प्रकाश का परावर्तन और अपवर्तन

प्रकाश वह भौतिक कारक है, जिसकी सहायता से हमारी आँखें वस्तुओं को देख पाती है।

• प्रकाश का परावर्तन :

(•) आपतित प्रकाश का कुछ भाग पहले माध्यम में ही निश्चित दिशा में लौट आए। इस घटना को प्रकाश का परावर्तन कहा जाता है।

(•) माध्यम के परिवर्तन के कारण प्रकाश के संचरण की दिशा में परिवर्तन होने की इस घटना को प्रकाश का अपवर्तन कहा जाता है।

(•) आपतित प्रकाश का कुछ भाग अंशतः दूसरे माध्यम द्वारा अवशोषित हो जाए और शेष भाग अनियमित रूप से इधर-उधर बिखर जाए। प्रकाश के इस प्रकार बिखरने की घटना को प्रकाश का प्रकीर्णन कहा जाता है।

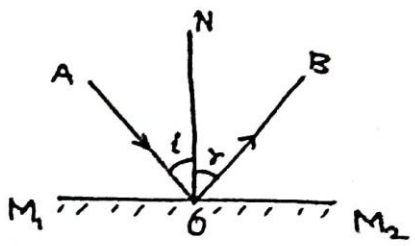
प्रकाश के परावर्तन के नियम —

(•) आपतित किरण, परावर्तित किरण तथा समतल पृष्ठ के आपतन-बिंदु पर खींचा गया अभिलंब, तीनों एक ही समतल में होते हैं,

(•) आपतन-कोण :-(i) हमेशा परावर्तन-कोण (r) के बराबर होता है।

आपतन-कोण (i) = परावर्तन-कोण (r)

$\angle AON = \angle NOB$



• प्रतिबिंब :

(•) वास्तविक प्रतिबिंब : किसी बिंदु से आनेवाली किरणें परावर्तन अथवा अपवर्तन के बाद जब किसी बिंदु पर अभिसृत होती हैं, तो इस प्रकार से बने प्रतिबिंब को

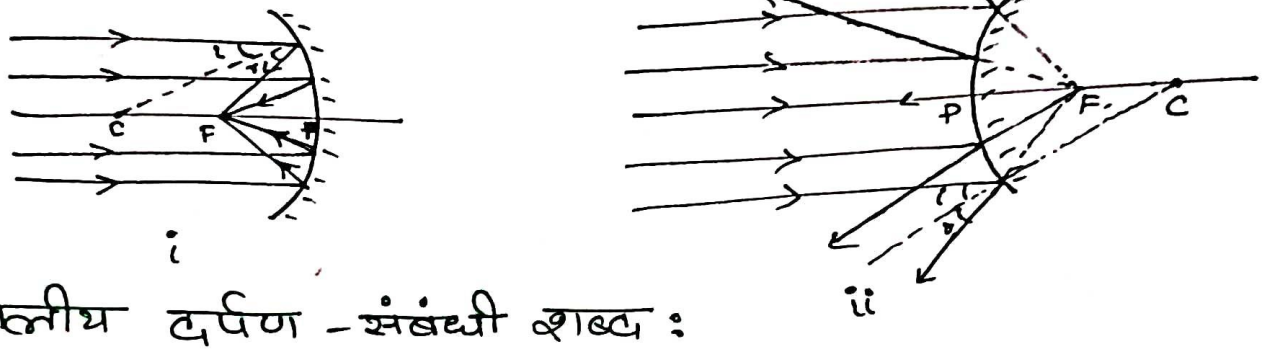
वास्तविक प्रतिबिंब कहा जाता है।

(•) आभासी या अवास्तविक प्रतिबिंब: किसी वस्तु से आनेवाली किरणें परावर्तन अथवा अपवर्तन के बाद किसी दूसरे बिंदु से अपसृत होती हुई प्रतीत होती हैं, तो इस प्रकार बने प्रतिबिंब को आभासी प्रतिबिंब कहा जाता है।

• गोलीय दर्पण:

i. अवतल दर्पण (Concave mirror)

ii. उत्तल दर्पण (Convexmirror)



i ii

गोलीय दर्पण - संबंधी शब्द:

- वक्रता - केंद्र (C)
- ध्रुव (P)
- वक्रता - त्रिज्या (PC)
- प्रधान अक्ष (PC/FC)
- फोकस (F)
- फोकस - दूरी (PF)
- फोकस - तल
- द्वारक
- प्रधान या मुख्य काट.

• गोलीय दर्पण के प्रधान अक्ष पर रखी वस्तु की विभिन्न स्थितियों के लिए प्रतिबिंब की स्थिति एवं प्रकृति:

• अवतल दर्पण के कारण बने प्रतिबिंब के लिए:

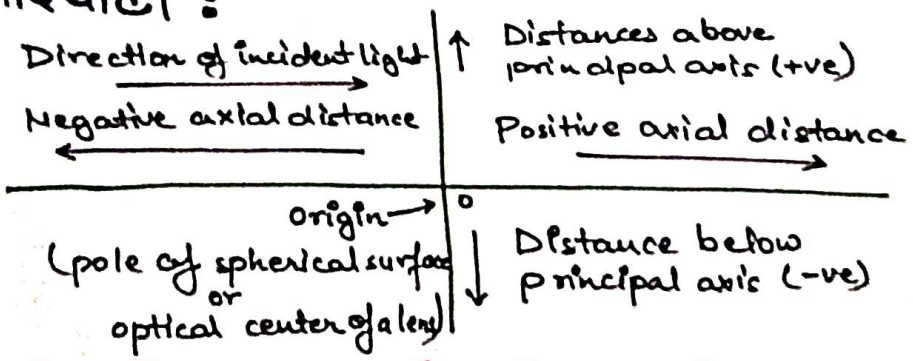
वस्तु का स्थान	प्रतिबिंब का स्थान	प्रतिबिंब की प्रकृति
• अनंत पर	• फोकस पर	• वास्तविक, उलटा तथा विस्तार में अत्यंत छोटा

• अनंत एवं वक्रता-केंद्र के बीच	• फोकस एवं वक्रता-केंद्र के बीच	• वास्तविक, उलटा तथा वस्तु से छोटा
• वक्रता-केंद्र पर	• वक्रता-केंद्र पर	• वास्तविक, उलटा तथा वस्तु के बराबर
• वक्रता-केंद्र एवं फोकस के बीच	• वक्रता-केंद्र एवं अनंत के बीच	• वास्तविक, उलटा तथा वस्तु से बड़ा
• फोकस पर	• अनंत पर	• वास्तविक, उलटा तथा वस्तु की अपेक्षा बहुत बड़ा
• फोकस एवं ध्रुव के बीच	• दर्पण के पीछे	• आभासी, सीधा तथा वस्तु से बड़ा
• ध्रुव पर	• ध्रुव पर	• आभासी, सीधा तथा वस्तु के बराबर

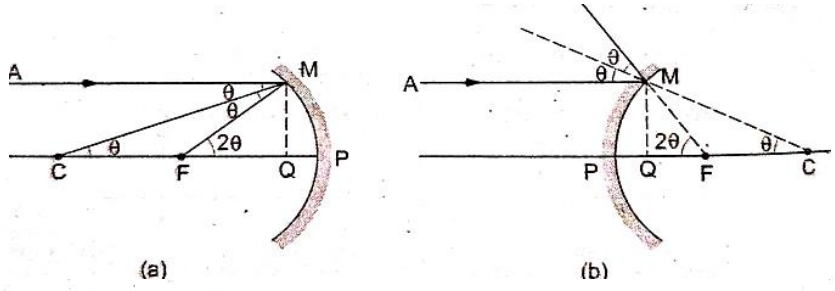
• उत्तल दर्पण के कारण बने प्रतिबिंबों के लिए :

वस्तु का स्थान	प्रतिबिंब का स्थान	प्रतिबिंब की प्रकृति
• अनंत पर	• फोकस पर	• आभासी, सीधा तथा आकार में बिंदुमान
• अनंत एवं ध्रुव के बीच	• फोकस एवं ध्रुव के बीच	• आभासी, सीधा तथा वस्तु से छोटा
• ध्रुव पर	• ध्रुव पर	• आभासी, सीधा तथा वस्तु के बराबर

• चिह्न परिपाटी :



• गोलीय दर्पण की फोकस-दूरी और इसकी वक्रता-त्रिज्या में संबंध :



$\tan\theta = \frac{MQ}{CQ}$ तथा $\tan 2\theta = \frac{MQ}{FQ}$

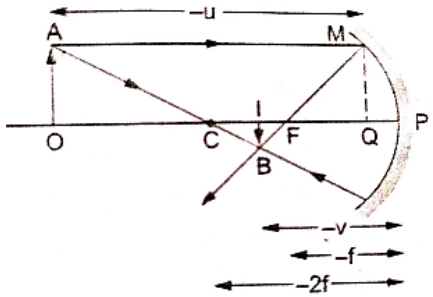
$$\frac{MQ}{FQ} = 2\frac{MQ}{CQ}$$

$$FQ = \frac{CQ}{2} \qquad (\because FQ = f,\ CQ = R)$$

$$\boxed{f = \frac{R}{2}}$$

गोलीय दर्पण की फोकस दूरी उसकी वक्रता-त्रिज्या की आधी होती है।

• **दर्पण सूत्र:**



$\Delta OAC \sim \Delta IBC$

$$\frac{OA}{IB} = \frac{OC}{IC} = \frac{PO - PC}{PC - PI}$$

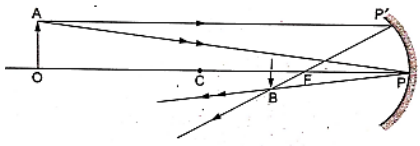
$\Delta QMF \sim \Delta IBF$

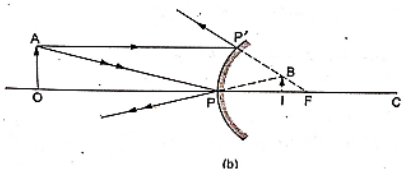
$$\frac{QM}{IB} = \frac{QF}{IF} = \frac{QF}{PI - PF}$$

$$QM = OA$$

$$\frac{OA}{IB} = \frac{QF}{PI - PF}$$

$$\frac{OA}{IB} = \frac{PF}{PI - PF} \qquad (\because PF = QF)$$





$$\frac{PO - PC}{PC - PI} = \frac{PF}{PI - PF}$$

$$\frac{(-u) - (-2f)}{(-2f) - (-v)} = \frac{(-f)}{(-v) - (-f)} \qquad (\because PO = -u,\ PI = -v,\ PF = -f,\ PC = -2f)$$

या $\frac{-u + 2f}{-2f + v} = \frac{-f}{-v + f}$ या $uv - 2fv - uf + 2f^2 = 2f^2 - fv$

या $uv - fv - uf = 0 \Rightarrow uf + fv = uv \Rightarrow \boxed{\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}}$

• **आवर्धन:**

प्रतिबिंब की ऊँचाई और वस्तु की ऊँचाई के अनुपात को आवर्धन कहा जाता है।

$$m = \frac{\text{प्रतिबिंब की ऊँचाई}}{\text{वस्तु की ऊँचाई}}$$

$$\frac{IB}{OA} = \frac{PI}{PO}$$

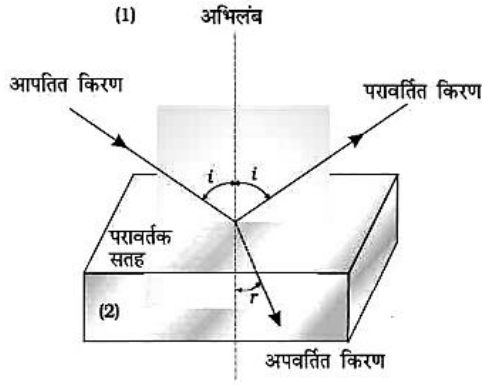
$$\frac{-h_2}{+h_1} = \frac{-v}{-u}$$

$$\boxed{m = \frac{h_2}{h_1} = -\frac{v}{u}}$$

• अपवर्तन :

(•) आपतित किरण, अपवर्तित किरण तथा अंतरापृष्ठ के आपतन बिंदु पर अभिलंब, एक ही समतल में होते हैं।

(•) किन्हीं दो माध्यमों के युगल के लिए, आपतन कोण की ज्या (sine) तथा अपवर्तन कोण की ज्या का अनुपात एक स्थिरांक होता है।



i = आपतन कोण

r = अपवर्तन कोण

$$\mu_{21} = \frac{\sin i}{\sin r}$$

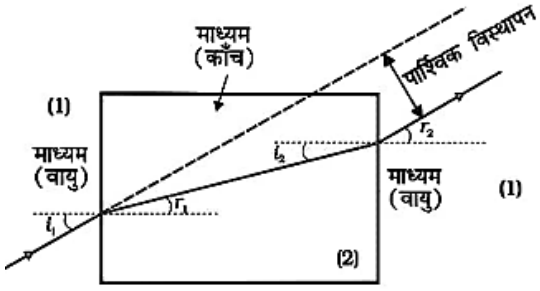
अपवर्तनांक = $\frac{\text{प्रकाश की चाल निर्वात में}}{\text{प्रकाश की चाल माध्यम में}}$

$$\mu = \frac{c}{c_m}$$

$$\mu_{21} = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{c/c_2}{c/c_1} = \frac{c_1}{c_2}$$

$$\mu_{12} \times \mu_{21} = 1$$

• वास्तविक एवं आभासी गहराइयाँ :



$$\frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{\sin i}{\sin r}$$

• पूर्ण आंतरिक परावर्तन :

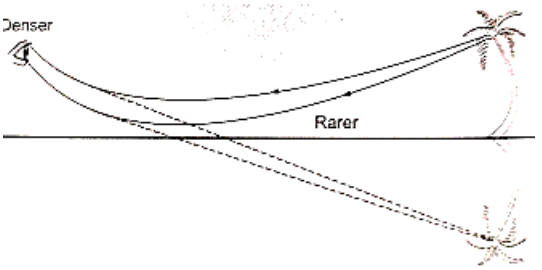
पूर्ण आंतरिक परावर्तन के लिए आवश्यक शर्तें-

(•) प्रकाश को सघन माध्यम से विरल माध्यम की ओर चलना चाहिए।

(•) आपतन-कोण क्रांतिक कोण से अधिक होना चाहिए।

• क्रांतिक कोण एवं अपवर्तनांक के बीच संबंध :

$$\mu_{21} = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{1}{\sin i_c}$$



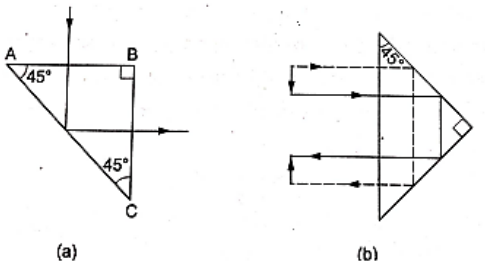
• वायुमंडलीय अपवर्तन :

वायुमंडलीय अपवर्तन की निम्नलिखित घटनाएँ मुख्य हैं :

- तारों का टिमटिमाना
- सूर्योदय तथा सूर्यास्त के आभासी समय

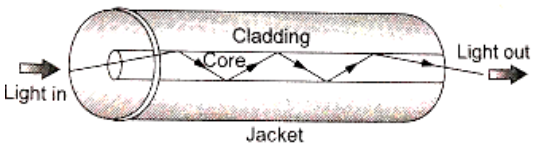
पूर्ण आंतरिक परावर्तन के कुछ अनुप्रयोग :

1- मरीचिका - मरीचिका प्राय: गर्म स्थान में संबंधित है। मरुभूमि में यात्री अपने से आगे थोड़ी दूर पर पानी की एक परत जैसा प्राय: दिखता है। परंतु, वह उसके पास कभी नहीं पहुँच पाता, क्योंकि प्रकाशीय भ्रम है।

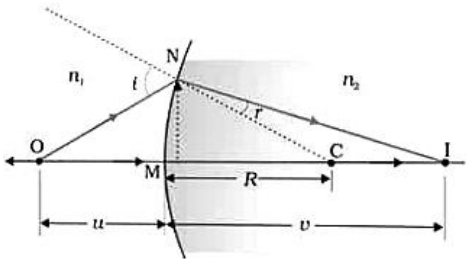


2. प्रिज्म - चूँकि काँच का अपवर्तनांक लगभग 1.5 होता है, इसलिए काँच के लिए क्रांतिक कोण लगभग 41° होता है। काँच के ही बने लंब प्रिज्म का उपयोग कर प्रकाश की किरण को 90° से मोड़ा जा सकता है।

3- ऑप्टिकल फाइबर - एक युक्ति है जो प्रकाश को उसकी तीव्रता की बहुत ही कम हानि पर एक स्थान तक प्रेषित करता है, यह पूर्ण परिवर्तन के सिद्धांत पर कार्य करता है।



• किसी गोलीय पृष्ठ पर अपवर्तन :



$$\tan\angle NOM = \frac{MN}{ON}$$

$$\tan\angle NCM = \frac{MN}{MC}$$

$$\tan\angle NIM = \frac{MN}{MI}$$

अब ΔNOC के लिए, i बहिष्कोण है अतः

$$i = \angle NOM + \angle NCM$$

$$i = \frac{MN}{OM} + \frac{MN}{MC}$$

इसी प्रकार,

$$r = \angle NCM - \angle NIM$$

अर्थात, $r = \frac{MN}{MC} - \frac{MN}{MI}$

स्नेल नियम अनुसार

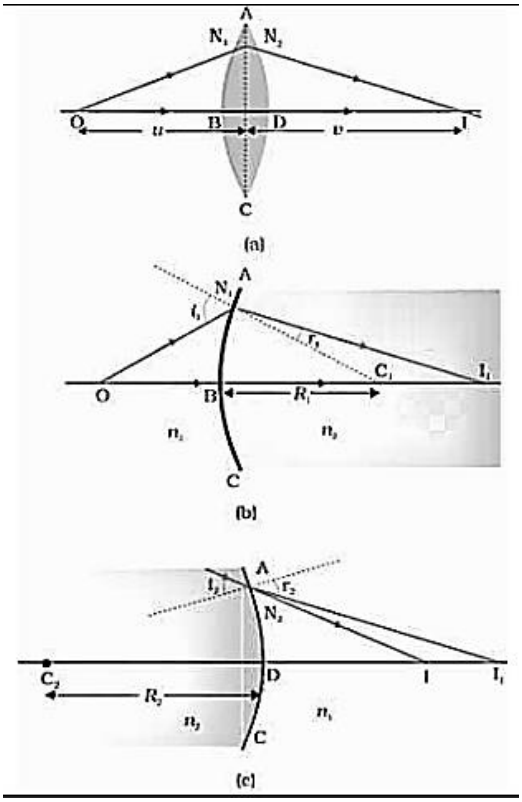
$$\mu_1 \sin i = \mu_2 \sin r$$

$$\Rightarrow \mu_1 i = \mu_2 r \quad \left(\because r, i \lesssim 0 \Rightarrow \sin i = i, \sin r = r\right)$$

$$\frac{\mu_1}{OM} + \frac{\mu_2}{MI} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{MC}$$

$OM = -u$, $MI = +v$, $MC = +R$

$$\boxed{\frac{\mu_2}{v} - \frac{\mu_1}{u} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{R}}$$



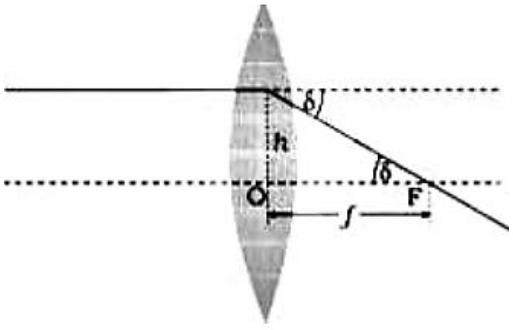
• किसी लेंस द्वारा अपवर्तन :

$$\frac{\mu_1}{OB} - \frac{\mu_2}{BI_1} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{BC_1}$$

$$\frac{\mu_2}{DI_1} - \frac{\mu_1}{DI} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{DC_2}$$

$$\frac{\mu_1}{OB} - \frac{\mu_2}{DI} = (\mu_2 - \mu_1)\left(\frac{1}{BC_1} - \frac{1}{DC_2}\right) \quad (\because BI_1 = DI_1)$$

$$\frac{\mu_1}{f} = (\mu_2 - \mu_1)\left(\frac{1}{BC_1} - \frac{1}{DC_2}\right) \quad \begin{matrix}(\because OB \to \infty) \\ (\because DI = f)\end{matrix}$$



$BC_1 = +R_1$

$DC_2 = -R_2$

$$\frac{1}{f} = (\mu_{21} - 1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \quad \left(\because \mu_{21} = \frac{\mu_2}{\mu_1}\right)$$

$$\frac{\mu_1}{OB} - \frac{\mu_1}{OI} = \frac{\mu_1}{f}$$

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

m = उत्पन्न आवर्धन

h' = प्रतिबिंब की साईज़

h = बिंब की साईज़

$$\boxed{m = \frac{h}{h'} = \frac{v}{u}}$$

• लेंस की क्षमता :-

$$\boxed{P = \frac{1}{f}}$$

SI मात्रक डाइऑप्टर (D)

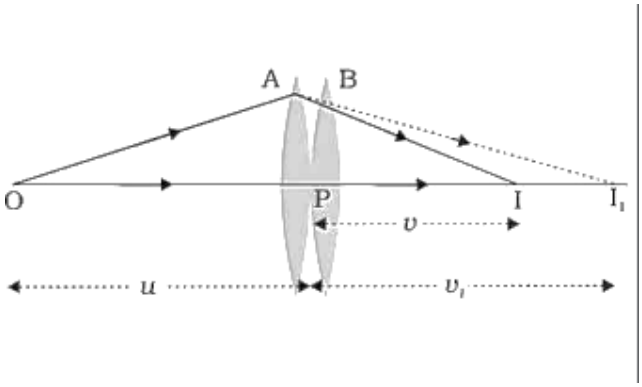
$1D = 1 m^{-1}$

• संपर्क मे रखे पतले लेंसों का संयोजन :-

$$\frac{1}{v_1} - \frac{1}{u_1} = \frac{1}{f_1}$$

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_2}$$

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$



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

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

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

• $P = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots$

$m = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot \cdots$

• प्रकाशिक यंत्र :-

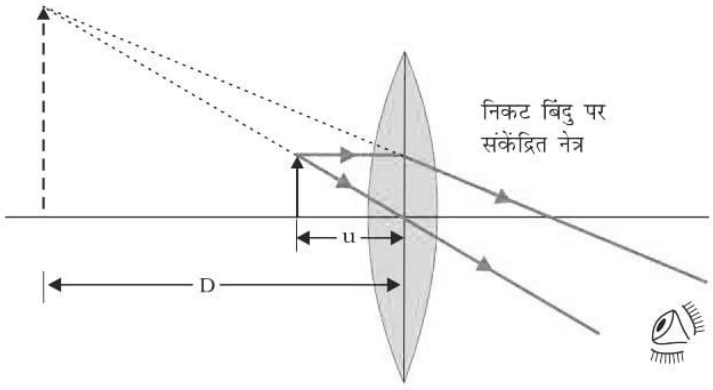
दर्पणों, लैंसों तथा प्रिज्मों के परावर्ती तथा अपवर्ती गुणों का उपयोग करके अनेक प्रकाशिक युक्तियाँ एवं यंत्र डिजाइन किए गए हैं। परिदर्शी, बहुमूर्तिदर्शी, द्विनेत्री, दूरदर्शक, सूक्ष्मदर्शी कुछ ऐसी प्रकाशिक युक्तियों तथा यंत्रों के उदाहरण हैं जिन्हें हम सामान्य रूप से उपयोग में लाते हैं।

• सूक्ष्मदर्शी

- सरल आवर्धक अथवा सरल सूक्ष्मदर्शी कम फोकस दूरी का एक अभिसारी लेंस होता है।
- इस प्रकार के लैंस को सूक्ष्मदर्शी के रूप में प्रयोग करने के लिए, लैंस को बिंब के निकट उससे एक फोकस दूरी अथवा उससे कम दूरी पर रखा जाता है तथा लैंस के दूसरी ओर नेत्र को लैंस से सटाकर रखा जाता है ऐसा करने का लक्ष्य है कि बिंब का सीधा, आवर्धित तथा आभासी प्रतिबिंब किसी ऐसी दूरी पर बने कि नेत्र उसे सरलतापूर्वक देख सके अर्थात् प्रतिबिम्ब 25cm अथवा कुछ अधिक दूरी पर बनना चाहिए।
- यदि बिम्ब f पर स्थित है तो उसका प्रतिबिंब अनंत पर बनता है। तथापि यदि बिंब f से कम दूरी पर रखा हो, तो प्रतिबिंब आभासी तथा अनंत की तुलना में कम दूरी पर बनता है।

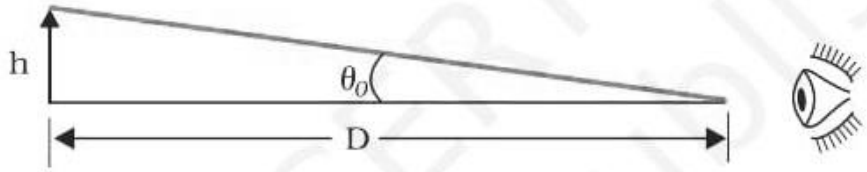
- सरल सूक्ष्मदर्शी द्वारा निकट बिन्दु D पर बने प्रतिबिंब के लिए कैथिक आवर्धन m का परिकलन निम्न संबंध द्वारा किया जा सकता है।

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



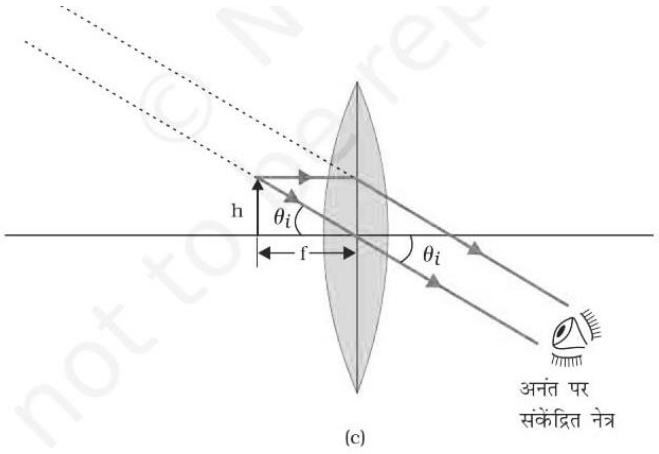
(a)

(a) आवर्धक लेंस इस प्रकार स्थित है कि प्रतिबिंब निकट बिंदु पर बनता है।



(b)

(b) बिंब द्वारा अंतरित कोण, निकट बिंदु पर अंतरित कोण के समान है



(c)

(c) विंब लेंस के फोकस बिंदु पर, प्रतिबिंब बहुत दूर है लेकिन अनंत से पास है।

अब हमारी चिन्ह परिपाटी के अनुसार v ऋणात्मक है तथा परिमाण में D के बराबर है अतः आवर्धन

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

क्योंकि D लगभग 25cm है अतः आवर्धन 6 प्राप्त करने के लिए फोकस दूरी $f = 5cm$ के उत्तल लेंस की आवश्यकता होती है।

अंतरित कोण $\Rightarrow \tan\theta_0 = \frac{h}{D} \Rightarrow \theta_0$

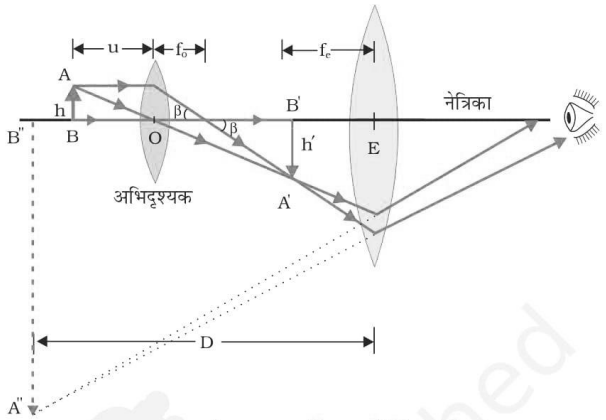
अब हम प्रतिबिंब द्वारा नेत्र पर अंतरित कोण, जबकि विंब u पर रखा है ज्ञात करते हैं संबंध $\frac{h'}{h} = m = \frac{v}{u}$ से प्रतिबिंब द्वारा नेत्र पर अंतरित कोण

$$\tan\theta_i = \frac{h'}{-v} = \frac{h}{-v} \cdot \frac{v}{u} = \frac{h}{-u} \simeq \theta$$

बिंब द्वारा अंतरित कोण, जबकि बिंब अब $v = -f$ पर है

$$\theta_i = \left(\frac{h}{f}\right)$$

अतः कोणीय आवर्धन, $m = \left(\frac{\theta'}{\theta_0}\right) = \frac{D}{f}$



संयुक्त सूक्ष्मदर्शी द्वारा प्रतिबिंब बनने का किरण आरेख।

संयुक्त सूक्ष्मदर्शी द्वारा प्रतिबिंब बनने का किरण आरेख

यहाँ चित्र के अनुसार, किरण आरेख यह दर्शाता है कि अभिदृश्यक के कारण (रैखिक) आवर्धन, अर्थात् h'/h बराबर है।

$$m_o = \frac{h'}{h} = \frac{L}{f_o}$$

$$\tan\beta = \left(\frac{h}{f_o}\right) = \left(\frac{h'}{L}\right)$$

$$m_e = \left(1 + \frac{D}{f_e}\right)$$

$m_e = (D/f_e)$ जब प्रतिबिंब अनंत पर बनता है।

$$m = m_o m_e = \left(\frac{L}{f_o}\right) \times \left(\frac{D}{f_e}\right)$$

• दूरदर्शक :-

दूरदर्शक अथवा दूरबीन का उपयोग दूर की वस्तुओं को कोणीय आवर्धन प्रदान करने के लिए किया जाता है इसमें भी एक अभिदृश्यक तथा एक नेत्रिका होती है परंतु यहाँ पर, नेत्रिका की अपेक्षा अभिदृश्यक की फोकस दूरी अधिक तथा इसका द्वारक भी काफी अधिक होता है किसी दूरस्थ बिंब से चलकर प्रकाश अभिदृश्यक में प्रवेश करता है तथा ट्यूब के अंदर इसके द्वितीय फ्रोकस पर वास्तविक प्रतिबिंब बनता है।

नेत्रिका इस प्रतिबिंब का आवर्धित करके अंतिम उल्टा प्रतिबिंब बनाती है आवर्धन क्षमता m, प्रतिबिंब द्वारा नेत्र पर अंतरित कोण β तथा बिंब द्वारा नेत्रों पर अथवा लेंस पर अंतरित कोण α के अनुपात द्वारा परिभाषित किया जाता है अतः

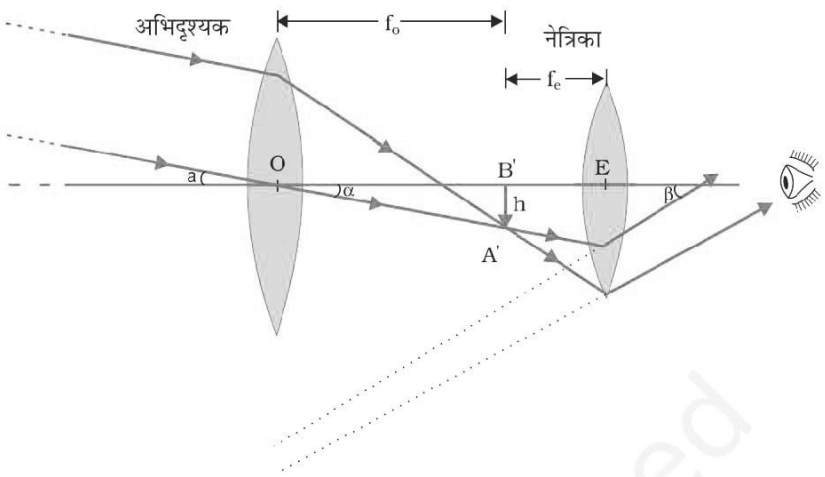
$$m = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{h}{f_e} \times \frac{f_o}{h} = \frac{f_o}{f_e}$$

इस स्थिति में दूरदर्शक की ट्यूब की लंबाई है $f_o + f_e$

पार्थिव दूरदर्शकों में, इन लेंसो के अतिरिक्त, प्रतिलोमी लेंसो का एक युगल होता है जो अंतिम प्रतिबिंब को सीधा बना देता है। अपवर्ती दूरदर्शक का उपयोग पार्थिव एवं खगोलीय दोनों प्रकार के प्रेक्षणों के लिए किया जा सकता है।

उदाहरण किसी ऐसे दूरदर्शक पर विचार कीजिए जिसके अभिदृश्यक की फोकस दूरी 100 cm तथा नेत्रिका की फोकस दूरी 1 cm है। इस दूरबीन की आवर्धन क्षमता

$$m = 100/1 = 100$$



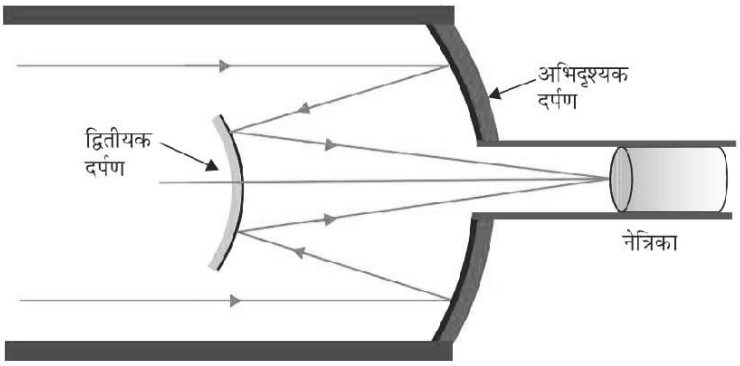
परावर्ती दूरदर्शक (कैसेग्रेन) का व्यवस्था आरेख

परावर्ती दूरदर्शक (कैसेग्रेन) का व्यवस्था आरेख

किसी खगोलीय दूरदर्शक के बारे में ध्यान देने योग्य मुख्य बातें उसकी प्रकाश संग्रहण क्षमता तथा इसकी विभेदन क्षमता अथवा विभेदन है।

- प्रकाश संग्रहण क्षमता स्पष्ट रूप से दूरदर्शक के अभिदृश्यक के क्षेत्रफल पर निर्भर करती है यदि अभिदृश्यक का व्यास बड़ा है तो धुँधले पिंडो का भी प्रेक्षण किया जा सकता है।

- आजकल उपयोग होने वाले अभिदृश्यक लेंस का अधिकतम व्यास 40 इंच (~ 1·02 m) है यह दूरदर्शक यर्केज वेधशाला, विस्कॉनसिन, संयुक्त राज्य अमेरिका में है।



परावर्ती दूरदर्शक (कैसेग्रेन) का व्यवस्था आरेख।

परावर्ती दूरदर्शक (कैसेग्रेन) का व्यवस्था आरेख