জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান
Geometrical Optics

ইউনিট ৬

ভূমিকা (Introduction)

আলো এবং এর ধর্মসমূহের আলোচনা পদার্থবিজ্ঞানের অন্যতম গুরুত্বপূর্ণ বিষয়। চারিপাশের বিভিন্ন বস্তু সম্পর্কে আমরা যে জ্ঞান লাভ করি তার অনেকটাই হলো আমাদের দেখার ক্ষমতার সরাসরি ফল (তাছাড়া স্পর্শ, গন্ধ, স্বাদ ইত্যাদি দিয়েও বস্তু সম্পর্কে কিছুটা ধারণা লাভ করা যায়)। আলোর বিভিন্ন ধর্ম সম্পর্কিত ধারণা ও তত্ত্বের অবতারণা এবং ঐতিহাসিক বিবর্তন হয়েছে। এই সব তত্ত্বের আবিষ্কারের কাহিনীও বেশ আকর্ষণীয়। এসব আবিষ্কারের ফলে আমাদের চারিপাশের তো বটেই এমনকি বহুদূরের অনেক প্রাকৃতিক ঘটনারও ব্যাখ্যা পাওয়া যায়।

পদার্থবিজ্ঞানের যে শাখায় আলো সম্পর্কে আলোচনা করা হয় তাকে আলোকবিজ্ঞান (Optics) বলে। আলোকবিজ্ঞান দুই অংশে বিভক্ত ঃ-

ক) **জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান (Geometrical Optics)** ঃ জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞানে আলোর ধর্মসমূহ এবং তাদের ফলাফল আলোচিত হয়। আলোর প্রকৃতি সম্পর্কে কোনো আলোচনা এর অন্তর্ভুক্ত নয়।

খ) **ভৌত আলোকবিজ্ঞান (Physical Optics)** ঃ ভৌত আলোকবিজ্ঞান আলোর প্রকৃতি সম্পর্কে বিভিন্ন তত্ত্বের আলোচনা করে এবং এই সকল তত্ত্বের উপর ভিত্তি করে আলো সম্পর্কিত বিভিন্ন ঘটনার ব্যাখ্যা দেয়।

আমরা এই অধ্যায়ে জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞানে আলোচনা সীমাবদ্ধ রাখবো। এই আলোচনার মাধ্যমে আমরা আলোর প্রতিফলন, প্রতিসরণ এবং এদের সূত্র ও তথ্যাবলি, ফার্মাটের নীতি ও এর যৌক্তিকতা, প্রিজম ও লেন্সের গঠন, গাণিতিক রূপ ও ব্যবহার, অনুবীক্ষণ ও দূরবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন ও কার্যপ্রনালী সম্পর্কে বিশদভাবে জানতে পারবো।

পাঠ-৬.১ : আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণের সূত্রাবলি
Laws of Reflection and Refraction

উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- আলোর প্রতিফলন এবং এর সূত্রাবলি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- আলোর প্রতিসরণ এবং এর সূত্রাবলি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৬.১.১ প্রতিফলন, প্রতিসরণ ও শোষণ (Reflection, Refraction and Absorption):

কোনো রশ্মিগুচ্ছ একটি সমসত্ব মাধ্যমের মধ্যে দিয়ে অগ্রসর হয়ে যখন ঐ মাধ্যম ও অপর একটি সমসত্ব মাধ্যমের বিভেদতলে আপতিত হয়, তখন সাধারণত নিম্নলিখিত ঘটনাগুলো ঘটে ঃ

ক) আপতিত রশ্মির কিছু অংশ বিভেদতল থেকে পুনরায় প্রথম মাধ্যমে ফিরে আসে। এই ঘটনাকে **আলোর প্রতিফলন** বলে।

খ) আপতিত রশ্মিগুচ্ছের কিছুটা অংশ দ্বিতীয় মাধ্যম শোষণ করে।

গ) প্রতিফলিত ও শোষিত হবার পর আপতিত রশ্মিগুচ্ছের অবশিষ্টাংশ দ্বিতীয় মাধ্যমে মধ্য দিয়ে অগ্রসর হয়। এই অংশকে **প্রতিসরিত আলো** বলে। আলোকরশ্মি, প্রথম স্বচ্ছ ও সমসত্ব মাধ্যম থেকে দ্বিতীয় স্বচ্ছ ও সমসত্ব মাধ্যমের বিভেদতলে

তীর্যকভাবে আপতিত হলে রশ্মিগুচ্ছ বিভেদতল থেকে দিক পরিবর্তন করে অন্য একটি সরলরেখা বরাবর চলে। এই ঘটনাকে **আলোর প্রতিসরণ** বলে।

সংক্ষেপে বলা যায়, **আপতিত আলো = প্রতিফলিত আলো + শোষিত আলো + প্রতিসরিত আলো।**

আপতিত আলোর কতটুকু অংশ প্রতিফলিত হবে সেটি (ক) সংশিণ্ষ্ট মাধ্যমদ্বয়ের প্রকৃতি এবং (খ) আলো বিভেদতলে যে কোণে আপতিত হয় তার উপর নির্ভর করে। উদাহরণ স্বরূপ যখন আলো বায়ু থেকে সাধারণ কাচের পাতের উপর লম্ব ভাবে আপতিত হয় তখন আপতিত আলোর প্রায় 4% পুনরায় বায়ু মাধ্যমে ফিরে আসে। আলো বায়ু থেকে সমতল দর্পণের উপর লম্ব ভাবে আপতিত হয় তখন আপতিত আলোর প্রায় 85% থেকে 90% প্রতিফলিত হয়।

আপতিত আলো দ্বিতীয় মাধ্যমে সম্পূর্ণ রূপে শোষিত হলে কোনো আলোই প্রতিফলিত হয় না এবং দ্বিতীয় মাধ্যম কালো দেখায়। বাস্ড়বে কোনো্ বস্তুই সম্পূর্ণ কালো হয় না; অর্থাৎ সকল বস্তুপৃষ্ঠ হতে কিছু না কিছু পরিমাণ আলো প্রতিফলিত হয়।

বিভেদতলের বৈশিষ্ট্যের উপরেও প্রতিফলনের পরিমাণ নির্ভর করে।

বিভেদতলের বৈশিষ্ট্য ঃ

(ক) বিভেদতল যত বেশী মসৃণ হবে তত বেশী আলোক রশ্মি প্রতিফলিত হবে।

(খ) বিভেদতল যত স্বচ্ছ হবে তত কম আলোক রশ্মি প্রতিফলিত হবে।

(গ) বিভেদতল কালো হলে প্রায় সমস্ড় আলোক রশ্মি শোষণ করবে ফলে কোনো আলোক রশ্মি প্রতিফলিত হবে না। সেই কারণে ভালো ক্যামেরা ও দূরবীক্ষণ যন্ত্রের ভিতরে কালো রং করা থাকে।

(ঘ) বিভেদতল যত পালিশ হবে তত কম আলো দ্বিতীয় মাধ্যমে প্রবেশ করবে এবং তত কম আলো শোষিত হবে। বিভেদতল সাদা হলে কোনো আলো শোষিত হয় না। প্রতিবিম্বের উজ্জ্বলতা বৃদ্ধির জন্য সিনেমার পর্দা সাদা করা হয়।

(ঙ) বিভেদতল স্বচ্ছ হলে আলোক রশ্মি অভিলম্বের সাথে যত বেশী কোণে আপতিত হবে তত বেশী আলো প্রতিফলিত হবে।

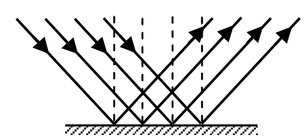
৬.১.২ প্রতিফলন (Reflection):

আলো এক মাধ্যম থেকে অন্য মাধ্যমে যাবার সময় এর কিছু অংশ মাধ্যম দুটির বিভেদতলে বাধা পেয়ে প্রথম মাধ্যমে ফিরে আসে। আলোর এই ঘটনাকে প্রতিফলন বলে।

প্রতিফলনের প্রকারভেদ (Types of Reflection):

প্রতিফলন দুই রকম হয়ে থাকে; যথা-

(ক) **নিয়মিত বা সুষম প্রতিফলন (Regular Reflection) :** একটি মসৃণ পৃষ্ঠে সমান্ড়রাল আলোক রশ্মিগুচ্ছ আপতিত হলে যদি প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ পরস্পর সমান্ড়রাল হয় তবে সেই প্রতিফলনকে নিয়মিত প্রতিফলন বলে (চিত্র নং ৬.১)।

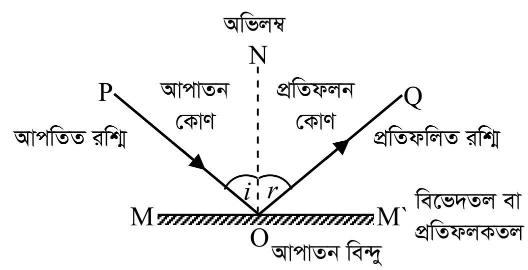


চিত্র ৬.১

(খ) **অনিয়মিত বা বিষম প্রতিফলন (Irregular Reflection) :** একটি মসৃণ পৃষ্ঠে সমান্ড়রাল আলোক রশ্মিগুচ্ছ আপতিত হলে যদি প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ পরস্পর সমান্ড়রাল না হয় তবে সেই প্রতিফলনকে অনিয়মিত প্রতিফলন বলে (চিত্র নং ৬.২)।

৬.১.৩ কয়েকটি প্রয়োজনীয় সংজ্ঞা (Some Important Definations) :

মনে করি, MOM' একটি মসৃণ প্রতিফলকতল (চিত্র ৬.৩)। এর O বিন্দুতে PO একটি আলোক রাশ্মি আপতিত হয়ে OQ পথে প্রতিফলিত হয়েছে। MOM' প্রতিফলকতলের উপর O বিন্দুতে ON অভিলম্ব টানা হয়েছে (কোনো তলের উপর অঙ্কিত লম্বকে অভিলম্ব বলে)। PO আলোক রাশ্মি ON এর সাথে $\angle PON = \angle i$ কোণে আপতিত হয়েছে এবং OQ আলোক রশ্মি ON এর সাথে $\angle QON = \angle r$ কোণে প্রতিফলিত হয়েছে।



চিত্র ৬.৩

আপতিত রশ্মি (Incident Ray) ঃ কোনো প্রতিফলকতলে যে আলোক রশ্মি পতিত হয় তাকে আপতিত রশ্মি বলে। (৬.৩ নং) চিত্রে PO আপতিত রশ্মি।

প্রতিফলিত রশ্মি (Reflected Ray) ঃ কোনো আলোক রশ্মি প্রতিফলনের পর প্রতিফলকতল থেকে যে রশ্মি পূর্বের মাধ্যম ফিরে আসে তাকে প্রতিফলিত রশ্মি বলে। (৬.৩ নং) চিত্রে OQ প্রতিফলিত রশ্মি।

আপতন বিন্দু (Point of Incidence) ঃ কোনো প্রতিফলকতলের যে বিন্দুতে রশ্মি আপতিত হয় সেই বিন্দুকে আপতন বিন্দু বলে। (৬.৩ নং) চিত্রে O আপতন বিন্দু।

অভিলম্ব (Normal) ঃ আপতন বিন্দুতে প্রতিফলকতলের অঙ্কিত অভিলম্বকে আলোকবিজ্ঞানে অভিলম্ব বিবেচনা করা হয়। (৬.৩ নং) চিত্রে ON অভিলম্ব।

আপতন কোণ (Angle of Incidence) ঃ আপতিত রশ্মি ও অভিলম্বের মধ্যবর্তী কোণকে আপতন কোণ বলে। এই কোণকে i দিয়ে প্রকাশ করা হয়। (৬.৩ নং) চিত্রে $\angle PON = i$ আপতন কোণ।

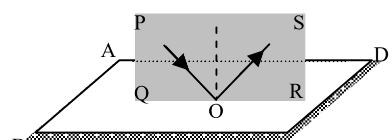
প্রতিফলন কোণ (Angle of Reflection) ঃ প্রতিফলিত রশ্মি ও অভিলম্বের মধ্যবর্তী কোণকে প্রতিফলন কোণ বলে। এই কোণকে r দিয়ে প্রকাশ করা হয়। (৬.৩ নং) চিত্রে $\angle QON = r$ প্রতিফলন কোণ।

এখানে লক্ষণীয় যে, সর্বদা আলোক রশ্মি এবং অভিলম্বের মধ্যবর্তী কোণই মাপা হয়। রশ্মি এবং প্রতিফলকতলের মধ্যবর্তী কোণ মাপা হয় না। এর ফলে প্রতিফলকতলের প্রকৃতি সমতল বা বক্র যাই হোক না কেন, তার আর গুরুত্ব থাকে না।

৬.১.৪ প্রতিফলনের সূত্র (Laws of Reflection) :

পরীক্ষা করে দেখা গেছে প্রতিফলনের ক্ষেত্রে আলো সর্বদা নিম্নলিখিত দুটি সূত্র মেনে চলে,

প্রথম সূত্র ঃ আপতিত আলোক রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি এবং আপতণ বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব একই তলে অবস্থান করে।



চিত্র ৬.৪

(৬.৪ নং) চিত্রে $ABCD$ একটি সমতল দর্পণ। O বিন্দুতে একটি আলোক রশ্মি অভিলম্বের সাথে কোনো এক কোণে আপতিত হয়ে একই কোণে প্রতিফলিত হয়েছে। $PQRS$ অপর একটি কাল্পনিক তল বিবেচনা করা হয়েছে যে তলটিতে আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি এবং অভিলম্ব অবস্থিত। এই তলটি দর্পণের উপর লম্ব এবং QOR রেখাটি দর্পণকে স্পর্শ করে আছে। প্রতিফলনের প্রথম সূত্রে এই তলটিকেই নির্দেশ করা হয়েছে।

দ্বিতীয় সূত্র ঃ আপতিত কোণ একং প্রতিফলন কোণ সর্বদা সমান হয়। অথাৎ $\angle i = \angle r$ ।

অভিলম্ব আপতনের ক্ষেত্রে আপতিত রশ্মি প্রতিফলকতলের উপর লম্বভাবে পড়ে এবং আপতন কোণ শূন্য হয়। ফলে প্রতিফলন কোণও শূন্য হয়। অর্থাৎ এক্ষেত্রে প্রতিফলিত রশ্মি একই পথে ফিরে আসে।

৬.১.৫ প্রতিসরণ (Refraction) :

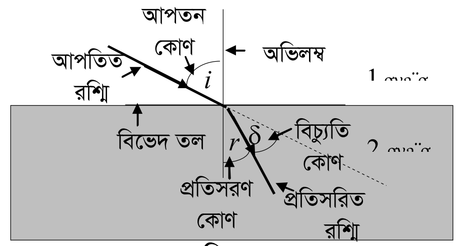
আলোক রশ্মি যখন এক স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যম থেকে অন্য আর এক স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যমে তীর্যক ভাবে প্রবেশ করে তখন এই দুই মাধ্যমের বিভেদতল থেকে এটি দিক পরিবর্তন করে (চিত্র ৬.৫)। বিভেদতল থেকে আলোক রশ্মির এই দিক পরিবর্তনকে আলোকের প্রতিসরণ বলে। দ্বিতীয় মাধ্যমের রশ্মিটিকে প্রতিসরিত রশ্মি (Refracted Ray) বলা হয়। যে তলে প্রতিসরণ হয় তাকে প্রতিসারক তল বা বিভেদ তল (Refracting Surface) বলে। আপতিত রশ্মি প্রতিসারকতলের অভিলম্বের সাথে যে কোণে আপতিত হয় তাকে আপতন কোণ (Angle of Incidence) বলে এবং এই কোণকে i দিয়ে প্রকাশ করা হয়। প্রতিসরিত রশ্মি অভিলম্বের সাথে যে কোণে দ্বিতীয় মাধ্যমে সঞ্চালিত হয় তাকে প্রতিসরণ কোণ (Angle of Refraction) বলে। এবং এই কোণকে r দিয়ে প্রকাশ করা হয়। যদি আলোক রশ্মি আলোর সাপেক্ষে হালকা মাধ্যম (বায়ু) থেকে আলোর সাপেক্ষে ঘন মাধ্যমে (কাচ) প্রবেশ করে তবে প্রতিসরিত রশ্মি অভিলম্বের দিকে বেঁকে যায় অর্থাৎ $i > r$ হয় এবং যদি আলোক রশ্মি ঘন মাধ্যম থেকে হালকা মাধ্যমে প্রবেশ করে তবে প্রতিসরিত রশ্মি অভিলম্ব থেকে দুরে সরে যায় অর্থাৎ $r > i$ হয়।

৬.১.৬ প্রতিসরণের সূত্র (Laws of Refraction) :

আলোর প্রতিসরণ দুইটি সূত্র মেনে চলেঃ

১। আপতিত রশ্মি, প্রতিসরিত রশ্মি এবং বিভেদ তলের আপতন বিন্দুতে অংকিত অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থান করে।

২। এক জোড়া নির্দিষ্ট স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যম এবং তীর্যক ভাবে আপতিত নির্দিষ্ট বর্ণের একটি আলোকরশ্মির জন্য আপাতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা। একে স্নেলের সূত্রও বলা হয়।



চিত্র ৬.৫

আপাতন কোণ i এবং প্রতিসরণ কোণ r হলে স্নেলের সূত্রানুসারে, $\dfrac{\sin i}{\sin r} =$ ধ্রুবক $= {}_1\mu_2$ । এই ${}_1\mu_2$ কে প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক বলে। আপাতন কোণ পরিবর্তন করে i_1, i_2, i_3 ...... ইত্যাদি করলে যদি প্রতিসরণ কোণ পরিবর্তিত হয়ে r_1, r_2, r_3 ...... ইত্যাদি হয় তবে স্নেলের সূত্রানুসারে,

$$\frac{\sin i_1}{\sin r_1} = \frac{\sin i_2}{\sin r_2} = \frac{\sin i_3}{\sin r_3} = \cdots\cdots = \mu \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (৬.১)$$

μ এর মান আলোকরশ্মির বর্ণ ও মাধ্যমদ্বয়ের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। আলোকরশ্মি যখন a মাধ্যম থেকে b মাধ্যমে প্রতিসরিত হয় তখন প্রতিসরণাঙ্ক μ কে ${}_a\mu_b$ দিয়ে সূচিত করা হয়।

আলোকরশ্মি যখন এক স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যম থেকে অন্য আর এক স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যমে প্রবেশের সময় বিভেদ তলে অংকিত অভিলম্বের সাথে $0°$ কোণে আপতিত হয় তখন তাকে অভিলম্ব আপাতন বলে।

স্নেলের সূত্রানুসারে, $\mu = \dfrac{\sin i}{\sin r}$

অভিলম্ব আপাতনের ক্ষেত্রে, $i = 0°$

অতএব, $\mu = \dfrac{\sin 0°}{\sin r}$

বা, $\mu \sin r = 0$ [যেহেতু $\sin 0° = 0$]

বা, $\sin r = 0$ [যেহেতু $\mu \neq 0$]

বা, $r = 0$

অর্থাৎ অভিলম্ব আপতনের ক্ষেত্রে আলোকরশ্মি বিভেদ তলের সাথে অভিলম্ব ভাবে প্রতিসরিত হবে। এর কোন দিক পরিবর্তন হবে না।

৬.১: বায়ু মাধ্যম থেকে একটি আলোক রশ্মি ঘন মাধ্যমের বিভেদ তলে অভিলম্বের সাথে $30°$ কোণে আপতিত হলো। যদি বায়ুর সাপেক্ষে ঘন মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক 1.33 হলে ঘন মাধ্যমে বিভেদ তলে অভিলম্বের সাথে কত কোণে প্রতিসরিত হবে বের করুন।

সমাধান: দেয়া আছে, $i = 30°$, $\mu = 1.33$ এবং $r = ?$

আমরা জানি, $\mu = \dfrac{\sin i}{\sin r}$ বা, $\sin r = \dfrac{\sin i}{\mu}$

মান বসালে, $\sin r = \dfrac{\sin 30^0}{1.33} = \dfrac{0.5}{1.33} = 0.376$

বা, $r = \sin^{-1} 0.376 = 22.09°$

উত্তরঃ $22.09°$

সার-সংক্ষেপ :

আলোর প্রতিফলনঃ আপতিত রশ্মির কিছু অংশ বিভেদতল থেকে পুনরায় প্রথম মাধ্যমে ফিরে আসে। এই ঘটনাকে আলোর প্রতিফলন বলে।

আলোর প্রতিসরণঃ প্রথম স্বচ্ছ ও সমসত্ব মাধ্যম থেকে আলোকরশ্মি দ্বিতীয় স্বচ্ছ ও সমসত্ব মাধ্যমে বিভেদতলে তীর্যকভাবে আপতিত হলে রশ্মিগুচ্ছ বিভেদতল থেকে দিক পরিবর্তন করে। এই ঘটনাকে আলোর প্রতিসরণ বলে।

আপতিত রশ্মিঃ কোনো প্রতিফলকতলে যে আলোক রশ্মি পতিত হয় তাকে আপতিত রশ্মি বলে।

প্রতিফলিত রশ্মিঃ কোনো আলোক রশ্মি প্রতিফলনের পর প্রতিফলকতল থেকে যে রশ্মি পূর্বের মাধ্যম ফিরে আসে তাকে প্রতিফলিত রশ্মি বলে।

আপতন বিন্দুঃ কোনো প্রতিফলকতলের যে বিন্দুতে রশ্মি আপতিত হয় সেই বিন্দুকে আপতন বিন্দু বলে।

অভিলম্বঃ আপতন বিন্দুতে প্রতিফলকতলের অঙ্কিত অভিলম্বকে আলোক-বিজ্ঞানে অভিলম্ব বিবেচনা করা হয়।

আপতন কোণঃ আপতিত রশ্মি ও অভিলম্বে মধ্যবর্তী কোণকে আপতন কোণ বলে। এই কোণকে i দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

প্রতিফলন কোণ ঃ প্রতিফলিত রশ্মি ও অভিলম্বে মধ্যবর্তী কোণকে প্রতিফলন কোণ বলে। এই কোণকে r দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

প্রতিফলনের প্রথম সূত্র ঃ আপতিত আলোক রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি এবং আপাতর বিন্দুতে অঙ্কিত অভিলম্ব একই তলে অবস্থান করে।

প্রতিফলনের দ্বিতীয় সূত্র ঃ আপতিত কোণ একং প্রতিফলন কোণ সর্বদা সমান হয়। অথাৎ $\angle i = \angle r$ ।

প্রতিসরণের সূত্র প্রথম সূত্র ঃ আপতিত রশ্মি, প্রতিসরিত রশ্মি এবং বিভেদ তলের আপাতন বিন্দুতে অংকিত অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থান করে।

প্রতিসরণের সূত্র দ্বিতীয় সূত্র ঃ এক জোড়া নির্দিষ্ট স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যম এবং তীর্যক ভাবে আপতিত নির্দিষ্ট বর্ণের একটি আলোকরশ্মির জন্য আপাতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা। একে স্নেলের সূত্রও বলা হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৬.১

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

নীচের উদ্দীপকটি পড়ুন এবং ১, ২ ও ৩ নং প্রশ্নের উত্তর দিন। একটি রশ্মি কোনো প্রতিফলকের সঙ্গে 30° কোণে আপতিত হয়।

১। প্রতিফলন কোণ হবে

ক. 30° খ. 60°

গ. 100° ঘ. 120°

২। রশ্মিটির বিচ্যুতি হবে

ক. 30° খ. 60°

গ. 100° ঘ. 120°

৩। আপতিত এবং প্রতিফলিত রশ্মির মধ্যে কোণ হবে

ক. 30° খ. 60°

গ. 100° ঘ. 120°

পাঠ-৬.২ প্রতিসরণাঙ্ক ও স্নেলের সূত্রের সাধারণ রূপ

Refractive Index and is the General form of Snell's Law

উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- আপেক্ষিক ও পরম প্রতিসরণাঙ্ক ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- স্নেলের সূত্রের সাধারণ রূপ প্রতিপাদন করতে পারবেন।

৬.২.১ প্রতিসরণাঙ্ক (Refractive Index) : এক জোড়া নির্দিষ্ট স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যম এবং তীর্যক ভাবে আপতিত নির্দিষ্ট বর্ণের একটি আলোকরশ্মির জন্য আপাতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা। এই ধ্রুব সংখ্যাকে প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক বলে। যদি আলোকরশ্মি a মাধ্যমে i কোণে আপতিত হয়ে b মাধ্যমে r কোণে প্রতিসরিত হয় তবে a মাধ্যমের সাপেক্ষে b মাধ্যমে প্রতিসরণাঙ্ক, ${}_a\mu_b = \frac{\sin i}{\sin r}$

বিভিন্ন মাধ্যমে আলোর বেগ বিভিন্ন। আমরা আলোর বেগের সাহায্যেও প্রতিসরণাঙ্কের সংজ্ঞায়িত করতে পারি। কোনো মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক μ হলে শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ এবং সেই মাধ্যমে আলোর বেগের অনুপাত।

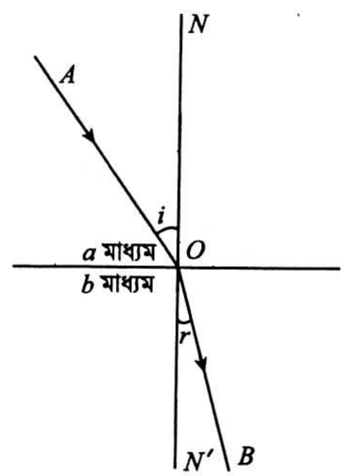
শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ c_o এবং সেই মাধ্যমে আলোর বেগের c_m হলে, $\mu = \frac{c_o}{c_m}$ .... (৬.২)

প্রতিসরণাঙ্ক দুই প্রকার, যথা- ১) আপেক্ষিক প্রতিসরণাঙ্ক ২) পরম প্রতিসরণাঙ্ক।

আপেক্ষিক প্রতিসরণাঙ্ক (Relative Refractive Index) :

এক স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যমের সাপেক্ষে অপর কোন স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ককে প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের আপেক্ষিক প্রতিসরণাঙ্ক বলে। সাধারণত: a মাধ্যমের সাপেক্ষে b মাধ্যমে প্রতিসরণাঙ্ককে ${}_a\mu_b$ দিয়ে লেখা হয়।

অর্থাৎ ${}_a\mu_b = \frac{\sin i}{\sin r}$ … … …… … …… … …… … ……… … …(৬.৩)



চিত্র : ৬.৬

Avgiv Rvwb, Av‡jvi MwZc_ cÖZ¨veZ©bkxj (Reversible)। অর্থাৎ গতিপথের কোনো বিন্দু থেকে যদি 180° বিচ্যুতি ঘটানো যায় তবে আলো একই পথে ফিরে আসবে। সুতরাং আলোক রশ্মি যদি b মাধ্যম থেকে এসে বিভেদতলে অভিলম্বের সাথে r কোণে আপতিতন হয়ে a মাধ্যমে i কোণে প্রতিসরিত হয় তবে b মাধ্যমের সাপেক্ষে a মাধ্যমে প্রতিসরণাঙ্ক ${}_b\mu_a = \frac{\sin r}{\sin i}$

myZivs ${}_a\mu_b \times {}_b\mu_a = \frac{\sin i}{\sin r} \times \frac{\sin r}{\sin i} = 1$

ev, ${}_a\mu_b = \frac{1}{{}_b\mu_a}$ … … …… … …… … …… ……… … …… …(৬.৪)

৬.২.২ পরম প্রতিসরণাঙ্ক (Absolute Refractive Index) :

শূন্য মাধ্যমের সাপেক্ষে কোন স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ককে ঐ মাধ্যমের পরম প্রতিসরণাঙ্ক বলে। স্পষ্টতঃ শূন্য স্থানের প্রতিসরণাঙ্ক 1।

কোনো মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক বলতে সাধারণত বায়ু মাধ্যমের সাপেক্ষে ঐ মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক বোঝায়। এটি মাধ্যমের পরম প্রতিসরণাঙ্ক নয়। শূন্য মাধ্যমের সাপেক্ষে বায়ু মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক μ_a = 1.002918 এবং বায়ুর সাপেক্ষে কাচে

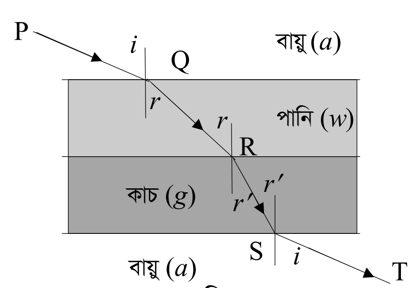
প্রতিসরণাঙ্ক 1.5। সুতরাং কাচের পরম প্রতিসরণাঙ্ক $\mu_g = \dfrac{1.5}{1.002918} = 1.49956$ এবং এই মানকে 1.5 ধরলে স্পষ্টত কোনো ত্র“টি হয় না। এই কারণে বায়ু মাধ্যমের সাপেক্ষে অন্য কোনো মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ককে পরম প্রতিসরণাঙ্ক হিসাবে বিবেচনা করা হয়। কোনো মাধ্যমের পরম প্রতিসরণাঙ্ককে μ দিয়ে প্রকাশ করা হয়। একাধিক মাধ্যম থাকলে μ_1, μ_2, μ_3 ইত্যাদি চিহ্ন দিয়ে প্রকাশ করা হয়। এমন কোনো মাধ্যমের অস্ড়িত্ব নেই যার $\mu < 1$।

পরম প্রতিসরণাঙ্ক ও আপেক্ষিক প্রতিসরণাঙ্কের মধ্যে পার্থক্য নীচে দেয়া হলো।

পরম প্রতিসরণাঙ্ক	**আপেক্ষিক প্রতিসরণাঙ্ক**
১) শূন্য মাধ্যমের সাপেক্ষে কোনো স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ককে পরম প্রতিসরণাঙ্ক বলে।	১) এক স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যমের অপর কোন স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ককে আপেক্ষিক প্রতিসরণাঙ্ক বলে।
২) শূন্য মাধ্যমে আলোক রশ্মি বিভেদ তলে অভিলম্বের সাথে i কোণে আপতিত হয়ে অপর কোন স্বচ্ছ সমসত্ব a মাধ্যমে r কোণে প্রতিসরিত হয় তবে পরম প্রতিসরণাঙ্ক, $\mu_a = \dfrac{\sin i}{\sin r}$	2) a মাধ্যমে আলোক রশ্মি বিভেদ তলে অভিলম্বের সাথে i কোণে আপতিত হয়ে অপর কোন স্বচ্ছ সমসত্ব b মাধ্যমে r কোণে প্রতিসরিত হয় তবে আপেক্ষিক প্রতিসরণাঙ্ক, ${}_a\mu_b = \dfrac{\sin i}{\sin r}$
3) শূন্য ও a মাধ্যমে আলোর বেগ যথাক্রমে c_o ও c_a হলে পরম প্রতিসরণাঙ্ক, $\mu_a = \dfrac{c_o}{c_a}$	৩) a ও b মাধ্যমে আলোর বেগ যথাক্রমে c_a ও c_b হলে প্রতিসরণাঙ্ক, ${}_a\mu_b = \dfrac{c_a}{c_b}$
৪) আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য না বদলালে কোনো স্বচ্ছ মাধ্যমের পরম প্রতিসরণাঙ্ক শুধু মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে।	৪) আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য না বদলালে কোনো স্বচ্ছ মাধ্যমের আপেক্ষিক প্রতিসরণাঙ্ক মাধ্যম দুইটির প্রকৃতির উপর নিভর করে।
৫) পরম প্রতিসরণাঙ্কের মান সর্বদাই একের চেয়ে বড় হয়।	৫) আপেক্ষিক প্রতিসরণাঙ্কের মান একের চেয়ে বড় বা ছোট হতে পারে।
৬) পরম প্রতিসরণাঙ্ক সরাসরি নির্ণয় করা যায়।	৬) a ও b মাধ্যমে পরম প্রতিসরণাঙ্ক যথাক্রমে যদি μ_a এবং μ_b হয় তবে a মাধ্যমের সাপেক্ষে b মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক ${}_a\mu_b = \dfrac{\mu_b}{\mu_a}$

৬.২.৩ আপেক্ষিক প্রতিসরণাঙ্কের ব্যাখ্যা (Explanation of Relative Refractive Index) :

মনে করি বায়ু (a), পানি (w), ও কাচ (g) তিনটি স্বচ্ছ ভিন্ন মাধ্যম পরস্পর সমান্ড়রাল ভাবে সজ্জিত আছে (চিত্র ৬.৭)। একটি এক বর্ণের আলোক PQ রশ্মি a ও w মাধ্যমে বিভেদ তলে অভিলম্বের সাথে i কোণে আপতিত হয়ে r কোণে QR পথে প্রতিসরিত হলো। এই প্রতিসরিত আলোক রশ্মি w ও g মাধ্যমের বিভেদ তলে অভিলম্বের সাথে r কোণে আপতিত হয়ে r' কোণে RS পথে প্রতিসরিত হলো (যেহেতু a ও w এবং w ও g এর বিভেদ তলদ্বয় সমান্ড়রাল তাই অভিলম্বদ্বয়ও সমান্ড়রাল)। এই প্রতিসরিত আলোক রশ্মি g ও a মাধ্যমের বিভেদ তলে অভিলম্বের সাথে r' কোণে আপতিত হয়ে i কোণে ST পথে নির্গত হবে, কারণ PQ ও ST আলোক রশ্মি একই মাধ্যমে অবস্থিত তাই রশ্মিদ্বয় সমান্ড়রাল।



চিত্র ৬.৭

চিত্রানুসারে, a মাধ্যমের সাপেক্ষে w মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক স্নেলের সূত্রানুসারে লেখা যায়, ${}_a\mu_w = \frac{\sin i}{\sin r}$

অনুরূপভাবে w মাধ্যমের সাপেক্ষে g মাধ্যমের এবং g মাধ্যমের সাপেক্ষে a মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক যথাক্রমে,

${}_w\mu_g = \frac{\sin r}{\sin r'}$ এবং ${}_g\mu_a = \frac{\sin r'}{\sin i}$

উপরের সমীকরণ তিনটিকে গুণ করে লেখা যায়,

$${}_a\mu_w \times {}_w\mu_g \times {}_g\mu_a = \frac{\sin i}{\sin r} \times \frac{\sin r}{\sin r'} \times \frac{\sin r'}{\sin i} = 1$$

বা, ${}_a\mu_w \times {}_w\mu_g \times \frac{1}{{}_a\mu_g} = 1$ (যেহেতু ${}_g\mu_a = \frac{1}{{}_a\mu_g}$)

সুতরাং, ${}_w\mu_g = \frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_w}$ ……………………………………………………………… (৬.৫)

(৬.৫) সমীকরণটি আপেক্ষিক প্রতিসরণাঙ্কের সমীকরণ নির্দেশ করে।

GLb a gva¨‡g Av‡jvi †eM c_a n‡j a gva¨‡gi cÖwZmiYv¼ $\mu_a = \frac{c_o}{c_a}$

Ges b gva¨‡g Av‡jvi †eM c_b n‡j b gva¨‡gi cÖwZmiYv¼ $\mu_b = \frac{c_o}{c_b}$

Zvn‡j, $\frac{\mu_b}{\mu_a} = \frac{c_a}{c_b}$ ……………………………………………………………… (৬.৬)

(৬.৬) নং সমীকরণটি প্রমাণ করে কোনো মাধ্যমের পরম প্রতিসরণাঙ্ক ঐ মাধ্যমে আলোর বেগের ব্যাস্ড়ানুপাতিক।

Avevi, 6.5 সমীকরণ অনুসারে, ${}_a\mu_b = \frac{\mu_b}{\mu_a} = \frac{c_a}{c_b}$

ev, ${}_a\mu_b = \frac{c_a}{c_b}$ ……………………………………………………………… (৬.৭)

Avevi, †mœ‡ji myÎvbymv‡i ${}_a\mu_b = \frac{\sin i}{\sin r}$

myZivs $\frac{c_a}{c_b} = \frac{\sin i}{\sin r}$

ev, $\frac{\sin i}{c_a} = \frac{\sin r}{c_b}$ ……………………………………………………………… (৬.৮)

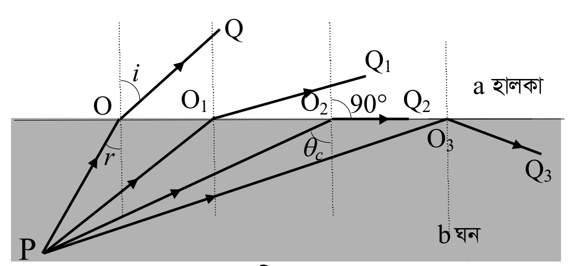
Avevi, ${}_a\mu_b = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\mu_b}{\mu_a}$

ev, $\mu_a \sin i = \mu_b \sin r$ ……………………………………………………………… (৬.৯)

(৬.৯) সমীকরণটি স্নেলের সূত্রের সাধারণ রূপ নির্দেশ করে।

৬.২.৪ সংকট কোণ ও পূর্ণ অভ্যন্ড়রীণ প্রতিফলন (Critical Angle and Total Internal Reflection):

আলোক রশ্মি যখন ঘন মাধ্যম থেকে হালকা মাধ্যমে প্রবেশ করে



চিত্র ৬.৮

তখন হালকা মাধ্যমে আলোক রশ্মি অভিলম্ব থেকে দূরে সরে যায়। তাই হালকা মাধ্যমে প্রতিসরণ কোণ সর্বদা আপতন কোণ অপেক্ষা বড় হয়। আপতন কোণ বাড়তে থাকলে প্রতিসরণ কোণও বাড়তে থাকে। ঘন মাধ্যমে আপতন কোণ বাড়তে বাড়তে এমন এক অবস্থায় আসে যখন প্রতিসরিত রশ্মি বিভেদতল দিয়ে গমন করে। অর্থাৎ প্রতিসরিত রশ্মি অভিলম্বের সাথে সমকোণে থাকে। ঘন মাধ্যমের এই কোণকে সংকট কোণ বলে। সংকট কোণকে সাধারণত θ_c প্রকাশ করা হয়। সংকট কোণের চেয়ে বড় কোণে আলোক রশ্মি ঘন মাধ্যমে আপতিত হলে আলোক রশ্মি বিন্দু মাত্র হালকা মাধ্যমে প্রতিসরিত না হয়ে বিভেদতল দিয়ে সম্পূর্ণরূপে প্রতি প্রতিফলিত হয়। একে পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন বলে।

৬.২.৫ সংকট কোণ: এক জোড়া নির্দিষ্ট স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যমের একটি নির্দিষ্ট বর্ণের আলোক রশ্মি ঘন মাধ্যমে অভিলম্বের সাথে যে কোণে অপতিত হলে প্রতিসরিত রশ্মি বিভেদ তল দ্বারা গমন করে, ঘন মাধ্যমের সেই কোণকে সংকট কোণ বলে। সংকট কোণকে সাধারণতঃ θ_c প্রকাশ করা হয়।

চিত্রে a হালকা মাধ্যম এবং b ঘন মাধ্যম। মনে করি ঘন মাধ্যমে PO_2 আলোক রশ্মি O_2 বিন্দুতে অংকিত অভিলম্বের সাথে θ_c কোণে আপতিত হওয়ায় বিভেদ তল দিয়ে O_2Q_2 পথে অভিলম্বের সাথে 90° প্রতিসরিত হলো।

প্রতিসরণের সূত্রানুসারে, ${}_a\mu_b = \dfrac{\sin i}{\sin r}$

বা, ${}_a\mu_b = \dfrac{\sin 90^\circ}{\sin \theta_c}$

বা, ${}_a\mu_b = \dfrac{1}{\sin \theta_c}$ ... ...(৬.১০)

এটাই প্রতিসরণাংকের সাথে সংকট কোণের সম্পর্ক।

৬.২.৬ পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন (Total Internal Reflection) :

এক জোড়া নির্দিষ্ট স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যমে একটি নির্দিষ্ট বর্ণের আলোক রশ্মি ঘন মাধ্যম থেকে হালকা মাধ্যমে যাবার সময় যদি দুই মাধ্যমের বিভেদ তলে সংকট কোণের চেয়ে বড় কোণে আপতিত হয় তবে আলোক রশ্মি হালকা মাধ্যমে বিন্দুমাত্র প্রতিসৃত না হয়ে সম্পূর্ণরূপে বিভেদ তল দ্বারা ঘন মাধ্যমে প্রতিফলিত হয়। একে পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন বলে।

৬.২.৭ পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের শর্ত ঃ- পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের শর্ত দুইটি।

১। আলোক রশ্মি অবশ্যই ঘন মাধ্যম থেকে হালকা মাধ্যমের দিকে যেতে হবে।

২। এক জোড়া নির্দিষ্ট সচ্ছ সমসত্ব মাধ্যম ও একটি নির্দিষ্ট বর্ণের আলোক রশ্মিকে সংকট কোণের চেয়ে বড় কোণে আপতিত হতে হবে।

উদাহরণ-৬.২: একটি স্বচ্ছ মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক 1.65 হলে ঐ মাধ্যমে আলোর বেগ বের করুন। শূন্যস্থানে আলোর বেগ, $c_o = 3\times10^8\ \text{ms}^{-1}$

সমাধান: দেয়া আছে, $\mu = 1.65, c_o = 3\times10^8\ \text{ms}^{-1}$ এবং $v = ?$

আমরা জানি, $\mu = \dfrac{c_o}{c_m}$

বা, $c_m = \dfrac{c_o}{\mu} = \dfrac{3\times10^8}{1.65} = 1.82\times10^8\ \text{ms}^{-1}$

উত্তর: $1.82\times10^8\ \text{ms}^{-1}$

উদাহরণ ৬.৩: কাচের ও পানির প্রতিসরণাঙ্ক যথাক্রমে $\frac{3}{2}$ এবং $\frac{4}{3}$ । পানির সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরণাঙ্ক বের করুন।

সমাধান: দেয়া আছে, ${}_a\mu_g = \frac{3}{2}$, ${}_a\mu_w = \frac{4}{3}$, ${}_w\mu_g = ?$

আমরা জানি, ${}_w\mu_g = \frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_w}$

অতএব, ${}_w\mu_g = \frac{3}{2} \times \frac{3}{4} = \frac{9}{8}$

উ: $\frac{9}{8}$

উদাহরণ ৬.৪: পানির প্রতিসরণাঙ্ক $\frac{4}{3}$ হলে পানির সংকট কোণ বের করুন।

সমাধান: দেয়া আছে, $\mu = \frac{4}{3}$, $\theta_c = ?$

আমরা জানি, $\mu = \frac{1}{\sin\theta_c}$

বা, $\sin\theta_c = \frac{1}{\mu} = \frac{3}{4} = 0.75$

বা, $\sin\theta_c = \sin^{-1} 0.75 = 48.6^\circ$

উ: 48.6°

সার-সংক্ষেপ :

প্রতিসরণাঙ্কঃ এক জোড়া নির্দিষ্ট স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যম এবং তীর্যক ভাবে আপতিত নির্দিষ্ট বর্ণের একটি আলোকরশ্মির জন্য আপাতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা। এই ধ্রুব সংখ্যাকে প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক বলে।

পরম প্রতিসরণাঙ্কঃ শূন্য মাধ্যমের সাপেক্ষে কোন স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ককে ঐ মাধ্যমের পরম প্রতিসরণাঙ্ক বলে।

আপেক্ষিক প্রতিসরণাঙ্কঃ এক স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যমের সাপেক্ষে অপর কোন স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ককে প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের আপেক্ষিক প্রতিসরণাঙ্ক বলে।

সংকট কোণঃ এক জোড়া নির্দিষ্ট স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যমের একটি নির্দিষ্ট বর্ণের আলোক রশ্মি ঘন মাধ্যমে অভিলম্বের সাথে যে কোণে অপতিত হলে প্রতিসরিত রশ্মি বিভেদ তল দ্বারা গমন করে, ঘন মাধ্যমের সেই কোণকে সংকট কোণ বলে।

পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনঃ এক জোড়া নির্দিষ্ট স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যমে একটি নির্দিষ্ট বর্ণের আলোক রশ্মি ঘন মাধ্যম থেকে হালকা মাধ্যমে যাবার সময় যদি দুই মাধ্যমের বিভেদ তলে সংকট কোণের চেয়ে বড় কোণে আপতিত হয় তবে আলোক রশ্মি হালকা মাধ্যমে বিন্দুমাত্র প্রতিসৃত না হয়ে সম্পূর্ণরূপে বিভেদ তল দ্বারা ঘন মাধ্যমে প্রতিফলিত হয়। একে পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৬.২

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

নীচের উদ্দীপকটি পড়ুন এবং ১ ও ২ নং প্রশ্নের উত্তর দিন।

একটি কাচের স্ল্যাব পানিতে নিমজ্জিত আছে। দেয়া আছে ${}_a\mu_g = 1.5$ এবং ${}_a\mu_w = 1.33$

১। কাচ ও পানির বিভেদতলে একটি আলোক রশ্মির জন্য সংকট কোণ কত?

ক. 44.8° খ. 52.7°

গ. 56.7° ঘ. 62.5°

২। পানিও বায়ুর বিভেদতলে একটি আলোক রশ্মির জন্য সংকট কোণ কত?

ক. 44.8° খ. 52.7°

গ. 56.7° ঘ. 62.5°

পাঠ-৬.৩ : ফার্মাটের নীতি ও আলোর প্রতিফলন ও প্রতিসরণ
Fermat's principle, Reflection and Refraction

উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- ফার্মাটের নীতি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- ফার্মাটের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিফলনের সূত্র বিশেণ্ঢষণ করতে পারবেন।
- ফার্মাটের নীতির সাহায্যে আলোর প্রতিসরণের সূত্র বিশেণ্ঢষণ করতে পারবেন।

৬.৩.১ ফার্মাট নীতি (Fermat's Principle):

আলোক রশ্মি এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে যাবার সময় সম্ভাব্য সকল পথের মধ্যে সেই পথ অনুসরণ করে যে পথ সর্বনিম্ন সময়ে অতিক্রম করা যায়।

৬.৩.২ ফার্মাট নীতির গাণিতিক ব্যাখ্যা (Mathemetical form of Fermat's principle):

আমরা জানি, $t = \int dt$ এবং $\dfrac{ds}{dt} = v$

বা, $dt = \dfrac{ds}{v}$,

সুতরাং, $t = \int \dfrac{ds}{v}$ ।

শূন্য মাধ্যমে আলোর বেগ c এবং অন্য কোনো মাধ্যমে আলোর বেগ v হলে,

মাধ্যমের পরম প্রতিসরণাঙ্ক, $\mu = \dfrac{c}{v}$

বা, $v = \dfrac{c}{\mu}$

অতএব, $t = \int \dfrac{\mu}{c} ds = \dfrac{1}{c}\int \mu\, ds$ ……………………………………………… (৬.১১)

যদি, আলোক রশ্মি ইতোমধ্যে AB পথ অতিক্রম করে তবে, $t = \frac{1}{c}\int_A^B \mu\, ds$

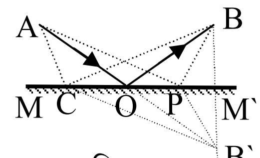
এখানে, $\int_A^B \mu\, ds = s(t)$ কে আলোক রশ্মির পথ ORP (Optical Ray Path) বলে।

ফার্মাটের সর্বনিম্ন সময়ের নীতি অনুসারে,

$$\delta t = \delta\left[\frac{1}{c}\int_A^B \mu\, ds\right] = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (৬.১২)$$

৬.৩.৩ ফার্মাট নীতির জ্যামিতিক ব্যাখ্যা (Geometrical Explanation of Fermat's Principle) :

মনে করি, A বিন্দু হতে একটি আলোক রশ্মি MOM` দর্পণে প্রতিফলিত হয়ে B বিন্দুতে গমন করলো। A হতে B তে যাবার জন্য সম্ভব্য অনেকগুলো পথ হতে পারে। চিত্র (৬.৯)-এ ACB, AOB এবং APB পথ দেখানো হলো। এখন কোনটি আলোকীয় পথ অর্থাৎ সর্বনিম্ন পথ তা বের করতে হবে। কারণ যেহেতু মাধ্যম একই সেহেতু আলোর বেগ অপরিবর্তিত থাকবে। ফলে A হতে আলোক রশ্মি দর্পণে প্রতিফলিত B-তে যে পথেই যাক না কেন $s = vt$ । সুতরাং s ক্ষুদ্রতম হলে t ও ক্ষুদ্রতম হবে।



চিত্র ৬.৯

এখন, B হতে BM` লম্ব অংকণ করি এবং B` পর্যন্ড় বর্ধিত করি যেন BM` = B`M` হয়। B`এর সাথে C, O এবং P বিন্দুগুলো যোগ করি। সুতরাং, CB = CB`, OB = OB`এবং PB = PB` ।

অতএব, AC + CB = AC + CB`, AO + OB = AO + OB` এবং AP + PB = AP + PB`

O বিন্দুকে এমন ভাবে নেয়া হয়েছে যেন AOB` একটি সরল রেখা হয়।

তাহলে, ΔACB` এবং ΔAPB` ক্ষেত্রে, AC + CB` > AB` এবং AP + PB` > AB`

সুতরাং, AB` অর্থাৎ AO + OB পথ হলো ক্ষুদ্রতম ।

অতএব, A হতে আলোক রশ্মি দর্পণে প্রতিফলিত B বিন্দুতে যেতে AOB পথ অনুসরণ করবে।

৬.৩.৪ ফার্মাট নীতির সাহায্যে প্রতিফলনের সূত্র প্রমাণ:

আলোক রশ্মি কোনো মসৃণ তলদ্বারা প্রতিফলিত হবার সময় দুটি সুত্র মেনে চলে।

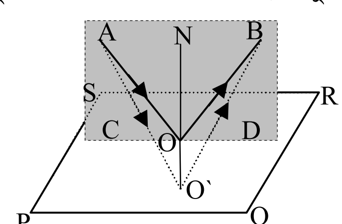
প্রথম সূত্র: আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি এবং আপতন বিন্দুতে অংকিত অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থান করে।

দ্বিতীয় সূত্র: আপাতন কোণ ও প্রতিফলন কোণ পরস্পর সমান।

প্রথম সূত্রের প্রমাণঃ

চিত্রে PQRS একটি সমতল দর্পণ। ABCD হলো সমতল দর্পণের উপর অভিলম্ব বরাবর একটি কাল্পনিক তল। COD হলো কাল্পনিক তল এবং দর্পণের স্পর্শ রেখা। ABCD কাল্পনিক তলে AO একটি আপতিত আলোক রশ্মি দর্পণের O বিন্দুতে আপতিত হয়ে OB পথে প্রতিফলিত হলো এবং ON হলো দর্পণের O বিন্দুতে অংকিত অভিলম্ব। সুতরাং AO, OB এবং ON একই ABCD তলে অবস্থিত।

এখন ধরা যাক, AO আলোক রশ্মি AO পথে আপতিত না হয়ে AO` পথে আপতিত হয়ে O` পথে প্রতিফলিত হলো। OO` হলো PQRS দর্পণের তলে অবস্থিত এবং ABCD তলের উপর লম্ব। তাহলে ত্রিভুজ AOO` এর AO` এবং ত্রিভুজ BOO` এর O`B হলো অতিভুজ। ফলে AO`>AO এবং O`B>OB। তাহলে, AO`+ O`B > AO + OB। একই ভাবে A থেকে আলোক রশ্মি দর্পণ দিয়ে প্রতিফলিত হয়ে B তে ফিরে যেতে হলে O বিন্দু ছাড়া OO` এর বর্ধিত রেখার উপর যে কোনো বিন্দু বিবেচনা করলে সে পথটি অবশ্যই AO + OB পথ অপেক্ষা বড় হবে। এটি ফার্মাট নীতির পরিপন্থি। কারণ অন্য সকল পথ বড় হওয়ায় আলোক রশ্মির A থেকে B তে যেতে বেশী সময় লাগবে। সুতরাং আপতিত রশ্মি AO, প্রতিফলিত রশ্মি OB এবং



চিত্র ৬.১০

আপতন বিন্দুতে অংকিত অভিলম্ব ON একই সমতল ABCD এ অবস্থান করে।
এটিই আলোকের প্রতিফলনের প্রথম সূত্র।

গাণিতিক ভাবেও এই সূত্রটি ব্যাখ্যা করা যায়। নীচে গাণিতিক ব্যাখ্যা দেয়া হলো।

চিত্রানুসারে, $OO' = x,\ AO = y$ এবং $OB = z$ সুতরাং, $AO' = \sqrt{y^2 + x^2}, O'B = \sqrt{z^2 + x^2}$ ।

আলোর বেগ c হলে, $t = \dfrac{AO' + O'B}{c} = \dfrac{\sqrt{y^2 + x^2} + \sqrt{z^2 + x^2}}{c}$

চিত্রানুসারে, x এর পরিবর্তনে আলোক রশ্মির পথ পরিবর্তিত হবে। সুতরাং, ফার্মাট নীতি অনুসারে, $\dfrac{dt}{dx} = 0$

সুতরাং, x এর সাপেক্ষে t কে ব্যবকলন করে পাই,

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{c}\frac{d}{dx}\left[\left(y^2 + x^2\right)^{\frac{1}{2}} + \left(z^2 + x^2\right)^{\frac{1}{2}}\right] = 0$$

বা, $\dfrac{1}{2}\left(y^2 + x^2\right)^{-\frac{1}{2}} \times 2x + \dfrac{1}{2}\left(z^2 + x^2\right)^{-\frac{1}{2}} \times 2x = 0$

বা, $x\left(y^2 + x^2\right)^{-\frac{1}{2}} + x\left(z^2 + x^2\right)^{-\frac{1}{2}} = 0$

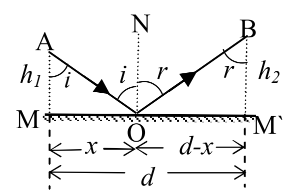
বা, $\dfrac{x}{\sqrt{y^2 + x^2}} + \dfrac{x}{\sqrt{z^2 + x^2}} = 0$

বা, $\sin\angle OAO' + \sin\angle OBO' = 0$

এই সমীকরণটি সত্য হতে পারে যদি এবং একমাত্র যদি $\angle OAO' = \angle OBO' = 0^\circ$ হয়। (180° হলে $OO' = x$ দর্পণের সমান্ড়রালে থাকবে না।) আবার যদি, $\angle OAO' = \angle OBO' = 0^\circ$ হয় তবে, $OO' = x = 0$ হবে।
সুতরাং, আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি এবং আপতন বিন্দুতে অংকিত অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থান করে।

দ্বিতীয় সূত্রের প্রমাণঃ

চিত্রে একটি MM' সমতল দর্পণে প্রতিফলন দেখানো হলো। এখানে, NO হলো অভিলম্ব।
যেহেতু NO||AM এবং AO এদেরকে ছেদ করেছে, সেহেতু ∠NOA=∠OAM=∠i
আবার, যেহেতু NO||BM` এবং OB এদেরকে ছেদ করেছে, সেহেতু ∠NOB=∠OBM`=∠r



চিত্র ৬.১১

চিত্রানুসারে, আলোক রশ্মি পথ, $D = AO + OB$ এবং পিথাগোরাসের সূত্রানুসারে,

$AO = \sqrt{h_1^{\ 2} + x^2}$, $OB = \sqrt{h_2^{\ 2} + (d - x)^2}$

সুতরাং, $D = \sqrt{h_1^{\ 2} + x^2} + \sqrt{h_2^{\ 2} + (d - x)^2}$

যদি মাধ্যমে আলোর বেগ c হয় তবে, $t = \dfrac{D}{c} = \dfrac{1}{c}\left[\sqrt{h_1^{\ 2} + x^2} + \sqrt{h_2^{\ 2} + (d - x)^2}\right]$

চিত্রানুসারে, x এর পরিবর্তনে আলোক রশ্মির পথে পরিবর্তিত হবে। সুতরাং ফার্মাট নীতি অনুসারে, $\dfrac{dt}{dx} = 0$

সুতরাং, x এর সাপেক্ষে t কে ব্যকলন করে পাই,

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{c}\left[\frac{1}{2}\left(h_1^{\ 2} + x^2\right)^{-\frac{1}{2}} \times 2x + \frac{1}{2}\left\{h_2^{\ 2} + (d - x)^2\right\}^{-\frac{1}{2}} \times 2(d - x) \times (-1)\right] = 0$$

বা, $\dfrac{x}{\sqrt{h_1^2+x^2}}-\dfrac{d-x}{\sqrt{h_2^2+(d-x)^2}}=0$

বা, $\dfrac{x}{\sqrt{h_1^2+x^2}}=\dfrac{d-x}{\sqrt{h_2^2+(d-x)^2}}$

চিত্রানুসারে, $\sin i=\dfrac{x}{\sqrt{h_1^2+x^2}}$

এবং $\sin r=\dfrac{d-x}{\sqrt{h_2^2+(d-x)^2}}$

মান বসালে, $\sin i=\sin r$

$\therefore \angle i=\angle r$ । এটিই প্রতিফলনের দ্বিতীয় সূত্র।

৬.৩.৫ ফার্মাট নীতির সাহায্যে প্রতিসরণের সূত্র প্রমাণঃ

আলোকরশ্মি যখন এক স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যম থেকে অন্য আর এক স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যমে তীর্যক ভাবে প্রবেশ করে তখন এই দুই মাধ্যমের বিভেদ তলে এটি দিক পরিবর্তন করে। দুই মাধ্যমের বিভেদ তলে আলোকরশ্মির এই দিক পরিবর্তনকে আলোকের প্রতিসরণ বলে।

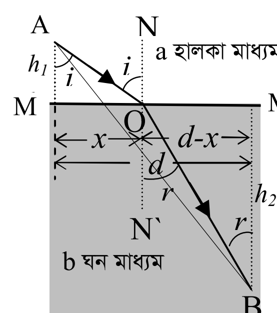
আলোকের প্রতিসরণের দুইটি সূত্র মেনে চলে।

প্রথম সূত্রঃ আপতিত রশ্মি, প্রতিসরিত রশ্মি এবং বিভেদ তলের আপাতন বিন্দুতে অংকিত অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থান করে।

দ্বিতীয় সূত্র বা স্নেলের সূত্রঃ এক জোড়া নির্দিষ্ট স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যম এবং তীর্যকভাবে আপতিত নির্দিষ্ট বর্ণের একটি আলোক রশ্মির জন্য আপাতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত একটি ধ্রুব সংখ্যা। একে প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক বলে। একে μ দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

প্রতিসরণের সূত্র প্রমাণঃ

(৬.১২ নং) চিত্রে আলোর প্রতিসরণ দেখানো হলো। a হালকা স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যম থেকে AO একটি আলোক রশ্মি MOM` বিভেদ তলে O বিন্দুতে NON` অভিলম্বের সাথে i কোণে আপতিত হয়ে b ঘন স্বচ্ছ সমসত্ব মাধ্যমে NON` অভিলম্বের সাথে r কোণে OB পথে প্রতিসৃত হলো। চিত্রে, AB অপর একটি আলোক রশ্মির পথ দেখানো হয়েছে। এটি ক্ষুদ্রতম পথ। কিন্তু এই পথে আলোক রশ্মি ঘন মাধ্যমে OB পথ অপেক্ষা বড় পথ অতিক্রম করেছে। যেহেতু ঘন মাধ্যমে আলোর বেগ হালকা মাধ্যম অপেক্ষা কম সেহেতু এই পথ অতিক্রম করতে অধিক সময় প্রয়োজন। সুতরাং আলোক রশ্মি এই পথে গমন করবে না। যেহেতু NO||AM এবং AO এদেরকে ছেদ করেছে,



চিত্র ৬.১২

সেহেতু ∠NOA=∠OAM=∠i

আবার, যেহেতু ON`||M`B এবং OB এদেরকে ছেদ করেছে, সেহেতু ∠NOB=∠OBM`=∠r

চিত্রানুসারে, আলোক রশ্মি পথ, $D=AO+OB$ এবং পিথাগোরাসের সূত্রানুসারে,

$AO=\sqrt{h_1^2+x^2}$, $OB=\sqrt{h_2^2+(d-x)^2}$

সুতরাং, $D=\sqrt{h_1^2+x^2}+\sqrt{h_2^2+(d-x)^2}$

যদি A মাধ্যমে আলোর বেগ c_a এবং B মাধ্যমে আলোর বেগ c_b তবে,

AO পথ অতিক্রম করতে সময়, $t_1=\dfrac{AO}{c_a}=\dfrac{\sqrt{h_1^2+x^2}}{c_a}$

এবং, OB পথ অতিক্রম করতে সময়, $t_2 = \dfrac{OB}{c_b} = \dfrac{\sqrt{h_2^{\,2} + (d-x)^2}}{c_b}$

অতএব, D পথ অতিক্রম করতে সময়, $t = t_1 + t_2 = \dfrac{\sqrt{h_1^{\,2} + x^2}}{c_a} + \dfrac{\sqrt{h_2^{\,2} + (d-x)^2}}{c_b}$

চিত্রানুসারে, x এর পরিবর্তনে আলোক রশ্মির পথ পরিবর্তিত হবে। সুতরাং ফার্মাট নীতি অনুসারে, $\dfrac{dt}{dx} = 0$

সুতরাং, x এর সাপেক্ষে t কে ব্যকলন করে পাই,

$$\frac{dt}{dx} = \frac{\frac{1}{2}\left(h_1^{\,2} + x^2\right)^{-\frac{1}{2}} \times 2x}{c_a} + \frac{\frac{1}{2}\left\{h_2^{\,2} + (d-x)^2\right\}^{-\frac{1}{2}} \times 2(d-x) \times (-1)}{c_b} = 0$$

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

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

চিত্রানুসারে, $\sin i = \dfrac{x}{\sqrt{h_1^{\,2} + x^2}}$

এবং $\sin r = \dfrac{d-x}{\sqrt{h_2^{\,2} + (d-x)^2}}$

মান বসালে, $\dfrac{\sin i}{c_a} = \dfrac{\sin r}{c_b}$

বা, $\dfrac{\sin i}{\sin r} = \dfrac{c_a}{c_b} = {}_a\mu_b$ একটি ধ্রুবক।

এটিই প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্র অর্থাৎ স্নেলের সূত্র।

যদি, শূন্য মাধ্যমের সাপেক্ষে a মাধ্যমের প্রতিসারঙ্ক μ_a এবং শূন্য মাধ্যমের সাপেে b মাধ্যমের প্রতিসারঙ্ক μ_b হয় তবে আমরা লিখতে পারি, ${}_a\mu_b = \dfrac{\mu_b}{\mu_a}$

অতএব, $\dfrac{\sin i}{\sin r} = \dfrac{\mu_b}{\mu_a}$

বা, $\mu_a \sin i = \mu_b \sin r$ এটিও স্নেলের সূত্রের আর এক রূপ।

সার-সংক্ষেপ :

ফার্মাট নীতি : আলোক রশ্মি এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে যাবার সময় সম্ভাব্য সকল পথের মধ্যে সেই পথ অনুসরণ করে যে পথ সর্বনিম্ন সময়ে অতিক্রম করা যায়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৬.৩

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১। নীচের কোনটি ফার্মাট নীতির সমীকরণ?

ক. $t=\int \frac{ds}{v}$ খ. $t=\frac{1}{c}\int_A^B \mu\, ds$ গ. $\int_A^B \mu\, ds = s(t)$ ঘ. $\delta t=\delta\left[\frac{1}{c}\int_A^B \mu\, ds\right]=0$

২। ফার্মাট নীতির সাহায্যে;

i. প্রতিফলসের সূত্রগুলো ব্যাখ্যা করা যায়।
ii. প্রতিসরণের সূত্রগুলো ব্যাখ্যা করা যায়।
iii. আলোর অপবর্তন ব্যাখ্যা করা যায়।

কোনটি সঠিক?

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

পাঠ-৬.৪ : প্রিজমে আালোর প্রতিসরণ

Refraction through Prism

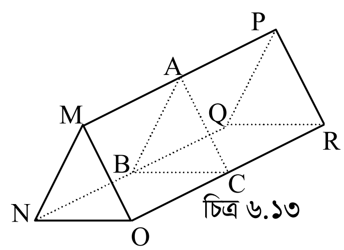
উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- প্রিজমে আলোর প্রতিসরণ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৬.৪.১ প্রিজম (Prism):

আলোকবিজ্ঞানে প্রিজম বলতে পরস্পরের সাথে আনত অন্ড়ত দুটি মসৃণ সমতল দিয়ে আবদ্ধ যে কোনো স্বচ্ছ মাধ্যমের অংশকে বোঝায়। এই তলগুলোকে বলা হয় প্রিজমের প্রতিসারক তল (refracting surface)। তলদুটির অন্র্ভূত কোণকে প্রিজমের প্রতিসারক কোণ (refracting angle of the prism) বা সংক্ষেপে প্রিজম কোণ (angle of the prism) বলে। প্রতিসারক তলদ্বয় যে সরলরেখায় ছেদ করে তাকে প্রিজমের ধার (edge of the prism) বলে। (৬.১৩) চিত্রে দেখানো প্রিজমের MPQN এবং MPRO প্রতিসারক তলদ্বয় MP ধার-এ মিলিত হয়েছে। $\angle NMO$ অথবা $\angle PRQ$ হলো প্রতিসারক কোণ। প্রতিসারকের ধারের সাথে সমকোণে অবস্থিত যে কোনো সমতল ছেদকে প্রিজমের প্রধান ছেদ (principal section)। (৬.১৩) চিত্রে ABC হলো প্রধান ছেদ।

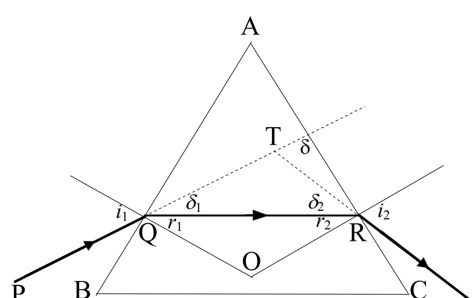


চিত্র ৬.১৩

৬.৪.২ প্রিজমের প্রধান ছেদে আলোক রশ্মির গতিপথ ও ন্যূনতম বিচ্যুতি (Path of the Ray in the Principal section of a Prism and Minimum Daviation):

মনে করি ABC একটি প্রিজমের প্রধান ছেদ এবং A হলো প্রিজমের শীর্ষ কোণ বা প্রিজম কোণ। ABC প্রিজমের AB প্রতিসারক তলে PQ একটি আলোক রশ্মি Q বিন্দুতে অভিলম্বের সাথে i_1 কোণে আপতিত হয়ে ঘন মাধ্যমে r_1 কোণে প্রতিসরিত হয়ে QR পথে গমন করে এবং পূর্ববর্তী রশ্মির সাথে δ_1 কোণে বিচ্যুত হয়। এই প্রতিসরিত আলোক রশ্মি AC

প্রতিসারক তলে R wবন্দুতে অভিলম্বের সাথে r_2 কোণে আপতিত হয়ে হালকা মাধ্যমে i_2 কোণে প্রতিসরিত হয়ে RS পথে নির্গত হয় এবং পূর্ববর্তী QR রশ্মির সাথে δ_2 কোণে বিচ্যুত হয়। সুতরাং, আপতিত রশ্মি PQ এর সাথে নির্গত রশ্মি RS এর মোট বিচ্যুতি δ হলে,



চিত্র ৬.১৪

$\delta_1 + \delta_2 = \delta$ ……………………………………………………………… (৬.১৩)

[ত্রিভূজের বহিঃস্থ কোণ অন্ডস্থ বিপরীত কোণদ্বয়ের যোগফলের সমান]

চিত্রানুসারে, ΔQOR এর $r_1 + r_2 + \angle QOR = \pi$ ……………………………………… (৬.১৪)

আবার AQOR চতুর্ভুজের $\angle A + \angle AQO + \angle QOR + \angle ARO = 2\pi$

কিন্তু $\angle AQO = \angle ARO = \dfrac{\pi}{2}$ [QO এবং RO প্রতিসারক তলের উপর লম্ব]

$\therefore\ \angle A + \angle QOR = \pi$ ……………………………………………………… (৬.১৫)

(৬.১৪) এবং (৬.১৫) সমীকরণ থেকে লেখা যায়, $r_1 + r_2 + \angle QOR = \angle A + \angle QOR$

বা, $r_1 + r_2 = A$ ……………………………………………………………… (৬.১৬)

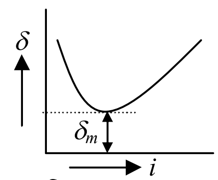
আবার চিত্রানুসারে, $i_1 = r_1 + \delta_1$ এবং $i_2 = r_2 + \delta_2$ [বিপ্রতীপ কোণ বলে]

$\therefore i_1 + i_2 = r_1 + r_2 + \delta_1 + \delta_2$

উপরের সমীকরণটিকে (৬.১৩) ও (৬.১৬) নং সমীকরণের সাহায্যে লেখা যায়,

$i_1 + i_2 = A + \delta$ …………………………………………………… (৬.১৭)

প্রিজমের বিচ্যুতি কোণ (δ) এর মান আপাতন কোণ (i_1) এর উপর নির্ভর করে। আপাতন কোণ খুব ছোট হলে বিচ্যুতি কোণ বড় হয়। আপতন কোণ বাড়তে থাকলে বিচ্যুতি কোণ কমতে থাকে। বিচ্যুতি কোণের মান আপতন কোণের সাপেক্ষে কমতে কমতে একটি সর্বনিম্ন মানে পৌছানোর পর আপতন কোণ বৃদ্ধির সাথে সাথে বিচ্যুতি কোণ বাড়তে শুরু করে। বিচ্যুতি কোণের এই সর্বনিম্ন মানকে সর্বনিম্ন বিচ্যুতি বলে। একে δ_m সূচিত করা হয়। (৬.১৫) নং i-δ লেখচিত্রে আপতন কোণের সাপেক্ষে বিচ্যুতি কোণের পরিবর্ত এবং সর্বনিম্ন বিচ্যুতি দেখানো হয়েছে।



চিত্র ৬.১৫

(৬.১৭) নং সমীকরণকে বর্গ করে পাই, $(A + \delta)^2 = (i_1 + i_2)^2$

বা, $(A+\delta)^2 = (i_1 - i_2)^2 + 4i_1 i_2$ …………………………………………… (৬.১৮)

(৬.১৮) নং সমীকরণে $\delta = \delta_m$ হলে বাম পক্ষের মান সর্বনিম্ন হবে। ডান পক্ষের মান সর্বনিম্ন হতে হলে $(i_1 - i_2)^2 = 0$ হতে হবে,

তাহলে, যখন $\delta = \delta_m$ তখন $i_1 - i_2 = 0$

অর্থাৎ, $i_1 = i_2 = i$ (ধরি) …………………………………………………… (৬.১৯)

প্রতিসরণের সূত্রানুসারে, $\mu = \dfrac{\sin i_1}{\sin r_1} = \dfrac{\sin i_2}{\sin r_2}$

বা, $\dfrac{\sin i_1}{\sin i_2} = \dfrac{\sin r_1}{\sin r_2}$

(৬.১৯) নং সমীকরণের মান বসালে, $\dfrac{\sin r_1}{\sin r_2} = 1$

বা, $\sin r_1 = \sin r_2$

অর্থাৎ $r_1 = r_2 = r$ (ধরি) …………………………………………………… (৬.২০)

সুতরাং প্রিজমের সাপেক্ষে যখন আপতিত রশ্মি ও নির্গত রশ্মি প্রতিসাম্য ভাবে অবস্থিত থাকে অর্থাৎ যখন আপতন কোণ ও নির্গত কোণ সমান হয় তখন সর্বনিম্ন বিচ্যুতি ঘটে।

(৬.১৯) ও (৬.২০) নং সমীকরণের সর্বনিম্ন বিচ্যুতি শর্তগুলি (৬.১৭) ও (৬.১৬) নং সমীকরণে বসালে,

$i_1 + i_2 = i + i = 2i = A + \delta_m$

বা, $i = \dfrac{A+\delta_m}{2}$ … … …… … … … … … … … … … … … … … … … … … … (৬.২১)

এবং $r_1 + r_2 = r + r = 2r = A$

বা, $r = \dfrac{A}{2}$ … … …… … … … … … … … … … … … … … … … … … …… … (৬.২২)

প্রতিসরণের সূত্রানুসারে, $\mu = \dfrac{\sin i}{\sin r}$

এখন (৬.২১) এবং (৬.২২) নং সমীকরণে i এবং r এর মান বসালে,

$$\mu = \frac{\sin \dfrac{A+\delta_m}{2}}{\sin \dfrac{A}{2}} \quad \ldots \ldots \quad (৬.২৩)$$

(৬.২৩) নং সমীকরণ হলো প্রিজমের প্রতিসরাংকের সাথে সর্বনিম্ন বিচ্যুতির সম্পর্ক।

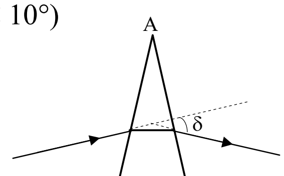
৬.৪.৩ সরু প্রিজম এবং এর প্রতিসরাংকের সাথে বিচ্যুতি কোণের সম্পর্ক (Thin Prism and the Relation between Refrective Index and Angle of Deviation):

যে প্রিজমের প্রতিসারক কোণ অত্যন্ত ক্ষুদ্র ($10°$ এর নীচে) তাকে সরু বা পাতলা প্রিজম বলে।

সরু প্রিজমের আলোক রশ্মি যে কোন প্রতিসারক তলে প্রায় অভিলম্ব বরাবর আপতিত হয় অর্থাৎ আপতন কোণ i_1 অত্যন্ত ক্ষুদ্র হয় ফলে প্রতিসরণ কোণ r_1 ও r_2 খুব ক্ষুদ্র হয়। (কারণ $r_1 + r_2 = A$ এবং $A < 10°$)

আবার আমরা জানি θ ক্ষুদ্র হলে $\sin\theta = \theta$ হয়।

সরু প্রিজমের ক্ষেত্রে প্রথম প্রতিসারক তলে প্রতিসরণের সূত্রানুসারে, $\mu = \dfrac{\sin i_1}{\sin r_1} = \dfrac{i_1}{r_1}$



চিত্র ৬.১৬

(কারণ θ খুব ছোট হলে $\sin\theta \approx \theta$ হয়)

বা, $i_1 = \mu r_1$ … … …… … … … … … … … … … … … … … … … … … … …… (৬.২৪)

এবং দ্বিতীয় প্রতিসারক তলে প্রতিসরণের সূত্রানুসারে, $\mu = \dfrac{\sin i_2}{\sin r_2} = \dfrac{i_2}{r_2}$

বা, $i_2 = \mu r_2$ … … …… (৬.২৫)

আবার (৬.১৭) নং সমীকরণ থেকে পাই, $i_1 + i_2 = A + \delta$

(৬.২৪) ও (৬.২৫) নং সমীকরণ থেকে পাই, $\mu(r_1 + r_2) = A + \delta$

আবার, (৬.১৬) নং সমীকরণের সাহায্যে লেখা যায়, $\mu A - A = \delta$ (যেহেতু $r_1 + r_2 = A$)

বা, $\delta = (\mu - 1)A$ … (৬.২৬)

এটাই সরু প্রিজমের প্রতিসরণাংকের সাথে বিচ্যুতি কোণের সম্পর্ক।

উদাহরণ ৬.৫: একটি সমবাহু প্রিজমের প্রতিসরণাঙ্ক 1.5 হলে এর ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ বের করুন।

সমাধান: দেয়া আছে, $A = 60^\circ, \mu = 1.5$ এবং $\delta_m = ?$

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

gvb emv‡j, $1.5 = \dfrac{\sin\dfrac{60^\circ + \delta_m}{2}}{\sin\dfrac{60^\circ}{2}} = \dfrac{\sin\dfrac{60^\circ + \delta_m}{2}}{\sin 30^\circ} = \dfrac{\sin\dfrac{60^\circ + \delta_m}{2}}{0.5}$

ev, $\sin\dfrac{60^\circ + \delta_m}{2} = 1.5 \times 0.5 = 0.75$

$\dfrac{60^\circ + \delta_m}{2} = \sin^{-1} 0.75 = 48.59^\circ$

ev, $\delta_m = \sin^{-1} 0.75 = 48.59^\circ \times 2 - 60^o = 37.18^\circ$

AZGe ন্যূনতম *wePz¨wZ* 37.18°

উ: 37.18°

উদাহরণ ৬.৬: একটি প্রিজমের প্রতিসরণাঙ্ক 1.5 এবং *me©wbgœ wePz¨wZ* 38° হলে এর প্রিজম কোণ নির্ণয় কর‍ুন।

সমাধান: দেয়া আছে, $A = 60^\circ$, $\mu = 1.5$, $\delta_m = 38^\circ$ এবং $A = ?$

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

gvb emv‡j, $1.5 = \dfrac{\sin\dfrac{A+38^o}{2}}{\sin\dfrac{A}{2}} = \dfrac{\sin\left(\dfrac{A}{2}+19^o\right)}{\sin\dfrac{A}{2}} = \dfrac{\sin\dfrac{A}{2}\cos 19^o + \cos\dfrac{A}{2}\sin 19^o}{\sin\dfrac{A}{2}}$

ev, $1.5 = \dfrac{0.95\sin\dfrac{A}{2} + 0.33\cos\dfrac{A}{2}}{\sin\dfrac{A}{2}} = 0.95 + 0.33\cot\dfrac{A}{2}$

ev, $\cot\dfrac{A}{2} = \dfrac{1.5 - 0.95^o}{0.33} = 1.67$

ev, $\dfrac{A}{2} = \cot^{-1} 1.67 = 30.9^\circ$

ev, $A = 61.8^\circ$

D: *wcÖRg †KvY* 61.8°

উদাহরণ ৬.৭: একটি সর‍ু প্রিজমের প্রিজম কোণ 6° এবং প্রতিসরণাঙ্ক 1.5। বিচ্যুতি কোণ বের কর‍ুন।

সমাধান: দেয়া আছে, $A = 6^\circ$, $\mu = 1.5$ এবং $\delta = ?$

আমরা জানি, $\delta = (\mu - 1)A$

মান বসালে, $\delta = (1.5 - 1)6^\circ = 3^\circ$

সুতরাং বিচ্যুতি কোণ 3° ।

উঃ 3°

সার-সংক্ষেপ :

সর্বনিম্ন বিচ্যুতি: আপাতন কোণ খুব ছোট হলে বিচ্যুতি কোণ বড় হয়। আপতন কোণ বাড়তে থাকলে বিচ্যুতি কোণ কমতে থাকে। বিচ্যুতি কোণের মান আপতন কোণের সাপেক্ষে কমতে কমতে একটি সর্বনিম্ন মানে পৌছানোর পর আপতন কোণ বৃদ্ধির সাথে সাথে বিচ্যুতি কোণ বাড়তে শুরু করে। বিচ্যুতি কোণের এই সর্বনিম্ন মানকে সর্বনিম্ন বিচ্যুতি বলে।

প্রিজমের প্রতিসরণাঙ্কের সাথে সর্বনিম্ন বিচ্যুতির সম্পর্ক , $\mu = \dfrac{\sin \dfrac{A+\delta_m}{2}}{\sin \dfrac{A}{2}}$

wcÖRg †KvY ¶z`ª n‡j, $\delta = (\mu - 1)A$

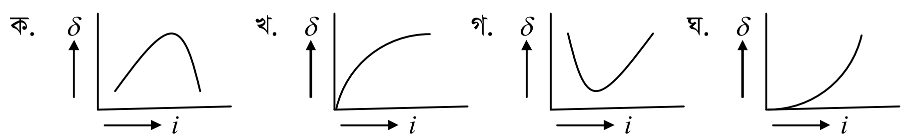
পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৬.৪

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১। একটি সমদ্বিবাহু ও সমকোণী প্রিজমের অতিভূজ ছাড়া অন্য যে কোনো প্রতিসারক তলে একটি আলোক রশ্মি লম্ব ভাবে আপতিত হলে অপর প্রতিসারক তল দিয়ে কত কোণে নির্গত হবে?

ক. 0° খ. 45° গ. 90° ঘ. 180°

২। নীচের কোন লেখটি আপাতন কোণ ও বিচ্যুতি কোণের সম্পর্ক নির্দেশ করে?



পাঠ-৬.৫ : প্রিজমে আলোর বিচ্ছুরণ
(Dispersion of Light through Prism):

উদ্দেশ্য

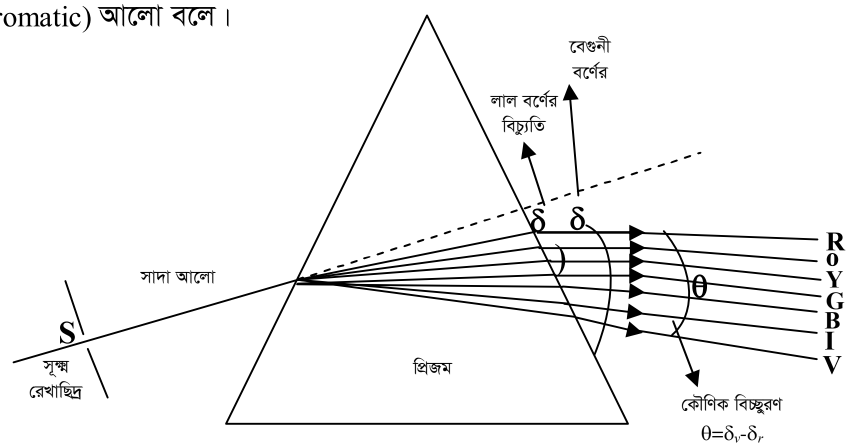
এ পাঠের শেষে আপনি-

- প্রিজমে আলোর বিচ্ছুরণ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৬.৫.১ আলোর বিচ্ছুরণ; নিউটনের সূত্র (Dispersion of Light; Newton's Experiments):

বিভিন্ন বর্ণে সজ্জিত এই পৃথিবীতে মানুষ সর্বদা রঙীন জিনিষের প্রতি আকর্ষণ অনুভব করে। রঙ মানুষকে কেবল আনন্দ দেয় না, কৌতুহলের সৃষ্টি করে। তাই সে আকাশের রামধনুর বর্ণচ্ছটা কেবল মুগ্ধ চেখে দেখেনি জানতেও চেষ্টা করেছে এই বর্ণচ্ছটার উৎস কি? নিউটন তাঁর প্রথম নভোদূরবীক্ষণ যন্ত্র (Astronomical Telescope) তৈরি করবার সময় প্রতিবিম্বের চতুর্দিকে সৃষ্ট বর্ণচ্ছটা নিয়ে সংকটে পড়েছিলেন। এই বর্ণচ্ছটার কারণ আবিষ্কার করার জন্য তিনি বহু পরীক্ষা-নিরীক্ষা করেন। তিনি দেখেন যে, সাদা আলো প্রিজমের উপর পড়লে সাতটি বিভিন্ন রঙে বিশিণ্টষ্ট হয়ে একটি আলোর পট্টি তৈরি করে। তিনি এই সিদ্ধান্ত্নে উপনিত হন যে, সূর্যালোক প্রকৃতপক্ষে বহু সংখ্যক রঙীন আলোর সমষ্টি। এই ভাবে তিনি আলোক বিজ্ঞানের একটি নতূন শাখার প্রবর্তন করেন যার নাম বর্ণালী বিজ্ঞান (Spectroscopy) অর্থাৎ আলোর বিশেণ্টষণ।

সূর্য বা যে কোনো প্রচন্ড উত্তপ্ত উৎস মূলত সাদা বলে ঐ আলোকে সাদা আলো (White Light) বলা হয়। যে আলোতে কেবল মাত্র একটি বর্ণ থাকে তাকে একবর্ণী (Monochromatic) আলো বলে। পক্ষান্ড়রে একাধিক বর্ণবিশিষ্ট আলোকে বহুবর্ণী (Polychromatic) আলো বলে।



চিত্র ৬.১৭

একটি সূক্ষ্ম রেখাছিদ্র S এর মধ্য দিয়ে সাদা আলোকরশ্মি একটি কাচের প্রিজমের উপর আপতিত হলে প্রিজমের অপর পার্শ্বে রাখা একটি সাদা পর্দায় বিভিন্ন বর্ণ বিশিষ্ট সাতটি বর্ণের আলোর একটি পাট্টি দেখা যায় (চিত্র ৬.১৭)। এই পট্টিকে বর্ণালী (Spectrum) বলে। এই পট্টির সবচেয়ে উপরের বর্ণ লাল (Red) এবং সবচেয়ে নিচের বর্ণ বেগুনী (Violet)। এই দুই বর্ণের মধ্যবর্তী অংশে যথাক্রমে কমলা (Orange), হলুদ (Yellow), সবুজ (Green), আকাশী (Blue) এবং নীল (Indigo) বর্ণ থাকে। মনে রাখার সুবিধার জন্য বেগুনী বর্ল থেকে শুরু করে প্রতিটি বর্ণের প্রথম অক্ষরকে সাজানো হয় ”বেনীআসহকলা” বা “VIBGYOR”।

বহুবর্ণী বা মিশ্র আলোর বিভিন্ন বলে বিভাজিত হওয়ার ঘটনাকে আলোর বিচ্ছুরণ (Dispersion) বলা হয়।

৬.৫.২ কৌণিক বিচ্যুতি ও বিচ্ছুরণ ক্ষমতা (Angular Dispersion and Dispersive Power)

আলোর বর্ণালী লক্ষ্য করলে দেখা যায়, বিভিন্ন বর্ণের আলোর বিচ্যুতি বিভিন্ন। বেগুনী বর্ণের আলোর বিচ্যুতি সর্বাধিক এবং লাল আলোর বিচ্যুতি সর্বাপেক্ষা কম। হলুদ বর্ণের বিচ্যুতি লাল ও বেগুণী বর্ণের বিচ্যুতির মাঝামাঝি বলে হলুদ বর্ণকে আলোর মধ্য রশ্মি বলা হয়। আবার এই বিচ্যুতির পরিমান প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরণাঙ্কের উপরেও নির্ভর করে। প্রিজমের প্রতিসরণাঙ্ক যত বেশী বিচ্যুতির পরিমানও তত বেশী। সুতরাং বলা যায়, কোনো মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক বিভিন্ন বর্ণের জন্য বিভিন্ন হয়। মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক লাল বর্ণের জন্য সবচেয়ে কম এবং বেগুনী বর্ণের আলোর জন্য সবচেয়ে বেশী। লাল, কমলা, হলুদ, সবুজ, আকাশী, নীল এবং বেগুনী বর্ণের আলোর জন্য কোনো মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্কের ক্রম হলো, $\mu_r < \mu_o < \mu_y < \mu_g < \mu_b < \mu_i < \mu_v$ ।

শূন্যস্থানে বা বায়ু মাধ্যমে সব বর্ণের আলোর বেগ সমান। কিন্তু অন্য কোনো মাধ্যমে বিভিন্ন বর্ণের আলোর বেগ বিভিন্ন। আলোর তরঙ্গ তত্ত্ব অনুসারে শূন্যস্থানে বা বায়ু মাধ্যমের সাপেক্ষে a মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক,

$\mu_a = \dfrac{c_o}{c_a}$ । এখানে $c_o =$ শূন্য স্থানে আলোর বেগ এবং $c_a = a$ মাধ্যমে আলোর বেগ। অতএব, $\mu_a c_a = c_o$ ।

সুতরাং, বলা যায়, যেহেতু শূন্যস্থানে আলোর বেগ ধ্রুব রাশি সেহেতু যে মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক যত বেশী সে মাধ্যমে আলোর বেগ তত কম। তাই কোনো মাধ্যমে লাল বর্ণের আলোর বেগ সবচেয়ে বেশী এবং বেগুনী বর্ণের আলোর বেগ সবচেয়ে কম (কারণ $\mu_r < \mu_v$)। আবার আমরা এটাও দেখলাম যে, যে মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক যত কম সে মাধ্যমে আলোক রশ্মির বিচ্যুতিও তত কম। অতএব বলা যায়, যে কোনো মাধ্যমে (কারণ $\mu > 1$) লাল বর্ণের আলোর বেগ সর্বাধিক, প্রতিসরণাঙ্ক সবচেয়ে কম এবং বিচ্যুতি সবচেয়ে কম। অপর দিকে বেগুণী বর্ণের আলোর আলোর বেগ সবচেয়ে কম, প্রতিসরণাঙ্ক সবচেয়ে বেশী এবং বিচ্যুতি সবচেয়ে বেশী। অন্য বর্ণের আলোগুলোর অবস্থান এই দুই সীমার মধ্যে।

অতএব সংক্ষেপে বলা যায়, কোনো মাধ্যমে আলোর বেগ বিভিন্ন হলে তবেই ঐ মাধ্যমে মিশ্র আলোর বিচ্ছুরণ ঘটে এবং সেইজন্য ঐ মাধ্যমকে বিচ্ছুরক মাধ্যম (Dispersive medium) বলে।

বিজ্ঞানী কশি (Cauchy)-এর মতে প্রতিসরণাঙ্ক (μ) এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্যের (λ) মধ্যে সম্পর্ক হলো,

$\mu = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4}$; এখানে A, B এবং C হলো কশির ধ্রূবক।

এই সমীকরণ থেকে বুঝা যায়, যে বর্ণের আলোকরশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য যত বেশী বর্ণের আলোকেরে জন্য মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক তত কম। বিজ্ঞানী কশির সমীকরণ অনুসারে, সহজেই আলোর বিচ্ছুরণ ব্যাখ্যা করা যায়।

আমরা জানি, লাল বর্ণের আলোকরশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য প্রায় $\lambda_r = 8000\text{Å}$ এবং বেগুনী বর্ণের আলোকরশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য প্রায় $\lambda_v = 4000\text{Å}$ । যেহেতু $\lambda_r > \lambda_v$ সেহেতু, বিজ্ঞানী কশির সমীকরণ অনুসারে, $\mu_r < \mu_v$ ।

বিজ্ঞানী কশির সমীকরণ অনুসারে, বিভিন্ন বর্ণের আলোকরশ্মির প্রতিসরণাঙ্ক।

আবার, (৬.২৬) নং সমীকরণ অনুসারে, $\delta = (\mu - 1)A$ ।

সুতরাং, আলোকরশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য (λ) ভিন্ন হলে প্রতিসরণাঙ্ক (μ) ভিন্ন হবে এবং প্রতিসরণাঙ্ক (μ) ভিন্ন হলে বিচ্যুতি (δ) ভিন্ন হবে।

ধরা যাক, প্রিজমটির প্রতিসারক তলে সাদা আলোক রশ্মি আপতিত হলো। ফলে প্রিজম থেকে নির্গত লাল থেকে বেগুনী পর্যন্ড় সাতটি বর্ণের রশ্মিতে বিচ্ছুরিত হলো। স্পষ্টতই বিভিন্ন বর্ণের আলোক রশ্মির বিচ্যুতি বিভিন্ন। বর্ণালীর মাঝামাঝি হলুদ বর্ণের বিচ্যুতি, $\delta = (\mu - 1)A$ ... ... (৬.২৭)

এখানে μ হলো হলুদ বর্ণের ক্ষেত্রে প্রিজমরে প্রতিসরণাঙ্ক বা প্রিজমের মধ্যবর্তী প্রতিসরণাঙ্ক।

একই ভাবে লাল ও বেগুনী বর্ণের আলোর ক্ষেত্রে প্রিজমরে প্রতিসরণাঙ্ক μ_r ও μ_v এবং বিচ্যুতি যথাক্রমে δ_r ও δ_v হলে আমরা লিখতে পারি,

$\delta_r = (\mu_r - 1)A$ ... ... (৬.২৮)

এবং, $\delta_v = (\mu_v - 1)A$ ... ... (৬.২৯)

অতএব, বেগুনী ও লাল বর্ণের আলোকরশ্মির বিচ্যুতির অন্ড়রফল বা পার্থক্য হলো,

$\delta_v - \delta_r = (\mu_v - 1)A - (\mu_r - 1)A$

বা, $\theta = \delta_v - \delta_r = (\mu_v - \mu_r)A$ ... ... (৬.৩০)

এখানে, $\delta_v - \delta_r = \theta$ কে এই দুই বর্ণের সাপেক্ষে কৌণিক বিচ্ছুরণ বলা হয়।

কৌণিক বিচ্ছুরণ প্রিজমের মাধ্যমের প্রকৃতি ও প্রিজমের প্রতিসারক কোণের মানের উপর নির্ভর করে। কৌণিক বিচ্ছুরণের একক ডিগ্রী বা রেডিয়ান।

প্রতিসরণের ফলে দুটি ভিন্ন বর্ণের আলোকরশ্মির যে বিচ্যুতি ঘটে তাদের অন্ড়রফলকে ঐ দুই বর্লের সাপেক্ষে আপতিত আলোকরশ্মির কৌণিক বিচ্যুতি বলে।

এখন (৬.৩০) নং সমীকরণটিকে লেখা যায়,

$$\theta = \delta_v - \delta_r = \frac{(\mu_v - \mu_r)}{(\mu - 1)} \times (\mu - 1)A$$

(৬.২৮) নং সমীকরণটিকে লেখা যায়, $\theta = \delta_v - \delta_r = \frac{(\mu_v - \mu_r)}{(\mu - 1)} \times \delta$

অতএব, $\frac{\mu_v - \mu_r}{\mu - 1} = \frac{\delta_v - \delta_r}{\delta} = \omega$ ... ... (৬.৩১)

ω -কে প্রতিসারক মাধ্যমের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বলে।

বিচ্ছুরণ ক্ষমতা শুধু মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। বিচ্ছুরণ ক্ষমতা একটি মাত্রাহীন রাশি, এর কোনো একক নাই। বেগুনী ও লাল বর্ণের আলোকরশ্মির বিচ্যুতির অন্ড়রফণ এবং মধ্য (অর্থাৎ হলুদ) রশ্মিবিচ্যুতির অনুপাতকে প্রতিসারক মাধথ্যমের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বলে।

(৬.৩১) নং সমীকরণকে লেখা যায়, $\omega = \frac{\mu_v - \mu_r}{\mu - 1} = \frac{d\mu}{\mu - 1}$ (এখানে, $\mu_v - \mu_r = d\mu$)

এবং $\delta_v - \delta_r = \omega \times \delta =$ বিচ্ছুরণ ক্ষমতা$\times$মধ্যবর্তী রশ্মির বিচ্যুতি।

উদাহরণ ৬.৮: একটি ক্রাউন কাচের তৈরি প্রিজম কোণ 6° এবং লাল ও নীল বর্ণের আলোর জন্য প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাণাঙ্ক যথাক্রমে 1.514 এবং 1.532। প্রিজমের জন্য উৎপন্ন কৌণিক বিচ্ছুরণ নির্ণয় করুন। প্রিজমের উপাদানের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা কত বের করুন।

সমাধান : দেয়া আছে, $A = 6^\circ$, $\mu_r = 1.514$, $\mu_b = 1.532$, $\theta = \delta_v - \delta_r = ?$ এবং $\omega = ?$

আমরা জানি, কৌণিক বিচ্ছুরণ $\theta = \delta_v - \delta_r = (\mu_v - \mu_r)A$

মান বসালে, $\theta = (1.532 - 1.514)6^\circ = 0.018 \times 6^\circ = 0.108^\circ$

আবার, মধ্যবর্তী প্রতিসরাণাঙ্ক $\mu = \dfrac{\mu_b + \mu_r}{2} = \dfrac{1.532 + 1.514}{2} = 1.523$

আমরা জানি, বিচ্ছুরণ ক্ষমতা $\omega = \dfrac{\mu_v - \mu_r}{\mu - 1}$

অতএব, $\omega = \dfrac{1.532 - 1.514}{1.523 - 1} = \dfrac{0.018}{0.523} = 0.34$

সুতরাং, $\theta^\circ = 0.108^\circ$ এবং $\omega = 0.34$

উ: $\theta^\circ = 0.108^\circ$ এবং $\omega = 0.34$

উদাহরণ ৬.৯ : লাল বর্ণের আলোর ক্ষেত্রে ক্রাউন ও ফ্লিন্ট কাচের প্রতিসরাণাঙ্ক যথাক্রমে 1.515 ও 1.644। আবার বেগুনী বর্ণের আলোর ক্ষেত্রে ক্রাউন ও ফ্লিন্ট কাচের প্রতিসরাণাঙ্ক যথাক্রমে 1.532 ও 1.685। চশমার লেন্স প্রস্তুতির জন্য কোন কাচ বেশী উপযুক্ত এবং কেন?

সমাধান: দেয়া আছে, ক্রাউন কাচের ক্ষেত্রে, $\mu_r = 1.515$ এবং $\mu_v = 1.532$ আর ফ্লিন্ট কাচের ক্ষেত্রে, $\mu_r = 1.644$ এবং $\mu_v = 1.685$

আমরা জানি, কৌণিক বিচ্ছুরণ, $\theta = (\mu_v - \mu_r)A$

অতএব, ক্রাউন কাচের ক্ষেত্রে, $\theta_c = (1.532 - 1.515)A = 0.017A$

এবং, ফ্লিন্ট কাচের ক্ষেত্রে, $\theta_f = (1.685 - 1.644)A = 0.041A$

সুতরাং, $\theta_f > \theta_c$

যে কাচের কৌণিক বিচ্ছুরণ কোণ যত বেশী সে কাচে আলো তত বেশী কৌণিক বিচ্ছুরিত হয় ফলে সাদা আলে প্রতিসরিত হবার পর অনেক বেশী অঞ্চল জুড়ে বর্ণীল আলো দেখায় যা বস্তুর প্রকৃত প্রতিবিম্ব অস্পষ্ট করে দেয়। সুতরাং যে কাচের কৌণিক বিচ্ছুরিত যত কম সে কাচ চশমার জন্য তত বেশী উপযোগী সুতরাং চশমার লেন্স প্রস্তুতির জন্য ফ্লিন্ট কাচ অপেক্ষা ক্রাউন কাচ বেশী উপযুক্ত।

সার-সংক্ষেপ :

আলোর বিচ্ছুরণ: বহুবর্ণী বা মিশ্র আলোর বিভিন্ন বর্ণে বিভাজিত হওয়ার ঘটনাকে আলোর বিচ্ছুরণ বলা হয়।

বর্ণালী: একটি সূক্ষ্ম রেখাছিদ্র S এর মধ্য দিয়ে সাদা আলোকরশ্মি একটি কাচের প্রিজম P-এর উপর আপতিত হলে প্রিজমের অপর পার্শ্বে রাখা একটি সাদা পর্দায় বিভিন্ন বর্ণ বিশিষ্ট সাতটি বর্ণের আলোর একটি পাট্টি দেখা যায়। এই পট্টিকে বর্ণালী বলে।

কৌণিক বিচ্যুতি: প্রতিসরণের ফলে দুটি ভিন্ন বর্ণের আলোকরশ্মির যে বিচ্যুতি ঘটে তাদের অন্তরফলকে ঐ দুই বর্ণের সাপেক্ষে আপতিত আলোকরশ্মির কৌণিক বিচ্যুতি বলে।

বিচ্ছুরণ ক্ষমতা: বেগুনী ও লাল বর্ণের আলোকরশ্মির বিচ্যুতির অন্তরফল এবং মধ্য (অর্থাৎ হলুদ) রশ্মিবিচ্যুতির অনুপাতকে প্রতিসারক মাধ্যমের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা বলে।

বিচ্ছুরক মাধ্যম: কোনো মাধ্যমে আলোর বেগ বিভিন্ন হলে তবেই ঐ মাধ্যমে মিশ্র আলোর বিচ্ছুরণ ঘটে এবং সেইজন্য ঐ মাধ্যমকে বিচ্ছুরক মাধ্যম বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৬.৫

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

১। কাচফলক দিয়ে যাওয়ার সময় কোন বর্ণের আলের বেগ সর্বাধিক?

ক. লাল খ. নীল গ. হলুদ ঘ. বেগুনী

২। কাচফলক দিয়ে যাওয়ার সময় কোন বর্ণের বিচ্যুতি সর্বাধিক?

ক. লাল খ. নীল গ. হলুদ ঘ. বেগুনী

পাঠ-৬.৬ : গোলীয় পৃষ্ঠে আলোর প্রতিসরণ
Refraction through Spherical Surface

উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- গোলীয় পৃষ্ঠে আলোর প্রতিসরণ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

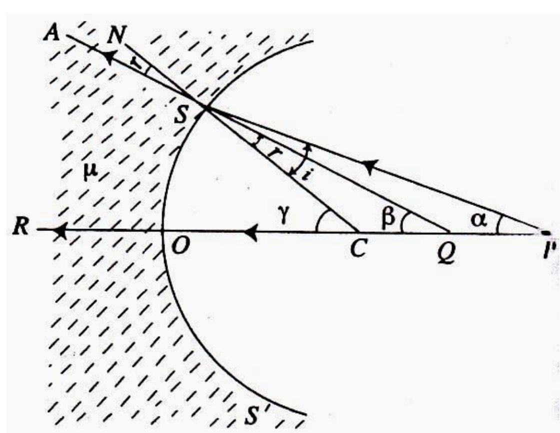
৬.৬.১ চিহ্নের প্রথা (Sign Convention)ঃ

জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞানে প্রধানত কোনো তলে, দর্পণে, লেন্সে বা আলোক যন্ত্রে আলোর প্রতিফলন বা প্রতিসরণ আলোচনা করা হয়। এ সব ক্ষেত্রে লক্ষ্যবস্তু থেকে আলো নিঃসৃত হয়ে প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর গঠিত বিম্ব লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব, বিম্বের দূরত্ব, তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ, দর্পণ বা লেন্সের ফোকাস দূরত্ব প্রভৃতির মধ্যকার বিভিন্ন সম্পর্কে কয়েকটি সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা হয়। এ দূরত্বগুলো পরিমাপ করতে হয় প্রতিফলক বা প্রতিসারক তলের মধ্যবিন্দু তথা মেরু থেকে আর লেন্সের ক্ষেত্রে আলোক কেন্দ্র থেকে। এই সব রাশিগুলোর পারস্পরিক সম্পর্ক নির্ণয়ের জন্য এদের চিহ্ন (ধনাত্মক না ঋণাত্মক) ঠিক করে নেয়া প্রয়োজন হয়ে পড়ে। এই বইয়ে চিহ্ন নির্ণয়ের যে প্রথা ব্যবহার করা হয়েছে তাকে বাস্তব ধনাত্মক প্রথা বলা হয়। এ প্রথা অনুসারে সকল বাস্তব দূরত্ব ধনাত্মক এবং সকল অবাস্তব দূরত্ব ঋণাত্মক। বাস্তব দূরত্ব বলতে আলোক রশ্মি প্রকৃতপক্ষে যে দূরত্ব অতিক্রম করে সেই দূরত্বকে বোঝায়। অবাস্তব দূরত্ব বলতে আলোকে রশ্মি দূরত্ব প্রকৃতপক্ষে অতিক্রম করে না– অতিক্রম করেছে বলে মনে হয় সেই দূরত্বকে বোঝায়।

এই প্রথা অনুসারে বাস্তব লক্ষ্যবস্তু, বাস্তব বিম্ব বা বাস্তব ফোকাস দূরত্বকে ধনাত্মক ধরা হয়। আর অবাস্তব লক্ষ্য, অবাস্তব বিম্ব বা অবাস্তব ফোকাস দূরত্বকে ঋণাত্মক ধরা হয়।

৬.৬.২ গোলীয় পৃষ্ঠে আলোর প্রতিসরণ (Refraction at Spherical Surfaces)ঃ

ধরা যাক, SOS′ গোলীয় অবতল পৃষ্ঠ বায়ু (প্রতিসরণাঙ্ক 1) এবং μ প্রতিসরণাঙ্কের মাধ্যমকে পৃথক করেছে (চিত্র ৬.১৮)। ডান দিকের মাধ্যমে বায়ুর প্রতিসরণাঙ্ক 1 এবং বাম দিকের মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক μ। ধরা যাক, $\mu > 1$। C গোলীয় পৃষ্ঠের বক্রতার কেন্দ্র এবং O এর মেরু। সুতরাং OP হচ্ছে গোলীয় পৃষ্ঠের প্রধান অক্ষ। বায়ু মাধ্যমে প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত P বিন্দু উৎস থেকে নিঃসৃত একটি আলোক রশ্মি PO বরাবর গিয়ে অবতল পৃষ্ঠে লম্বভাবে আপতিত হয়, ফলে সেটি প্রতিসরণের পর সোজাসুজি OR পথে চলে যায়। আর একটি রশ্মি PS পথে গোলীয় পৃষ্ঠের মেরুর খুব নিকটে S বিন্দুতে আপতিত হয়ে প্রতিসরণের পর অভিলম্ব CSN-এরদিকে বেঁকে SA পথে চলে যায়। এই প্রতিসরিত রশ্মি দুটি পরস্পর অপসারী হয়। রশ্মিদ্বয়কে



চিত্র : ৬.১৮

পিছনের দিকে বাড়িয়ে দিলে এরা Q বিন্দু থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হয়। সুতরাং Q হচ্ছে P বিন্দুর অবাস্তব বিম্ব।

এখন ধরা যাক, আপতন কোণ = $\angle PSC = i$ এবং

প্রতিসরণ কোনো $= \angle NSA = \angle CSQ = r$

এখন ঘন মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক, $\mu = \dfrac{\sin i}{\sin r}$

বা, $\sin i = \mu \sin r$

i ও r খুব ছোট বলে sin i = i এবং r = r রেডিয়ান লেখা যায়।

সুতরাং $i = \mu r$ .... (৬.৩২)

ধরা যাক, $\angle SPO = \alpha, \angle SQO = \beta, \angle SCO = \gamma$

এখন SCP ত্রিভুজ থেকে, $\gamma = i + \alpha$

[$\because$ ত্রিভুজের বহিস্থ কোণ অন্তঃস্থ বিপরীত দুই কোণদ্বয়ের যোগফলের সমান]

$\therefore$ $i = \gamma - \alpha$ .... (৬.৩৩)

আবার, SCQ ত্রিভুজ থেকে, $\gamma = r + \beta$

$\therefore$ $\gamma = r + \beta$ .... (৬.৩৪)

(৬.৩২) সমীরণে i ও r-এর মান বসিয়ে,

$(\gamma - \alpha) = \mu (\gamma - \beta)$

বা, $\gamma - \alpha - \mu\gamma - \mu\beta$ বা, $\mu\beta - a = \mu\gamma - \gamma$

বা, $\mu\beta - \alpha = (\mu - 1)\gamma$ .... (৬.৩৫)

গোলীয় পৃষ্ঠের উন্মেষ খুব ছোট হওয়ায় α, β ও γ কোণগুলোও খুব ছোট হবে। কোণগুলোকে রেডিয়ানে প্রকাশ হলে (৬.৩৫) সমীকরণ দাঁড়ায়,

$$\frac{SO}{SQ} - \frac{SO}{OP} = (\mu - 1)\frac{SO}{OC}$$

বা, $\dfrac{\mu}{SQ} - \dfrac{1}{OP} = \dfrac{(\mu - 1)}{OC}$ .... (৬.৩৬)

এখন চিহ্নের বাস্তব ধনাত্মক প্রথা অনুসারে অর্থাৎ গোলীয় পৃষ্ঠের মেরু থেকে সকল বাস্তব দূরত্ব ধনাত্মক এবং সকল বাস্তব দূরত্ব ঋণাত্মক ধরে আমরা পাই,

লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব, $OP = +u$

বিম্বের দূরত্ব, $OQ = -v$

বক্রতার ব্যাসার্ধ, $OC = -r$

এখন (৬.৩৬) সমীকরণে মান বসিয়ে,

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

বা, $\dfrac{\mu}{v} + \dfrac{1}{u} = \dfrac{(\mu - 1)}{r}$ .... (৬.৩৭)

গোলীয় উত্তরল প্রতিসারক তলের জন্যও একই সম্পর্ক পাওয়া যায়।

আলো যদি μ প্রতিসরণাঙ্কের ঘন মাধ্যম থেকে বায়ুতে প্রতিসরিত হয় তাহলে (৬.২৯) সমীকরণের রূপ হবে

$$\frac{1}{v}+\frac{\mu}{u}=\frac{1-\mu}{r} \quad \text{...} (৬.৩৮)$$

আর গোলীয় অবতল পৃষ্ঠে আপতিত হোক বা উত্তল পৃষ্ঠে আপতিত হোক, বিম্ব বাস্তব হোক বা অবাস্তব হোক, সোজা হোক বা উল্টো হোক (৬.৩৭) এবং (৬.৩৮) সমীকরণ প্রযোজ্য হবে।

বিশেষ দ্রষ্টব্য :

μ_1 প্রতিসরণাঙ্কের কোনো মাধ্যম থেকে আলো যদি গোলীয় পৃষ্ঠে আপতিত হয়ে μ_2 প্রতিসরণাঙ্কের কোনো মাধ্যমে প্রতিসরিত হয়, তাহলে প্রতিসরণের সাধারণ সূত্র হয়

$$\frac{\mu_2}{v}-\frac{\mu_1}{u}=\frac{\mu_2-\mu_1}{r} \quad \text{...} (৬.৩৯)$$

এই ক্ষেত্রে আলো হালকা মাধ্যম থেকে ঘন মাধ্যমে আপতিত হলো না ঘন মাধ্যম থেকে হালকা মাধ্যমে আপতিত হলো, উত্তল পৃষ্ঠে আপতিত হলো না অবতল পৃষ্ঠে আপতিত হলো, বিম্ব বাস্তব হলো না অবাস্তব হলো, সোজা হলো না উল্টা হলো তাতে কিছুই যায় আসে না। সকল ক্ষেত্রেই এই সমীকরণ প্রযোজ্য। তবে এই সমীকরণ ব্যবহার করার সময় প্রথা অনুযায়ী অবশ্যই যথাযথ চিহ্ন বসাতে হবে।

গোলীয় উত্তল প্রতিসারক তলের জন্যেও একই সম্পর্ক পাওয়া যায়। (৬.৩৯) সমীকরণকে গোলীয় তলে প্রতিসরণের জন্য গাউসের সমীকরণ (Gauss's equation) বলে।

সার-সংক্ষেপ :

উত্তল বা অবতল প্রতিসারক তলের জন্য , $\frac{{}_a\mu_b}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{r}\left({}_a\mu_b-1\right)$ বা, $\frac{\mu_b}{v}+\frac{\mu_a}{u}=\frac{\mu_b-\mu_a}{r}$ । উত্তল তলের ক্ষেত্রে r ধনাত্মক এবং অবতল তলের জন্য r ঋণাত্মক।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৬.৬

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

১। গোলীয় তলে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে কোনটি গাউসের সূত্র

ক. $\frac{{}_a\mu_b}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{r}\left({}_a\mu_b-1\right)$ খ. $\mu=\frac{\sin\frac{A+\delta_m}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$

M. $\frac{\mu_b}{v}+\frac{\mu_a}{u}=\frac{\mu_b-\mu_a}{r}$ ঘ. $\theta=\frac{(\mu_v-\mu_r)}{(\mu-1)}\times\delta$

২। গোলীয় প্রতিসারক তল-

ক. কাচ খন্ডের ন্যায় আচরণ করে। খ. লেন্সের ন্যায় আচরণ করে।

গ. প্রিজমের ন্যায় আচরণ করে। ঘ. দর্পণের ন্যায় আচরণ করে।

পাঠ-৬.৭ : লেন্স
Lens

উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- বিভিন্ন প্রকার লেন্সের ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- লেন্স সংক্রান্ড় বিভিন্ন রাশি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- লেন্সে রশ্মিচিত্র আঁকার নিয়ম এবং বিম্ব সৃষ্টি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৬.৭.১ বিভিন্ন প্রকার লেন্স (Different types of Lens):

নির্দিষ্ট জ্যামিতিক আকারের দুটি মসৃণ তল দিয়ে সীমাবদ্ধ কোনো স্বচ্ছ সমসত্ত্ব মাধ্যমের অংশকে লেন্স বলে। এই তল গুলো বিভিন্ন আকারের হতে পারে। এদের মধ্যে গোলীয় তল বিশিষ্ট লেন্সই বেশী প্রচলিত। এদেরকে গোলীয় লেন্স (Spherical lens) বলে। আমাদের আলোচনা গোলীয় লেন্সের মধ্যে সীমাবদ্ধ রাখব। বেলনাকার তল বিশিষ্ট লেন্সকে বেলনাকার লেন্স (Cylindrical lens) বলা হয়।

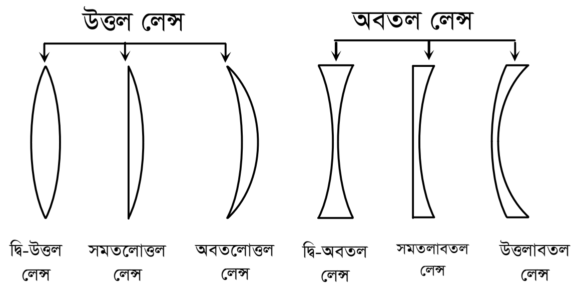
গোলীয় লেন্স বা লেন্স প্রধানতঃ দুই প্রকার (ক) উত্তল লেন্স এবং (খ) অবতল লেন্স। উত্তল লেন্সের মধ্যভাগ মোটা এবং প্রান্ড়ভাগ সরু। উত্তল লেন্স আবার বিভিন্ন ধরণের হতে পারে।

(৬.১৯ নং) চিত্রে বিভিন্ন ধরণের উত্তল লেন্স দেখানো হয়েছে।

(১) যে লেন্সের উভয় তল বাহির দিকে উত্তল তাকে দ্বি-উত্তল (Double-convex) লেন্স বলে। তল দুটির বক্রতার ব্যাসার্ধ সমান হতে পারে এবং নাও হতে পারে। সমান হলে লেন্সটিকে সম দ্বি-উত্তল (Equeiconvex) লেন্স বলে।

(২) যে লেন্সের একটি তল সমতল এবং অপরটি উত্তল তাকে সমতলোত্তল (Plano-convex) লেন্স বলে।

(৩) যে লেন্সের একটি তল অবতল এবং অপরটি উত্তল হলে এবং অবতল তলের তুলনায় উত্তল তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ কম হয় তা হলে লেন্সটিকে অবতলোত্তল (Concavo-convex) লেন্স বলে।



চিত্র ৬.১৯

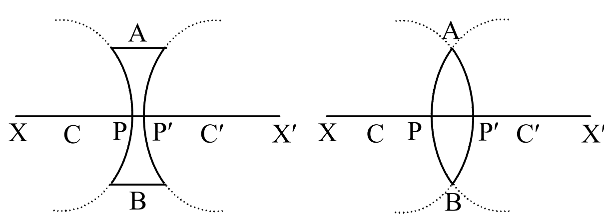
অবতল লেন্সের মধ্যভাগ সরু এবং প্রান্ড়ভাগ মোটা। অবতল লেন্স আবার বিভিন্ন ধরণের হতে পারে।

(৬.১৯ নং) চিত্রে বিভিন্ন ধরণের অবতল লেন্স দেখানো হয়েছে।

(১) যে লেন্সের উভয় তল বাহির দিকে অবতল তাকে দ্বি-অবতল (Double- Concave) লেন্স বলে। তল দুটির বক্রতার ব্যাসার্ধ সমান হতে পারে এবং নাও হতে পারে। সমান হলে লেন্সটিকে সম দ্বি-অবতল (Equeiconcave) লেন্স বলে।

(২) যে লেন্সের একটি তল সমতল এবং অপরটি অবতল তাকে সমতলাবতল (Plano-concave) লেন্স বলে।

(৩) যে লেন্সের একটি তল অবতল এবং অপরটি উত্তল হলে এবং উত্তল তলের তুলনায় অবতল তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ কম হয় তা হলে লেন্সটিকে উত্তলাবতল (Convexo-concave) লেন্স বলে।



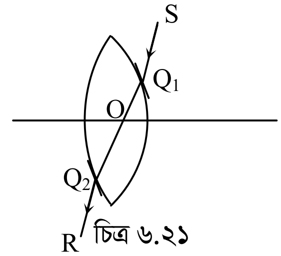
(ক) চিত্র ৬.২০ (খ)

৬.৭.২ কতিপয় সংজ্ঞা (Some Definition):

(ক) প্রধান অক্ষ (Principal Axis): যে সরল রেখা লেন্সের তলদ্বয়ের বক্রতা কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে যায় তাকে লেন্সের প্রধান অক্ষ বলে। (৬.২০) (ক) ও (খ) চিত্রে C ও C′ যথাক্রমে APB ও AP′B বক্র তলের বক্রতা কেন্দ্রে। C ও C′ বিন্দুদ্বয়ের সংযোগকারী রেখা X X′ হলো প্রধান অক্ষ। এই রেখা লেন্সের তলদ্বয়ের P ও P′ বিন্দুতে ছেদ করে। প্রধান অক্ষ বরাবর

PP′ দূরত্বকে লেন্সের বেধ বলে। কোনো লেন্সের বেধ বক্রতা ব্যাসার্ধের তুলনায় নগণ্য হলে ঐ লেন্সকে সরু বা পাতলা লেন্স বলে। আমরা এই অংশে কেবল মাত্র ক্ষুদ্র উন্মেষবিশিষ্ট সরু লেন্স সম্পর্কে আলেচনা করব।

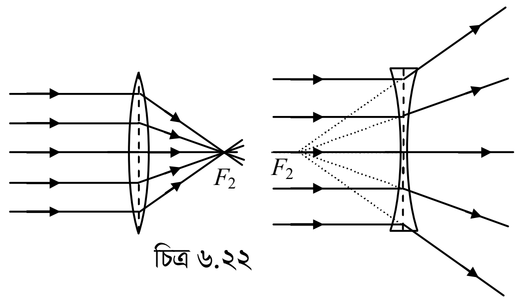
(খ) আলোক কেন্দ্র (Optical Centre): আলোক রশ্মি কোনো লেন্সের এক পৃষ্ঠে আপতিত হয়ে নির্গত হওয়ার সময় যদি আপতিত রশ্মির সমান্তরালভাবে নির্গত হয় তাহলে আলোক রশ্মি লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর যে বিন্দু দিয়ে যায় সেই বিন্দুকে আলোক কেন্দ্র বলে। অর্থাৎ আলোক রশ্মি লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর যে বিন্দুর মধ্য দিয়ে গমন করলে প্রতিসরণের ফলে এর দিকের কোনো পরিবর্তন হয় না সেই বিন্দুকে লেন্সের আলোক কেন্দ্র বলে।



চিত্র ৬.২১

(৬.২১ নং) চিত্রে SQ_1 রশ্মি লেন্সের Q_1 বিন্দুতে আপতিত হয়ে Q_2R পথে প্রতিসরিত হলে Q_1Q_2 রশ্মি প্রধান অক্ষকে O বিন্দুতে ছেদ করে। এখানে O লেন্সের আলোক কেন্দ্র। লেন্সটি সরু লেন্স হলে SQ_1, Q_1Q_2 এবং Q_2R একই সরলরেখায় হবে। লেন্সের আকৃতির উপর নির্ভর করে আলোক কেন্দ্র লেন্সের ভেতরে বা বাইরে হতে পারে।

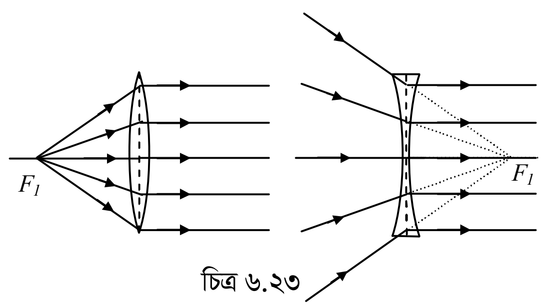
(গ) প্রধান ফোকাস (Principal Focus): প্রধান অক্ষের সমান্তরাল অলোক রশ্মি লেন্স দিয়ে প্রতিসরিত হবার পর প্রধান অক্ষের যে বিন্দুতে মিলিত হয় বা যে বিন্দু থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হয় তাকে প্রধান ফোকাস বা দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস বলে। (৬.২২ নং) চিত্রে F_2 দিয়ে দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস দেখানো হয়েছে। লেন্স যেহেতু প্রতিসারক তল সেহেতু এর আরো একটি ফোকাস বিন্দু আছে। প্রধান ফোকাসের যে বিন্দু থেকে আলোক রশ্মি লেন্সের উপর পড়লে বা পড়ছে বলে মনে হলে প্রতিসরিত আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরাল হয় ঐ বিন্দুকে প্রথম প্রধান ফোকাস বলে। চিত্র (৬.২৩ নং) চিত্রে F_1 দিয়ে প্রথম প্রধান ফোকাস দেখানো হয়েছে। **দ্বিতীয় প্রধান ফোকাসকেই প্রধান ফোকাস বা মুখ্য ফোকাস হিসাবে ধরা হয়।**



চিত্র ৬.২২

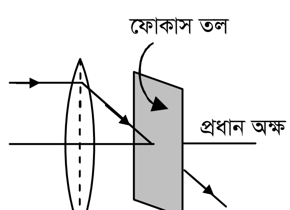
(গ) ফোকাস দূরত্ব (Focal Length): লেন্সের আলোক কেন্দ্র থেকে প্রধান ফোকাস পর্যন্ত দূরত্বকে ফোকাস দূরত্ব বলে। একে সাধারণতঃ f দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

(ঘ) ফোকাস তল (Focal Plane): কেনো লেন্সের প্রধান ফোকাসের মধ্য দিয়ে প্রধান অক্ষের উপর লম্ব ভাবে যে তল কল্পনা করা হয় তাকে ফোকাস তল বলে। লেন্সের গৌণ ফোকাসগুলো এই তলে অবস্থান করে। (৬.২৪ নং) চিত্রে উত্তল লেন্সের ফোকাস তল দেখানো হয়েছে।

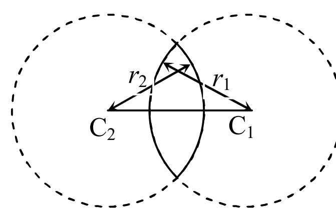


চিত্র ৬.২৩

(ঙ) বক্রতা ব্যাসার্ধ (Radius of Curvature): লেন্সের কোনো তল (বা উভয় তল) যে গোলকের অংশ বিশেষ ঐ গোলকের ব্যাসার্ধকে লেন্সের বা ঐ তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ বলে। ৬.২৫ নং চিত্রে r_1 ও r_2 বক্রতার ব্যাসার্ধ। বক্রতার ব্যাসার্ধকে সাধারণতঃ r দিয়ে প্রকাশ করা হয়।



চিত্র ৬.২৪



চিত্র ৬.২৫

(চ) অনুবন্ধী ফোকাস (Conjugate Foci or Point): লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর অসংখ্য জোড়া জোড়া বিন্দু

আছে যার একটিতে বস্তু স্থাপন করলে অপরটিতে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। এই জোড়া বিন্দু একে অপরের অনুবন্ধী ফোকাস। চিত্র [৬.৩০, ৬.৩১, ৬.৩২] এর Q ও Q' অনুবন্ধী ফোকাস।

৬.৭.৩ লেন্সের রশ্মি চিত্র (Ray Diagram in Lens):

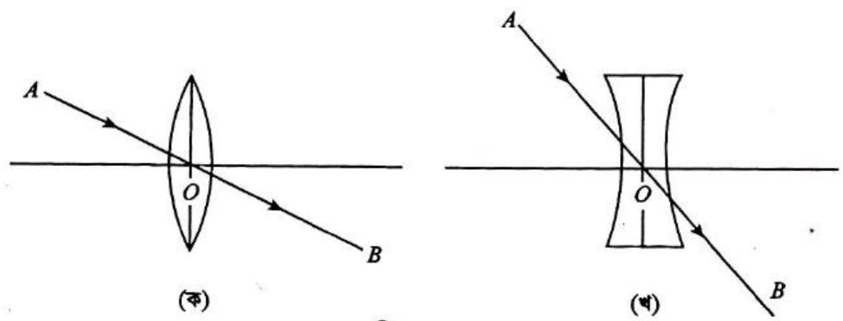
কোনো লেন্সের সামনে বস্তু রাখলে লেন্সে আলোর প্রতিসরণের ফলে বস্তুর বিম্ব গঠিত হয়। এই বিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও আকৃতি কেমন হবে তা জানতে হলে বস্তু থেকে নিঃসৃত আলোক রশ্মিগুচ্ছ লেন্সে প্রতিসরিত হয়ে কোথায় মিলিত হয় বা কোথা থেকে আসছে বলে মনে হয় তা জানতে হবে। কোনো লেন্সের আলোক কেন্দ্র এবং প্রধান ফোকাস নির্দিষ্ট বলে কয়েকটি বিশেষ রশ্মি ঐ লেন্সে প্রতিসরিত হয়ে কোন পথে যাবে তা আমরা সহজে স্থির করতে পারি। এই সকল রশ্মি চিত্র অঙ্কন করে আমরা সহজে বিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি ও আকৃতি নির্ণয় করতে পারি।

রশ্মি চিত্র অঙ্কনের সময় চিত্রগুলোকে সহজ করার জন্য লেন্সের মধ্যভাগ দিয়ে অঙ্কিত উলম্ব রেখা বরাবর আলোক রশ্মি দিক পরিবর্তন করেছে বলে দেখানো হয়েছে, যদিও প্রকৃতপক্ষে লেন্সের দুই পৃষ্ঠে দুই বার আলোক রশ্মির দিক পবিরর্তন ঘটে।

সর⁻ উত্তল এবং সর⁻ অবতল উভয় প্রকার লেন্সের ক্ষেত্রে সচরাচর নিচের তিন ধরনের রশ্মি ব্যবহার করে বিম্ব অঙ্কন করা যায়। যেমন−

১. লেন্সের আলোক কেন্দ্র দিয়ে আপতিত রশ্মি প্রতিসরণের পর সোজাসুজি চলে যায়।

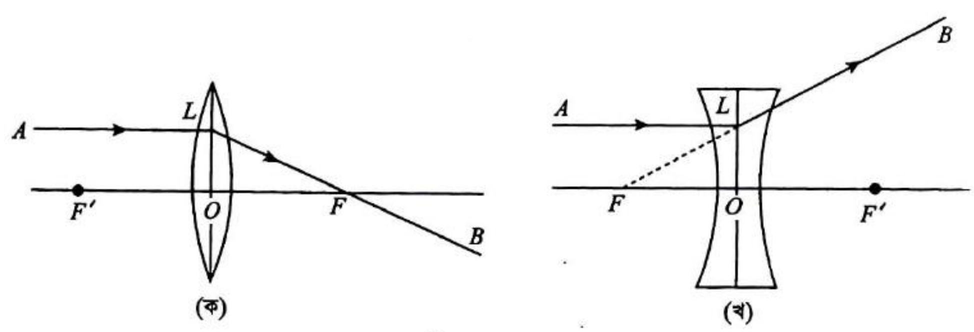
[৬.২৬ (ক) ও (খ)] চিত্রে একটি রশ্মি AO লেন্সের আলোক কেন্দ্র O বরাবর আপতিত হয়ে সোজাসুজি OB পথে প্রতিসরিত হয়।



চিত্র : ৬.২৬

২. লেন্সের প্রধান অক্ষের সমান্তরাল আপতিত রশ্মি প্রতিসরণের পর প্রধান ফোকাস দিয়ে যায় (উত্তল লেন্সে) বা প্রধান ফোকাস থেকে আসছে বলে মনে হয় (অবতল লেন্সে)।

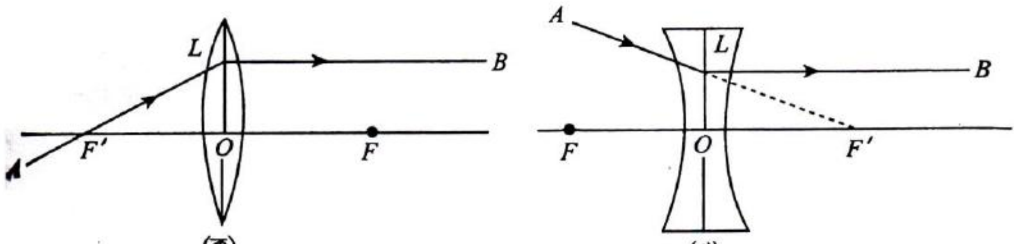
[৬.২৭ (ক)] চিত্রে একটি রশ্মি AL উত্তল লেন্সের প্রধান অক্ষ F′OF এর সমান্তরালে L বিন্দুতে আপতিত হয়ে প্রধান ফোকাস F দিয়ে LFB পথে প্রতিসরিত হয়।



চিত্র : ৬.২৭

৬.২৭ (খ) চিত্রে একটি রশ্মি AL অবতল লেন্সের প্রধান অক্ষ FOF′-এর সমান্তরালে L বিন্দুতে আপতিত হয়ে LB পথে এমনভাবে প্রতিসরিত হয় যেন এটি প্রধান ফোকাস F থেকে আসছে বলে মনে হয় অর্থাৎ LB-কে পেছন দিকে বাড়ালে F বিন্দুতে মিলিত হয়।

৩. লেন্সের প্রধান ফোকাসের মধ্য দিয়ে (উত্তল লেন্সে) বা প্রধান ফোকাস অভিমুখী (অবতল লেন্সে) আপতিত রশ্মি প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষের সমান্ড়রাল হয়ে যায়।



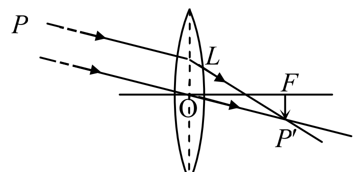
চিত্র : ৬.২৮

[৬.২৮ (ক)] চিত্রে একটি রশ্মি AL উত্তল লেন্সের প্রধান ফোকাস F′ দিয়ে L বিন্দুতে আপতিত হয়ে প্রধান অক্ষ OF-এর সমান্ড়রালে LB পথে প্রতিসরিত হয়। [৬.২৮ (খ)] চিত্রে অবতল লেন্সের প্রধান ফোকাস F′ অভিমুখে আপতিত একটি রশ্মি AL লেন্সে L বিন্দুতে আপতিত হয়ে প্রধান অক্ষ FOF′ এর সমান্ড়রালে LB পথে প্রতিসরিত হয়।

৭.৪ উত্তল লেন্স দিয়ে লক্ষ্য বস্তুর প্রতিবিম্ব গঠন (Image Formation by a Convex lens of an Object):

মনে করি একটি উত্তল লেন্সের আলোক কেন্দ্র O, ফোকাস F এবং এর বক্রতার কেন্দ্র C। উত্তল লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর লম্ব ভাবে অবস্থিত একটি বস্তু PQ এর প্রধান অক্ষের উপর বিভিন্ন অবস্থানের জন্য সৃষ্ট প্রতিবিম্ব $P'Q'$ এর অবস্থান, আকৃতি ও প্রকৃতি নীচে দেয়া হলো।

১। **লক্ষ্যবস্তু যখন অসীমে অবস্থিত:** অসীম দূরে অবস্থিত লক্ষ্যবস্তুর শীর্ষ P থেকে আগত সমান্ড়রাল আলোকরশ্মি প্রধান অক্ষের সাথে আনত ভাবে উত্তল লেন্সের উপর আপতিত ও প্রতিসরিত হয়ে P' বিন্দুতে ফোকাসতলে মিলিত হয়। P' থেকে অক্ষের উপর অঙ্কিত লম্বই অসীম দূরে অবস্থিত লক্ষ্যবস্তুর প্রতিবিম্ব $P'F$। (চিত্র নং ৬.২৯)



চিত্র ৬.২৯

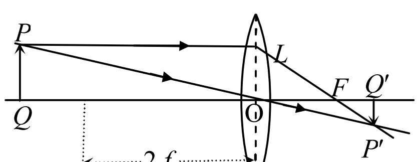
চিত্রানুসারে,

প্রতিবিম্বের অবস্থান ঃ ফোকাস তলে এবং উত্তল লেন্সের বিপরীত পার্শ্বে।

প্রতিবিম্বের প্রকৃতি ঃ বাস্ড়ব ও উল্টা।

প্রতিবিম্বের আকৃতি ঃ বস্তু অপেক্ষা অত্যন্ড় ছোট (বিন্দুবত)।

২। **লক্ষ্যবস্তু যখন অসীম ও $2f$ এর মধ্যে অবস্থিত ঃ** অসীম ও $2f$ এর মধ্যে অবস্থিত লক্ষ্যবস্তু PQ এর শীর্ষ বিন্দু P থেকে আগত আলোকরশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্ড়রাল ভাবে উত্তল লেন্সের L বিন্দুতে আপতিত ও প্রতিসরিত হয়ে ফোকাস বিন্দু F দিয়ে গমন করে। P থেকে অপর একটি আলোকরশ্মি লেন্সের আলোক কেন্দ্রে আপতিত হয়ে গতিপথ পরিবর্তন না করে পূর্ববর্তী আলোক রশ্মির সাথে P' বিন্দুতে মিলিত হয়। সুতরাং P বিন্দুর প্রতিবিম্ব P'| অতএব PQ এর প্রতিবিম্ব $P'Q'$ (চিত্র নং ৬.৩০)।



চিত্র ৬.৩০

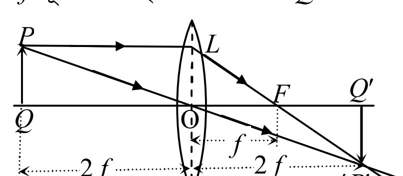
চিত্রানুসারে,

প্রতিবিম্বের অবস্থান ঃ বক্রতার কেন্দ্র ও ফোকাসের মধ্যের কোন বিন্দুতে এবং উত্তল লেন্সের বিপরীত পার্শ্বে।

প্রতিবিম্বের প্রকৃতি ঃ বাস্ড়ব ও উল্টা।

প্রতিবিম্বের আকৃতি ঃ বস্তু অপেক্ষা ছোট।

৩। **লক্ষ্যবস্তু যখন আলোক কেন্দ্র থেকে $2f$ দূরে অবস্থিত ঃ** আলোক কেন্দ্র থেকে $2f$ দূরে অবস্থিত লক্ষ্যবস্তু PQ এর শীর্ষ বিন্দু P থেকে আগত আলোকরশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্ড়রাল ভাবে উত্তল লেন্সের L বিন্দুতে আপতিত ও প্রতিসরিত হয়ে ফোকাস বিন্দু F দিয়ে গমন করে। P থেকে অপর একটি আলোক রশ্মি লেন্সের আলোক কেন্দ্র O তে আপতিত হয়ে

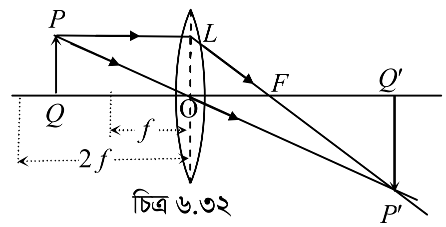


চিত্র ৬.৩১

গতিপথ পরিবর্তন না করে পূর্ববর্তী আলোক রশ্মির সাথে P' বিন্দুতে মিলিত হয়। সুতরাং P বিন্দুর প্রতিবিম্ব P' । অতএব, PQ Gi প্রতিবিম্ব $P'Q'$ । (চিত্র নং ৬.৩১)

চিত্রানুসারে,
প্রতিবিম্বের অবস্থান ঃ আলোক কেন্দ্র থেকে $2f$ দূরে।
প্রতিবিম্বের প্রকৃতি ঃ বাস্ড়ব ও উল্টা এবং উত্তল লেন্সের বিপরীত পার্শ্বে।
প্রতিবিম্বের আকৃতি ঃ বস্তুর সমান।

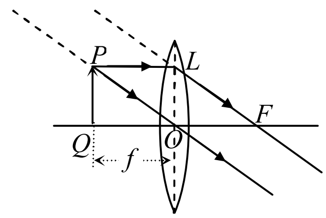
৪। **লক্ষ্যবস্তু যখন আলোক কেন্দ্র থেকে $2f$ ও ফোকাসের মধ্যে অবস্থিত ঃ** $2f$ ও ফোকাসের মধ্যে অবস্থিত লক্ষ্যবস্তু PQ এর শীর্ষ বিন্দু P থেকে আগত আলোকরশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্ড়রাল ভাবে উত্তল লেন্সের L বিন্দুতে আপতিত ও প্রতিসরণের সূত্রানুসারে প্রতিসরিত হয়ে ফোকাস বিন্দু F দিয়ে গমন করে। P থেকে অপর একটি আলোকরশ্মি আলোককেন্দ্র O তে আপতিত হয়ে গতিপথ পরিবর্তন না করে পূর্ববর্তী আলোক রশ্মির সাথে P' বিন্দুতে মিলিত হয়। সুতরাং P বিন্দুর প্রতিবিম্ব P' । অতএব PQ এর প্রতিবিম্ব $P'Q'$ । (চিত্র নং ৬.৩২)



চিত্র ৬.৩২

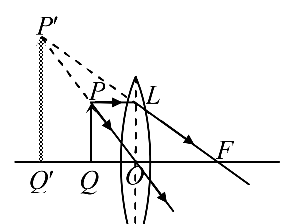
চিত্রানুসারে,
প্রতিবিম্বের অবস্থান ঃ $2f$ ও অসীমের মাঝে।
প্রতিবিম্বের প্রকৃতি ঃ বাস্ড়ব ও উল্টা।
প্রতিবিম্বের আকৃতি ঃ বস্তুর চেয়ে বড়।

৫। **লক্ষ্যবস্তু যখন ফোকাসে অবস্থিত ঃ** ফোকাসে অবস্থিত লক্ষ্যবস্তু PQ এর শীর্ষ বিন্দু P থেকে আগত আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্ড়রাল ভাবে উত্তল লেন্সের L বিন্দুতে আপতিত ও প্রতিসরণের সূত্রানুসারে প্রতিসরিত হয়ে ফোকাস বিন্দু F দিয়ে গমন করে। P থেকে অপর একটি আলোকরশ্মি আলোক কেন্দ্র O তে আপতিত হয়ে গতিপথ পরিবর্তন না করে পূর্ববর্তী আলোক রশ্মির সাথে সমান্ড়রালভাবে গমন করে। তাই প্রতিসরিত আলোক রশ্মিদ্বয়কে পশ্চাৎদিকে বর্ধিত করলেও সমান্ড়রাল থাকে। (চিত্র নং ৬.৩৩)



চিত্র ৬.৩৩

চিত্রানুসারে,
প্রতিবিম্বের অবস্থান ঃ অসীমে।
প্রতিবিম্বের প্রকৃতি ঃ বাস্ড়ব বা অবাস্ড়ব, সোজা বা উল্টা।
প্রতিবিম্বের আকৃতি ঃ অসীম গুণ বর্ধিত।



চিত্র ৬.৩৪

৬। **লক্ষ্যবস্তু যখন ফোকাস ও আলোক কেন্দ্রের মধ্যে অবস্থিত ঃ** ফোকাস ও আলোক কেন্দ্রের মধ্যে অবস্থিত লক্ষ্যবস্তু PQ এর শীর্ষ বিন্দু P থেকে আগত আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্ড়রাল ভাবে উত্তল লেন্সের L বিন্দুতে আপতিত ও প্রতিসরিত হয়ে ফোকাস বিন্দু F দিয়ে গমন করে। P থেকে অপর একটি আলোকরশ্মি আলোককেন্দ্র O তে আপতিত হয়ে প্রতিসরণের সূত্রানুসারে প্রতিসরিত হয়ে সোজা পথে গমন করে। এই রশ্মিদ্বয়কে পশ্চাৎ দিকে বর্ধিত করলে লেন্সের পশ্চাৎ ভাগে P' বিন্দুতে পরস্পরের সাথে মিলিত হয়। সুতরাং P বিন্দুর প্রতিবিম্ব P' । অতএব PQ এর প্রতিবিম্ব $P'Q'$ । (চিত্র নং ৬.৩৪)

চিত্রানুসারে,
প্রতিবিম্বের অবস্থান ঃ লেন্সের সামনে।
প্রতিবিম্বের প্রকৃতি ঃ অবাস্ড়ব ও সোজা।
প্রতিবিম্বের আকৃতি ঃ বস্তুর চেয়ে বড়।

সার-সংক্ষেপ :

প্রধান অক্ষ : যে সরল রেখা লেন্সের তলদ্বয়ের বক্রতা কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে যায় তাকে লেন্সের প্রধান অক্ষ বলে।

আলোক কেন্দ্র: লেন্সের যে বিন্দু দিয়ে আলোক রশ্মি গমন করলে আলোক রশ্মির বিচ্যুতি ঘটে না সেই বিন্দুকে আলোক কেন্দ্র বলে।

প্রধান ফোকাস: প্রধান অক্ষের সমান্তরাল অলোক রশ্মি লেন্স দিয়ে প্রতিসরিত হবার পর প্রধান অক্ষের যে বিন্দুতে মিলিত হয় বা যে বিন্দু থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হয় তাকে প্রধান ফোকাস বা দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস বলে।

ফোকাস দূরত্ব: লেন্সের আলোক কেন্দ্র থেকে প্রধান ফোকাস পর্যন্ত দূরত্বকে ফোকাস দূরত্ব বলে। একে সাধারণতঃ f দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

ফোকাস তল: কেনো লেন্সের প্রধান ফোকাসের মধ্য দিয়ে প্রধান অক্ষের উপর লম্ব ভাবে যে তল কল্পনা করা হয় তাকে ফোকাস তল বলে। লেন্সের গৌণ ফোকাসগুলো এই তলে অবস্থান করে।

বক্রতা ব্যাসার্ধ: লেন্সের কোনো তল (বা উভয় তল) যে গোলকের অংশ বিশেষ ঐ গোলকের ব্যাসার্ধকে লেন্সের বা ঐ তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ বলে।

অনুবন্ধী ফোকাস: লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর অসংখ্য জোড়া জোড়া বিন্দু আছে যার একটিতে বস্তু স্থাপন করলে অপরটিতে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। এই জোড়া বিন্দু একে অপরের অনুবন্ধী ফোকাস।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৬.৭

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১। প্রতিবিম্ব অসীমে পেতে হলে বস্তুকে কোথায় রাখতে হবে?

ক. আলোক কেন্দ্রে খ. ফোকাসে
গ. ফোকাসের দ্বিগুণ দূরে ঘ. অসীম ও ফোকাসের মাঝে

২। বস্তুকে ফোকাসের দ্বিগুণ দূরে রাখলে প্রতিবিম্ব কোথায় পাওয়া যাবে?

ক. আলোক কেন্দ্রে খ. ফোকাসে
গ. ফোকাসের দ্বিগুণ দূরে ঘ. অসীম ও ফোকাসের মাঝে

পাঠ-৬.৮ : লেন্স তৈরির সমীকরণ
Lens maker's Formula

উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

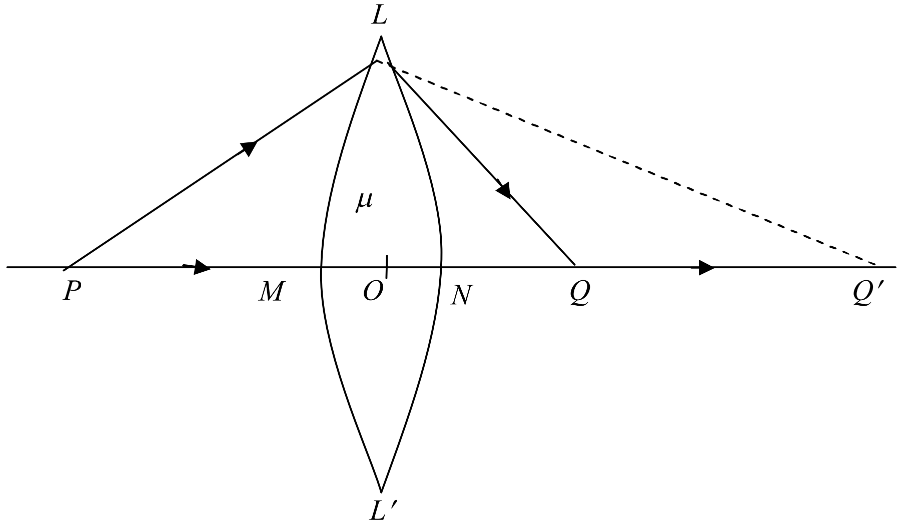
- লেন্স প্রস্তুতকারকের গাণিতিক সমীকরণ প্রতিপাদন করতে পারবেন।

৬.৮.১ লেন্স তৈরির সমীকরণ (Lens Maker's Equation):

কোনো প্রতিসারক মাধ্যম দুটি গোলীয় পৃষ্ঠ দ্বারা সীমাবদ্ধ হলে লেন্স গঠিত হয়। সুতরাং লেন্সের মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মি গমনের সময় দুবার প্রতিসরিত হয়। একবার লেন্সে প্রবেশের সময় ও দ্বিতীয়বার লেন্স থেকে বের হবার সময়।

ধরা যাক, LL' একটি সরু লেন্স [চিত্র ৬.৩৫]। লেন্সটি বায়ু মাধ্যমে অবস্থিত। চারপাশ সাপেক্ষে লেন্সের উপাদানের প্রতিসরণাঙ্ক μ । ধরা যাক, লেন্সের প্রধান অক্ষের উপর P একটি বিন্দু লক্ষ্যবস্তু এবং লেন্সটির আলোক কেন্দ্র O । P বস্তু থেকে নিঃসৃত একটি আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষ PO বরাবর M বিন্দুতে আপতিত হয়ে সোজাসুজি প্রতিসরিত হয়।

অপর আলোকরশ্মি লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠে প্রতিসরিত হয়ে প্রধান অক্ষের উপরস্থ Q' বিন্দুতে বিম্ব গঠন করে। সুতরাং Q' হবে দ্বিতীয় পৃষ্ঠের ক্ষেত্রে অবাস্তব লক্ষ্যবস্তু। লেন্সের দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বেলায় আলো Q' বিন্দু থেকে আসছে বলে মনে হয়। রশ্মি দুটি দ্বিতীয় পৃষ্ঠে প্রতিসরণের পর N বিন্দুতে প্রকৃতপক্ষে মিলিত হয়। সুতরাং Q হচ্ছে P বিন্দুর চূড়ান্ত বাস্তব বিম্ব [চিত্র ৬.৩৫]।



চিত্র ৬.৩৫

এখন লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠে প্রতিসরণ বিবেচনা করলে এবং সরু লেন্স বলে এর পুরুত্ব উপেক্ষা করলে প্রথম পৃষ্ঠের মেরু A_1 এবং লেন্সের আলোক কেন্দ্র O কে একই বিন্দু O বিবেচনা করা যায়। অতএব, লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব $OP = u$ বিম্বের দূলত্ব,

$OQ' = v'$

(৬.৩৭) সমীকরন থেকে আমরা পাই,

$$\frac{\mu}{v'} + \frac{1}{u} = \frac{\mu - 1}{r_1} \quad \text{..........}(৬.৪০)$$

এখানে r_1 লেন্সের প্রথম পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ।

আবার, লেন্সের দ্বিতীয় পৃষ্ঠে প্রতিসরণের সময় আলো লেন্স থেকে বায়ুতে প্রবেশ করেছে। এক্ষেত্রে দ্বিতীয় পৃষ্ঠের মেরু N এবং লেন্সের আলোক কেন্দ্র O কে একই বিন্দু O বিবেচনা করে

লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব, $OQ' = -v'$ [$\because$ অবাস্তব লক্ষ্যবস্তু]

বিম্বের দূরত্ব, $OQ = v$

(৬.৩৮) সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$\frac{1}{v} + \frac{\mu}{-v'} = \frac{1-\mu}{r_2} \quad \text{..........}(৬.৪১)$$

এখানে, r_2 লেন্সের দ্বিতীয় পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ।

সমীকরণ (৬.৪০) ও (৬.৪১) যোগ করে আমরা পাই,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{\mu - 1}{r_1} + \frac{1-\mu}{r_2}$$

বা, $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$ ....(৬.৪২)

আমরা জানি, বস্তু অসীম দূরত্বে থাকলে প্রতিবিম্ব প্রধান ফোকাসে গঠিত হয়।

অর্থাৎ, $u=\infty$ হলে, $v=f$ হয়। সুতরাং (৬.৪২) সমীকরণ ব্যবহার কর আমরা পাই,

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

$\therefore\ \frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$ ....(৬.৪৩)

এই সমীকরণকে লেন্সের ফোকাস দূরত্বের সাধারণ সমীকরণ বলে। লেন্স তৈরির কাজে এই সমীকরণ ব্যবহার করা হয় বলে একে লেন্স তৈরির সমীকরণ বা প্রস্তুতকারকের সমীকরণও বলা হয়।

লেন্সের চারপাশের মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক μ_m ও লেন্সের উপাদানের প্রতিসরণাক্ত μ_l হলে,

$${}_m\mu_1=\frac{\mu_l}{\mu_m}$$

সুতরাং (৬.৪৩) সমীকরণের রূপ হবে-

$\frac{1}{f}=\left(\frac{\mu_l}{\mu_m}-1\right)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$ ....(৬.৪৪)

এখানে ${}_m\mu_1=\frac{\mu_l}{\mu_m}$

$\therefore\ \frac{1}{f}=({}_m\mu_1-1)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$ ....(৬.৪৫)

উদাহরণ ৬.১০: একটি দ্বি-উত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে $30\,\text{cm}$ এবং $40\,\text{cm}$। যদি মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক 1.64 হয় তবে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় করুন।

সমাধান: দেয়া আছে, $r_1=30\,\text{cm}=0.3\,\text{m}, r_2=40\,\text{cm}=0.4\,\text{m}$, $\mu=1.64$ এবং $f=?$

আমরা জানি, দ্বি-উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে,

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

মান বসালে, $\frac{1}{f}=(1.64-1)\left(\frac{1}{0.3}+\frac{1}{0.4}\right)$

বা, $\frac{1}{f}=0.64\times\frac{0.4+0.3}{0.4\times0.3}=0.64\times\frac{0.7}{0.12}=3.73$

বা $f=\frac{1}{3.73}=0.27\,\text{m}$

উ: দ্বি-উত্তল লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব $0.27\,\text{m}$।

উদাহরণ ৬.১১: একটি সম দ্বি-অবতল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ $40\,\text{cm}$ । মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক $\dfrac{3}{2}$ । যদি লেন্সটিকে $\dfrac{4}{3}$ প্রতিসরণাঙ্কের মাধ্যমে রাখা হয় তবে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় করুন।

সমাধান: দেয়া আছে, $r = 40\,\text{cm} = 0.4\,\text{m}$, $\mu_b = \dfrac{3}{2}$, $\mu_a = \dfrac{4}{3}$ এবং $f = ?$

আমরা জানি, সম দ্বি-অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে,

$$\frac{1}{f} = -\frac{1}{r}\left(\frac{\mu_b - \mu_a}{\mu_a}\right)$$

মান বসালে, $\dfrac{1}{f} = -\dfrac{1}{0.4}\left(\dfrac{\frac{3}{2}-\frac{4}{3}}{\frac{4}{3}}\right) = -\dfrac{1}{0.4}\times\dfrac{1}{6}\times\dfrac{3}{4} = 0.3125$

বা, $f = -\dfrac{1}{0.3125} = -3.2\,\text{m}$

উ: সম দ্বি-অবতল লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব $3.2\,\text{m}$ ।

সার-সংক্ষেপ :

লেন্স প্রস্তুতকারকের গাণিতিক সমীকরণ, $\dfrac{1}{f} = \left({}_a\mu_b - 1\right)\left(\dfrac{1}{r_1} - \dfrac{1}{r_2}\right)$

বা, $\dfrac{1}{f} = \left(\dfrac{\mu_b - \mu_a}{\mu_a}\right)\left(\dfrac{1}{r_1} - \dfrac{1}{r_2}\right)$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৬.৮

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১। পানির মধ্যে বায়ুর বুদবুদ কী ধরণের লেন্সের কাজ করে?

ক. উভ-উত্তল লেন্স খ. উভ-অবতল লেন্স গ. উত্তল-অবতল লেন্স ঘ. অবতল-উত্তল লেন্স

২। লেন্সের আলো কেন্দ্র একটি নির্দিষ্ট বিন্দু যার অবস্থান

ক. লেন্সের মধ্যে খ. লেন্সের বাইরে গ. লেন্সের ফোকাসে ঘ. লেন্সের প্রধান অক্ষে

পাঠ-৬.৯ : লেন্সের সাধারণ সমীকরণ : বিবর্ধন
(General Lens Equation : Magnification)

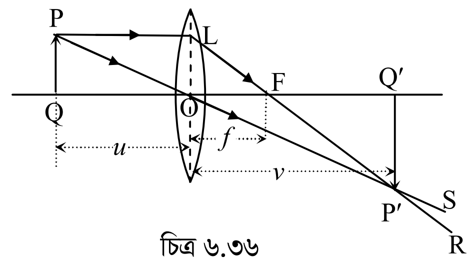
উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- লেন্সের সাধারণ সমীকরণ $\dfrac{1}{v} + \dfrac{1}{u} = \dfrac{1}{f}$ প্রতিপাদন করতে পাবেন।
- লেন্সের ক্ষেত্রে বিবর্ধনের রাশিমালা প্রতিপাদন করতে পাবেন।

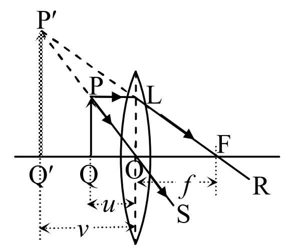
৬.৯.১ সরু উত্তল লেন্সের সাধারণ সমীকরণ (General Lens Equation of Thin Convex Lens):

বস্তু দূরত্ব, প্রতিবিম্ব দূরত্ব এবং ফেকাস দূরত্বের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক হলো লেন্সের সাধারণ সূত্র। এবং এদের সমন্বয়ে যে সমীকরণ পাওয়া যায় তাকে লেন্সের সাধারণ সমীকরণ বলে।



চিত্র ৬.৩৬

মনে করি, (৬.৩৬ নং চিত্র বাস্ড়ব, ৬.৩৭ নং চিত্র অবাস্ড়ব প্রতিবিম্বের জন্য) OL একটি পাতলা উত্তল লেন্স। PQ একটি বস্তু প্রধান অক্ষের উপর (বাস্ড়ব প্রতিবিম্বের জন্য প্রধান ফোকাসের বাইরে এবং অবাস্ড়ব প্রতিবিম্বের জন্য প্রধান ফোকাসের ভেতরে) Q বিন্দুতে অবস্থিত। P বিন্দু হতে একটি আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্ড়রাল ভাবে লেন্সের L বিন্দুতে আপতিত হবার পর প্রতিসরিত হয়ে প্রধান অক্ষে ফোকাস F বিন্দু দিয়ে LR পথে গমন করে। P বিন্দু থেকে অপর একটি আলোক রশ্মি লেন্সের আলোক কেন্দ্র O তে আপতিত ও প্রতিসরিত হয়ে কোনো বিচ্যুতি bv NwU‡q OS পথে গমন করে। এই প্রতিসরিত আলোক রশ্মিদ্বয় পরস্পরের (বাস্ড়ব প্রতিবিম্বের জন্য সরাসরি এবং অবাস্ড়ব প্রতিবিম্বের জন্য রশ্মিদ্বয়কে পশ্চাৎ দিকে বর্ধিত করলে) সাথে P′ বিন্দুতে মিলিত হয়। সুতরাং P বিন্দুর প্রতিবিম্ব P′। অতএব P′ বিন্দু থেকে প্রধান অক্ষের উপর অংকিত লম্ব P′Q′ হবে PQ এর প্রতিবিম্ব।



চিত্র ৬.৩৭

চিত্রানুসারে, ΔPOQ এবং $\Delta P'OQ'$ এর মধ্যে $\angle POQ = \angle P'OQ'$ (বাস্ড়বের জন্য বিপ্রতীপ এবং অবাস্ড়বের জন্য সাধারণ কোণ) এবং $PQ \| P'Q'$ আর ত্রিভুজদ্বয় QOQ′ রেখার উপর অবস্থিত। অতএব ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ।

সুতরাং, সদৃশ ত্রিভুজের সূত্রানুসারে, $\dfrac{PQ}{P'Q'} = \dfrac{OQ}{OQ'}$ .... (৬.৪৬)

আবার, ΔLOF এবং $\Delta P'Q'F$ এর মধ্যে $\angle LFO = \angle P'FQ'$ (বাস্ড়বের জন্য বিপ্রতীপ এবং অবাস্ড়বের জন্য সাধারণ কোণ), $OL \| P'Q'$ এবং ত্রিভুজদ্বয় OFQ′ সরল রেখার উপর অবস্থিত। অতএব ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ।

সুতরাং, $\dfrac{OL}{P'Q'} = \dfrac{OF}{Q'F}$ .... (৬.৪৭)

যেহেতু, $PL \| OQ$ এবং $OL \| PQ$ সেহেতু, $OL = PQ$।

সুতরাং, (৬.৪৭) নং সমীকরণকে লেখা যায়, $\dfrac{PQ}{P'Q'} = \dfrac{OF}{Q'F}$ .... (৬.৪৮)

(৬.৪৬) ও (৬.৪৮) নং সমীকরণ থেকে লেখা যায় $\dfrac{OQ}{OQ'} = \dfrac{OF}{Q'F}$ .... (৬.৪৯)

বাস্ড়ব প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রে ঃ

(৬.৩৬ নং) চিত্রানুসারে, $Q'F = OQ' - OF$ ।

সুতরাং, ৬.৪৯ নং সমীকরণকে লেখা যায়, $\dfrac{OQ}{OQ'} = \dfrac{OF}{OQ' - OF}$

চিত্রানুসারে, OQ = বস্তুর দূরত্ব = u, OQ′ = প্রতিবিম্ব দূরত্ব = v এবং OF = ফোকাস দূরত্ব = f ।

মান বসালে, $\dfrac{u}{v} = \dfrac{f}{v-f}$

বা, $uv - uf = vf$

Dc‡ii mgxKiYwU‡K uvf w`‡q fvM K‡i cvB, $\dfrac{uv}{uvf} - \dfrac{uf}{uvf} = \dfrac{vf}{uvf}$

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

বা, $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ .... (৬.৫০)

অবাস্ড়ব প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রে ঃ

(৬.৩৭ নং) চিত্রানুসারে, $Q'F = OQ' + OF$ ।

সুতরাং ৬.৪৯ নং সমীকরণকে লেখা যায়, $\frac{OQ}{OQ'}=\frac{OF}{OQ'+OF}$

চিত্রানুসারে, OQ = বস্তুর দূরত্ব $= u$, OQ' = অবাস্ড়ব প্রতিবিম্ব দূরত¦ $= -v$ এবং OF = ফোকাস দূরত্ব $= f$|

মান বসালে, $\frac{u}{-v}=\frac{f}{-v+f}$

বা, $-uv+uf=-vf$

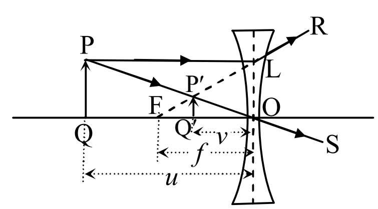
Dc‡ii mgxKiYwU‡K uvf w`‡q fvM K‡i cvB, $-\frac{uv}{uvf}+\frac{uf}{uvf}=-\frac{vf}{uvf}$

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

অতএব, $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ .... (৬.৫১)

৬.৯.২ সরল অবতল লেন্সের সাধারণ সমীকরণ (General Lens Equation of Thin Concave Lens):

মনে করি, (৬.৩৮) চিত্রে OL একটি পাতলা অবতল লেন্স। PQ একটি বস্তু প্রধান অক্ষের উপর Q বিন্দুতে অবস্থিত। P বিন্দু হতে একটি আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্ড়রাল ভাবে লেন্সের L বিন্দুতে আপতিত হবার পর প্রতিসরিত হয়ে LR পথে গমন করে। এই রশ্মিকে পশ্চাৎ দিতে বর্ধিত করলে প্রধান অক্ষের ফোকাস F বিন্দু দিয়ে অতিক্রম করবে। P বিন্দু থেকে অপর একটি আলোক রশ্মি লেন্সের আলোক কেন্দ্র O তে আপতিত ও প্রতিসরিত হয়ে OS পথে গমন করে। এই প্রতিসরিত আলোক রশ্মিদ্বয়কে পশ্চাৎ ভাগে বর্ধিত করলে পরস্পরের সাথে P' বিন্দুতে মিলিত হয়। সুতরাং P বিন্দুর প্রতিবিম্ব P'। অতএব P' বিন্দু থেকে প্রধান অক্ষের উপর অংকিত লম্ব $P'Q'$ হবে PQ এর প্রতিবিম্ব।



চিত্র ৬.৩৮

চিত্রনুসারে, ΔPOQ এবং $\Delta P'OQ'$ এর মধ্যে $\angle POQ = \angle P'OQ'$ (সাধারণ কোণ) এবং $PQ \parallel P'Q'$ আর ত্রিভুজদ্বয় POQ এবং $PO'Q'$, $QQ'O$ রেখাদ্বয়ের মধ্যে অবস্থিত। অতএব ত্রিভুজ দুইটি সদৃশ।

সদৃশ ত্রিভুজের সূত্রানুসারে, সুতরাং, $\frac{PQ}{P'Q'}=\frac{OQ}{OQ'}$ .... (৬.৫২)

আবার, ΔLOF এবং $\Delta P'Q'F$ এর মধ্যে $\angle LFO = \angle P'FQ'$ (সাধারণ কোণ), $OL \parallel P'Q'$ এবং ত্রিভুজদ্বয় $OQ'F$ এবং $LP'F$ রেখাদ্বয়ের মধ্যে অবস্থিত। অতএব ত্রিভুজদ্বয় সদৃশ।

সুতরাং, $\frac{OL}{P'Q'}=\frac{OF}{Q'F}$ .... (৬.৫৩)

যেহেতু, $PL \parallel OQ$ এবং $OL \parallel PQ$ সেহেতু, $OL = PQ$|

সুতরাং (৬.৫৩) নং সমীকরণকে লেখা যায়, $\dfrac{PQ}{P'Q'}=\dfrac{OF}{Q'F}$ .... (৬.৫৪)

(৬.৫২) ও (৬.৫৪) নং সমীকরণ থেকে লেখা যায় $\dfrac{PQ}{OQ'}=\dfrac{OF}{Q'F}$ .... (৬.৫৫)

চিত্রানুসারে, $Q'F = OF - OQ'$।

সুতরাং, (৬.৫৫) নং সমীকরণকে লেখা যায়, $\dfrac{OQ}{OQ'}=\dfrac{OF}{OF-OQ'}$

চিত্রানুসারে, OQ = বস্তুর দূরত্ব = u, OQ′ = প্রতিবিম্ব দূরত! = $-v$ Ges OF = ফোকাস দূরত্ব = $-f$ |

মান বসালে, $\dfrac{u}{-v}=\dfrac{-f}{-f-(-v)}$

বা, $-uf+uv=vf$

Dc‡ii mgxKiYwU‡K uvf w`‡q fvM K‡i cvB, $-\dfrac{uf}{uvf}+\dfrac{uv}{uvf}=\dfrac{vf}{uvf}$

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

অতএব, $\dfrac{1}{f}=\dfrac{1}{v}+\dfrac{1}{u}$ .... (৬.৫৬)

(৬.৫০), (৬.৫১) এবং (৬.৫৬) নং সমীকরণ থেকে এটাই প্রমাণিত হয় যে, প্রতিবিম্ব বাস্ড়ব হোক বা অবাস্ড়ব হোক, লেন্স উত্তল হোক বা অবতল হোক সকল ক্ষেত্রেই লেন্সের জন্য একটাই সাধারণ সমীকরণ।

এখানে আরো উলণ্টখ্য যে, উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব সর্বদাই ধনাত্মক এবং অবতল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব সর্বদাই ঋণাত্মক। বাস্ড়ব প্রতিবিম্ব ধনাত্মক এবং বাস্ড়ব প্রতিবিম্ব ঋণাত্মক।

সুতরাং, (৬.৩৬) নং চিত্রের ক্ষেত্রে সমীকরণ, $\dfrac{1}{f}=\dfrac{1}{v}+\dfrac{1}{u}$ (GLv‡b, DËj †jÝ Ges বাস্ড়ব প্রতিবিম্ব)

(৬.৩৭) নং চিত্রের ক্ষেত্রে সমীকরণ, $\dfrac{1}{f}=\dfrac{1}{-v}+\dfrac{1}{u}$ ev, $\dfrac{1}{f}=-\dfrac{1}{v}+\dfrac{1}{u}$ (GLv‡b, DËj †jÝ Ges Aবাস্ড়ব প্রতিবিম্ব)

(৬.৩৮) নং চিত্রের ক্ষেত্রে সমীকরণ, $\dfrac{1}{-f}=\dfrac{1}{-v}+\dfrac{1}{u}$ ev, $\dfrac{1}{f}=\dfrac{1}{v}-\dfrac{1}{u}$ (GLv‡b, AeZj †jÝ Ges Aবাস্ড়ব প্রতিবিম্ব)

৬.৯.৩ লেন্সের ক্ষেত্রে বিবর্ধন (Magnification by Lens):

কোনো লেন্সে দিয়ে সৃষ্টি প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা এবং বস্তুর দৈঘ্য বা উচ্চতার অনুপাতকে ঐ প্রতিবিম্বের রৈখিক বিবর্ধন বা সংক্ষেপে বিবর্ধন বলে। রৈখিক বিবর্ধনকে m দিয়ে সূচিত করা হয়। ৬.৩৬, ৬.৩৭ এবং ৬.৩৮ নং চিত্র থেকে পাওয়া যায়,

$$m=\frac{\text{প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা (I)}}{\text{বস্তুর দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা (O)}}=\frac{P'Q'}{PQ}=\frac{v}{u}=\frac{\text{প্রতিবিম্ব দূরত্ব}}{\text{বস্তু দূরত্ব}}$$

চিহ্নের নিয়ম অনুসারে, প্রতিবিম্ব উল্টা অর্থাৎ অবশীর্ষ হলে বিবর্ধন ঋণাত্মক হয় এবং সোজা অর্থাৎ সমশীর্ষ হলে বিবর্ধন ধনাত্মক হয়।

সুতরাং, বিবর্ধন, $m=\dfrac{-v}{u}$ … … … … …... … … … … …... … … … …... … … … (৬.৫৭)

তাই বিবর্ধন ঋণাত্মক হলে প্রতিবিম্ব বাস্ড়ব এবং বিবর্ধন ধনাত্মক হলে প্রতিবিম্ব অবাস্ড়ব হবে।

যদি, বিবর্ধনের শুধু মানের প্রয়োজন হয় তবে বিবর্ধনকে লেখা যায়. $|m| = \frac{v}{u}$ … … … …… … … … (৬.৫৮)

উদাহরণ ৬.১২: $15\,\text{cm}$ ফোকাস দূরত্বের একটি লেন্স থেকে $45\,\text{cm}$ দূরে $2\,\text{cm}$ দৈর্ঘ্যের একটি বস্তু রাখা হলো। প্রতিবিম্বের অবস্থান আকার ও প্রকৃতি নির্ণয় কর‌্ন।

সমাধান: দেয়া আছে, $f = 15\,\text{cm} = 0.15\,\text{m}$, $u = 45\,\text{cm} = 0.45\,\text{m}$, $O = 2\,\text{cm}$, $\text{v} = ?$, $m = ?$

আমরা জানি, লেন্সের সাধারণ সূত্র, $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ বা, $v = \frac{uf}{u-f}$

উত্তল লেন্সের জন্য মান বসালে, $v = \frac{0.45 \times 0.15}{0.45 - 0.15} = \frac{0.45 \times 0.15}{0.3} = \frac{0.45}{2} = 0.225\,\text{m}$

সুতরাং উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব দূরত্ব $0.225\,\text{m}$ । প্রতিবিম্ব বাস্ড়ব, উল্টা এবং লেন্সের পিছনে।

আবার, বিবর্ধন, $m = \frac{I}{O} = \frac{v}{u} = \frac{0.225}{0.45} = 0.5$

সুতরাং ,উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব আকার বস্তু অপেক্ষা ছোট।

$m = \frac{v}{u} = 3$ অতএব, $\frac{v}{u} = 3$ বা, $v = 3u$

অবতল লেন্সের জন্য মান বসালে, $v = \frac{0.45 \times (-0.15)}{0.45 - (-0.15)} = -\frac{0.45 \times 0.15}{0.5} = -\frac{0.0675}{0.5} = -0.135\,\text{m}$

সুতরাং, অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব দূরত্ব $0.135\,\text{m}$ । প্রতিবিম্ব অবাস্ড়ব, সোজা এবং লেন্সের সামনে।

আবার, বিবর্ধন, $m = \frac{I}{O} = \frac{v}{u} = \frac{0.135}{0.45} = 0.3$

উ: অবতল লেন্সের ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব আকার বস্তু অপেক্ষা ছোট।

উদাহরণ ৬.১৩: একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব $15\,\text{cm}$ । লেন্স থেকে কত দূরে একটি বস্তু রাখলে তিনগুণ বিবর্ধিত (ক) বাস্ড়ব ও (খ) অবাস্ড়ব প্রতিবিম্ব পাওয়া যাবে বের কর‌্ন।

সমাধান: দেয়া আছে, $f = 15\,\text{cm} = 0.15\,\text{m}$, $m = 3$

আমরা জানি, $m = \frac{v}{u} = 3$ অতএব, $\frac{v}{u} = 3$ বা, $v = 3u$

আমরা লেন্সের সাধারণ সূত্র থেকে পাই, $\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

(ক) বাস্ড়ব প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রে, $\frac{1}{3u} + \frac{1}{u} = \frac{1}{0.15}$

$ev,\ \frac{4}{3u} + = \frac{1}{0.15}$

$ev,\ u = \frac{0.15 \times 4}{3} = 0.2\,\text{m}$

(খ) বাস্ড়ব প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রে, $\frac{1}{-3u} + \frac{1}{u} = \frac{1}{0.15}$

$ev,\ \frac{2}{3u} + = \frac{1}{0.15}$

$$ev,\ u=\frac{0.15\times 2}{3}=0.1\,\mathrm{m}$$

D: e¨‡K †j‡Ÿ †_‡K বাস্ড়ব cÖwZwe‡¤^i †¶‡Î $0.2\,\mathrm{m}$ এবং অবাস্ড়ব cÖwZwe‡¤^i †¶‡Î $0.1\,\mathrm{m}$ দূরে রাখতে হবে।

সার-সংক্ষেপ :

লেন্সের সাধারণ সমীকরণ, $\frac{1}{f}=\frac{1}{v}+\frac{1}{u}$

লেন্সের ক্ষেত্রে নিউটনের সমীকরণ: $xy=f^2$

রৈখিক বিবর্ধন: কোনো লেন্সে দিয়ে সৃষ্টি প্রতিবিম্বর দৈর্ঘ্য বা উচ্চতা এবং বস্তুর দৈঘ্য বা উচ্চতার অনুপাতকে ঐ প্রতিবিম্বের রৈখিক বিবর্ধন বা সংক্ষেপে বিবর্ধন বলে। $|m|=\frac{-v}{u}=\frac{v-f}{f}=\frac{f}{u-f}$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৬.৯

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১। একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f এবং লেন্সে থেকে u দূরে একটি বস্তু অবস্থিত। বস্তুর আকারের সমান এবং উল্টা প্রতিবিম্ব পবার শর্ত হলো

ক. $u=2f$ খ. $u>2f$ গ. $u<2f$ ঘ. $0<u<f$

২। একটি সম দ্বি-উত্তল লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ R এবং মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক 1.5। লেন্সেটির ফোকাস দূরত্ব-

ক. শূন্য খ.অসীম গ. $2R$ ঘ. R

পাঠ-৬.১০ : লেন্সের ক্ষমতা : লেন্সের সন্নিবেশ
Power of a Lens: Combination of Lenses

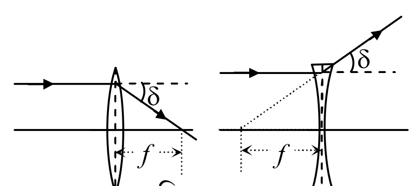
উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- লেন্সের ক্ষমতা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- লেন্সের সন্নিবেশ ও তুল্য লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৬.১০.১ লেন্সের ক্ষমতা (Power of a Lens):

লেন্সের অভিসারিতা ও অপসারিতা সামর্থকে লেন্সের ক্ষমতা বলে। অর্থাৎ যে লেন্স আলোক রশ্মি যত বিচ্যুতি করতে পারে সে লেন্সের ক্ষমতা যত বেশী। (৬.৩৯ নং) চিত্রে প্রধান অক্ষের সমান্ড়রাল আলোকরশ্মি লেন্স দিয়ে প্রতিসরিত হবার পর δ কোণে বিচ্যুত হয়ে প্রধান অক্ষে ফোকাস বিন্দু দিয়ে গমন করেছে। বিচ্যুতি δ যত বড় হবে ফোকাস দূরত্ব তত কম হবে। অর্থাৎ ফোকাস দূরত্ব তত


চিত্র ৬.৩৯

কম বিচ্যুতি δ তত বেশী ফলে ক্ষমতাও তত বেশী। সুতরাং লেন্সের ক্ষমতা তার ফোকাস দূরত্বের ব্যস্ড়ানুপাতিক। ক্ষমতাকে সাধানরণতঃ P দিয়ে প্রকাশ করা হয়।

তাহলে, $P \propto \frac{1}{f}$ বা, $P = K\frac{1}{f}$ এখানে, K একটি সমানুপাতিক ধ্র"ব।

যে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 1 মিটার (1m), সেই লেন্সের ক্ষমতাকে 1 ডায়াপটার (1D) ধরা হয়। তাহলে K = 1.
সুতরাং, ফোকাস দূরত্বকে যদি মিটারে মাপা হয়

তবে, $P = \frac{1}{f}$ … … …… ……… … … …… … … …… … … …… … … … … … (৬.৫৯)

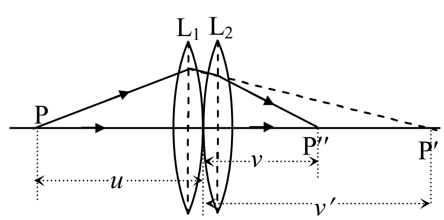
যদি লেন্সের ফোকাস দূরত্বকে সেন্টিমিটার (cm) স্কেলে মাপা হয় তবে $P = \frac{100}{f}$

লেন্সের ক্ষমতার একক ডায়পটার (Diopter) একে সংক্ষেপে D দিয়ে প্রকাশ করা হয়। যে লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 1 মিটার (1m) সেই লেন্সের ক্ষমতাকে 1 ডায়াপটার (1D) ধরা হয়। উত্তল লেন্সের ক্ষমতা ধণাত্মক এবং অবতল লেন্সের ক্ষমতা ঋণাত্মক।

D`vniY স্বরূপ GKwU DËj †j‡Ýi †dvKvm দূiZ¡ 25 cm n‡j Gi ¶gZv, $P = \frac{100}{25} = +4D$ | GKwU AeZj †j‡Ýi †dvKvm দূiZ¡ 50 cm n‡j Gi ¶gZv, $P = \frac{100}{-50} = -2D$ |

৬.১০.২ লেন্সের সন্নিবেশ (Combination of Lenses) :

একই অক্ষে দুই বা ততোধিক সর" লেন্সকে পরস্পরের সাথে সংস্পর্শে পাশাপাশি রেখে সমন্বয় গঠন করলে লেন্সের সন্নিবেশ তৈরি হয়। সমন্বয় অবস্থায় লেন্স কোনো বস্তুর যে প্রতিবিম্ব গঠন করে, বস্তু থেকে একই দূরে সমন্বয় লেন্সের পরিবর্তে একটি লেন্স দিয়ে যদি ঐ প্রতিবিম্ব গঠন করা যায় সেই লেন্সকে ঐ সমন্বয় লেন্সের সমতূল্য বা তূল্য লেন্স বলে।



চিত্র ৬.৪০

ধরা যাক, f_1 ও f_2 ফোকাস দূরত্বের দুইটি লেন্স L_1ও L_2 কে পাশাপাশি সংযুক্ত করে একত্রে একই অক্ষে স্থাপন করা হলো। এদের ফোকাস দূরত্বের বাইরে প্রধান অক্ষের উপর একটি বিন্দু P হতে অক্ষের সমান্ড়রাল একটি আলোক রশ্মি লেন্সদ্বয়ের আলোককেন্দ্র দিয়ে প্রতিসরিত হয়ে সরল পথে গমন করে। যদি শুধু প্রথম লেন্স L_1 থাকত তবে P হতে অপর একটি আলোক রশ্মি প্রথম লেন্সের L_1 লেন্সে আপতিত হয়ে প্রতিসরিত হবার পর পূর্ববর্তী রশ্মির সাথে P′ বিন্দুতে মিলিত হয়ে প্রতিবিম্ব গঠন করত। এই P′ বিন্দু দ্বিতীয় লেন্সের ক্ষেত্রে বস্তু হিসাবে কাজ করবে এবং রশ্মিটি দ্বিতীয় লেন্সের L_2 লেন্সে আপতিত ও প্রতিসরিত হয়ে পূর্ববর্তী রশ্মির সাথে P′′ বিন্দুতে মিলিত হবে। অতএব P′′ বিন্দুই হবে P বিন্দুর চুড়ান্ড় প্রতিবিম্ব। লেন্স দুইটি খুব পাতলা বলে এদের মধ্যবর্তী স্থানকে আলোক কেন্দ্র হিসাবে বিবেচনা করা যেতে পারে।

এখন ধরি, আলোক কেন্দ্র থেকে বস্তুর দূরত্ব $= u$, প্রথম লেন্সের জন্য প্রতিবিম্ব দূরত্ব বা দ্বিতীয় লেন্সের বস্তু দূরত্ব $= v'$ এবং সর্বশেষ প্রতিবিম্ব দূরত¡ $= v$।

লেন্সের সাধারণ সমীকরণ থেকে আমরা লিখতে পারি, $\frac{1}{v'} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1}$

অতএব, প্রথম লেন্সের জন্য, $\frac{1}{v'} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{u}$ … … …… … … …… … … …… … … … … … (৬.৬০)

এবং, দ্বিতীয় লেন্সের জন্য, $\frac{1}{v}+\frac{1}{-v'}=\frac{1}{f_2}$ ……………………………………………… (৬.৬১)

(যেহেতু দ্বিতীয় বস্তুর ক্ষেত্রে বস্তু অবাস্ড়্ব)

(৬.৬০) নং সমীকরণের মান (৬.৬১) নং সমীকরণে বসালে, $\frac{1}{v}-\frac{1}{f_1}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f_2}$

বা, $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f_2}+\frac{1}{f_1}$ ……………………………………………… (৬.৬২)

এখন লেন্স দুটিকে অপসারিত করে এমন একটি F ফোকাস দূরত্বের লেন্স স্থাপন করা হয় যেন u বস্তু দূরত্বের সাপেক্ষে প্রতিবিম্ব দূরত¡ v হয় তবে লেন্সের সাধারণ সমীকরণ থেকে আমরা লিখতে পারি,

$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{F}$ ……………………………………………… (৬.৬৩)

(৬.৬২) ও (৬.৬৩) নং সমীকরণ থেকে লেখা যায়,

$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$ ……………………………………………… (৬.৬৪)

অনুরূপ ভাবে দেখানো যায় যে, $f_1, f_2, f_3, \ldots\ldots f_n$ ফোকাস দূরত্বের n সংখ্যক লেন্সকে পরস্পরের সাথে সংযুক্ত অবস্থায় স্থাপন করলে যদি তুল্য লেন্সের ফোকাস দূরত¡ F হয় তবে,

$\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}+\frac{1}{f_3}+\ldots\ldots+\frac{1}{f_n}$ ……………………………………………… (৬.৬৫)

বা, $\frac{1}{F}=\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{f_n}$

আমরা জানি, লেন্সের ক্ষমতা তার ফোকাস দূরত্বের বিপরীত সংখ্যামানের সমান। সুতরাং তুল্য লেন্সের ক্ষমতা P এবং সংযোজিত লেন্সগুলোর ক্ষমতা যথাক্রমে $P_1, P_2, P_3, \ldots\ldots P_n$ হলে (৬.৬৫) নং সমীকরণকে লেখা যায়,

$P = P_1 + P_2 + P_3 \ldots\ldots P_n$ ……………………………………………… (৬.৬৬)

বা, $P=\sum_{i=1}^{n}P_n$

অর্থাৎ সমতুল্য লেন্সের ক্ষমতা পৃথক পৃথক লেন্সের ক্ষমতার সমষ্টির সমান।

উদাহরণ ৬.১৪ : একটি দ্বি-উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 25cm হলে এর ক্ষমতা নির্ণয় কর‍ুন।

সমাধানঃ দেয়া আছে, $f_e = 25\text{cm} = 0.25\text{m}$, $P = ?$

আমরা জানি, লেন্সের ক্ষমতা, $P=\frac{1}{f}$

মান বসালে, $P=\frac{1}{0.25}=4\text{D}$

উঃ উত্তল লেন্সের ক্ষমতা $+4\text{D}$ উত্তর।

উদাহরণ ৬.১৫: একটি উত্তল লেন্স ও অপরটি অবতল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে $25\,\text{cm}$ এবং $75\,\text{cm}$ হলে লেন্স দুটিকে পরস্পরের সাথে সংস্পর্শে পাশাপাশি রাখা হলে তুল্য লেন্সের ফোকাস দূরত্ব এবং ক্ষমতা নির্ণয় কর‍ুন।

সমাধানঃ দেয়া আছে, $f_1 = 25\,\text{cm} = 0.25\,\text{m}$, $f_1 = -75\,\text{cm} = -0.75\,\text{m}$, $F = ?$ এবং $P = ?$

আমরা জানি, তুল্য লেন্সের ক্ষেত্রে, $\frac{1}{F}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$

মান বসালে, $\frac{1}{F}=\frac{1}{0.25}+\frac{1}{-0.75}=\frac{3-1}{0.75}=\frac{2}{0.75}$

অতএব, $F=\frac{0.75}{2}=0.375\text{m}$

আমরা জানি, লেন্সের ক্ষমতা, $P=\frac{1}{F}$

মান বসালে, $P=\frac{1}{F}=\frac{1}{0.375}=2.67\text{D}$

উ: তুল্য লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 0.375m এবং ক্ষমতা $+2.67\text{D}$ উত্তর।

সার-সংক্ষেপ :

লেন্সের ক্ষমতা: লেন্সের ক্ষমতা তার ফোকাস দূরত্বের বিপরীত সংখ্যামানের সমান। অর্থাৎ, $P=\frac{1}{f}$

তুল্য লেন্সের ক্ষমতা: একাধিক লেন্সের সমবায়ে তুল্য লেন্সের ক্ষমতা P এবং সংযোজিত লেন্সগুলোর ক্ষমতা যথাক্রমে $P_1, P_2, P_3, \ldots\ldots P_n$ হলে, $P = P_1 + P_2 + P_3 \ldots\ldots P_n$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৬.১০

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১। একটি উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 20cm হলে এর ক্ষমতা হবে

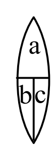
ক. -5D খ. -4D গ. $+4\text{D}$ ঘ. $+5\text{D}$

২। P ক্ষমতা সমপন্ন একটি পাতলা সম দ্বি-উত্তল লেন্সকে চিত্রানুসারে a, b এবং c অংশে কাটা হলে

i. a অংশের ক্ষমতা P হবে

ii. b অংশের ক্ষমতা $\frac{P}{2}$ হবে

iii. c অংশের ক্ষমতা $\frac{P}{4}$ হবে



কোনটি সঠিক

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

পাঠ-৬.১১ : অণুবীক্ষণ যন্ত্র : সরল ও যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র

Microscope : Simple Microscope and Copound Microscope

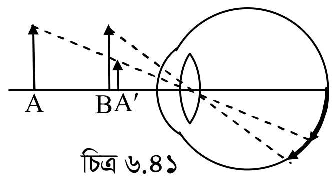
উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- একটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৬.১১.১ বীক্ষণ কোণ: কৌণিক বিবর্ধন (Visual Angle: Angular Magnification)

কোনো বস্তুকে চোখে দেখে তার প্রকৃত আকার নির্ণয় করা যায় না। বস্তু দূরে থাকলে ছোট দেখায় এবং কাছে আনলে বড় দেখায়। বস্তুর আপাত আকার রেটিনার উপর গঠিত প্রতিবিম্বের আকার দিয়ে নির্ধারিত হয়। একই বস্তুকে দূর থেকে ক্রমশঃ কাছে নিয়ে আসলে এর প্রতিবিম্ব আকারে বাড়তে থাকে। (৬.৪১ নং) চিত্রে A এবং B একই বস্তুর দুটি ভিন্ন অবস্থান। বস্তুর প্রথম A অবস্থানের জন্য রেটনায় প্রতিবিম্বের আকার, একই বস্তুর দ্বিতীয় B অবস্থানের জন্য রেটনায় প্রতিবিম্বের আকার অপেক্ষা ছোট। সুতরাং দ্বিতীয় অবস্থানের তুলনায় প্রথম অবস্থানের বস্তুকে ছোট দেখাবে। সে কারণে দূরের গাছপালাকে ছোট দেখায়। বহুতল ভবন থেবে নীচে তাকালে গাড়ীগুলো দেখতে খেলনা গাড়ী বলে মনে হয়।



চিত্র ৬.৪১

কোনো বস্তু চোখে যে কোণ উৎপন্ন করে তাকে বীক্ষণ কোণ (visual angle) বলে। (৬.৪১ নং) চিত্র থেকে সহজেই বোঝা যায় যে, রেটিনায় গঠিত প্রতিবিম্বের আকার বীক্ষণ কোণের সমানুপাতিক। (৬.৪১ নং) চিত্র থেকে বলা যায় বস্তু A বা A′ যেখানেই থাকুক না কেন বীক্ষণ কোণের সমান হওয়ায় এর আকার সমান বলে মনে হবে।

বস্তুকে ক্রমশ চোখের কাছে আনলে আপাত আকার অনির্দিষ্টভাবে বাড়ানো সম্ভব নয়। কারণ স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্ব অপেক্ষা কাছে আনলে বস্তুকে আর স্পষ্ট দেখা যায় না। (স্পষ্ট দর্শন দূরত্বকে D দিয়ে প্রকাশ করা হয় এবং সুস্থ চোখের ক্ষেত্রে এর মান $25\,\text{cm}$)। কাজেই অতিক্ষুদ্র বস্তুকে খুঁটিনাটিসহ দেখতে হলে উপযুক্ত আলোক যন্ত্র যেমন বিবর্ধক কাচ বা অণুবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করা প্রয়োজন। অতি দূরের বস্তু আমাদের চোখে অতিক্ষুদ্র কোণ উৎপন্ন করে বলে বস্তুর খুঁটিনাটি দেখা যায় না। এক্ষেত্রেও আলোক যন্ত্র যেমন দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করে অতি দূরের বস্তুর খুঁটিনাটি দেখা সম্ভব।

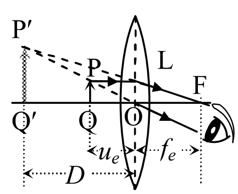
কোনো বস্তুর আলোক যন্ত্র দিয়ে গঠিত প্রতিবিম্বের বীক্ষণ কোণ এবং বস্তুটি সরাসরি দেখলে এর যে বীক্ষণ কোণ উৎপন্ন করে তা অপেক্ষা অনেক বড় হয়। সুতরাং কোনো আলোক যন্ত্রের বিবর্ধক ক্ষমতাকে নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয়ঃ

বিবর্ধক ক্ষমতা, $|m| = \dfrac{\text{প্রতিবিম্ব কর্তৃক উৎপন্ন বীক্ষণ কোণ}}{\text{বস্তু কর্তৃক উৎপন্ন বীক্ষণ কোণ}}$

এই অনুপাতকে আলোক যন্ত্রের কৌণিক বিবর্ধন (Angular Magnification)-ও বলে।

৬.১১.২ সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা বিবর্ধক কাচ (Simple Microscope or Magnifying Glass):

সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র বা বিবর্ধক কাচ একটি উত্তল লেন্স। এর সাহায্যে ছোট বস্তুকে বড় করে দেখা যায়। মূলত: অতি ক্ষুদ্র বস্তুকে বড় করে দেখার জন্য অণুবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। (৬.৪২ নং) চিত্রে একটি উত্তল লেন্স L এর ফোকাস দূরত্ব (f_e) অপেক্ষা কম দূরত্বে একটি ক্ষুদ্র বস্তু PQ কে রাখা হয়েছে। P বিন্দু হতে একটি আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্ড়্রাল ভাবে লেন্সের L বিন্দুতে আপতিত হবার পর প্রতিসরিত হয়ে প্রধান অক্ষে ফোকাস F বিন্দু দিয়ে গমন করে। P বিন্দু থেকে অপর একটি আলোক রশ্মি লেন্সের আলোক কেন্দ্র O তে আপতিত ও প্রতিসরিত হয়ে কোনো বিচ্যুতি bv NwU‡q গমন করে। এই প্রতিসরিত আলোক রশ্মিদ্বয়কে পশ্চাৎ ভাগে বর্ধিত করলে পরস্পরের সাথে P′ বিন্দুতে মিলিত হয়। সুতরাং P বিন্দুর অবাস্ড়ব প্রতিবিম্ব P′। অতএব P′ বিন্দু থেকে প্রধান অক্ষের উপর অংকিত লম্ব P′Q′ হবে PQ এর অবাস্ড়ব প্রতিবিম্ব। বস্তুকে একটু সামনে পিছনে করে এমন অবস্থ্যানে রাখা হয় যেন প্রতিবিম্বটি স্পষ্ট দর্শণের ন্যূনতম দূরত্বে অবস্থান করে। বস্তুর এই দূরত্বকে u_e এবং প্রতিবিম্ব দূরত্বকে D দিয়ে প্রকাশ করা হয়। আসলে এই লেন্সটি চোখের খুব নিকটে থাকে বলে এই লেন্সকে অভিনেত্র লেন্স (Eye pice) বলে। প্রকৃত পক্ষে চক্ষু থেকে প্রতিবিম্বের দূরত্বকই প্রতিবিম্বের দূরত্ব।



চিত্র ৬.৪২

আমরা জানি, লেন্সের সাধারণ সমীকরণ, $\dfrac{1}{v}+\dfrac{1}{u}=\dfrac{1}{f}$

এখানে, প্রতিবিম্ব দূরত্ব $v=-D$ (অবাস্ড়ব প্রতিবিম্ব বলে), বস্তু দূরত্ব $u=u_e$ এবং ফোকস দূরত্ব, $f=f_e$

মান বসালে, $\dfrac{1}{-D}+\dfrac{1}{u_e}=\dfrac{1}{f_e}$ ……………………………………………(৬.৬৭)

(৬.৬৭ নং) সমীকরণরকে D দ্বারা গুণ করলে. $\frac{D}{-D}+\frac{D}{u_e}=\frac{D}{f_e}$

বা, $|m_e|=\frac{D}{f_e}+1$ (যেহেতু $\frac{D}{u_e}=|m_e|=$ অভিনেত্র লেন্সের বিবর্ধন ক্ষমতা)

বা, $|m_e|=\frac{D+f_e}{f_e}$ ……………………………………………… (৬.৬৮)

এটিই সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন ক্ষমতা।

আবার, $\frac{D}{f_e}=|m_e|-1$

বা, $\frac{1}{f_e}=\frac{|m_e|-1}{D}$

বা, $f_e=\frac{D}{|m_e|-1}$ ……………………………………………… (৬.৬৯)

এটিই সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের ফোকাস দূরত্বের সাথে বিবর্ধন ক্ষমতার সম্পর্ক।

আবার, (৬.৬৭ নং) সমীকরণ থেকে লেখা যায়, $\frac{1}{u_e}=\frac{1}{f_e}+\frac{1}{D}=\frac{D+f_e}{Df_e}$

বা, $u_e=\frac{Df_e}{D+f_e}$ ……………………………………………… (৬.৭০)

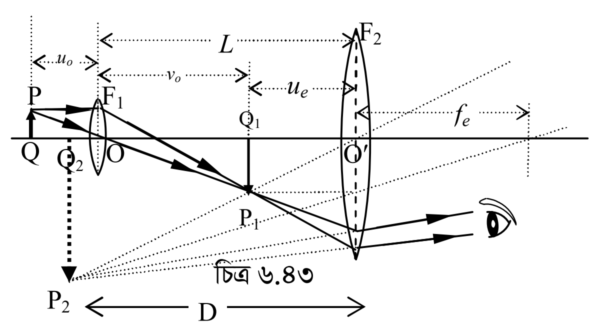
এটিই সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের স্পষ্ট দর্শনের জন্য বস্তু দূরত্ব।

৬.১১.৩ যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র (Compound Microscope):

বিবর্ধক কাচের বিবর্ধন ক্ষমতা কম। বস্তু খুব ক্ষুদ্র হলে সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র তাকে যথেষ্ট বিবর্ধিত করতে পারে না। আরো বেশী বিবর্ধনের জন্য যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। সপ্তদশ শতাব্দীতে গ্যালিলিও এই যন্ত্র আবিষ্কার করেন। আধুনিক যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্র দিয়ে 2000 গুণ পর্যন্ড় বিবর্ধন পাওয়া যায়। এই যন্ত্রের আবিস্কারের ফলেই উদ্ভিত এবং প্রাণীর শারীরিক বিজ্ঞানের ক্ষেত্রে নতূন যুগের সূচনা হয়েছে।

গঠন: ধরা যাক, দুটি কম ফোকাস দূরত্বের উত্তল লেন্স F_1 ও F_2 সমঅক্ষীয় ভাবে পরস্পর হতে L দূরে প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত। F_1 কে অভিলক্ষ্য লেন্স বলে। এর ফোকাস দূরত্ব f_0 ও উন্মেষ অভিনেত্র লেন্স F_2 এর ফোকাস দূরত্ব f_e ও উন্মেষ অপেক্ষা কম। লেন্স দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব প্রয়োজন বোধে সমঅক্ষীয় ভাবে কম বা বেশী করা যায়।

কার্য প্রণালী: অভিলক্ষ্য লেন্স F_1 এর সামনে এর প্রথম ফোকাস দূরত্ব f_0 এর ঠিক বাইরে u দূরত্বের একটি অতি ক্ষুদ্র বস্তু PQ স্থাপন করা হলো। বস্তু থেকে নিঃসৃত আলো প্রতিসরিত হয়ে লেন্সের বিপরীত দিকে লেন্স হতে v দূরে একটি বাস্ড়ব, উল্টা ও বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব P_1Q_1 গঠিত হলো। এই প্রতিবিম্ব P_1Q_1 অভিনেত্র লেন্স F_2 এর বস্তু হিসাবে কাজ করবে। অভিনেত্র লেন্স F_2 কে সরিয়ে এমন ভাবে স্থাপন করা হয় যেন প্রতিবিম্ব P_1Q_1 টি এর ফোকাস দূরত্ব f_e এর ভিতরে থাকে ফলে লেন্সের সামনে একটি অবাস্ড়ব, সোজা ও বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব P_2Q_2 গঠিত হয়। F_2 কে এমন ভাবে সমন্বয় করা হয় যেন অবাস্ড়ব প্রতিবিম্ব P_2Q_2 টি স্পষ্ট দর্শনে ন্যূনতম দূরত্ব D তে গঠিত হয়।



চিত্র ৬.৪৩

বিবর্ধন: বিবর্ধন বলতে প্রতিবিম্বের আকার এবং বস্তুর আকারের অনুপাতকে বুঝায়।

অতএব, বিবর্ধনের মান, $|m| = \frac{P_2Q_2}{PQ} = \frac{P_1Q_1}{PQ} \times \frac{P_2Q_2}{P_1Q_1}$

বা, $|m| = |m_o| \times |m_e|$ ……… … … … … ……………… … … … … … … (৬.৭১)

সুতরাং যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে বিবর্ধন দুই ধাপে সংঘটিত হয়। প্রথমে অভিলক্ষ্য লেন্স দিয়ে $|m_o|$ এবং পরে অভিনেত্র লেন্স দিয়ে $|m_e|$ ।

অভিনেত্র লেন্সের জন্য স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে ক্ষেত্রে, $\frac{1}{-D} + \frac{1}{u_e} = \frac{1}{f_e}$

বা, $\frac{D}{-D} + \frac{D}{u_e} = \frac{D}{f_e}$

বা, $|m_e| = \frac{D}{f_e} + 1$

বা, $|m_e| = \frac{D + f_e}{f_e}$ ……… … … … … ……………… … … … … … …... … (৬.৭২)

অভিলক্ষ্য লেন্সের ক্ষেত্রে বাস্ড়ব প্রতিবিম্বের জন্য বিবর্ধন ক্ষমতা $|m_o| = \frac{v}{u}$ ……… … … … …… (৬.৭৩)

(৬.৭২) ও (৬.৭৩) নং সমীকরণের মান (৬.৭১) নং সমীকরণে বসালে,

চূড়ান্ড় বিবর্ধন $|m| = \frac{v}{u} \times \frac{D + f_e}{f_e}$ … … … … ……………… … … … … … …… (৬.৭৪)

আবার, অভিলক্ষ্য লেন্সের প্রতিবিম্বর ক্ষেত্রে, $\frac{1}{v_o} + \frac{1}{u_o} = \frac{1}{f_o}$

বা, $1 + \frac{v_o}{u_o} = \frac{v_o}{f_o}$

বা, $\frac{v_o}{u_o} = \frac{v_o}{f_o} - 1$

সুতরাং, $\frac{v_o}{u_o}$ এর মান (৬.৭৪) নং সমীকরণে বসালে,

$$|m| = \left(\frac{v}{f_o} - 1\right) \times \frac{D + f_e}{f_e} \quad \text{… … … … ……………… … … … … … …… (৬.৭৫)}$$

যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে প্রতিবিম্ব $P'Q'$ টি অভিনেত্র লেন্সের খুব কাছাকাছি অবস্থা করে বলে অভিলক্ষ্য লেন্সের প্রতিবিম্ব দূরত্বকেই যন্ত্রে দৈর্ঘ্য (L) বিবেচনা করলে,

$$|m| = \left(\frac{L}{f_o} - 1\right) \times \frac{D + f_e}{f_e} = \left(\frac{L}{f_o} - 1\right)\left(\frac{D}{f_e} + 1\right)$$

আবার D এর তুলনায় f_e এর মান এবং L এর তুলনায় f_o এর মান অনেক ক্ষুদ্র বলে,

$\frac{L}{f_o} - 1 \approx \frac{L}{f_o}$ এবং $\frac{D}{f_e} + 1 \approx \frac{D}{f_e}$ লেখা যায়।

সুতরাং $|m| = \frac{L}{f_o} \times \frac{D}{f_e} = \frac{LD}{f_o f_e}$ … … … … ……………… … … … … … …… (৬.৭৬)

যন্ত্রের দৈর্ঘ্যঃ যন্ত্রের দৈঘ্য = অভিলক্ষ্য লেন্স হতে অভিনেত্র লেন্সের মধ্যবর্তী দূরত্ব

অর্থাৎ, $L = v_o + u_o$ ....(৬.৭৭)

উদাহরণ ৬.১৬: একটি লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 2cm । সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্র হিসাবে লেন্সটিকে ব্যবহার করলে স্পষ্ট দর্শণের ন্যূনতম দূরত্বে কত গুণ বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব পাওয়া যাবে এবং সেই অবস্থায় লেন্স থেকে বস্তুর দূরত্ব বের করুন।

সমাধান: দেয়া আছে, $f_e = 2\text{cm} = 0.02\text{m}$ এবং $v = D = 25\text{cm} = 0.25\text{m}$

স্পষ্ট দর্শণের ন্যূনতম দূরত্ব $(D = 0.25\text{m})$এ প্রতিবিম্বের জন্য বস্তু দূরত্ব, $u_e = \dfrac{Df_e}{D + f_e}$

মান বসালে, $u_e = \dfrac{0.25 \times 0.02}{0.25 + 0.02} = \dfrac{0.005}{0.27} = 0.019\text{m}$

আমরা জানি, বিবর্ধন ক্ষমতা, $|m_2| = \dfrac{D + f_e}{f_e}$

মান বসালে, $|m_2| = \dfrac{0.25 + 0.02}{0.02} = \dfrac{0.27}{0.02} = 13.5$

উ: বস্তু দূরত্ব $= 0.018\text{m}$ এবং বিবর্ধন $= 13.5$ উত্তর

উদাহরণ ৬.১৭: একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য লেন্স থেকে 0.55cm দূরে একটি ক্ষুদ্র বস্তু স্থাপন করা হলে। অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন ক্ষমতা ও যন্ত্রের দৈর্ঘ্য নির্ণয় করুন। অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 0.5cm এবং 2cm ।

সমাধান: দেয়া আছে, $f_o = 0.5\,\text{cm} = 0.005\,\text{m}$, $f_e = 2\,\text{cm} = 0.02\,\text{m}$, $u = 0.55\,\text{cm} = 0.0055\,\text{m}$ $|m| = ?$ এবং $L = ?$

আমরা জানি, লেন্সের সাধারণ সূত্র, $\dfrac{1}{v} + \dfrac{1}{u} = \dfrac{1}{f_o}$ বা, $v = \dfrac{uf_o}{u - f_o}$

মান বসালে, $v = \dfrac{0.0055 \times 0.005}{0.0055 - 0.005} = \dfrac{0.0000275}{0.0005} = 0.055\text{m}$

আমরা জানি, অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সর্বশেষ প্রতিবিম্ব স্পষ্ট দর্শণের ন্যূনতম দূরত্বে গঠিত করা হয়। অর্থাৎ অভিনেত্র লেন্সের প্রতিবিম্ব দূরত্ব $D = 25\text{cm} = 0.25\text{m}$ ।

সুতরাং, অভিনেত্র লেন্সের ক্ষেত্রে বস্তু দূরত্ব, $u_e = \dfrac{Df_e}{D + f_e}$ ।

মান বসালে, $u_e = \dfrac{0.25 \times 0.02}{0.25 + 0.02} = \dfrac{0.005}{0.27} = 0.0185\text{m}$

আবার আমরা জানি, যন্ত্রের দৈর্ঘ্য, $L = v + u_e$

বা, $L = v + u_e = 0.055 + 0.0185 = 0.0735\text{m}$

আমরা জানি, অভিলক্ষ্য লেন্সের বিবর্ধন ক্ষমতা, $|m_o| = \dfrac{v}{u}$

মান বসালে, $|m_o| = \dfrac{0.055}{0.0055} = 10$

আমরা জানি, বিবর্ধন ক্ষমতা, $|m_2| = \dfrac{D + f_e}{f_e}$

মান বসালে, $|m_2| = \dfrac{0.25 + 0.02}{0.02} = \dfrac{0.27}{0.02} = 13.5$

অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন ক্ষমতা, $|m| = |m_o| \times |m_e| = 10 \times 13.5 = 135$

উ: অণুবীক্ষণ যন্ত্রের দৈর্ঘ্য, $0.0735\,\text{m}$ এবং বিবর্ধন ক্ষমতা, 135

সার-সংক্ষেপ :

বিবর্ধক ক্ষমতা: প্রতিবিম্ব কর্তৃক দর্শণ উৎপন্ন কোণ এবং বস্তু কর্তৃক দর্শণ উৎপন্ন কোণের অনুপাতকে আলোক যন্ত্রের বিবর্ধক ক্ষমতা বা কৌণিক বিবর্ধন

যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধক ক্ষমতা: $|m| = \frac{v_o}{u_o} \times \frac{D + f_e}{f_e}$

যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের দৈর্ঘ্য: $L = v_o + u_e$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৬.১১

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১। অক্ষুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্র লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে f_o এবং f_e হলে,

ক. $f_o > f_e$ খ. $f_o < f_e$ গ. $f_o = f_e$ ঘ. $\frac{f_o}{f_e} = k$

২। যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রে বিবর্ধন ক্ষমতা 100। অভিনেত্র লেন্সের বিবর্ধন ক্ষমতা 5 হলে অভিলক্ষ্য লেন্সে দিয়ে বিবর্ধন হবে-

ক. 10 খ. 20 গ. 25 ঘ. 50

পাঠ-৬.১২ : দূরবীক্ষণ যন্ত্র : প্রতিসারক ও প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র
Telescope : Refracting and Reflecting Telescope

উদ্দেশ্য

এ পাঠের শেষে আপনি-

- একটি প্রতিসারক নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- একটি প্রতিফলক নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

৬.১২.১ দূরবীক্ষণ যন্ত্র (Telescope)

কোনো বস্তুর প্রকৃত আকার যথেষ্ট বড় হলেও দূর থেকে সেটাকে অত্যন্ড় ছোট দেখায়। কোনো দূরবর্তী বস্তুকে বড় এবং স্পষ্ট দেখবার জন্য দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। দূরবীক্ষণ যন্ত্র দর্শকের দৃষ্টিশক্তি বাড়াতে সাহায্য করে। এই যন্ত্র বস্তুর একটি অবাস্ড়ব এবং স্পষ্ট প্রতিবিম্ব গঠন করে এবং এই প্রতিবিম্ব দর্শকের চোখে বস্তু অপেক্ষা বৃহত্তর বীক্ষণ কোণ উৎপন্ন করে বলে বস্তুকে বড় দেখায়। প্রকৃত পক্ষে বহু দূরের বস্তুকে দেখার জন্য দূরবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করা হয়।

যৌগিক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের মতই দূরবীক্ষণ যন্ত্রে মূলত দুইটি অংশ অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্র। অভিলক্ষ্য দূরবর্তী বস্তুর একটি বাস্ড়ব, উল্টা, এবং ক্ষুদ্র প্রতিবিম্ব গঠন করে আর অভিনেত্রটি বিবর্ধক কাচ হিসাবে কাজ করে এই প্রতিবিম্বের একটি অবাস্ড়ব এবং বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব গঠন করে।

দূরবীক্ষণ যন্ত্রকে সাধারণভাবে দুই শ্রেণীতে ভাগ করা যায় যথা: প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্র এবং প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র। প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্যে একটিমাত্র লেন্স বা একাধিক লেন্সের সমন্বয়ে গঠিত হয়। এই লেন্স বা লেন্সের সমন্বয়ের ফোকাস দূরত্ব বেশী থাকে এবং উন্মেষও বড় হয়। অপর দিকে প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিলক্ষ্য হিসাবে একটি বৃহৎ অবতল দর্পণ বা অধিবৃত্তীয় দর্পণ ব্যবহার করা হয়।

দূরবীক্ষণ যন্ত্র আবার দুই ধরণের কাজে ব্যবহার করা হয়। একটি হলো ভূ-দূরবীক্ষণ যন্ত্র। যার সাহায্যে ভূ-পৃষ্ঠে দূরবর্তী বস্তুকে দেখার জন্য ব্যবহার করা হয়। এর প্রতিবিম্বকে সোজা ও অবাস্ড়ব হয়। ভূ-দূরবীক্ষণ যন্ত্রে সাধারণতঃ প্রতিসারক দূরবীক্ষণ যন্ত্র। অপরটি হলো নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্র। এই দূরবীক্ষণ যন্ত্রকে মহাকাশ গবেষণার ক্ষেত্রে ব্যবহার করা হয়। এর সাহায্যে জ্যোতিষ্ক ইত্যাদি পর্যবেক্ষণ করা হয়। যেহেতু বিভিন্ন গ্যালাক্সিগুলো লক্ষ লক্ষ আলোক বর্ষ দূরে অবস্থিত সেহেতু সেখান থেকে খুব অল্প পরিমাণ আালো আমাদের পৃথিবীতে এসে পৌছায়। তাই এদের পর্যবেক্ষণের জন্য অনেক বেশী উন্মেষ ও ফোকাস দূরত্ববিশিষ্ট অভিলক্ষ্য প্রয়োজন হয়। এই ক্ষেত্রে বৃহৎ আকারের উত্তল লেন্স ব্যবহার করলে এটি অত্যন্ড় ভারী এবং প্রতিসারক তল হওয়ায় প্রতিবিম্বে বর্ণ অপেরণের সৃষ্টি হয়। অপরদিকে অভিলক্ষ্য হিসাবে গোলীয় প্রতিফলক তল ব্যবহার করা হলে একটি তুলনামূলক অনেক হালকা হয় এবং প্রতিফলক অস্বচ্ছ হওয়ায় কোনো প্রকার বর্ণ অপেরণের সৃষ্টি হয় না। তাই জ্যোতির্বিদ্যা সংক্রান্ড় গবেষণায় ব্যবহৃত বেশীরভাগ নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্র প্রতিফলক।

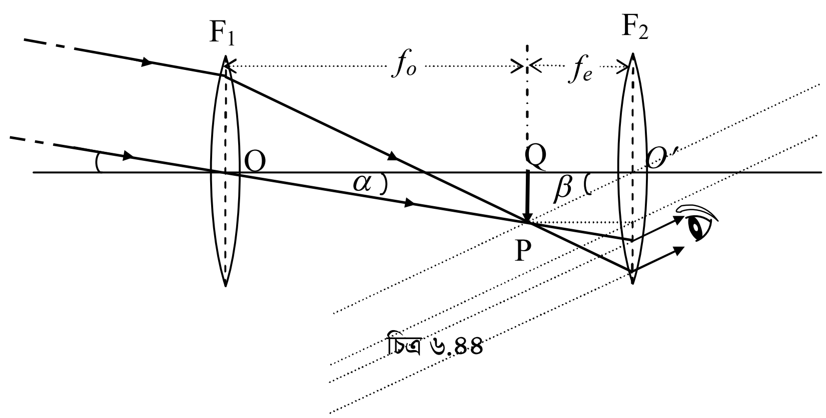
৬.১২.২ প্রতিসারক নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন ও কার্যপ্রণালী (Construction and Working Principle of Refracting Astronomical Telescope):

গঠন ঃ- দুটি উত্তল লেন্স F_1 ও F_2 সমঅক্ষীয় ভাবে প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত। F_1 কে অভিলক্ষ্য লেন্স বলে। এর ফোকাস দূরত্ব এবং উন্মেষ অভিনেত্র লেন্স F_2 এর ফোকাস দূরত্ব f_e ও উন্মেষ অপেক্ষা বেশী। লেন্স দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব প্রয়োজন বোধে সমাক্ষয়ভাবে কম বেশী করা যায়।

কার্য প্রণালী ঃ- ধরি অসীম দূর থেকে দুইটি সমান্ড়রাল আলোক রশ্মি প্রধান অক্ষ OO' এর সাথে α কোণ আনত গৌণ অক্ষের সমান্ড়রাল ভাবে অভিলক্ষ্য লেন্স F_1 তে আপতিত হয়ে F_1 লেন্স হতে F_2 দূরে ফোকাস তলে P বিন্দুতে মিলিত হয়ে PQ বাস্ড়ব, উল্টা ও অতিক্ষুদ্র প্রতিবিম্ব গঠন করে। এই প্রতিবিম্ব অভিনেত্র লেন্স F_2 এর বস্তু হিসাবে কাজ করে।

স্বাভাবিক দর্শনের ক্ষেত্রেঃ

(৬.৪৪নং) চিত্রে স্বাভাবিক দর্শণের ক্ষেত্রে অভিনেত্র লেন্স F_2 কে এমন দূরে রাখা হয় যেন PQ প্রতিবিম্ব লেন্সের প্রথম প্রধান ফোকাস f_e তে অবস্থান করে। ফলে লেন্স দ্বারা প্রতিসৃত রশ্মি সমান্ড়রাল হয় এবং লেন্সের সামনে অসীম দূরে অসীম বিবর্ধত প্রতিবিম্ব গঠিত হয়।



চিত্র ৬.৪৪

বিবর্ধনঃ- ধরা যাক আপতিত আলোকরশ্মি প্রধান অক্ষের সাথে α কোণে আপতিত হয়েছে এবং অসীম বিবর্ধত প্রতিবিম্ব প্রধান অক্ষের সাথে β কোণ করেছে। দূরবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষেত্রে বিবর্ধন বলতে প্রতিবিম্ব এবং বস্তু প্রধান অক্ষের সাথে যে কোণ করে তার অনুপাতকে বুঝায়।

অতএব বিবর্ধন, $|m| = \dfrac{\text{চোখে বিম্ব দ্বারা উৎপন্ন কোণ } \beta}{\text{চোখে লক্ষ্যবস্তু দ্বারা উৎপন্ন কোণ } \alpha} = \dfrac{\tan\beta}{\tan\alpha}$

α ও β কোণ খুব ছোট হওয়ায় $\alpha = \tan\alpha$ এবং $\beta = \tan\beta$ লেখা যায়।

বা, $|m| = \dfrac{\frac{PQ}{O'Q}}{\frac{PQ}{OQ}} = \dfrac{OQ}{O'Q}$

বা, $|m| = \dfrac{f_o}{f_e}$ ……………………………………………… (৬.৭৮)

সুতরাং অভিলক্ষ্য লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যত বেশী এবং অভিনেত্র লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যত কম হয় বিবর্ধন তত বেশী হয়।

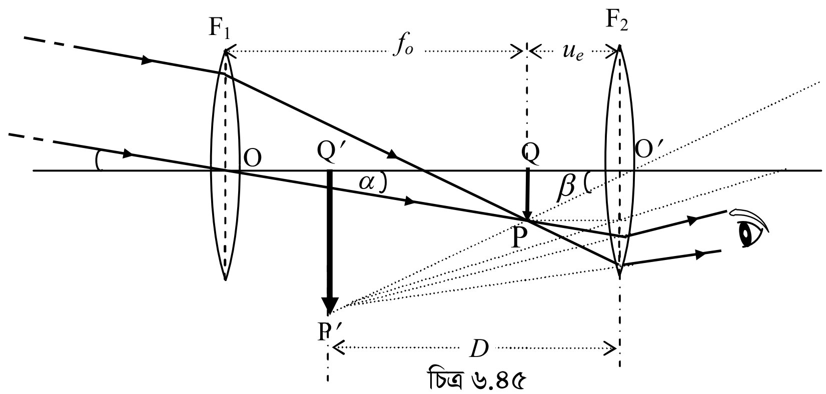
যন্ত্রের দৈর্ঘ্যঃ যন্ত্রের দৈর্ঘ্য বলতে অভিলক্ষ্য লেন্স ও অভিনেত্র লেন্সের মধ্যবর্তী দূরত্বকে বুঝায়।

অতএব, $L = OO' = OQ + O'Q$

বা, $L = f_o + f_e$ ……………………………………………… (৬.৭৯)

স্পষ্ট দর্শনের ক্ষেত্রেঃ

(৬.৪৫ নং) চিত্রে স্পষ্ট দর্শনের ক্ষেত্রে অভিনেত্র লেন্স F_2 কে এমন দূরে রাখা হয় যেন PQ প্রতিবিম্ব লেন্সের প্রথম প্রধান ফোকাস f_e এর মধ্যে অবস্থান করে। লেন্সের সামনে একটি অবাস্তব, সোজা ও বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব $P'Q'$ গঠিত হয়। F_2 কে এমন ভাবে সমন্বয় বরা হয় যেন অবাস্তব প্রতিবিম্ব $P'Q'$ এর স্পষ্ট দর্শণ দূরত্ব D তে গঠিত হয়।



চিত্র ৬.৪৫

বিবর্ধনঃ দূরবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষেত্রে বিবর্ধন বলতে প্রতিবিম্ব এবং বস্তু প্রধান অক্ষের সাথে যে কোণ করে তার অনুপাতকে বুঝায়।

অতএব বিবর্ধন $|m| = \dfrac{\text{চোখে বিম্ব দ্বারা উৎপন্ন কোণ } \beta}{\text{চোখে লক্ষ্যবস্তু দ্বারা উৎপন্ন কোণ } \alpha} = \dfrac{\tan\beta}{\tan\alpha}$

α ও β কোণ খুব ছোট হওয়ায়

$\alpha = \tan\alpha$ এবং $\beta = \tan\beta$ লেখা যায়।

বা, $|m| = \dfrac{\frac{PQ}{OQ'}}{\frac{PQ}{OQ}} = \dfrac{OQ}{OQ'}$

সৃষ্ট প্রতিবিম্ব অসীমে গঠিত হলে, $OQ' = u_e$

বা, $|m| = \dfrac{f_o}{u_e}$ ……………………………………………… (৬.৮০)

আমরা জানি, $\dfrac{1}{-D} + \dfrac{1}{u_e} = \dfrac{1}{f_e}$

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

বা, $\frac{1}{u_e} = \frac{D + f_e}{Df_e}$

বা, $u_e = \frac{Df_e}{D + f_e}$ … … … … … … … … … … … … … … … …...… … … … … … … (৬.৮১)

(৬.৮০ নং) সমীকরণে u_e এর মান বসালে, $|m| = \frac{f_o}{\frac{Df_e}{D + f_e}}$

বা, $|m| = f_o \times \frac{D + f_e}{Df_e}$ … … … … … … … … … … … … … … …...… … … … … … (৬.৮২)

যন্ত্রের দৈর্ঘ্যঃ যন্ত্রের দৈর্ঘ্য বলতে অভিলক্ষ লেন্স ও অভিনেত্র লেন্সের মধ্যবর্তী দূরত্বকে বুঝায়।

অতএব, $L = OO' = OQ + OQ'$

বা, $L = f_o + u_e$

বা, $L = f_o + \frac{Df_e}{D + f_e}$ … ... .. … (৬.৮৩)

৬.১২.৩ প্রতিফলক নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন ও কার্যপ্রণালী (Construction and Working Principle of Reflecting Astromical Telescope):

প্রতিফলক নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিভিন্ন ধরণের হয়। তার মধ্যে উলেণ্ঢখযোগ্য হলো-

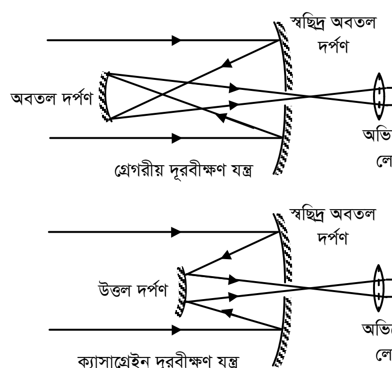
(ক) **গ্রেগরীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র**। স্কটিশ জ্যোর্তিবিজ্ঞানী ও গণিতজ্ঞ জেম্‌স গ্রেগরী (James Gregory) 1663 খ্রিস্টব্দে তাঁর বইতে প্রথম এ ধরণের দূরবীক্ষণ যন্ত্রের নকশা প্রকাশ করেন। এই নকশা উপর ভিত্তি করে 1673 খ্রিস্টব্দে ব্রিটিশ পদার্থবিজ্ঞানী রবার্ট হুক (Robert Hook) দূরবীক্ষণটি তৈরি করেন।

(খ) **নিউটনীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র**। 1663 খ্রিস্টাব্দে মহাজ্ঞানী নিউটন এই দূরবীক্ষণ তৈরি করেন। এটিই হলো গ্রেগরীয় প্রতিফলক অভিলক্ষ্য ধারণ প্রয়োগ করে প্রথম ব্যবহারযোগ্য প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র।

(গ) **ক্যাসাগ্রেইন দূরবীক্ষণ যন্ত্র**। 1672 খ্রিস্টাব্দে লরেন্ট ক্যাসাগ্রেইন (Lawrent Cassegrain) এই দূরবীক্ষণ যন্ত্রটির নকশা প্রণয়ন করেন।

(৬.৪৬ নং) চিত্রে গ্রেগরীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র ও ক্যাসাগ্রেইন দূরবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন দেখানো হলো।

আমরা এখানে শুধু মাত্র নিউটনীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্র সম্বন্ধে বিষদ আলোচনা করবো।

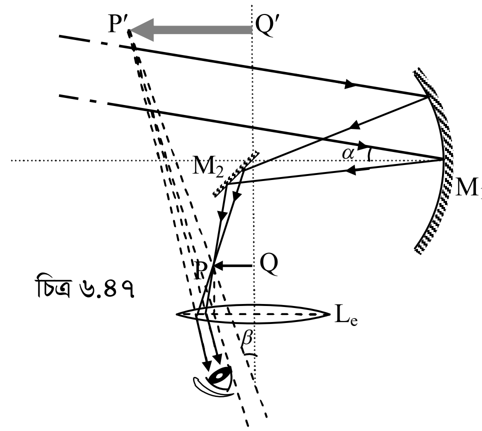


চিত্র ৬.৪৬

তবে জেনে রাখা দরকার যে, বর্তমানে পৃথিবীতে বিভিন্ন স্থানের মানমন্দিরগুলোর মধ্যে উলেণ্ঢখযোগ্য একটি নাম- (Roque de los Muchos Observatory (La Palma, Spain)। এর গ্রান টেলিস্কোপিও ক্যানারিয়াস (Gran Telescopio Canarias) দূরবীক্ষণ যন্ত্রটি সবচেয়ে উন্নত দূরবীক্ষণ যন্ত্রগুলোর মধ্যে অন্যতম। বর্তমানে এটি পৃথিবীর সর্ববৃহৎ একক-উন্মেষযুক্ত প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্র। এর কার্যকর উন্মেষ 10.4m । এই দূরবীক্ষণ যন্ত্রটি সমুদ্রপৃষ্ঠ থেকে প্রায় 2267m উচ্চতার একটি আগ্নেয়গিরির চুড়ায় অবস্থিত।

নিউটনীয় দূরবীক্ষণ যন্ত্রঃ

গঠন: (৬.৪৭ নং) চিত্রে নিউটনীয় নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্র দেখানো হয়েছে। এই দূরবীক্ষণ যন্ত্রে একটি অবতল দর্পণ M_1 অভিলক্ষ্য হিসাবে কাজ করে। দর্পণটির ফোকাস দূরত্ব বেশী এবং উন্মেষ অনেক বড়। একটি মোটা কাচ নলের একপ্রান্তে এই দর্পণটি বসানো থাকে। দূরবর্তী যে বস্তুকে লক্ষ্য করা হয় নলটির অপর প্রান্ত সেই দিকে রাখা হয়। অবতল দর্পণ এবং তার ফোকাস দূরত্বের মাঝে একটি ছোট সমতল দর্পণ M_2 বসানো থাকে। এই দর্পণটি অবতল দর্পণ M_1 এর প্রধান অক্ষের সাথে 45° কোণে আনত থাকে। একটি ছোট পার্শ্বনলে একটি কম ফোকাস দূরত্বের এবং ক্ষুদ্র উন্মেষের একটি উত্তল লেন্স রাখা হয়। এই লেন্সটি অভিনেত্র হিসাবে কাজ করে।



চিত্র ৬.৪৭

কার্যপ্রণালী: বহুদূর থেকে আগত সমান্তরাল আলোকরশ্মি M_1 অবতল দর্পণে প্রধান অক্ষের সাথে আনত ভাবে আপতিত হয়ে প্রতিফলনের সূত্রানুসারে প্রতিফলিত আলোক রশ্মি গৌণ ফোকাসে মিলিত হবে। কিন্তু পথিমধ্যে 45° কোণে আনত একটি সমতল দর্পণ M_2 থাকায় আলোক রশ্মি প্রতিফলিত চিত্রানুসারে P বিন্দুতে মিলিত হবে। M_2 সমতল দর্পণটি প্রধান অক্ষের সাথে 45° কোণে আনত থাকায় প্রধান অক্ষ রেখাটি 90° দিক পরিবর্তন করে। সুতরাং PQ হলো লক্ষ্য বস্তুর বাস্তব প্রতিবিম্ব। পার্শ্বনলকে সমন্বয় (উপর নীচ) করে রাখা উত্তল লেন্স L_e কে এমন ভাবে রাখা হয় যেন এর জন্য সৃষ্ট প্রতিবিম্ব অসীমে অথবা স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে গঠিত হয়।

বিবর্ধনঃ দূরবীক্ষণ যন্ত্রের ক্ষেত্রে বিবর্ধন বলতে প্রতিবিম্ব এবং বস্তু প্রধান অক্ষের সাথে যে কোণ করে তার অনুপাতকে বুঝায়। বিম্ব অসীমে গঠিত হলে, বিবর্ধন $|m| = \dfrac{\text{অবতল দর্পণের ফোকাস দূরত্ব}}{\text{অভিনেত্র লেন্সের ফোকাস দূরত্ব}}$

বা, $|m| = \dfrac{f_o}{f_e}$ … … … … … … … … … … … … … … … … … …… … … … … … (৬.৮৪)

বিম্ব চোখে স্পষ্ট দর্শনের ন্যূনতম দূরত্বে গঠিত হলে বিবর্ধন,

$$|m| = f_o \times \frac{D + f_e}{Df_e} \quad \text{… … … … … … … … … … … … … …… … … … … …(৬.৮৫)}$$

উদাহরণ ৬.১৮: একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 1m এবং 0.01m। স্বাভাবিক দর্শণে এবং স্পষ্ট দর্শণে ক্ষেত্রে বিবর্ধন ক্ষমতা এবং যন্ত্রের দৈর্ঘ্য বের করুন।

সমাধান: দেয়া আছে, $f_o = 1\text{m}$, $f_e = 0.01\text{m}$, যখন $v = \infty$ তখন $|m| = ?$

এবং যখন $v = D = 0.25\text{m}$ তখন $|m| = ?$

আমরা জানি, স্বাভাবিক দর্শণের জন্য, $|m| = \dfrac{f_o}{f_e}$

মান বসালে, $|m| = \dfrac{1}{0.01} = 100$

এবং যন্ত্রের দৈর্ঘ্য $L = f_o + f_e$

মান বসালে, $L = 1 + 0.01 = 1.01\text{m}$

আমরা জানি, স্পষ্ট দর্শণের জন্য, $|m| = f_o \times \dfrac{D + f_e}{Df_e}$

মান বসালে, $|m| = 1 \times \dfrac{0.25 + 0.01}{0.25 \times 0.01} = 104$

আবার, স্পষ্ট দর্শণের জন্য যন্ত্রের দৈর্ঘ্য $L = f_o + \dfrac{Df_e}{D + f_e}$

মান বসালে, $L = 1 + \dfrac{0.25 \times 0.01}{0.25 + 0.01} = 1 + 0.0096 = 1.0096\text{m}$

উ: 1.0096m

সার-সংক্ষেপ :

নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধক ক্ষমতা:

স্বাভাবিক দর্শণের জন্য: $|m| = \dfrac{f_o}{f_e}$

স্পষ্ট দর্শণের জন্য: $|m| = f_o \times \dfrac{D + f_e}{Df_e}$

নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রের দৈর্ঘ্য:

স্বাভাবিক দর্শণের জন্য: $L = f_o + f_e$

স্পষ্ট দর্শণের জন্য: $L = f_o + \dfrac{Df_e}{D + f_e}$

পাঠোত্তর মূল্যায়ন: ৬.১২

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:-

১। একটি নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিনেত্রের ব্যাসের তুলনায় অভিলক্ষ্যের ব্যাস

ক. ছোট রাখা হয় খ. বড় রেখা হয় গ. সমান রাখা হয় ঘ. ছোট বা বড় রাখা যেতে পারে

২। নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রে অভিনেত্র ও অভিলক্ষ্যের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে f_o এবং f_e হলে যন্ত্রের বিবর্ধন প্রায়

ক. $f_o + f_e$ খ. $f_o \times f_e$ গ. $\dfrac{f_o}{f_e}$ ঘ. $\dfrac{f_e}{f_o}$

পাঠ-৬.১৩ : ব্যবহারিক-৫ ঃ দর্পণ ও উত্তল লেন্স ব্যবহার করে তরলের প্রতিসরণাঙ্ক নির্ণয়।

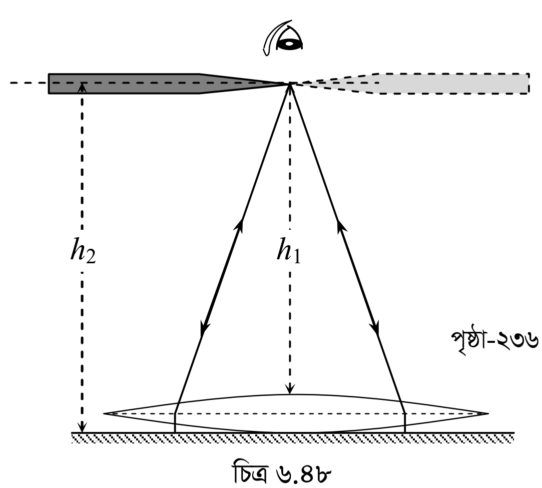
ব্যবহারিক:

পরীক্ষণের নাম: দর্পণ ও উত্তল লেন্স ব্যবহার করে তরলের প্রতিসরণাঙ্ক নির্ণয়।

উদ্দেশ্য: তরল পদার্থের প্রতিসরণাঙ্ক নির্ণয়ের একটি প্রক্রিয়া শিখন।

তত্ত্ব: ধরি পরীক্ষায় ব্যবহৃত উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f_l এবং যে পৃষ্ঠ দর্পণের উপর রাখা হয়েছে সে পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ r। দর্পণ ও লেন্সের মাঝে ${}_a\mu_l$ প্রতিসরাঙ্কে তরল রাখার ফলে সৃষ্ট সমতল অবতল লেন্সের জন্য তুল্য লেন্সের ফোকাস দূরত্ব F হলে,

তরলের প্রতিসরাঙ্ক, ${}_a\mu_l = 1 + r\dfrac{f_1 - F}{Ff_1}$



চিত্র ৬.৪৮

এখানে, $r=\dfrac{d^2}{6h}+\dfrac{h}{2}$

যেখানে, $d=$ স্ফেরোমিটারের যে কোনো দুই পায়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব।

$h=$ স্ফেরোমিটারের পা তিনটি যে সমতলে থাকে সে তল থেকে বক্রতলের উচ্চতা এবং

$r=$ লেন্সের যে তল সমতল দর্পণের সংস্পর্শে আছে সেই তলের বক্রতার ব্যাসার্ধ।

যন্ত্রপাতি: চলমান সূচকসহ একটি স্ট্যান্ড, একটি সমতল দর্পণ, একটি উত্তল লেন্স, একটি স্ফেরোমিটার, একটি মিটার স্কেল এবং পরীক্ষণীয় তরল।

কাজের ধারা:

১। প্রথমে লেন্সের যে পৃষ্ঠটিকে সমতল দর্পণের উপর রাখা হবে তাকে চিহ্নিত করতে হয়।

২। স্ফেরোমিটারকে সমতল দর্পণের উপর রেখে তিনটি পাঠ এবং লেন্সের চিহ্নিত পৃষ্ঠের উপর রেখে তিনটি পাঠ নিয়ে এদের গড় পাঠ থেকে সমতল পাঠের গড় বিয়োগ করে h নির্ণয় করতে হয়।

৩। সাদা কাগজে স্ফেরোমিটারের পা তিনটি বসিয়ে পা তিনটির মধ্যবর্তী দূরত্ব মেপে এদের গড় করে d নির্ণয় করতে হয়।

৪। d ও h এর মান r নির্ণয়ের সমীকরণে বসিয়ে লেন্সের বক্রতার ব্যাসার্ধ নির্ণয় করতে হয়।

৫। এবার স্ট্যান্ডের পাটাতলে সমতল দর্পণ রেখে তার উপর উত্তল লেন্স রাখা হয়। সূচক কাঁটাটিকে উপরে তুলে আগপিছু করে এর সূচালো প্রান্ত লেন্সের প্রধান অক্ষ বরাবর রাখলে এর একটি বাস্তব প্রতিবিম্ব দেখা যাবে এবং প্রতিবিম্বের সূচালো প্রান্ত এবং সূচক কাঁটার সূচালো প্রান্ত মুখোমুখী থাকবে।

৬। এই অবস্থায় সূচকের উপর চোখ রেখে চোখকে এপাশ ওপাশ নড়ালে দেখা যাবে সূচক কাঁটা ও প্রতিবিম্বের মধ্যে আপেক্ষিক বেগ আছে। যার বেগ বেশী সেটি চোখের নিকটে আছে। সুতরাং সূচক কাঁটা বেশী নড়লে তাকে ধীরে ধীরে নীচে নামাতে হয়। যদি প্রতিবিম্ব বেশী নড়লে সূচক কাঁটাকে ধীরে ধীরে উপরে তুলতে হয়।

৭। এই ঘটনাটি কয়েকবার পুনরাবৃত্তি করলে এক সময় সূচক কাঁটা ও প্রতিবিম্বের মধ্যে কোনো আপেক্ষিক বেগ থাকবেনা। অর্থাৎ লম্বন ত্রুটি দূর হয়। এই অবস্থায় লেন্সের উপর থেকে সূচক কাঁটার দূরত্ব h_1 এবং দপর্ণের উপর থেকে সূচক কাঁটার দূরত্ব h_2 মাপা হয় (চিত্র ৬.৪৮)। এই পরিমাপদ্বয়ের গড় হলো লেন্সের ফোকাস দূরত্ব f_1।

৮। একই ভাবে সূচক কাঁটাকে পূর্বের মত প্রতিবিম্বের সাথে কয়েকবার লম্বন ত্রুটি দূর করে পাঠ নেয়া হয় এবং লেন্সের ফোকাস দূরত্বের গড় করা হয়।

৯। এবার দর্পণ থেকে লেন্সটি সরিয়ে দর্পণের উপর কয়েক ফোঁটা তরল দিয়ে তার উপর লেন্সটি রাখলে দর্পণ ও লেন্সের মাঝে পরীক্ষণীয় তরলের একটি সমতল অবতল লেন্স তৈরী হবে এবং লেন্স দুটি মিলে একটি তুল্য উত্তল লেন্স গঠন করে।

১০। এই অবস্থায় পুনরায় ৭ ও ৮ নং কাজের ধারার পুনরাবৃত্তি করে তুল্যলেন্সের ফোকাস দূরত্ব F নির্ণয় করা হয় (চিত্র ৬.৪৯)।

১১। প্রাপ্ত মানগুলো সমীকরণে বসিয়ে তরলে প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় করা হয়।

ছক:

স্ফেরোমিটারের পায়ের মধ্যবর্তী গড় দূরত্ব, $d=\dfrac{d_1+d_2+d_3}{3}$

h-নির্ণয়ের ছক

স্ফেরোমিটারের অবস্থান	পর্যবেক্ষণ সংখ্যা	প্রধান স্কেল পাঠ mm	বৃত্তাকার স্কেলে পাঠ	লঘিষ্ঠ গণন mm	মোট পাঠ mm	গড় mm	$h=(T\sim T_0)$ mm	h cm
সমতলে	1.					$T_0=$		
	2.							
	3.							
	1.					$T=$		

	2.							
	3.							

বক্রতার ব্যাসার্ধ, $r = \frac{d^2}{6h} + \frac{h}{2}$ = ... cm.

ফোকাস দূরত্ব নির্ণয়ের ছক:

লেন্সের অবস্থান	পাঠ সংখ্যা	দর্পণ হতে সূচকের উচ্চতা h_1 cm	লেন্স হতে সূচকের উচ্চতা h_2 cm	$f_1 = \frac{h_1 + h_2}{2}$ cm	গড় f_1 cm
দর্পণের উপর লেন্স	1				
	2				
	3				
		h_3 cm	h_4 cm	$F = \frac{h_3 + h_4}{2}$ cm	গড় F cm
তরলের উপর লেন্স	1				
	2				
	3				

ফলাফল: প্রাপ্ত মানগুলো ${}_a\mu_l = 1 + r\frac{f_1 - F}{Ff_1}$ সমীকরণে বসিয়ে তরলের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় করা হয়।

সর্তকতা:

১। লেন্সের যে পৃষ্ঠ দর্পণের দিকে থাকবে সেটিকে চিহ্নিত করে প্রতিবারই সে পৃষ্ঠকে দর্পণের দিকে রাখতে হবে।
২। প্রতিবিম্ব গঠন করার সময় যেন লম্বন ত্র“টি না হয় সেদিকে লক্ষ্য রাখতে হবে।
৩। তরল দিয়ে লেন্স তৈরী করার সময় যেন কোনো বুদবুদ সৃষ্টি না হয় সেদিকে লক্ষ্য রাখতে হবে।
৪। শূন্য ত্র“টি পরিহারের জন্য প্রতিবার একই স্কেল দিয়ে পাঠ নিতে হবে।
৫। বক্রতার ব্যাসার্ধ নির্ণয়ে সময় অগ্রপশ্চাৎ ত্র“টি দূর করার জন্য স্ফেরোমিটারের বৃত্তাকার স্কেলকে সর্বদা একই দিকে ঘুরাতে হবে।

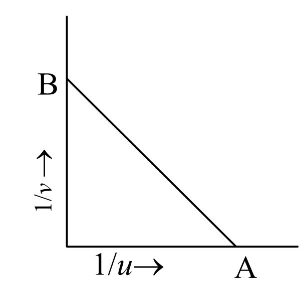
পাঠ-৬.১৪ : ব্যবহারিক-২ ঃ লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয়।

ব্যবহারিক ঃ লেন্সের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয়।

তত্ত্ব: লেন্সের আলোক কেন্দ্র থেকে প্রধান ফোকাস পর্যন্ত দূরত্বকে ফোকাস দূরত্ব বলে। উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্বের বাইরে বস্তু স্থাপন করলে সর্বদা বাস্ড়ব প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়।

লেন্সের সাধারণ সূত্র থেকে পাই, $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$ … … … … … ……… … … … … … … (৬.৮৬)

এখানে, $v =$ লেন্সের আলোককেন্দ্র থেকে প্রতিবিম্বের দূরত্ব,
$u =$ লেন্সের আলোককেন্দ্র থেকে বস্তুর দূরত্ব এবং
$f =$ পরীক্ষণীয় লেন্সের ফোকাস দূরত্ব।



চিত্র- ৬.৪১

পরীক্ষা থেকে প্রাপ্ত লক্ষ্যবস্তুর দূরত্বের বিপরীত রাশি $\frac{1}{u}$-কে $X-$অক্ষে এবং প্রতিবিম্বের দূরত্বের বিপরীত রাশি $\frac{1}{v}$-কে $Y-$অক্ষে বসিয়ে লেখ অঙ্কন করলে একটি সরল রেখা পাওয়া যাবে। এই রেখাটি $X-$অক্ষের যে দূরত্বে ছেদ করে, $Y-$অক্ষেরও সেই দূরত্বে ছেদ করে।

ছেদ বিন্দু A-তে $\frac{1}{v}=0$, সুতরাং, $\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$, $\quad \therefore u=f$

এবং ছেদ বিন্দু B-তে $\frac{1}{u}=0$, সুতরাং $\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$, $\therefore v=f$

অতএব, লেখ চিত্রে মূল বিন্দু থেকে যে কোন অক্ষের ছেদ বিন্দুর দূরত্বের বিপরীত রাশিই উত্তল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব।

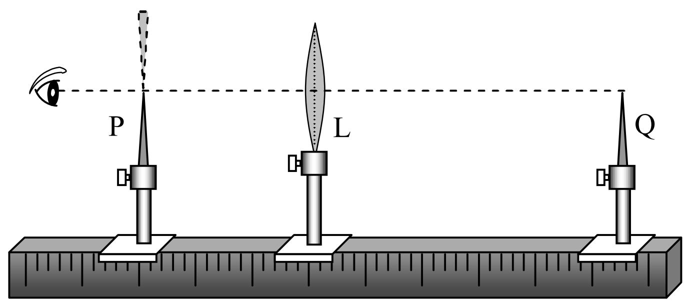
যন্ত্রপাতি :
আলোক বেঞ্চ, পরীক্ষণীয় উত্তল লেন্স, লেন্স স্ট্যান্ড ও স্ট্যান্ডসহ দুটি সূচালো পিন।

কার্য পদ্ধতি :

১। প্রথমে আলোক বেঞ্চকে অনুভূমিক সমতলে স্থাপন করতে হবে।

২। লেন্স স্ট্যন্ডে লেন্সকে লাগিয়ে স্টান্ডটি আলোক বেঞ্চের মধ্যে অর্থাৎ 50cm দাগে রাখতে হয়।

৩। স্টান্ডসহ একটি সূচালে পিনকে আলোক বেঞ্চের এক প্রান্তে অর্থাৎ 100cm এর কাছে রাখতে হয় এবং নিচে উঠা নামা করে এমন ভাবে সমন্বয় করতে হয় যেন পিনটি সূচালো প্রান্ত লেন্সের অক্ষ বরাবর থাকে। এই পিনটি বস্তু হিসাবে কাজ করে।



চিত্র- ৬.৫০

৪। এবার লেন্সের অপর প্রান্ত থেকে এক চোখ বন্ধ করে মধ্য দিয়ে তাকিয়ে মাথাটি একটু ডানে বামে নড়ালে পিনটির একটি উল্টা বাস্তব প্রতিবিম্ব দেখা যাবে।

৫। এখন যেদিকে চোখ আছে সেদিকের স্ট্যান্ডটিতে অপর পিনটি লাগিয়ে পিনটিকে উপর নীচ করে পিনটি সূচালো প্রান্ত লেন্সের অক্ষ বরাবর রাখতে হয় যেন প্রতিবিম্বের সূচালো প্রান্ত এবং পিনের সূচালো প্রান্ত মুখোমুখী থাকে। এই পিনটি প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্দেশ করে।

৬। এই অবস্থায় পিনের উপর চোখ রেখে চোখকে এপাশ ওপাশ নড়ালে দেখা যাবে পিনের মাথা ও প্রতিবিম্বের মাথার মধ্যে আপেক্ষিক বেগ আছে। যার বেগ বেশী সেটি চোখের নিকটে আছে। সুতরাং পিনের মাথা বেশী নড়লে তাকে ধীরে ধীরে লেন্সের দিকে নিতে হয়। আর প্রতিবিম্ব বেশী নড়লে পিনকে ধীরে ধীরে লেন্স থেকে দূরে সরিয়ে নিতে হয়।

৭। এই ঘটনাটি কয়েকবার পুনরাবৃত্তি করলে এক সময় পিন ও প্রতিবিম্বের মধ্যে কোনো আপেক্ষিক বেগ থাকবেনা। অর্থাৎ লম্বন ত্রুটি দূর হবে। পিনের এই অবস্থানই হলো প্রতিবিম্বের অবস্থান।

৮। এই অবস্থায় বস্তুর অবস্থান, লেন্সের অবস্থান এবং প্রতিবিম্বের অবস্থান ছকে লিপিবদ্ধ করতে হয়।

৯। এবার বস্তুর পিনটিকে লেন্সের একটু কাছে নিয়ে এসে এই নতুন অবস্থানের জন্য আবার প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ধারণের জন্য চোখের কাছে থাকা পিনটিকে আগ পিছ করে এমন অবস্থানে রাখতে হয় যেন মাথা নড়ালেও পিন ও প্রতিবিম্বের মধ্যে কোনো আপেক্ষিক বেগ না থাকে। এই অবস্থায় পুনরায় সকল পাঠ লিপিবদ্ধ করা হয়।

১০। এই ভাবে বস্তু পিনটিকে একটু একটু করে কাছ এনে প্রতিবারের জন্য প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয় করে প্রতিটি পাঠ লিপিবদ্ধ করতে হয়।

ছক

পাঠ সংখ্যা	বস্তুর অবস্থান x cm	লেন্সের অবস্থান y cm	প্রতিবিম্বের অবস্থান z cm	বস্তুর দূরত্ব $x \sim y$ cm	প্রতিবিম্বের দূরত্ব $y \sim z$ cm	$\frac{1}{u}$ cm^{-1}	$\frac{1}{v}$ cm^{-1}	লেখচিত্রের ছেদ বিন্দু থেকে		ফোকাস দূরত্ব f cm	গড় ফোকাস দূরত্ব f cm
								$\frac{1}{u}$ cm^{-1}	$\frac{1}{v}$ cm^{-1}		
1.										$f=\frac{1}{\frac{1}{u}}=$ $f=\frac{1}{\frac{1}{v}}=$	
2.											
3.											
4.											
5.											
6.											

হিসাব:

$X-$ অক্ষের ছেদ বিন্দু থেকে, $f_1=\frac{1}{\frac{1}{u}}=$

$Y-$ অক্ষের ছেদ বিন্দু থেকে, $f_2=\frac{1}{\frac{1}{v}}=$

গড়, $f=\frac{f_1+f_2}{2}$

ফলাফল:

প্রদত্ত লেন্সের ফোকাস দূরত্ব, $f=$ ....cm

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

সর্তকতা:

১। আলোক বেঞ্চকে অনুভূমিক করা হলো যেন প্রতিবিম্ব ও বস্তুর মাথা একই উলম্বরেখা বরাবর থাকে।

২। বস্তু পিন ও প্রতিবিম্ব পিনের মাথাকে লেন্সের প্রধান অক্ষ বরাবর রাখা হলো যেন প্রতিবিম্ব ও বস্তুর মাথা একই অনুভূমিক রেখা বরাবর থাকে।

৩। প্রতিবিম্ব পিনের মাথাকে আগ পিছে করে এমন ভাবে রাখা হলো যেন মাথা ডান বাম নাড়ালে প্রতিবিম্ব ও বস্তুর মাথার মধ্যে কোনো আপেক্ষিক বেগ না থাকে।

৪। প্রতিটি অবস্থানের পাঠ স্কেলের উপর লম্ব বরাবর দেখে লিপিবদ্ধ করা হলো।

চূড়ান্ড় মূল্যায়ন

বহুনির্বাচনী প্রশ্ন:

১। একটি আলোক রশ্মির কম্পাঙ্ক 6×10^{14} Hz। 1.5 প্রতিসরণাঙ্কের কোনো মাধ্যমে প্রবেশ করলে এর কম্পাঙ্ক হবে

ক. 9×10^{14} Hz　খ. 6×10^{14} Hz　গ. 4×10^{14} Hz　ঘ. 1.5×10^{14} Hz

২। কোনো মাধ্যমের পরম প্রতিসরণাঙ্ক সব সময়ই

ক. 1　খ. 1 অপেক্ষা বেশী　গ. 1 অপেক্ষা কম　ঘ. ঋণাত্মক

৩। বায়ুর সাপেক্ষে পানি ও হীরার প্রতিসরণাঙ্ক যথাক্রমে $\frac{4}{3}$ ও $\frac{12}{5}$। পানির সাপেক্ষে হীরার প্রতিসরণাঙ্ক হবে

ক. $\frac{5}{16}$ খ. $\frac{5}{9}$ গ. $\frac{9}{5}$ ঘ. $\frac{16}{5}$

৪। একটি সমবাহু প্রিজমের একটি তলে আপতিত রশ্মি এর অন্য তলে পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন হয়। প্রিজমের প্রতিসরণাঙ্ক $\sqrt{2}$ হলে অন্য তলে প্রতিসরণ কোণ হবে

ক. 30° খ. 45° গ. 50° ঘ. 60°

৫। একটি ফোকাস দূরত্বের উত্তল লেন্সে বাস্তব প্রতিবিম্ব গঠিত হতে বস্তু ও প্রতিবিম্বের মধ্যে ন্যূনতম দূরত্ব হবে

ক. $4f$ খ. $3f$ গ. $2f$ ঘ. f

৬। বায়ুতে একটি লেন্স উত্তল লেন্সের মত। পানিতে অবতল লেন্সের মত হলে লেন্সের প্রতিসরণাঙ্ক

ক. বায়ুর চেয়ে কম খ. বায়ু এবং পানি উভয়ের চেয়ে কম

গ. পানির সমান ঘ. বায়ুর চেয়ে বেশী কিন্তু পানির চেয়ে কম

৭। একটি সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের গায়ে লেখা আছে 40। লেন্সের ফোকাস দূরত্ব হবে-

ক. 0.64 cm খ. 0.54 cm গ. 0.44 cm ঘ. 0.34 cm

৮ একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্র স্পষ্ট দর্শণ দূরত্বে প্রতিবিম্ব গঠন করে। যদি অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র লেন্সের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 2 cm এবং 3 cm হয় এবং যন্ত্রে দৈর্ঘ্য 30 cm হয় তবে বিবর্ধনের মান হবে-

ক. 15 খ. 125 গ. 225 ঘ. 300

৯। একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 100 cm এবং ব্যাস 5 cm। অভিনেত্র লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 20 cm হয় তবে লেন্সদ্বয়ের মধ্যবর্তী দূরত্ব এবং অভিনেত্রের ব্যাস হবে-

ক. 110 cm ও 5 cm খ. 120 cm ও 5 cm গ. 120 cm ও 1 cm ঘ. 130 cm ও 2 cm

১০। একজন দর্শক একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্র দিয়ে 10 m লম্ব একটি গাছ পর্যবেক্ষণ করছে। দূরবীক্ষণ যন্ত্র বিবর্ধন ক্ষমতা 20। তার মনে হবে গাছটি-

ক. 20 গুণ লম্বা খ. 20 গুণ কাছে গ. 10 গুণ লম্বা ঘ. 10 গুণ কাছে

সৃজনশীল প্রশ্নঃ

১। একজন চশমা প্রস্তুতকারী তার প্রত্নতত্ত্ববিদ বন্ধুর কাছ থেকে অতীত আমলের এক টুকরা সুন্দর স্বচ্ছ কঠিন পদার্থ পেয়ে সেটি দিয়ে একটি দ্বি-উত্তল লেন্স তৈরি করলো। লেন্সটির দুই পৃষ্ঠের ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 10 cm এবং 20 cm। পরিমাপ করে দেখা গেল লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব হয়েছে 4.76 cm।

মাধ্যম	প্রতিসরণাঙ্ক	মাধ্যম	প্রতিসরণাঙ্ক
জিঙ্ক অক্সাইড	2.4	ক্রাউন কাচ	1.48-1.64
সোয়িাম ক্লোরাইড	1.544	হীরা	2.4
সিলিকন কারবাইট	2.65–2.69	বরফ	1.3
সিলিকন	3.42–3.48	পানি	1.33
ফ্লিন্ট কাচ	1.53	গিøসারিন	1.47

ক. মাধ্যমের প্রতিসরণাঙ্ক এবং সংকট কোণের মধ্যে সম্পর্ক লিখুন।

খ. গিøসারিনের মধ্যে একটি কাচ খন্ড ডুবালে তা আর দেখা যায় না কেন? উদ্দীপকের আলোকে ব্যাখ্যা করুন।

গ. লেন্সটি কি উপাদানের তৈরি তা বের করুন।

ঘ. যদি চশমা প্রস্তুতকারী লেন্স না বানিয়ে একটি সরু 6° কোণের প্রিজম তৈরি করতেন তবে তার কৌণিক বিচ্যুতি নির্ণয় করা যেত কিনা গাণিতিক ভাবে বিশ্লেষণ করুন।

২। একজন শিক্ষক দুইজন ছাত্র বকুল ও মুকুলকে নীচের ছকে বর্ণিত চারটি লেন্স দিয়ে বকুলকে একটি যৌগিক অণুবীক্ষণ ও মুকুলকে একটি দূরবীক্ষণ যন্ত্র তৈরি করতে বললেন।

লেন্স	ক্ষমতা	উন্মেষ
L_1	6D	0.5cm
L_2	3D	8cm
L_3	3D	1cm
L_4	10D	1cm

ক. লেন্সের ক্ষমতা বলতে কী বোঝায়?

খ. বকুল ও মুকুল তাদের যন্ত্রের জন্য কোন কোন লেন্স পছন্দ করবে এবং কেন ব্যাখ্যা করুন।

গ। স্পষ্ট দর্শণের জন্য মুকুলকে যন্ত্রের দৈর্ঘ্য নির্ণয় করুন।

ঘ। যদি L_2 ও L_3 লেন্সদুটি দিয়ে দূরবীক্ষণ যন্ত্র তৈরি করা হতো কী কী সুবিধা/সুবিধা হতো বলে আপনি মনে করেন? আপনার উত্তর গাণিতিক ভাবে বিশেণ্ঢষণ করুন।

সংক্ষিপ্ত উত্তর প্রশ্ন :

১। আলোর প্রতিসরণ কাকে বলে?
২। আলোর প্রতিসরণের সূত্রগুলো বিবৃত করুন।
৩। প্রতিসরণাঙ্ক কাকে বলে?
৪। কোন মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক কি কি বিষয়ের উপর নির্ভর করে?
৫। আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্ক কাকে বলে?
৬। পরম প্রতিসরাঙ্ক কাকে বলে?
৭। স্নেলের সূত্রের সাধারণ রূপটি লিখুন।
৮। আলোর দ্রুতির সাথে প্রতিসরাঙ্কের সম্পর্কটি লিখুন।
৯। সংকট কোণ কি বা কাকে বলে?
১০। পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন কাকে বলে?
১১। পূর্ণ অভ্যন্তরীণ প্রতিফলনের শর্তগুলো কি কি?
১২। ন্যূনতম বিচ্যুতির শর্তসমূহ উল্লেখ করুন ।
১৩। আলোর বিচ্ছুরণ কি?
১৪। আলোর বর্ণালী কাকে বলে?
১৫। উত্তল লেন্সে কখন বাস্তব ও কখন অবাস্তব প্রতিবিম্ব গঠিত হয়?
১৬। উত্তল লেন্সে বিম্ব বাস্তব হলে কোন ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব বস্তুর সমান, কোন ক্ষেত্রে বস্তু অপেক্ষা ছোট এবং কোন ক্ষেত্রে বস্তু অপেক্ষা বড় হয়ে থাকে?
১৭। লেন্সের ক্ষমতার কাকে বলে
১৮। ডায়পটার কাকে বলে?
১৯। +2.0 D এর একটি লেন্সের ফোকাস দূরত্ব কত?
২০। তুল্য লেন্স কাকে বলে?
২১। উত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে u বনাম v লেখচিত্রের প্রকৃতি কিরূপ?
২২। বীক্ষণকোণ কি?
২৩। কৌণিক বিবর্ধন কি?
২৪। অণুবীক্ষণ যন্ত্রের কাজ বর্ণনা করুন।
২৫। দূরবীক্ষণ যন্ত্রের কাজ বর্ণনা করুন।
২৬। নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্র কাকে বলে?

বিশদ উত্তর প্রশ্ন ঃ

১। a মাধ্যমের সাপেক্ষে b মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের সাথে b মাধ্যমের সাপেক্ষে a মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের সম্পর্ক স্থাপন করুন ।
২। আপেক্ষিক প্রতিসরাঙ্কের সাথে পরম প্রতিসরাঙ্কের সম্পর্ক স্থাপন করুন।
৩। আলোক রশ্মি ঘন মাধ্যম থেকে হালকা মাধ্যমে যাওয়ার সময় আপতন কোণ ক্রমান্বয়ে বৃদ্ধি করলে থাকলে কি ঘটে, চিত্রসহ ব্যাখ্যা করুন ।
৪। সংকট কোণ ও প্রতিসরাঙ্কের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করুন ।
৫। প্রিজমে ক্ষেত্রে দেখান যে, $i_1 + i_2 = A + \delta$
৬। দেখান যে, একটি প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক, $\mu = \dfrac{\sin \frac{A+\delta_m}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$, যেখানে প্রতীকগুলো প্রচলিত অর্থ বহন করে।
৭। সরু প্রিজমের ক্ষেত্রে দেখান যে, বিচ্যুতি $\delta = (\mu - 1) A$

প্রিজমে আলোর বিচ্ছুরণ ও বর্ণালী ব্যাখ্যা করুন ।

৭। গোলীয়তলে আলোর প্রতিসরণের ক্ষেত্রে দেখার যে, $\frac{{}_a\mu_b}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{r}\left({}_a\mu_b-1\right)$, যেখানে প্রতীকগুলো প্রচলিত অর্থ বহন করে।

৮। লেন্সের ক্ষেত্রে প্রমাণ করুন, $\frac{1}{f}=\left({}_a\mu_b-1\right)\left(\frac{1}{r_1}-\frac{1}{r_2}\right)$, যেখানে প্রতীকগুলো প্রচলিত অর্থ বহন করে।

৯। সরু লেন্সের লেন্সের ক্ষেত্রে দেখান যে, $\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$

১০। লেন্সের বিবর্ধণের রাশিমালা প্রতিপাদন করুন।

১১। লেন্সের ক্ষমতা ও ফোকাস দূরত্বের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন করুন ।

১২। দুটি লেন্স পরস্পর সংযুক্ত অবস্থায় থাকলে এদের ফোকাস দূরত্ব এবং ক্ষমতার সমীকরণ বের করুন।

১৩। প্রমাণ করুন যে, তুল্য লেন্সের ক্ষমতা সংযোজিত লেন্সগুলোর ক্ষমতার যোগফলের সমান।

১৪। সরল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের রশ্মিচিত্রসহ এর ক্রিয়া ও বিবর্ধন নির্ণয় করুন ।

১৫। চিত্রসহ একটি জটিল অণূবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা করুন ।

১৬। একটি জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন ক্ষমতার রাশিমালা বের করুন ।

১৭। চিত্রসহ একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা করুন ।

১৮। একটি নভো- দূরবীক্ষণ যন্ত্রের বর্ণনা দাও এবং এর বিবর্ধনের রাশিমালা প্রতিপাদন করুন ।

১৯। একটি প্রতিফলক দূরবীক্ষণ যন্ত্রের গঠন ও কার্যপ্রণালী বর্ণনা করুন ।

গাণিতিক সমস্যা ঃ

১। বায়ু সাপেক্ষে পানি ও কাচের সংকট কোণ যথাক্রমে $48°$ ও $42°$ হলে পানি ও কাচের মধ্যকার সংকট কোণ কত? (উঃ $64.2°$)

২। আলো বায়ু থেকে কাচে প্রবেশের সময়, আপতন কোণ $50°$ হলে প্রতিসরণ কোণ $30°$ হয়। বায়ুর সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় করুন। (উঃ 1.53)

৩। বায়ুর সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক $\frac{3}{2}$ এবং বায়ুর সাপেক্ষে পানির প্রতিসরাঙ্ক $\frac{4}{3}$ হলে কাচের সাপেক্ষে পানির প্রতিসরাঙ্ক বের করুন । (উঃ $\frac{8}{9}$)

৪। শূন্য স্থানে আলোর দ্রুতি $3\times10^{8}\,\mathrm{ms}^{-1}$ । হীরকের প্রতিসরাঙ্ক 2.4 হলে হীরকে আলোর দ্রুতি নির্ণয় করুন । (উঃ $1.25\times10^{8}\,\mathrm{ms}^{-1}$)

৫। বাতাসে সোডিয়াম আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য $5.89\times10^{-7}\mathrm{m}$। যে কাচের প্রতিসরাঙ্ক 1.52 হলে কাচে সোডিয়াম আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য নির্ণয় করুন। (উঃ $3.875\times10^{-7}\,\mathrm{m}$)

৬। একটি সমবাহু প্রিজমে $50°$ কোণে আপতিত আলো ন্যূনতম বিচ্যুতিতে নির্গত হয়। ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ ও উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় করুন। (উঃ $40°$, 1.532)

৭। কোন প্রিজমে আপতন কোণ $40°$ ও নির্গত কোণ $33°$ হলে প্রিজম কোণ কত? ($\mu=1.5$) (উঃ $46°38'$)

৮। একটি সমবাহু প্রিজমের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$ হলে ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ নির্ণয় কর। (উঃ $30°$)

৯। একটি প্রিজম উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{2}$ এবং এর ভিতর হতে নির্গত আলোক রশ্মির ন্যূনতম বিচ্যুতি কোণ $30°$ হলে, প্রিজম কোণ নির্ণয় কর। (উঃ $60°$)

১০। একটি সরু প্রিজমের প্রতিসারক কোণ $6°$। যদি এর মধ্য দিয়ে আলোক রশ্মি গমনকালে $3°$ কোণে বিচ্যুত হয় তবে প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর। (উঃ 1.5)

১১। একটি প্রিজমে কোন একটি রশ্মির নির্গমন কোণ প্রিজম কোণের সমান কিন্তু ঐ তলের আপতন কোণের দ্বিগুণ। প্রিজম উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{3}$ হলে দেখান যে, প্রিজম কোণ $60°$।

১২। একটি সম দ্বি-উত্তল প্রতিসারক পৃষ্ঠের বক্রতার ব্যাসার্ধ 10 cm এবং এর সম্মুখে প্রধান অক্ষের উপর 15 cm দূরে একটি বস্তু অবস্থিত। প্রতিবিম্বের অবস্থান ও প্রকৃতি নির্ণয় করুন। প্রথম মাধ্যমের সাপেক্ষে দ্বিতীয় মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক 1.5। (উঃ 90 cm এবং প্রতিবিম্ব অবাস্তব)

১৩। একটি উত্তল লেন্সের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1.5 এবং বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 12 cm এবং 18 cm। এর ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর। (উঃ 14.4 cm)

১৪। বায়ুর সাপেক্ষে পানি ও কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে $\frac{3}{2}$ এবং $\frac{4}{3}$। দেখান যে, একটি কাচ লেন্সের পানিতে ফোকাস দূরত্ব বায়ুতে ফোকাস দূরত্বের চারগুণ।

১৫। সমান বক্রতার একটি দ্বি-অবতল লেন্সের ফোকাস দূরত্ব 20 cm। বাতাসে লেন্স উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক 1.66 হলে পৃষ্ঠদ্বয়ের বক্রতার ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর। (উঃ বক্রতার ব্যাসার্ধ 26.4 cm)

১৬। কাচের তৈরি একটি দ্বি-উত্তল লেন্সের পৃষ্ঠদ্বয়ের বক্রতার ব্যাসার্ধ যথাক্রমে 4 cm এবং 8 cm। পানির মধ্যে লেন্সটির ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় কর। বায়ুর সাপেক্ষে পানি ও কাচের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1.53 এবং 1.33। (উঃ 17.77 cm)

(উঃ লক্ষ্যবস্তু যে পাশে সে পাশে 20 cm দূরে, অবাস্তব সোজা, 2)

১৭। 8 cm লম্বা একটি বস্তুকে 15 cm ফোকাস দূরত্বের উত্তল লেন্স থেকে 10 cm দূরে স্থাপন করলে বিম্বের দৈর্ঘ্য কত হবে নির্ণয় কর। (উঃ 24 cm)

১৮। দেখান যে, f ফোকাস দূরত্বের একটি উত্তল লেন্স যখন বস্তুর m গুণ বিবর্ধিত বাস্তব বিম্ব গঠন করে তখন বস্তুটি লেন্স থেকে $\left(\frac{m+1}{m}\right)\times f$ দূরে অবস্থিত।

১৯। 6 cm লম্বা একটি বস্তুকে একটি লেন্সের সামনে রাখা হল। লেন্সের পিছনে 1 m দূরে স্থাপিত একটি পর্দায় 3 cm লম্বা প্রতিবিম্বের সৃষ্টি হল। লেন্সের ক্ষমতা নির্ণয় কর। (উঃ + 1.50 D)

২০। 10 cm এবং 2 0 cm ফোকাস দূরত্ব বিশিষ্ট দুটি উত্তল লেন্সকে পরস্পরের সংস্পর্শে রাখা হল। সংযোজনের ফোকাস দূরত্ব ও ক্ষমতা নির্ণয় কর। (উঃ 6.66 cm, + 15.06 D)

২১। অসীমে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে একটি নভো-দূরবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের মধ্যবর্তী দরত্ব 36 cm এবং বিবর্ধন 4। লেন্স দুটির ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় করুন। (উঃ 28.8 cm)

২২। একটি জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 1 cm ও 5 cm। অভিলক্ষ্য থেকে 1.1 cm দূরে বস্তু স্থাপন করা হলে অভিনেত্র থেকে 25 cm দূরে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। বিবর্ধন এবং অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের মধ্যবর্তী দূরত্ব নির্ণয় কর। (উঃ 60; 15.166 cm)

২২। একটি জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 1 cm ও 5 cm এবং এদের মধ্যবর্তী দূরত্ব 20 cm। অভিলক্ষ্য থেকে কত দূরে বস্তু স্থাপন করা হলে অভিনেত্র থেকে 25 cm দূরে প্রতিবিম্ব গঠিত হবে? (উঃ 1.067 cm)

২৩। একটি জটিল অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের ফোকাস দরত্ব যথাক্রমে 5 mm ও 2 cm। স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দরত্বে ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে যন্ত্রটির দৈর্ঘ্য 20 cm হলে এর বিবর্ধন নির্ণয় কর। (উঃ 476.6)

২৪। একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 2 cm এবং 5 cm। যদি অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের দূরত্ব 15 cm হয় এবং চূড়ান্ত প্রতিবিম্ব অভিনেত্র হতে 25 cm দূরে গঠিত হয়, তাহলে লক্ষ্য বস্তুর অবস্থান এবং বিবর্ধন নির্ণয় কর। (উঃ 2.45 cm; 26.5)

২৫। একটি নভো-দূরবীণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 30 cm এবং 2 cm। এর বিবর্ধন এবং দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। (উঃ স্বাভাবিক ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে 15, 32; নিকট ফোকাসিং-এর ক্ষেত্রে 16.2, 31.8)

২৬। একটি নভো-দূরবীণ যন্ত্রের অভিলক্ষ্য এবং অভিনেত্রের ফোকাস দূরত্ব যথাক্রমে 80 cm এবং 5 cm। যখন স্বাভাবিক দর্শনের জন্য ফোকাস করা হয় তখন এর বিবর্ধন ক্ষমতা কত ? (উঃ 16)

২৭। একটি নভো দূরবীক্ষণ যন্ত্রের দৈর্ঘ্য 44 cm এবং কৌণিক বিবর্ধন 10। এর অভিলক্ষ্য লেন্সের ফোকাস দূরত্ব নির্ণয় করুন। (উঃ 40 cm)

উত্তরমালা

পাঠ ৬.১	১খ	২খ	৩ঘ
পাঠ ৬.২	১ঘ	২ক	
পাঠ ৬.৩	১ঘ	২ক	
পাঠ ৬.৪	১গ	২খ	
পাঠ ৬.৫	১ক	২ঘ	
পাঠ ৬.৬	১গ	২খ	
পাঠ ৬.৭	১খ	২গ	
পাঠ ৬.৮	১খ	২ঘ	
পাঠ ৬.৯	১ক	২ঘ	
পাঠ ৬.১০	১ঘ	২ক	
পাঠ ৬.১১	১ক	২খ	
পাঠ ৬.১২	১খ	২গ	

চূড়ান্ত মূল্যায়ন

বহুনির্বাচনী প্রশ্নঃ

১খ ২খ ৩গ ৪খ ৫ক ৬ঘ ৭ক ৮খ ৯ঘ ১০খ