পঞ্চম অধ্যায় : আলো

গোলীয় দর্পণে আলোর প্রতিফলন

আলোকের প্রতিফলক হিসাবে গোলীয় তল :

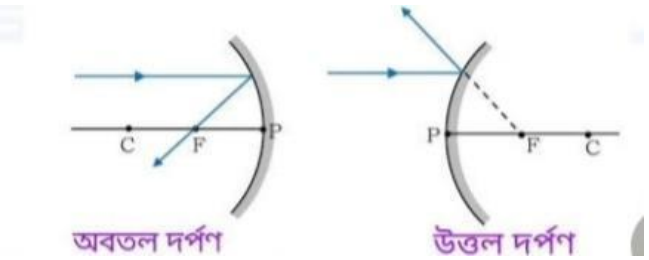
স্টিলের চামচের দুটি পৃষ্ঠে আলোর প্রতিফলনের ফলে চামচের পিছনে এবং সামনে আমরা নিজেদের মুখ দেখতে পাই। চামচের সামনের তল এবং পিছনের তল দুটি বক্রতল। চামচের তলগুলি আলোর প্রতিফলনের ফলে প্রতিবিম্ব গঠন করে। এই তলগুলিকে **গোলীয় তল** বলা হয়। আর চামচের ভিতরের অবতল পৃষ্ঠটি দর্পণের মত আচরণ করে তাই সেটি **অবতল দর্পণ।**

চামচের বাইরের তলটি উত্তল দর্পণের মতো আচরণ করায় সেটি উত্তল দর্পণ।

কোনো প্রতিফলক তল যদি কোনো গোলকের অংশবিশেষ হয়, তাহলে তাকে গোলীয় দর্পণ (Spherical Mirror) বলা হয়। এই গোলীয় দর্পণ দুই ধরণের হয়,

1. **উত্তল দর্পণ (convex mirror) :** কোনো গোলীয় দর্পণের বাইরের তল, প্রতিফলক তল হিসাবে কাজ করলে দর্পণটিকে উত্তল দর্পণ বলা হয়।
2. **অবতল দর্পণ (Concave Mirror) :** কোনো গোলীয় দর্পণের ভিতরের তল, প্রতিফলক তল হিসাবে কাজ করলে দর্পণটিকে অবতল দর্পণ বলা হয়।

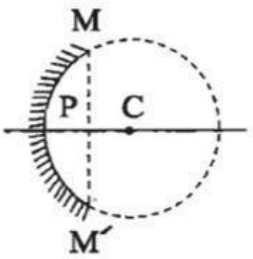
চিত্রের সাহায্যে উত্তল দর্পণ ও অবতল দর্পণ :



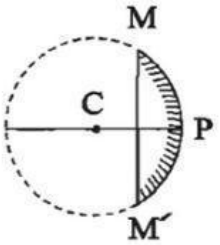
গোলীয় দর্পণের জ্যামিতি

1. **মেরু :** একটি গোলীয় দর্পণের প্রতিফলক তলের মধ্যবিন্দুকে (P) ওই দর্পণের মেরু (M) বলে।

2. **বক্রতা কেন্দ্র :** গোলীয় দর্পণ যে গোলকের অংশ সেই গোলকের কেন্দ্রকে ওই দর্পণের বক্রতা কেন্দ্র (C) বলে।
3. **বক্রতা ব্যাসার্ধ :** গোলীয় দর্পণ যে গোলকের অংশ সেই গোলকের ব্যাসার্ধকে ওই দর্পণের বক্রতা ব্যাসার্ধ (CP) বলে।
4. **প্রধান অক্ষ :** গোলীয় দর্পণের বক্রতা কেন্দ্র ও মেরুর মধ্য দিয়ে অঙ্কিত সরলরেখাকে ওই দর্পণের প্রধান অক্ষ বলে।



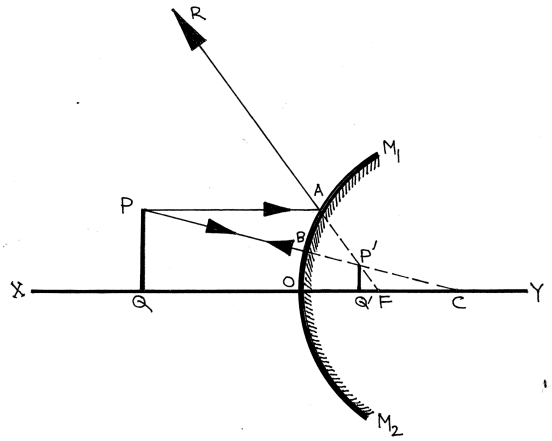
চিত্র ৮.৫: অবতল দর্পণ

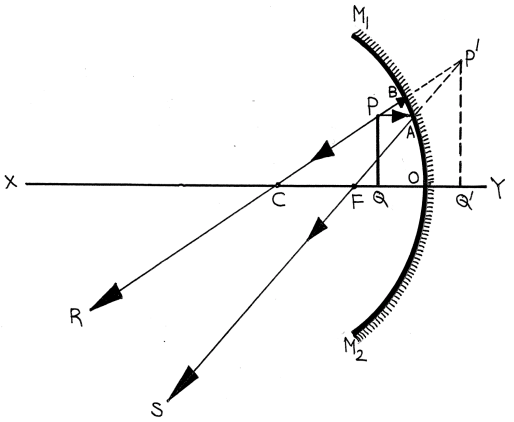


চিত্র ৮.৬: উত্তল দর্পণ

গোলীয় দর্পণে প্রতিফলন :

প্রতিফলনের সূত্র অনুযায়ী, আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি এবং আপতন বিন্দুতে প্রতিফলকের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব একই সমতলে থাকে এবং আপতন কোণ ($\angle i$) এবং প্রতিফলন কোণ ($\angle r$) সমান হয়।



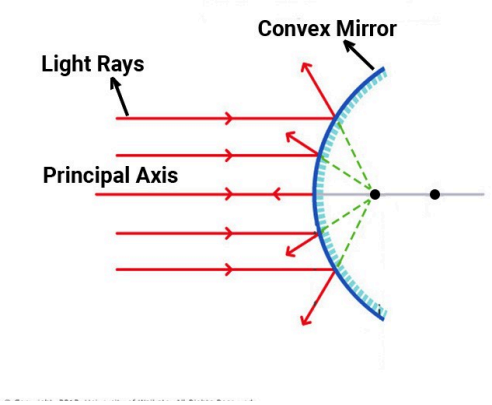


প্রতিফলিত রশ্মি অঙ্কন করার জন্য গোলীয় দর্পণে পতিত আপতিত রশ্মির আপতন বিন্দুতে স্পর্শক অঙ্কন করে সেই স্পর্শকের সঙ্গে লম্ব করে একটি অভিলম্ব অঙ্কন করে নিতে হবে। এই অভিলম্বটি আপতন বিন্দু এবং বক্রতা কেন্দ্রের সংযোগকারী

সরলরেখা হবে এবং শেষে প্রতিফলন কোণটিকে আপতন কোণের সমান করে প্রতিফলিত রশ্মি অঙ্কন করা যাবে।

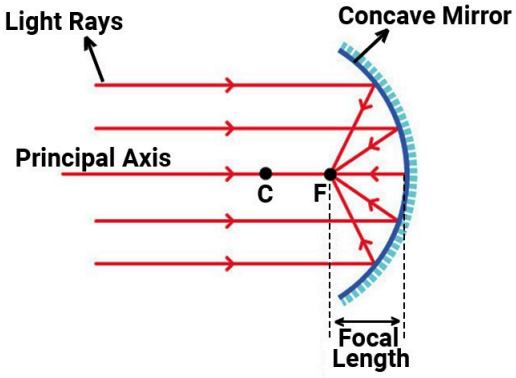
➔ *আলোকরশ্মিগুচ্ছের গোলীয় দর্পণ থেকে প্রতিফলন :*

গোলীয় দর্পণের মুখ্য ফোকাস ও ফোকাস দূরত্ব : সমান্তরাল আলোকরশ্মিগুচ্ছ



যখন প্রধান অক্ষের সমান্তরালে আসে এবং উত্তল দর্পণে আপতিত হয় তখন প্রধান অক্ষের উপর রশ্মিগুলি একটি নির্দিষ্ট বিন্দু থেকে অপসৃত হচ্ছে বলে মনে হয়। এই নির্দিষ্ট বিন্দুকে উত্তল দর্পণের মুখ্য ফোকাস (Principal Focus) বলে। দর্পণের মেরু থেকে মুখ্য ফোকাসের দূরত্বকে দর্পণের ফোকাস দূরত্ব (Focal Length) বলে।

আবার যখন সমান্তরাল আলোকরশ্মিগুচ্ছ প্রধান অক্ষের সমান্তরালে আসে এবং অবতল দর্পণে আপতিত হয় তখন প্রতিফলনের পরে প্রধান অক্ষের উপর রশ্মিগুলি



একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে মিলিত হয়। এই নির্দিষ্ট বিন্দুকে অবতল দর্পণের মুখ্য ফোকাস বলে। দর্পণের মেরু থেকে মুখ্য ফোকাসের দূরত্বকে দর্পণের ফোকাস দূরত্ব বলে।

উত্তল দর্পণের ক্ষেত্রে ফোকাস বিন্দুর দিকে অভিসারী আলোকরশ্মিগুচ্ছ এবং অবতল দর্পণের ক্ষেত্রে ফোকাস বিন্দু থেকে অপসারী আলোকগুচ্ছ দর্পণে প্রতিফলনের পরে প্রধান অক্ষের সমান্তরালে নির্গত হয়।

অবতল দর্পণের ফোকাস দূরত্ব সম্পর্কে ধারণা :

উপকরণ : অপটিক্যাল বেঞ্চ, হোল্ডার, অবতল দর্পণ, শক্ত সাদা কাগজ।

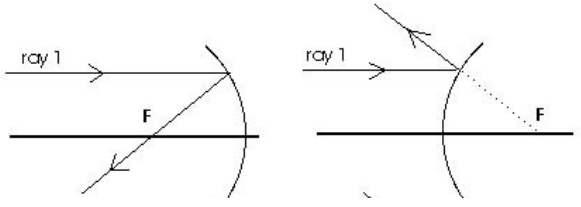
কার্যপ্রণালী : একটা বড় ঘরের মধ্যে প্রথমে অপটিক্যাল বেঞ্চ নেওয়া নিয়ে তার উপর একটা স্কেল রাখতে হবে। বেঞ্চের উপরে দুটি হোল্ডার রাখতে হবে। একটা হোল্ডারে অবতল দর্পণ আটকাতে হবে এবং অপর হোল্ডারে শক্ত কাগজ আটকাতে

হবে। এরপর অবতল দর্পণটিকে জানালার দিকে ঘোরাতে হবে। এর ফলে দেখা যাবে কাগজের উপর জানালার উল্টো প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হয়েছে। শেষে স্কেলের সাহায্যে দর্পণের কাছ থেকে পর্দার দূরত্ব মাপা হলে তা থেকে অবতল দর্পণের ফোকাস দূরত্ব পাওয়া যাবে। জানালা থেকে পর্দার দূরত্ব বেশি বলে আলোকরশ্মি সমান্তরাল ভাবে পড়বে এবং ফোকাস দূরত্বে প্রতিবিম্ব গঠন হবে।

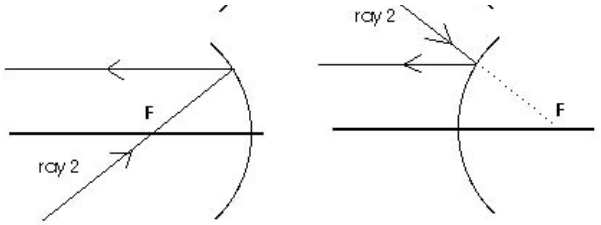
গোলীয় দর্পণে আলোকের প্রতিফলনের জন্য উৎপন্ন প্রতিবিম্বের চিত্র অঙ্কন

রেখাচিত্রের সাহায্যে প্রতিবিম্ব গঠন :

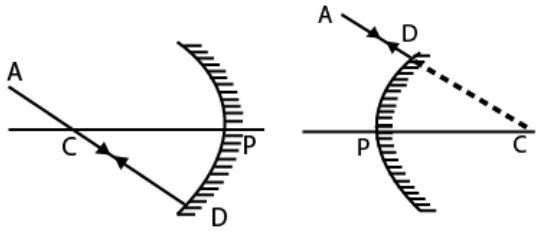
1. **আলোকরশ্মির প্রধান অক্ষের সমান্তরালভাবে গমন :** একটি আলোকরশ্মি যদি প্রধান অক্ষের সমান্তরালে এগিয়ে যায় এবং গোলীয় দর্পণে আপতিত হয় তবে প্রতিফলনের পর আলোকরশ্মি উত্তল দর্পণের ক্ষেত্রে মুখ্য ফোকাস থেকে অপসৃত হবে এবং অবতল দর্পণের মুখ্য ফোকাসের মধ্যে দিয়ে যাবে।



2. **মুখ্য ফোকাসের মধ্যে দিয়ে আলোকরশ্মির গমন :** আলোকরশ্মি যখন মুখ্য ফোকাসের মধ্যে দিয়ে অবতল দর্পণে আপতিত হয় তবে তা প্রধান অক্ষের সমান্তরালে চলে যায়।

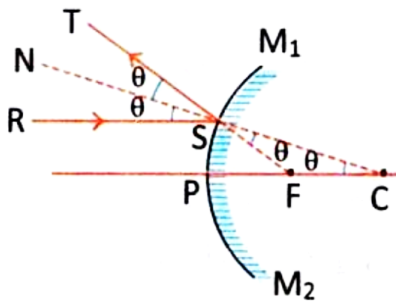


3. **বক্রতা কেন্দ্রের মধ্য দিয়ে আলোকরশ্মির গমন :** আলোকরশ্মি যখন অবতল দর্পণে বক্রতা কেন্দ্রের মধ্যে দিয়ে গমন করে তখন আলোকরশ্মি দর্পণের উপর লম্বভাবে আপতিত হয় এবং প্রতিফলিত হয়ে একই পথে ফিরে যায়।

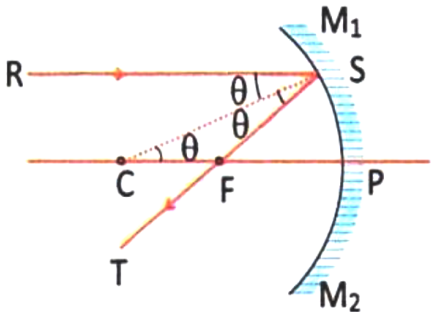


উপাক্ষীয় রশ্মি : যেসব আলোকরশ্মি গোলীয় দর্পণের প্রধান অক্ষের সঙ্গে ক্ষুদ্র কোণ করে দক্ষিণ মেরুর কাছে আপতিত হয় তাদের উপাক্ষীয় রশ্মি বলে।

উপাক্ষীয় রশ্মির ধারণা ও উপাক্ষীয় রশ্মির ক্ষেত্রে r (বক্রতা ব্যাসার্ধ) = 2f (ফোকাস দৈর্ঘ্য) প্রদর্শন:



উত্তল দর্পণ : চিত্রে দেখা যাচ্ছে, M_1PM_2 অবতল দর্পণের প্রধান ছেদ, C বক্রতা কেন্দ্র, F ফোকাস এবং P মেরু। একটি আলোকরশ্মি RS প্রধান অক্ষের সমান্তরালে এসে দর্পণের উপর S বিন্দুতে আপতিত হয়ে প্রতিফলনের পর F এর মধ্য দিয়ে যায়। ST হল প্রতিফলিত রশ্মি। CSN দর্পণের ব্যাসার্ধ বলে দর্পণের উপর S বিন্দুতে লম্ব হয়।

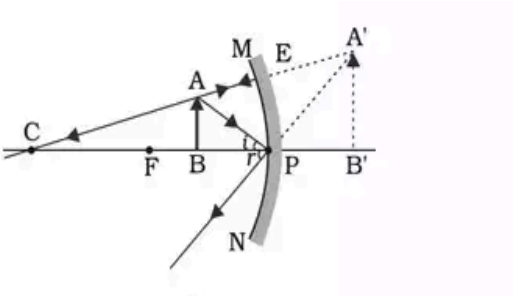


অবতল দর্পণ : চিত্রে দেখা যাচ্ছে, M_1PM_2 উত্তল দর্পণের প্রধান ছেদ, C বক্রতা কেন্দ্র, F ফোকাস এবং P মেরু। একটি আলোকরশ্মি S প্রধান অক্ষের সমান্তরালে এসে দর্পণের উপর S বিন্দুতে আপতিত হয়ে প্রতিফলনের পর F দিয়ে নির্গত হয়।

রেখাচিত্রের সাহায্যে প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্ণয় :

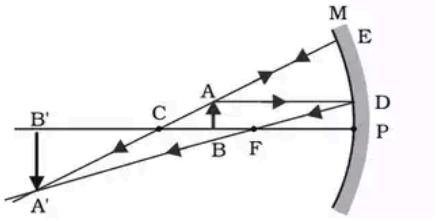
1.অবতল দর্পণ দ্বারা অসদ, বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব :

- মেরু ও ফোকাসের মধ্যে অবস্থিত বিন্দু বস্তুর ক্ষেত্রে প্রতিবিম্বের অবস্থান হবে দর্পণের পিছনে ও প্রকৃতি অসদবিম্ব হবে।
- বিস্তৃত বস্তুর ক্ষেত্রে প্রতিবিম্বের অবস্থান হবে দর্পণের পিছনে ও প্রকৃতি অসদবিম্ব, সমশীর্ষ ও বিবর্ধিত হবে।



2.অবতল দর্পণ দ্বারা সদ, বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব :

- ফোকাস ও বক্রতা কেন্দ্রের মধ্যে অবস্থিত হলে বিন্দু বস্তুর ক্ষেত্রে প্রতিবিম্বের অবস্থান দর্পণের সামনে বক্রতা কেন্দ্র ও অসীমের মধ্যে হবে এবং তা সদবিম্ব হবে।
- বিস্তৃত বস্তুর ক্ষেত্রে প্রতিবিম্বের অবস্থান দর্পণের সামনে ও অসীমের মধ্যে হবে এবং প্রকৃতি সদবিম্ব, অবশীর্ষ এবং বিবর্ধিত হবে।

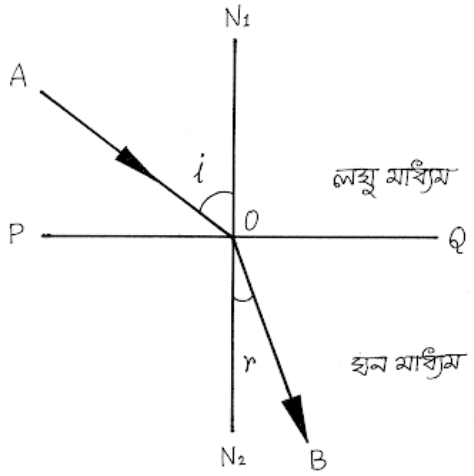


গোলীয় দর্পণের ব্যবহার

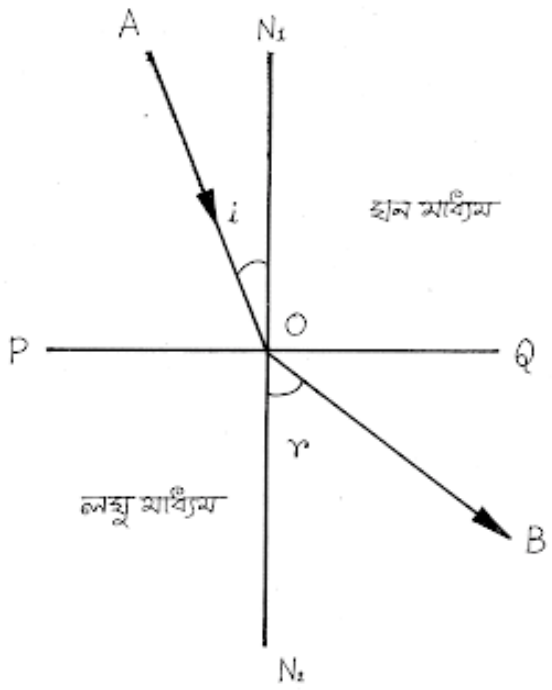
1. **দন্ত চিকিৎসকের দর্পণ :** দন্ত চিকিৎসকরা যে দর্পণের সাহায্যে মানুষের দাঁত পরীক্ষা করেন সেই যন্ত্রটিতে থাকা অবতল দর্পণটিকে মানুষের দাঁতের খুব কাছে নিয়ে এলে দাঁতটি দর্পণটির ফোকাস দৈর্ঘ্যের মধ্যে থাকে। দর্পণে উৎপন্ন প্রতিবিম্বটি দেখে ডাক্তারবাবু সহজে এবং নির্ভুল ভাবে দাঁত পরীক্ষা করতে পারেন।
2. **গাড়ি, স্কুটার ইত্যাদিতে ব্যবহৃত উত্তল দর্পণ :** গাড়ি, স্কুটার ইত্যাদির চালক পিছনে থাকা গাড়িকে দেখার জন্য যে উত্তল দর্পণ ব্যবহার করেন তাকে রিয়ার ভিউ মিরর বলে।
3. **মোটর গাড়ির হেডলাইট-এ বক্রতল দর্পণ ব্যবহার করে সমান্তরাল আলোকরশ্মিগুচ্ছ সৃষ্টি :** একটি অবতল ফোকাসের মধ্যে একটি বালব জ্বালানো হলে বালব থেকে আলোকরশ্মি প্রতিফলিত হয়ে সমান্তরাল আলোকরশ্মিতে পরিণত হয়। এই আলোকরশ্মি অনেক দূর পর্যন্ত যায়। এর ফলে গাড়ির চালক এই দর্পণের সাহায্যে অনেক দূরের বস্তুকে দেখতে পায়।

আলোর প্রতিসরণ

মাধ্যম বিভিন্ন হলে আলোর গতিবেগও বিভিন্ন হয় তাই একটি মাধ্যমের মধ্য দিয়ে আলোকরশ্মি গিয়ে অন্য একটি মাধ্যমে প্রবেশ করার সময় দুই মাধ্যমের বিভেদতলে তীর্যকভাবে যদি আপতিত হয় তাহলে বিভেদ তলে আলোকরশ্মির গতির অভিমুখ পরিবর্তিত হয়ে যায়। এই ঘটনাকেই আলোর প্রতিসরণ বলে।



1. আলোকরশ্মি লঘু মাধ্যমের (Rare medium) মধ্য দিয়ে AO পথে এসে XY



বিভেদতলে O বিন্দুতে আপতিত হয়, এরপর ঘন মাধ্যমে (Dense medium) অভিমুখ পরিবর্তন করে OB পথে যায়। AO হল আপতিত রশ্মি এবং OB হল প্রতিসৃত রশ্মি।

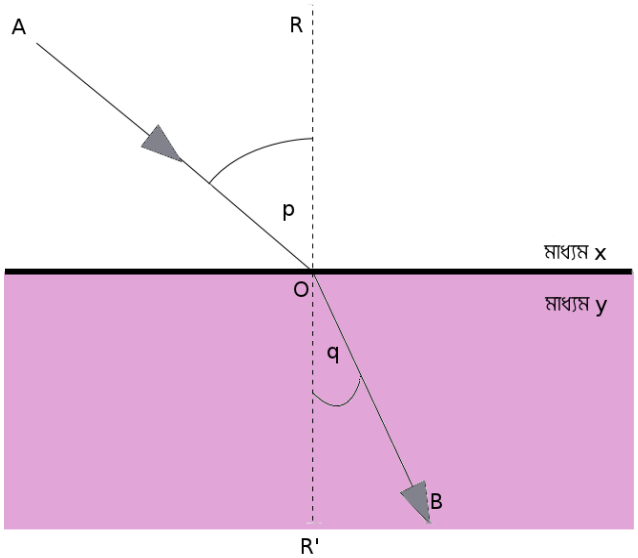
2. আবার আলোকরশ্মি ঘন মাধ্যমের মধ্য দিয়ে AO পথে এসে XY বিভেদতলে O বিন্দুতে আপতিত হয়, এবং লঘু মাধ্যমে অভিমুখ পরিবর্তন করে OB পথে যায়। OB হল প্রতিসৃত রশ্মি।

আলোর প্রতিসরণের সূত্র :

- আপতিত রশ্মি, প্রতিসৃত রশ্মি এবং আপতন বিন্দুতে দুই মাধ্যমের বিভেদতলের ওপর অঙ্কিত অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থান করে।
- নির্দিষ্ট দুটি মাধ্যম এবং একটি নির্দিষ্ট বর্ণের আলোর ক্ষেত্রে আপতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত সর্বদা ধ্রুবক হয়।

আলোর প্রতিসরণের প্রথম সূত্রের ব্যাখা :

চিত্রটিতে বায়ু মাধ্যম থেকে কাচ মাধ্যমে আলোর প্রতিফলন ঘটছে অর্থাৎ



আলোকরশ্মি লঘু মাধ্যম থেকে ঘন মাধ্যমে প্রতিসৃত হচ্ছে। আপতিত রশ্মি (AO), প্রতিসৃত রশ্মি (OB) এবং আপতন বিন্দুতে (O) প্রতিসারকের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থান করে অর্থাৎ AO রশ্মি, OB রশ্মি এবং O

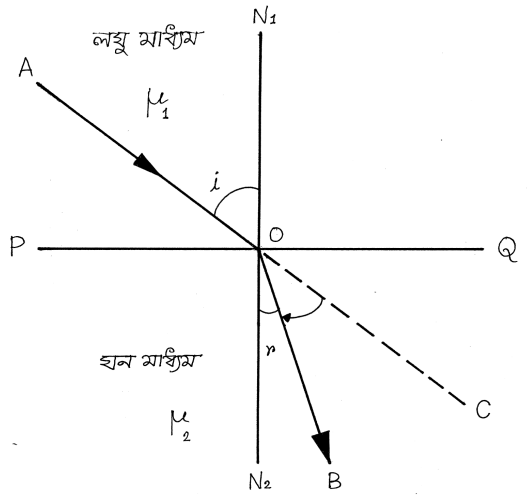
আপতন বিন্দুতে আঁকা অভিলম্ব RoR' একই সমতলে অবস্থান করে। একজোড়া নির্দিষ্ট মাধ্যম এবং একটি নির্দিষ্ট বর্ণের আলোর জন্য, আপতন কোণের সাইন (sin) এবং প্রতিসরণ কোণের সাইনের (sin) অণুপাত সর্বদা ধ্রুবক থাকে।

আলোর প্রতিসরণের দ্বিতীয় সূত্রের ব্যাখা :

দ্বিতীয় সূত্রানুযায়ী, $\frac{\sin i}{\sin r} = \mu$, এখানে μ হলো ধ্রুবক যা মাধ্যমের প্রকৃতি এবং আলোক বর্ণের ওপর নির্ভর করে। নির্দিষ্ট দুটি মাধ্যম এবং একটি নির্দিষ্ট বর্ণের ক্ষেত্রে আপতন কোণের সাইন ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত সর্বদা ধ্রুবক হয় অর্থাৎ আপতন কোণ $\angle i$-এর বিভিন্ন মানের জন্য প্রতিসরণ কোণ $\angle r$ -এর মানও বিভিন্ন হয়। কিন্তু $\sin i$ এবং $\sin r$ - এর অনুপাত সর্বদা ধ্রুবক হয়। এখন আপতন কোণ i এবং প্রতিসরণ কোণ r।

আলোকরশ্মির কৌণিক চ্যুতি

প্রতিসরণের সময় আপতিত রশ্মির অভিমুখে প্রতিসৃত রশ্মিটি যত ডিগ্রি কোণে সরে যায় তাকে প্রতিসরণের জন্য ওই আলোকরশ্মিটির কৌণিক চ্যুতি বলে।

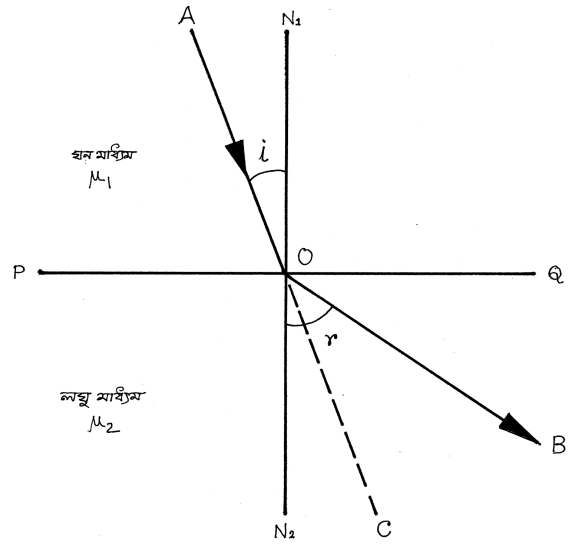


লঘু মাধ্যম থেকে ঘন মাধ্যমে প্রতিসরণে আলোক রশ্মির চ্যুতিকোণ : উপরের চিত্রে AO আলোকরশ্মি PQ মাধ্যমের বিভেদতলে O বিন্দুতে আপতিত হয়ে, OB পথে প্রতিসৃত হয়। OB হলো প্রতিসৃত রশ্মি এবং N^1ON^2 অবিলম্ব। $\angle AOC$ আপতিত রশ্মির প্রাথমিক অভিমুখ।

আপতন কোণ $\angle$i = $\angle$AON^1, প্রতিসরণ কোণ $\angle$r = $\angle$BON^2, প্রতিসরণের জন্য চ্যুতিকোণ $\angle$COB = δ অর্থাৎ, $\angle$COB = $\angle$CON^2- $\angle$BON^2

$\angle CON^2 = \angle AON^1$ (বিপ্রতীপ কোণ), $\angle BON^2 = r$ সুতরাং, $COB = \delta = i-r$।

ঘন মাধ্যম থেকে লঘু মাধ্যমে আলোকশ্মির প্রতিসরণ : AO আলোকরশ্মি PQ মাধ্যমের বিভেদতলে O বিন্দুতে আপতিত হয়ে, OB পথে প্রতিসৃত হয়। এখন দ্বিতীয় মাধ্যমটি না থাকলে আলোকরশ্মিটি AOC পথ বরাবর যেত, কিন্তু O বিন্দুতে দ্বিতীয় স্বচ্ছ মাধ্যম থাকায় রশ্মিটি দিক পরিবর্তন করে AOB পথে প্রতিসৃত হয়। আপতন কোণ = i, প্রতিসরণ কোণ = r,



চ্যুতিকোণ = δ

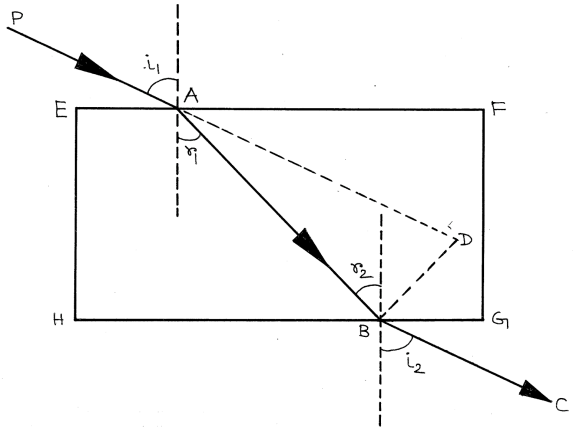
$\delta = \angle BOC = \angle BON^2 - \angle CON^2$

$\angle BON^2 = r$, $\angle CON^2 = \angle AON^1 = i$ (বিপ্রতীপ কোণ)

$\therefore \delta = r = i$

কাচের স্ল্যাব ও প্রিজমের গঠন

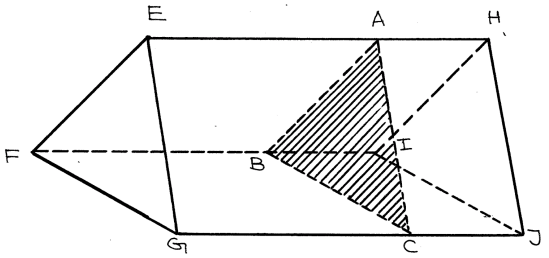
কাচের স্ল্যাবের গঠন : নীচের চিত্রে একটি কাচের তৈরি আয়তকার ফলক দেখানো হয়েছে। এটি ছয়টি আয়তকার তল দ্বারা গঠিত এবং বিপরীত তলগুলি সমান্তরাল। EFGH তল এবং BCDA তল পরস্পরের সমান্তরাল এবং GFCD তল ও HEBA তল পরস্পরের সমান্তরাল।



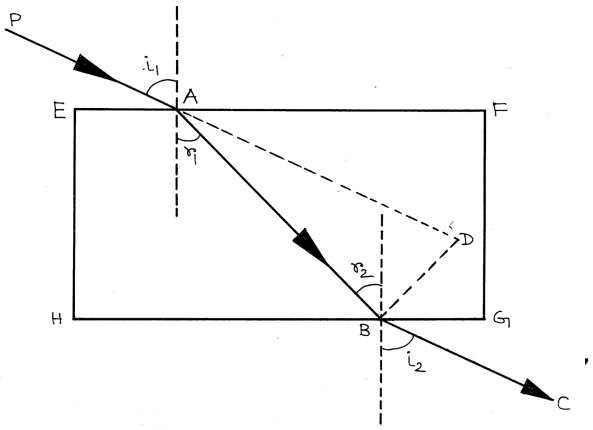
কাঁচফলকটি অনুভূমিক তলে রাখা কাগজের ওপর বসাতে হবে। যদি EFGH তলের সামনে একটি বস্তু রাখা হয় তবে BCDA তলে সেই বস্তুরির প্রতিবিম্ব দেখা যাবে। অর্থাৎ আলোকরশ্মি প্রথমে EFGH তলে প্রতিসৃত হয় এবং পরে BCDA তলে পুনরায় প্রতিসৃত হয়। সুতরাং EFGH ও BCDA হলো প্রতিসারক তল।

প্রিজমের গঠন :

1. প্রিজম হল কাচের তৈরি একটি সমসত্ত্ব মাধ্যম যা পাঁচটি তল দ্বারা আবদ্ধ।
2. চিত্রে যে প্রিজমটা দেখানো হয়েছে তার তিনটি তল FEHI, EHJG এবং FIJG আয়তকার এবং দুটি তল FEG এবং IHJ ত্রিভুজাকার।
3. FEHI ও EHJG তল দুটি হল প্রতিসারক তল।
4. যে তল প্রিজমের প্রতিসারক তলকে লম্বভাবে ছেদ করে তাকে প্রিজমের প্রধান ছেদ বলে। অর্থাৎ ABC হলো প্রধান ছেদ।
5. আবার দুটি প্রতিসারক তল যে কোণে মেশে থাকে প্রতিসারক কোণ বলে অর্থাৎ ∠BAC হল প্রিজমের প্রতিসারক কোণ। EH হল প্রান্তরেখা এবং FIJG হল প্রিজমের ভূমি।



কাচের স্ল্যাব ও প্রিজমের মধ্য দিয়ে আলোর প্রতিসরণ, প্রতিসরণের জন্য চ্যুতি



কাচের স্ল্যাবের মধ্যে দিয়ে আলোর প্রতিসরণ : EFGH একটি সমান্তরাল কাচের স্ল্যাব। আলোকরশ্মি PA বায়ুর মধ্য দিয়ে এসে EF তলে A বিন্দুতে