac{\lambda}{2}$
ঘ $d \sin\theta = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$

৩৩। ব্যতিচার এক ধরনের— [ঢা. বো. ২০১৫; RU-G_2 Admission Test, 2017-18]

ক প্রতিসরণ
খ সমবর্তন
গ অপবর্তন
ঘ উপরিপাতন

৩৪। নিচের কোন তরঙ্গটির পোলারায়ন সম্ভব নয় ? [রা. বো. ২০১৫; Admission Test : KU 2015-16, 2011-12; RU 2015-16]

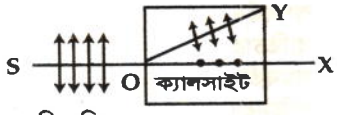
ক আলোক তরঙ্গ
খ পানি তরঙ্গ
গ বেতার তরঙ্গ
ঘ শব্দ তরঙ্গ

৩৫। ফ্রনহফার শ্রেণির অপবর্তনে আলোক রশ্মিসমূহ ও তরঙ্গামুখ যথাক্রমে— [সি. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); রা. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); ব. বো. ২০১৫]
ক অভিসারী ও গোলীয়
খ অপসারী ও গোলীয়
গ সমান্তরাল ও সমতল
ঘ সমান্তরাল ও বেলনাকৃতি

৩৬। কোনো বেতার তরঙ্গের $E = 10^{-4}\ Vm^{-1}$ হলে B_0 এর মান কত ? [ঢা. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); ব. বো. ২০১৫; Admission Test : JU 2021-22 (মান ভিন্ন); BMA 2015-16; BSFMSTU 2015-16]
ক 3×10^{-12} Tesla
খ 3×10^{-4} Tesla
গ $3{\cdot}33 \times 10^{-13}$ Tesla
ঘ $0{\cdot}33 \times 10^{-13}$ Tesla

৩৭। $\vec{E}$ এবং $\vec{H}$ প্রত্যেকের সাথে তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের বেগ কত কোণে থাকে ? [য. বো. ২০১৫]
ক $0°$
খ $45°$
গ $90°$
ঘ $180°$

৩৮। নিচের চিত্রে 'OY' কী রশ্মি নির্দেশ করে ? [কু. বো. ২০১৫]



ক প্রতিফলিত
খ প্রতিসরিত
গ সাধারণ
ঘ অসাধারণ

৩৯। পথ পার্থক্য δ, দশা পার্থক্য σ এবং তরঙ্গাদৈর্ঘ্য λ হলে, [BU Admission Test, 2017-18]

(i) $\sigma = \frac{2\pi}{\delta}\lambda$

(ii) $\frac{2\pi}{\lambda}\delta = \sigma$

(iii) $\frac{\lambda}{\delta} = \frac{2\pi}{\sigma}$

নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৪০। একটি গ্রেটিং-এর প্রতি একক দৈর্ঘ্যে রেখার সংখ্যা এবং গ্রেটিং ধ্রুবক d-এর মধ্যে সম্পর্ক হলো—
ক $N = \frac{1}{d}$
খ $N = d$
গ $N = \frac{1}{d^2}$
ঘ $N = \frac{1}{\sqrt{d}}$

৪১। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে পথ পার্থক্য $\frac{\lambda}{2}$। বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে দশা পার্থক্য কত ? [রা. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); য. বো. ২০১৫; RU Admission Test, 2017-18]
ক π
খ $\frac{\pi}{3}$
গ $\frac{\pi}{2}$
ঘ $\frac{\pi}{4}$

৪২। প্রতিসরণের সময় আলো এক মাধ্যম থেকে অন্য মাধ্যমে গেলে আলোর—
(i) বেগের পরিবর্তন হয়
(ii) কম্পাঙ্কের পরিবর্তন হয়
(iii) তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের পরিবর্তন হয়
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৪৩। ব্যতিচার ঝালরের প্রস্থ—
(i) ঝালর সংখ্যার ওপর নির্ভর করে
(ii) আলোর তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের সমানুপাতিক
(iii) উৎসদ্বয় হতে পর্দার দূরত্ব এবং উৎসদ্বয়ের মধ্যে দূরত্বের ওপর নির্ভর করে
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৪৪। সমবর্তিত আলোর ক্ষেত্রে কোনটি সত্য ? [KU Admission Test, 2014-15
ক $\vec{E}$-এর কম্পন তল নির্দিষ্ট এবং $\vec{B}$ থাকে না
খ $\vec{E}$-এর কম্পন তল এবং $\vec{B}$ এর কম্পন তল পরস্পর লম্ব হয়
গ $\vec{E}$-এর কম্পন তল নির্দিষ্ট নয়
ঘ $\vec{E}$ ও $\vec{B}$ কোনোটাই নির্দিষ্ট থাকে না

৪৫। দুটি উৎস হতে সমদশায় একই তরঙ্গাদৈর্ঘ্যের দুটি আলোক তরঙ্গ নিঃসৃত হলে তাদের কী বলে ? [JU Admission Test, 2021-22]
ক গৌণ উৎস
খ সুসঙ্গত উৎস
গ প্রধান উৎস
ঘ এর সবগুলো

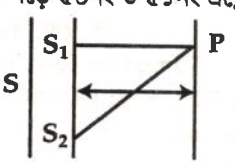
৪৬। কিনারা বা প্রান্ত দিয়ে আলোর বেঁকে যাওয়াকে বলা হয়— [Admission Test : CoMU 2016-17; MBSTU 2015-16]
ক সমবর্তন
খ ব্যতিচার
গ অপবর্তন
ঘ দ্বৈত প্রতিসরণ

৪৭। নিচের কোনটির ক্ষেত্রে অপবর্তন সবচেয়ে বেশি হয়? [BRU Admission Test, 2016-17]
ক গামা রশ্মি
খ অতি বেগুনি রশ্মি
গ অবলোহিত রশ্মি
ঘ রেডিও তরঙ্গ

৪৮। ধ্বংসাত্মক ব্যতিচারের শর্ত হলো পথ পার্থক্য সমান— [ব. বো. ২০২২; ম. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); Admission Test : JUST, RUC-1 2016-17; IU 2015-16; CU-A 2017-18; DU 2018-19; GST-A 2020-21; SAU 2017-18]
ক $n\lambda$
খ $n(\lambda + 1)$
গ $(n+1)\frac{\lambda}{2}$
ঘ $(2n+1)\frac{\lambda}{2}$

৪৯। কম্পন তল ও সমবর্তিত আলোর সমবর্তন তলের মধ্যবর্তী কোণের মান হলো—
ক 0
খ $\frac{\pi}{4}$
গ $\frac{\pi}{2}$
ঘ π

নিচের উদ্দীপকটি পড়ে ৫০নং ও ৫১নং প্রশ্নের উত্তর দাও :



চিত্রটি ইয়ং এর দ্বিচিড় পরীক্ষা নির্দেশ করে।

৫০। উদ্দীপক অনুসারে P বিন্দুতে গঠনমূলক ব্যতিচার তৈরি হলে যদি S_1, S_2 উৎসদ্বয় থেকে নিঃসৃত তরঙ্গ দুটোর মধ্যে দশা পার্থক্য হয়— [ব. বো. ২০২২]
ক $\frac{3\pi}{2}$
খ 2π
গ π
ঘ $\frac{\pi}{2}$

৫১। উদ্দীপকে S_1, S_2 উৎসদ্বয়ের মধ্যে দূরত্ব অর্ধেক করে দিয়ে এবং চিড় হতে পর্দার দূরত্ব D এর মান দ্বিগুণ করা হলে পর্দায় সৃষ্ট ব্যতিচার ঝালরের প্রস্থ হবে পূর্বের মানের— [রা. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); Admission Test : DU (7 colleges) 2021-22; CU 2019-20]
ক অর্ধেক
খ দ্বিগুণ
গ সমান
ঘ চারগুণ

৫২। দুটি সোজা ও সমান্তরাল চিড় পরস্পর হতে a দূরে অবস্থিত। একটি একবর্ণী আলো দ্বারা এদের আলোকিত করায় চিড় হতে D দূরে অবস্থিত পর্দায় ডোরা সৃষ্টি হলো। প্রতি ডোরার প্রস্থ x পরবর্তীতে a ও D উভয়টিকে দ্বিগুণ করা হলো। নতুন ডোরার প্রস্থ হবে— [ঢা. বো. ২০১৫; চ. বো. ২০১৫]
ক $\frac{x}{2}$
খ $4x$
গ $2x$
ঘ x

নিচের উদ্দীপকের আলোকে ৫৩নং ও ৫৪নং প্রশ্নের উত্তর দাও : [চ. বো. ২০১৫]
10^{-3} cm প্রস্থের একটি চিড়ের ভিতর দিয়ে একটি তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ প্রথম অবম বিন্দুর জন্য 30° অপবর্তন কোণ সৃষ্টি করে।

৫৩। তরঙ্গটির তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ?
ক 5×10^{-2} cm
খ $3\cdot33 \times 10^{-3}$ cm
গ 5×10^{-4} cm
ঘ $3\cdot33 \times 10^{-4}$ cm

৫৪। তরঙ্গটি নিচের কোন প্রকারের ?
ক অবলোহিত
খ বেতার তরঙ্গ
গ দৃশ্যমান তরঙ্গ
ঘ অতি বেগুনি

৫৫। অবলোহিত রশ্মির ব্যবহার নয় কোনটি ? [Medical Admission Test, 2016-17]
ক রিমোট কন্ট্রোল
খ টিভি সিগন্যাল
গ অপটিক্যাল ফাইবারের মাধ্যমে যোগাযোগ
ঘ ফিজিওথ্যারাপি

৫৬। মাইক্রোওয়েভ কোথায় ব্যবহৃত হয় ? [Medical Admission Test, 2015-16]
ক রেডিওতে
খ টেলিফোনে
গ রাডারে
ঘ টেলিস্কোপে

৫৭। আলোক তরঙ্গের বেলায় নিচের কোনটি মিথ্যা ? [Medical Admission Test, 1994-95, 2011-12]
ক এর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য অত্যন্ত ক্ষুদ্র
খ ইহা একটি লম্বিক তরঙ্গ
গ এর অস্তিত্ব চোখে অনুভূত হয়
ঘ এর সমবর্তন হতে পারে

৫৮। প্রাথমিক বর্ণ নয় কোনটি· ? [Medical Admission Test, 2017-18; BDS Admission Test, 2017-18]
ক লাল
খ সবুজ
গ বেগুনি
ঘ নীল

৫৯। শরীরের ব্যথা-বেদনা উপশমে নিচের কোন রশ্মিটি ব্যবহৃত হয় ?
[Medical Admission Test, 2017-18; IU Admission Test, 2014-15]
ⓚ অতিবেগুনি রশ্মি
ⓛ এক্স রশ্মি
ⓜ অবলোহিত রশ্মি
ⓝ বিটা রশ্মি

৬০। আলোর অপবর্তন নিম্নের কোন কারণে ঘটে ?
[Medical Admission Test, 2008-09; CU-A Admission Test, 2021-22]
ⓚ প্রতিফলন
ⓛ ব্যতিচার
ⓜ সমবর্তন
ⓝ প্রতিসরণ

৬১। আলোর কম্পনের একটি নির্দিষ্ট তলে সীমাবদ্ধ করার প্রক্রিয়াকে বলে আলোর— [রা বো. ২০১৭; JU Admission Test, 2021-22]
ⓚ ব্যতিচার
ⓛ অপবর্তন
ⓜ সমবর্তন
ⓝ প্রতিসরণ

৬২। কোনো চিড়ের মধ্য দিয়ে আলো বেঁকে যাওয়ার ঘটনা ব্যাখ্যা করা যায় নিচের কোনটির দ্বারা ? [য বো. ২০১৭]
ⓚ কণাতত্ত্ব
ⓛ তরঙ্গ তত্ত্ব
ⓜ দ্বৈতনীতি
ⓝ কোয়ান্টাম তত্ত্ব

৬৩। 4000Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দুইটি একই বর্ণের আলোক তরঙ্গের মধ্যে পথ পার্থক্য 2×10^{-7} m হলে, তাদের মধ্যে দশা পার্থক্য হবে—
[BUET Admission Test, 2013-14]
ⓚ π
ⓛ 2π
ⓜ $3\pi/2$
ⓝ $\pi/2$

৬৪। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায়, চিড় দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব অর্ধেক এবং দ্বি-চিড় থেকে পর্দার দূরত্ব দ্বিগুণ করলে ডোরার মানের ব্যবধান হবে—
[ঢা. বো. ২০২৩ (মান ভিন্ন); দি. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); Admission Test : BUET 2013-14; CU 2019-20; BSMRSTU 2018-19]
ⓚ একই
ⓛ অর্ধেক
ⓜ দ্বিগুণ
ⓝ চারগুণ

৬৫। নিচের কোন বৈশিষ্ট্য বলে দেয় যে, আলো একটি অণুপ্রস্থ তরঙ্গ ? [দি বো. ২০১৭; Admission Test : BUET 2012-13; RU-F_1 2017-18; CU 2019-20; Medical Admission Test, 2001-02]
ⓚ প্রতিফলন
ⓛ প্রতিসরণ
ⓜ ব্যতিচার
ⓝ সমবর্তন

৬৬। কোনো চিড়ের প্রস্থ 4×10^{-4} cm। 5896Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট আলো দিয়ে একে আলোকিত করলে কেন্দ্রীয় চরমের উভয় পার্শ্বে প্রথম ক্রম অবমগুলোর মধ্যবর্তী কৌণিক দূরত্ব নির্ণয় কর।
[Admission Test : KUET 2017-18; BSMRSTU 2017-18]
ⓚ 17·26°
ⓛ 18°
ⓜ 16·95°
ⓝ 8·47°
ⓞ 10°

৬৭। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় আলোর কম্পাঙ্ক হলো $6{\cdot}2 \times 10^{14}$ Hz। পার্শ্ববর্তী দুটি ডোরার কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·72 mm। পর্দাটি যদি 1·6m দূরে থাকে তাহলে চিড় দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব কত? [কু. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); Admission Test : KUET 2016-17; CUET 2015-16; DU 2008-09 (মান ভিন্ন)]
ⓚ 0·49 mm
ⓛ 0·514 mm
ⓜ 1·076 mm
ⓝ 0·62 mm
ⓞ 5·4 mm

৬৮। নিচের কোন তড়িৎ চুম্বকীয় বিকিরণের কম্পাঙ্ক সবচেয়ে কম? [দি. বো. ২০২১; DU-A Admission Test, 2016-17]
ⓚ গামা
ⓛ অবলোহিত
ⓜ অতিবেগুনি
ⓝ এক্স-রে

৬৯। $\epsilon_0\mu_0$ এর একক নিচের কোনটির এককের সমান? [Admission Test : DU 2018-19, 2014-15; Com.U 2019-20]
ⓚ $(\text{velocity})^2$
ⓛ $(\text{velocity})^{1/2}$
ⓜ $\frac{1}{\text{velocity}}$
ⓝ $(\text{velocity})^{-2}$

৭০। কোনটি সত্য নয়?
[JnU-A Admission Test, 2016-17]
ক আলোক এক প্রকার শক্তি
খ আলোক তরঙ্গ প্রবাহের জন্য মাধ্যম প্রয়োজন হয়
গ আলো একটি তরঙ্গ
ঘ আলোর ভরবেগ আছে

৭১। একটি LED-এর আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 4500×10^{-10} m হলে, এটি কোন ধরনের আলো হতে পারে? [Admission Test : JU 2017-18; BRU 2019-20]
ক লাল
খ সবুজ
গ নীল
ঘ হলুদ

৭২। আলোর অণুদৈর্ঘ্য এবং অণুপ্রস্থ উভয় প্রকার তরঙ্গ সম্ভব– [JU Admission Test, 2017-18]
ক ব্যতিচার
খ অপবর্তন
গ সমবর্তন
ঘ কোনোটিই নয়

৭৩। একটি কমপ্যাক্ট ডিস্ককে আলোর সামনে ধরা হলো যেন আলো প্রতিফলিত হয়ে বিভিন্ন বর্ণের আলোকছটা দেখা যায়। এর কারণ আলোর—
[JU Admission Test, 2017-18]
ক ব্যতিচার
খ অপবর্তন
গ সমবর্তন
ঘ কোনোটিই নয়

৭৪। আলোর কোয়ান্টার নাম দেন কে?
[JU Admission Test, 2014-15]
ক ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক
খ গিলবার্ট/লুইস
গ আইনস্টাইন
ঘ কোনোটিই নয়

৭৫। $\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}$ এর মাত্রা কত?
[Admission Test : RU-H 2017-18; DU (7 colleges) 2021-22]
ক $[LT^{-1}]$
খ $[L^{-1}T]$
গ $[LT^{-2}]$
ঘ $[L^2T^{-1}]$

৭৬। শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ c হলে, কোনটি সঠিক? [দি. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); Medical Admission Test, 2005-06; Admission Test : RU 2019-20; BRU 2016-17; RU-C 2021-22]
ক $c = \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$
খ $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$
গ $c = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}}$
ঘ $c = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$

৭৭। আলোর কণিকা তত্ত্বের প্রবর্তক কে?
[RU-G Admission Test, 2017-18]
ক টমাস ইয়ং
খ নিউটন
গ আইনস্টাইন
ঘ ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক

৭৮। কেলাসের গঠন নির্ণয়ের ক্ষেত্রে আলোর কোন বৈশিষ্ট্য ব্যবহৃত হয়?
[RU-C_1 Admission Test, 2017-18]
ক সমবর্তন
খ অপবর্তন
গ প্রতিসরণ
ঘ ব্যতিচার

৭৯। একটি তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6000Å। তরঙ্গটি কোন ধরনের?
[CU-1 Admission Test, 2016-17]
ক শব্দ তরঙ্গ
খ দৃশ্যমান আলোক
গ গামারশ্মি
ঘ আলোক

৮০। কোন বিজ্ঞানী সর্বপ্রথম আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব প্রবর্তন করেন? [কু. বো. ২০২১; CU Admission Test, 2015-16]
ক নিউটন
খ আইনস্টাইন
গ প্ল্যাঙ্ক
ঘ ম্যাক্সওয়েল
ঙ হাইগেন

৮১। হীরকের প্রতিফলক তলে একটি আলোক রশ্মি 60° কোণে আপতিত হলো এবং হীরকের মধ্যে প্রতিসরণ কোণ 12° পাওয়া গেল। হীরকের সমবর্তন কোণ নির্ণয় কর।
[CUET Admission Test, 2015-16]
ক 16°
খ 76·48°
গ 13·5°
ঘ None of them

৮২। ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় দুটি তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে একটি বিন্দুতে কালো ডোরা উৎপন্ন হয়। ওই বিন্দুতে তরঙ্গদ্বয়ের মধ্যে দশা পার্থক্য হলো— [রা. বো. ২০২২; DU Admission Test, 2018-19]

ক $2\pi n+\frac{\pi}{4}$

খ $2\pi n+\frac{\pi}{2}$

গ $2\pi n+\frac{\pi}{2}$

ঘ $2\pi n+\pi$

৮৩। একটি অতি সুসজ্জাত আলোক রশ্মি একটি সূক্ষ্ম তারের ওপর আপতিত হলে তারের পিছনে যে ছায়া তৈরি হয় তা একটি তারের নয়, বরং অনেকগুলো সমান্তরাল তারের। এই ঘটনা ব্যাখ্যা করা যায় নিচের কোনটি দ্বারা ? [DU Admission Test, 2018-19]

ক প্রতিসরণ

খ অপবর্তন

গ প্রতিফলন

ঘ ডপলার ক্রিয়া

৮৪। শূন্য মাধ্যমে প্রবাহমান একটি সমতল তরঙ্গ মুখের তড়িৎ চুম্বকীয় তরঙ্গের বিদ্যুৎ ও চৌম্বক-ক্ষেত্রের বিস্তারের অনুপাত E/B এর মান SI এককে হলো— [Admission Test : DU 2018-19; BMA 2015-16; BSFMSTU 2019-20 (মান ভিন্ন)]

ক শূন্য তরঙ্গের কৌণিক কম্পাঙ্ক ω

খ শূন্য মাধ্যমে তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ

গ শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ c

ঘ প্লাঙ্কের ধ্রুবক, h

৮৫। নিচের কোন বর্ণটির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মান কম? [কু. বো. ২০১৯; Admission Test : JnU 2012-13; CU A 2011-12; Agri (cluster) 2021-22 (মান ভিন্ন)]

ক বেগুনি

খ নীল

গ হলুদ

ঘ লাল

৮৬। আলোর বেগকে লেখা যায়— [সি. বো. ২০২২; দি. বো. ২০১৯]

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

ii. $c=\frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}}$

iii. $c=\frac{E\lambda}{h}$

নিচের কোনটি সঠিক?

ক i ও ii

খ i ও iii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

৮৭। মিটার স্কেলে লাল ও বেগুনি আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মধ্যে ব্যবধান কত ? [RU Admission Test, 2017-18]

ক $4\cdot75\times10^{-7}$ m

খ $5\cdot25\times10^{-7}$ m

গ $2\cdot35\times10^{-7}$ m

ঘ $3\cdot55\times10^{-7}$ m

৮৮। দৃশ্যমান বর্ণালির তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিস্তৃতি— [সি. বো. ২০২২, ২০১৯; Admission Test : JUST, CU 2016-17; Agri (cluster) 2021-22]

ক 2000Å হতে 4000Å পর্যন্ত

খ 4000Å হতে 8000Å পর্যন্ত

গ 8000Å হতে 14000Å পর্যন্ত

ঘ 14000Å হতে 22000Å পর্যন্ত

৮৯। তরঙ্গের উপরিস্থিত দুটি বিন্দুর দশা পার্থক্য $\frac{3}{2}\pi$ হলে এদের পথ পার্থক্য— [ঢা. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); সি. বো. ২০১৯; JU Admission Test, 2019-20 (মান ভিন্ন)]

ক $1\cdot5\lambda$

খ $1\cdot3\lambda$

গ $0\cdot75\lambda$

ঘ $0\cdot67\lambda$

৯০। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় একটি চিড় বাদ দিলে কোন আলোকীয় ঘটনাটি ঘটবে ? [ম. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০১৯]

ক প্রতিসরণ

খ ব্যতিচার

গ অপবর্তন

ঘ সমবর্তন

৯১। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষা অনুসারে আলোক তরঙ্গ— [কু. বো. ২০১৯]

i. কণাধর্মী

ii. তরঙ্গধর্মী

iii. অনুপ্রস্থ

নিচের কোনটি সঠিক?

ক i

খ ii

গ ii ও iii

ঘ i, ii ও iii

৯২। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় পর্দার কোনো বিন্দুর উজ্জ্বলতার জন্য শর্ত কোনটি ?
[রা. বো. ২০২৩, ২০১৯; DU Admission Test, 2019-20]

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

খ $\frac{a}{2}\sin\theta = \frac{\lambda}{4}$

গ $a \sin\theta = \frac{2n\lambda}{2}$

ঘ $\frac{a}{2}\sin\theta = (2n+1)\frac{\lambda}{4}$

নিচের উদ্দীপকের আলোক ৯৩ ও ৯৪নং প্রশ্নের উত্তর দাও: [ঢা. বো. ২০১৯]

ড. নিবিড় তার পরীক্ষাগারে ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষার মাধ্যমে আলোক ব্যতিচার পর্যবেক্ষণ করলেন। পরীক্ষাটি আলোক তত্ত্ব মেনে সংঘটিত করা হয়।

৯৩। উক্ত পরীক্ষার জন্য আলোক বর্ণ কোনটি ?

ক সাদা
খ কালো
গ গোলাপি
ঘ হলুদ

৯৪। এই পরীক্ষায় অন্ধকার ডোরা পাওয়ার জন্য দুটি তরঙ্গের—

i. সম দশায় উপরিপাতিত হবে
ii. ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার হবে
iii. লব্ধি তরঙ্গের তীব্রতা সর্বনিম্ন হবে

নিচের কোনটি সঠিক?

ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

৯৫। পৃথিবীর চারপাশে যদি বায়ুমণ্ডল না থাকতো, তাহলে পৃথিবী থেকে আকাশের রং কী রকম দেখা যেত ? [BUET Admission Test, 2006-07]

ক সাদা
খ নীল
গ কালো
ঘ গোলাপি

৯৬। বৃষ্টির দিনে পানির ওপর তেলের পাতলা ফিল্ম সুন্দর সুন্দর রং দেখায়। এর কারণ—
[BUET Admission Test, 2005-06]

ক বিচ্ছুরণ
খ সমবর্তন
গ ব্যতিচার
ঘ অপবর্তন

৯৭। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় দুটি চিড় থাকার কারণ হলো— [BUET Admission Test, 2012-13]

ক তীব্রতা বাড়ানো
খ একটি চিড় কম্পাঙ্কের জন্য এবং অন্যটি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য
গ পথের দূরত্বের পার্থক্য সৃষ্টির জন্য
ঘ একটি চিড় $\vec{E}$ ক্ষেত্রের জন্য এবং অপরটি $\vec{B}$ ক্ষেত্রের জন্য

৯৮। কোনো অপবর্তন গ্রেটিং-এর প্রতি সেন্টিমিটারে 5000 রেখা রয়েছে। এর ভেতর দিয়ে 5890 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ফেললে দ্বিতীয় চরমের জন্য অপবর্তন কোণ কত ?
[Admission Test : KUET 2012-13; BAU 2018-19; JU 2011-12(মান ভিন্ন)]

ক 46°
খ 16·2°
গ 45·99°
ঘ 45·03°
ঙ 44·01°

৯৯। তরঙ্গ গতির ক্ষেত্রে আলো এবং শব্দ আচরণগত-ভাবে প্রত্যেকে সদৃশ কেবলমাত্র ব্যাতীত—
[KUET Admission Test, 2006-07]

ক প্রতিফলন
খ প্রতিসরণ
গ সমবর্তন
ঘ অপবর্তন
ঙ ব্যতিচার

১০০। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় যদি তরঙ্গদৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করা হয় তবে পট্টির প্রস্থ β হবে—

ক $\frac{\beta}{2}$
খ 2β
গ 3β
ঘ β

১০১। আলোক তরঙ্গের মাধ্যমে সঞ্চালিত হয় —

ক বেগ
খ ত্বরণ
গ ভরবেগ
ঘ শক্তি

১০২। তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ শূন্যস্থান থেকে কোনো মাধ্যমে প্রবেশ করলে ওর যে ধর্মটি অপরিবর্তিত থাকে তা হলো—

ক বেগ
খ তরঙ্গদৈর্ঘ্য
গ কম্পাঙ্ক
ঘ বিস্তার

১০৩। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় বেগুনি ($\lambda = 4000$ Å) এবং লাল ($\lambda = 8000$ Å) বর্ণের আলোর জন্য ব্যতিচার জালর প্রস্থের অনুপাত হলো—

ক 1 : 2
খ 2 : 1
গ 4 : 1
ঘ 1 : 4

১০৪। 9 : 1 আনুপাতিক তীব্রতাসম্পন্ন দুটি আলোক রশ্মিগুচ্ছ ব্যতিচার গঠন করলে সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন তীব্রতার অনুপাত কত হবে ?

ক 3 : 1
খ 4 : 1
গ 25 : 9
ঘ 8 : 1

১০৫। ইয়ং-এর দ্বিচিড় পরীক্ষায় সমান বেধের রেখাচিত্র নেওয়ার পরিবর্তে একটির বেধ অপরটির দ্বিগুণ করা হলে ব্যতিচার সজ্জায়—

ক সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন উভয় তীব্রতাই বৃদ্ধি পাবে
খ সর্বোচ্চ তীব্রতা বৃদ্ধি পাবে এবং সর্বনিম্ন তীব্রতা শূন্য হবে
গ সর্বোচ্চ তীব্রতা হ্রাস পাবে এবং সর্বনিম্ন তীব্রতা বৃদ্ধি পাবে
ঘ সর্বোচ্চ তীব্রতা হ্রাস পাবে এবং সর্বনিম্ন তীব্রতা শূন্য হবে

১০৬। যেকোনো রেখাছিদ্রে সর্বোচ্চ অপবর্তন ঘটবে—

ক γ-রশ্মির জন্য
খ অতিবেগুনি আলোর জন্য
গ অবলোহিত আলোর জন্য
ঘ রেডিও তরঙ্গের জন্য

১০৭। একটি একক রেখাছিদ্রের অপবর্তনে রেখাছিদ্রের বেধ অর্ধেক করা হলো এবং পর্দা ও রেখাছিদ্রের দূরত্ব দ্বিগুণ করা হলো। মুখ্য উজ্জ্বল পট্টির বেধ—

ক দ্বিগুণ হবে
খ একই থাকবে
গ চারগুণ হবে
ঘ অর্ধেক হবে

১০৮। অসমবর্তিত আলোক রশ্মিকে আংশিক কিংবা সমতলীয় সমবর্তিত আলোকে বিভিন্ন পদ্ধতিতে রূপান্তর করা যায়। কিন্তু নিচের কোনটিতে এটি সম্ভব নয় ?

ক প্রতিফলন
খ অপবর্তন
গ দ্বৈত প্রতিসরণ
ঘ বিক্ষেপণ

১০৯। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় ছিদ্রদ্বয়ের মধ্যে ব্যবধান d এবং ব্যবহৃত আলোক তরঙ্গদৈর্ঘ্য λ হলে জালরের কৌণিক বেধ হবে—

ক $\frac{d}{\lambda}$
খ $\frac{\lambda}{d}$
গ $\frac{2\lambda}{d}$
ঘ $\frac{\lambda}{2d}$

১১০। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় পরপর সবুজ, লাল ও নীল আলো ব্যবহার করে ঝালর প্রস্থগুলির মান পাওয়া গেল যথাক্রমে β_G, β_R ও β_B। নিচের কোনটি সঠিক ?

ক $\beta_G > \beta_B > \beta_R$
খ $\beta_B > \beta_G > \beta_R$
গ $\beta_R > \beta_B > \beta_G$
ঘ $\beta_R > \beta_G > \beta_B$

১১১। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় আলোর যে বর্ণের জন্য ঝালরের বেধ ন্যূনতম হয় তা হলো— [ব. বো. ২০২২; কু. বো. ২০২২]

ক লাল
খ সবুজ
গ নীল
ঘ হলুদ

১১২। মাধ্যম পরিবর্তন হলে আলোর কোন বৈশিষ্ট্যের পরিবর্তন ঘটে ? [ঢা. বো. ২০২২]

ক তরঙ্গদৈর্ঘ্য
খ কম্পাঙ্ক
গ বর্ণ
ঘ কোনোটিই নয়

১১৩। কোনো একটি মাধ্যমের জন্য সমবর্তন কোণ 60°। এর জন্য সংকট কোণ হবে—

ক $\sin^{-1}\sqrt{3}$
খ $\tan^{-1}\sqrt{3}$
গ $\cos^{-1}\sqrt{3}$
ঘ $\sin^{-1}\frac{1}{\sqrt{3}}$

১১৪। ফ্রেনেল অপবর্তন ঘটার ক্ষেত্রে নিচের কোন শর্তটি প্রয়োজনীয় শর্ত ?

ক ছিদ্র থেকে উৎস এবং পর্দা অসীম দূরত্বে থাকবে
খ ছিদ্র থেকে উৎস অথবা পর্দা অসীম দূরত্বে থাকবে
গ ছিদ্র থেকে উৎস কিংবা পর্দা কোনোটিই অসীম দূরত্বে থাকবে না
ঘ ওপরের কোনোটিই নয়

১১৫। দ্বি-প্রতিসরণে আমরা দুটি প্রতিসৃত রশ্মি অর্থাৎ O-রশ্মি এবং E-রশ্মি পাই। নিচের কোন বক্তব্যটি সঠিক ?
ক কেবলমাত্র O-রশ্মিটি সমবর্তিত
খ কেবলমাত্র E-রশ্মিটি সমবর্তিত
গ O-রশ্মি এবং E-রশ্মি উভয়ই সমবর্তিত
ঘ O-রশ্মি এবং E-রশ্মি কোনোটিই সমবর্তিত নয়

১১৬। অপবর্তনের দ্বারা আলোর কোন ধর্মটি প্রমাণিত হয় ?
ক তরঙ্গরূপ
খ তির্যকরূপ
গ অনুদৈর্ঘ্যরূপ
ঘ কোয়ান্টাম প্রকৃতি

১১৭। I এবং 4 I প্রাবল্যের দুটি তরঙ্গ উপরিপাতিত হলো। সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন প্রাবল্যের অনুপাত কত ? [ম. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন)]
ক 5 : 3
খ 9 : 1
গ 9 : 3
ঘ 5 : 1

১১৮। ইয়ং-এর পরীক্ষায় সর্বোচ্চ তীব্রতা I। যদি প্রতিটি ছিদ্রের বেধ দ্বিগুণ করা হয়, তবে সর্বোচ্চ তীব্রতা কত হবে ?
ক $\frac{I}{2}$
খ I
গ 2 I
ঘ 4 I

১১৯। দুটি সুসংগত একবর্ণী আলোক তরঙ্গ গঠনমূলক ব্যতিচার সৃষ্টি করে যখন তাদের দশা পার্থক্য— [দি. বো. ২০২২ (মান ভিন্ন); চ. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); CU Admission Test, 2019-20]
ক $\frac{3}{2}\pi$
খ 2π
গ π
ঘ $\frac{\pi}{2}$

১২০। নিচের কোনটি সমবর্তিত আলো গঠন করতে পারে ?
ক নিকল প্রিজম
খ একটি কেলাস
গ একটি বাই প্রিজম
ঘ একটি অর্ধতরঙ্গ প্লেট

১২১। প্রতিফলনের সাহায্যে আলোক সমবর্তিত করা গেলে প্রতিফলিত এবং প্রতিসৃত রশ্মির মধ্যবর্তী কোণ—
ক π
খ $\frac{\pi}{2}$
গ 2π
ঘ $\frac{\pi}{4}$

১২২। সমবর্তিত আলোর ক্ষেত্রে কম্পনতল এবং সমবর্তন তলের মধ্যবর্তী কোণ—
ক $0°$
খ $90°$
গ $45°$
ঘ $180°$

১২৩। তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ উৎপন্ন করে—
ক গতিশীল আধান
খ স্থির আধান
গ ত্বরণযুক্ত আধান
ঘ কোনোটিই নয়

১২৪। তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গে তড়িৎ ক্ষেত্রের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট গড় শক্তি ঘনত্ব—
ক $\frac{1}{2}CV^2$
খ $\frac{Q^2}{2C}$
গ $\frac{\epsilon_0^2}{2E_0}$
ঘ $\frac{1}{2}\epsilon_0 E^2$

১২৫। শূন্য মাধ্যমে তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের মোট শক্তি—
ক $\frac{E^2}{2\epsilon_0}+\frac{B^2}{2\mu_0}$
খ $\frac{1}{2}\epsilon_0 E^2+\frac{1}{2}\mu_0 B^2$
গ $\frac{E^2+B^2}{2}$
ঘ $\frac{1}{2}\epsilon_0 E^2+\frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0}$

১২৬। রাডার তরঙ্গ বলতে কোন তরঙ্গকে বুঝায় ? [KU Admission Test, 2011-12]
ক এক্স রশ্মি
খ অবলোহিত রশ্মি
গ অতিবেগুনি রশ্মি
ঘ মাইক্রো তরঙ্গ

১২৭। কার কম্পাঙ্ক সর্বাধিক ? [ঢা. বো. ২০২১; রা. বো. ২০২১]
ক গামা রশ্মি
খ এক্স রশ্মি
গ রেডিও তরঙ্গ
ঘ অবলোহিত তরঙ্গ

১২৮। ওজন (ozone) স্তর কোন বিকিরণ শোষণ করে ?
ক অবলোহিত রশ্মি
খ মাইক্রো তরঙ্গ
গ রেডিও তরঙ্গ
ঘ অতিবেগুনি তরঙ্গ

১২৯। কোন নীতির ওপর ভিত্তি করে আলোকীয় তন্তুর ভেতর দিয়ে আলো সঞ্চালিত হয় ?
ক ব্যতিচার
খ অপবর্তন
গ বিক্ষেপন
ঘ অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন

১৩০। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষা পানির মধ্যে করা হলে পট্টির বেধ—
ⓚ বাড়বে
ⓛ কমবে
ⓜ একই থাকবে
ⓝ 0

১৩১। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় ব্যতিচার পট্টির কৌণিক বেধ কোন রাশির ওপরে নির্ভর করে না ?
ⓚ তরঙ্গদৈর্ঘ্য, λ
ⓛ ছিদ্র দুটির দূরত্ব, d
ⓜ ছিদ্র এবং পর্দার দূরত্ব, D
ⓝ $\frac{\lambda}{d}$ অনুপাত

১৩২। বায়ু মাধ্যমে দ্বি-চিড় পরীক্ষায় ঝালর পট্টির বেধ 0·4 mm। সমস্ত ব্যবস্থাটিকে পানিতে নিমজ্জিত করলে পট্টির বেধ কেমন হবে ? ($\mu_w = 1{\cdot}33$)
ⓚ 0·4 mm
ⓛ 0·3 mm
ⓜ 0·53 mm
ⓝ 0·35 mm

১৩৩। ইয়ং-এর ব্যতিচার পরীক্ষায় ছিদ্র দুটির ব্যবধান 0·8 mm। আলোক তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = 5893\text{Å}$। যদি ছিদ্র থেকে পর্দার দূরত্ব 2 m হয় তবে পরপর দুটি উজ্জ্বল পট্টির দূরত্ব হবে—
[কু. বো. ২০২১ (মান ভিন্ন); BRU Admission Test, 2016-17 (মান ভিন্ন)]
ⓚ 14·73 mm
ⓛ 14·73 cm
ⓜ 1·473 mm
ⓝ 0·143 mm

১৩৪। দ্বি-চিড় পরীক্ষায় ছিদ্র দুটির ব্যবধান 0·2 mm। পর্দার দূরত্ব 1 m। কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল পট্টি থেকে তৃতীয় উজ্জ্বল পট্টির দূরত্ব 7·5 mm। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কত ?
[PUST Admission Test, 2015-16 (মান ভিন্ন)]
ⓚ 5000 Å
ⓛ 4000 Å
ⓜ 5500 Å
ⓝ 4890 Å

১৩৫। একটি একবর্ণী রশ্মিগুচ্ছ ঘন মাধ্যম থেকে লঘু মাধ্যমে গেল। ফলে আলোর—
ⓚ বেগ বাড়বে
ⓛ বেগ কমবে
ⓜ কম্পাঙ্ক কমবে
ⓝ কম্পাঙ্ক বাড়বে

১৩৬। দ্বি-চিড় পরীক্ষায় একবর্ণী আলোক দ্বারা গঠিত ব্যতিচার ঝালরের প্রস্থ 1·33 mm। সমস্ত ব্যবস্থাটিকে পানিতে নিমজ্জিত করলে ($\mu = 1{\cdot}33$) ঝালর প্রস্থ হবে—
[RU-C Admission Test, 2021-22]
ⓚ 1·33 mm
ⓛ 1mm
ⓜ $(1{\cdot}33)^2$ mm
ⓝ $\left(\frac{1{\cdot}33}{2}\right)$ mm

উত্তর :

১। ক	২। ঘ	৩। খ	৪। ক	৫। খ	৬। ক	৭। ঘ	৮। ক	৯। খ	১০। গ
১১। খ	১২। ক	১৩। খ	১৪। খ	১৫। ক	১৬। ঘ	১৭। গ	১৮। খ	১৯। গ	২০। ক
২১। গ	২২। ক	২৩। গ	২৪। গ	২৫। খ	২৬। গ	২৭। গ	২৮। খ	২৯। গ	৩০। ক
৩১। খ	৩২। ক	৩৩। ঘ	৩৪। ঘ	৩৫। গ	৩৬। গ	৩৭। গ	৩৮। ঘ	৩৯। গ	৪০। ক
৪১। ক	৪২। খ	৪৩। গ	৪৪। খ	৪৫। খ	৪৬। গ	৪৭। ঘ	৪৮। ঘ	৪৯। গ	৫০। খ
৫১। ঘ	৫২। ঘ	৫৩। গ	৫৪। ক	৫৫। খ	৫৬। গ	৫৭। খ	৫৮। গ	৫৯। গ	৬০। খ
৬১। গ	৬২। খ	৬৩। ক	৬৪। ঘ	৬৫। ঘ	৬৬। গ	৬৭। গ	৬৮। খ	৬৯। ঘ	৭০। খ
৭১। গ	৭২। ঘ	৭৩। ঘ	৭৪। ক	৭৫। খ	৭৬। খ	৭৭। খ	৭৮। খ	৭৯। খ	৮০। ঘ
৮১। গ	৮২। ঘ	৮৩। খ	৮৪। গ	৮৫। ক	৮৬। ঘ	৮৭। গ	৮৮। খ	৮৯। গ	৯০। গ
৯১। গ	৯২। গ	৯৩। ক	৯৪। গ	৯৫। গ	৯৬। ক	৯৭। গ	৯৮। ঘ	৯৯। গ	১০০। খ
১০১। ঘ	১০২। গ	১০৩। ক	১০৪। খ	১০৫। ক	১০৬। ঘ	১০৭। গ	১০৮। খ	১০৯। ঘ	১১০। ঘ
১১১। ক	১১২। ক	১১৩। ঘ	১১৪। গ	১১৫। গ	১১৬। ক	১১৭। খ	১১৮। গ	১১৯। খ	১২০। ক
১২১। খ	১২২। খ	১২৩। গ	১২৪। ঘ	১২৫। ঘ	১২৬। ঘ	১২৭। ক	১২৮। ঘ	১২৯। ঘ	১৩০। খ
১৩১। গ	১৩২। খ	১৩৩। গ	১৩৪। ক	১৩৫। ক	১৩৬। খ				

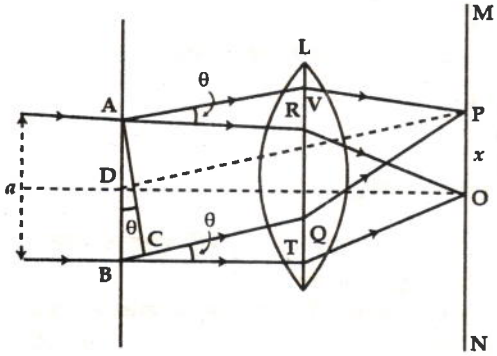
(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় চিড়দ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 1 mm। পরীক্ষণটিতে একবর্ণী আলো ব্যবহার করে চিড় হতে 80 cm দূরত্বে অবস্থিত পর্দায় ব্যতিচার ডোরা সৃষ্টি করা হলো। পর্দাকে চিড়ের দিকে 5 cm সরালে ডোরা ব্যবধানের পরিবর্তন ঘটে 3×10^{-5} m।

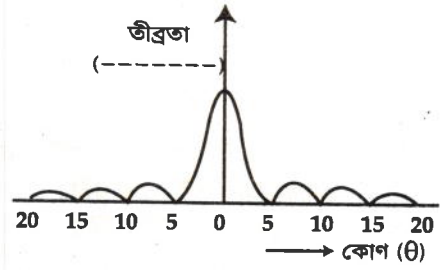
(ক) পরীক্ষণে ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(খ) পরীক্ষণটিতে পর্দার অবস্থানের পরিবর্তনের ফলে তৃতীয় অন্ধকার পট্টির কৌণিক অবস্থানের কীরূপ পরিবর্তন ঘটবে—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [কু. বো. ২০২১]

২। নিচের চিত্রে একক চিড়ের জন্য অপবর্তন দেখানো হয়েছে।



(ক)

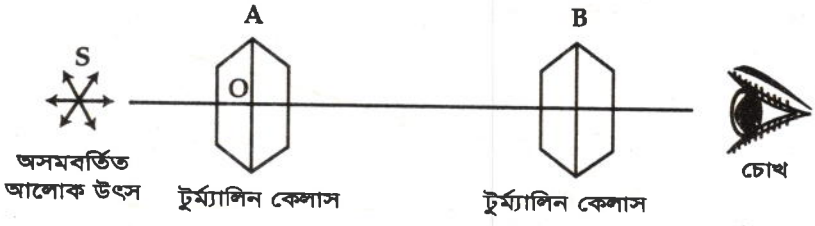


(খ)

(ক) উদ্দীপকের অপবর্তন পরীক্ষায় 5890 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করা হয়েছে। চিড়টির বেধ 0·2 mm। প্রথম অবমের জন্য অপবর্তন কোণ নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকে উল্লিখিত অপবর্তনের পরিবর্তে গ্রেটিং দ্বারা অপবর্তন সৃষ্টি হলো। যেখানে চিড়ের ও পর্দার দাগের বেধ যথাক্রমে 0·0004 cm এবং 0·00015 cm। এতে 7000 Å এর সোডিয়াম আলো ব্যবহার করা হলে একক চিড়ের অপবর্তনের সাথে উল্লিখিত অপবর্তন একই কিনা ? —গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে দেখাও।

৩।



অসমবর্তিত আলোর গতিপথে দুইটি টুর্ম্যালিন কেলাস এমনভাবে স্থাপন করা হয়েছে যে কেলাসদ্বয়ের সরলাক্ষ আলোকের গতিপথের সাথে লম্বভাবে অবস্থান করে।

(ক) B কেলাসকে এমনভাবে ঘুরানো হলো যে এর সরলাক্ষ A এর সরলাক্ষের সাথে 45° কোণ উৎপন্ন করল। A ও B হতে নির্গত আলোকের তীব্রতার অনুপাত বের কর।

(খ) A কেলাসকে স্থির রেখে B কেলাসকে ঘুরালে আলোকের তীব্রতার কীরূপ পরিবর্তন হবে চিত্রসহকারে বিশ্লেষণ কর।

৪। ল্যাবরেটরিতে বায়ু মাধ্যমে রওনক সাহেব ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় চিড় দুটির ব্যবধান 0·66 cm এবং চিড় হতে পর্দার দূরত্ব 166 cm নিয়ে কাজ করল। কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল পট্টি হতে 16তম উজ্জ্বল পট্টির দূরত্ব পেল 0·16 cm। রওনক সাহেব পরীক্ষাটি আবার 1·66 প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট মাধ্যমে সম্পন্ন করলেন।

(ক) উদ্দীপকে পরীক্ষায় ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

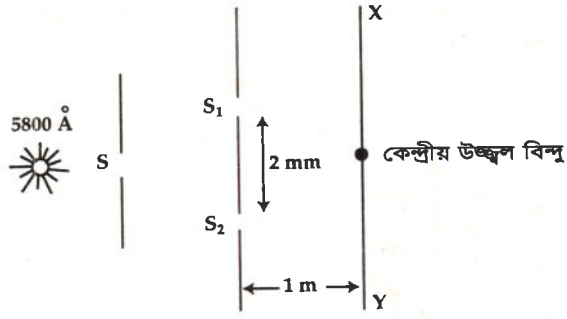
(খ) উল্লেখিত পরীক্ষাটি বায়ু মাধ্যমে না করে এবং উদ্দীপকে উল্লেখিত অন্য মাধ্যমে করা হলে ডোরার প্রস্থের কী পরিবর্তন হবে—গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে মতামত দাও। [ঢা. বো. ২০২১]

৫। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় চিড়দ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 1 mm। চিড় দুটি থেকে 150 cm দূরে পর্দায় ডোরা পাওয়া গেল। পরীক্ষায় ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6000Å।

(ক) ডোরার ব্যবধান নির্ণয় কর।

(খ) উদ্দীপকের চিড় হতে পর্দার দূরত্ব অর্ধেক করলে ডোরার ব্যবধান বর্তমানের ডোরার প্রস্থের সমান কি না —গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [চ. বো. ২০২১]

৬।



উপরের চিত্রে ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষার একটি ব্যবস্থা দেখানো হয়েছে, যেখানে S_1 ও S_2 দুটি সুসঙ্গত উৎস।

(ক) কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল পট্টি হতে তৃতীয় ক্রমের উজ্জ্বল পট্টির দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) যদি চিড়দ্বয় হতে পর্দার দূরত্ব অর্ধেক করা হয়, তাহলে পরপর দুটি উজ্জ্বল পট্টির ব্যবধান বর্তমান পট্টির প্রস্থের সমান হবে কি না—গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর। [য. বো. ২০২১]

৭। বায়ু মাধ্যমে সম্পন্ন দ্বি-চিড় পরীক্ষায় ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5400Å। চিড়দ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব 1·5 mm এবং পর্দার দূরত্ব 2·0 m।

(ক) পর্দায় সৃষ্ট 10th উজ্জ্বল ডোরার কৌণিক সরণ নির্ণয় কর।

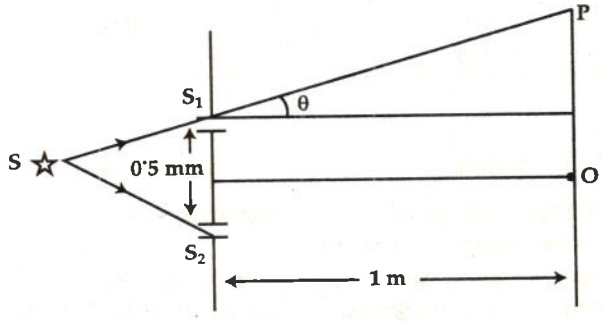
(খ) পরীক্ষণটি পানিতে সম্পন্ন করা হলে ডোরা প্রস্থের কীরূপ পরিবর্তন হবে? গাণিতিক বিশ্লেষণসহ মন্তব্য কর। [ব. বো. ২০১৯]

৮। ঢাকা মেডিকেল কলেজ হাসপাতালে ব্যবহৃত জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·02 m ও 0·05 m। একটি স্লাইড অভিলক্ষ্যের সামনে 0·24 m দূরে রাখায় অভিলক্ষ্যের পিছনে 0·12 m দূরে প্রতিবিম্ব গঠিত হলো।

(ক) উদ্দীপকের যন্ত্রটির দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

(খ) স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে লেন্স দুটির অবস্থান বিনিময় করলে যন্ত্রের বিবর্ধনের কোনোরূপ পরিবর্তন হবে কিনা বিশ্লেষণ কর। [ঢা. বো. ২০১৬]

৯।



চিত্রে ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষার ব্যবস্থা দেখানো হয়েছে। ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 5500 Å, চিড়দ্বয়ের প্রস্থ 0·1 mm এবং মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·5 mm। পানির প্রতিসরাঙ্ক 1·33 এবং পানিতে আলোর দ্রুতি 1450 ms^{-1}।

(ক) ব্যতিচারের ডোরা প্রস্থ কত ?

(খ) S_2 চিড় বন্ধ করলে কেন্দ্রীয় চরমের বিস্তৃতি কোণ পাওয়া সম্ভব কি না যাচাই কর। [ঢা. বো. ২০১৯]

১০। আলোর ব্যতিচার পরীক্ষায় m ও n দুজন ব্যক্তি দুটি সুসঙ্গত উৎস ব্যবহার করে 6000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক তরঙ্গ নির্গত করে। তারা লক্ষ করল পর্দায় মিলিত তরঙ্গদ্বয়ের পথ পার্থক্য 1200 Å।

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

(খ) m ও n উক্ত পরীক্ষণে কোন ধরনের ব্যতিচার লক্ষ করল—গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর। [মাদরাসা বোর্ড, ২০১৯]

১১। সুমি প্রতি সেন্টিমিটারে 6000 দাগবিশিষ্ট অপবর্তন গ্রেটিং-এর 5890 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ফেললো। অপরদিকে রুমি প্রতি সেন্টিমিটারে $1\cdot25 \times 10^5$ 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]

(গ) সংক্ষিপ্ত-উত্তর প্রশ্ন

১। তরঙ্গ মুখ কাকে বলে ? [রা. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০২৩, ২০২১; ঢা. বো. ২০২১, ২০১৬, ২০১৫; য. বো. ২০২১, ২০১৭; ব. বো. ২০২১; সি. বো. ২০২১; কু. বো. ২০১৭]

২। আলোর সমবর্তন কী ? [ব. বো. ২০২৩; সি. বো. ২০২৩; মাদরাসা বো. ২০১৯; ঢা. বো. ২০১৭; য. বো. ২০১৬]

৩। আলোর ব্যতিচার কী ? [ব. বো. ২০২২; ঢা. বো. ২০২১; চ. বো. ২০২১, ২০১৬; কু. বো. ২০১৯; দি. বো. ২০১৬]

৪। হাইগেনের নীতিটি বিবৃত কর। [দি. বো. ২০২৩, ২০১৫; ম. বো. ২০২৩, ২০২২; সি. বো. ২০২২]

৫। অপবর্তন গ্রেটিং কী ? [য. বো. ২০১৫]

৬। অপবর্তন কী ? [দি. বো. ২০২৩, ২০১৯, ২০১৫; ঢা. বো. ২০১৯; রা. বো. ২০১৮; কু. বো. ২০১৮; য. বো. ২০১৮; চ. বো. ২০১৮; ব. বো. ২০১৮]

৭। তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গ বলতে কী বুঝ ? [ম. বো. ২০২২; কু. বো. ২০২১; সি. বো. ২০১৭]

৮। অণুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের সমবর্তন হয় কী ?

৯। দ্বি-প্রতিসরণ কাকে বলে ?

১০। সমবর্তন হয় না এমন একটি তরঙ্গের নাম লিখ।

১১। একক রেখাছিদ্রে কোন ধরনের অপবর্তন লক্ষ করা যায় ?

১২। পয়েন্টিং ভেক্টর কাকে বলে ? [রা. বো. ২০২১; দি. বো. ২০২১]

১৩। গোলকীয় তরঙ্গামুখ কী ?

১৪। গোলকীয় তরঙ্গ কাকে বলে ?

১৫। তরঙ্গামুখের উপরিস্থিত কণাগুলোর দশা পার্থক্য কত ?

১৬। সুসংগত আলোক উৎস কী ? [ঢা. বো. ২০২৩; য. বো. ২০২৩; চ. বো. ২০১৭]

১৭। তরঙ্গের উপরিপাতন কী ?

১৮। গঠনমূলক ব্যতিচার কাকে বলে ?

১৯। ধ্বংসাত্মক ব্যতিচার কাকে বলে ? [চ. বো. ২০২১]

২০। ফ্রেনেল শ্রেণির অপবর্তন কী ?

২১। ফ্রনহফার শ্রেণি অপবর্তন কাকে বলে ?

২২। গ্রেটিং ধ্রুবক কী ? [কু. বো. ২০২৩, ২০১৯]

২৩। পোলারায়ন কাকে বলে ?

২৪। রেখা সমাবর্তিত আলোক বলতে কী বোঝ ?

২৫। সমবর্তন কোণ কাকে বলে ?

২৬। একটি দ্বি-প্রতিসারক কেলাসের নাম লিখ।

২৭। অনুরূপ বিন্দু কী ?

২৮। তরঙ্গামুখে অবস্থিত যে কোনো দুটি বিন্দুর দশা পার্থক্য কত ?

২৯। একটি আলোকরশ্মি তরঙ্গামুখের সাথে কত ডিগ্রি কোণে আনত থাকে ?

৩০। একই তরঙ্গের দুটি তরঙ্গামুখ কী পরস্পরকে ছেদ করতে পারে ?

৩১। উত্তল লেন্সের ফোকাস বিন্দুতে আলোক উৎস রাখলে লেন্স থেকে নির্গত আলোর তরঙ্গামুখ কীরকম হবে ?

৩২। পথ পার্থক্য λ হলে দশা পার্থক্য কত হবে ?

৩৩। আলোর ব্যতিচার আলোর কোন ধর্ম প্রমাণ করে ?

৩৪। প্রতিবন্ধকের ধার ঘেঁষে যাওয়ার সময় আলোর বেঁকে যাওয়ার ঘটনাকে কী বলে ?

৩৫। আলোর সমবর্তন আলোর প্রকৃতি সম্বন্ধে কী প্রমাণ করে ?

৩৬। সমবর্তন হয় না এমন একটি তরঙ্গের নাম লেখ।

৩৭। আলোর ব্যাতিচারে সুসঙ্গত উৎস ব্যবহার করা হয় কেন ? [রা. বো. ২০১৫; অভিন্ন প্রশ্ন (খ) সেট ২০১৮]

৩৮। ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় ব্যাতিচার ঝালরের কেন্দ্রীয় পট্টির প্রকৃতি ব্যাখ্যা কর। [অভিন্ন প্রশ্ন ক সেট ২০১৮]

৩৯। ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় চিড়দ্বয়ের ব্যবধান স্বল্প হওয়া প্রয়োজন কেন ? [য. বো. ২০২২; কু. বো. ২০১৯]

(ঘ) কাঠামোবদ্ধ ও বর্ণনামূলক প্রশ্ন

১। কাচে আলোক বর্ষ 6.27×10^{12} km বলতে কী বোঝ ? [ঢা. বো. ২০১৬]
২। প্রকৃতিতে কোনো উৎসই সুসংগত নয়—ব্যাখ্যা কর। [য. বো. ২০১৬]
৩। কাচের সংকট কোণ 40° বলতে কী বোঝ ? [চ. বো. ২০১৬]
৪। কাচের সমবর্তন কোণ 57° বলতে কী বুঝায় ? [মাদরাসা বো. ২০১৯; দি. বো. ২০১৬]
৫। বিপদ সংকেতে সব সময় লাল আলো ব্যবহার হয় কেন ? ব্যাখ্যা কর। [ম. বো. ২০২২; ঢা. বো. ২০১৮; সি. বো. ২০১৮; দি. বো. ২০১৮; চ. বো. ২০১৫]
৬। আলোর ব্যতিচারে সুসংগত আলোক উৎস ব্যবহার করা হয় কেন ? [য. বো. ২০২১; রা. বো. ২০১৫]
৭। আলোর প্রকৃতি সম্বন্ধে উদ্ভাবিত বিভিন্ন তত্ত্বগুলি কী কী ?
৮। দুটি আলাদা উৎস ব্যতিচার সৃষ্টি করতে পারে না কেন ? ব্যাখ্যা কর।
৯। একক রেখা ছিদ্র দ্বারা সৃষ্ট ফ্রনহফার অপবর্তন ঝালরের চরম ও অবম বিন্দুর শর্ত কী ? ব্যাখ্যা কর।
১০। তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গ বলতে কী বোঝ ? তড়িৎ চৌম্বকীয় তত্ত্বটি লিখ।
১১। তড়িৎ চৌম্বকীয় স্পেকট্রামে বিভিন্ন প্রকার তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য ও সীমা উল্লেখ কর।
১২। তরঙ্গমুখ কী ? হাইগেনের নীতিটি লিখ ও ব্যাখ্যা কর। [চ. বো. ২০২২; কু. বো. ২০২১]
১৩। হাইগেনের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিফলন সূত্রগুলি ব্যাখ্যা কর।
১৪। হাইগেনের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিসরণ সূত্রের প্রমাণ কর।
১৫। আলোর ব্যতিচার বলতে কী বুঝ ? ব্যতিচারের শর্তগুলি লিখ।
১৬। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় উজ্জ্বল ও অন্ধকার ডোরা সৃষ্টির শর্ত ব্যাখ্যা কর।
১৭। আলোর ব্যতিচার সংক্রান্ত ইয়ং-এর পরীক্ষায় ধ্বংসাত্মক ও গঠনমূলক ব্যতিচার সৃষ্টির শর্তগুলি উল্লেখ কর।
১৮। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় উৎপন্ন ব্যতিচার ঝালরের বেধ সম্পর্কিত রাশিমালা প্রতিষ্ঠা কর।
১৯। ব্যতিচার ঝালরের বেধ কী কী বিষয়ের ওপর নির্ভর করে ?
২০। আলোর ব্যতিচার প্রদর্শনের সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ শর্ত কী ?
২১। আলোর অপবর্তন বলতে কী বোঝ ? ফ্রেনেল ও ফ্রনহফার শ্রেণির অপবর্তন বলতে কী বোঝ ?
২২। একক চিড়ের দরুন অপবর্তন ব্যাখ্যা কর।
২৩। অপবর্তন এবং ব্যতিচারের বৈশিষ্ট্যগুলো লিখ।
২৪। আলোক তরঙ্গের অপবর্তনকে প্রধানত কয়টি শ্রেণিতে ভাগ করা হয় এবং কী কী ?
২৫। ফ্রেনেল ও ফ্রনহফার শ্রেণির অপবর্তনের মধ্যে পার্থক্য লেখ।
২৬। একক রেখাছিদ্রে কোন ধরনের অপবর্তন লক্ষ করা যায় ?
২৭। আলোর তড়িৎ চৌম্বকীয় তরঙ্গের পোলারায়ন বা সমবর্তন কীভাবে ঘটে ?
২৮। দ্বি-প্রতিসরণ কাকে বলে ? E-রশ্মি ও O-রশ্মির সংজ্ঞা দাও।

(ঙ) ক্রিয়াকর্ম

আলোর ব্যতিচার, অপবর্তন ও সমবর্তনের ওপর সংক্ষিপ্ত প্রতিবেদন রচনা করে শ্রেণিকক্ষে উপস্থাপন কর।

(চ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। কোনো বেতার তরঙ্গের $E_0 = 5 \times 10^{-4}\ Vm^{-1}$। B_0-এর মান বের কর। [উ. 1.67×10^{-12} T]
২। বায়ু সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1.5। বায়ুতে এক আলোক বছর 9.4×10^{12} km হলে, কাচে এক আলোক বছর কত ?

Hints : $_a\mu_g = \dfrac{\text{বায়ুতে 1 আলোক বছর}}{\text{কাচে 1 আলোক বছর}}$ [উ. 6.266×10^{12} km]

৩। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে পথ পার্থক্য $\lambda/2$। বিন্দুদ্বয়ের দশা পার্থক্য নির্ণয় কর। [উ. π]
৪। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর মধ্যে পথ পার্থক্য $\frac{5\lambda}{4}$। বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে দশা পার্থক্য কত ? [উ. $\frac{5\pi}{2}$ বা $\frac{\pi}{2}$]
৫। একটি তরঙ্গের দুটি বিন্দুর দশা পার্থক্য $\frac{\pi}{4}$। বিন্দুদ্বয়ের পথ পার্থক্য কত ? [উ. $\frac{\lambda}{8}$]
৬। 589 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণী রশ্মি বাতাস থেকে পানি পৃষ্ঠে আপতিত হলো। পানির ওই তরঙ্গের (i) তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, (ii) কম্পাঙ্ক এবং (iii) গতিবেগ নির্ণয় কর। পানির প্রতিসরাঙ্ক $\mu = \frac{4}{3}$।

[উ. (i) 442 nm (ii) 5.09×10^{14} Hz (iii) $2.25 \times 10^{8}\ ms^{-1}$]

৭। শূন্য মাধ্যমে কোনো আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য $5{\cdot}5 \times 10^{-7}$ m হলে 1·33 প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট পানিতে ওই রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য ও বেগ কত ? [উ. $\lambda_w = 4{\cdot}14 \times 10^{-7}$ m; $c_w = 2{\cdot}26 \times 10^8$ ms^{-1}]

৮। I এবং 4I প্রাবল্যের দুটি তরঙ্গ ব্যতিচার তৈরি করে। গঠনমূলক ব্যতিচার তৈরির প্রাবল্য কত হবে ?

[উ. 5 I] [BUET Admission Test, 2010-11]

৯। একটি এক বর্ণের আলো দিয়ে আলোকিত একটি দ্বি-চিড় পরীক্ষায় চিড়দ্বয় থেকে কিছু দূরে পর্দায় ডোরা পাওয়া যায়। যদি পর্দাটিকে চিড়ের দিকে 5×10^{-2} m সরানো হয় তাহলে ডোরার ব্যবধানের পরিবর্তন হয় 3×10^{-5} m। যদি চিড় দুটোর মধ্যবর্তী দূরত্ব 10^{-3} m হয় তবে ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

[উ. 6×10^{-7} m] [BUET Admission Test, 2014-15]

১০। 0·2 mm ব্যবধানবিশিষ্ট দুটি চিড় হতে 50 cm দূরত্বে অবস্থিত পর্দার ওপর ব্যতিচার সজ্জা সৃষ্টি হলো। পরপর দুটি উজ্জ্বল পট্টির মধ্যবর্তী দূরত্ব 1·42 mm হলে আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উ. 5680 Å]

[CUET ভর্তি, 2005–06]

১১। দুটি আলোক উৎসের ইয়ং-এর পরীক্ষাতে দুটি রেখা চিড়ের 0·9 m পিছনে ডোরা পরিমাপ করা হয়েছে। 20টি ডোরা $10{\cdot}91 \times 10^{-3}$ m দূরত্ব জুড়ে থাকলে দুটি চিড়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব কত ? [λ = 5890Å] [উ. $4{\cdot}86 \times 10^{-4}$ m]

১২। দুটি সরু রেখাছিদ্রের মধ্যে দূরত্ব 3 mm এবং এদের 590 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণী আলো দ্বারা আলোকিত করা হলো। ছিদ্র থেকে 30 cm দূরে ঝালর গঠিত হলে ঝালরের প্রস্থ কত ? [উ. $5{\cdot}9 \times 10^{-3}$ cm]

১৩। $0{\cdot}6 \times 10^{-3}$ m ব্যবধানে দুটি ছিদ্র হতে 1·50 m দূর অবস্থিত একটি পর্দার ওপর ব্যতিচার ঝালর সৃষ্টি হলো। ব্যতিচার ঝালরের বেধ $1{\cdot}5 \times 10^{-3}$ m হলে আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উ. 12000 Å]

১৪। দুটি সুসংগত উৎস হতে দুটি তরঙ্গ একই দশায় নিঃসৃত হলো। প্রত্যেকটি তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6000 Å। এদের মধ্যে পথ পার্থক্য 12000 Å হলে, (ক) তরঙ্গদ্বয়ের শেষ বিন্দু দুটির মধ্যে দশা পার্থক্য কত ? (খ) এ দশা পার্থক্য নিয়ে উপরিপাতন হলে কী ধরনের ব্যতিচার হবে ? [উ. (ক) 4π বা শূন্য; (খ) গঠনমূলক ব্যতিচার]

১৫। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় ঝালরের বেধ 0·6 cm এবং আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 4800 Å। এখন পর্দা এবং ছিদ্রের দূরত্ব অর্ধেক করলে 0·45 cm বেধের ঝালর উৎপন্ন করতে হলে কত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করতে হবে?

[উ. 7200 Å]

১৬। ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় পর পর দুটি উজ্জ্বল ডোরার মধ্যবর্তী দূরত্ব $6{\cdot}25 \times 10^{-5}$ m। চিড় দুটি হতে পর্দার দূরত্ব 0·8m। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য $6{\cdot}25 \times 10^{-7}$ m হলে চিড় দুটির মধ্যে দূরত্ব কত ?

[উ. 8 mm] [D. U. Admission Test, 2008-09]

১৭। ইয়ং এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় চিড় দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 2·0 mm। এ চিড় হতে 1 মিটার দূরে পর্দার উপর ডোরার প্রস্থ 0·295 পাওয়া গেল। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উ. 5900Å] [D. U. Admission Test, 2010-11]

১৮। একটি একক রেখাচিত্র (প্রস্থ, a = 0·1 mm) 600×10^{-9} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমান্তরাল আলোকরশ্মি দ্বারা আলোকিত। রেখাচিত্র থেকে 40 cm দূরে পর্দায় ব্যতিচার ঝালর গঠিত হয়। কেন্দ্রীয় চরম পট্টি থেকে কত দূরত্বে তৃতীয় অবম পট্টি গঠিত হবে ? [উ. 0·72 cm]

১৯। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় রেখাছিদ্র দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·1 mm এবং রেখাছিদ্র থেকে পর্দার দূরত্ব 50 cm। 5000 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণী আলো ব্যবহার করলে পর্দার ওপর কেন্দ্রীয় চরম চিন্দু থেকে প্রথম চরম বিন্দুর দূরত্ব নির্ণয় কর। [উ. 0·25 cm]

২০। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় ঝালরের বেধ 0·6 cm এবং আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 4800 Å। এখন পর্দা এবং ছিদ্রের দূরত্ব অর্ধেক করলে এবং 0·45 cm বেধের ঝালর উৎপন্ন করতে হলে কত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর ব্যবহার করতে হবে ? [উ. 7200 Å]

২১। ইয়ং-এর রেখাছিদ্র পরীক্ষা ব্যবস্থাটি 1·33 প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট একটি তরলে নিমজ্জিত আছে। রেখাছিদ্র দুটির পারস্পরিক দূরত্ব 1 mm এবং ছিদ্রের তল থেকে পর্দার দূরত্ব 1·33 m। রেখাছিদ্র দুটি 6300Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো দ্বারা আলোকিত করলে ঝালরের বেধ নির্ণয় কর। [উ. 0·63 mm]

২২। ইয়ং-এর দ্বি-চিড় পরীক্ষায় 4টি উজ্জ্বল ডোরার ব্যবধান হলো 3·75 mm। চিড় দুটি হতে পর্দার দূরত্ব 0·90 m। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য $6{\cdot}25 \times 10^{-7}$ m হলে চিড় দুটির দূরত্ব কত ? [উ. 0·9 mm]

২৩। একটি সমতল নিঃসরণ গ্রেটিং-এর দ্বারা সৃষ্ট বর্ণালি রেখার ৩য় ক্রম 30° অপবর্তন কোণ উৎপন্ন করে। গ্রেটিং-এর প্রতিমিটার দৈর্ঘ্যে 3000×10^2 সংখ্যক রেখা থাকলে আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উ. 5556 Å]

২৪। 6438 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের একবর্ণী আলোকের ক্ষেত্রে একটি গ্রেটিং দ্বিতীয় ক্রমের বা পর্যায়ের বর্ণালি রেখার ক্ষেত্রে 15°8′ অপবর্তন কোণ উৎপন্ন করে। গ্রেটিং-এর প্রতিমিটার দৈর্ঘ্যে রেখার সংখ্যা নির্ণয় কর। [উ. 202754]

২৫। 2×10^{-4} m বেধের একক রেখাচিড়ের দরুন পর্দায় সৃষ্ট অপবর্তন ঝালরের কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল রেখার বিপরীত দুপাশের অন্ধকার রেখার মধ্যে দূরত্ব 28×10^{-4} m হলে আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উ. 56×10^{-8} m]

২৬। একটি সমতল গ্রেটিং-এ 6×10^{-7}m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক রশ্মি প্রথম বা ক্রমে 30° অপবর্তন কোণ উৎপন্ন করে। গ্রেটিং-এর প্রতি মিটার দৈর্ঘ্যে রেখার সংখ্যা এবং গ্রেটিং ধ্রুবক নির্ণয় কর। [উ. 8.333×10^2, 12×10^{-7} m]

২৭। 5.46×10^{-7} m তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকের আলোকিত 0.1×10^{-3} m দূরে অবস্থিত দুটি সমান্তরাল ছিদ্র হতে 0.8 m দূরে পর্দায় ফ্রনহফারের অপবর্তন লক্ষ করা গেল। কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল রেখা হতে ৩য় উজ্জ্বল রেখার দূরত্ব কত?
[উ. 1.31×10^{-2} m]

২৮। একটি সমতল গ্রেটিং-এর প্রতি সেন্টিমিটারে দাগের সংখ্যা 6000। 5000 Å তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলো লম্বভাবে গ্রেটিং তলের ওপর আপতিত হচ্ছে। প্রথম ক্রমের উজ্জ্বল রেখার জন্য অপবর্তন কোণ নির্ণয় কর। [উ. 17.46°]

২৯। কোনো অপবর্তন গ্রেটিং-এ প্রতি সেন্টিমিটারে 5000 রেখা রয়েছে। এর ভেতর দিয়ে 5896 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ফেললে দ্বিতীয় চরমের জন্য অপবর্তন কোণ বের কর। [উ. 47.47°]

৩০। একটি ফ্রনহফার শ্রেণির একক চিড়ের দরুন অপবর্তন পরীক্ষায় 5.890 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ব্যবহার করা হলো। চিড়টির বেধ 0.2 mm হলে প্রথম অবমের জন্য অপবর্তন কোণ নির্ণয় কর। [উ. 0.17°]

৩১। একটি নিঃসরণ সমতল গ্রেটিং-এ 8×10^{-7} m তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট আলোর প্রথম ক্রমে 30° অপবর্তন কোণ উৎপন্ন করে। গ্রেটিং-এ প্রতি মিটারে রেখার সংখ্যা কত ? [উ. 6.25×10^5 /m]

৩২। একক রেখাছিদ্র থেকে 2 m দূরে পর্দা রেখে অপবর্তন ঝালর গঠন করা হলো। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6000 Å। যদি প্রথম অবম বিন্দু কেন্দ্রীয় চরম বিন্দুর উভয় পার্শ্বে 5 mm দূরত্বে গঠিত হয় তাহলে ছিদ্রের বেধ কত ?
[উ. 0.24 mm]

৩৩। 4.0 cm বেধের একক ছিদ্রের ওপর সমকোণে 2.0 cm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মাইক্রোতরঙ্গ আপতিত হলো। কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল পট্টির কৌণিক বেধ কত ? [উ. 1 rad]

৩৪। 0.5 mm বেধের একটি ছিদ্র যে অপবর্তন নকশা উৎপন্ন করে তা 40 cm ফোকাস দৈর্ঘ্যের লেন্সের সাহায্যে দেখা হচ্ছে। অক্ষ থেকে প্রথম অবম পট্টি এবং পরবর্তী উজ্জ্বল পট্টির মধ্যে দূরত্ব নির্ণয় কর। ($\lambda = 589 \times 10^{-9}$ m)
[উ. 4.712×10^{-4} m]

৩৫। একটি সরু রেখাছিদ্র দ্বারা ফ্রনহফার অপবর্তন সৃষ্টির জন্য লেন্স হতে 2 m দূরে পর্দা রাখা হলো। রেখা ছিদ্রের প্রস্থ 0.2 mm হলে দেখা যায় যে কেন্দ্রীয় উজ্জ্বল বিন্দুর উভয় পার্শ্বে 5 mm দূরত্বে অবম বিন্দু গঠিত হয়। আপতিত আলোর দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উ. 4.99998×10^{-7} m] [BUET Admission Test, 2003-04]

৩৬। একক রেখাছিদ্র থেকে 2 m দূরে পর্দা রেখে অপবর্তন ঝালর গঠন করা হলো। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য 6000 Å। যদি প্রথম অবম বিন্দু কেন্দ্রীয় চরম বিন্দুর উভয় পার্শ্বে 5 mm দূরত্বে গঠিত হয় তবে ছিদ্রের বেধ কত ?
[উ. 0.24 mm]

৩৭। কাচের প্লেটের তলে আলো প্রতিফলিত হয়ে সমবর্তিত হয়। কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1.57 হলে কাচের আলোর প্রতিসরণ কোণ কত ? [উ. 32.5°]

৩৮। একটি মাধ্যমের সমবর্তন কোণ 60° হলে ওই মাধ্যমের সংকট কোণ কত ? [উ. 35°16′]

৩৯। একটি কাচ প্লেটের সবুজ আলোর জন্য সমবর্তন কোণ 60°। সবুজ আলো 60° প্রতিসারক কোণবিশিষ্ট প্রিজমের মধ্য দিয়ে পাঠালে রশ্মির ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ কত হবে ? [উ. 60°]

৪০। একটি স্বচ্ছ কেলাসের সংকট কোণ 30°। ওই কেলাসের সমবর্তন কোণ কত ? [উ. 60°30′]

৪১। হীরক তল থেকে 67°32′ কোণে প্রতিফলিত আলো সম্পূর্ণ সমতল সমবর্তিত হয়। হীরকের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর। [উ. 2.42]

৪২। কোনো একটি মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{3}$। একটি আলো ওই মাধ্যমে সমবর্তন কোণে আপতিত হলে প্রতিসরণ কোণ কত ? [উ. 30°]

৪৩। অসমবর্তিত আলো কাচের প্লেটের ওপর আপতিত হলো। আপতন কোণ কত হলে প্রতিফলিত রশ্মি এবং প্রতিসৃত কোণ পরস্পরের সমকোণে থাকবে ? [উ. $i_B = \tan^{-1}\frac{3}{2}$]

৪৪। একটি কাচের তলে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ 60° কোণে আপতিত হলো। প্রতিফলিত রশ্মি পুরাপুরি সমবর্তিত হলে প্রতিসরণ কোণ কত ? কাচের প্রতিসরাঙ্কের মান কত ? [উ. 30°; 1.732]