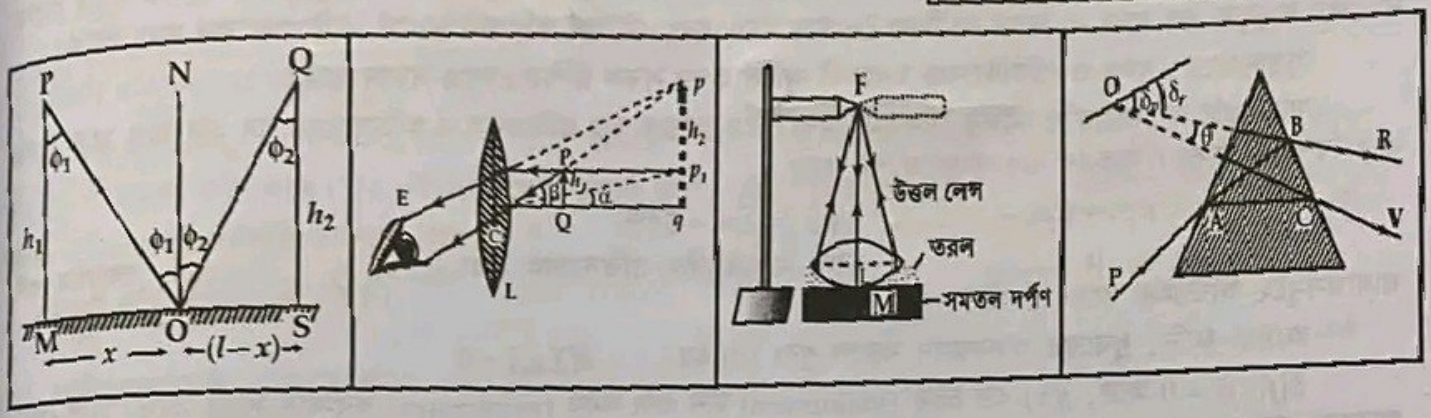
৬

জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান
GEOMETRICAL OPTICS

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



সূচনা
Introduction

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

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

এ অধ্যায় পাঠ শেষে শিক্ষার্থীরা—

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

ব্যবহারিক :

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

২. লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয় করতে পারবে।

- মাইক্রোস্কোপের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- রিফ্লেক্টিং টেলিস্কোপের মূলনীতি ব্যাখ্যা করতে পারবে।
- প্রিজমে আলোর প্রতিসরণ ও বিচ্ছুরণ ব্যাখ্যা করতে পারবে।

৬·১ ফার্মাট-এর নীতি
Fermat's Principle

৬·১·১ ধারণা
Concept

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

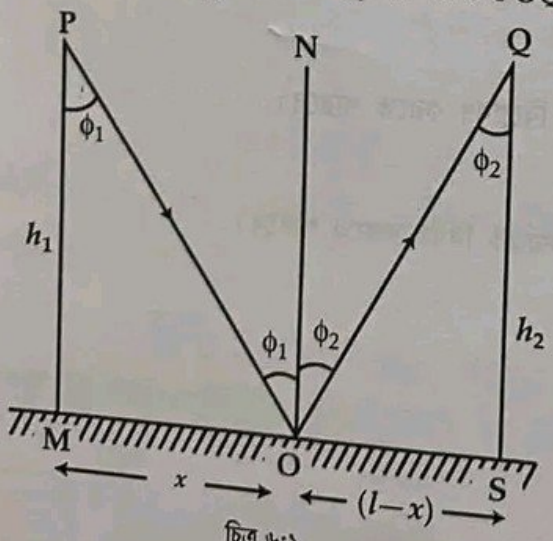
আলোক পথ : কোনো মাধ্যমের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মি কোনো নির্দিষ্ট সময়ে যে পথ অতিক্রম করে তার সমতুল্য আলোক পথ বলতে বোঝায় ওই নির্দিষ্ট সময়ে আলোক রশ্মি শূন্য মাধ্যমে যে পথ অতক্রিম করে তা।

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

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

ক. প্রতিফলনের সূত্রাবলি
Laws of reflection

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



চিত্র ৬·১

চিত্র ৬·১ থেকে, $POQ = s = PO + OQ$

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

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

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

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

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

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

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

বা, $\frac{MO}{PO} = \frac{OS}{OQ}$

বা, $\sin OPM = \sin OQS$

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

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

∴ আপতন কোণ = প্রতিফলন কোণ

ইহাই প্রতিফলনের দ্বিতীয় সূত্র।

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

ইহাই প্রতিফলনের প্রথম সূত্র।

খ. প্রতিসরণের সূত্রাবলি
Laws of refraction

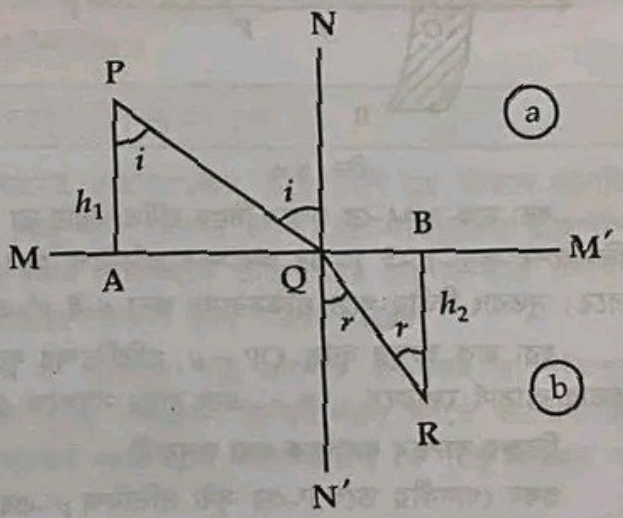
ধরা যাক PQ আলোক রশ্মি স্থির বিন্দু P থেকে Q বিন্দু হয়ে অন্য একটি স্থির বিন্দু R-এ পৌঁছাল। PQ আলোক রশ্মি a ও b স্থির মাধ্যমের MM′ বিভেদ তলে Q বিন্দুতে i কোণে আপতিত হয়ে b মাধ্যমের r কোণে প্রতিসৃত হচ্ছে [চিত্র ৬·২]।

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

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



চিত্র ৬·২

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

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

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

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

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

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

ইহাই প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্র বা স্নেলের সূত্র।

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

ইহাই প্রতিসরণের প্রথম সূত্র।

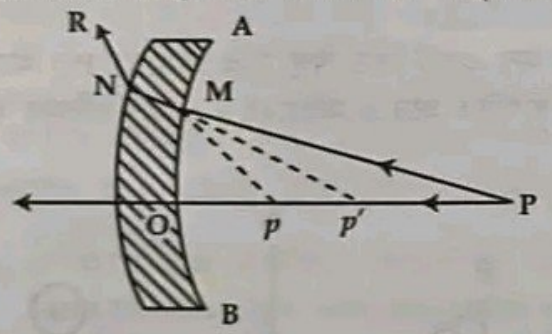
কাজ : কোনো পদার্থের পরম প্রতিসরাঙ্কের মান 1-এর থেকে কম হতে পারে কী ? —ব্যাখ্যা কর।

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

৬·২ গোলীয় তলে প্রতিসরণ
Refraction in spherical surface

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

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



চিত্র ৬·৩

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,

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

[লক্ষ্যবস্তু অবাস্তব হেতু v' ঋণ রাশি।]

উভয় পক্ষকে μ দ্বারা গুণনে পাওয়া যায়,

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

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

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

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

লেন্সের ফোকাস দূরত্বের সমীকরণ :

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

∴ সমীকরণ (6.9) হতে পাই,

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

৬·২·২ গোলীয় তলে আলোর প্রতিসরণের নিয়ম

Rules of refraction in spherical surface

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

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

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

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

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

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

স্ফেরোমিটারের পায়ার দূরত্ব D নির্ণয় :

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

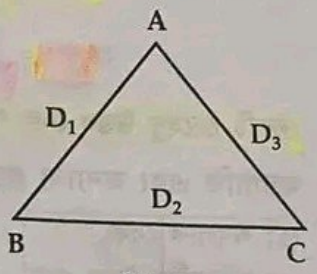
$$D = \frac{3{\cdot}9 + 3{\cdot}9 + 3{\cdot}9}{3} = 3{\cdot}9 \text{ cm}$$

হিসাব (Calculation) :

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

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

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



চিত্র ৬·৫

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

সুতরাং

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

ফলাফল (Result) :

পানির পরীক্ষালব্ধ প্রতিসরাঙ্ক = 1·32

সতর্কতা ও আলোচনা (Precautions and discussions) :

১। লম্বন ত্রুটি যথাযথ পরিহার করা হয়।

২। পিনের অগ্রভাগ লেন্সের প্রধান অক্ষ বরাবর রাখা হয়।

৩। দর্পণে কম পরিমাণ তরল পদার্থ ব্যবহার করা হয়।

৪। লেন্সের বেধ সঠিকভাবে পরিমাপ করা হয়।

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

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

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

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

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

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

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

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

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

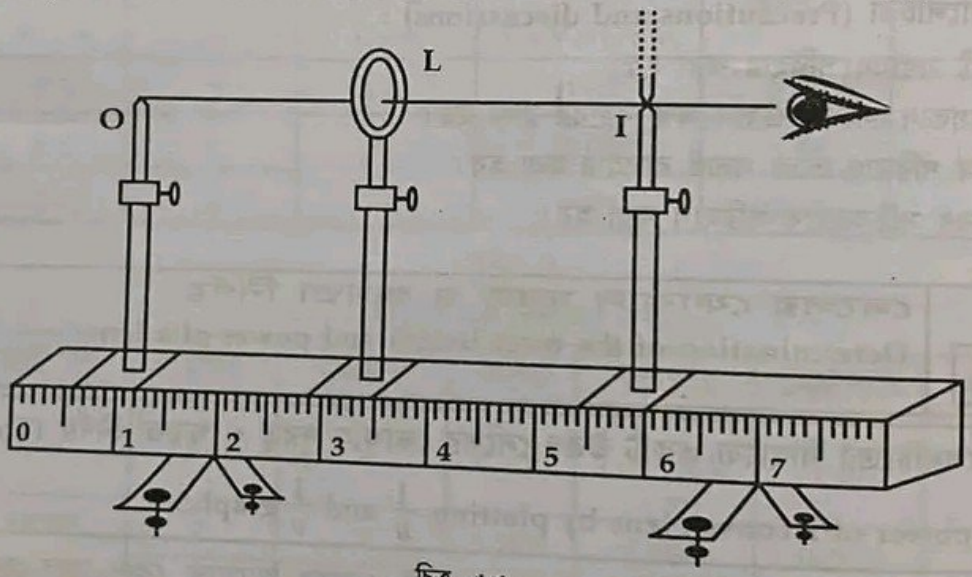
লেন্সটি যেহেতু উত্তল লেন্স অতএব এর ক্ষমতা ধনাত্মক হবে।

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

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

কার্যপদ্ধতি বা কাজের ধারা (Working procedure)

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



চিত্র ৬৬

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

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

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

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

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

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

আলোচনা (Discussions) :

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

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

৬·৪ কতিপয় প্রয়োজনীয় সংজ্ঞা
Some necessary definitions

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

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

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

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

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

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

একে প্রতিসরণের ২য় সূত্র বা স্নেলের সূত্র বলে।

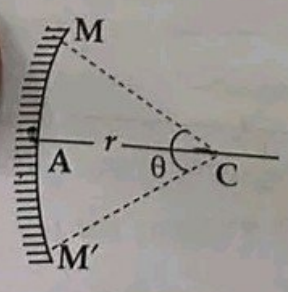
আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক (Specific refractive index) : আলোক রশ্মি যখন এক স্বচ্ছ মাধ্যম হতে অন্য কোনো স্বচ্ছ মাধ্যমে তির্যকভাবে প্রবেশ করে তখন নির্দিষ্ট বর্ণের আলোর জন্য আপতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাতকে ওই বর্ণের জন্য ওই মাধ্যমের আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক বলে।

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

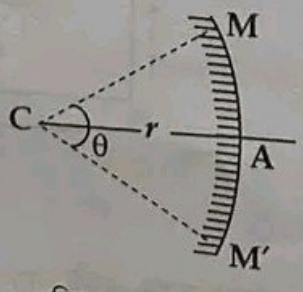
লেন্স (Lens) : দুটি গোলীয় বা একটি সমতল অথবা দুটি বেলনাকৃতি অথবা একটি বেলনাকৃতি ও একটি সমতল পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ কোনো স্বচ্ছ প্রতিসারক মাধ্যমকে লেন্স বলে।

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

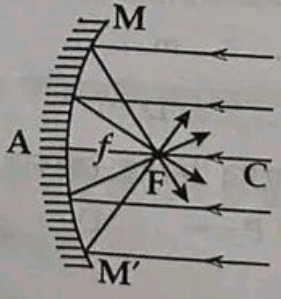
অবতল লেন্স (Concave lens) : যে লেন্সের মধ্যভাগ সরু ও প্রান্তের দিক মোটা তাকে অবতল লেন্স বলে। এই লেন্স সাধারণত এক গুচ্ছ আলোক রশ্মিকে অপসারিত করে বলে একে অপসারী লেন্স বলে।



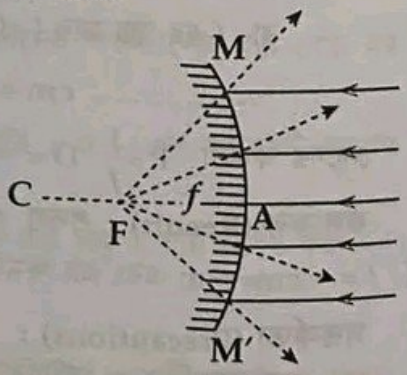
চিত্র ৬·৮ (ক)



চিত্র ৬·৮ (খ)



চিত্র ৬·৮ (গ)



চিত্র ৬·৮ (ঘ)

মেরুবিন্দু (Pole) : গোলকীয় দর্পণের প্রতিফলক তলের মধ্য বিন্দুকে দর্পণের মেরুবিন্দু বলে। একে A দ্বারা ব্যক্ত করা হয় [চিত্র ৬·৮ (ক) ও ৬·৮ (খ)]।

বক্রতার কেন্দ্র (Centre of curvature) : গোলকীয় দর্পণ যে গোলকের অংশ বিশেষ তার কেন্দ্রকে ওই দর্পণের বক্রতার কেন্দ্র বলে। একে C দ্বারা ব্যক্ত করা হয় [চিত্র ৬·৮ (ক) ও ৬·৮ (খ)]।

প্রধান অক্ষ (Principal axis) : গোলকীয় দর্পণের বক্রতার কেন্দ্র এবং মেরুর মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত সরলরেখাকে ওই দর্পণের প্রধান অক্ষ বলে। অথবা, কোনো গোলকীয় দর্পণের মধ্য দিয়ে তার পৃষ্ঠের লম্বভাবে অতিক্রান্ত সরলরেখাকে উক্ত দর্পণের প্রধান অক্ষ বলে। এখানে AC রেখা দর্পণের প্রধান অক্ষ [চিত্র ৬·৮ (ক) ও ৬·৮ (খ)]।

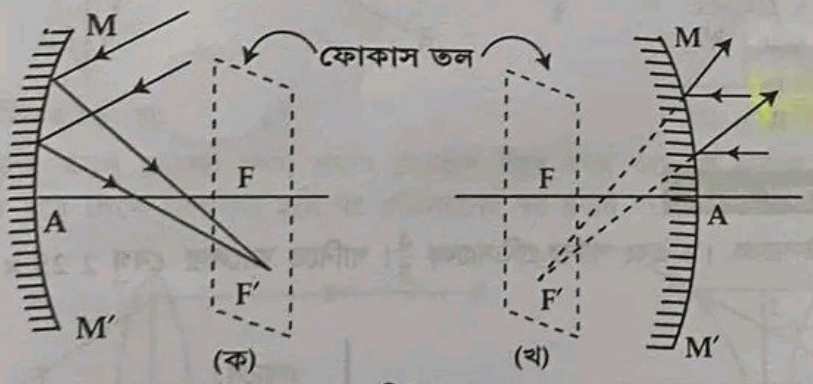
বক্রতার ব্যাসার্ধ (Radius of curvature) : গোলকীয় দর্পণ যে গোলকের অংশ বিশেষ উক্ত গোলকের ব্যাসার্ধকে ওই দর্পণের বক্রতার ব্যাসার্ধ বলে। এটাই বক্রতার ব্যাসার্ধের ভাষাগত সংজ্ঞা। এর গাণিতিক সংজ্ঞা আছে; যেমন কোনো একটি গোলকীয় দর্পণের মেরুবিন্দু এবং বক্রতার কেন্দ্রের মধ্যবর্তী দূরত্বকে ওই গোলকীয় দর্পণের বক্রতার ব্যাসার্ধ বলে। একে r দ্বারা প্রকাশ করা হয়। [চিত্র ৬·৮ (ক) ও ৬·৮ (খ)-এ $AC = r$]

প্রধান ফোকাস বা মুখ্য ফোকাস (Principal focus) : একগুচ্ছ সমান্তরাল আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরালে কোনো একটি গোলকীয় দর্পণে আপতিত হবার পর প্রতিফলিত রশ্মিসমূহ প্রধান অক্ষের যে বিন্দুতে মিলিত হয় (অবতল দর্পণে) বা প্রধান অক্ষের যে বিন্দু হতে ছড়িয়ে পড়ছে বলে মনে হয় (উত্তল দর্পণে) ওই বিন্দুকে দর্পণের প্রধান বা মুখ্য ফোকাস বলে। একে 'F' দ্বারা প্রকাশ করা হয় [চিত্র ৬·৮ (গ) ও ৬·৮ (ঘ)]।

ফোকাস দূরত্ব (Focal length) : গোলকীয় দর্পণের মেরুবিন্দু এবং প্রধান ফোকাসের মধ্যবর্তী দূরত্বকে তার ফোকাস দূরত্ব বলে। একে 'f' দ্বারা প্রকাশ করা হয় [চিত্র ৬·৮ (গ) ও ৬·৮ (ঘ)-এ $AF = f$]।

ফোকাস তল (Focal plane) : গোলকীয় দর্পণের প্রধান ফোকাসের মধ্য দিয়ে প্রধান অক্ষের লম্বভাবে কল্পিত বা অঙ্কিত তলকে তার ফোকাস তল বলে। চিত্র ৬·৯-এ FF′ তল হলো ফোকাস তল।

প্রধান ছেদ (Principal section) : কোনো গোলকীয় দর্পণের প্রধান অক্ষের মধ্য দিয়ে অতিক্রমকারী কোনো তল যে বৃত্তাকার রেখায় দর্পণকে ছেদ করে তাকে ওই দর্পণের প্রধান ছেদ বলে। ৬·৮নং চিত্রে MAM′ দর্পণের প্রধান ছেদ। দর্পণ সংক্রান্ত সব বর্ণনায় তার প্রধান ছেদই অঙ্কিত হয়।



চিত্র ৬·৯

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

উন্মেষ (Aperture) : গোলকীয় দর্পণে প্রধান ছেদ বক্রতার কেন্দ্রে যে কোণ উৎপন্ন করে, তাকে দর্পণের উন্মেষ বলে। এখানে প্রধান ছেদের প্রান্ত-বিন্দু দুটিকে বক্রতার কেন্দ্রের সাথে যুক্ত করলে দর্পণের উন্মেষ পাওয়া যায়। চিত্র ৬·৮ (ক) ও ৬·৮ (খ)-এ θ দর্পণের উন্মেষ এবং $\theta = \frac{\text{চাপ, MAM′}}{\text{বক্রতার ব্যাসার্ধ, } r}$। কোনো দর্পণের উন্মেষ 10° অপেক্ষা কম হলে ওই দর্পণকে ক্ষুদ্র উন্মেষযুক্ত দর্পণ বলে।

গৌণ ফোকাস (Secondary focus) : একগুচ্ছ সমান্তরাল আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সাথে আনতভাবে চলে দর্পণের ওপর আপতিত হবার পর প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ দর্পণের ফোকাস তলের যে বিন্দুতে মিলিত হয় (অবতল দর্পণে) বা ফোকাস তলের যে বিন্দু হতে ছড়িয়ে পড়ছে বলে মনে হয় (উত্তল দর্পণে) ওই বিন্দুকে দর্পণের একটি গৌণ ফোকাস বলে। চিত্র ৬·৯-এ F′ বিন্দু একটি গৌণ ফোকাস।

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

৬.৫ প্রতিসরাঙ্ক ও আলোর বেগ
Refractive index and velocity of light

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

কোনো মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক,

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

বা, $\boxed{\mu = \frac{c_0}{c_m}}$

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

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

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

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

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

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

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

গাণিতিক উদাহরণ ৬.২

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

আমরা জানি,

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

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

এখানে,

কাচের প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_g = 1{\cdot}5$

পানির প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_w = \frac{4}{3}$

পানিতে আলোর বেগ, $v_w = 2{\cdot}25 \times 10^8\ ms^{-1}$

কাচে আলোর বেগ, $v_g = ?$

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

বা, $v_g = \frac{v_w}{{}_w\mu_g}$

$$\therefore\ v_g = \frac{2{\cdot}25 \times 10^8}{\frac{9}{8}}$$

$$= \frac{2{\cdot}25 \times 10^8 \times 8}{9}$$

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

সমীকরণ (6.25) হতে আমরা পাই,

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

বা, $vf=-uf+uv$

বা, $uf+vf=uv$

উভয় পার্শ্বকে 'uvf' দ্বারা ভাগ করে আমরা পাই,

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

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

$\therefore$ $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ ... ... (6.26)

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

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

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

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৩

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

আমরা জানি,

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

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

আমরা জানি,

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

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

$\therefore$ $f_2=-72\,\text{cm}$

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

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{u}+\frac{1}{v}$$ [RUET Admission Test, 2008-09]

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

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

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

৬·৭ বিবর্ধন
Magnification

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

সংজ্ঞা : রৈখিক বিবর্ধন বলতে প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা এবং বস্তুর দৈর্ঘ্য বা উচ্চতার অনুপাতকে বুঝায়।

একে 'm' দ্বারা ব্যক্ত করা হয়।

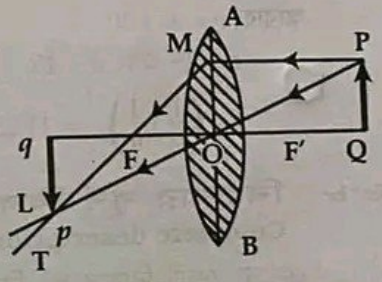
ব্যাখ্যা : মনে করি, বস্তুর দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা $= PQ = x$ এবং প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা $= pq = y$

$\therefore$ আমরা পাই,

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

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

প্রতিবিম্ব লক্ষ্যবস্তুর সাপেক্ষে উল্টা তাই ঋণাত্মক চিহ্ন ব্যবহৃত হয়েছে।



চিত্র ৬·১৪

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

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

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

কিন্তু প্রতিবিম্বের আকার এবং বস্তুর আকারের অনুপাত প্রতিবিম্বের দূরত্ব এবং বস্তুর দূরত্বের অনুপাতের সমান। কেননা, $\frac{pq}{PQ} = \frac{Oq}{OQ}$ [চিত্র ৬·১২, ৬·১৩ ও ৬·১৪]

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

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

একইভাবে অবতল লেন্সের ক্ষেত্রেও [চিত্র ৬·১৩] পাওয়া যায়, $m = -\frac{v}{u}$

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

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

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

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

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

$$\text{বা, } 1 - m = \frac{v}{f}$$

$$\text{বা, } m = 1 - \frac{v}{f} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.30)$$

$$\text{বা, } m = \frac{f - v}{f}$$

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

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

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

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

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

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৪

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

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

বা, $3u=v$

আবার, $v=u+30$

$\therefore \quad u=15$ এবং $v=45$

$$f=\left(\frac{1}{v}+\frac{1}{u}\right)^{-1}=11.25 \text{ cm}$$ (অবতল দর্পণ)

৬·৮ বিম্বের পূর্ণ বিবরণ
Complete description of an image

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

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

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

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

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

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

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

$|m|=\left|\frac{v}{u}\right|$ হয়।

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

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

$$l'=|m|\,l$$ ... ... (6.32)

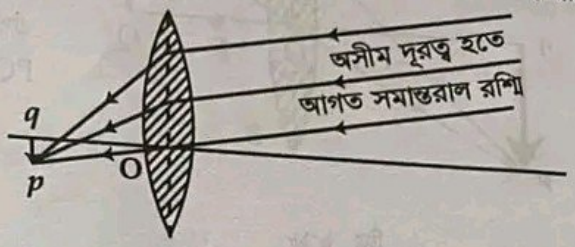
একে লেন্স প্রস্তুতকারকের সূত্র বলা হয়। একে লেন্সের ফোকাস দূরত্বের সূত্রও বলা হয়। এটি লেন্সের মাধ্যম, বেষ্টনকারী মাধ্যম এবং লেন্সের দুটি তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ দ্বারা নির্ধারিত।

৬·৯ জ্যামিতিক উপায়ে লক্ষ্যবস্তুর বিভিন্ন অবস্থানের জন্য প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও আকার নির্ণয়
Determination of location, nature and size of images by geometrical means of an object located at different positions

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

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

(ক) বস্তু অসীম দূরত্বে অবস্থিত (অর্থাৎ $u = \infty$) : অসীম দূরত্বে অবস্থিত কোনো বস্তু হতে আগত রশ্মিসমূহ পরস্পর সমান্তরালভাবে প্রধান অক্ষের সাথে একটি কোণ উৎপন্ন করে লেন্সে প্রবেশ করে এবং লেন্সে প্রতিসরিত হওয়ার পর কোনো একটি বিন্দুতে মিলিত হয়। চিত্র ৬·১৫-এ প্রতিসরিত রশ্মিসমূহ p বিন্দুতে মিলিত হয়েছে। এখন p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। অতএব pq -ই বস্তুটির প্রতিবিম্ব।



চিত্র ৬·১৫

অবস্থান : ফোকাস তলে অর্থাৎ $|v| = f$

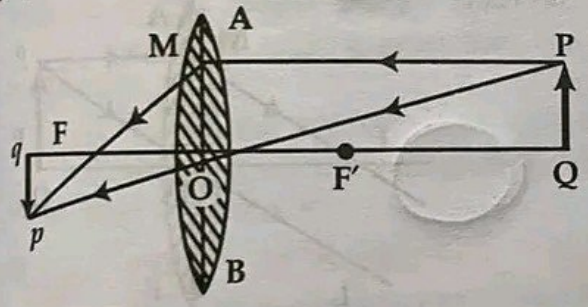
প্রকৃতি : বাস্তব ও উল্টা।

আকার : বস্তুর সাপেক্ষে অত্যন্ত ছোট।

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

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

(খ) বস্তু উত্তল লেন্স থেকে $2f$ এর বেশি দূরে অবস্থিত (অর্থাৎ $u > 2f$) : মনে করি PQ একটি লক্ষ্যবস্তু [চিত্র ৬·১৬]। এটি প্রধান অক্ষের ওপর লেন্স হতে $2f$ অপেক্ষা অধিক দূরে অবস্থিত। বস্তুর সর্বোচ্চ প্রান্ত P হতে একটি আলোক রশ্মি PM-কে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং অপর একটি রশ্মি PO-কে আলোক কেন্দ্র বরাবর বিবেচনা করলে প্রতিসরণের পর প্রথম রশ্মিটি ফোকাস F দিয়ে ও দ্বিতীয় রশ্মিটি না বেঁকে সোজা যাবে ও এরা p বিন্দুতে মিলিত হবে। অতএব p-ই P বিন্দুর বাস্তব প্রতিবিম্ব। এখন p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। অতএব pq-ই PQ-এর প্রতিবিম্ব।



চিত্র ৬·১৬

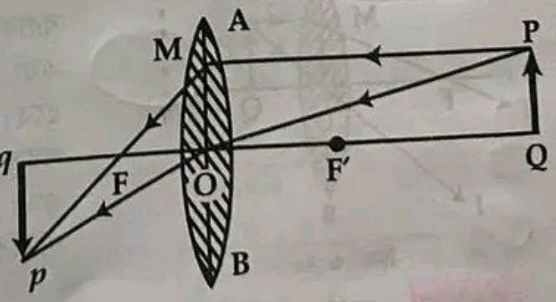
অবস্থান : f এবং $2f$-এর মধ্যে অর্থাৎ $2f > |v| > f$

প্রকৃতি : বাস্তব ও উল্টা।

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

লেন্সের এই ধর্মকে কাজে লাগিয়ে ক্যামেরা তৈরি করা হয়।

(গ) বস্তু লেন্স থেকে $2f$ দূরে অবস্থিত (অর্থাৎ $u = 2f$) : মনে করি PQ একটি লক্ষ্যবস্তু [চিত্র ৬·১৭]। এটি লেন্সের প্রধান অক্ষের ওপর লেন্স হতে $2f$ দূরে অবস্থিত। বস্তুর সর্বোচ্চ প্রান্ত P হতে একটি আলোক রশ্মি PM-কে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং অপর একটি রশ্মি PO-কে আলোক কেন্দ্র বরাবর বিবেচনা করলে প্রতিসরণের পর প্রথম রশ্মিটি ফোকাস F দিয়ে ও দ্বিতীয় রশ্মিটি না বেঁকে সোজা যাবে ও এরা p বিন্দুতে মিলিত হবে। অতএব p-ই P বিন্দুর বাস্তব প্রতিবিম্ব। এখন p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। সুতরাং pq-ই PQ-এর বাস্তব প্রতিবিম্ব।



চিত্র ৬·১৭

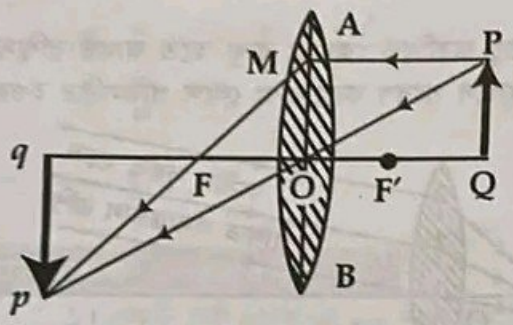
অবস্থান : $2f$ দূরে অর্থাৎ $|v| = 2f$

প্রকৃতি : বাস্তব ও উল্টা।

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

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

(ঘ) বস্তু f এবং $2f$-এর মধ্যে অবস্থিত (অর্থাৎ $2f > u > f$) : মনে করি PQ একটি লক্ষ্যবস্তু [চিত্র ৬·১৮]। এটি লেন্সের প্রধান অক্ষের ওপর f এবং $2f$ দূরত্বের মধ্যে অবস্থিত। বস্তুর সর্বোচ্চ প্রান্ত P হতে একটি আলোক রশ্মি PM-কে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং অপর একটি রশ্মি PO-কে আলোক কেন্দ্র বরাবর বিবেচনা করলে প্রতিসরণের পর প্রথম রশ্মিটি ফোকাস F দিয়ে ও দ্বিতীয় রশ্মিটি না বেঁকে সোজা যাবে ও এরা p বিন্দুতে মিলিত হবে। অতএব p-ই P-এর বাস্তব প্রতিবিম্ব। এখন p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। সুতরাং pq-ই PQ-এর প্রতিবিম্ব।



চিত্র ৬·১৮

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

প্রকৃতি : বাস্তব ও উল্টা।

আকার : বস্তুর সাপেক্ষে বিবর্ধিত অর্থাৎ আকারে বড়।

কেননা, $|m| = \frac{|v|}{u} > 1$

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

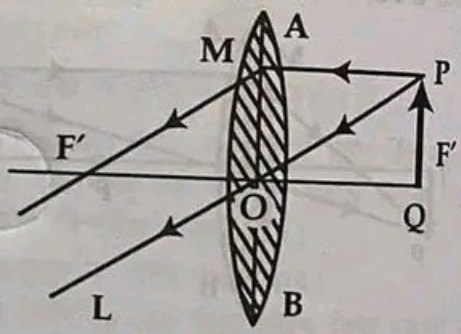
(ঙ) বস্তু প্রধান ফোকাসে অবস্থিত (অর্থাৎ $u = f$) : মনে করি, PQ একটি লক্ষ্যবস্তু [চিত্র ৬·১৯]। এটি প্রধান অক্ষের ওপর লেন্স হতে f দূরে অবস্থিত। বস্তুর সর্বোচ্চ প্রান্ত P হতে একটি আলোক রশ্মি PM-কে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং অপর একটি রশ্মি PO-কে আলোক কেন্দ্র বরাবর বিবেচনা করলে প্রতিসরণের পর প্রথম রশ্মিটি ফোকাস F দিয়ে এবং দ্বিতীয় রশ্মিটি না বেঁকে সোজা যাবে ও এরা পরস্পরের সমান্তরালে গমন করবে এবং অসীমে প্রতিবিম্ব গঠন করবে।

অবস্থান : অসীমে অর্থাৎ $v = \infty$।

প্রকৃতি : বাস্তব ও উল্টা অথবা অবাস্তব ও সিধা।

আকার : বস্তুর তুলনায় খুবই বিবর্ধিত।

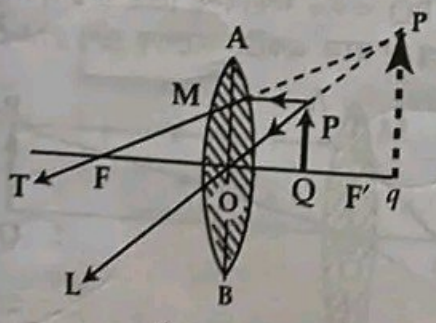
কেননা, $|m| = \frac{|v|}{u} = \frac{\infty}{f} \approx \infty$



চিত্র ৬·১৯

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

(চ) বস্তু আলোক কেন্দ্র ও প্রথম প্রধান ফোকাসের মধ্যে অবস্থিত (অর্থাৎ $u < f$) : মনে করি PQ একটি লক্ষ্যবস্তু [চিত্র ৬·২০]। এটি প্রধান অক্ষের ওপর লেন্সের আলোক কেন্দ্র O এবং প্রথম প্রধান ফোকাস F′-এর মধ্যে অবস্থিত। বস্তুর সর্বোচ্চ বিন্দু P হতে একটি আলোক রশ্মি PM-কে প্রধান অক্ষের সমান্তরাল এবং অপর একটি রশ্মি PO-কে আলোক কেন্দ্র বরাবর বিবেচনা করলে প্রতিসরণের পর প্রথম রশ্মিটি ফোকাস দিয়ে এবং দ্বিতীয় রশ্মিটি না বেঁকে সোজা যাবে ও এরা পরস্পর অপসারী হবে। এই দুটি রশ্মিকে পিছনের দিকে বর্ধিত করলে এরা p বিন্দু হতে অপসৃত হয়েছে বলে মনে হবে। অতএব p-ই P বিন্দুর প্রতিবিম্ব। এখন p হতে প্রধান অক্ষের ওপর pq লম্ব টানি। সুতরাং pq-ই PQ-এর প্রতিবিম্ব। এখানে, $v > u$।



চিত্র ৬·২০

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

প্রকৃতি : অবাস্তব এবং সিধা।

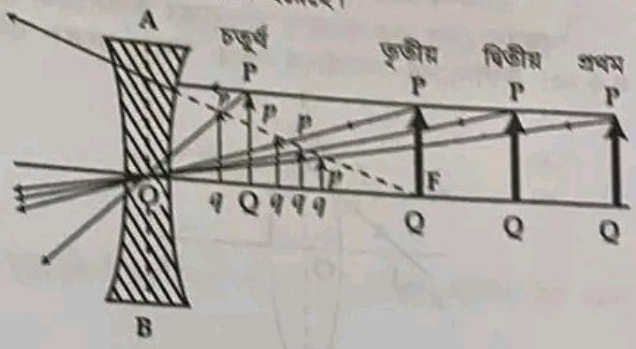
আকার : বিবর্ধিত। কেননা, $|m| = \frac{v}{u} > 1$

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

৬·১০ অবতল লেন্স
Concave lens

৬·২১নং চিত্রে AOB একটি সরু অবতল লেন্সের প্রধান ছেদ। লেন্সটির আলোক কেন্দ্র O, দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস F এবং প্রধান অক্ষ OQ-এর ওপর দণ্ডায়মান PQ একটি বস্তু। বস্তুটির বিভিন্ন অবস্থানে তার প্রতিবিম্ব লেন্সে কীভাবে উৎপন্ন হবে তা বস্তুর সর্বোচ্চ বিন্দু P হতে দুটি রশ্মির গতিপথ দেখিয়ে নির্দেশ করা হয়েছে।

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



চিত্র ৬·২১

অবস্থান : বস্তু ও প্রতিবিম্ব লেন্সের একই পার্শ্বে অবস্থিত।

প্রকৃতি : অবাস্তব এবং সিধা।

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

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

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

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

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

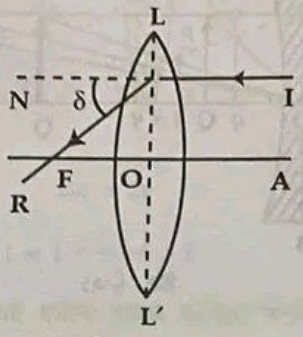
৬·১১ লেন্সে প্রতিবিম্বের অবস্থান ও প্রকৃতি নির্ণয়
Determination of position and nature of images formed by lenses

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

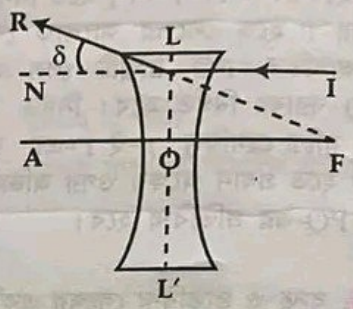
জানার বিষয় : যদি পারিপার্শ্বিক মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক অপেক্ষা বেশি হয় তাহলে উত্তল লেন্স অবতল লেন্সের ন্যায় এবং অবতল লেন্স উত্তল লেন্সের ন্যায় আচরণ করে।

৬·১২ লেন্সের ক্ষমতা
Power of a lens

কোনো লেন্স দ্বারা আলোক রশ্মিগুচ্ছের অভিসারিতা (convergence) বা অপসারিতা (divergence) [চিত্র ৬·২২ ও ৬·২৩] উৎপাদনের সামর্থ্যকে তার ক্ষমতা বলে। যদি কোনো লেন্স একগুচ্ছ সমান্তরাল আলোক রশ্মিকে বেশি



চিত্র ৬·২২



চিত্র ৬·২৩

পরিমাণে অভিসারিত বা অপসৃত করতে পারে, তবে তার ক্ষমতা বেশি আর যদি কম পরিমাণে অভিসারিত বা অপসৃত করতে পারে তবে তার ক্ষমতা কম। কাজেই লেন্সে আপতিত প্রধান অক্ষের সমান্তরাল আলোক রশ্মির প্রতিসরণজনিত কৌণিক বিচ্যুতি δ দ্বারাই লেন্সের ক্ষমতা নির্ধারিত হবে। যে লেন্সের ক্ষেত্রে δ যত বেশি হবে ওই লেন্সের ক্ষমতাও তত বেশি। আবার যে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যত কম, তা দ্বারা তত কম দূরত্বের মধ্যে সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অভিসারী বা অপসারী রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয়। অর্থাৎ ওই লেন্সের ক্ষমতা বেশি। এজন্য **কোনো লেন্সের ফোকাস দূরত্বের বিপরীত সংখ্যাকে তার ক্ষমতা বলা হয়।**

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

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

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

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

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

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

কাজ : ঘন মাধ্যমে কাচ লেন্সের ক্ষমতা হ্রাস পায় কেন ?

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

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

এখানে, $P = +4$ ডায়প্টার।

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

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

আবার কোনো লেন্সের ক্ষমতা — 2D বলতে বুঝায় লেন্সটি অবতল এবং এর ফোকাস দূরত্ব, $f = -\frac{1}{2}\text{ m} = -0{\cdot}5\text{ m}$

নিকটে উৎপন্ন করে দর্শন উপযোগী করা হয়। এসব যন্ত্রগুলোকে দৃষ্টি সহায়ক বীক্ষণ যন্ত্র বলে। যেমন অণুবীক্ষণ যন্ত্র, দূরবীক্ষণ যন্ত্র, বাইনোকুলার, পেরিস্কোপ ইত্যাদি। এসব যন্ত্রে এমন ধরনের লেন্স ব্যবহার করা হয়, যা চোখে বেশি মানের বীক্ষণ কোণ বা দৃষ্টি কোণ উৎপন্ন করে। এখন আমরা বীক্ষণ কোণ বা দৃষ্টি কোণ কী এবং কৌণিক বিবর্ধন আলোচনা করব।

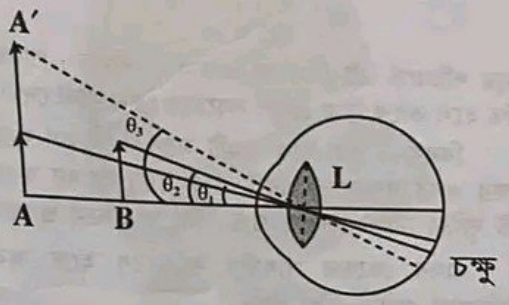
৬·১৩·১ বীক্ষণ কোণ বা দৃষ্টি কোণ ও কৌণিক বিবর্ধন
Visual angle and angular magnification

বীক্ষণ কোণ বা দৃষ্টি কোণ

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

ব্যাখ্যা : চিত্র ৬·২৪-এ A ও B একই বস্তু দুটি ভিন্ন অবস্থানে রয়েছে। B অবস্থানে বস্তুটি থাকায় একে A অবস্থানের চেয়ে বড় দেখায়।

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



চিত্র ৬·২৪

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

কৌণিক বিবর্ধন বা বিবর্ধন

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

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

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

যদি বস্তু ও প্রতিবিম্ব চোখে যথাক্রমে α ও β দৃষ্টিকোণ উৎপন্ন করে, তবে $m = \frac{\beta}{\alpha}$ ... ... (6.34)

৬·১৩·২ মাইক্রোস্কোপ (অণুবীক্ষণ যন্ত্র)
Microscope

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

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

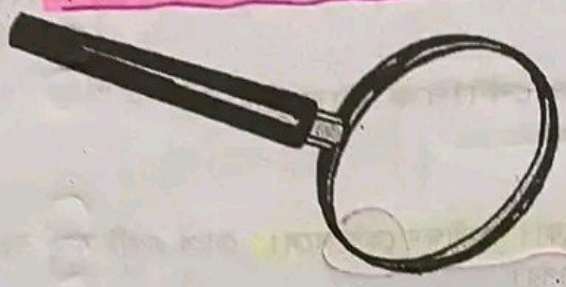
(ক) সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা বিবর্ধক কাচ (Simple Microscope or Magnifying glass) ও

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

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

৬·১৩·৩ সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা বিবর্ধক কাচ
Simple microscope or magnifying glass

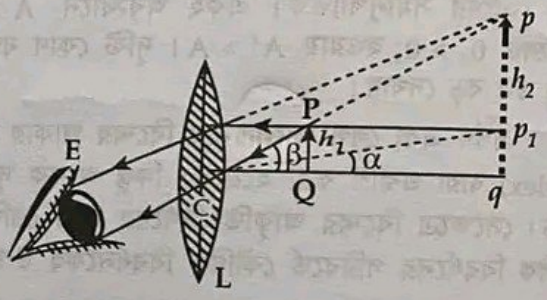
খুব বেশি বিবর্ধন প্রয়োজন না হলে এটি ব্যবহৃত হয়। এতে একটি হাতলযুক্ত ফ্রেমে অল্প ফোকাস দূরত্বের একটি উত্তল লেন্স বসানো থাকে [চিত্র ৬·২৫]। সাধারণত এটি সূক্ষ্ম কারুকার্য, অতি ক্ষুদ্র লেখা, হাতের ছাপ, অতি ক্ষুদ্র যন্ত্রপাতি ইত্যাদি দেখার কাজে ব্যবহার করা হয়।



চিত্র ৬·২৫

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

বিবর্ধন : ধরা যাক একটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের উত্তল লেন্স L-এর ফোকাস দূরত্ব f অপেক্ষা কম দূরত্বে প্রধান অক্ষের ওপর লম্বভাবে একটি বস্তু PQ স্থাপন করা হয়েছে [চিত্র ৬·২৬]। এতে লেন্সের পিছনে স্থাপিত চোখ E-এর স্পষ্ট দৃষ্টির নিকট বিন্দুতে তার সিধা, অবাস্তব ও আকারে বড় প্রতিবিম্ব pq গঠিত হলো।



চিত্র ৬·২৬

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]

$\therefore$ বিবর্ধন, $m=\frac{v}{u}=1+\frac{v}{f}$ ... ... (6.35)

কিন্তু $v = D$ স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব

$\therefore$ $\boxed{m=1+\frac{D}{f}}$ ... ... (6.36)

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

$\therefore$ সমীকরণ (6.35) অনুসারে পাওয়া যায়,

$\boxed{m=1+\frac{D-a}{f}}$ ... ... (6.37)

ইহাই সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধনের রাশিমালা।

উপরোক্ত সমীকরণ হতে সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায় যে,

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

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

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

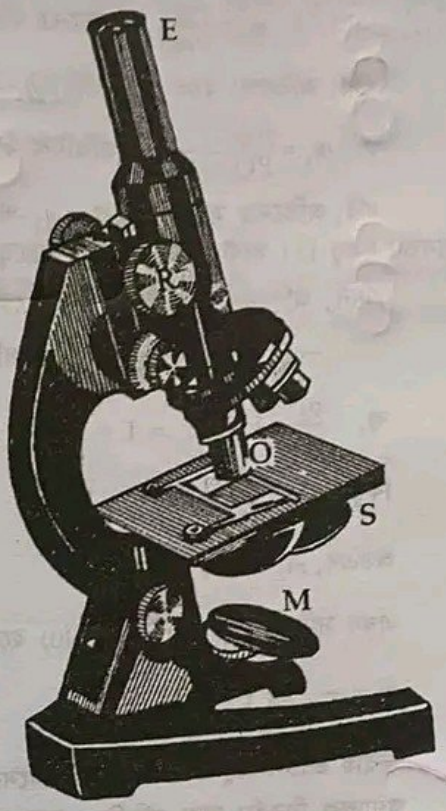
এ কারণে চোখ যথাসম্ভব লেন্সের নিকটে রাখলে প্রতিবিম্ব সবচেয়ে স্পষ্ট ও বিবর্ধিত দেখাবে।

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

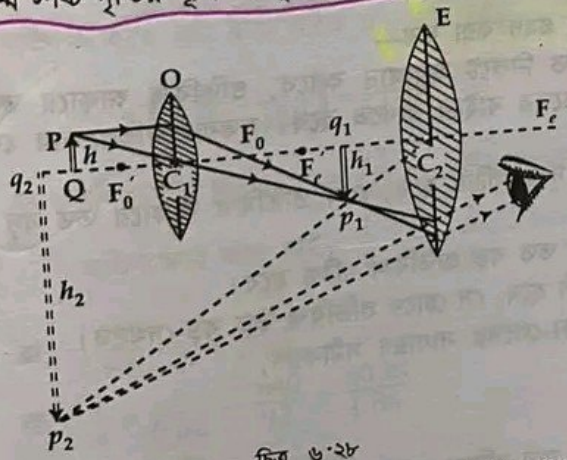
সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন ক্ষমতা তার লেন্সের ফোকাস দূরত্বের ওপর নির্ভর করে। ফোকাস দূরত্ব যত কম হবে বিবর্ধন ক্ষমতা তত বেশি হবে। ফোকাস দূরত্ব যত ইচ্ছা কমানো সম্ভব নয়। অতএব অতি ক্ষুদ্র বস্তুকে

প্রয়োজনমতো বিবর্ধিত করা যায় না। সেজন্য জটিল বা যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। 1610 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী গ্যালিলিও যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র আবিষ্কার করেন। এই যন্ত্রের সাহায্যে অতি ক্ষুদ্র বস্তুকে বহুগুণে বর্ধিত করে দেখা যায়। এটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র অপেক্ষা অধিক মাত্রার বিবর্ধন ক্ষমতার অধিকারী। কোনো বস্তু থেকে আগত আলোক রশ্মি আমাদের চোখে যে কোণ করে তাকে বীক্ষণ কোণ বলে। বীক্ষণ কোণ বড় হলে বস্তু বড় দেখায় আর ছোট হলে বস্তু ছোট দেখায়।

মূলনীতি ও বর্ণনা : যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে দুটি উত্তল লেন্স আছে। একটি **অভিলক্ষ্য** (Objective), O এবং অপরটি **অভিনেত্র** (Eye-piece), E [চিত্র ৬·২৭]। অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ ছোট। একে সর্বদা বস্তুর দিকে রাখা হয়। আলোক রশ্মি অভিলক্ষ্য দ্বারা প্রতিসৃত হওয়ার পর বাস্তব উল্টা বিবর্ধিত বিম্ব গঠিত হয়। অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষ বড়। অভিনেত্রকে পর্যবেক্ষকের চোখের দিকে থাকে। লেন্স দুটিকে টানা নলের (Draw Tube) মধ্যে রেখে একটি মূল নলের (Main Tube) দুই প্রান্তে সমাক্ষভাবে স্থাপন করা হয় যাতে তাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিবর্তন করা যায়। মূল নলটিকে একটি দণ্ড B-এর সাথে স্থাপন করা হয় এবং স্ক্রু R-এর সাহায্যে উঠানামা করা হয়। লক্ষ্যবস্তু রাখার জন্য একটি পাটাতন আছে। মনে করি এটি S। M একটি অবতল দর্পণ। এর সাহায্যে পাটাতনের ওপর আলোক ফেলে বস্তুটিকে আলোকিত করা হয়। অভিনেত্রটিকে অপর একটি স্ক্রু-এর সাহায্যে উপরে উঠিয়ে বা নিচে নামিয়ে বস্তুটির একটি সুস্পষ্ট এবং বিবর্ধিত, সোজা এবং অবাস্তব প্রতিবিম্ব স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্বে গঠন করা হয়।



চিত্র ৬·২৭



চিত্র ৬·২৮

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। ৬·২৮ 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, $m = \dfrac{\text{প্রতিবিম্বের আকার}}{\text{বস্তুর আকার}}$

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

$$= m_1 \times m_2 \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (6.38)$$

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

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

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

$\therefore \quad m_1 = \frac{p_1q_1}{PQ} = -\frac{v}{u}$ (প্রতিবিম্ব উল্টা, তাই ঋণ চিহ্ন) ... ... (6.39)

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

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

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

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

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

অতএব, $m_2 = 1 + \frac{D}{f_e}$ ... ... (6.40)

এখন সমীকরণ (6.39) এবং (6.40) হতে m_1 ও m_2-এর মান সমীকরণ (6.38)-এ বসিয়ে পাই,

$$m = -\frac{v}{u}\left(1 + \frac{D}{f_e}\right) \quad \text{... ... ...} \quad (6.41)$$

ইহাই জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধনের রাশিমালা।

ঋণাত্মক বিবর্ধন দ্বারা প্রতিবিম্ব উল্টা বুঝায়।

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

সিদ্ধান্ত : ওপরের সমীকরণ হতে নিম্নলিখিত সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা যায়—

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

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

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

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

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

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

$\therefore \quad \frac{v}{u} = \left(\frac{v}{f_0} - 1\right)$, সুতরাং সমীকরণ (6.41)-এ এই মান বসিয়ে পাই,

$$m = -\left(\frac{v}{f_0} - 1\right)\left(1 + \frac{D}{f_e}\right) \quad \text{... ... ...} \quad (6.42)$$

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

= অভিলক্ষ্যে প্রতিবিম্বের দূরত্ব + অভিনেত্রে বস্তুর দূরত্ব

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

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

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৬

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

আমরা জানি, সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষেত্রে,

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

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

এখানে,

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

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

$m = ?$

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

আমরা জানি,

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

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

∴ সমীকরণ (i) হতে পাই,

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

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

বা, $\frac{1}{u} = \frac{128}{7}$

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

অভিলক্ষ্য হতে এটা দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব দূরত্ব,

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

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

∴ অভিলক্ষ্যের জন্য পাই, $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

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

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

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

অর্থাৎ অভিলক্ষ্য হতে বস্তু দূরত্ব = 0·023 m

৬.১৪ টেলিস্কোপ (দূরবীক্ষণ যন্ত্র)

Telescope

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

(১) প্রতিসরণ দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Refracting telescope) এবং

(২) প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Reflecting telescope)।

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

(ক) নভো বা জ্যোতিষ দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Astronomical telescope),
(খ) ভূ-দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Terrestrial telescope) এবং
(গ) গ্যালিলীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Galilean telescope)।

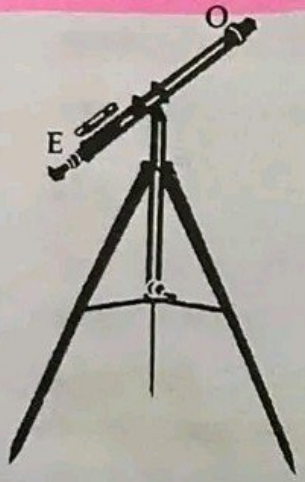
প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্য অবতল দর্পণের তৈরি। প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রকে আবার তিন ভাগে ভাগ করা হয়েছে, যথা—

(ক) নিউটনের দূরবীক্ষণ যন্ত্র,
(খ) গ্রেগরীর দূরবীক্ষণ যন্ত্র এবং
(গ) হারসেলের দূরবীক্ষণ যন্ত্র।

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

৬·১৪·১ নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র
Astronomical telescope

চন্দ্র, সূর্য, গ্রহ, নক্ষত্র প্রভৃতি নভোমণ্ডলীয় বস্তু পর্যবেক্ষণে যে দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাকে নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র বলে [চিত্র ৬·২৯]। ডেনমার্কের বিখ্যাত জ্যোতির্বিদ **কেপলার** 1611 খ্রিস্টাব্দে এটি সর্বপ্রথম উদ্ভাবন করেন।

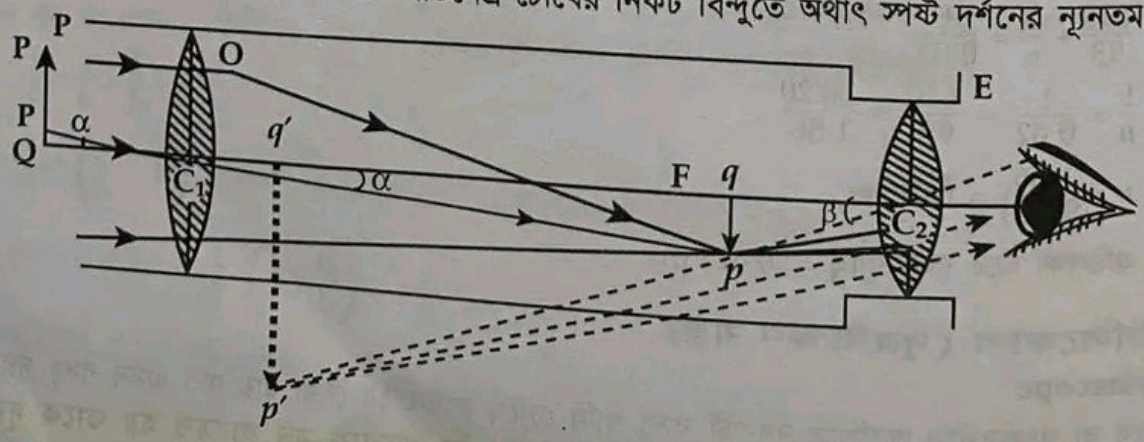


চিত্র ৬·২৯

বর্ণনা : এই যন্ত্র প্রধানত দুটি উত্তল লেন্স দ্বারা গঠিত—একটি অভিলক্ষ্য (Objective), O এবং অপরটি অভিনেত্র (Eye-piece) E [চিত্র ৬·২৯]। অভিলক্ষ্য ক্রাউন কাচের তৈরি। একে সর্বদা লক্ষ্যবস্তুর দিকে রাখা হয়। এর ফোকাস দূরত্ব f_o এবং উন্মেষ বড়। অভিনেত্র ফ্লিন্ট কাচের তৈরি। একে দর্শক চোখের দিকে রেখে বস্তু দেখে। এর ফোকাস দূরত্ব f_e এবং উন্মেষ ছোট। লেন্স দুটিকে দুটি টানা নলের মধ্যে রেখে একটি লম্বা নলের দুই প্রান্তে সমাক্ষভাবে স্থাপন করা হয়। ফলে প্রয়োজন মতো লেন্স দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিবর্তন করা যায়।

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

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

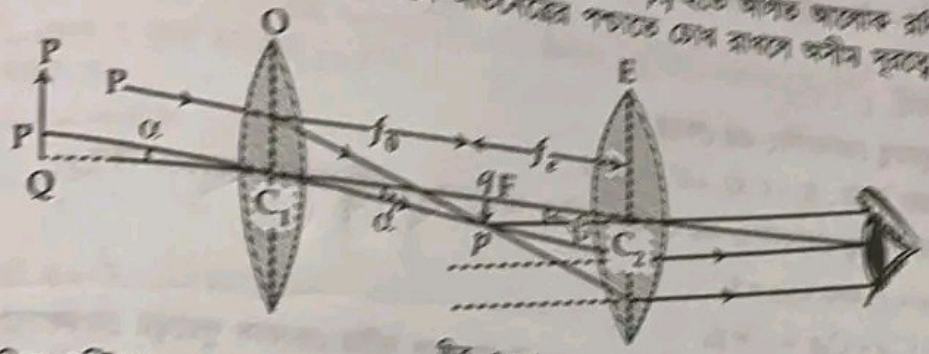


চিত্র ৬·৩০

অবাস্তব, বিবর্ধিত এবং সিধা তবে মূল বস্তুর সাপেক্ষে উল্টো প্রতিবিম্ব $p'q'$ গঠন করে [চিত্র ৬·৩০]। 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।

অভিনেত্রের বা নিকটি সরিয়ে pq-কে তার ফোকাস তলে গঠন করলে pq হতে আগত আলোক রশ্মিগুচ্ছ অভিনেত্র থেকে সমান্তরালে প্রতিসৃত হয় [চিত্র ৬·৩১]। ফলে অভিনেত্রের পশ্চাতে চোখ রাখলে অসীম দূরত্বে এর একটি উল্টো

চিত্র ৬·৩১



বিবর্ধিত 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 রশ্মিগুচ্ছ পরস্পর সমান্তরালে প্রতিসৃত হয় [চিত্র ৬·৩১]। 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

$$m = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{C_1q}{C_2q} = \frac{f_0}{f_e} \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.43)$$

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

(ক) অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব বৃদ্ধি করে এবং

(খ) অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব কমিয়ে।

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

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

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

অতএব, লেন্সের সমীকরণ

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

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

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

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

এখন, C_1q = অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব = f_0

অতএব, বিবর্ধন ক্ষমতা,

$$m = \frac{C_1q}{C_2q} = \frac{f_0}{u} = f_0\left(\frac{D + f_e}{D \times f_e}\right) = f_0\left(\frac{1}{D} + \frac{1}{f_e}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.44)$$

বা, $$m = \frac{f_0}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (6.45)$$

২। ... 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,

$\therefore \quad f_0 + f_e = 0{\cdot}36 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots$ (i)

এবং $m = \dfrac{f_0}{f_e}$

বা, $4 = \dfrac{f_0}{f_e}$

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

এখন সমীকরণ (i) এবং (ii) হতে পাই,

$4f_e + f_e = 0{\cdot}36$

বা, $5f_e = 0{\cdot}36$

$\therefore \quad f_e = \dfrac{0{\cdot}36}{5} = 0{\cdot}072 \text{ m}$

এখন সমীকরণ (ii) হতে পাই,

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

$\therefore$ অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব = 0·288 m এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব = 0·072 m

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

আমরা জানি,

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

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

এখানে

অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব, $f_0 = 45$ cm

অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব, $f_e = 5$ cm

স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব, $D = 25$ cm

নলের দৈর্ঘ্য, $l = ?$

বিবর্ধন, $m = ?$

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

$= 45 + \dfrac{25}{6} = 49{\cdot}2 \text{ cm}$

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

$= 9 \times \left(1 + \dfrac{1}{5}\right) = 9 \times \dfrac{6}{5} = 10{\cdot}8$

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের সুবিধা :

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রে চারটি সুবিধা পরিলক্ষিত হয়; যথা—

(ক) এটি অধিক পরিমাণে বিবর্ধন সৃষ্টি করে,
(খ) এর দৃষ্টিক্ষেত্র প্রশস্ত,
(গ) প্রতিবিম্ব প্রায় ত্রুটিমুক্ত (aberration free) এবং
(ঘ) প্রয়োজনে ক্রসওয়ার এবং মাইক্রোমিটার স্ক্রু ব্যবহার করা হয়।

নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অসুবিধা :

এই যন্ত্রের দুটি অসুবিধা পরিলক্ষিত হয়; যথা—

(ক) নলটি খুবই দীর্ঘ হওয়ায় যন্ত্রটি বেশ বড় হয়, এবং
(খ) এই যন্ত্র বস্তুর উল্টা প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে বলে ভূপৃষ্ঠের দূরের বস্তু পর্যবেক্ষণে ব্যবহারযোগ্য হয় না।

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

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

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

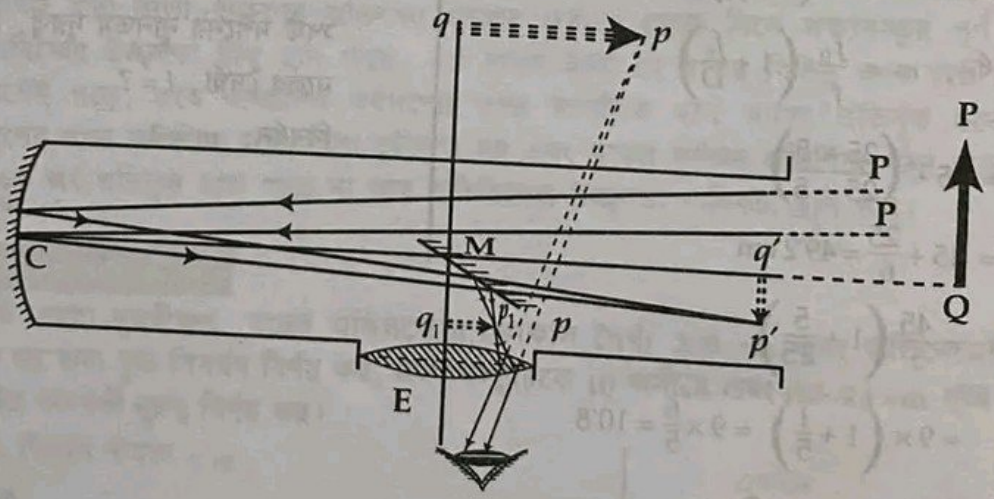
প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্য হিসেবে লেন্স ব্যবহার করা হয়। লেন্সের মধ্য দিয়ে প্রতিসরণের সময় সাদা আলোক রশ্মি সাতটি বর্ণের রশ্মিতে বিশ্লিষ্ট হয়ে পড়ে। ফলে এক এক বর্ণের আলোর দরুন লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব বর্ণিল ও ঝাপসা প্রতিবিম্ব গঠন করে যা **বর্ণাপেরণ** নামে পরিচিত। অন্যদিকে প্রতিফলন দূরবীক্ষণ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

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

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

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

এই যন্ত্রে একটি ফাঁপা নলের এক প্রান্তে বড় ফোকাস দূরত্ব ও উন্মেষের একটি অবতল দর্পণ C থাকে এবং অপর প্রান্ত খোলা থাকে [চিত্র ৬·৩২]। 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 ৬·৩২

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 দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে দেখানো যায় যে,

$$\text{বিবর্ধন, } m = f_0\left(\frac{1}{D}+\frac{1}{f_e}\right) \quad \ldots \ldots \ldots \quad (6.48)$$

এখানে, D হলো স্পষ্ট দৃষ্টির ন্যূনতম দূরত্ব।

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

$$\text{বিবর্ধন, } m = \frac{f_0}{f_e} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (6.49)$$

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

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

প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রের সুবিধা ও অসুবিধা

সুবিধা :

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

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

(৩) একই আকৃতির প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্রের চেয়ে প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র তৈরিতে খরচ অনেক কম হয়।

অসুবিধা :

(১) দর্পণটি সহজে নড়ে যেতে পারে, ফলে নলের সমাক্ষ লাভ হতে পারে।

(২) সুবিধাজনক জায়গায় বিম্ব দেখার জন্য একটি গৌণ দর্পণ ব্যবহার করতে হয়। এই দর্পণ এবং তার ধারক অপবর্তন ঘটাতে পারে।

(৩) প্রতিফলক দূরবীক্ষণের নলের বাইরের মুখ খোলা থাকায় দর্পণ প্রায়শই পরিবর্তনের প্রয়োজন হয়।

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

অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বৈশিষ্ট্য :

(১) নিকটবর্তী অতি ক্ষুদ্র বস্তু পর্যবেক্ষণের কাজে ব্যবহৃত হয়।

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

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

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

(৫) চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব লক্ষ্যবস্তুর সাপেক্ষে উল্টা হয়।

দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বৈশিষ্ট্য :

(১) দূরের বস্তু দেখার কাজে ব্যবহৃত হয়।

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

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

(৪) অভিলক্ষ্যে লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব তার ফোকাস তলে গঠিত হয়।

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

বস্তুদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব Δd হলে অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা,

$$R = \frac{1}{\Delta d} = \frac{2\mu \sin\theta}{\lambda}$$

, এখানে, λ = ব্যবহৃত আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য, μ = বস্তুদ্বয় ও অণুবীক্ষণ যন্ত্রের মধ্যবর্তী মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক এবং θ = অভিলক্ষ্যের ব্যাসার্ধ কর্তৃক যে কোনো একটি বস্তুতে উৎপন্ন কোণ।

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

$$R = \frac{1}{\Delta\theta} = \frac{a}{1{\cdot}22\,\lambda}$$

, এখানে, a = নভোবীক্ষণের অভিলক্ষ্যের ব্যাস।

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

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

গাণিতিক উদাহরণ ৬.৮

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

এখানে,
অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব, $f_o = 2\text{ cm}$
অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব, $f_e = 6\text{ cm}$
লেন্সের মধ্যবর্তী দূরত্ব, $L = 20\text{ cm}$
স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব, $D = 25\text{ cm}$

আমরা জানি, অভিনেত্রের ক্ষেত্রে

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

অভিনেত্র অসদ বা অবাস্তব বিম্ব গঠন করে, তাই

$v = -25\text{ cm}$

[∵ বিম্ব স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে গঠিত]

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

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

বা, $u = \frac{6 \times 25}{31} = 4{\cdot}83\text{ cm}$

সুতরাং অভিলক্ষ্যের প্রতিবিম্বের দূরত্ব, $v_1 = (L - u) = 20 - 4{\cdot}83 = 15{\cdot}17\text{ cm}$

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

$$= \left(\frac{15{\cdot}17}{2} - 1\right)\left(1 + \frac{25}{6}\right)$$

$$= (6{\cdot}58)\,(5{\cdot}167) \simeq 34$$

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

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

আমরা জানি,
দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিশ্লেষণী ক্ষমতা,

$$R = \frac{a}{1{\cdot}22\,\lambda} = \frac{205}{1{\cdot}22 \times 5800 \times 10^{-8}}$$

$$= 2{\cdot}897 \times 10^{6}$$

৬.১৬ প্রিজমে আলোর প্রতিসরণ ও বিচ্ছুরণ
Refraction and dispersion of light in a prism

প্রিজম
Prism

প্রিজমের সংজ্ঞা সম্পর্কে বিভিন্ন পদার্থবিদ বিভিন্ন ধারণা পোষণ করেন। 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।

(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।