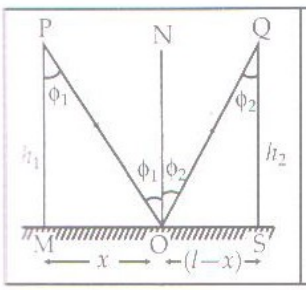
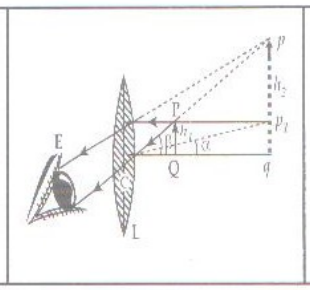
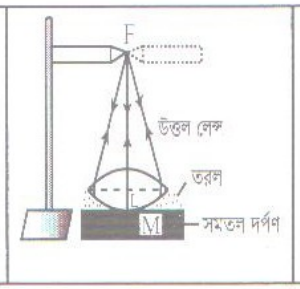
৬

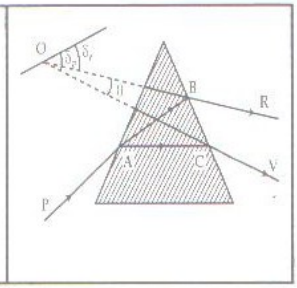
জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান
GEOMETRICAL OPTICS

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









সূচনা

আমরা জানি, কোনো একটি স্বচ্ছ ও 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 :**
  - দর্পণ ও উত্তল লেন্স ব্যবহার করে তরলের প্রতিসরণাঙ্ক নির্ণয় করতে পারবে।
  - লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয় করতে পারবে।
- মাইক্রোস্কোপের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- রিফ্লেক্টিং টেলিস্কোপের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- প্রিজমে আলোর প্রতিসরণ ও বিচ্ছুরণ ব্যাখ্যা করতে পারবে।

৬·১ ফার্মাট-এর নীতি
Fermat's Principle

ধারণা
Concept

আমরা জানি, আলোকরশ্মি কোনো একটি বিন্দু হতে চলে সমতল পৃষ্ঠ কর্তৃক প্রতিফলন বা প্রতিসরণ-এর পর অন্য কোনো বিন্দুতে পৌঁছতে যদি কম দূরত্ব অতিক্রম করে তাহলে যে সময় লাগে তাও সর্বাপেক্ষা কম হয়। অতএব আলোক রশ্মির ক্ষুদ্রতম পথ অতিক্রম করার অর্থ ন্যূনতম সময় লাগা। এখন ক্ষুদ্রতম পথ বা ন্যূনতম সময় বিষয়ক যে নীতি তা কেবল সমতল পৃষ্ঠের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। গোলকীয় তলে এর ব্যতিক্রম দেখা যায়। কোনো গোলকীয় তলে যখন আলোক রশ্মির প্রতিফলন বা প্রতিসরণ ঘটে, তখন আলোক রশ্মি হয় দীর্ঘতম না হয় ক্ষুদ্রতম পথ অতিক্রম করবে। তবে দীর্ঘতম বা ক্ষুদ্রতম পথ যাই অতিক্রম করুক না কেন পথ সর্বদা স্থির (stationary) থাকবে। 1650 খ্রিস্টাব্দে পিয়ারে ফার্মাট আলোক পথ সংক্রান্ত একটি নীতি আবিষ্কার করেন যা **ফার্মাটের নীতি** নামে পরিচিত। এই নীতির সাহায্যে আলোর সরলরৈখিক গতি, আলোর প্রতিফলন, প্রতিসরণের সূত্র প্রতিপাদন করা যায়। ফার্মাট-এর নীতি অনুসারে, **"যখন কোনো আলোক রশ্মি প্রতিফলন বা প্রতিসরণ-এর সূত্র মেনে কোনো সমতল পৃষ্ঠে প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হয়, তখন তা সর্বদা ক্ষুদ্রতম পথ অনুসরণ করে।"**

(Fermat's principle states that the path followed by a ray of light in moving from one point to another point after any number of reflections or refractions, would always be stationary)।

উপরোক্ত আলোচনার প্রেক্ষিতে সমতল বা গোলকীয় তল উভয়ের ক্ষেত্রে ফার্মাট-এর নীতিকে ব্যাপক অর্থে নিম্নলিখিতভাবে বিবৃত করা যায় :

এক বিন্দু হতে অপর এক বিন্দুতে যাওয়ার সময় আলোক রশ্মির প্রতিফলন বা প্রতিসরণ যত সংখ্যক বারই হোক না কেন অনুসৃত পথ সর্বদাই স্থির হবে।

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

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

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

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

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

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

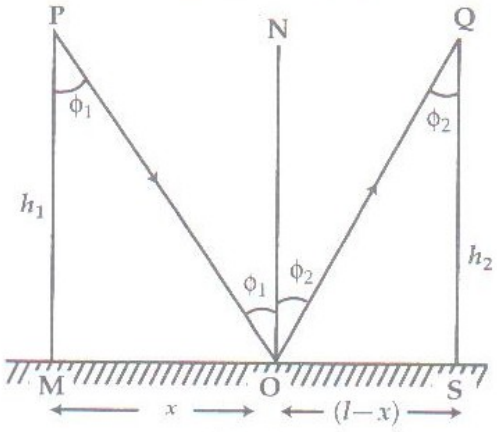
ফার্মাট-এর নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্র

Law of reflection and refraction of light with the help of Fermat's principle

ক. প্রতিফলনের সূত্রাবলি

Laws of reflection

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



চিত্র ৬·১

চিত্র ৬·১ থেকে, $POQ = s = PO + OQ$

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

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

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

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

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

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

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

বা, $\quad \sin OPM = \sin OQS$ বা, $\sin \phi_1 = \sin \phi_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.3)$

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

$\therefore$ আপতন কোণ = প্রতিফলন কোণ

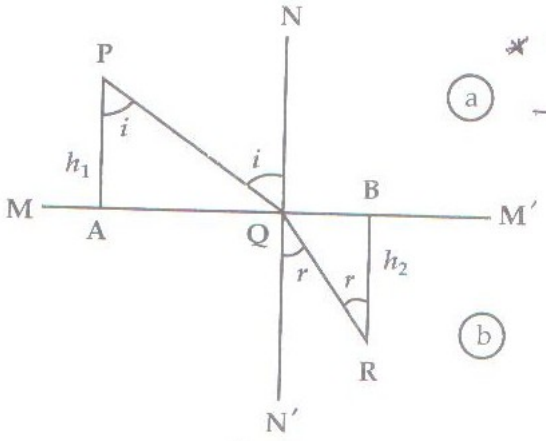
এটাই প্রতিফলনের দ্বিতীয় সূত্র।

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

এটাই প্রতিফলনের প্রথম সূত্র।

খ. প্রতিসরণের সূত্রাবলি
Laws of refraction

ধরা যাক PQ আলোক রশ্মি স্থির বিন্দু P থেকে Q বিন্দু হয়ে অন্য একটি স্থির বিন্দু R-এ 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]।



চিত্র ৬·২

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

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

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

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

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

$\therefore$ $$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c_a}{c_b} = {}_a\mu_b \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.6)$$

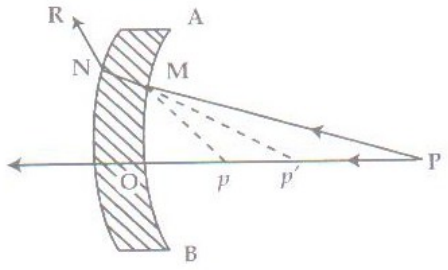
ইহাই প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্র বা স্নেলের সূত্র।

আবার PQ এবং QR রেখাদ্বয় পরস্পর Q বিন্দুতে মিলিত হয়ে একটি সমতল গঠন করে। যেহেতু PQR পথ ক্ষুদ্রতম বলে এই সমতলে বিভেদতল NN′-এর উপর লম্ব হবে। NN′ অভিলম্ব বিভেদতলের উপর লম্ব হওয়ায় PQ এবং QR যে সমতলে অবস্থিত সেই সমতলে NN′ও অবস্থিত। কাজেই আপতিত রশ্মি PQ, প্রতিসৃত রশ্মি QR এবং অভিলম্ব NN′ একই সমতলে অবস্থিত।

এটাই প্রতিসরণের প্রথম সূত্র।

৬·২ লেন্স প্রস্তুতকারকের সূত্র বা লেন্স তৈরির সমীকরণ
Lens Maker's Formula or Equation of Lens Formation

মনে করি AB একটি সরু লেন্সের প্রধান ছেদ [চিত্র ৬·৩]। এর প্রধান অক্ষ OP-এর উপর P একটি বিন্দু-বস্তু এবং O এর আলোক কেন্দ্র। ধরা যাক P হতে বায়ুর মধ্য দিয়ে আগত PM আলোক রশ্মিটি লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠে আলোক কেন্দ্র হতে সামান্য দূরে M বিন্দুতে আপতিত হওয়ায় রশ্মিটি প্রথম পৃষ্ঠে MN বরাবর এবং দ্বিতীয় পৃষ্ঠে N বিন্দু হতে NR বরাবর প্রতিসৃত হলো। আবার P হতে লেন্সের উপর আপতিত প্রধান অক্ষ বরাবর PO রশ্মিটি একই রেখায় লেন্স হতে বায়ুতে নির্গত হলো। কাজেই উপরোক্ত নির্গত রশ্মিদ্বয়ের ছেদ বিন্দু p-ই বস্তু P-এর অলীক বা অবাস্তব প্রতিবিম্ব হবে। কেননা লেন্সের অপর পার্শ্ব হতে দেখলে ঐ রশ্মি দুটি উক্ত বিন্দু হতে নির্গত হচ্ছে মনে হবে।



চিত্র ৬·৩

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

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

চিহ্নের বাস্তব ধনাত্মক প্রথা অনুযায়ী :

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,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{-v'} = \frac{\frac{1}{\mu} - 1}{r_2}$$

[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 $v = f$

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

এটিই লেন্সের ফোকাস দূরত্বের সাধারণ সমীকরণ।

বেষ্টনকারী মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক μ_1 এবং লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক μ_2 হলে সমীকরণ (6.10)-এ μ-এর স্থলে μ_2/μ_1 বসিয়ে লেখা যায়,

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

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

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

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

গাণিতিক উদাহরণ

১। বায়ু সাপেক্ষে পানি এবং কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে $\frac{4}{3}$ এবং $\frac{3}{2}$। দেখাও যে, পানিতে একটি কাচ লেন্সের ফোকাস দূরত্ব বায়ুতে ফোকাস দূরত্বের চার গুণ। [কু. বো. ২০০৮]

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

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

বাতাসের ক্ষেত্রে,

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

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

এখানে,

লেন্সের কাচের প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_2=\frac{3}{2}$

ধরি,

যখন $\mu_1=1$ (বাতাসে),

তখন ফোকাস দূরত্ব = f_1

যখন $\mu_1=\frac{4}{3}$ (পানিতে)

তখন ফোকাস দূরত্ব = f_2

পানির ক্ষেত্রে,

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

$$=\frac{1}{8}\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

(2) নং সমীকরণকে (3) নং সমীকরণ দ্বারা ভাগ করে, $\frac{f_2}{f_1}=4$

$\therefore \quad f_2=4f_1$

$\therefore$ পানিতে একটি কাচ লেন্সের ফোকাস দূরত্ব বায়ুতে ফোকাস দূরত্বের 4 গুণ। (প্রমাণিত)

২। একটি উভোত্তল লেন্সের দুই পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ 15 cm এবং 30 cm। লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব 20 cm হলে এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর। [ঢা. বো. ২০০৯]

আমরা জানি,

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

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

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

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

$\therefore \quad \mu=1-0.5=1.5$

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, $\mu=?$

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

আমরা জানি,

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

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

বা, $\frac{1}{30} = (1{\cdot}52 - 1)\left(\frac{2}{r}\right)$

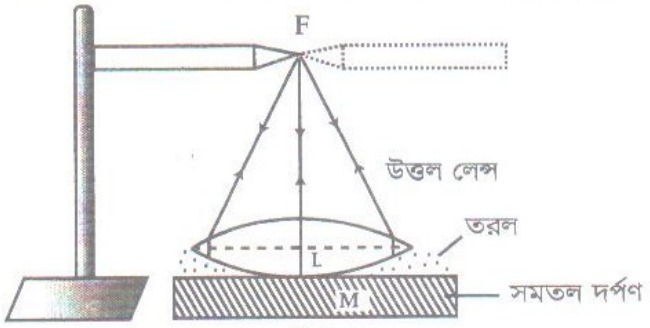
$\therefore\ r = 31{\cdot}2$ cm

এখানে,
প্রত্যেক পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ = r
উত্তল লেন্সের ১ম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r_1 = r_2$
২য় পৃষ্ঠের ব্যাসার্ধ, $r_2 = -r$
$\mu = 1{\cdot}52$
ফোকাস দূরত্ব, $f = 30$ cm

৬·৩ ব্যবহারিক
Experimental

পরীক্ষণের নাম : পিরিয়ড : ২	**তরলের প্রতিসরণাঙ্ক নির্ণয় (লেন্স ও দর্পণের সহায়ে)** Determination of the Refractive Index of a Liquid using Plane Mirror and Convex Lens

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



চিত্র ৬·৪

সুতরাং আমরা লিখতে পারি

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

এখানে F এবং f_1 এর মান ঋণাত্মক।

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

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

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

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

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

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

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

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

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

বা, $f_2\,(\mu - 1) = r_1$

বা, $\mu - 1 = \frac{r_1}{f_2}$

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

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

কাজের ধারা (Experimental Procedure) :

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

২। টেবিলের উপর একটি সমতল দর্পণ রেখে এর উপর উত্তল লেন্সটি বসানো হলো।

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

৪। এখন লক্ষ্যবস্তু পিনটাকে নিচ হতে ক্রমশ উপরের দিকে উঠানো হলো। যখন লম্বন ত্রুটি থাকে না এবং বাস্তব প্রতিবিম্ব গঠিত হয় তখন মিটার স্কেলের সাহায্যে লেন্সের উপরিতলের মধ্যবিন্দু হতে পিনের শীর্ষবিন্দু পর্যন্ত উচ্চতা h_1 পরিমাপ করা হলো। এখন $f_1 = \left(h_1 + \frac{t}{2}\right)$-এর সাহায্যে উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় করা হলো।

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

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

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

পরীক্ষালব্ধ উপাত্তসমূহ (Experimental data) :

ছক–১ (নমুনা)

[লেন্সের বেধ নির্ণয়ের জন্য]

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

ছক–২

[উচ্চতা (h) নির্ণয়ের জন্য]

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

ছক–৩

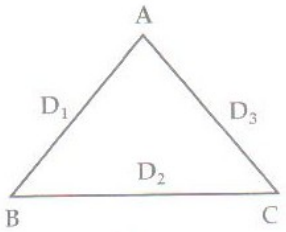
[(f_1) ও (F) এর মান নির্ণয়ের জন্য]

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

স্ফেরোমিটারের পায়ার দূরত্ব D নির্ণয় :

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

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



চিত্র ৬·৫

হিসাব (Calculation) :

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

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

$$= 12·93 \text{ cm}$$

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

সুতরাং

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

ফলাফল (Result) :

পানির পরীক্ষালব্ধ প্রতিসরাঙ্ক = 1·32

সতর্কতা ও আলোচনা (Precautions and discussions) :

১। লম্বন ত্রুটি যথাযথ পরিহার করা হলো।

২। পিনের অগ্রভাগ লেন্সের প্রধান অক্ষ বরাবর রাখা হলো।

৩। দর্পণে কম পরিমাণ তরল পদার্থ ব্যবহার করা হলো।

৪। লেন্সের বেধ সঠিকভাবে পরিমাপ করা হলো।

পরীক্ষণের নাম :	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 ডায়পটারে লেন্সের ক্ষমতা পাওয়া যায়। u এবং v যথাক্রমে বস্তু দূরত্ব এবং প্রতিবিম্ব দূরত্ব হলে, প্রকৃত প্রতিবিম্বের জন্য আমরা পাই—

$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$; এখন, $\frac{1}{u}$-কে X অক্ষের দিকে এবং $\frac{1}{v}$-কে Y-অক্ষের দিকে নির্দেশ করে একটি লেখচিত্র অঙ্কন করলে তা একটি সরলরেখা হবে। সরলরেখাটি মূলবিন্দু হতে উভয় অক্ষকে সমান দূরে ছেদ করবে। মূলবিন্দু হতে

উভয় অক্ষের ছেদবিন্দু পর্যন্ত দূরত্ব $\frac{1}{f}$-এর সমান। কারণ চিত্র ৬·৭-এ X-অক্ষে $\frac{1}{v} = 0$, অতএব, $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ সমীকরণকে লেখা যায়, $\frac{1}{u} + 0 = \frac{1}{f}$; বা, $u = f$। অনুরূপভাবে Y-অক্ষে $\frac{1}{u} = 0$, অতএব, $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ সমীকরণ হবে $0 + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$; বা, $v = f$। তবে কেন্দ্র হতে ছেদ বিন্দুদ্বয়ের দূরত্ব সমান না হলে গড় মান নিতে হবে।

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

লেন্সের ক্ষমতা : কোনো লেন্স দ্বারা আলোক রশ্মিগুচ্ছের অভিসারিতা (convergence) বা অপসারিতা (divergence) উৎপাদনের সামর্থ্যকে তার ক্ষমতা বলে। লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যত কম, তা দ্বারা তত কম দূরত্বের মধ্যে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অভিসারী বা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয়। অর্থাৎ ঐ লেন্সের ক্ষমতা বেশি। এ জন্য কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্বের বিপরীত সংখ্যাকে তার ক্ষমতা বলা হয়। সুতরাং কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্ব জানা থাকলে লেন্সের ক্ষমতা নিম্নের সমীকরণ ব্যবহার করে নির্ণয় করা যায় :

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

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

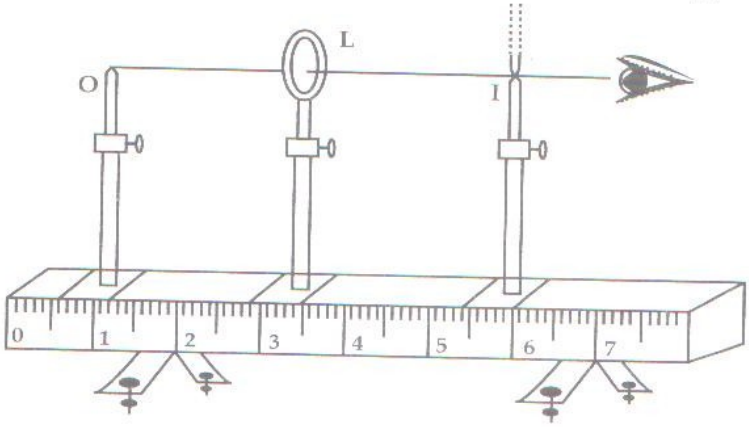
লেন্সটি যেহেতু উত্তল লেন্স অতএব এর ক্ষমতা ধনাত্মক হবে।

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 (Procedure)

(১) একটি উত্তল লেন্স নেয়া হয় এবং আলোক বেঞ্চের একটি দণ্ডের উপর তাকে স্থাপন করা হয়।
(২) লেন্সের সম্মুখে আলোক বেঞ্চের অপর একটি দণ্ডে একটি আলপিন স্থাপন করা হয়।



চিত্র ৬·৬

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

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

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

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

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

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

সূচক ত্রুটি নির্ণয় :

সূচক দণ্ডের দৈর্ঘ্য = x সে. মি.

লেন্স ও বস্তুর মধ্যে আপাত দূরত্ব = y সে. মি.

লেন্স ও প্রতিবিম্বের মধ্যে আপাত দূরত্ব = z সে.মি.

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

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

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

পর্যবেক্ষণ এবং সন্নিবেশন (Observation and Manipulation) :

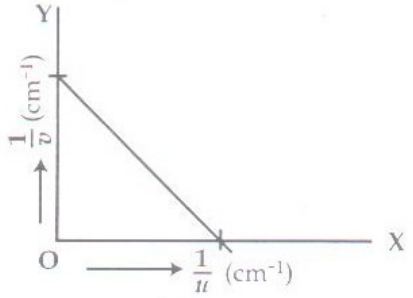
উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয়ের ছক–১

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

হিসাব বা গণনা (Calculation) :

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

বা, f = ...cm= ..... m



চিত্র ৬·৭

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

বা, f = ...cm= ..... m

বা, f এর গড় মান [(১) ও (২) এর গড়]

= ..... cm= ..... m।

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

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

সতর্কতা (Precautions) :

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

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

(৩) পাঠগুলো নির্ভুল হওয়া উচিত।

(৪) সূচক ত্রুটি নির্ণয় করা উচিত।

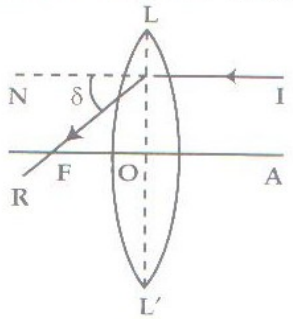
আলোচনা (Discussions) : (১) সূচক ত্রুটি নির্ণয় করা না হলে বস্তু-দূরত্ব এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্ব সঠিক হবে না। ফলে পরীক্ষালব্ধ ফলাফল ত্রুটিপূর্ণ হবে।

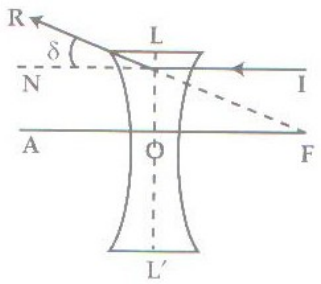
(২) পরীক্ষালব্ধ পাঠগুলো নির্ভুল না হলে ফলাফল সঠিক হবে না।

লেন্সের ক্ষমতা
Power of a lens

কোনো লেন্স দ্বারা আলোক রশ্মিগুচ্ছের অভিসারিতা (convergence) বা অপসারিতা (divergence) [চিত্র ৬·৮ ও ৬·৯] **উৎপাদনের সামর্থ্যকে তার ক্ষমতা বলে।** যদি কোনো লেন্স একগুচ্ছ সমান্তরাল আলোক রশ্মিকে বেশি পরিমাণে অভিসারিত বা অপসৃত করতে পারে, তবে তার ক্ষমতা বেশি আর যদি কম পরিমাণে অভিসারিত বা অপসৃত করতে পারে তবে তার ক্ষমতা কম। কাজেই লেন্সে আপতিত প্রধান অক্ষের সমান্তরাল আলোক রশ্মির প্রতিসরণজনিত

চিত্র ৬·৮





চিত্র ৬·৯

কৌণিক বিচ্যুতি δ দ্বারাই লেন্সের ক্ষমতা নির্ধারিত হবে। যে লেন্সের ক্ষেত্রে δ যত বেশি হবে ঐ লেন্সের ক্ষমতাও তত বেশি। আবার যে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যত কম, তা দ্বারা তত কম দূরত্বের মধ্যে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অভিসারী বা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয়। অর্থাৎ ঐ লেন্সের ক্ষমতা বেশি। এজন্য **কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্বের বিপরীত সংখ্যাকে তার ক্ষমতা বলা হয়।**

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

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

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

$$\boxed{P = \frac{1}{f\,(\text{m})} \text{ ডায়প্টার}} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (6.12)$$

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

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

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

এখানে, P = + 4 ডায়প্টার।

$\therefore \quad f = +\frac{1}{4}\text{ m} = +0·25\text{ m}$

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

আবার কোনো লেন্সের ক্ষমতা − 2D বলতে বুঝায় লেন্সটি অবতল

এবং এর ফোকাস দূরত্ব $f = -\frac{1}{2}\text{ m} = -0·5\text{ m}$

৬·৪ মাইক্রোস্কোপ (অণুবীক্ষণ যন্ত্র)
Microscope

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

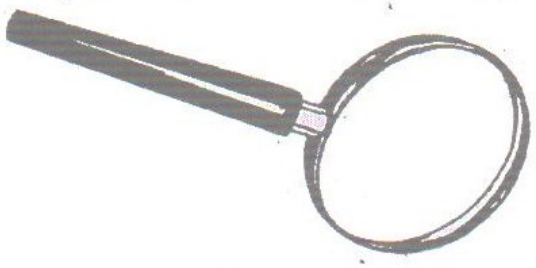
যে আলোক যন্ত্রের সাহায্যে নিকটবর্তী অতি ক্ষুদ্র বস্তুর খুঁটিনাটি প্রতিবিম্বের মাধ্যমে বর্ধিত করে দেখা যায় তাকে অণুবীক্ষণ যন্ত্র বলে। অণুবীক্ষণ যন্ত্র দুই প্রকার; যথা —

(ক) সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা বিবর্ধক কাচ (Simple Microscope or Magnifying glass) ও

(খ) জটিল বা যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র (Compound Microscope)।

সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা বিবর্ধক কাচ
Simple Microscope or Magnifying glass

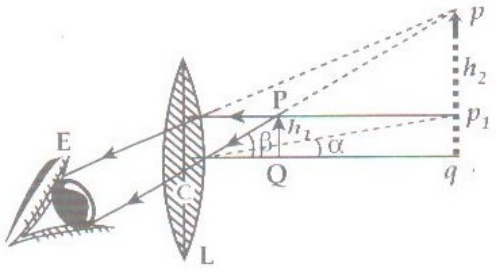
খুব বেশি বিবর্ধন প্রয়োজন না হলে এটি ব্যবহৃত হয়। এতে একটি হাতলযুক্ত ফ্রেমে অল্প ফোকাস দূরত্বের একটি উত্তল লেন্স বসানো থাকে [চিত্র ৬·১০]। সাধারণত এটি সূক্ষ্ম কারুকার্য, অতি ক্ষুদ্র লেখা, হাতের ছাপ, অতি ক্ষুদ্র যন্ত্রপাতি ইত্যাদি দেখার কাজে ব্যবহার করা হয়।



চিত্র ৬·১০

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

বিবর্ধন : ধরা যাক একটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের উত্তল লেন্স L-এর ফোকাস দূরত্ব f অপেক্ষা কম দূরত্বে প্রধান অক্ষের উপর লম্বভাবে একটি বস্তু PQ স্থাপন করা হয়েছে [চিত্র ৬·১১]। এতে লেন্সের পিছনে স্থাপিত চোখ E-এর স্পষ্ট দৃষ্টির নিকট বিন্দুতে তার সিধা, অবাস্তব ও আকারে বড় প্রতিবিম্ব pq গঠিত হলো।



চিত্র ৬·১১

এখন লেন্সের সাধারণ সমীকরণ হতে অবাস্তব প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রে লেখা যায়,

$-\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ [$\because$ লেন্সটি উত্তল তাই f ধনাত্মক এবং প্রতিবিম্ব অবাস্তব বলে, v ঋণাত্মক]

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

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

$\therefore \quad m=\frac{v}{u}=1+\frac{v}{f}$ ... ... (6.13)

কিন্তু $v = D$ স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব

$\therefore \quad \boxed{m=1+\frac{D}{f}}$ ... ... (6.14)

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

$\therefore$ সমীকরণ (6.13) অনুসারে পাওয়া যায়,

$\boxed{m=1+\frac{D-a}{f}}$ ... ... (6.15)

উপরোক্ত সমীকরণ হতে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায় যে,

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

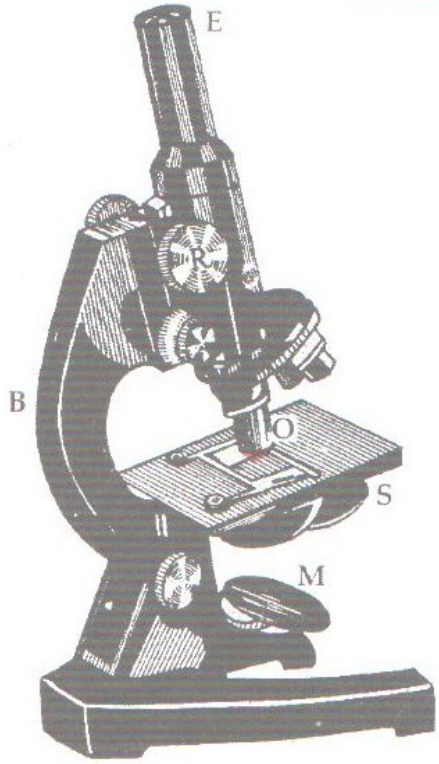
(২) স্বাভাবিক চোখ অপেক্ষা ক্ষীণ দৃষ্টিসম্পন্ন চোখে প্রতিবিম্ব ছোট এবং দূর দৃষ্টিসম্পন্ন চোখে প্রতিবিম্ব বড় দেখাবে।

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

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

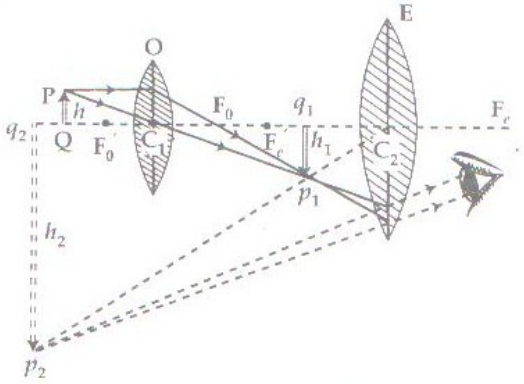
জটিল বা যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র
Compound Microscope

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



চিত্র ৬·১২

মূলনীতি ও বর্ণনা : যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দুটি উত্তল লেন্স আছে। একটি **অভিলক্ষ্য** (Objective), O এবং অপরটি **অভিনেত্র** (Eye-piece), E [চিত্র ৬·১২]। অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ ছোট। একে সর্বদা বস্তুর দিকে রাখা হয়। অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ বড়। অভিনেত্রকে পর্যবেক্ষকের চোখের দিকে থাকে। লেন্স দুটিকে টানা নলের (Draw Tube) মধ্যে রেখে একটি মূল নলের (Main Tube) দুই প্রান্তে সমাক্ষভাবে স্থাপন করা হয় যাতে তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিবর্তন করা যায়। মূল নলটিকে একটি দণ্ড B-এর সাথে স্থাপন করা হয় এবং স্ক্রু R-এর সাহায্যে উঠানামা করা হয়। লক্ষ্যবস্তু রাখার জন্য একটি পাটাতন আছে। মনে করি এটি S। M একটি অবতল দর্পণ। এর সাহায্যে পাটাতনের উপর আলোক ফেলে বস্তুটিকে আলোকিত করা হয়। অভিনেত্রটিকে অপর একটি স্ক্রু-এর সাহায্যে উপরে উঠিয়ে বা নিচে নামিয়ে বস্তুটির একটি সুস্পষ্ট এবং বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে গঠন করা হয়।



চিত্র ৬·১৩

অভিলক্ষ্য একটি উত্তল লেন্স-এর সামনে কোনো লক্ষ্যবস্তুকে ফোকাস দূরত্বের বাইরে রেখে দিলে, লক্ষ্যবস্তু থেকে আগত আলোক রশ্মি প্রতিসরণের পর বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠন করে। এই প্রতিবিম্ব যত বড় হবে অর্থাৎ অভিলক্ষ্যে প্রতিবিম্ব যত দূরে গঠিত হবে, শেষ প্রতিবিম্ব আকারে তত বড় হবে। আবার অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব ছোট হওয়ার জন্য সৃষ্ট প্রতিবিম্ব অনেকগুণ বড় দেখায়। ৬·১৩ চিত্রে বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব দেখানো হলো।

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

মনে করি মোট বিবর্ধন $= m$

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

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

$$= m_1 \times m_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.16)$$

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

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

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

$\therefore \quad m_1 = \dfrac{p_1q_1}{PQ} = -\dfrac{v}{u}$ (প্রতিবিম্ব উল্টা, তাই ঋণ চিহ্ন) $\quad \ldots \quad \ldots \quad (6.17)$

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

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

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

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

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

অতএব, $m_2 = 1 + \dfrac{D}{f_e}$ $\quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.18)$

এখন সমীকরণ (6.17) এবং (6.18) হতে m_1 ও m_2-এর মান সমীকরণ (6.16)-এ বসিয়ে পাই,

$$m = -\frac{v}{u}\left(1 + \frac{D}{f_e}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.19)$$

ঋণাত্মক বিবর্ধন দ্বারা প্রতিবিম্ব উল্টা বুঝায়।

সিদ্ধান্ত : উপরের সমীকরণ হতে নিম্নলিখিত সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায়—

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

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

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

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

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

= অভিলক্ষ্যে প্রতিবিম্বের দূরত্ব + অভিনেত্রে বস্তুর দূরত্ব

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

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

গাণিতিক উদাহরণ

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

আমরা জানি, সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষেত্রে,

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

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

এখানে,

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

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

$m = ?$

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,

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

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

$\therefore$ 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, $$\frac{1}{u} = \frac{128}{7}$$

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

অভিলক্ষ্য হতে এটা দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব দূরত্ব

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

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

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

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

অর্থাৎ অভিলক্ষ্য হতে বস্তু দূরত্ব $= 0{\cdot}023\ \text{m}$

৩। কোনো জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্যের ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 4 mm ও 50 mm। যদি অভিলক্ষ্য থেকে বাস্তব বিম্বের দূরত্ব 20 cm হয় এবং অভিনেত্র থেকে শেষ অবাস্তব বিম্বের দূরত্ব 25 cm হয় তবে ঐ অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন কত হবে ?

আমরা পাই,

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

এবং $$m = \frac{v}{u} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$$

এখানে, অভিলক্ষ্যের জন্য

$v = 20\ \text{cm}$

$f_0 = 4\ \text{mm} = 0{\cdot}4\ \text{cm}$

$u = ?$

$\therefore$ সমীকরণ (i) হতে পাই,

$$\frac{1}{20} + \frac{1}{u} = \frac{1}{0{\cdot}4}$$

বা, $$\frac{1}{u} = \frac{1}{0{\cdot}4} - \frac{1}{20} = \frac{50 - 1}{20} = \frac{49}{20}$$

বা, $$u = \frac{20}{49}\ \text{cm}$$

এবং অভিলক্ষ্যের বিবর্ধন, $$m_1 = \frac{v}{u} = \frac{20}{\frac{20}{49}} = 49$$

পুনঃ অভিনেত্রের ক্ষেত্রে,

সমীকরণ (i) হতে পাই,

এখানে,
$v = -25\ \text{cm}$
$f_e = 50\ \text{mn} = 5\ \text{cm}$

$$-\frac{1}{25}+\frac{1}{u}=\frac{1}{5}$$

বা, $\frac{1}{u}=\frac{1}{5}+\frac{1}{25}=\frac{5+1}{25}=\frac{6}{25}$

$\therefore \quad u=\frac{25}{6}$

অভিনেত্রের বিবর্ধন, $m_2=\frac{v}{u}=\frac{25}{\frac{25}{6}}=6$

$\therefore$ যন্ত্রের মোট বিবর্ধন, $m = m_1 \times m_2 = 49 \times 6 = 294$

৬.৫ টেলিস্কোপ (দূরবীক্ষণ যন্ত্র)
Telescope

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

(১) প্রতিসরণ দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Refracting Telescope) এবং

(২) প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Reflecting Telescope)।

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

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

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

(গ) গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Galilean Telescope)।

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

(ক) নিউটনের দূরবীক্ষণ যন্ত্র,

(খ) গ্রেগরীর দূরবীক্ষণ যন্ত্র এবং

(গ) হারসেলের দূরবীক্ষণ যন্ত্র।

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

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র
Astronomical Telescope

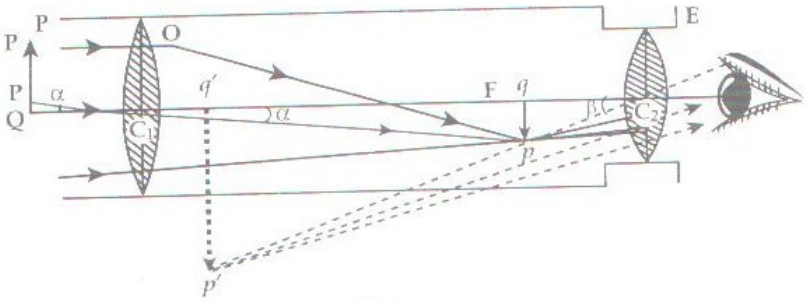
চন্দ্র, সূর্য, গ্রহ, নক্ষত্র প্রভৃতি নভোমণ্ডলীয় বস্তু পর্যবেক্ষণে **যে দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাকে নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র** বলে [চিত্র ৬.১৪]। ডেনমার্কের বিখ্যাত জ্যোতির্বিদ **কেপলার** 1611 খ্রিস্টাব্দে এটি সর্বপ্রথম উদ্ভাবন করেন।

চিত্র ৬.১৪

বর্ণনা : এই যন্ত্র প্রধানত দুটি উত্তল লেন্স দ্বারা গঠিত—একটি অভিলক্ষ্য (Objective), O এবং অপরটি অভিনেত্র (Eye-piece) E [চিত্র ৬.১৫]। অভিলক্ষ্য ক্রাউন কাচের তৈরি। একে সর্বদা লক্ষ্যবস্তুর দিকে রাখা হয়। এর ফোকাস দূরত্ব f_o এবং উন্মেষ বড়। অভিনেত্র ফ্লিন্ট কাচের তৈরি। একে দর্শক চোখের দিকে রেখে বস্তু দেখে। এর ফোকাস দূরত্ব f_e এবং উন্মেষ ছোট। লেন্স দুটিকে দুটি টানা নলের মধ্যে রেখে একটি লম্বা নলের দুই প্রান্তে সমাক্ষভাবে স্থাপন করা হয়। ফলে প্রয়োজন মতো লেন্স দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিবর্তন করা যায়।

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

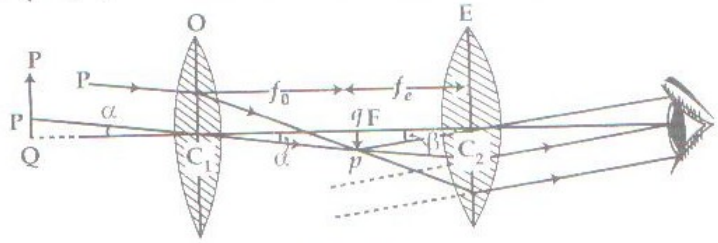
মূলনীতি (Principle) : বহুদূরবর্তী বস্তু থেকে আগত রশ্মিগুচ্ছ অভিলক্ষ্যের উপর পরস্পরের সমান্তরালে আপতিত হয়ে প্রতিসরণের পর প্রতিসৃত রশ্মিগুচ্ছ একটি বিন্দুতে মিলিত হয়। এই বিন্দুতে বস্তুর একটি বাস্তব, উল্টা ও খুবই ছোট প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। এই অবস্থায় অভিনেত্রকে এমনভাবে উপযোজন করা হয় যেন pq অভিনেত্রের ফোকাস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



চিত্র ৬·১৫

অবাস্তব, বিবর্ধিত এবং সিধা তবে মূল বস্তুর সাপেক্ষে উল্টো প্রতিবিম্ব $p'q'$ গঠন করে [চিত্র ৬·১৫]। এ ধরনের ফোকাসিংকে **স্পষ্ট দর্শন ফোকাসিং (focusing for distinct vision)** বলা হয়। চিত্র অনুযায়ী F অভিনেত্র ও অভিলক্ষ্যের ফোকাস বিন্দু। নিকট ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে q ও F দুটি ভিন্ন বিন্দু।

অভিনেত্র খানিকটা সরিয়ে pq-কে তার ফোকাস তলে গঠন করলে pq হতে আগত আলোক রশ্মিগুলো অভিনেত্রে পরস্পরের সমান্তরালে প্রতিসৃত হয় [চিত্র ৬·১৬]। ফলে অভিনেত্রের পশ্চাতে চোখ রাখলে অসীম দূরত্বে এর একটি উল্টো



চিত্র ৬·১৬

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

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

(১) অসীম দূরত্বে বা স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং-এর বিবর্ধন : অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে pq ফোকাস তলে গঠিত হয়। এমতাবস্থায় q বিন্দু অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস বিন্দু। pq হতে আলোক রশ্মিগুলো পরস্পর সমান্তরালে প্রতিসৃত হয় [চিত্র ৬·১৬]। ফলে অভিনেত্রের বাম দিকে অসীম দূরত্বে একটি অবাস্তব, অতি বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হয়। অসীম ফোকাসিং-এ q এবং F একই বিন্দু। এমতাবস্থায়, C_2q = অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব $= f_e$ এবং C_1q = অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব $= f_0$। সুতরাং অসীম দূরত্বে বা স্বাভাবিক দৃষ্টির ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে বিবর্ধন

$$m = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{C_1q}{C_2q} = \frac{f_0}{f_e} \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.20)$$

সমীকরণ (6.20) হতে দেখা যায় যে অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে বিবর্ধন m দুটি উপায়ে বৃদ্ধি করা যায়—

(ক) অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব বৃদ্ধি করে এবং

(খ) অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব কমিয়ে।

(২) স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং-এর বিবর্ধন : এক্ষেত্রে $C_2q = v_2$ = 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, $$m = \frac{C_1q}{C_2q} = \frac{f_0}{u} = f_0\left(\frac{D + f_e}{D \times f_e}\right) = f_0\left(\frac{1}{D} + \frac{1}{f_e}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.21)$$

বা, $$m = \frac{f_0}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.22)$$

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

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

(i) অসীম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে :

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

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

অতএব, $C_1q = f_e$ এবং $C_2q = f_0$

$$\therefore \quad L = C_1q + C_2q = f_e + f_0 \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.23)$$

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

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

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

এক্ষেত্রে $C_2q = f_0$ এবং $C_1q = u$

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

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

$$= f_0 + \frac{D \times f_e}{D + f_e} \quad \ldots \quad (6.24)$$

= অভিলক্ষ্যে প্রতিবিম্বের দূরত্ব + অভিনেত্রে বস্তুর দূরত্ব

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

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

গাণিতিক উদাহরণ

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

মনে করি, বিবর্ধন ক্ষমতা $= m$

আমরা পাই,

(i) $m = \frac{f_0}{f_e} = \frac{2{\cdot}00}{0{\cdot}05} = 40$

এবং $L = f_0 + f_e = 2{\cdot}00 + 0{\cdot}05 = 2{\cdot}05$ m

(ii) $m = f_0 + \left(\frac{1}{D} + \frac{1}{f_e}\right) = 2 \times \left(\frac{1}{0{\cdot}25} + \frac{1}{0{\cdot}05}\right) = 48$

এবং $L = f_0 + \left(\frac{D \times f_e}{D + f_e}\right) = 2 + \left(\frac{0{\cdot}25 \times 0{\cdot}05}{0{\cdot}25 + 0{\cdot}05}\right) = 2{\cdot}04$ m

এখানে

$f_0 = 200$ cm $= 2{\cdot}00$ m
$f_e = 5$ cm $= 0{\cdot}05$ m
D $= 25$ cm $= 0{\cdot}25$ m

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

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

মনে করি ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে f_0 এবং f_e।

∴ আমরা পাই,

$f_0 + f_e = 0{\cdot}36$ ... ... (i)

এবং $m = \frac{f_0}{f_e}$

বা, $4 = \frac{f_0}{f_e}$

∴ $f_0 = 4f_e$ ... ... (ii)

এখন সমীকরণ (i) এবং (ii) হতে পাই, $4f_e + f_e = 0{\cdot}36$

বা, $5f_e = 0{\cdot}36$

∴ $f_e = \frac{0{\cdot}36}{5} = 0{\cdot}072$ m

এখন সমীকরণ (ii) হতে পাই,

$f_0 = 4 \times 0{\cdot}072 = 0{\cdot}288$ m

∴ অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব $= 0{\cdot}288$ m এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব $= 0{\cdot}072$ m

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের সুবিধা : নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রে চারটি সুবিধা পরিলক্ষিত হয়; যথা—

(ক) এটি অধিক পরিমাণে বিবর্ধন সৃষ্টি করে,

(খ) এর দৃষ্টিক্ষেত্র প্রশস্ত,

(গ) প্রতিবিম্ব প্রায় ত্রুটি (aberration) মুক্ত এবং

(ঘ) প্রয়োজনে 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 ভূ-পৃষ্ঠের দূরের বস্তু পর্যবেক্ষণে ব্যবহারযোগ্য হয় না।

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

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

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

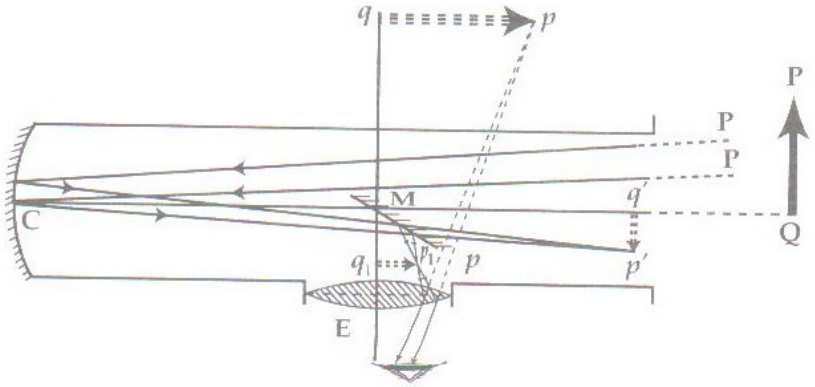
প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্য হিসেবে লেন্স ব্যবহার করা হয়। লেন্সের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণের সময় সাদা আলোক রশ্মি সাতটি বর্ণের রশ্মিতে বিশ্লিষ্ট হয়ে পড়ে। ফলে এক এক বর্ণের আলোর দরুন লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব রঙিন ও ঝাপসা প্রতিবিম্ব গঠন করে যা বর্ণাপেরণ নামে পরিচিত। অন্যদিকে প্রতিফলন দূরবীক্ষণ যন্ত্রে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

রিফ্লেক্টিং টেলিস্কোপ বা প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র
Reflecting Telescope

1663 খ্রিস্টাব্দে গ্রেগরী নামক একজন বিজ্ঞানী সর্বপ্রথম এই যন্ত্র উদ্ভাবন করেন। 1668 খ্রিস্টাব্দে স্যার আইজাক নিউটন সর্বাপেক্ষা প্রচলিত প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র প্রথম নির্মাণ করেন।

সাধারণভাবে বলা যায় যে, একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ যত বড় হবে 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 ৬·১৭]। এই নলের এক পার্শ্বে এবং অবতল দর্পণ হতে তার ফোকাস দূরত্ব অপেক্ষা কম দূরত্বে একটি ফাঁপা পার্শ্বনল থাকে। এই নলে একটি উত্তল লেন্স E অভিনেত্র হিসেবে বসানো থাকে। এ ছাড়া অবতল দর্পণ ও



চিত্র ৬·১৭

উত্তল লেন্সের প্রধান অক্ষের ছেদ বিন্দুতে একটি সমতল দর্পণ M অবতল দর্পণের প্রধান অক্ষের সাথে 45° কোণে আনত অবস্থায় নলের অভ্যন্তরে বসানো থাকে। দর্পণের প্রতিফলক পৃষ্ঠ অবতল দর্পণ ও লেন্সের দিকে মুখ করে থাকে।

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

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

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

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

বিবর্ধন, $$m = f_0\left(\frac{1}{D}+\frac{1}{f_e}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.25)$$

এখানে, D হলো স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব।

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

বিবর্ধন, $m = \frac{f_0}{f_e}$ ... ... (6.26)

কাজ : দূরবীক্ষণ যন্ত্রে নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রের চেয়ে অতিরিক্ত একটি লেন্স ব্যবহার করা হয় কেন ?
অথবা, নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্র দিয়ে পৃথিবীর দূরবর্তী বস্তুকে দেখতে হলে 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 :

১। এই দূরবীক্ষণে বর্ণ ত্রুটি বা গোলকীয় ত্রুটি থাকে না। ফলে উজ্জ্বল ও ত্রুটিমুক্ত প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়।

২। বড় উন্মেষের লেন্স তৈরির চেয়ে বড় উন্মেষের দর্পণ তৈরি অনেক সহজ।

অণুবীক্ষণ যন্ত্র ও দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বৈশিষ্ট্য
Characteristics of microscope and telescope

অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বৈশিষ্ট্য :

১। নিকটবর্তী অতি ক্ষুদ্র বস্তু পর্যবেক্ষণের কাজে ব্যবহৃত হয়।

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

৩। অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র উভয় দ্বারা প্রতিবিম্ব কম-বেশি বিবর্ধিত হয়।

৪। অভিলক্ষ্যে লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব তার ফোকাস দূরত্ব অপেক্ষা অধিক দূরত্বে গঠিত হয়।

৫। চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব লক্ষ্যবস্তুর সাপেক্ষে উল্টা হয়।

দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বৈশিষ্ট্য :

১। দূরের বস্তু দেখার কাজে ব্যবহৃত হয়।

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

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

৬·৬ প্রিজমে আলোর প্রতিসরণ ও বিচ্ছুরণ
Refraction and Dispersion of light in a Prism

প্রিজম
Prism

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

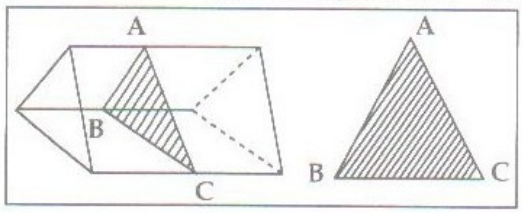
(১) তিনটি পরস্পরচ্ছেদী সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ একটি স্বচ্ছ সমসত্ত্ব মাধ্যমকে প্রিজম বলে।

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

(৩) তিনটি আয়তক্ষেত্রাকার এবং দুটি ত্রিভুজাকার সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ কোনো স্বচ্ছ সমসত্ত্ব প্রতিসারক মাধ্যমকে প্রিজম বলে। প্রিজমের মোট পাঁচটি তল থাকে। ৩টি আয়তক্ষেত্রাকার ও ২টি ত্রিভুজাকার।

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

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



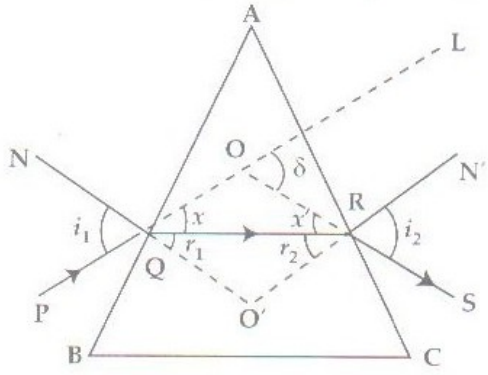
চিত্র ৬·১৮

৬·১৮নং চিত্রে AB এবং AC প্রিজমের প্রতিসরণ তল, ∠A প্রিজম কোণ, BC প্রিজমের ভূমি এবং ABC প্রিজমের ছেদ।

প্রিজমের মধ্য দিয়ে আলোকের প্রতিসরণ
Refraction of light through prism

মনে করি ABC একটি প্রিজমের প্রধান ছেদ। AB এবং AC প্রতিসরণ তল, ∠A প্রিজম কোণ এবং BC প্রিজমের ভূমি [চিত্র ৬·১৯]।

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



চিত্র ৬·১৯

∴ ∠SOL = δ বা D.

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

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

বিচ্যুতির হিসাব : মনে করি ∠PQN = i_1, ∠O′QR = r_1, ∠SRN′ = i_2 এবং ∠O′RQ = r_2।

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

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

বা, $\delta = (i_1 + i_2) - (r_1 + r_2)$ ... ... (6.27)

এখন, O′QR ত্রিভুজে, $\angle O' + \angle r_1 + \angle r_2$ = দুই সমকোণ ... (6.28)

পুনরায় AQO′R চতুর্ভুজে, ∠AQO′ = ∠ARO′ = এক সমকোণ

∴ $\angle A + \angle O'$ = দুই সমকোণ ... ... (6.29)

∴ সমীকরণ (6.28) এবং (6.29) হতে আমরা পাই,

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

∴ $\angle A = \angle r_1 + \angle r_2$ ... ... (6.30)

এখন সমীকরণ (6.27)-এ $(r_1 + r_2)$-এর মান বসিয়ে আমরা পাই,

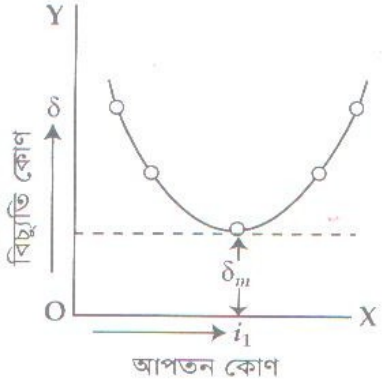
বিচ্যুতি, $\boxed{\delta = \angle i_1 + \angle i_2 - \angle A}$ ... ... (6.31)

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

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

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

আমরা জানি, কোনো একটি প্রিজমের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মি গমন করলে প্রতিসরণজনিত কারণে তার বিচ্যুতি ঘটে এবং আপতিত ও নির্গত রশ্মির মধ্যবর্তী কোণই বিচ্যুতির পরিমাণ নির্দেশ করে। এই বিচ্যুতির মান আপতন কোণের উপর নির্ভর করে। নিম্নমান হতে শুরু করে আপতন কোণের মান ক্রমাগত বাড়াতে থাকলে বিচ্যুতির মান কমতে থাকে এবং আপতন কোণের এক নির্দিষ্ট মানের জন্য বিচ্যুতি সর্বাপেক্ষা কম হয় [চিত্র ৬·২০]। এর পর আপতন কোণ বাড়ালে বিচ্যুতি বাড়তে থাকে। **বিচ্যুতির এ সর্বনিম্ন মানকে ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ বলে** এবং একে δ_m বা D_m দ্বারা ব্যক্ত করা হয়।



চিত্র ৬·২০

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, ঐ বিচ্যুতি কোণই ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ। চিত্র ৬·২০-এ δ_m ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ।

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

ন্যূনতম বিচ্যুতির শর্ত (Conditions for minimum deviation)

ন্যূনতম বিচ্যুতির তিনটি শর্ত আছে, যথা—

(১) ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে, $\boxed{\angle i_1 = \angle i_2 = \angle\frac{A + \delta_m}{2}}$ হবে ... ... (6.32)

(২) ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে, $\boxed{\angle r_1 = \angle r_2 = \angle\frac{A}{2}}$ হবে ... ... (6.33)

(৩) ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে আলোক রশ্মি প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসমভাবে (symmetrically) গমন করে অর্থাৎ প্রিজমের শীর্ষ হতে প্রথম ও দ্বিতীয় প্রতিসরণ পৃষ্ঠে আলোক রশ্মির আপতন বিন্দুর দূরত্ব সমান হবে [চিত্র ৬·১৯ PQ = AR]। এ অবস্থায় প্রতিসৃত রশ্মি সমদ্বিবাহু বা সমবাহু প্রিজমের ভূমির সমান্তরাল হবে।

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

মনে করি চারপাশের মাধ্যমের সাপেক্ষে প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক = μ

∴ আমরা পাই, $\mu = \frac{\sin i_1}{\sin r_1} = \frac{\sin i_2}{\sin r_2}$ ... ... (6.34)

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

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

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

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

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

এখন সমীকরণ (6.34)-এ i_1 এবং r_1-এর মান বসিয়ে আমরা পাই,

$$\mu = \frac{\sin\dfrac{A + \delta_m}{2}}{\sin\dfrac{A}{2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.35)$$

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

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

এখানে উল্লেখ করা যায় যে,

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

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

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

মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক এক জোড়া নির্দিষ্ট মাধ্যম ও একই বর্ণের আলোর উপর নির্ভরশীল। তাই প্রিজম দুটি যেহেতু একই উপাদানের তৈরি তাই প্রিজম ছোট বা বড় এর উপর প্রতিসরাঙ্ক নির্ভর করে না। এক্ষেত্রে তাই উভয় প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক একই হবে।

নিজে কর : লাল আলো এবং বেগুনি আলোর জন্য প্রতিসরাঙ্কের মানের কোনো তারতম্য হবে কী ?

মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর নির্ভরশীল। তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মান বেশি হলে প্রতিসরাঙ্কের মান কমে যায়। আবার তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মান কমে গেলে প্রতিসরাঙ্কের মান বেড়ে যায়। তাই লাল আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি হওয়ায় এই আলোর জন্য মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক কম হবে। অন্যদিকে বেগুনি আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কম হওয়ায় বেগুনি আলোর জন্য মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক বেশি হবে।

গাণিতিক উদাহরণ

১। 1·5 প্রতিসরাঙ্কের কোনো কাচ প্রিজমের এক পৃষ্ঠের উপর আলোক রশ্মি লম্বভাবে আপতিত হয় এবং প্রিজমের দ্বিতীয় পৃষ্ঠের গা ঘেষে নির্গত হয়। প্রিজম কোণ নির্ণয় কর।

আমরা জানি,

$$r_1 + r_2 = A \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

এবং $\mu = \dfrac{1}{\sin\theta_c} \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(ii)}$

এখানে,
$\mu = 1{\cdot}5$
$r_2 = \theta_c$
$i_1 = 0°$

সমীকরণ (ii) থেকে পাই, $1{\cdot}5 = \dfrac{1}{\sin\theta_c}$

$\therefore \sin\theta_c = \dfrac{1}{1{\cdot}5}$

$\therefore \quad \theta_c = 41{\cdot}81° = r_2$

এখন, $i_1 = 0$

$\therefore \quad r_1 = 0$

সমীকরণ (i) থেকে পাই,

$0 + 41{\cdot}81° = A$

$\therefore \quad A = 41{\cdot}81°$

২। একটি প্রিজমকে ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানে স্থাপন করে আপতন কোণের মান 40° পাওয়া যায়। প্রিজমটির উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·5 হলে প্রিজম কোণ কত ? [য. বো. ২০০৪]

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, $1·5 = \dfrac{\sin\frac{A + i_1 + i_2 - A}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$

বা, $1·5 = \dfrac{\sin\frac{i_1 + i_2}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$ [ন্যূনতম বিচ্যুতি $\delta_m = i_1 + i_2 - A$ এবং $i_1 = i_2$]

বা, $1·5 = \dfrac{\sin i_1}{\sin\frac{A}{2}}$

বা, $\sin\frac{A}{2} = \dfrac{\sin 40°}{1·5} = \dfrac{0·642}{1·5} = 0·4285$

বা, $\frac{A}{2} = \sin^{-1} 0·4284 = 25·37°$

$\therefore A = 2 \times 25·37°$

$= 50·74° = 50°44'$

৩। একটি প্রিজমে কোনো একটি রশ্মির নির্গমন কোণ প্রিজম কোণের সমান কিন্তু ঐ তলের আপতন কোণের দ্বিগুণ। প্রিজম উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{3}$ হলে দেখাও যে, প্রিজম কোণ 60°। [কু. বো. ২০০৪]

আমরা জানি, আলোক রশ্মিটি কাচ থেকে বায়ুতে গেলে,

$${}_g\mu_a = \frac{\sin i}{\sin r}$$

$$\therefore \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{\sin\frac{A}{2}}{\sin A}$$

$$= \frac{\sin\frac{A}{2}}{2\sin\frac{A}{2}\cos\frac{A}{2}}$$

$$= \frac{2}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\cos\frac{A}{2}}$$

এখানে,

নির্গমন কোণ, $r_2 = A = r$

আপতন কোণ, $i_2 = \frac{r_2}{2} = \frac{A}{2} = i$

${}_a\mu_g = \sqrt{3}$

$\therefore {}_g\mu_a = \dfrac{1}{\sqrt{3}}$

$A = ?$

$\therefore \cos\frac{A}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$

$\therefore \frac{A}{2} = 30°$

$\therefore A = 60°$ (প্রমাণিত)

৪। একটি প্রিজমের প্রতিসারক কোণ 60° এবং এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·48। ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ নির্ণয় কর। [সি. বো. ২০১০; ব. বো. ২০০৯; চ. বো. ২০০৮

আমরা জানি,

$$\mu = \frac{\sin\frac{A + \delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

এখানে,

$A = 60°$

$\mu = 1·48$

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, $\sin\dfrac{60° + \delta_m}{2} = \dfrac{1·48}{2}$

বা, $\dfrac{60° + \delta_m}{2} = \sin^{-1}\dfrac{1·48}{2}$ বা, $\dfrac{60° + \delta_m}{2} = 47·73$

বা, $60° + \delta_m = 95·46°$

$\therefore \quad \delta_m = 35·46°$

কাজ : লেন্স এবং প্রিজমের আলোর প্রতিসরণ তুলনা কর।

লেন্সের মধ্য দিয়ে একগুচ্ছ আলোকরশ্মি গমনকালে কোথাও মিলিত হবে না (অবতল লেন্সে) অথবা কোনো কিছু থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হয় (অবতল লেন্সে)। অপর পক্ষে, প্রিজমের মধ্য দিয়ে সাদা আলোক রশ্মি প্রতিসরণের ফলে সাতটি মূল বর্ণসমূহের একটি সজ্জা পাওয়া যায় যাকে বর্ণালী বলে। বিচ্ছুরিত আলোক রশ্মিসমূহ প্রত্যেকেই একবর্ণী।

আলোর বিচ্ছুরণ
Dispersion of light

হীরা, মূল্যবান রত্ন, স্ফটিক ইত্যাদির মধ্য দিয়ে আলো প্রবেশ করলে তা বিভিন্ন উজ্জ্বল বর্ণের সৃষ্টি করে, এই অভিজ্ঞতা মানুষের প্রাচীনকাল থেকেই ছিল। বিভিন্ন উজ্জ্বল বর্ণ সৃষ্টির ক্ষমতার উপর নির্ভর করেই রত্নরাজির মূল্য কম-বেশি হতো। কিন্তু সাধারণ আলো প্রবেশে কেন উজ্জ্বল বর্ণের আলো সৃষ্টি হয় তার ব্যাখ্যা কারো জানা ছিল না। 1666 খ্রিস্টাব্দে বিখ্যাত বিজ্ঞানী স্যার আইজাক নিউটন পরীক্ষার সাহায্যে প্রথম প্রমাণ করেন যে, **সাদা আলোর প্রকৃতি যৌগিক।**

সূর্যের সাদা রশ্মি কাচ প্রিজমের মধ্য দিয়ে গমন করলে প্রতিসৃত রশ্মি সাতটি ভিন্ন বর্ণে বিচ্ছুরিত হবার কারণ কী ? কেনই বা রশ্মিগুলি প্রিজমের দিকে বেঁকে যায় ? কাচের মতো বিচ্ছুরক মাধ্যমে বিভিন্ন বর্ণের আলোকরশ্মির গতিবেগ বিভিন্ন। লাল আলোর গতিবেগ সর্বাপেক্ষা বেশি এবং বেগুনি বর্ণের সর্বাপেক্ষা কম। বিভিন্ন গতিবেগের ফলে প্রিজমের বেধ অতিক্রম করতে লাল, নীল প্রভৃতি আলোকরশ্মি বিভিন্ন সময় নেয় এবং পরস্পর হতে পৃথক হয়ে পড়ে। শূন্য মাধ্যমে অথবা বায়ুতে বিভিন্ন বর্ণের আলোকরশ্মির গতিবেগ সমান বলে শূন্য মাধ্যম অথবা বায়ু মাধ্যম দিয়ে যাবার সময় সাদা আলোর কোনো বিচ্ছুরণ হয় না। সাদা রঙের আলোর এই সাতটি রঙে বিশ্লিষ্ট হওয়ার প্রক্রিয়াকে বিচ্ছুরণ বলে। প্রিজম হতে নির্গত রশ্মিকে পর্দার উপর ফেললে সাতটি রঙের এক মনোরম পট্টি (Band) দেখা যায়। এই রঙিন পট্টির নাম বর্ণালী (Spectrum)। সুতরাং, বিচ্ছুরণ বর্ণালীর নিম্নোক্ত সংজ্ঞা দেয়া যায়।

সংজ্ঞা : সাদা আলোক রশ্মি প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণের ফলে সাতটি মূল বর্ণের আলোকে বিভক্ত হওয়াকে আলোর বিচ্ছুরণ বলে।

সাধারণভাবে বলা যায় যে, **কোনো যৌগিক আলোক রশ্মির বিভিন্ন বর্ণে বিভক্ত হওয়াকে বিচ্ছুরণ বলে।**

বিচ্ছুরণের ফলে মূল বর্ণসমূহের যে সজ্জা পাওয়া যায় তাকে বর্ণালী বলে।

বিচ্ছুরক মাধ্যম : যে মাধ্যম এ ধরনের বিচ্ছুরণ ঘটায় তাকে বিচ্ছুরক মাধ্যম (Dispersive medium) বলে।

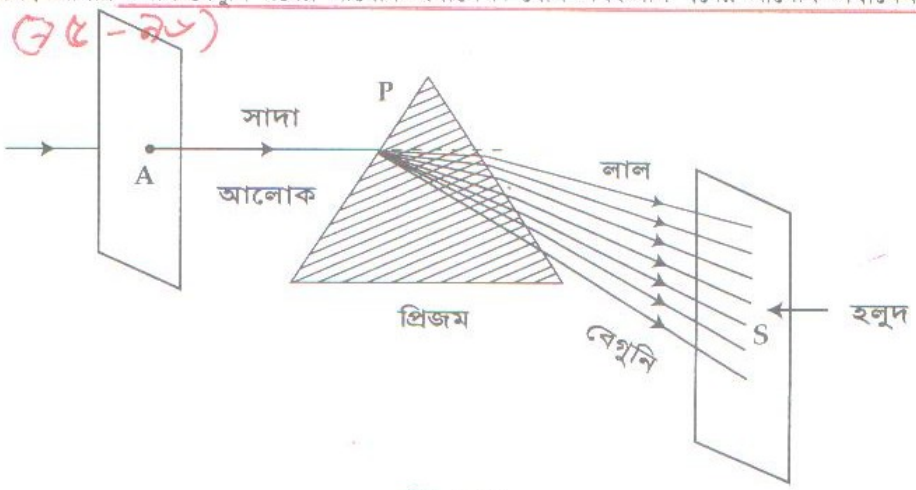
সাদা আলোক বিশ্লিষ্ট হলে যে সাতটি বর্ণ পাওয়া যায় এদের প্রত্যেকটির একটিমাত্র তরঙ্গদৈর্ঘ্য থাকে, তাই প্রত্যেকটিকে একবর্ণী আলোক বলে।

অর্থাৎ **যে আলোক রশ্মির একটিমাত্র তরঙ্গদৈর্ঘ্য থাকে তাকে একবর্ণী আলো (monochromatic light) বলে।**

আলো যখন কোনো মাধ্যমের মধ্য দিয়ে অগ্রসর হয় তখন পদার্থের ইলেকট্রন দ্বারা উক্ত বিকিরণ শোষিত হয়। ফলে ঐ সকল ইলেকট্রন অতিরিক্ত শক্তির কারণে নতুনভাবে ছন্দিত গতিসম্পন্ন হয় এবং অণু-অণু সংঘর্ষ কিংবা পুনরায় বিকিরণের মাধ্যমে এই শক্তি হ্রাস পায়। সুতরাং ছন্দিত গতিসম্পন্ন ইলেকট্রন শোষিত বিকিরণ পুনরায় স্পেসে বিকিরণ করতে পারে। এই প্রক্রিয়াকে বিকিরণের বিক্ষেপণ বলে।

সাদা আলোক বিশ্লিষ্ট হলে যে সাতটি বর্ণ পাওয়া যায় ঐ বর্ণগুলো যথাক্রমে **বেগুনি** (Violet), **নীল** (Indigo), **আসমানি** (Blue), **সবুজ** (Green), **হলুদ** (Yellow), **কমলা** (Orange) এবং **লাল** (Red)। এই বর্ণগুলোর এক প্রান্তে থাকে **লাল** এবং অপর প্রান্তে থাকে **বেগুনি**। লাল এবং বেগুনি বর্ণের মধ্যে থাকে বাকি পাঁচটি বর্ণ। বর্ণালীর বর্ণ সজ্জাকে সহজে মনে রাখার জন্য বর্ণগুলোর নামের বাংলা প্রথম অক্ষর নিয়ে **বেনীআসহকলা** পদ গঠন করা হয়েছে। ইংরেজিতে অনুরূপ পদ 'VIBGYOR'।

পরীক্ষা : (১) মনে করি, অস্বচ্ছ পর্দায় A একটি সরু ছিদ্র, P একটি কাচ প্রিজম এবং প্রিজমের অপর পার্শ্বে কিছু দূরে অবস্থিত S একটি পর্দা [চিত্র ৬·২১]। সরু ছিদ্র দিয়ে সাদা আলোক রশ্মি প্রিজমে আপতিত হলে প্রতিসৃত রশ্মিটি সাতটি মূল বর্ণে বিভক্ত হবে এবং পর্দার উপরে একটি রঙিন পট্টি পাওয়া যাবে। এই পট্টির এক প্রান্তে থাকে লাল বর্ণ এবং অপর প্রান্তে থাকে বেগুনি বর্ণ। বিভিন্ন বর্ণের সাপেক্ষে প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক বিভিন্ন বলে এই বর্ণালীর সৃষ্টি হয়। **দেখা যাবে লাল বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি সর্বাপেক্ষা কম এবং বেগুনি বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি সর্বাপেক্ষা বেশি।** আবার পর্দায় বেগুনি বর্ণের আলোক সর্বাপেক্ষা বেশি এবং লাল বর্ণের আলোক সর্বাপেক্ষা কম স্থান



চিত্র ৬·২১

দখল করে থাকে। হলুদ বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি লাল ও বেগুনি বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতির মাঝামাঝি। এজন্য এর বিচ্যুতিকে **গড় বিচ্যুতি** (Mean deviation) এবং হলুদ বর্ণের **রশ্মিকে মধ্য রশ্মি** (Mean ray) বলা হয়।

(২) মুখে পানি নিয়ে সূর্যকে পিছনে রেখে মুখ দিয়ে আস্তে আস্তে পানি ছিটিয়ে দিলে পানি বিন্দুর মধ্য দিয়ে সূর্য রশ্মির প্রতিসরণের ফলে সাতটি বর্ণবিশিষ্ট একটি ধনুকাকৃতি বর্ণালী দেখা যাবে।

(৩) সূর্যের আলোক রশ্মি মেঘের গোলাকৃতি পানি বিন্দুর উপর আপতিত হবার পর প্রতিসরণের ফলে আকাশের গায়ে **রংধনু** বা **রামধনু** (Rainbow) সৃষ্টি করে। আকাশের যে দিকে সূর্য তার বিপরীতে সাধারণত এই বর্ণালী দেখা যায়।

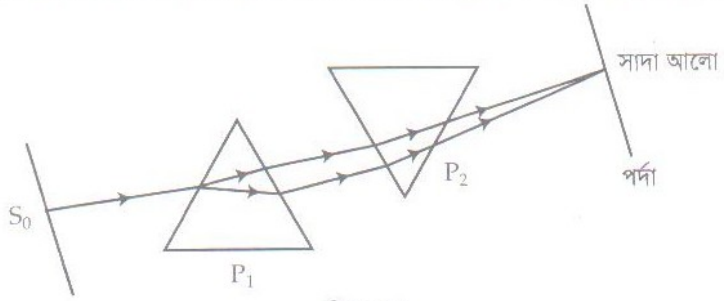
লাল, নীল, আসমানি ইত্যাদিকে মূল বর্ণ বলা হয়। এর কারণ বর্ণগুলোর যেকোনো একটি প্রিজমের মধ্য দিয়ে গমন করলে এদের কোনো বিচ্ছুরণ ঘটবে না।

অনুসন্ধানমূলক কাজ : সাদা আলো কাচ প্রিজমে প্রবেশ করলে বর্ণালী সৃষ্টি হয় কেন ?

সাদা আলোতে সাতটি বর্ণের আলোক রশ্মি থাকে। প্রতিটি আলোক রশ্মির জন্য প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক ভিন্ন মানের। তাই এরা প্রিজমের মধ্য দিয়ে গমনকালে ভিন্ন ভিন্ন মানে বিচ্যুত হয়। তখন আলোক রশ্মিগুলো ভিন্ন ভিন্ন কোণে আমাদের চোখে প্রবেশ করলে সাতটি বর্ণ আমরা আলাদাভাবে বুঝতে পারি। এ কারণে সাদা আলো প্রিজমে প্রবেশ করলে বর্ণালী সৃষ্টি হয়।

পরীক্ষণ : বর্ণালীর বিভিন্ন বর্ণকে সঠিক অনুপাতে মিশালে পুনরায় সাদা আলো পাওয়া যায়।

পরীক্ষণটি করার জন্য প্রথম প্রিজম P_1-এর মতো ঠিক একই রকম অপর একটি প্রিজম P_2 নিতে হবে। একে উল্টাভাবে P_1 প্রিজমের পিছনে এমনভাবে রাখা হলো যাতে উভয় প্রিজমের প্রতিসারক ধারগুলি এবং S রেখাছিদ্র সমান্তরাল



চিত্র ৬·২২

হয় [চিত্র ৬·২২]। দেখা যায় যে, সাদা আলো প্রথম প্রিজম দ্বারা বিভিন্ন বর্ণে বিশ্লিষ্ট হওয়ার পর দ্বিতীয় প্রিজম কর্তৃক পুনর্যোজিত হয়। দ্বিতীয় প্রিজম হতে নির্গত হবার পর রশ্মিগুলি পর্দার উপর একটি সাদা পট্টি গঠন করে।

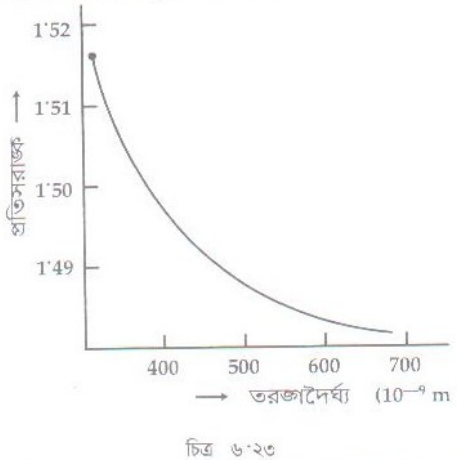
কাজ : উড্ডয়মান উড়োজাহাজের ছায়া মাটিতে পড়ে না কেন ? ব্যাখ্যা কর।

আমরা জানি, উড্ডয়মান উড়োজাহাজ মেঘের উপর দিয়ে চলাচল করে। ফলে ছায়া ভূমিতে পড়ার পূর্বেই তা মেঘের উপর পড়ে যা মেঘ ভেদ করে আর মাটিতে আসে না। এজন্যই উড্ডয়মান উড়োজাহাজের ছায়া মাটিতে পড়ে না।

বর্ণালী উৎপত্তির কারণ
Cause of formation of spectrum

প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক ছাড়াও আলোকের বর্ণের উপর নির্ভর করে। বিভিন্ন আলোক বর্ণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিভিন্ন। লাল বর্ণের আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি, প্রায় 8000 Å, তাই এর বিচ্যুতি কম হয়। বেগুনি বর্ণের আলোক রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য কম, প্রায় 4000 Å বলে প্রিজমের মধ্য দিয়ে যাবার সময় এর বিচ্যুতি বেশি হয়।

আরও বলা যায় যে, বিভিন্ন বর্ণের আলোকের **প্রতিসরণীয়তা** (Refrangibility) বিভিন্ন। উপরোক্ত ব্যাখ্যাগুলো হতে **আলোকের বিচ্ছুরণ বা বর্ণালী উৎপত্তির কারণ সম্পর্কে আমরা নিম্নলিখিত দুটি সিদ্ধান্তে উপনীত হতে পারি—**



চিত্র ৬·২৩

(১) বিভিন্ন বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের পার্থক্যভেদে বিভিন্ন হয় বলে বর্ণালী উৎপন্ন হয়।

(২) সাদা আলোকের মধ্যে যে সাতটি মূল বর্ণের আলোক আছে তাদের জন্য মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের বিভিন্নতা হেতু বর্ণালী উৎপন্ন হয়।

চিত্র ৬·২৩-এ প্রতিসরাঙ্ক বনাম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের লেখচিত্র দেখানো হয়েছে। লেখচিত্র থেকে দেখা যায় যে, যে আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য বেশি সে আলোর প্রতিসরাঙ্ক কম, ফলে কম বেঁকে যায়। এ কারণে লাল আলোর প্রতিসরণ কম হয়; পক্ষান্তরে বেগুনি আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য কম, তাই প্রতিসরাঙ্ক বেশি। ফলে বেগুনি আলোর প্রতিসরণ বেশি অর্থাৎ বেশি বেঁকে যায়।

কাজ : বিপদ সংকেতে সব সময় লাল আলো ব্যবহার করা হয় কেন ?

দৃশ্যমান আলোর সাতটি বর্ণের মধ্যে লাল আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য সর্বাপেক্ষা বেশি। আবার, তরঙ্গের বিক্ষেপণ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতিক বলে বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়ে যাবার পথে অন্যান্য বর্ণের আলোর তুলনায় লাল বর্ণের আলোর বিক্ষেপণ কম হবে। এ কারণে লাল আলো বায়ুমণ্ডলে অধিক দূর পর্যন্ত বিস্তার লাভ করতে পারে।

ফলে কোনো বিপজ্জনক স্থানে আসার অনেক আগে থেকেই গাড়ির, জাহাজের বা বিমানের চালক লাল আলো দেখতে পেয়ে বিপদ সম্পর্কে সতর্ক হতে পারে। তাই বিপদ সংকেতে সর্বদা লাল আলো ব্যবহার করা হয়।

নিজে কর : সূর্যোদয় ও সূর্যাস্তের সময় দিগন্ত রেখায় আকাশের রং লাল দেখায় কেন ?

সূর্যোদয় ও সূর্যাস্তের সময় সূর্য দিগন্ত রেখার কাছাকাছি অবস্থান করে এবং এই সময় সূর্যালোককে সর্বাপেক্ষা অধিক দূরত্ব অতিক্রম করে পৃথিবীতে আসতে হয়। এতটা দীর্ঘ পথ অতিক্রমের অবকাশে বায়ুমণ্ডলের অণু ও ধূলিকণা কর্তৃক সূর্যালোক পুনঃ পুনঃ বিক্ষেপিত হয়। লাল বর্ণ এবং লাল বর্ণের কাছাকাছি বর্ণ ব্যতীত অন্যান্য বর্ণসমূহ অধিক বিক্ষেপিত হয়ে দৃষ্টি পথ হতে অন্যদিকে চলে যায়। কিন্তু লাল ও তার কাছাকাছি দীর্ঘ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বর্ণসমূহের বিক্ষেপণ কম হওয়ায় এরা পৃথিবীতে চলে আসে। তই সূর্যোদয় ও সূর্যাস্তের সময় আকাশ লাল দেখায়?

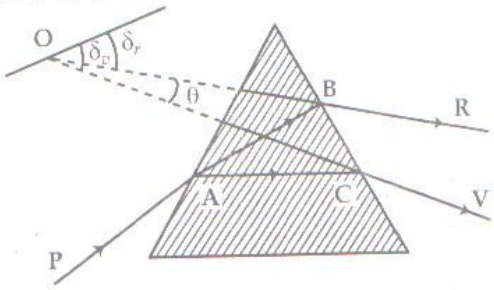
কাজ : ক্রিকেট খেলায় সাদা বল ব্যবহার করা হয় কেন ?

শূন্য বা বায়ু মাধ্যমে বিভিন্ন বর্ণের আলোক রশ্মির গতিবেগ সমান বলে শূন্য মাধ্যম বা বায়ু মাধ্যম দিয়ে যাওয়ার সময় সাদা আলোর কোনো বিচ্ছুরণ হয় না। ফলে এটি অনেক দূর পর্যন্ত বিস্তার লাভ করতে পারে। তাই এটি সহজে দৃশ্যমান হয়। এজন্য ক্রিকেট খেলায় সাদা বল ব্যবহার করা হয়।

বিচ্ছুরণের পরিমাপ
Magnitude of dispersion

আমরা জানি সাদা আলোক রশ্মি কাচ প্রিজমের মধ্য দিয়ে গমন করলে প্রতিসরণের ফলে নির্গত রশ্মি সাতটি বর্ণে বিভক্ত হয় এবং এরা প্রিজমের ভূমির দিকে বেঁকে যায়। এই বর্ণসমূহের এক প্রান্তে লাল এবং অপর প্রান্তে বেগুনি বর্ণ থাকে। **প্রান্তস্থ লাল এবং বেগুনি রশ্মির কৌণিক বিচ্যুতির পার্থক্য বিচ্ছুরণের মান নির্দেশ করে।**

মনে করি, δ_r এবং δ_v যথাক্রমে লাল এবং বেগুনি বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি [চিত্র ৬·২৪] ।



চিত্র ৬·২৪

$\therefore$ বিচ্ছুরণ, $\theta = \delta_v - \delta_r$

বা, $\theta = \delta_v - \delta_r$ ... ... (6.36)

তবে মধ্য রশ্মির বিচ্যুতিকেই মূল রশ্মির বিচ্যুতি ধরা হয়। বিচ্যুতি এবং বিচ্ছুরণ প্রিজম পদার্থের উপাদান, আপতন কোণ এবং প্রিজম কোণের উপর নির্ভর করে। প্রিজমটি ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানে স্থাপিত হলে প্রতিটি রশ্মির বিচ্যুতি ন্যূনতম হবে।

বিচ্ছুরণ ক্ষমতা

কোনো একটি স্বচ্ছ মাধ্যম কর্তৃক সৃষ্ট বর্ণালীতে দুই অন্তিম রশ্মির (বা যে কোনো দুটি বর্ণের আলোক রশ্মির) কৌণিক বিচ্যুতির পার্থক্য এবং মধ্য বা গড় রশ্মির কৌণিক বিচ্যুতির অনুপাতকে উক্ত মাধ্যমের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বলে। একে W দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$\therefore$ বিচ্ছুরণ ক্ষমতা, $W = \frac{\delta_v - \delta_r}{\delta}$, এখানে δ_v = বেগুনি বর্ণের বিচ্যুতি, δ_r = লাল বর্ণের বিচ্যুতি এবং δ = মধ্য বা গড় রশ্মির বিচ্যুতি।

র‍্যালের বিক্ষেপণ সূত্র
Scattering Law of Rayliegh

বিখ্যাত বিজ্ঞানী র‍্যালে বিক্ষিপ্ত আলোর তীব্রতা ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য সম্পর্কিত একটা সূত্র আবিষ্কার করেন। এই সূত্র অনুসারে, বিক্ষিপ্ত আলোর তীব্রতা আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতিক। ফলে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা দীর্ঘ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর চেয়ে ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকে বেশি বিক্ষেপণ করে।

কাজ : পরিষ্কার আকাশ নীল দেখায় কেন ?

বায়ুমণ্ডলে বিভিন্ন গ্যাসের অণু কর্তৃক সূর্যালোকের বিক্ষেপণের (scattering) জন্য আকাশ নীল দেখায়। বায়ুমণ্ডলে ভাসমান ধূলিকণাও সূর্যালোককে বিক্ষিপ্ত করতে পারে; সেক্ষেত্রে ধূলিকণার আকার দৃশ্যমান আলোর দীর্ঘতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হওয়া প্রয়োজন। বিক্ষিপ্ত আলোর তীব্রতা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের ব্যস্তানুপাতে

পরিবর্তিত হয়। ফলে সূর্যালোকের নীল রশ্মিগুলি লাল রশ্মিগুলি অপেক্ষা বেশি বিক্ষিপ্ত হয়। ফলে আকাশের দিকে তাকালে আকাশ নীল দেখায়।

সম্প্রসারিত কাজ : চাঁদের আকাশ কালো দেখায় কেন ?

পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল না থাকলে বিক্ষেপণ হত না। ফলে আকাশ হতে কোনো আলো আমাদের চোখে পৌঁছাত না। তখন এমন কি দিনের বেলাতেও আকাশকে কালো দেখাত। নভোচারিগণ মহাকাশযানে বায়ুমণ্ডল অতিক্রম করার পর বস্তুত এই অভিজ্ঞতার সম্মুখীন হয়েছেন। চাঁদে কোনো বায়ুমণ্ডল নেই বলে একই কারণে চাঁদের আকাশকে কালো দেখায়।

হিসাব কর : একটি কাচের প্রিজমের প্রতিসরণ কোণ 8° এবং নীল ও লাল বর্ণের আলোর বেলায় প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·532 ও 1·514। প্রিজম যে কৌণিক বিচ্ছুরণ উৎপন্ন করে তা নির্ণয় কর। প্রিজমের উপাদানের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা কত ?

নীল ও লাল বর্ণের ভেতর কৌণিক বিচ্ছুরণ $(\mu_b - \mu_r)\,A = (1{\cdot}532 - 1{\cdot}514)\,8° = 0{\cdot}144°$

বিচ্ছুরণ ক্ষমতা, $W = \dfrac{\mu_b - \mu_r}{\mu - 1}$

এখন, $\mu = \dfrac{\mu_b + \mu_r}{2}$

$= \dfrac{1{\cdot}532 + 1{\cdot}514}{2} = 1{\cdot}523$

$\therefore \quad W = \dfrac{1{\cdot}532 - 1{\cdot}514}{1{\cdot}532 - 1} = \dfrac{0{\cdot}018}{0{\cdot}523} = 0{\cdot}034$

বর্ণালী পাঠের প্রয়োজনীয়তা (Necessity for studying spectrum)

বর্ণালী পাঠের নানারূপ প্রয়োজনীয়তা আছে। নিম্নে তা উল্লেখ করা হলো—

বর্ণালী বিশ্লেষণ দ্বারা :

(১) বিভিন্ন বর্ণের তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করা যায়।
(২) বিভিন্ন বর্ণের ক্ষেত্রে মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।
(৩) বিভিন্ন ধাতুর বৈশিষ্ট্য নির্ণয় করা যায়।
(৪) কোনো মিশ্রণে উপস্থিত অজ্ঞাত ধাতুর নাম ও প্রকৃতি নির্ণয় করা যায়।
(৫) বর্ণালী বিশ্লেষণ দ্বারা বিভিন্ন মৌল পদার্থ সনাক্ত করা যায়।
(৬) সূর্য নক্ষত্রের আবহমণ্ডলের গঠন সম্পর্কে ধারণা পাওয়া যায়।

প্রয়োজনীয় গাণিতিক সূত্রাবলি

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

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

$$P = \frac{1}{f} \text{ (ডায়পটার)} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (3)$$

$$m = 1 + \frac{D}{f} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (4)$$

$$m = \frac{v}{u}\left(1 + \frac{D}{f_e}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5)$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \ldots\ldots\ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6)$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots\ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (7)$$

$$m = \frac{f_0}{f_e} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (8)$$

$$L = f_0 + f_e \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (9)$$

$$m = f_0 + \left(\frac{1}{D} + \frac{1}{f_e}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (10)$$

$$L = f_0 + \frac{D \times f_e}{D + f_e} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (11)$$

$$\delta = i_1 + i_2 - A \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (12)$$

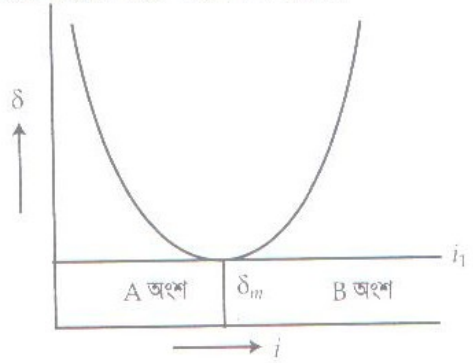
$$A = r_1 + r_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (13)$$

$$\mu = \frac{\sin\frac{A + \delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (14)$$

$$\delta = A(\mu - 1) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (15)$$

উচ্চতর দক্ষতাসম্পন্ন নমুনা গাণিতিক উদাহরণ

১। তৌফিক প্রিজম নিয়ে বিচ্যুতি কোণ পরিমাপ কালে নিম্নের লেখচিত্রটি অংকন করল এবং বিচ্যুতি কোণের মান 37°18' এবং শীর্ষ কোণের মান 60° পেল। আলোক রশ্মি প্রিজমের পৃষ্ঠে আপতিত হওয়ার পর প্রতিসৃত হয়ে দ্বিতীয় পৃষ্ঠ হতে নির্গমন হয়। ঘটনাটি তৌফিক ভালো করে পর্যবেক্ষণ করল।



(ক) প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।

(খ) $i_1 = 45°$ এর অবস্থান উদ্দীপকে প্রদর্শিত রেখার A ও B অংশদ্বয়ের কোনটিতে হবে—যুক্তি সহকারে ব্যাখ্যা কর।

(ক) এখানে প্রিজমের শীর্ষ কোণ, $A = 60°$

ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ, $\delta_m = 37°18'$

প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = ?$

আমরা জানি, $\mu = \dfrac{\sin\frac{A + \delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$

$$= \frac{\sin\frac{60° + 37°18'}{2}}{\sin\frac{60°}{2}} = \frac{\sin 48°59'}{\sin 30°} = 1·5°$$

(খ) আমরা জানি,

ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ-এর ক্ষেত্রে $i_1 = i_2$, কিন্তু $\delta = i_1 + i_2 - A$

অতএব, $\delta_m = i_1 + i_2 - A$

বা, $2i_1 = A + \delta_m$

$\therefore \quad i_1 = \dfrac{A + \delta_m}{2} = \dfrac{60° + 37°18'}{2} = 48°59'$

অর্থাৎ ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণের জন্য আপতন কোণের মান 48°59' যেহেতু $45° < 48°59'$

সুতরাং $i_1 = 45°$ এর অবস্থান ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানের বাম পাশে A অংশটিতে হবে।

২। উদ্ভিদবিজ্ঞান ল্যাবে সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে ব্যবহৃত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 14 cm। শিক্ষক ছাত্রদের একটি ক্ষুদ্র বস্তুকে বড় করে দেখার জন্য বস্তুটিকে উক্ত সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র হতে স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বের সমান দূরত্বে রাখল এবং অপর পাশ হতে বিবর্ধিত বিম্ব দেখার চেষ্টা করল।

(ক) ল্যাবে ব্যবহৃত সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রটির বিবর্ধন নির্ণয় কর।

(খ) যন্ত্রে বিবর্ধন 2·5 হওয়া সম্ভব— গাণিতিকভাবে বক্তব্যটির যথার্থতা বিশ্লেষণ কর।

(ক) সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষেত্রে

$$\text{বিবর্ধন } m = 1 + \frac{D}{f}$$
$$= 1 + \frac{25}{14}$$
$$= 1 + 1\cdot7857 = 2\cdot7857$$

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 $m = 2\cdot7857$ কিন্তু বাস্তবে বিবর্ধন এর কমও হতে পারে।

$m = 2\cdot5$ হলে d এর মান শূন্য হবে না।

তখন $m = 1 + \frac{D-d}{f}$

বা, $2\cdot5 = 1 + \frac{25-d}{14}$

বা, $d = 4$ হয়

চোখ হতে 4 cm দূরে লেন্স রাখলে বিবর্ধন 2·5 হবে।

৩। 1·5 প্রতিসরাঙ্কের একটি উত্তল লেন্সের বক্রতর ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 0·2 m এবং 0·3 m। বায়ু সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক $\frac{3}{2}$ এবং পানির প্রতিসরাঙ্ক $\frac{4}{3}$। [য. বো. ২০১৫]

(ক) বায়ু মাধ্যমে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর।

(খ) পানিতে লেন্সটির ফোকাস দূরত্বের তারতম্য হবে কী ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(ক) আমরা জানি,

$$\frac{1}{f_a} = ({}_a\mu_g - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$
$$= (1\cdot5 - 1)\left(\frac{1}{0\cdot2} - \frac{1}{-0\cdot3}\right)$$
$$= 4\cdot167\ \text{m}^{-1}$$
$$\therefore\ f_a = \frac{1}{4\cdot167}\text{ m} = 0\cdot24\text{ m}$$

এখানে,
${}_a\mu_g = 1\cdot5$
$r_1 = 0\cdot2\text{ m}$
$r_2 = -0\cdot3\text{ m}$
বায়ুতে ফোকাস দূরত্ব, $f_a = ?$

(খ) পানিতে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব f_w হলে,

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

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

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

$$= \left(\frac{1}{8}\right)\left(\frac{1}{0.2} - \frac{1}{-0.3}\right)$$

$$\frac{1}{f_w} = \frac{1}{8} \times \frac{25}{3} = \frac{25}{24}$$

$$\therefore \quad f_w = \frac{24}{25} = 0.96 \text{ m}$$

যেহেতু $f_w \neq f_a$ কাজেই পানিতে লেন্সটির ফোকাস দূরত্বের তারতম্য হবে।

এখানে,

$${}_a\mu_g = \frac{3}{2}$$

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

৪। সুন্দরবন বেড়াতে গিয়ে তামান্না একটি নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করে, যার অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 20 cm এবং 5 cm। সে যন্ত্রটিকে অসীমে এবং স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব উভয় ক্ষেত্রে ফোকাসিং করে প্রাকৃতিক দৃশ্য অবলোকন করে। [কু. বো. ২০১৫]

(ক) তামান্না যখন যন্ত্রটিকে অসীমে ফোকাসিং করে তখন যন্ত্রের দৈর্ঘ্য কত ?

(খ) উভয় ক্ষেত্রে ফোকাসিং-এর জন্য তামান্নার পর্যবেক্ষণকৃত বিবর্ধনের তুলনামূলক গাণিতিক ব্যাখ্যা কর।

(ক) অসীমে ফোকাসিং এর জন্য নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের দৈর্ঘ্য,

$$L' = f_0 + f_e$$

$$= (20 + 5) \text{ cm} = 25 \text{ cm}$$

এখানে,

$f_0 = 20 \text{ cm}$

$f_e = 5 \text{ cm}$

(খ) অসীম ফোকাসিং এর জন্য প্রাপ্ত বিবর্ধন,

$$m' = \frac{f_0}{f_e} = \frac{20}{5} = 4$$

স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে (D = 25 cm) ফোকাসিং এর ক্ষেত্রে প্রাপ্ত বিবর্ধন,

$$m = f_0\left(\frac{1}{D} + \frac{1}{f_e}\right) = 20\left(\frac{1}{25} + \frac{1}{5}\right)$$

$$= 20 \times \frac{(1+5)}{25} = \frac{20 \times 6}{25} = 4.8$$

প্রাপ্ত $m > m'$ অর্থাৎ দেখা যায় যে স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং এর ক্ষেত্রে বেশি বিবর্ধন পাওয়া যায়।

৫। রুবেল পদার্থবিজ্ঞান ল্যাবরেটরিতে একটি উভোত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ 55 cm এবং 60 cm নির্ণয় করল। অতঃপর লেন্সের 50 cm সামনে বস্তু রেখে দেখল 200 cm পিছনে প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হয়েছে।

(ক) লেন্সটির ক্ষমতা কত ?

(খ) লেন্সটির বক্রতার ব্যাসার্ধদ্বয় সমান হলে ফোকাস বিন্দু কোথায় পাওয়া যেতে পারে তা উদ্দীপকের আলোকে গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(ক) আমরা জানি,

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

$$= \frac{1}{200} + \frac{1}{50} = \frac{1+4}{200} = \frac{5}{200} = \frac{1}{40}$$

$$\therefore \quad f = 40 \text{ cm} = 0.4 \text{ m}$$

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{0.4} = 2.5 \text{ D}$$

এখানে,

$u = 50 \text{ cm}$

$v = 200 \text{ cm}$

$P = ?$

(খ) লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধদ্বয় সমান অর্থাৎ r এবং লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক μ হলে,
আমরা জানি,

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

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

$$\frac{1}{f} = (\mu-1)\left(\frac{2}{r}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \text{(i)}$$

এখানে,
$r_1 = +r$
$r_2 = -r$
$f = ?$

আবার, উদ্দীপকে লেন্সটির বক্রতার ব্যাসার্ধদ্বয় যথাক্রমে 55 cm এবং 60 cm, লেন্সের 50 cm সামনে বস্তু রাখলে 20 cm পিছনে বিম্ব গঠিত হয়,

$\therefore \frac{1}{f} = (\mu-1)\left(\frac{1}{55}-\frac{1}{60}\right)$. 'ক' থেকে প্রাপ্ত $f = 40$ cm

বা, $\frac{1}{40} = (\mu-1)\left(\frac{1}{660}\right)$

বা, $(\mu-1) = \frac{33}{2}$

$\therefore \mu = 17{\cdot}5$

(i)নং সমীকরণ থেকে পাই,

$$\frac{1}{f} = (17{\cdot}5-1)\times\frac{2}{r} = 16{\cdot}5\times\frac{2}{r} = \frac{33}{r}$$

$\therefore f = 33r$

বক্রতার ব্যাসার্ধদ্বয় সমান হলে, ফোকাস দূরত্ব আলোক কেন্দ্র বক্রতার ব্যাসার্ধের 33 গুণ দূরে হবে।

সার-সংক্ষেপ

ফার্মাট-এর নীতি : যখন কোনো আলোক রশ্মি প্রতিফলন বা প্রতিসরণ-এর সূত্র মেনে কোনো সমতল পৃষ্ঠে প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হয় তখন তা সর্বদা ক্ষুদ্রতম পথ অনুসরণ করে।

গোলকীয় দর্পণ : কোনো দর্পণের প্রতিফলন তল যদি কোনো গোলকের অংশবিশেষ হয় বা গোলকীয় হয় তবে তাকে গোলকীয় দর্পণ বলে।

লেন্সের ক্ষমতা : কোনো লেন্স দ্বারা আলোক রশ্মিগুচ্ছের অভিসারিতা বা অপসারিতা উৎপাদনের সামর্থ্যকে তার ক্ষমতা বলে। কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্বের বিপরীত সংখ্যাকে তার ক্ষমতা বলা হয়।

লেন্সের ক্ষমতার একক : লেন্সের একক ডায়াপটার। লেন্সের ফোকাস দূরত্বকে মিটারে প্রকাশ করে তার বিপরীত রাশি নিলে ডায়াপটারে লেন্সের ক্ষমতা পাওয়া যায়।

অণুবীক্ষণ যন্ত্র : যে আলোক যন্ত্রের সাহায্যে নিকটবর্তী অতি ক্ষুদ্র বস্তুর খুঁটিনাটি প্রতিবিম্বের মাধ্যমে বর্ধিত করে দেখা যায় তাকে অণুবীক্ষণ যন্ত্র বলে।

দূরবীক্ষণ যন্ত্র : দূরের বস্তুকে ভালোভাবে পর্যবেক্ষণের জন্য যে আলোক যন্ত্র ব্যবহার হয় তাকে দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে।

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র : চন্দ্র, সূর্য, গ্রহ, নক্ষত্র প্রভৃতি নভোমণ্ডলীয় বস্তু পর্যবেক্ষণে যে দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাকে নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে।

প্রিজম : তিনটি পরস্পরচ্ছেদী সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ একটি স্বচ্ছ সমসত্ত্ব মাধ্যমকে প্রিজম বলে।

প্রিজমের প্রতিসরণ তল : প্রিজমের যে তল দিয়ে আলোক রশ্মি প্রবেশ করে এবং যে তল দিয়ে আলোক রশ্মি বের হয় তাদেরকে প্রিজমের প্রতিসরণ তল বলে।

প্রিজমের শীর্ষ : প্রিজমের তলদ্বয় যে রেখায় ছেদ করে তাকে প্রিজমের শীর্ষ বলে।

প্রিজম কোণ : প্রতিসরণ তলদ্বয়ের মধ্যবর্তী কোণকে প্রিজম কোণ বলে।

প্রিজমের ভূমি : প্রিজম কোণের বিপরীত তলকে প্রিজমের ভূমি বলে।

বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি : প্রিজমে আপতিত রশ্মিকে সামনের দিকে এবং নির্গত রশ্মিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে এদের অন্তর্ভুক্ত কোণকে বিচ্যুতি কোণ বা বিচ্যুতি বলে।

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

বিচ্ছুরণ : সাদা আলোক রশ্মি প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণের ফলে সাতটি মূল বর্ণের আলোকে বিভক্ত হওয়াকে আলোর বিচ্ছুরণ বলে।

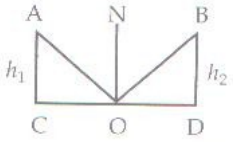
বর্ণালী : বিচ্ছুরণের ফলে মূল বর্ণসমূহের যে সজ্জা পাওয়া যায় তাকে বর্ণালী বলে।

বিচ্ছুরণ ক্ষমতা : কোনো একটি স্বচ্ছ মাধ্যম কর্তৃক সৃষ্ট বর্ণালীতে দুই অন্তিম রশ্মির কৌণিক বিচ্যুতির পার্থক্য এবং মধ্য বা গড় রশ্মির কৌণিক বিচ্যুতির অনুপাতকে উক্ত মাধ্যমের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বলে।

একবর্ণী আলো : যে আলোক রশ্মির একটি মাত্র তরঙ্গদৈর্ঘ্য থাকে তাকে একবর্ণী আলো বলে।

বহুনির্বাচনি প্রশ্নের উত্তরের জন্য প্রয়োজনীয় বিষয়াবলির সার-সংক্ষেপ

১। ফার্মাটের নীতির সাহায্যে আলোর সরলরৈখিক গতি নির্ণয় করা যায়। চরম বা অবম দৈর্ঘ্যের পথের নীতি হলো ফার্মাট নীতি।

২। 

চিত্র অনুযায়ী ফার্মাটের নীতির সাহায্যে সময় $t=\sqrt{\frac{x_1^2+h_2^2}{v}}$

৩। উপরের চিত্রে ফার্মাটের নীতি অনুযায়ী প্রযোজ্য $\frac{dt}{dx}=0$.

৪। লেন্স প্রস্তুতকারকের সমীকরণ হলো $\frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$.

৫। পয়েন্টিং ভেক্টর হলো, $\vec{E}\times\vec{H}$.

৬। গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র হলো প্রতিসরণ দূরবীক্ষণ যন্ত্র। গ্যালিলিও জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের আবিষ্কারক।

৭। একটি জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের বিবর্ধন যথাক্রমে $m_1 \propto m_2$.

৮। তুল্য লেন্সের দ্বারা সৃষ্ট প্রতিবিম্ব সোজা ও সমান দেখায়।

৯। একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f। উত্তল লেন্সটি n গুণ বিবর্ধিত সদ প্রতিবিম্ব গঠন করলে বস্তুর দূরত্ব হবে $\frac{(n+1)f}{n}$.

১০। প্রতিসরাঙ্ক বেশি হলে আলো কম বেগে চলে। কোয়ার্টজ হলো দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যম।

১১। আলোর বিভিন্ন বর্ণের কারণ হলো—তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পার্থক্য।

১২। আলো ঘনতর মাধ্যম থেকে হালকা মাধ্যমে প্রবেশ করলে বেগ বেশি হয়।

১৩। লাল আলোর বেগ বেগুনি আলোর বেগের চেয়ে 1·8 গুণ বেশি।

১৪। বেগুনি রঙের আলোর জন্য নির্দিষ্ট মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের মান সবচেয়ে বেশি হয়।

১৫। স্বাভাবিক ফোকাসিং-এর জন্য টেলিস্কোপে বিবর্ধনের মান $\frac{f_0}{f_e}\left(1+\frac{f_e}{D}\right)$.

১৬। 1·5 প্রতিসরাঙ্কের উত্তল লেন্সের উভয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ সমান হলে $f=r$ হয়।

১৭। লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও বক্রতার ব্যাসার্ধের মধ্যে সম্পর্ক হলো $f=\frac{r}{2}$.

১৮। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে ২ বার প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিনেত্রে সৃষ্ট প্রতিবিম্ব অবাস্তব ও বিবর্ধিত হয়।

১৯। বেতার তরঙ্গ পর্যবেক্ষণের জন্য ব্যবহৃত হয় রেডিও টেলিস্কোপ।

২০। কোনো নির্দিষ্ট সময়ে μ প্রতিসরাঙ্কের কোনো মাধ্যমের ভেতর দিয়ে x দূরত্ব অতিক্রম করলে আলোকীয় পথ হবে μx.

২১। প্রতিফলক টেলিস্কোপের ক্ষেত্রে বর্ণ ত্রুটি থাকে না, গোলকীয় ত্রুটি থাকে।
২২। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন বাড়ানোর জন্য যা কারণীয়—(i) অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব কমাতে হবে (ii) লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব কমাতে হবে (iii) অভিলক্ষ্য দ্বারা সৃষ্ট বিম্বের দূরত্ব বাড়াতে হবে।
২৩। আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণ সূত্র প্রতিপাদন করা যায় (i) ফার্মাট নীতির সাহায্যে (ii) হাইগেনস নীতির সাহায্যে।
২৪। প্রতিসরাঙ্কের মান নির্ভর করে (i) স্বচ্ছ মাধ্যম দুটির প্রকৃতির ওপর, (ii) আলোক রশ্মির বর্ণের ওপর।
২৫। মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের পরিবর্তন হলে প্রতিবিম্বের পরিবর্তন হয়।
২৬। বাস্তব বিম্ব গঠিত হয় অবতল দর্পণে এবং উত্তল লেন্সে। আর অবাস্তব বিম্ব গঠিত হয় উত্তল দর্পণে, সমতল দর্পণে এবং অবতল লেন্সে।
২৭। অবাস্তব প্রতিবিম্ব—পর্দায় ফেলা যায় না, চোখে দেখা যায়।
২৮। নিউটনের দূরবীক্ষণ যন্ত্রে সমতল দর্পণ অবতল দর্পণের অক্ষের সাথে 45° কোণে আনত থাকে।
২৯। টেলিস্কোপে স্পষ্ট দর্পণের ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং এ অভিলক্ষ্য ঘাত সৃষ্ট বিম্ব—(i) অভিলক্ষ্যের ফোকাস তলে গঠিত হয়, (ii) অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্বের মধ্যে গঠিত হয়।
৩০। নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রে স্বাভাবিক ফোকাসিং-এর জন্য নলের দৈর্ঘ্য হবে অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্বদ্বয়ের যোগফল।
৩১। একটি লেন্সকে পানির মধ্যে রাখলে লেন্সের ফোকাস দূরত্বের এবং লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্কের পরিবর্তন ঘটে।
৩২। লাল বর্ণের আলোর বিচ্যুতি সর্বনিম্ন।
৩৩। সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন, $m = \frac{v}{u}$, $m = 1 + \frac{D}{f}$, $m = 1 \pm \frac{D - a}{f}$.
৩৪। লেন্সের ক্ষমতার মাত্রা L^{-1}.
৩৫। পাতলা প্রিজমের ক্ষেত্রে $\delta = A(\mu - 1)$ প্রযোজ্য।

অনুশীলনী

(ক) বহুনির্বাচনি প্রশ্ন

১। আলো 'a' মাধ্যম থেকে 'b' মাধ্যমে প্রবেশ করলে 'b' মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ককে কীভাবে সূচিত করবে?
ⓚ μ_B
ⓛ ${}_b\mu_a$
ⓜ ${}_a\mu_b$
ⓝ μ_a

২। ফার্মাটের নীতির সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়—
ⓚ আলোর অপবর্তন
ⓛ আলোর সমবর্তন
ⓜ আলোর প্রতিফলনের সূত্র
ⓝ আলোর ব্যতিচার

৩। ন্যূনতম বিচ্যুতির ক্ষেত্রে কোনটি সঠিক?
ⓚ $i_1 = r_1$
ⓛ $\angle i_1 = \angle i_2 = \angle\frac{A}{2}$
ⓜ $\angle r_1 = \angle r_2 = \angle\frac{A + \delta_m}{2}$
ⓝ $r_1 = r_2$

৪। — বর্ণের রশ্মিকে মধ্যরশ্মি বলা হয়।
ⓚ সবুজ
ⓛ নীল
ⓜ হলুদ
ⓝ আসমানি

৫। কোন রং এর বিচ্যুতি সবচেয়ে বেশি?
ⓚ হলুদ
ⓛ লাল
ⓜ বেগুনি
ⓝ কমলা

৬। 20 cm ফোকাস দূরত্ববিশিষ্ট উত্তল লেন্সের ক্ষমতা—
ⓚ $5\ m^{-1}$
ⓛ $5\ cm^{-1}$
ⓜ $2\ m^{-1}$
ⓝ $1\ m^{-1}$

৭। লেন্সের চারপাশে বায়ুর পরিবর্তে অন্য কোনো ঘন মাধ্যম থাকলে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব—
ⓚ হ্রাস পায়
ⓛ বৃদ্ধি পায়
ⓜ একই থাকে
ⓝ পরিবর্তিত হবে কিনা বলা যায় না

৮। সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে কী ধরনের প্রতিবিম্ব গঠিত হয়?
ⓚ সোজা ও খর্বিত
ⓛ সোজা ও বিবর্ধিত
ⓜ উল্টো ও বিবর্ধিত
ⓝ উল্টো ও খর্বিত

৯। সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধনের রাশি কোনটি ?

ক $m = \frac{v}{u}$

খ $m = 1 + \frac{D}{f}$

গ $m = 1 + \frac{D-a}{f}$

ঘ সবকটি

১০। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে গঠিত চূড়ান্ত বিম্ব কী রকম হয়? [য. বো. ২০১৫]

ক উল্টো ও খর্বিত

খ সোজা ও বিবর্ধিত

গ উল্টো ও বিবর্ধিত

ঘ সোজা ও খর্বিত

১১। জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে অভিনেত্র—

(i) চূড়ান্ত বিম্ব তৈরি করে

(ii) প্রাথমিক বিম্ব তৈরি করে

(iii) অসদ বিম্ব তৈরি করে

নিচের কোনটি সঠিক?

ক i

খ iii

গ i ও iii

ঘ i, ii ও iii

১২। যখন সাদা আলো প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসরিত হয় আলোর বিচ্যুতি— [ঢা.বি. ২০০২-০৩]

ক নীল অপেক্ষা লালের জন্য বেশি

খ হলুদ অপেক্ষা বেগুনির জন্য বেশি

গ লালের চেয়ে সবুজের জন্য কম

ঘ কমলার চেয়ে বেগুনির জন্য কম

১৩। একটি সরু প্রিজমের ক্ষেত্রে বিচ্যুতি কোণ, প্রিজম কোণ এবং প্রতিসরাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক হলো—

(ক) $\delta = \mu A$

(খ) $A = \delta(\mu - 1)$

(গ) $\delta = \frac{\mu - 1}{A}$

(ঘ) $\delta = (\mu - 1)A$

১৪। নভোবীক্ষণ যন্ত্রে গঠিত চূড়ান্ত বিম্ব কী রকম হয়?

ক সোজা ও খর্বিত

খ সোজা ও বিবর্ধিত

গ উল্টো ও খর্বিত

ঘ উল্টো ও বিবর্ধিত

১৫। একটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রে ব্যবহৃত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 0·15 m। স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব 0·25 m হলে ঐ যন্ত্রের বিবর্ধন কত ?

ক 1·5

খ 2·667

গ 1·667

ঘ 3·65

একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·5 m ও 0·05 m। ১৬ ও ১৭নং প্রশ্নের উত্তর দাও :

১৬। যন্ত্রটির বিবর্ধন কত ?

ক 10

খ 12

গ 16

ঘ 20

১৭। যন্ত্রটির নলের দৈর্ঘ্য কত ? [চ. বো. ২০১৫]

ক 0·60 m

খ 0·50 m

গ 0·55 m

ঘ 0·64 m

১৮। নভোদূরবীক্ষণ 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 $m = \frac{f_e}{f_0}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right)$

১৯। দূরবীক্ষণ যন্ত্রে ব্যবহার করা হয়—

ক উত্তল লেন্স

খ উভোত্তল লেন্স

গ অবতল লেন্স

ঘ উভাবতল লেন্স

২০। একটি নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·8m ও 0·04m হলে স্বাভাবিক দৃষ্টির জন্য যন্ত্রটির বিবর্ধন কত হবে ?

ক 0·05

খ 20·0

গ 2·0

ঘ 200·0

২১। একটি নভোবীক্ষণের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 200 cm এবং 10 cm। যন্ত্রটি দিয়ে স্বাভাবিক চোখে চাঁদকে পর্যবেক্ষণ করার সময় লেন্স দুটির মধ্যে দূরত্ব হবে—

ক 190 cm

খ 210 cm

গ 20 cm

ঘ 1000 cm

২২। কোনটি বিচ্ছুরক মাধ্যম নয় ?

ক পানি

খ কাচ

গ গ্লিসারিন

ঘ বায়ু

২৩। যে দুটি আলোর জন্য কৌণিক বিচ্ছুরণ সর্বাধিক তা হলো—
ক সবুজ ও লাল
খ লাল ও নীল
গ হলুদ ও সবুজ
ঘ নীল ও কমলা

২৪। দুটি বর্ণের আলোক রশ্মির জন্য একটি প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1·66 ও 1·64। প্রিজমের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা কত ?
ক 0·02
খ 0·012
গ 0·03
ঘ 0·010

২৫। প্রিজমের ক্ষেত্রে বলা যায়—
(i) ন্যূনতম বিচ্যুতিতে $i_1 = i_2$ এবং $r_1 = r_2$
(ii) বিচ্যুতি কোণ আপতন কোণের ওপর নির্ভর করে
(iii) আলোর দুই বার প্রতিসরণ হয়
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

২৬। প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতি অবস্থানে— [দি. বো. ২০১৫]
(i) $\delta_m = 2i_1 - A$
(ii) $r_1 = r_2$
(iii) $i_1 = i_2$
নিচের কোনটি সঠিক ?
ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i, ii ও iii

২৭। একটি প্রিজমের প্রিজম কোণ এবং ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ যথাক্রমে 60° ও 30°। প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক কত ? [রা. বো. ২০১৫]
ক 1·45
খ 1·53
গ 1·41
ঘ 1·23

২৮। প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক নির্ভর করে—
(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

২৯। 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

৩০। 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

৩১। একটি নভোদূরবীক্ষণের অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব f_0 এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব f_e হলে যন্ত্রের বিবর্ধন—
ক $f_e + f_0$
খ $f_e \times f_0$
গ $\frac{f_0}{f_e}$
ঘ $\frac{1}{2}(f_0 + f_e)$

৩২। একটি নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের স্বাভাবিক ফোকাসিং এর ক্ষেত্রে চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব গঠিত হয়—
ক অভিনেত্রের ফোকাসে
খ স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে
গ অভিলক্ষ্যের ফোকাসে
ঘ অসীমে

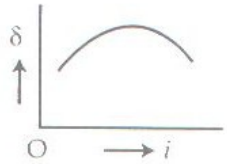
৩৩। একটি নভোদূরবীক্ষণের লেন্স দুটির ক্ষমতা 0·5 D এবং 20 D। যন্ত্রটির বিবর্ধন ক্ষমতা হবে—
ক 8
খ 20
গ 30
ঘ 40

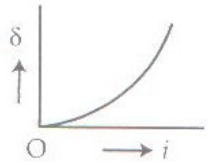
৩৪। কাচের মধ্য দিয়ে বিভিন্ন বর্ণের আলো পরিভ্রমণ করলে কোন বর্ণের আলোর বেগ বেশি হবে ?
ক লাল
খ নীল
গ হলুদ
ঘ বেগুনি

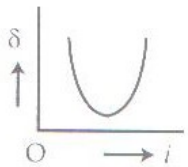
৩৫। একটি সমবাহু প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$ হলে এর ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ কত ?

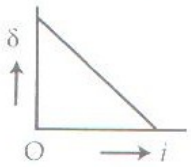
ক $15°$
খ $30°$
গ $45°$
ঘ $60°$

৩৬। প্রিজমে $i \sim \delta$ লেখচিত্র নিচের কোনটি ? [রা. বো. ২০১৫]

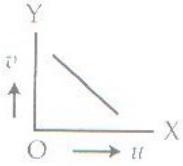
ক 

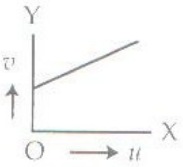
খ 

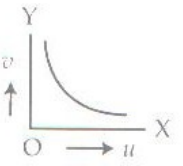
গ 

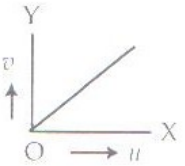
ঘ 

৩৭। উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে কোন লেখচিত্রটি সঠিক ?

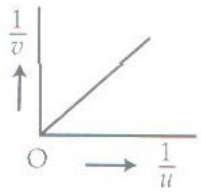
ক 

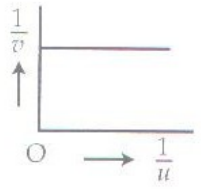
খ 

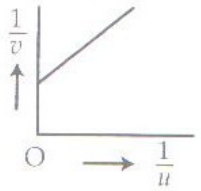
গ 

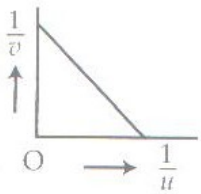
ঘ 

৩৮। $\frac{1}{u} \sim \frac{1}{v}$ লেখচিত্র কীরূপ হবে ? [ঢা. বো. ২০১৫]

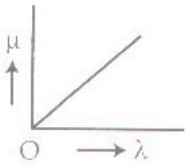
ক 

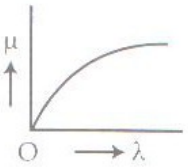
খ 

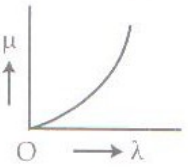
গ 

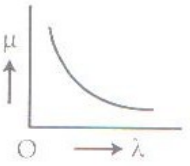
ঘ 

৩৯। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সাথে প্রতিসরাঙ্কের লেখচিত্র নিচের কোনটি ?

ক 

খ 

গ 

ঘ 

৪০। পানি ও কাঁচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·33 ও 1·52 হলে, কাঁচে আলোর দ্রুতি কত ? পানিতে আলোর দ্রুতি $2·28 \times 10^8$ cms^{-1} [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}

৪১। নভো দূরবীক্ষণ নলের দৈর্ঘ্য হলো— [ঢা. বো. ২০১৫]

(i) $L = f_0 + f_e$
(ii) $L = f_0 + u_e$
(iii) $L = v_0 + h_e$

নিচের কোনটি সঠিক ?

ক i ও ii
খ i ও iii
গ ii ও iii
ঘ i. ii ও iii

উদ্দীপকটি পড় এবং ৪২ ও ৪৩নং প্রশ্নের উত্তর দাও :
একজন হস্তরেখাবিদ হাতের রেখা পরীক্ষা করার জন্য যে লেন্সটি ব্যবহার করেন তার ফোকাস দূরত্ব 12·5 cm। তিনি একজন লোকের হাতের রেখা দেখার জন্য হাতটিকে লেন্স হতে একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে রাখলেন এবং স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে বিবর্ধিত বিম্ব পেলেন।

৪২। হস্তরেখাবিদ লেন্সটির সাহায্যে কতগুণ বিবর্ধিত বিম্ব পেয়েছিলেন ?

ক 0·5
খ 1·5
গ 2
ঘ 3

৪৩। উক্ত যন্ত্রটির সাহায্যে পূর্বের অবস্থানে 2·5 গুণ বিবর্ধিত বিম্ব পেতে হলে লেন্সটিকে পূর্বের অবস্থান থেকে কত দূরে সরাতে হবে ?

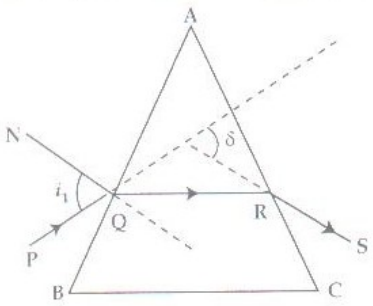
ক 2·5 cm
খ 6·25 cm
গ 16·66 cm
ঘ 20 cm

উত্তর :

১। গ	২। গ	৩। ঘ	৪। গ	৫। গ	৬। ক	৭। খ	৮। খ	৯। ঘ	১০। গ
১১। গ	১২। খ	১৩। ঘ	১৪। খ	১৫। খ	১৬। খ	১৭। গ	১৮। খ	১৯। ক	২০। খ
২১। খ	২২। ঘ	২৩। খ	২৪। গ	২৫। ঘ	২৬। ঘ	২৭। গ	২৮। ক	২৯। ঘ	৩০। গ
৩১। গ	৩২। ঘ	৩৩। ঘ	৩৪। ক	৩৫। খ	৩৬। গ	৩৭। গ	৩৮। ঘ	৩৯। ঘ	৪০। গ
৪১। ক	৪২। ঘ	৪৩। খ							

(খ) সৃজনশীল প্রশ্ন

১। চিত্রে একটি কাচ প্রিজমের মধ্য দিয়ে একটি আলোক রশ্মির প্রতিসরণ দেখানো হয়েছে। এখানে A প্রিজম কোণ এবং δ বিচ্যুতি কোণ।



(ক) প্রিজম কোণ কী ?
(খ) আপতন কোণের সাথে বিচ্যুতি কোণ কীভাবে পরিবর্তিত হয়?
(গ) $A = 60°$ এবং ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ $\delta_m = 30°$ হলে প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।
(ঘ) উদ্দীপকের প্রিজমটি 1·33 প্রতিসরাঙ্কের পানিতে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত করলে ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণের কী পরিবর্তন হবে গাণিতিকভাবে ব্যাখ্যা কর।

২। পাশের চিত্রে একটি বিবর্ধক কাচ দেখানো হয়েছে। সাধারণত যেখানে খুব বেশি বিবর্ধনের প্রয়োজন হয় না সেখানে এটি ব্যবহৃত হয়। যেমন— লেখা, হাতের ছাপ, অতি ক্ষুদ্র যন্ত্রপাতি ইত্যাদি দেখার কাজে এটি ব্যবহার করা হয়।

(ক) অণুবীক্ষণ যন্ত্র কী ?
(খ) বিবর্ধক কাচ কি বস্তুর যে কোনো অবস্থানে বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠন করে ? — ব্যাখ্যা কর।
(গ) উদ্দীপকের বিবর্ধক কাচে সৃষ্ট প্রতিবিম্বের দূরত্ব 25 cm এবং ফোকাস দূরত্ব 15 cm হলে বিবর্ধন কত?
(ঘ) গাণিতিক বিশ্লেষণের মাধ্যমে দেখাও যে বিবর্ধক কাচের ফোকাস দূরত্ব যত কম হবে তার বিবর্ধন ক্ষমতা তত বৃদ্ধি পাবে।

৩। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 4×10^{-3} m এবং 5×10^{-2} m। অভিলক্ষ্য দ্বারা গঠিত কোনো বস্তুর প্রতিবিম্ব এটি হতে 22×10^{-2} m দূরে অবস্থিত। অভিনেত্র হতে চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব 25×10^{-2} m দূরে অবস্থিত।

(ক) অণুবীক্ষণ যন্ত্র কী?

(খ) অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বের বৈশিষ্ট্য লিখ। রিফ্লেক্টিং টেলিস্কোপের সুবিধা কী ?

(গ) অণুবীক্ষণ যন্ত্রটির অভিনেত্রের বিবর্ধন নির্ণয় কর।

(ঘ) উদ্দীপকে অণুবীক্ষণ যন্ত্রটির মোট বিবর্ধন অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের বিবর্ধনের গুণফলের সমান। গাণিতিক-ভাবে বিশ্লেষণ কর।

৪। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·02m এবং 0·05m ও তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·16m। 0·5 mm দীর্ঘ বস্তু অভিলক্ষ্যের সামনে 0·24m দূরে স্থাপন করা হলো।

(ক) স্পষ্ট দৃষ্টির নিকটতম ও দূরতম দূরত্ব কী ?

(খ) লেন্সের চারিপার্শ্বস্থ মাধ্যম পরিবর্তন করলে উহার ফোকাস দূরত্ব পরিবর্তন হয় কেন ?

(গ) অণুবীক্ষণ যন্ত্রটির বিবর্ধন নির্ণয় কর।

(ঘ) অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব অর্ধেক করা হলে বিবর্ধন পূর্বের তুলনায় কীরূপ পরিবর্তন হবে ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

৫। ঢাকা বিশ্ববিদ্যালয়ের বোস সেন্টারে রক্ষিত নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব 60·5 cm এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব 6·5 cm। পদার্থবিজ্ঞানের ছাত্রী ঝিমি একদিন চন্দ্রগ্রহণ দেখার জন্য অসীম দূরে ফোকাসিং করল। কিন্তু সে চন্দ্রগ্রহণের দৃশ্য একেবারে কাছ থেকে দেখতে চায়। তাই যন্ত্রটিকে নিকট ফোকাসিং করে নিল।

(ক) নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র কী?

(খ) অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের মধ্যে কোনটির বিবর্ধন ক্ষমতা বেশি এবং কেন? বীক্ষণ কোণ কী ?

(গ) অসীমে রক্ষিত বস্তুর ক্ষেত্রে যন্ত্রের বিবর্ধন নির্ণয় কর।

(ঘ) স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে রক্ষিত বস্তুর ক্ষেত্রে বিবর্ধনের রাশিমালা প্রতিপাদন কর। ঝিমি যন্ত্রটির দৈর্ঘ্যের কীরূপ পরিবর্তন করে নিকট বিন্দুতে ফোকাসিং করেছিল ? গাণিতিকভাবে বিশ্লেষণ কর।

(গ) সাধারণ প্রশ্ন

১। ফার্মাটের নীতি বর্ণনা কর।

২। ফার্মাটের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিফলন সূত্র ব্যাখ্যা কর।

৩। লেন্স তৈরির সমীকরণ প্রতিপাদন কর।

৪। একজন সাঁতারু পানির তলায় খালি চোখে বস্তুর প্রতিচ্ছবি ঘোলাটে দেখে। কিন্তু মুখোশ পরে খুবই পরিষ্কার দেখতে পায় কেন ?

৫। কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1·5; কাচে আলোর বেগ কত ?

৬। একটি সমতল কাচ ফলকে ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা কত ?

৭। লেন্সকে বায়ু থেকে পানিতে নিমজ্জিত করলে এর ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা বাড়ে না কমে ?

৮। কাচের প্রতিসরাঙ্ক কোন বর্ণের আলোর জন্য সবচেয়ে কম ?

৯। আলোর কম্পাঙ্ক বাড়লে মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের কী পরিবর্তন হয় ?

১০। টেলিস্কোপের মূলনীতি লিখ।

১১। আলোর প্রতিসরণের সময় আলোর কোন ধর্মটি অপরিবর্তিত থাকে ?

১২। মাইক্রোস্কোপের মূলনীতি লিখ।

১৩। সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন কিসের উপর নির্ভর করে ?

১৪। যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে নলের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করলে বিবর্ধন বৃদ্ধি পায়—উক্তিটি ভুল না ঠিক ?

১৫। যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব অভিক্ষেত্রের ফোকাস দূরত্ব অপেক্ষা বড় নয় ছোট ?

১৬। একটি প্রতিফলক দূরবীক্ষণে অভিলক্ষ্য হিসেবে কী ব্যবহৃত হয় ?

১৭। অভিলক্ষ্যের ফোকাস দৈর্ঘ্য কমালে অণুবীক্ষণের বিবর্ধন ক্ষমতা কীভাবে পরিবর্তিত হয়? দূরবীক্ষণের ক্ষেত্রে কি হবে ? দুটি উত্তরের পার্থক্য দেখাও।

১৮। একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্র কী অণুবীক্ষণ যন্ত্রের কাজ করতে পারে ?

১৯। কাচের প্রতিসরাঙ্ক কী আলোর বর্ণের উপর নির্ভর করে। যদি করে কীভাবে ?

২০। কী শর্তে কোনো প্রিজমের মধ্য দিয়ে প্রতিসারিত রশ্মির চ্যুতি ন্যূনতম হবে ?

২১। প্রিজমের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় কোন বর্ণের আলো সবচেয়ে বেশি বাঁকে এবং কোন বর্ণের আলো সবচেয়ে কম বাকে ?

২২। প্রিজম কী বর্ণ সৃষ্টি করে ?

২৩। একটি প্রিজমের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা কী প্রিজমের কোণের উপর নির্ভর করে ?

২৪। প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতির শর্তগুলি লিখ।

২৫। রংধনু কীভাবে সৃষ্টি হয়?

২৬। হলুদ ও নীল রঙ একত্রে মেশালে সবুজ রঙ প্রস্তুত হয়; কিন্তু পর্দার উপর ফেললে সাদা দেখায় কেন ?

২৭। শূন্যস্থানে কী আলোর বিচ্ছুরণ হয় ?

(ঘ) ক্রিয়াকর্ম

আকাশ নীল দেখার ঘটনা এবং অস্তগামী সূর্যের লাল দেখানো ঘটনার পার্থক্যের উপর একটি প্রতিবেদন রচনা কর।

(ঙ) কাজ (গাণিতিক সমস্যা)

১। একটি উভাবতল লেন্সের দু পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 0·20 m এবং 0·40 m। তার ফোকাস দূরত্ব 0·20 m হলে ঐ লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক কত ? [উত্তর : 1·66]

২। একটি সরু উভোত্তল লেন্স হতে 0·24 m দূরে একটি বস্তু রেখে লেন্সের বিপরীত পার্শ্বে 0·30 m দূরে বাস্তব প্রতিবিম্ব পাওয়া গেল। লেন্সের প্রথম ও দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ 0·16 m ও 0·20 m হলে লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর। [উত্তর : 1·66]

৩। 0·05 m দীর্ঘ একটি বস্তু একটি উত্তল লেন্সের সামনে অবস্থিত এবং লেন্সের অপর পার্শ্বে 1 m দূরে একটি পর্দার উপর 0·25 m দীর্ঘ একটি প্রতিবিম্ব পাওয়া গেল। লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর। [উত্তর : 0·166 m]

৪। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·20m এবং 0·05m ও তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·16m। অভিলক্ষ্যের সামনে 0·024 m দূরে বস্তু স্থাপন করলে অভিনেত্র হতে কত দূরে প্রতিবিম্ব গঠিত হবে ? [উত্তর : 0·20 m]

৫। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·02 m এবং 0·05 m ও তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 0·16 m। অভিলক্ষ্যের সামনে কত দূরে বস্তু স্থাপন করলে অভিনেত্র হতে 0·20 m দূরে প্রতিবিম্ব গঠিত হবে ? [উত্তর : 0·024 m]

৬। একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 5 mm এবং 6 cm। অভিলক্ষ্য দ্বারা গঠিত কোনো বস্তুর প্রতিবিম্ব এটি হতে 25 cm দূরে অবস্থিত। অভিনেত্র হতে শেষ অবাস্তব প্রতিবিম্ব 30 cm দূরে অবিস্থিত। বিম্বের মোট বিবর্ধন বের কর। [উত্তর : 294]

৭। একটি নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·30 m এবং 0·02 m। স্বাভাবিক দর্শনের জন্য যন্ত্রের (i) কৌণিক বিবর্ধন এবং (ii) দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর।

[উত্তর : (i) 15, (ii) 0·32 m]

৮। একটি নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের স্বাভাবিক ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে বিবর্ধন ক্ষমতা 8 এবং দৈর্ঘ্য 36 cm। লেন্সদ্বয়ের ফোকাস দূরত্ব বের কর। [ব. বো. ২০০৯; কু. বো. ২০০৮] [উত্তর : $f_o = 4$ cm; $f_e = 32$ cm]

৯। একটি নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0·20 m এবং 0·02 m। অসীম দূরত্ব ফোকাস এর ক্ষেত্রে অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের মধ্যে দূরত্ব ও সৃষ্ট বিবর্ধন নির্ণয় কর।

[উত্তর : 0·22m ; 10]

১০। একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 80 cm ও 5 cm। যখন স্বাভাবিক দর্শনের জন্য ফোকাস করা হয়। তখন এর বিবর্ধন ক্ষমতা কত ?

Hints. $\mu = f_o\left(\frac{1}{D}+\frac{1}{f}\right)$ [য. বো. ২০০০] [উত্তর : 19·2]

১১। কোনো নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 400 cm ও 4 cm। এর বিবর্ধন ও দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। [উত্তর : 100; 4·04m]

১২। একটি প্রিজমের কোণ $45°$ এবং উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{5}$। এই প্রিজমের এক প্রতিসরণ পৃষ্ঠে আলোক রশ্মির কত কোণে আপতিত হলে রশ্মিটির দ্বিতীয় প্রতিসরণ পৃষ্ঠ ঘেষে নির্গত হবে ? [উত্তর : $i_1 = 58{\cdot}87°$]

১৩। কোনো একটি আলোক রশ্মির জন্য একটি সমবাহু প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$। প্রিজমের প্রথম প্রতিসরণ তলে আলোক রশ্মি $45°$ কোণে আপতিত হলে দেখাও যে, রশ্মিটি ন্যূনতম বিচ্যুতিতে নির্গত হবে।

[উত্তর : প্রমাণ করতে হবে $i_1 = i_2 = 45°$ ও $r_1 = r_2 = 30°$]

১৪। A উপাদানবিশিষ্ট একটি প্রিজম লাল বর্ণের রশ্মিকে $10°$ কোণে এবং নীল বর্ণের রশ্মিকে $16°$ কাণে বিচ্যুত করে। B উপাদানের অপর একটি প্রিজম লাল আলোকে $8°$ কোণে এবং নীল আলোকে $14°$ কোণে বিচ্যুত করে। কোন উপাদানের কৌণিক বিচ্ছুরণ এবং বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বেশি?

[উত্তর : Hints. $\delta_A = 16—10 = 6°$, $\delta_B = 14 - 8 = 6°$; A প্রিজমের মধ্যবর্তী রশ্মির বিচ্যুতি

$$\delta_1 = \frac{16+10}{2} = 13°,\ \delta_2 = \frac{14+8}{2} = 11°,\ W_A = \frac{\delta_A}{\delta_1} = \frac{6}{13};\ W_B = \frac{\delta_B}{\delta_2} = \frac{6}{11},\ W_B > W_A$$]

১৫। লাল ও নীল বর্ণের আলোক রশ্মির জন্য ক্রাউন কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে $\mu_r = 1{\cdot}517$ এবং $\mu_b = 1{\cdot}523$। এই বর্ণদ্বয়ের সাপেক্ষে ক্রাউন কাচের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা নির্ণয় কর। [উত্তর : $0{\cdot}0115$]

১৬। কাচ দ্বারা তৈরি একটি দ্বি-উত্তল লেন্সের উভয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ সমান। কাচের প্রতিসরাঙ্ক $1{\cdot}5$ হলে দেখাও যে, লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব তার বক্রতার ব্যাসার্ধের সমান।

$$[\text{ Hints. } r_1 = r,\ r_2 = -r,\ \frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right),\ (\therefore\ f = r)\ ]$$

১৭। একটি সমোত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 30 cm। এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $1{\cdot}52$ হলে এর পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। [উত্তর : $15{\cdot}6$ cm]

১৮। একটি উভাবতল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 5 cm এবং 15 cm। লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $1{\cdot}5$ হলে, এর ফোকাস দূরত্ব কত ? [উত্তর : $-7{\cdot}5$ cm (অবতল লেন্স)]

১৯। একটি প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক কোণের মান $60°$ এবং সোডিয়াম আলোকরশ্মির জন্য এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $1{\cdot}5$। ওই আলোক রশ্মি প্রিজমটির মধ্য দিয়ে গেলে বিচ্যুতি কোণের ন্যূনতম মান কত হবে ? [উত্তর : $37{\cdot}18°$]

২০। $\mu = \sqrt{3}$ প্রতিসরাঙ্কযুক্ত একটি কাচের প্রিজমের ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক কোণের সমান। প্রিজমের কোণের মান কত ? [উত্তর : $60°$]

২১। একটি সমবাহু ফাঁপা প্রিজম একটি নির্দিষ্ট তরল দ্বারা পূর্ণ আছে। ঐ প্রিজমে প্রতিসরণের জন্য কোনো আলোক রশ্মির ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ $60°$ হলে তরলের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর। [উত্তর : $1{\cdot}732$]

২২। খুব পাতলা একটি প্রিজম আলোক রশ্মির $5°$ বিচ্যুতি ঘটায়। প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $1{\cdot}5$ হলে প্রিজমের কোণ কত ? [উত্তর : $9{\cdot}98°$]

২৩। প্রিজম কোণ $60°$ এবং ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ $48°30'$ হলে প্রিজম পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক কত হবে ?

[উত্তর : $1{\cdot}623$]

২৪। কোনো একটি প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$। ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ $30°$ হলে প্রিজমটির প্রতিসরাঙ্ক কোণের মান কত হবে ? [উত্তর : $60°$]