अध्याय–11
किरण प्रकाशिकी (Ray Optics)

भूमिका (Introduction)

प्रकाश ऊर्जा का एक रूप है। प्रकाश के कारण विभिन्न वस्तुओं को हम देख सकते है। प्रकाश के उत्पादन, प्रकृति एवं इससे सम्बन्धित घटनाओं के प्रति हमेशा से ही जिज्ञासा रही है। हम अपने सामान्य अनुभव से जानते है कि प्रकाश सीधी रेखा में गमन करता है एवं इसकी चाल तीव्र होती है।

प्रकाश के सीधी रेखा गमन पथ को प्रकाश किरण एवं इन किरणों का समूह प्रकाश पुंज कहलाता है। प्रकाश से जुडी कुछ घटनाएं परावर्तन, अपवर्तन, विक्षेपण आदि प्रकाश की किरण संकल्पना से ही आसानी से समझे जा सकते है अर्थात् इन परिघटनाओं को समझने के लिए प्रकाश की प्रकृति एवं सूक्ष्म भौतिक की आवश्यकता नहीं है। इस अध्याय में प्रकाश के किरण रूप से परावर्तन, अपवर्तन, विक्षेपण एवं प्रकीर्णन का अध्ययन करेंगे। अध्याय के अंतिम भाग में मानव नेत्र सहित महत्वपूर्ण प्रकाशिक उपकरण सूक्ष्मदर्शी एवं दूरदर्शी की रचना एवं कार्यविधि के बारे में पढ़ेंगे। चूंकि इस अध्याय में अध्ययन की जाने वाली परिघटनाएं दैनिक जीवन में सामान्य रूप से प्रेषित की जा सकती है इसलिए यह स्थूल प्रकाशिकी है। साथ ही इन घटनाओं से सम्बन्धित नियम ज्यामिति के सामान्य नियमों से व्युत्पन्न किए जाते है अतः इसे ज्यामितीय प्रकाशिकी (Geometrical Optics) भी कहते है।

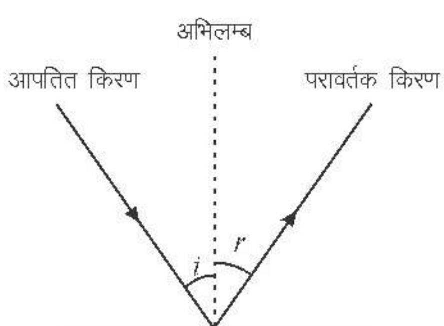
11.1 प्रकाश का परावर्तन (Reflection of Light)

जब कोई प्रकाश किरण एक माध्यम से दूसरे माध्यम में प्रवेश करती हैं तो परिसीमा पर इस किरण का कुछ भाग या पूर्ण किरण चित्र 11.1 में दर्शाए अनुसार पुनः प्रथम माध्यम में लौट जाती है। इस घटना को प्रकाश का परावर्तन कहते हैं। प्रकाश के परावर्तन के नियम निम्न हैं

(i) आपतन कोण i परावर्तन कोण r के बराबर होता है। अर्थात्

$$i = r \qquad \ldots(11.1)$$

(ii) आपतित किरण, परावर्तित किरण एवं परावर्तक सतह पर अभिलम्ब तीनों एक ही तल पर स्थित होते हैं। यह तल आपतन तल कहलाता है।

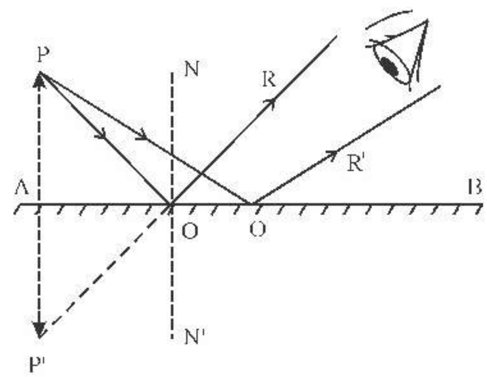


चित्र 11.1 समतल सतह से परावर्तन

प्रकाश के परावर्तन में प्रकाश की आवृत्ति, तरंग दैर्ध्य एवं चाल में कोई परिवर्तन नहीं होता किन्तु तीव्रता सामान्यतः घटती है।

11.1.1 समतल दर्पण से प्रतिबिम्ब का निर्माण (Formation of Image by Plane Mirror)

चित्र 11.2 में दर्शाए अनुसार एक बिन्दुवत वस्तु P पर विचार करते हैं जो समतल दर्पण AB के सम्मुख स्थित है। किसी दर्पण से प्रतिबिम्ब की स्थिति ज्ञात करने के लिए न्यूनतम दो किरणों की आवश्यकता होती है। अतः दो करणों PO तथा PO' का सतह AB से परावर्तन देखते हैं तो परावर्तन के नियमानुसार PO किरण परावर्तित होकर OR एवं PO' किरण परावर्तित होकर O'R' दिशा में गमन करती है ये किरणें परावर्तक माध्यम के पीछे P' पर मिलती हुई प्रतीत होती हैं। अतः P' बिन्दु P का आभासी प्रतिबिम्ब कहलाता है।

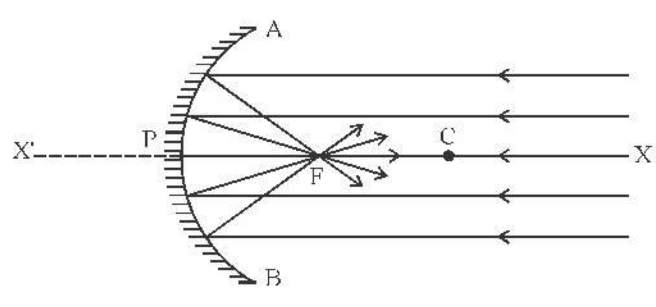


चित्र 11.2 समतल दर्पण से प्रतिबिम्ब दर्पण

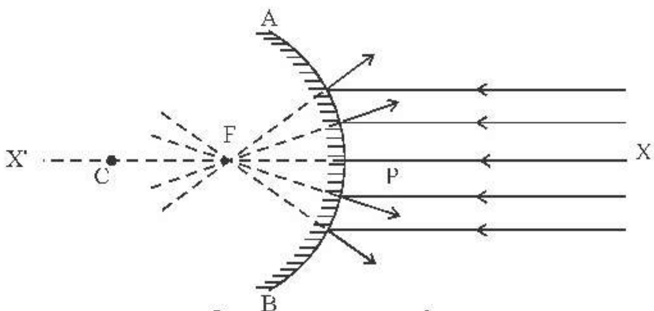
समतल दर्पण से प्राप्त प्रतिबिम्ब सदैव अनआवर्धित, आभासी, सीधा एवं पार्श्व परिवर्तित होता है।

11.2 गोलीय दर्पण (Spherical Mirror)

गोलीय दर्पण एक खोखले गोले से काटा हुआ एक भाग होता है। गोलीय दर्पण सामान्यतः काँच से बनाए जाते हैं जिसकी एक सतह रजित की जाती है यदि परावर्तन उत्तल सतह से होता है तो इसे उत्तल दर्पण कहते हैं। यदि परावर्तन अवतल सतह से होता है तो इसे अवतल दर्पण कहते है। चित्र 11.3 में एक अवतल दर्पण एवं चित्र 11.4 में उत्तल दर्पण से परावर्तन दर्शाया गया है।



चित्र 11.3 अवतल दर्पण



चित्र 11.4 उत्तल दर्पण

11.2.1 गोलीय दर्पणों से सम्बन्धित राशियाँ तथा उनकी परिभाषायें (Terms and Their Definitions Related to Spherical Mirrors)

1. **द्वारक (Aperture)** दर्पण के वृत्ताकार चाप को गोलीय दर्पण का द्वारक कहते हैं। चित्र 11.3 व 11.4 में AB दर्पण का द्वारक है।
2. **ध्रुव (Pole)** दर्पण के पृष्ठ का मध्य बिन्दु ध्रुव कहलाता है। चित्र 11.3 व 11.4 में P बिन्दु गोलीय दर्पण का ध्रुव है।
3. **वक्रता केन्द्र (Centre of Curvature)** दर्पण जिस खोखले गोले का भाग है उसका केन्द्र दर्पण का वक्रता केन्द्र कहलाता है। चित्र में बिन्दु C गोलीय दर्पण का वक्रता केन्द्र है।
4. **वक्रता त्रिज्या (Radius of Curvature)** दर्पण के वक्रता केन्द्र तथा ध्रुव के बीच की दूरी को वक्रता त्रिज्या कहते हैं तथा इस R से प्रदर्शित करते हैं। चित्र में दूरी CP गोलीय दर्पण की वक्रता त्रिज्या है।
5. **मुख्य अक्ष (Principle Axis)** वक्रता केन्द्र C तथ ध्रुव P को मिलाने वाली रेखा को मुख्य अक्ष कहते हैं। चित्र में XX' मुख्य अक्ष है।
6. **मुख्य फोकस (Princpal Focus)** मुख्य अक्ष के समान्तर आपतित किरणें दर्पण से परावर्तन के बाद मुख्य अक्ष के जिस बिन्दु पर मिलती हैं या मिलती हुई प्रतीत होती हैं उसे गोलीय दर्पण का मुख्य फोकस कहते हैं। चित्र 11.3 व 11.4 में F मुख्य फोकस है। अवतल दर्पण का मुख्य फोकस बिन्दु दर्पण के सामने तथा उत्तल दर्पण का फोकस बिन्दु दर्पण के पीछे स्थित होती है।
7. **फोकस दूरी (Focal Length)** मुख्य फोकस बिन्दु तथा दर्पण के ध्रुव के बीच की दूरी को फोकस दूरी कहते हैं।

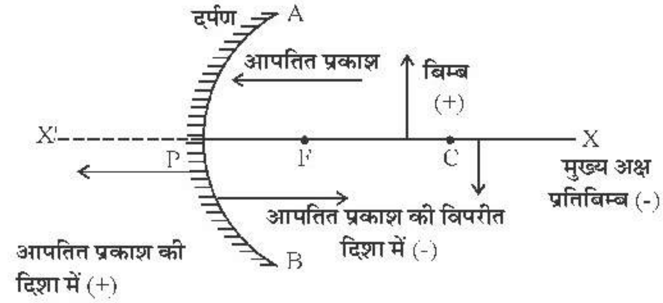
चित्र 11.3 व 11.4 में FP फोकस दूरी है। इसे *f* से प्रदर्शित करते है।

11.2.2 चिन्ह परिपाटी (Sign Convention)

गोलीय सतहों से परावर्तन एवं अपवर्तन का अध्ययन करने के लिए हम एक चिन्ह परिपाटी अपनाते हैं जो नवीन कार्तीय चिन्ह परिपाटी कहलाती है। इस परिपाटी के अनुसार–

1. ध्रुव को मूल बिन्दु एवं मुख्य अक्ष को X अक्ष मानते हुए आपतित प्रकाश की दिशा में मापी गई दूरियाँ को धनात्मक मानते हैं तथा विपरीत दिशा में ऋणात्मक मानते हैं।
2. मुख्य अक्ष के लम्बवत् ऊपर की ओर धनात्मक Y दिशा एवं नीचे की ओर ऋणात्मक Y दिशा मानते हैं।

अतः चिन्ह परिपाटी के अनुसार गोलीय सतह (दर्पण, लेंस आदि) की बिम्ब दूरी (u) सामान्यतः ऋणात्मक होती है किन्तु प्रतिबिम्ब दूरी (v) प्रतिबिम्ब की स्थिति के अनुसार ऋणात्मक या धनात्मक हो सकती है। अवतल दर्पण की फोकस दूरी ऋणात्मक तथा उत्तल दर्पण की फोकस दूरी धनात्मक होती है।



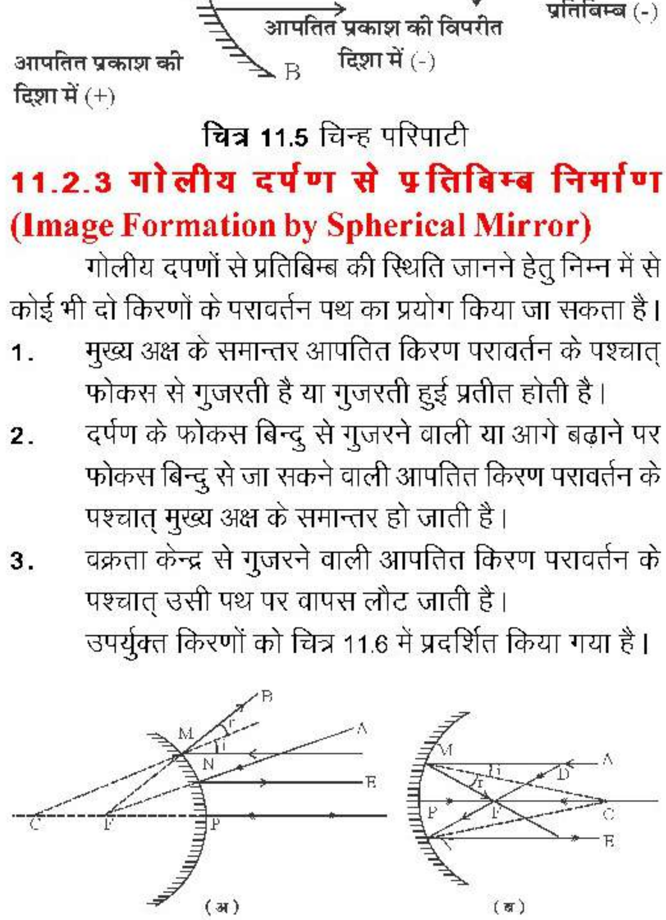
चित्र 11.5 चिन्ह परिपाटी

11.2.3 गोलीय दर्पण से प्रतिबिम्ब निर्माण (Image Formation by Spherical Mirror)

गोलीय दपणों से प्रतिबिम्ब की स्थिति जानने हेतु निम्न में से कोई भी दो किरणों के परावर्तन पथ का प्रयोग किया जा सकता है।

1. मुख्य अक्ष के समान्तर आपतित किरण परावर्तन के पश्चात् फोकस से गुजरती है या गुजरती हुई प्रतीत होती है।
2. दर्पण के फोकस बिन्दु से गुजरने वाली या आगे बढ़ाने पर फोकस बिन्दु से जा सकने वाली आपतित किरण परावर्तन के पश्चात् मुख्य अक्ष के समान्तर हो जाती है।
3. वक्रता केन्द्र से गुजरने वाली आपतित किरण परावर्तन के पश्चात् उसी पथ पर वापस लौट जाती है।

उपर्युक्त किरणों को चित्र 11.6 में प्रदर्शित किया गया है।

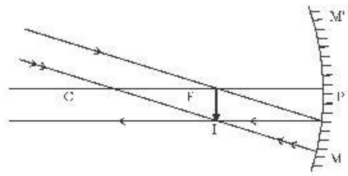
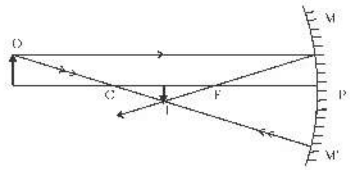
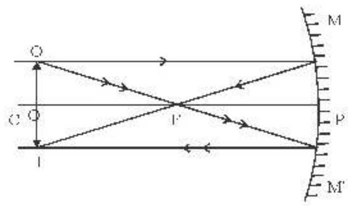
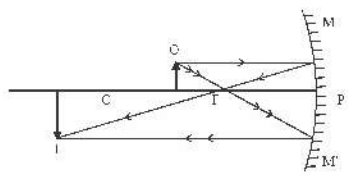
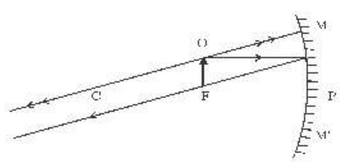
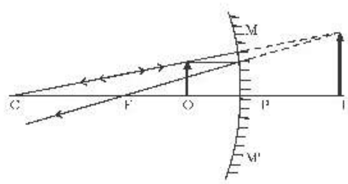


चित्र 11.6 दर्पण से प्रतिबिम्ब निर्माण के लिए प्रयुक्त किरणें

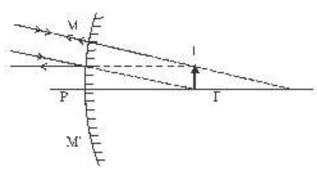
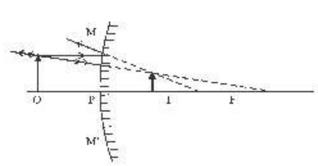
गोलीय दर्पण में जब बिम्ब के किसी बिन्दु से निकली दो या दो से अधिक किरणें परावर्तन के पश्चात् जिस बिन्दु से गुजरती हैं उस बिन्दु पर प्रतिबिम्ब बनता है। यदि परावर्तित किरणें वास्तव में किसी बिन्दु से एक साथ गुजरती है तो प्रतिबिम्ब वास्तविक एवं उल्टा होता है जिसे परदे पर प्राप्त किया जा सकता है किन्तु यदि प्रकाश की परावर्तित किरणें किसी बिन्दु पर मिलती हुई प्रतीत होती है लेकिन वास्तविकता में नहीं मिलती है तो ऐसा प्रतिबिम्ब आभासी या काल्पनिक कहलाता है जो सीधा होता है।

अवतल एवं उत्तल दर्पणों के लिए बिम्ब की विभिन्न स्थितियों के लिए प्रतिबिम्ब की स्थिति एवं प्रकृति सारणी 11.1 में दी गई है।

सारणी 11.1 (a) अवतल दर्पण के लिये (For Concave Mirror)

क्र.सं.	बिम्ब की स्थिति	किरण चित्र	प्रतिबिम्ब का स्वरूप
1.	अनन्त पर		वास्तविक, उल्टा, बहुत छोटा, F पर
2.	∞ और C के मध्य		वास्तविक, उल्टा छोटा F एवं C के मध्य
3.	वक्रता केन्द्र C पर		वास्तविक, उल्टा, बिम्ब के आकार का बिन्दु C पर
4.	F एवं C के मध्य		वास्तविक, उल्टा, बड़ा, C एवं ∞ के बीच
5.	फोकस F पर		वास्तविक, उल्टा, बहुत बड़ा अनन्त पर
6.	F एवं P के मध्य		आभासी, सीधा, बड़ा, दर्पण के पीछे

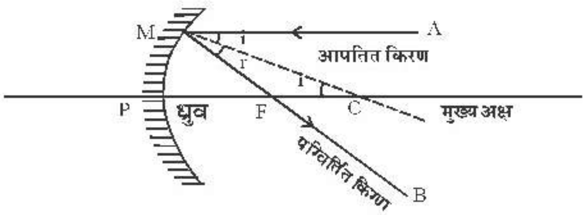
(b) उत्तल दर्पण के लिये (For Convex Mirror)

क्र.सं.	बिम्ब की स्थिति	किरण चित्र	प्रतिबिम्ब का स्वरूप
1.	अनन्त पर		आभासी, सीधा, बहुत छोटा, फोकस पर
2.	दर्पण के सामने		आभासी, सीधा, छोटा, ध्रुव तथा फोकस के मध्य

11.3 दर्पण सूत्र (Mirror Formula)

11.3.1 दर्पणों की फोकस दूरी (Focal Length of Mirrors)

दर्पण के फोकस दूरी तथा उसके वक्रता त्रिज्या में सम्बन्ध ज्ञात करने के लिये एक छोटे द्वारक के दर्पण पर विचार करते है (चित्र 11.7) माना मुख्य अक्ष के समान्तर दर्पण पर आपतित प्रकाश की एक किरण AM है जो MB दिशा में परावर्तित होती है। MC बिन्दु M पर अभिलम्ब है।



चित्र 11.7 दर्पण की फोकस दूरी

परावर्तन के नियमानुसार,

आपतन कोण $\angle AMC$ = परावर्तन कोण $\angle FMC$

या $i = r$

लेकिन $\angle AMC = \angle MCF = i = r$ (एकान्तर कोण)

अतः त्रिभुज MCF में

$$\angle FMC = \angle MCF$$

$\therefore$ भुजा $MF = FC$ ...(11.2)

यदि बिन्दु M दर्पण के ध्रुव P के बहुत निकट हो तो

$MF = PF = f$ (फोकस दूरी) ...(11.3)

लेकिन चित्र 11.7 से दर्पण की वक्रता त्रिज्या

$$R = PF + FC \; (\because FC = MF = PF)$$

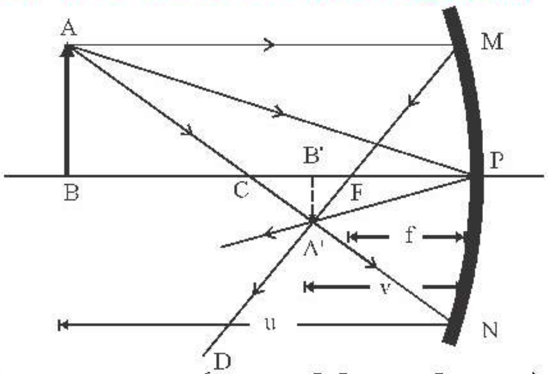
$\therefore \quad R = PF + PF$

या $\quad R = 2PF = 2f$

$$\therefore \quad f = \frac{R}{2} \qquad \ldots(11.4)$$

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

11.3.2 दर्पण समीकरण (Mirror Equation)



चित्र 11.8 अवतल दर्पण द्वारा प्रतिबिम्ब का किरण आरेख

चित्र 11.8 में AB बिम्ब का प्रतिबिम्ब A'B' दर्शाया गया है जो कि दिए गए अवतल दर्पण की दी गई स्थिति के लिए वास्तविक है। चित्र में दर्शाए अनुसार बिम्ब दूरी u प्रतिबिम्ब दूरी v व फोकस दूरी f है तो उनके मध्य सम्बन्ध व्युत्पन्न करने के लिए त्रिभुज A'B'F तथा MPF (MP लगभग सीधी रेखा मानते हैं) पर विचार करते है, जो समरूप है। अतः

$$\frac{B'A'}{PM} = \frac{B'F}{FP}$$

अथवा $$\frac{B'A'}{BA} = \frac{B'F}{FP} \qquad (\because PM = BA) \qquad \ldots(11.5)$$

क्योंकि $\angle APB = \angle A'PB'$, समकोण त्रिभुज A'B'P तथा ABP भी समरूप हैं। अतः

$$\frac{B'A'}{BA} = \frac{B'P}{BP} \qquad \ldots(11.6)$$

समीकरण (11.5) तथा (11.6) की तुलना करने पर हमें प्राप्त होगा

$$\frac{B'F}{FP} = \frac{B'P - FP}{FP} = \frac{B'P}{BP} \qquad \ldots(11.7)$$

समीकरण (11.6) में दूरियों के परिमाण सम्मिलित हैं। अब हम चिन्ह परिपाटी को लागू करते हैं। यहाँ

$$B'P = -v,\ FP = -f,\ BP = -u$$

समीकरण (11.7) में इनका उपयोग करने पर प्राप्त होता है

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

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

अथवा $$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \qquad \ldots(11.8)$$

यह संबंध दर्पण समीकरण कहलाता है।

यद्यपि उक्त दर्पण समीकरण अवतल दर्पण के लिए व्युत्पन्न किया गया है किंतु उक्त सूत्र अवतल दर्पण एवं उत्तल दर्पण से बिम्ब की सभी स्थितियों के लिए सत्य है।

वस्तु के आकार के सापेक्ष प्रतिबिंब का आकार भी एक महत्वपूर्ण विचारणीय राशि है। हम किसी दर्पण के रैखिक आवर्धन (m) को प्रतिबिंब के आकार (h') तथा बिंब के आकार (h) के अनुपात के रूप में परिभाषित करते हैं। अतः

$$m = \frac{h'}{h} \qquad \ldots(11.9)$$

h तथा h' को मान्य चिन्ह परिपाटी के अनुसार धनात्मक अथवा ऋणात्मक लिया जाएगा। त्रिभुजों A'B'P तथा ABP, में हमें मिलता है,

$$\frac{B'A'}{BA} = \frac{-v}{-u}$$

चिन्ह परिपाटी से $\frac{-h'}{h} = \frac{-v}{u}$

अतः $$m = \frac{h'}{h} = -\frac{v}{u} \quad \ldots(11.10)$$

उपरोक्त में ऋणात्मक चिन्ह का तात्पर्य प्रतिबिम्ब का बिम्ब के सापेक्ष उल्टा होने में है। समीकरण 11.10 में आवर्धन बिम्ब दुरी (u) तथा प्रतिबिम्ब दूरी (v) के पदों में है। दर्पण समीकरण का उपयोग कर आवर्धन का सूत्र बिम्ब दूरी (u) तथा फोकस दूरी (f) अथवा प्रतिबिम्ब दूरी (v) तथा फोकस दूरी (f) में भी प्राप्त कर सकते है समीकरण 11.10 के अन्य रूप है

$$m = -\frac{v-f}{f} \quad [\because \text{ समी. 11.8 से } \frac{v}{u} = \frac{v-f}{f}] \quad \ldots(11.10a)$$

एवं $$m = -\frac{f}{u-f} \quad \ldots(11.11a)$$

उदाहरण 11.1 एक अवतल दर्पण की वक्रता त्रिज्या 50 cm है। इसकी फोकस दूरी ज्ञात कीजिये।

हलः प्रश्नानुसार, R = 50 cm

हम जानते हैं कि गोलीय दर्पण की फोकस दूरी $f = \frac{R}{2}$

अतः अवतल दर्पण की फोकस दूरी $f = \frac{R}{2} = \frac{50}{2} = 25\,\text{cm}$

या $f = 0.25\,\text{m}$

उदाहरण 11.2 एक वस्तु 15 cm वक्रता त्रिज्या के अवतल दर्पण के सामने 10 cm की दूरी पर स्थित है। प्रतिबिम्ब की स्थिति, प्रकृति तथा आवर्धन ज्ञात कीजिये।

हलः प्रश्नानुसार, $f = \frac{-15}{2}\,\text{cm}$ तथा $u = -10\,\text{cm}$

दर्पण के सूत्र से, $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$

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

या $\quad \frac{1}{v} = -\frac{2}{15} - \left(\frac{1}{-10}\right) = \frac{-2}{15} + \frac{1}{10} = \frac{-4+3}{30}$

या $\quad \frac{1}{v} = -\frac{1}{30}$

$\therefore \quad v = -30\,\text{cm}$

आवर्धन $m = -\frac{v}{u} = -\left(\frac{-30}{-10}\right) = -\frac{30}{10} = -3$

अर्थात् प्रतिबिम्ब वास्तविक, तीन गुना तथा दर्पण के आगे 30 cm की दूरी पर बनेगा।

उदाहरण 11.3 एक अवतल दर्पण के सामने रखे बिम्ब का प्रतिबिम्ब दर्पण के सामने 100 cm पर बनता है। यदि दर्पण की फोकस दूरी 98 cm हो तो बिम्ब की दूरी ज्ञात कीजिये।

हलः प्रश्नानुसार, प्रतिबिम्ब की दूरी $v = -100\,\text{cm}$

तथा दर्पण की फोकस दूरी $f = -98\,\text{cm}$

दर्पण के सूत्र से $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$

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

या $\quad \frac{1}{u} = \frac{1}{-98} - \frac{1}{-100} = -\frac{1}{98} + \frac{1}{100}$

या $\quad \frac{1}{u} = \frac{-100+98}{9800} = \frac{-2}{9800}$

$\therefore \quad u = \frac{9800}{2} = -4900\,\text{cm}$

बिम्ब की दूरी =–49 मीटर

उदाहरण 11.4 एक मनोरंजन पार्क में लगे अवतल दर्पण की वक्रता त्रिज्या 4 m है। एक बालिका दर्पण के सामने खड़ी है ताकि यह अपनी वास्तविक लम्बाई की 2.5 गुनी प्रतीत होती है। यदि प्रतिबिम्ब सीधा है तो यह दर्पण से कितनी दूरी पर खड़ी है।

हलः यहाँ आवर्धन $m = -2.5$ एवं $R = -4\,\text{m}$ है तो

$$f = \frac{R}{2} = \frac{-4.0}{2} = -2.0\,\text{m} \text{ होगा।}$$

$\because \quad m = \frac{h_2}{h_1} = -\frac{f}{u-f}$

अतः, $\quad 2.5 = -\frac{(-2.0)}{u-(-2.0)} \Rightarrow u = -1.2\,\text{m}$

उदाहरण 11.5 एक उत्तल दर्पण की फोकस दूरी f है। एक वास्तविक बिम्ब इसके सामने इसके ध्रुव से दूरी f पर रखा जाए तो इसका प्रतिबिम्ब की स्थिति ज्ञात कीजिए।

हलः $u = -f$, लेते हुए दर्पण समीकरण से

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \text{ से } -\frac{1}{f} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f}$$

$\Rightarrow \quad \frac{1}{v} = \frac{2}{f}$ अतः $v = \frac{f}{2}$ होगा।

नोटः एक वास्तविक बिम्ब के लिए उत्तल दर्पण द्वारा ध्रुव एवं फोकस के बीच काल्पनिक, धूमिल व सीधा प्रतिबिम्ब बनाता है।

उदाहरण 11.6 एक अवतल दर्पण से 20 cm दूर रखे एक पिन का प्रतिबिम्ब दर्पण से 40 cm दूरी पर बनता है। दर्पण की फोकस दूरी ज्ञात कीजिये।

हलः प्रश्नानुसार, $u = -20\,\text{cm}$ तथा $v = -40\,\text{cm}$, $f = ?$

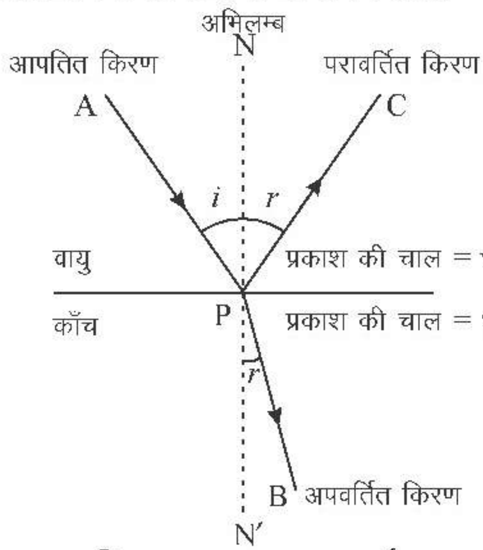
दर्पण के सूत्र से $\dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{u} + \dfrac{1}{v}$

या $$\frac{1}{f} = \frac{1}{(-20)} + \frac{1}{(-40)} = -\frac{1}{20} - \frac{1}{40} = \frac{-2-1}{40}$$

$$\therefore \quad f = -\frac{40}{3} = -13.333\,\text{cm}$$

11.4 प्रकाश का अपवर्तन (Refraction of Light)

किसी समांगी पारदर्शक माध्यम में प्रकाश की किरण लगभग सीधी रेखा में गमन करती है। जब प्रकाश किरण एक समांगी पारदर्शक माध्यम से किसी दूसरे समांगी पारदर्शक माध्यम में प्रवेश करती है तो दोनों माध्यमों के बीच इनके अन्तरापृष्ठ पर किरण (प्रकाश) का कुछ भाग परावर्तित होकर पहले माध्यम में चलता है तथा कुछ भाग दूसरे माध्यम में प्रवेश कर जाता हैं वह किरण जो दूसरे माध्यम में प्रवेश करती है, दोनों माध्यमों के बीच अन्तरापृष्ठ पर, अपने प्रारम्भिक पथ से विचलित हो जाती है। (चित्र 11.9) किसी किरण के एक माध्यम से दूसरे माध्यम में जाने पर इनके अंतरापृष्ठ पर अपने प्रारम्भिक मार्ग से विचलित हो जाने की परिघटना को अपवर्तन कहते हैं।



चित्र 11.9 प्रकाश का अपवर्तन

सरल प्रयोगों से, अपवर्तन के लिये निम्नलिखित नियम प्राप्त होते है–

(i) आपतित किरण अपवर्तित किरण तथा अन्तरा पृष्ठ पर आपतन बिन्दु पर अभिलम्ब सभी एक तल में होते है।

(ii) आपतन कोण की ज्या का अपवर्तन कोण की ज्या से अनुपात नियत होता है। इसे स्नैल का नियम कहते हैं।

यहाँ आपतन कोण i तथा अपवर्तन कोण r है जो आपतित एवं अपवर्तित किरणें अभिलम्ब से बनाती है अतः

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \qquad \ldots(11.11)$$

यहाँ n_1 तथा n_2 क्रमशः माध्यम 1 तथा 2 के निरपेक्ष अपवर्तनांक है।

अपवर्तनांक दो माध्यमों का सापेक्ष गुण है। यदि प्रकाश निर्वात से किसी माध्यम में प्रवेश करता है तो इसे उस माध्यम का निरपेक्ष अपवर्तनांक कहते है।

स्नैल का नियम और अधिक सुविधाजनक रूप में निम्नानुसार लिखा जा सकता है

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r \qquad \ldots(11.12)$$

जहाँ i तथा r क्रमशः प्रकाश किरण द्वारा माध्यम 1 तथा 2 में अभिलम्ब से बनाए गए कोण हैं।

समीकरण (11.12) से यदि $n_{21} > 1,\ r < i$ अपवर्तित किरण अभिलम्ब की ओर झुक जाती है। ऐसी स्थिति में माध्यम 2 माध्यम 1 से ज्यादा प्रकाशीय सघन (या संक्षेप में सघन) कहलाता है। दूसरी ओर यदि $n_{21} < 1,\ r > i$ तब अपवर्तित किरण अभिलम्ब से परे हट जाती है। ऐसा तब होता है जब किरण सघन माध्यम से विरल (प्रकाशीय) में प्रवेश करती है।

किसी भी पदार्थ में प्रकाश की चाल निर्वात में चाल से कम होती है एक माध्यम के अपवर्तनांक n, को निर्वात में प्रकाश की चाल, c, का माध्यम में प्रकाश की चाल v के साथ अनुपात के रूप में परिभाषित किया जाता है।

$$n = \frac{\text{प्रकाश की निर्वात मे चाल}}{\text{प्रकाश की माध्यम में चाल}} = \frac{c}{v} \qquad \ldots(11.13)$$

अपवर्तनांक एक अदिश एवं विमाहीन राशि है किसी माध्यम का अपवर्तनांक माध्यम की प्रकृति एवं प्रकाश के तरंग दैर्ध्य पर निर्भर करता है। यहाँ यह महत्वपूर्ण है कि जब प्रकाश एक माध्यम से दूसरे माध्यम में जाता है तो इसकी आवृत्ति अपरिवर्तित रहती है। किन्तु तरंगदैर्ध्य परिवर्तित होती है, (वेग में परिवर्तन के कारण)।

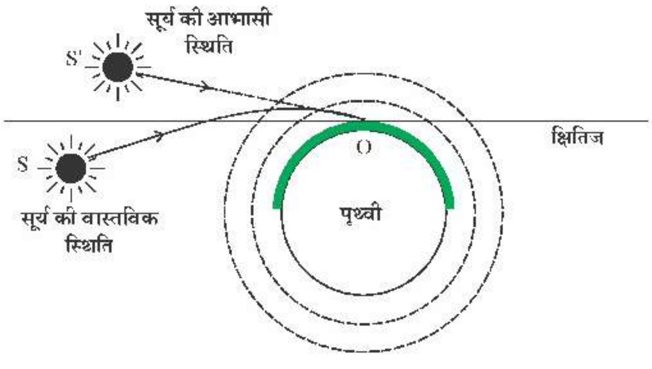
11.4.1 प्रकाश के अपवर्तन से सम्बन्धित घटनाएँ (Phenomena Related to Refraction of Light)

1. तारों का टिमटिमाना (Twinkling of Stars)

तारों का हमसे बहुत दूर होने के कारण उनका प्रतिबिम्ब हमारी आँख की रेटिना पर बिंदुवत बनता है। जब तारों से आने वाली प्रकाश की किरणें वायुमण्डल में संचरित होती है तो उनको वायुमण्डल की विभिन्न सतहों में से होकर गुजरना पड़ता है जिनके घनत्व में उतार–चढ़ाव होने से इन परतों का अपवर्तनांक परिवर्तित होता रहता है एवं इन परतों से तारों का प्रकाश लगातार अपवर्तित होता है जिस कारण आँख में प्रवेश करने वाली किरणों की दिशा लगातार परिवर्तित होती रहती है और तारे टिमटिमाते महसूस होते हैं।

2. सूर्योदय तथा सूर्यास्त (Sun Rise and Sun Set)

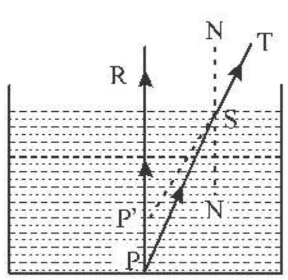
सूर्य वास्तविक सूर्योदय से पहले तथा वास्तविक सूर्यास्त के बाद भी दिखाई पड़ता है। अर्थात् सूर्य क्षितिज के नीचे रहने पर भी उगा हुआ दिखाई पड़ता है इसका कारण वायु मण्डल से सूर्य की किरणें का अपवर्तन है। पृथ्वी की सतह के निकट वायुमण्डल की सतहों का घनत्व अधिक होता है। जबकि ऊपरी सतहों का घनत्व कम होता जाता है। चित्र (11.10) के अनुसार जब सूर्य क्षितिज से नीचे S पर होता है तो उससे आने वाली किरणें वायुमण्डल के विरल से सघन वायु की सतहों में से गुजरती हैं और व अभिलम्ब की ओर झुकती जाती हैं और प्रेक्षक की आँख में पहुँचती हैं। जिससे सूर्य की आभासी स्थिति S' महसूस होती है।



चित्र 11.10 सूर्य की आभासी स्थिति

3. द्रव से भरे पात्र के पेंदे का ऊपर उठा हुआ दिखाई देना (Raised Appearance of Bottom of a Liquid)

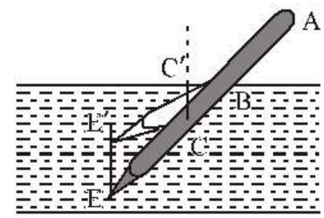
द्रव से भरे पात्र को ऊपर से देखने पर पात्र का पेंदा ऊपर उठा हुआ प्रतीत होता है। यह प्रकाश के अपवर्तन के कारण होता है। चित्र 11.11 के अनुसार माना पात्र के तल में बिन्दु बिम्ब P है। जब पात्र में द्रव भर दिया जाता है तब PP'R किरण अभिलम्बवतः अपरिवर्तित होती है। जबकि ऊर्ध्वाधर से झुकी हुयी किरण PS बिन्दु S पर अपवर्तन के पश्चात् अभिलम्ब से दूर हटती है एवं ST दिशा में गमन करती है। (सघन से विरल माध्यम में गमन करने पर) जाती है। अपवर्तित किरणें पीछे बढ़ाने पर यह P' पर मिलती प्रतीत होती है। इस प्रकार पात्र का तल जो पहले P पर था अब P' तक उठा हुआ दिखाई देता है। इसलिये द्रव से भरे पात्र का पैंदा ऊपर उठा हुआ दिखाई पड़ता है।



चित्र 11.11 द्रव से भरे पात्र में आभासी स्थिति

4. किसी छड़ का मुड़ा हुआ दिखना (Bending of an Object)

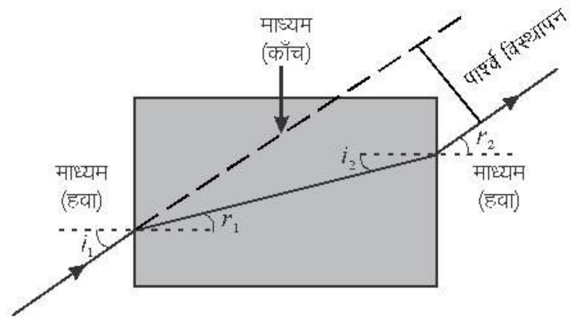
जब सघन माध्यम में रखा कोई बिन्दु बिम्ब विरल माध्यम से देखा जाता है तो यह प्रेक्षक की ओर विस्थापित प्रतीत होता है। अतः यदि कोई रैखिक बिम्ब किसी द्रव की सतह पर झुका होकर डूबा है तो इसके विभिन्न बिन्दुओं के लिए वास्तविक गहराई तथा इस कारण आभासी गहराई भिन्न होगा। इस कारण चित्र 11.12 में दर्शाए अनुसार वस्तु अपनी वास्तविक स्थिति BE से मुड़ी दिखाई देगी।



चित्र 11.12 वस्तु का मुड़ा हुआ दिखाई देना।

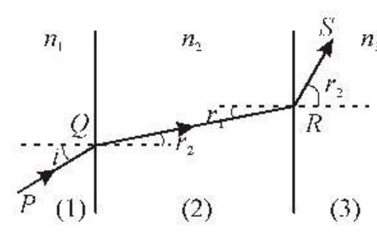
5. काँच की पट्टिका द्वारा अपवर्तन (Refraction Through a Glass Slab)

चित्र 11.13 के अनुसार एक आयताकार काँच की पट्टिका से जब प्रकाश किरण गुजरती है तो इसका दो बार अपवर्तन होता है। (हवा से काँच व काँच से हवा में) यहाँ निर्गत किरण आपतित किरण के समान्तर होती है अर्थात् निर्गत कोण (r_2) आपतन कोण (i_1) के बराबर है। किन्तु निर्गत किरण आपतित किरण के सापेक्ष पार्श्व विस्थापित होती है।



चित्र 11.13 आयताकार पट्टिका द्वारा अपवर्तित प्रकाश किरण में पार्श्विक विस्थापन

उदाहरण 11.7 चित्र प्रकाश की एक किरण के भाग के पथ को दर्शाता है जब यह तीन भिन्न माध्यमों से गुजरती है।

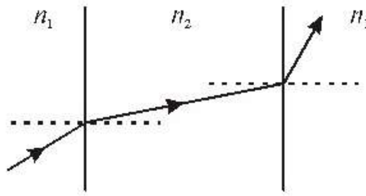


(नोटः चित्र पैमाने पर आधारित है।)

इन माध्यमों के अपवर्तनांकों के बारे में क्या निष्कर्ष निकाला जा सकता है?

हलः प्रदर्शित चित्र के लिये किरण PQ अपवर्तन के बाद अभिलम्ब की ओर झुक रही है अतः माध्यम (2) माध्यम (1) से ज्यादा प्रकाशिक सघन होगा अर्थात्

$$n_2 > n_1 \qquad \ldots (i)$$



इसी प्रकार किरण QR अपवर्तन के बाद अभिलम्ब से दूर हट रही है अतः माध्यम (3) माध्यम (1) से अधिक विरल है अर्थात्

$$n_2 > n_3 \qquad \ldots (ii)$$

चूंकि $\angle r_2 > \angle i$

$$n_1 > n_3 \qquad \ldots (iii)$$

समीकरणों (i), (ii) तथा (iii), से हम पाते है कि $n_3 < n_1 < n_2$

उदाहरण 11.8 प्रकाश के किसी रंग की वायु में तरंगदैर्ध्य 6000 Å है जो जल में 4500 Å हो जाती है। जल में प्रकाश की चाल क्या होगी।

हलः अपवर्तन हेतु $\dfrac{n_2}{n_1} = \dfrac{v_1}{v_2} = \dfrac{\lambda_1}{\lambda_2}$

$$\Rightarrow \quad \frac{v_\omega}{v_a} = \frac{\lambda_\omega}{\lambda_a}$$

$$\Rightarrow \quad v_\omega = \left(\frac{4500}{6500}\right) 3 \times 10^8 = 2.25 \times 10^8 \text{ m/s}$$

उदाहरण 11.9 जल तथा काँच के अपवर्तनांक क्रमशः 4/3 तथा 3/2 हैं। जल का अपवर्तनांक ज्ञात कीजिये यदि प्रकाश की किरण काँच से जल में गमन करती है।

हलः प्रश्नानुसार $n_\omega = \dfrac{4}{3}$ एवं $n_g = \dfrac{3}{2}$

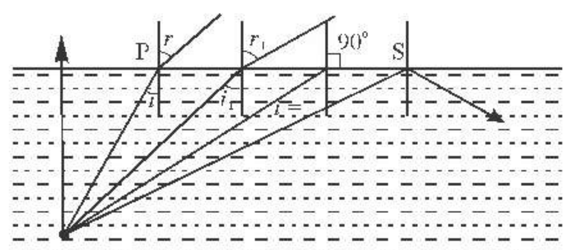
अतः पानी का काँच के सापेक्ष अपवर्तनांक

$$n_{\omega g} = \frac{n_\omega}{n_g} = \frac{4/3}{3/2} = \frac{8}{9}$$

11.5 पूर्ण आन्तरिक परावर्तन (Total Internal Reflection)

पिछले अनुच्छेद में हमने पढ़ा है कि जब कोई प्रकाश किरण विरल (rarer) से सघन (denser) माध्यम में प्रवेश करती है तो वह अभिलम्ब की ओर झुक जाती है। परन्तु जब कोई प्रकाश की किरण सघन से विरल माध्यम में प्रवेश करती है तो वह अभिलम्ब से दूर हटती है अर्थात् आपतन कोण से अपवर्तन कोण बड़ा होता है। यदि आपतन कोण में वृद्धि होती है तो अपवर्तन कोण में भी वृद्धि होती है। यदि आपतन कोण का मान लगातार बढ़ाते है तो आपतन कोण के एक विशिष्ट मान पर अपवर्तन कोण का मान 90° हो जाता है इस अवस्था में अपवर्तित किरण दोनों माध्यमों के पृथक्कारी पृष्ठ के समान्तर गमन करती है (चित्र 11.14 में किरण 3) आपतन कोण के इस विशिष्ट मान को उस माध्यम का, क्रान्तिक कोण (critical angle) कहते है। क्रान्तिक कोण को θ_C, से प्रदर्शित करते हैं।

अब यदि आपतन कोण को और अधिक कर दिया जाये तो किरण सघन माध्यम में ही पूर्णतः परावर्तित हो जाती है। इस घटना को प्रकाश का पूर्ण आन्तरिक परावर्तन कहा जाता है। पूर्ण आन्तरिक परावर्तन में परावर्तित प्रकरण एवं आपतित प्रकाश की तीव्रता समान होती है। अर्थात् आपतित प्रकाश की कोई भी मात्रा अवशोषित अथवा पारगमित नहीं होती है।



चित्र 11.14 पूर्ण आंतरिक परावर्तन

यदि विरल माध्यम वायु हो तो क्रान्तिक आपतन अवस्था में अपवर्तन के नियम से

$n_m \sin\theta_C = n_a \sin 90^\circ$ (जहाँ n_m सघन माध्यम का अपवर्तनांक है)

या $$n_m = \frac{1}{\sin\theta_C} \qquad [\because n_a \approx 1] \qquad \ldots (11.14)$$

कुछ पदार्थों के क्रान्तिक कोण सारणी 11.2 में दर्शाए गए हैं:

सारणी 11.2 कुछ पारगमित माध्यम के लिए क्रांतिक कोण

पदार्थ Substance	अपवर्तनांक Refractive Index	क्रांतिक कोण Critical Angle
जल	1.33	48.75°
क्राउन काँच	1.52	41.14°
फिलिन्ट काँच	1.62	37.31°
हीरा	2.42	24.41°

11.5.1 पूर्ण आन्तरिक परावर्तन के कुछ प्रभाव तथा उपयोग (Some Applications of Total Internal Reflection)

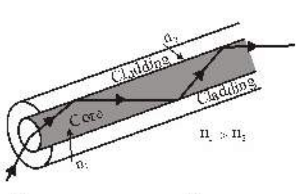
1. **मरीचिका (Mirages)** रेगिस्तानी क्षेत्रों में विचरण करने वाले लोगों को गर्मी के दिनों में कुछ दूरी पर जलाशय के सदृश दिखाई पड़ते हैं। वास्तव में वहाँ जलाशय या पानी होने का केवल भ्रम होता है। इस दृष्टि भ्रम को **मरीचिका** कहते हैं। जलाशय के होने का भ्रम प्रकाश के पूर्ण आन्तरिक

परावर्तन के कारण होता है। दिन में सूर्य की ऊष्मा से रेगिस्तानी क्षेत्रों की रेत बहुत गर्म हो जाती है। जिससे रेत के सम्पर्क वाली वायु की परतें अधिक गरम हो जाने से वायु परतों का घनत्व कम हो जाता है। ऊपरी वायु परतो का घनत्व अधिक होने से वे सघन माध्यम की तरह कार्य करती है। जब किसी वृक्ष के ऊपरी भाग से चलकर नीचे की ओर आने वाली किरणें सघन से विरल माध्यमों में प्रवेश करती है तो पूर्ण परावर्तित होकर उपर की ओर लौट जाती है। परिणामस्वरूप प्रेक्षक को वृक्ष के एक उल्टे प्रतिबिम्ब का आभास होता है। इस प्रकार के उल्टे प्रतिबिम्ब पानी में बनते है। अतः प्रेक्षक को उस स्थल पर जल का अहसास होता है।

2. **हीरे का चमकाना (Brilliance of Diamand)** हीरे की चमक प्रकाश के पूर्ण आन्तरिक परावर्तन के कारण होती है। हीरे का अपवर्तनांक बहुत अधिक लगभग 2.42 तथा क्रान्तिक कोण का मान 24.41 के करीब होता है। हीरे को इस प्रकार घिसा या काटा जाता है कि उसके विभिन्न फलकों (faces) से प्रवेश करने वाले प्रकाश का अलग–अलग फलकों से पूर्ण आन्तरिक परावर्तन होता है। इसलिये हीरा चमकता है।

3. **प्रकाशिक तन्तु (Optical Fibre)** प्रकाशिक तन्तु श्रव्य एवं दृश्य संकेतों को लम्बी दूरी तक संचरित करने में उपयोग लिया जाता है। ये मुख्य रूप से उच्च गुणवत्ता के क्वार्टज या काँच के लम्बे तन्तुओं से बने होते है। तन्तु एक क्रोड (core) व एक अधिपट्टन (Cladding) सतह से बना होता है। क्रोड के पदार्थ का अपवर्तनांक अधिपट्टन के अपवर्तनांक से अधिक होता है। प्रकाश तंतु इस प्रकार बनाए जाते हैं कि एक ओर के आंतरिक पृष्ठ पर परावर्तित होने के पश्चात दूसरे पृष्ठ पर प्रकाश क्रांतिक कोण से अधिक होने पर आपतित होता है। जब प्रकाश तन्तु के एक सिरे पर छोटे कोण पर आपतित होकर प्रकाश इसमें प्रवेश करता है तो क्रोड से कई बार पूर्ण आन्तरिक परावर्तन प्रक्रिया के उपरान्त अन्त में चित्र 11.15 के अनुसार बाहर निकलता है। प्रकाशिक तंतुओं में भी पूर्ण आंतरिक परावर्तन की परिघटना का उपयोग किया जाता है।

चूँकि प्रत्येक चरण में प्रकाश का पूर्ण आंतरिक परावर्तन होता है इसलिए प्रकाश संकेत की तीव्रता में कोई विशेष हानि नहीं होती।



चित्र 11.15 प्रकाशिक तन्तु

उदाहरण 11.10 यदि हीरे का अपतर्वनांक 2.42 है तो उसके लिये क्रान्तिक कोण का मान ज्ञात कीजिये।

हलः प्रश्नानुसार $n = 2.42,\ C = ?$

पदार्थ के अपर्तनांक तथा क्रान्तिक कोण के सम्बन्ध से

$$\sin C = \frac{1}{n}$$

या $$\sin C = \frac{1}{2.42} = 0.4132$$

$$\therefore \quad C = \sin^{-1}(0.4132)$$

या $C = 24.4^\circ$ (Sine सारणी से)

उदाहरण 11.11 एक प्रकाश तन्तु रेखा के क्रोड का अपवर्तनांक 1.47 तथा परिनिधान अधिपट्टन का अपवर्तनांक 1.31 है। आपतन कोण θ जिसके लिये प्रकाश तन्तु में पूर्ण आन्तरिक परिवर्तन होता है, ज्ञात कीजिए।

हलः पूर्ण आन्तरिक परावर्तन के लिए आपतन कोण θ क्रांतिक कोण θ_c से अधिक होना चाहिए अर्थात्

$$\theta > \theta_c = \sin^{-1}(n_2/n_1)$$

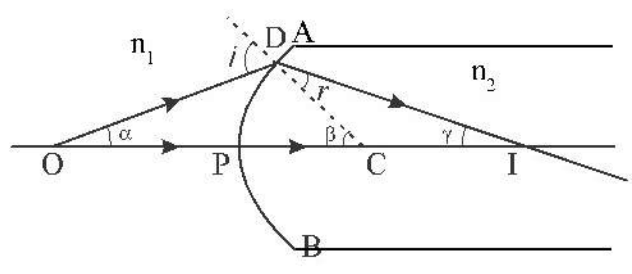
या $$\theta > \sin^{-1}(1.31/1.47) = \sin^{-1}(0.88)$$

$$\Rightarrow \quad \theta > 63^\circ$$

11.6 गोलीय पृष्ठ पर अपवर्तन (Refraction at Spherical Surface)

इस अनुच्छेद में हम दो पारदर्शी माध्यमों के गोलीय अंतरापृष्ठों पर अपवर्तन का अध्ययन करेंगे। गोलीय पृष्ठ का प्रत्येक बिन्दु पर किसी समतल के समान ही अपवर्तन के नियम का पालन माना जाता है।

चित्र 11.16 में दर्शाये अनुसार गोलीय सतह AB द्वारा अपवर्तन पर विचार करते है जहाँ सतह AB n_1 व n_2 अपवर्तनांक वाले दो पारदर्शक माध्यम को पृथक करती है। इस गोलीय सतह के मुख्य अक्ष पर बिन्दु O पर एक बिम्ब रखा है।



चित्र 11.16 गोलीय सतह से अपवर्तन

बिम्ब O से चलने वाली सभी प्रकाश किरणें गोलीय सतह द्वारा अपवर्तित होती है तथा एक बिन्दु I पर मिलती है जो प्रतिबिम्ब बिन्दु है। बिम्ब से गोलीय सतह पर i आपतन कोण पर आपतित किरण OD चित्र 11.16 में दर्शाई गई है जो कि r कोण से अपवर्तन पश्चात मुख्य अक्ष पर I पर प्रतिबिम्ब बनाती है। बिन्दु D को बिन्दु P के पास माना जाता है।

पृष्ठ का द्वारक अन्य दूरियों की तुलना में अल्प है अतः चित्र में प्रदर्शित ज्यामिति लघु कोण सन्निकट का पालन करेगी है। चित्र 11.16 से

$$\tan \angle DOP = \tan \alpha = \frac{DP}{OP}$$

$$\tan \angle DCP = \tan \beta = \frac{DP}{PC}$$

$$\tan \angle DIP = \tan \gamma = \frac{DP}{PI}$$

Δ DOC में i बाह्य कोण है। अतः

$$i = \angle DOP + \angle DCP = \alpha + \beta \qquad \ldots(11.15)$$

या $$i = \frac{DP}{OP} + \frac{DP}{PC} \text{ (अल्प कोण सन्निकट में } \theta \approx \tan\theta) \qquad \ldots(11.16)$$

इसी प्रकार Δ DCI में $\angle DCP$ बाह्य कोण है अतः

$$\beta = \gamma + r \text{ या } r = \beta - \gamma$$

$$r = \angle DCP - \angle DIP \qquad \ldots(11.17)$$

अतः $$r = \frac{DP}{PC} - \frac{DP}{PI} \qquad \ldots(11.18)$$

अपवर्तन के नियम से

$$n_i \sin i = n_2 \sin r$$

अल्प कोण सन्निकट में

$$n_i i = n_2 r \qquad \ldots(11.19)$$

समीकरण (11.16) व (11.18) से मान रखने पर

$$n_1\left(\frac{DP}{OP} + \frac{DP}{PC}\right) = n_2\left(\frac{DP}{PC} - \frac{DP}{PI}\right)$$

या $$\frac{n_1}{OP} + \frac{n_2}{PI} = \frac{(n_2 - n_1)}{PC} \qquad \ldots(11.20)$$

कार्तीय चिन्ह परिपाटी में $OP = -u;\ PI = v$ एवं $PC = +R$ रखने पर

$$-\frac{n_1}{u} + \frac{n_2}{v} = \frac{n_2 - n_i}{R} \qquad \ldots(11.21)$$

उक्त समीकरण सभी प्रकार की वक्रीय पृष्ठों के लिए मान्य है।

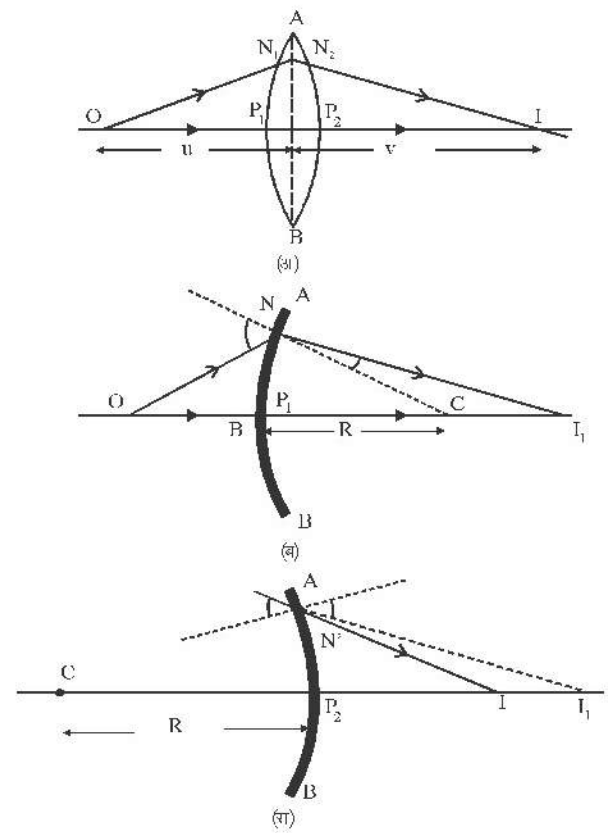
11.7 लेंस (Lens)

दो अपवर्तक पृष्ठों, दोनों वक्र अथवा एक वक्र तथा एक समतल, के बीच स्थित समांग पारदर्शी माध्यम (जैसे काँच, आदि) को लेंस कहते हैं। वक्र पृष्ठ गोलीय, बेलनाकार अथवा परवलयाकार (spherical, cylindrical or parabolic) हो सकते हैं। अधिकतर गोलीय लेंसों का ही प्रयोग किया जाता है। सामान्यतः लेंस के दोनों पृष्ठों पर अपवर्तन होता है लेंस के जिस पृष्ठ पर प्रकाश किरण पहले आपतित होती है अथवा जिस पृष्ठ से किरण लेंस के अन्दर प्रवेश करती है उसे लेंस का प्रथम पृष्ठ कहते हैं तथा जिस पृष्ठ पर अपवर्तन बाद में होता है अथवा जिस पृष्ठ से किरण लेंस से बाहर निकलती है उसे दूसरा पृष्ठ कहते हैं। पहले तथा दूसरे पृष्ठों की प्रकृति के क्रमानुसार ही लेंस की प्रकृति प्रकट करते हैं। लेंस मुख्यतः दो प्रकार के होते हैं–

1. **उत्तल लेंस (Convex Lens)**– ये लेंस किनारों पर पतले तथा बीच में मोटे होते हैं। इन्हें अभिसारी (convergent) लेंस भी कहते हैं।
2. **अवतल लेंस (Concave Lens)**– ये लेंस किनारों पर मोटे तथा बीच में पतले होते हैं। इन्हें अपसारी (divergent) लेंस भी कहते हैं।

11.7.1 पतले लेंस द्वारा अपवर्तन (Refraction through Thin Lens)

किसी पतले लेंस द्वारा प्रकाश के अपवर्तन के अध्ययन के लिए चित्र 11.17 (अ) में प्रदर्शित उभयोत्तल लैंस द्वारा प्रतिबिम्ब रचना पर विचार करते हैं। चित्र में दर्शाए अनुसार उभयोत्तल लैंस का अपवर्तनांक n_2 है जो n_1 अपवर्तनांक के विरल माध्यम में रखा है। लैंस के प्रथम व द्वितीय पृष्ठों के ध्रुव क्रमशः P_1 व P_2 तथा वक्रता त्रिज्याएँ क्रमशः R_1 व R_2 है। इस लैंस से प्रतिबिम्ब की रचना को दो गोलीय पृष्ठ AP_1B (चित्र 11.17ब) एवं AP_2B (चित्र 11.17स) से अपवर्तन के द्वारा समझा जाता है।



चित्र 11.17 (अ) बिन्दु की स्थिति तथा उभयोत्तल लेंस द्वारा निर्मित प्रतिबिम्ब (ब) पहले गोलीय पृष्ठ पर अपवर्तन (स) दूसरे गोलीय पृष्ठ पर अपवर्तन

यदि मुख्य अक्ष पर O बिम्ब है तो AP_1B गोलीय सतह के कारण इसका प्रतिबिम्ब I_1 बनेगा जो कि दूसरे पृष्ठ AP_2B के लिए आभासी बिम्ब की भांति कार्य करता है। AP_2B से अपवर्तन पश्चात अन्तिम प्रतिबिम्ब I प्राप्त होता है। समीकरण 11.21 से प्रथम पृष्ठ AP_1B से अपवर्तन के लिए

$$-\frac{n_1}{OP_1}+\frac{n_2}{P_1I_1}=\frac{n_2-n_1}{R_1} \quad \ldots(11.22)$$

इसी प्रकार दूसरे गोलीय पृष्ठ AP_2B से अपवर्तन के लिए अपवर्तन सूत्र

$$-\frac{n_2}{P_2I_1}+\frac{n_1}{P_2I}=\frac{n_1-n_2}{R_2} \quad \ldots(11.23)$$

पतले लैंस के लिए $P_1I_1 \quad P_2I_1$ लेते हुए समीकरणों 11.22 व 11.23 को जोड़ने पर प्राप्त समीकरण होगी

$$-\frac{n_1}{OP_1}+\frac{n_1}{P_2I}=(n_2-n_1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right) \ldots(11.24)$$

चूँकि $OP_1=u$ तथा $P_2I=v$ है अतः

$$-\frac{n_1}{u}+\frac{n_1}{v}=(n_2-n_1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)$$

या

$$-\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\left(\frac{n_2}{n_1}-1\right)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right) \quad \ldots(11.25)$$

अनन्त पर रखे बिम्ब का प्रतिबिम्ब लैंस के फोकस F पर बनता है जिसकी लैंस के केन्द्र से दूरी f होती है अतः समीकरण 11.25 में $u=-\infty,\ v=f$ रखने पर

$$\frac{1}{f}=\left(\frac{n_2}{n_1}-1\right)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right) \quad \ldots(11.26)$$

उक्त समीकरण 'लेंस मेकर सूत्र' के रूप में जाना जाता है इसका उपयोग वक्र पृष्ठों की त्रिज्याओं एवं अपवर्तनांक के उचित मान लेकर वांछित फोकस दूरी के लैंस बनाने में किया जाता है।

समीकरण 11.26 का उपयोग समीकरण 11.25 में करने पर

$$-\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f} \quad \ldots(11.27)$$

उक्त समीकरण पतले लेंस का सूत्र है।

समीकरण (11.26) व (11.27) के द्वारा प्राप्त लेंस मेकर एवं लैंस सूत्र यद्यपि उत्तल लैंस के लिए व्युत्पन्न किए गए है किन्तु यह सूत्र अवतल लेंस के लिए भी मान्य है।

किसी लेंस के दो फोकस F एवं F' होते है जोकि प्रकाशिक केन्द्र से समान दूरी f पर होते है। प्रकाश के स्रोत की ओर स्थित फोकस प्रथम फोकस बिन्दु O एवं दूसरी ओर का फोकस द्वितीय फोकस बिन्दु कहलाता है।

गोलीय दर्पण के समान ही किसी लेंस द्वारा किया गया आवर्धन (m) प्रतिबिम्ब की ऊँचाई एवं बिम्ब की ऊँचाई के अनुपात के रूप में परिभाषित किया जाता है। अतः लेंस का आवर्धन

$$m=\frac{\text{प्रतिबिम्ब की ऊँचाई}}{\text{बिम्ब की ऊँचाई}}=\frac{h'}{h}=\frac{v}{u} \quad \ldots(11.28)$$

चिन्ह परिपाटी से हम पाते है कि आभासी प्रतिबिम्ब सीधे होते हैं अतः m धनात्मक होता है एवं वास्तविक प्रतिबिम्ब उल्टे होते हैं इसलिए m ऋणात्मक होता है।

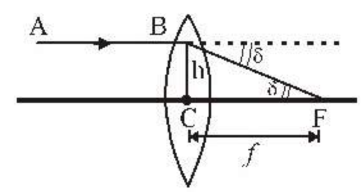
11.7.2 लेंस की क्षमता (Power of Lens)

लेंस द्वारा आपतित किरण को मोड़ने की क्षमता को लेंस की क्षमता कहते हैं। प्रायः इसे अक्षर P से प्रदर्शित हैं। किसी लेंस की क्षमता का तात्पर्य किसी आपतित किरण में उस लेंस द्वारा उत्पन्न विचलन से होता है। विचलन का मान अधिक होने पर क्षमता अधिक तथा विचलन का मान कम होने पर क्षमता कम होती है।

माना एक उत्तल लेंस पर एक प्रकाश किरण इसकी मुख्य अक्ष के समांतर इसके प्रकाशिक केन्द्र (C) से h दूरी पर आपतित होती हैं लेंस से अपवर्तन के पश्चात् यह किरण लेंस के द्वितीय मुख्य फोकस (F) से गुजरती है। चित्र 11.18 से स्पष्ट है कि लेंस से अपवर्तन के कारण किरण में δ कोण विचलन हो जाता है। यदि विचलन छोटा हो, तो

$$\delta=\tan\delta=\frac{h}{f}$$

अतः $$P=\delta=\frac{h}{f}$$

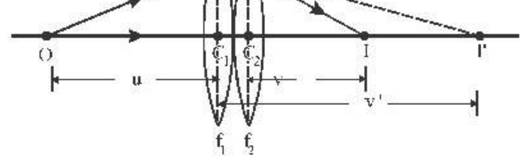


चित्र 11.18 लेंस की शक्ति

यदि $h=1$ मीटर, तो $P=\dfrac{1}{f}$ $\quad \ldots(11.29)$

अतः किसी लेंस की क्षमता का आंकिक मान उस लेंस की फोकस दूरी के व्युत्क्रम के बराबर होता है। एक मीटर फोकस दूरी वाले लेंस की क्षमता 1 डायोप्टर (D) होती है। लेंस की क्षमता विमाहीन अदिश राशि है। लेंस की क्षमता का चिन्ह लेंस की फोकस दूरी के चिन्ह के समान ही होता है। उत्तल लेंस की क्षमता धनात्मक एवं अवतल लेंस की क्षमता ऋणात्मक होती है।

11.7.3 पतले लैंसो का संयोजन (Combination of Thin Lenses)



चित्र 11.19 दो लेंसों का संयोजन

दो या दो से अधिक लेंसो को जब संपर्क में रखते है तो संयोजन एकल लेंस के तुल्य माना जा सकता है। लेंसो के संयोजन को समझने के लिए चित्र 11.19 में दर्शाए अनुसार वायु में सम्पर्क में रखे f_1 व f_2 फोकस दूरी के समाक्ष पतले लेंस L_1 तथा L_2 पर विचार करते हैं। यदि एक बिन्दु बिम्ब O, इनकी मुख्य अक्ष पर लेंस L_1 के बायीं ओर u दूरी पर स्थित है तो L_2 की अनुपस्थिति में L_1 द्वारा O का प्रतिबिम्ब इसके प्रकाशिक केन्द्र C_1 से v' दूरी पर स्थित बिन्दु I' पर बनता है तब इस लेंस के लिए, लेंस सूत्र के अनुसार,

$$\frac{1}{v'}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f_1} \qquad \ldots(11.30)$$

यह प्रतिबिम्ब I' दूसरे लेंस L_2 के लिए बिम्ब का कार्य करता है। लेंस L_2 इस वस्तु I' का प्रतिबिम्ब I बनाता है। दोनों लेंसों के पतले होने के कारण इनके प्रकाशिक केन्द्र C_1 तथा C_2 बहुत निकट होते हैं, अतः दूसरे लेंस L_2 के प्रकाशिक केन्द्र C_2 से वस्तु I' की दूरी v' मानी जा सकती हैं। माना C_2 से प्रतिबिम्ब I की दूरी v है, तब लेंस L_2 के लिए, लेंस के सूत्र के अनुसार,

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{v'}=\frac{1}{f_2} \qquad \ldots(11.31)$$

समीकरण 11.30 व समीकरण 11.31 को जोड़ने पर

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2} \qquad \ldots(11.32)$$

यदि इन दोनों लेंसों के संयोजन के स्थान पर f फोकस दूरी के एक ऐसे पतले लेंस का प्रयोग करें, जो लेंस से u दूरी पर स्थित वस्तु का प्रतिबिम्ब लेंस से v दूरी पर बनाये, तब लेंस के अनुसार

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f} \qquad \ldots(11.33)$$

समीकरण 11.32 व समीकरण 11.33 की तुलना करने पर

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2} \qquad \ldots(11.34)$$

यहाँ f दो लेंसों के संयोजन से बने निकाय की प्रभावी फोकस दूरी है। पतलेयदि कई पतले लैंस जिनकी फोकस दूरियाँ $f_1, f_2, f_3 ...,$ की एक साथ रखते है तो संयोजन की प्रभावी फोकस दूरी होगी

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}+\frac{1}{f_3}+\ldots \qquad \ldots(11.35)$$

क्षमता के पदों में समीकरण 11.35 को लिखा जा सकता है

$$P=P_1+P_2+P_3+ \qquad \ldots(11.36)$$

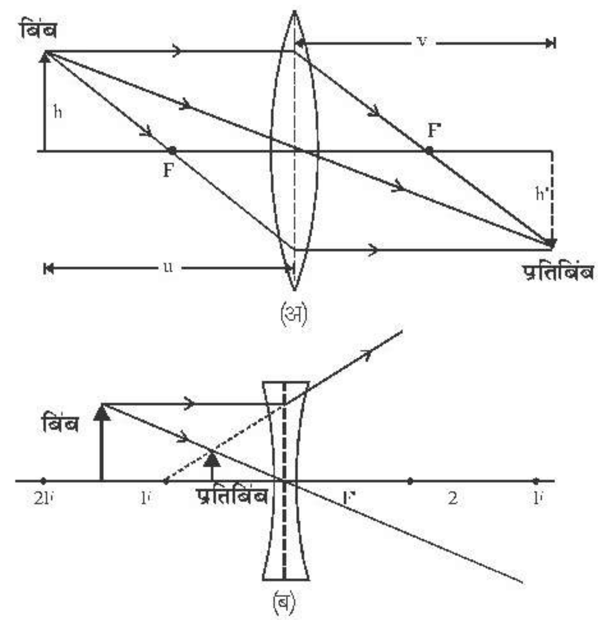
जहाँ P लैंस संयोजन की नेट क्षमता है। क्योंकि प्रथम लैंस द्वारा निर्मित प्रतिबिम्ब द्वितीय लैंस हेतु बिम्ब की तरह काम आता है यह प्रदर्शित करता है कि संयोजन का कुल आवर्धन m व्यक्तिगत लैंसों के आवर्धनो $(m_1, m_2, m_3, \ldots)$ का गुणनफल होता है।

$$m=m_1\times m_2\times m_3\times \qquad \ldots(11.37)$$

लैंसों का इस प्रकार संयोजन कैमरा माइक्रोस्कोप दूरदर्शक एवं अन्य प्रकाशिक उपकरणों की नेत्रिकाओं की संविरचना में काम आता है।

11.7.4 लेंस से प्रतिबिम्ब निर्माण (Image Formation by Lens)

उत्तल अथवा अवतल लैंस से विभिन्न बिम्ब स्थितियों के लिए प्रतिबिम्ब स्थिति ज्ञात करने के लिए बिन्दु बिम्ब से कोई दो आपतित किरण खींच कर उनके संगत निर्गत किरण के मिलने वाले (या मिलते हुए प्रतीत होने का) बिन्दु ज्ञात करते है। यही बिन्दु प्रतिबिम्ब होता हैं पतले लैंस द्वारा प्रतिबिम्ब स्थिति ज्ञात करने के लिए निम्न किरणों में से किन्हीं दो का प्रयोग करना सरल रहता है। (चित्र 11.20)



चित्र 11.20 (अ) उत्तल लेंस, (ब) अवतल लेंस से गुजरने वाली प्रकाश किरणों का अनुरेखण।

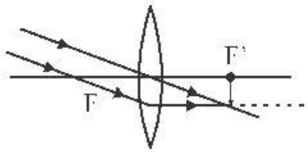
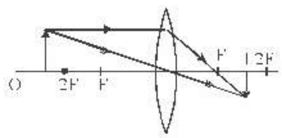
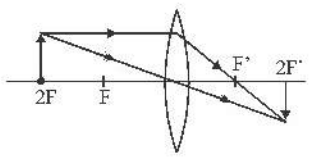
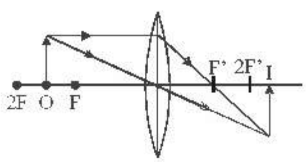
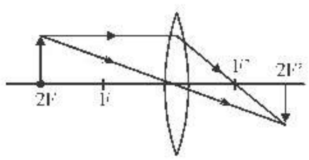
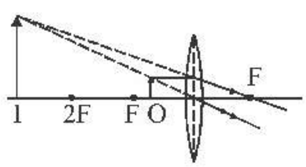
(i) बिंब से निकलने वाली वह किरण जो लेंस के मुख्य अक्ष के समांतर होती है, अपवर्तन के पश्चात (उत्तल लेंस में) लेंस के दूसरे मुख्य फोकस **F'** से गुजरती है, अथवा (अवतल लेंस में) लेंस के प्रथम मुख्य फ़ोकस F से अपसरित प्रतीत होती है।

(ii) लेंस के प्रकाशिक केन्द्र से गुजरने वाली प्रकाश किरण अपवर्तन के पश्चात बिना किसी विचलन के निर्गत होती है।

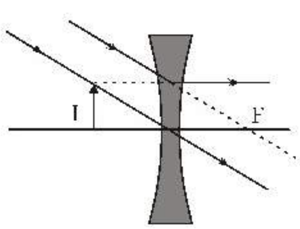
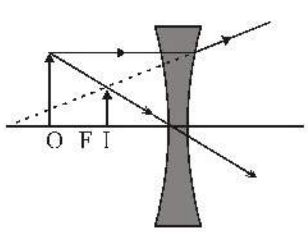
(iii) लेंस के प्रथम मुख्य फोकस से गुजरने वाली प्रकाश किरण (उत्तल लेंस में) अथवा इस बिन्दु पर आकर मिलती प्रतीत होने वाली प्रकाश किरण (अवतल लेंस में) अपवर्तन के पश्चात मुख्य अक्ष के समांतर निर्गत होती है।

सारणी 11.2 अवतल एवं उत्तल लेंस के लिये बिम्ब की विभिन्न स्थितियों के लिये प्रतिबिम्ब की स्थिति देती है

(a) अभिसारी या उत्तल लेंस के लिए (For Converging or Convex Lens)

क्र.सं.	बिम्ब की स्थिति	किरण चित्र	प्रतिबिम्ब का स्वरूप (विवरण)
1.	अनन्त पर		वास्तविक, उल्टा, बिन्दु के रूप में $(m << -1)$, F पर
2.	∞ और 2F के मध्य		वास्तविक, उल्टा, छोटा $(m < -1)$, F व 2F के मध्य
3.	2F पर		वास्तविक, उल्टा, समान आकार, 2F पर
4.	2F एवं F के मध्य		वास्तविक, उल्टा $(\|m\| > 1)$, 2F और ∞ के मध्य दूसरी ओर
5.	F पर		वास्तविक, उल्टा, बड़ा $(m >> -1)$ अनन्त पर
6.	F तथा O के मध्य		आभासी, सीधा, बड़ा $(m > +1)$ उसी तरफ ∞ और बिम्ब के मध्य

(b) अपसारी या अवतल लेंस (For Divergent or Convace Lens)

क्र.सं.	बिम्ब की स्थिति	किरण चित्र	प्रतिबिम्ब का स्वरूप (विवरण)
1.	अनन्त पर		आभासी, सीधा, छोटा, उसी ओर $(m << +1)$, F पर
2.	लेंस के सामने		आभासी, सीधा, छोटा $(m < +1)$, F व प्रकाशीय केन्द्र के मध्य

उदाहरण 11.12 6.0 cm की एक वस्तु एक लेंस से 30.0 cm पर स्थित है। परिणामी प्रतिबिम्ब की ऊँचाई का परिमाण 2.0 cm है तथा प्रतिबिम्ब व्युत्क्रमित है लेंस की फोकस दूरी क्या हैं?

हल: $m = \frac{h_2}{h_1} = \frac{f}{u+f}$

या $\frac{(-2.0)}{(6.0)} = \frac{f}{(-30.0)+f}$

$\Rightarrow \quad f = \frac{60}{8.0} = 7.5\,\text{cm}$

उदाहरण 11.13 एक उत्तल लेंस की वक्रता त्रिज्याएं क्रमशः 20 cm तथा 30 cm है। लेंस के पदार्थ का अपवर्तनांक 1.5 है। यदि लेंस जल $(\mu = 1.33)$ में रखा जाये तो इसकी फोकस दूरी ज्ञात करो।

हल: दिये लेंस के लिए $n_2 = 1.5;\ n_1 = 1.33;$

$R_1 = +20\,\text{cm},\ R_2 = -30\,\text{cm}$

$\therefore \quad \frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$

$\Rightarrow \quad \frac{1}{f} = \left(\frac{1.5}{1.33} - 1\right)\left(\frac{1}{20} + \frac{1}{30}\right) = \frac{1}{8}\left(\frac{5}{60}\right)$

$\Rightarrow \quad f = 96\,\text{cm}$

उदाहरण 11.14 एक बिम्ब की उत्तल लेंस से दूरी क्या होगी यदि प्रतिबिम्ब दो गुना आवर्धित है लेंस की फोकस दूरी 10 cm है।

हल: $f = +10\,\text{cm}$ और $|m| = 2$

$\therefore$ यदि $m = +2$ तो $m = \frac{v}{m} = \frac{f}{u+f}$

$\Rightarrow \quad +2 = \frac{10}{u+10} \Rightarrow 2u + 20 = 10$ या $u = -5\,\text{cm}$

यदि $m = -2$ तब $-2 = \frac{10}{u+10} \Rightarrow -2u - 20 = 10$

या $u = -15\,\text{cm}$

उदाहरण 11.15 5.0 cm फोकस दूरी का अभिसारी लेंस 10.0 cm फोकस दूरी के एक अभिसारी लेंस के सम्पर्क में रखा है। संयुक्त निकाय की फोकस दूरी ज्ञात करें।

हल: लेंस संयोजन के लिए $\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$

यहाँ $f_1 = +5\,\text{cm},\ f_2 = -10\,\text{cm}$

$\therefore \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{5} - \frac{1}{10} = +\frac{1}{10}$ या $f = +10\,\text{cm}$

उदाहरण 11.16 एक 3 cm लम्बी मोमबत्ती 10 cm फोकस दूरी वाले लेंस से कितनी दूरी पर रखी जाये कि उसका 6 cm लम्बा स्पष्ट प्रतिबिम्ब उचित स्थान पर रखे पर्दे पर प्राप्त किया जा सके।

हल: प्रश्नानुसार, $O = h_1 = 3\,\text{cm}$, $f = +10\,\text{cm}$

तथा $I = h_2 = -6\,\text{cm}$

आवर्धन $m = I = \frac{h_2}{h_1} = \frac{v}{u}$

या $\frac{-6}{3} = \frac{v}{u}$

अतः $v = -2u$

लेंस के सूत्र से $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

या $\frac{1}{-2u} - \frac{1}{u} = \frac{1}{10}$

या $\frac{-1-2}{2u} = \frac{1}{10}$

या $-\frac{3}{2u} = \frac{1}{10}$

या $u = \frac{-3 \times 10}{2} = -15\,\text{cm}$

तथा $v = -2u = -2 \times (-15) = 30\,\text{cm}$

अतः वस्तु की लेंस से दूरी $u = -15\,\text{cm}$

उदाहरण 11.17 किसी काँच के उभयोत्तल लेंस के पृष्ठों की वक्रता त्रिज्यायें क्रमशः 20 cm एवं 30 cm हैं। काँच का अपतर्वनांक 1.5 है। लेंस की फोकस दूरी ज्ञात कीजिये।

हल: प्रश्नानुसार, $R_1 = +20\,\text{cm}$, $R_2 = -30\,\text{cm}$

तथा $n = 1.5$

पतले लेंस के लिये सूत्र से, $\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$

या $\frac{1}{f} = (1.5 - 1)\left(\frac{1}{20} - \frac{1}{-30}\right) = 0.5 \times \left(\frac{30+20}{600}\right)$

या $\frac{1}{f} = 0.5 \times \frac{50}{600} = \frac{25}{600} = \frac{1}{24}$

$\therefore \quad f = +24\,\text{cm}$

उदाहरण 11.18 1.50 अपवर्तनांक वाले काँच के एक लेंस की वायु में फोकस दूरी 0.3 m है। यदि इसे 1.33 अपवर्तनांक के जल में डुबाया जाये तो लेंस की फोकस दूरी ज्ञात कीजिये।

हल: प्रश्नानुसार, $n_g = 1.50,\ f = 30\,\text{cm}$ तथा $n_\omega = 1.33$

हवा में पतले लेंस की फोकस दूरी के लिय सम्बन्ध से

$$\frac{1}{f} = (n_g - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

या $$\frac{1}{30} = (1.50 - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

या $$\frac{1}{30} = 0.50 \times \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \qquad \ldots(1)$$

माना द्रव में लेंस की फोकस दूरी f' है।

$$\frac{1}{f'} = (n_{g\omega} - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

लेकिन $$n_{g\omega} = \frac{n_g}{n_\omega} = \frac{1.50}{1.33} = 1.1278$$

$$\therefore \quad \frac{1}{f'} = (1.278 - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

या $$\frac{1}{f'} = 0.1278 \times \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \qquad \ldots(2)$$

समीकरण (1) को समीकरण (2) से भाग देने पर

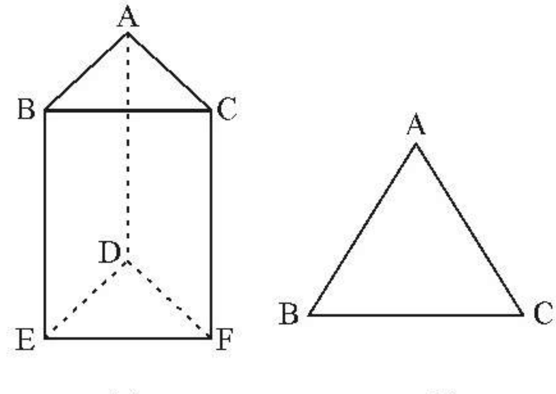
$$\frac{f'}{30} = \frac{0.50}{0.1278} = 3.912$$

$$\therefore \quad f' = 3.912 \times 30 = 117.36\,\text{cm}$$

11.8 प्रिज्म (Prism)

किसी समाँगी पारदर्शी माध्यम के उस आकृति को प्रिज्म कहते हैं जो किसी कोण पर झुके हुए दो समतल पृष्ठों से घिरा होता है। इन पृष्ठों को अपवर्तक पृष्ठ (refracting surfaces) तथा इनके बीच के कोण को प्रिज्म कोण (prism angle) या अपवर्तक कोण (refracting angle) कहते हैं। दोनों अपवर्तक पृष्ठों के मिलने से बना हुआ कोर अपवर्तक कोर कहलाता है। अपवर्तक पृष्ठों के अभिलम्बवत् किसी तल द्वारा काटे हुए परिच्छेद को प्रिज्म का मुख्य परिच्छेद (principal section) कहते हैं। चित्र 11.21 (अ) में प्रिज्म को प्रदर्शित किया गया है, जिसमें ABED तथा ACFD प्रिज्म के अपवर्तक पृष्ठ हैं। पृष्ठ BCFE प्रिज्म का आधार कहलाता है।

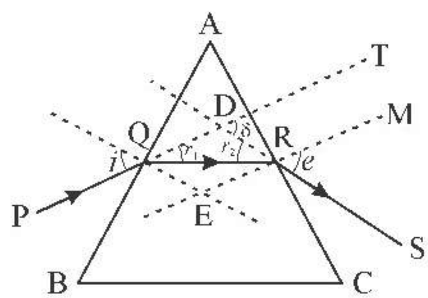
चित्र 11.21 (ब) में ABC प्रिज्म का मुख्य परिच्छेद प्रदर्शित है तथा $\angle BAC$ प्रिज्म कोण है। प्रिज्म त्रिकोणात्मक के अतिरिक्त अन्य आकृति में भी हो सकते है।



चित्र 11.21 प्रिज्म

11.8.1 प्रिज्म में अपवर्तन (Refraction in Prism)

चित्र 11.22 में प्रिज्म ABC से प्रकाश के अपवर्तन को दर्शाया है। प्रिज्म की फलक AB पर आपतन कोण i एवं अपवर्तन कोण r_1 है, द्वितीय फलक AC पर आपतन कोण r_2 व निर्गत कोण e है। आपतित किरण PQ एवं निर्गत किरण RS के मध्य का कोण विचलन कोण δ कहलाता है।



चित्र 11.22 प्रिज्म द्वारा अपवर्तन

चतुर्भुज Δ QERA में चारों कोणों का योग

$$A + \angle AQE + \angle QER + \angle ERA = 360^\circ$$

लेकिन $\angle AQE + \angle ERA = 180^\circ$ (क्योंकि प्रत्येक 90° है)

$$\therefore \quad A + \angle QER = 180^\circ \qquad \ldots(11.38\text{अ})$$

लेकिन Δ QER में,

$$r_1 + r_2 + \angle QER = 180^\circ \qquad \ldots(11.38\text{ब})$$

अतः समीकरण 11.38अ तथा 11.38ब से

$$A = r_1 + r_2 \qquad \ldots(11.39)$$

अब Δ QDR में

$$\delta = \angle DQR + \angle DRQ$$

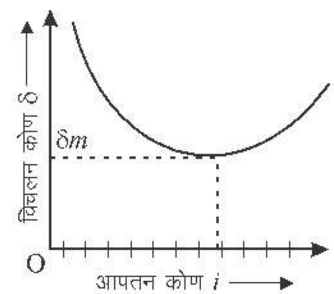
या $\delta = (i - r_1) + (e - r_2)$

$= (i + e) - (r_1 + r_2)$

समीकरण 11.39 का उपयोग करने पर

$$\delta = i + e - A \qquad \ldots(11.40)$$

समीकरण 11.40 से स्पष्ट है कि विचलन कोण का मान आपतन कोण पर निर्भर करता है। आपतन कोण के मान परिवर्तन करने पर विचलन कोण में परिवर्तन ग्राफ चित्र 11.23 जैसा प्राप्त होता है।



चित्र 11.23 त्रिभुजाकर प्रिज्म के लिए विचलन कोण में आपतन कोण के साथ परिवर्तन

ग्राफ के अध्ययन से यह स्पष्ट है कि प्रिज्म के लिये उसके न्यूनतम विचलन कोण के लिये आपतन कोण का केवल एक ही मान हो सकता हैं अर्थात् केवल एक ही विशेष आपतन कोण के लिये प्रिज्म न्यूनतम विचलन उत्पन्न करता है। न्यूनतम विचलन की स्थिति में vkiru dksk i तथा निर्गत कोण e बराबर होते हैं अर्थात् $i = e$

अतः न्यूनतम विचलन की स्थिति में $\delta = \delta_m$ एवं $i = e$ तब

चूंकि अपवर्तित किरण QR प्रिज्म तल BC के समान्तर है।

$$r_1 = r_2 = \frac{A}{2}$$

अतः न्यूनतम विचलन अवस्था में समीकरण 11.40 से

$$\delta_m = 2i - A$$

या $$i = \frac{A + \delta_m}{2}$$

यदि n प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक है तो स्नैल के नियमानुसार

$$n = \frac{\sin\left(\frac{A + \delta_m}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}} \qquad \ldots(11.41)$$

समीकरण 11.41 प्रिज्म के पदार्थ के अपवर्तनांक का सूत्र होता है। इस सूत्र से यदि प्रिज्म का कोण (A) तथ न्यूनतम विचलन (δ_m) का मान ज्ञात हो तो प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक निकाला जा सकता है।

जब प्रिज्म पतला हो (अर्थात् इसका प्रिज्म कोण A, 5° या इससे कम हो) तो δ_m का मान भी छोटा होगा तब अल्प कोण सन्निकट में $(\sin\theta \approx \theta)$

$$n = \left(\frac{\frac{A + \delta_m}{2}}{A/2}\right) = \frac{(A + \delta_m)}{A}$$

या $$\delta_m = (\mu - 1)A \qquad \ldots(11.42)$$

समीकरण 11.42 से यह ज्ञात होता है कि पतले प्रिज्म द्वारा उत्पन्न विचलन का मान केवल प्रिज्म के पदार्थ के अपवर्तनांक (n) तथा प्रिज्म कोण (A) पर निर्भर करता है। यह आपतन कोण पर निर्भर नहीं करता है।

उदाहरण 11.19 $n = \sqrt{3}$ वाले काँच के प्रिज्म का न्यूनतम विचलन कोण इसके अपवर्तक कोण के बराबर है प्रिज्म का कोण होगा।

हलः प्रश्नानुसार, $A = \delta_m$ तथा $n = \sqrt{3}$

$$\therefore \quad n = \frac{\sin\left[\frac{A + \delta_m}{2}\right]}{\sin\frac{A}{2}} = \frac{\sin\left(\frac{A + A}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}$$

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

या $$\sqrt{3} = 2\cos\frac{A}{2} \Rightarrow \cos\frac{A}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\therefore \quad \frac{A}{2} = 30^\circ \text{ या } A = 60^\circ$$

उदाहरण 11.20 एक छोटे कोण A के प्रिज्म के एक पृष्ठ पर प्रकाश आपतन कोण i पर आपतित होता है तथा इसके विपरीत पृष्ठ से अभिलम्बवत निर्गत होता है यदि प्रिज्म के पदार्थ का अपतर्वनांक n, है तो आपतन कोण का मान ज्ञात करो।

हलः चूंकि विपरीत पृष्ठ से किरण अभिलम्बवत् निर्गत है, यह तभी होगा जब किरण इस पृष्ठ पर अभिलम्बवत् आपतित हो अर्थात् $r_2 = 0$

$$\because \quad r_1 + r_2 = A \qquad \therefore \quad r_1 = A$$

साथ ही स्नैल के नियम से $n = \frac{\sin i}{\sin r_1} = \frac{i}{r_1}$ (लघु कोणों हेतु)

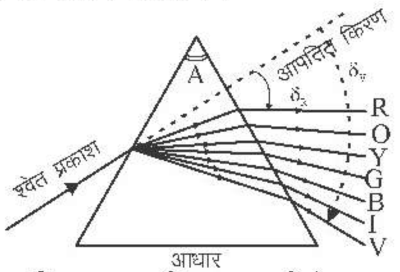
$$\therefore \quad i = nr_1 = nA$$

11.8.2 प्रकाश का विक्षेपण (Dispersion of Light)

प्रकाश के अपने अवयवी रंगों में विभक्त होने की घटना को विक्षेपण कहते हैं।

हम पढ़ चुके हैं कि किसी पदार्थ का अपवर्तनांक आपतित प्रकाश के तरंग दैर्ध्य पर भी निर्भर करता है अर्थात् भिन्न–भिन्न तरंग दैर्ध्य के लिए अपवर्तनाक का मान भिन्न–भिन्न होता है।

किसी पदार्थ का अपवर्तनांक बैंगनी रंग के लिए (n_V) अधिकतम तथा लाल रंग के लिए (n_R) न्यूनतम होता है। अतः प्रिज्म से गुजरने पर बैंगनी रंग की किरण का विचलन अधिकतम तथा लाल रंग की किरण का न्यूनतम होगा, शेष रंग इनके बीच में भिन्न–भिन्न कोणों पर विचलित होते हैं। इस प्रकार प्रिज्म से जब सफेद प्रकाश गुजरता है तो वर्ण विक्षेपण होता है।



चित्र 11.24 प्रिज्म द्वारा विक्षेपण

स्पष्ट है कि इस वर्ण–विक्षेपण का कारण प्रिज्म द्वारा भिन्न–भिन्न रंगों का भिन्न–भिन्न कोणों पर होने वाला विचलन है। जिसका कारण प्रिज्म के पदार्थ के अपवर्तनांक का मान भिन्न–भिन्न रंगों के लिए भिन्न–भिन्न होता है। प्रयोगों से यह ज्ञात होता है कि प्रिज्म से निर्गत प्रकाश में असंख्य रंगों का सतत परिवर्तन (continuous variation of colours) होता है। इस निर्गत प्रकाश में प्रिज्म के आधार से आपतित किरण की ओर चलने पर सामान्यतः तरंग दैर्ध्य के बढ़ते क्रम में, रंगों का क्रम बैंगनी, जामुनी, नीला, हरा, पीला, नारंगी तथा लाल [VIBGYOR–Violet, Indigo, Blue, Green, Yellow, Orange and Red] दिखाई देता है।, प्रिज्म से निर्गत प्रकाश में रंगों के इस व्यवस्थित प्रतिरूप (pattern) को स्पेक्ट्रम कहते हैं।

यदि δ_v तथा δ_R क्रमशः बैंगनी व लाल रंग का विचलन कोण तथा n_V तथा n_R क्रमशः बैंगनी तथा लाल प्रकाश के लिए प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक है तो बैंगनी रंग के कोणीय विचलन एवं लाल रंग के कोणीय विचलन का अन्तर कोणीय विक्षेपण कहलाता है। अर्थात्

$$\theta = \delta_v - \delta_R \qquad \ldots(11.43)$$

कोणीय विक्षेपण तथा मध्य किरण (पीले रंग की किरण) के विचलन के अनुपात को प्रिज्म के पदार्थ की वर्ण–विक्षेपण क्षमता कहते हैं। प्रायः इसे ω से प्रदर्शित करते हैं। $(n = n_y)$

$$\therefore \quad \omega = \frac{\theta}{\delta_Y} = \frac{\delta_V - \delta_R}{\delta_Y} = \frac{n_v - n_r}{n-1} \qquad \ldots(11.44)$$

उदाहरण 11.21 एक प्रिज्म के पदार्थ का लाल रंग के लिये vi orZkd 1.58 तथा नीले रंग के लिये अपवर्तनांक 1.60 है। यदि प्रिज्म कोण 2° हो तो दोनों रंगों का विचलन तथा प्रिज्म द्वारा उत्पन्न कोणीय विक्षेपण ज्ञात कीजिये।

हल: प्रश्नानुसार, $n_R = 1.58$, $n_B = 1.60$ तथा $A = 2^\circ$

लाल रंग के लिये विचलन

$$\delta_R = (n_R - 1)A = (1.58 - 1) \times 2 = 1.16^\circ$$

नीले रंग के लिये विचलन

$$\delta_B = (n_B - 1)A = (1.60 - 1) \times 2^\circ = 1.20^\circ$$

अतः प्रिज्म द्वारा उत्पन्न कोणीय विक्षेपण

$$\theta = (\delta_B - \delta_R) = (1.20 - 1.16) = 0.04^\circ$$

उदाहरण 11.22 लाल तथा बैंगनी रंग की प्रकाश किरणों के लिये क्रॉऊन काँच का अपवर्तनांक क्रमशः 1.514 तथा 1.523 है। क्रॉऊन काँच से बने 6° कोण वाले प्रिज्म द्वारा उत्पन्न कोणीय विक्षेपण ज्ञात कीजिये।

हल: प्रश्नानुसार, $n_R = 1.514,\ n_v = 1.523$ तथा $A = 6^\circ$

प्रिज्म द्वारा उत्पन्न कोणीय विक्षेपण

$$\theta = (n_v - n_R)A$$

$$= (1.523 - 1.514) \times 6^\circ = 0.009 \times 6^\circ = 0.054^\circ$$

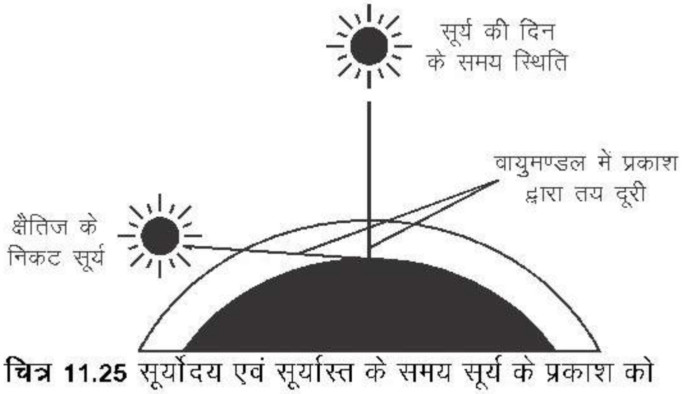
11.9 प्रकाश का प्रकीर्णन (Scattering of Light)

जब प्रकाश पुंज वायुमंडल के कणों (गैस कणों) पर आपतित होता है तो यह निश्चित दिशा में परावर्तित न होकर विभिन्न दिशाओं में विसरित हो जाता है। इस परिघटना को प्रकीर्णन कहते है। प्रकीर्णन प्रक्रम में मूलतः माध्यम के अणु प्रकाश को अवशोषित कर लेते हैं तथा बाद में विभिन्न दिशाओं में पुनः विसरित करते हैं। प्रकीर्णन की तीव्रता प्रकाश की तरंगदैर्ध्य के साथ–साथ प्रकीर्णन करने वाले कणों के आकार पर भी निर्भर करती है। यदि ये कण तरंगदैर्ध्य से छोटे आकार के है तो प्रकीर्णन $1/\lambda^4$ के समानुपाती है। यह रैले का प्रकीर्णन नियम है। अतः लाल प्रकाश का प्रकीर्णन न्यूनतम एवं बैंगनी का अधिकतम होता है।

11.9.1 प्रकीर्णन पर आधारित कुछ घटनायें (Phenomenon Related to Scattering)

(i) आकाश का नीला दिखाई देना (Blue Appearance of Sky): आकाश का नीला दिखाई देना वायुमण्डल द्वारा प्रकाश के प्रकीर्णन के कारण है। हम आकाश को देखते हैं, यह प्रकीर्णित प्रकाश ही है जो हमारी आँखों में प्रवेश करता है। सूर्य के प्रकाश में उपस्थित लघु तरंग दैर्ध्यों में नीले रंग का अनुपात अधिक होता है। लघु तरंग दैर्ध्यों का प्रकाश का वायु अणुओं द्वारा प्रबलता से प्रकीर्णित होता है तथा प्रेक्षक तक पहुँचता है। यही आकाश के नीले रंग का होने का कारण है। यदि पृथ्वी पर वायुमण्डल नहीं होता तो आकाश काला नजर आता तथा दिन में भी तारे देखे जा सकते थे।

(ii) सूर्य का सूर्योदय तथा सूर्योस्त के समय लाल दिखाई देना (The Red Appearance of Sun at the Sunset and at the Sunrise): सूर्य का सूर्योदय तथा सूर्योस्त के समय लाल दिखाई देना भी प्रकाश के प्रकीर्णन से ही संबंधित है। इन समयों पर सूर्य के प्रकाश को चित्र 11.25 में दर्शाए अनुसार वायुमण्डल में काफी दूरी तय करनी होती हैं नीले एवं इसके पास की तरंग दैर्ध्य के प्रकाश राह में प्रकीर्णित हो जाते हैं तथा प्रेक्षक तक पहुँचने वाला प्रकाश मुख्यतः लाल होता है।



चित्र 11.25 सूर्योदय एवं सूर्यास्त के समय सूर्य के प्रकाश को वायुमण्डल में लम्बी दूरी तय करनी होती है।

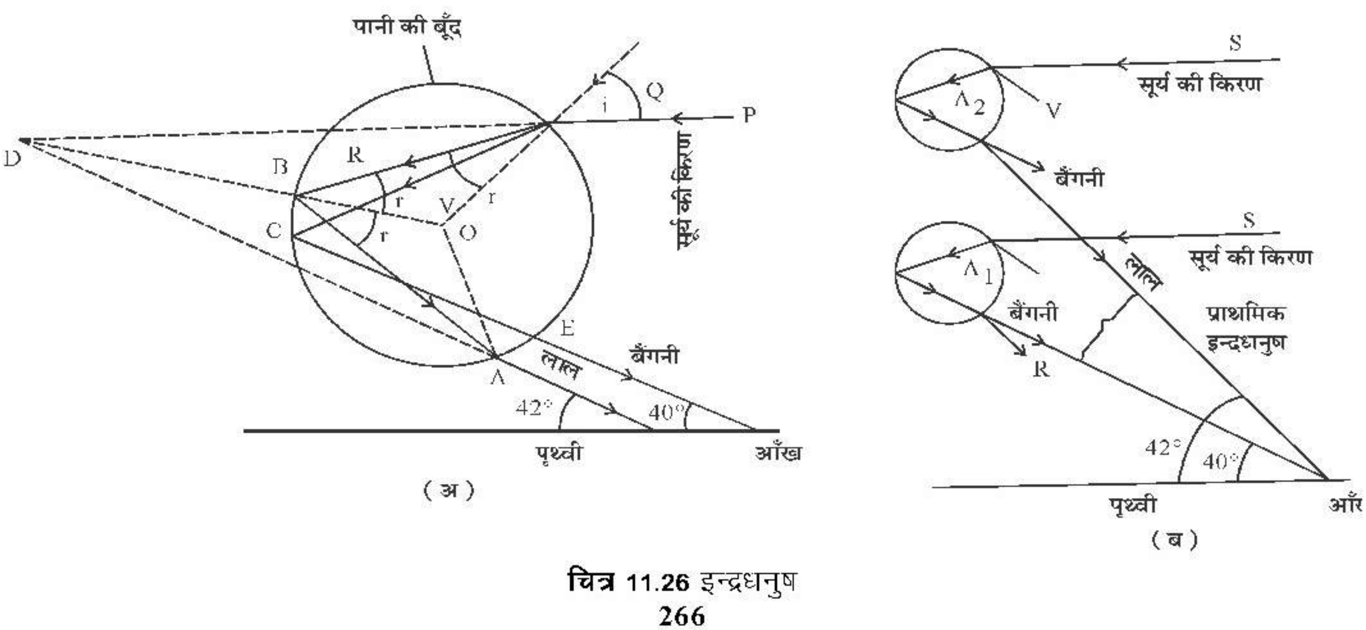
(iii) लाल संकेत (Red Signals): लाल संकेतों का प्रयोग खतरे को दर्शाने के लिए किया जाता है। क्योंकि ऐसे संकेत प्रकीर्णन से यथेष्ठ हानि के बिना लम्बी दूरी तय करता है।

(iv) श्वेत बादल (White Clouds): बादलों में उपस्थित बड़े कण जैसे धूल या जल बूँदे आकार में प्रकाश की तरंग दैर्ध्य से बड़े होते हैं तथा लगभग सभी तरंग दैर्ध्य का एक समान प्रकीर्णन करते हैं अतः बड़ी जल बूदों से युक्त बादल सामान्यतः सफेद होते हैं।

11.10 इन्द्र धनुष (Rainbow)

वायुमण्डल में जल की बूँदों की उपस्थिति में सूर्य का प्रकाश देखने पर स्पेक्ट्रम के सात रंगों वाली संकेन्द्री चापों से बनी एक आकृति आकाश में दिखाई देती है जिसका सर्वनिष्ठ केन्द्र सूर्य तथा प्रेक्षक को मिलाने वाली रेखा पर होता है। इन रंगीन चापों से बनी आकृति को इन्द्रधनुष कहते हैं। प्रायः इन्द्र धनुष दो प्रकार के दिखाई पड़ते हैं। जब इन्द्र धनुष में रंगों का क्रम प्रिज्म से प्राप्त स्पेक्ट्रम के क्रम में अर्थात् लाल से बैंगनी की ओर होता है तो यह इन्द्रधनुष प्राथमिक इन्द्र धनुष (primary rainbow) कहलाता है। कभी–कभी इस इन्द्र धनुष के निकट एक अन्य इन्द्र धनुष दिखाई देता है जिसका वर्ण क्रम इस क्रम के विपरीत अर्थात् बैंगनी से लाल होता है। इस इन्द्रधनुष को द्वितीयक इन्द्रधनुष (secondary rainbow) कहते हैं। प्राथमिक इन्द्र धनुष द्वितीयक इन्द्रधनुष की तुलना में अधिक चमकीला तथा अधिक संकीर्ण होता है। चित्र 11.26 में इन्द्र धनुष को प्रदर्शित किया गया है।

इन्द्र धनुष सूर्य के प्रकाश का पानी की बूँदों से अपवर्तन, वर्ण विक्षेपण तथा पूर्ण आन्तरिक परावर्तन की घटना के कारण बनता है। जब सूर्य से आने वाली समान्तर प्रकाश किरणें पानी की गोलीय बूँदों पर आपतित होती है तो वर्षा की बूँदों से प्रकाश किरणों के अपवर्तन तथा पूर्ण आन्तरिक परावर्तन से वर्ण विक्षेपण उत्पन्न होता हैं (चित्र 11.26)। वर्षा की बूँदों से भिन्न–भिन्न रंगों वाली प्रकाश किरणें भिन्न–भिन्न दिशाओं में निकलती हैं। अधिकांश रंगीन प्रकाश किरणें न्यूनतम विचलन की दिशा में निकलती हैं तथा इस दिशा में रंग की तीव्रता अधिक होती है। वर्षा की बूँदों से निकलने वाली ये किरणें पृथ्वी से 40° से 42° के बीच पहुँचती है। एक वर्षा की बूँद से न्यूनतम विचलन की दिशा में केवल एक ही रंग की किरण निकलती हुई दिखाई है। अतः सभी रंगों को एक साथ देखने के लिये अनेक बूँदों की आवश्यकता होती है चित्र 11.26ब दृष्टों को विशिष्ट रंग अपूर्ण वृत्त के चाप के रूप के रूप में दिखाई देते हैं। जिनका शंकु केन्द्र आँख होती है। इनमें बैंगनी चाप अन्दर की ओर तथा लाल चाप बाहर की ओर होती है। अन्य रंगों के चापें इनके बीच में दिखाई देती हैं। इस प्रकार सभी रंग मिलकर 2° कोणीय चौड़ाई की चाप बनाते हैं यही इन्द्रधनुष कहलाता है।



चित्र 11.26 इन्द्रधनुष

11.11 प्रकाशिक यंत्र (Optical Instruments)

11.11.1 मानव नेत्र (Human Eye)

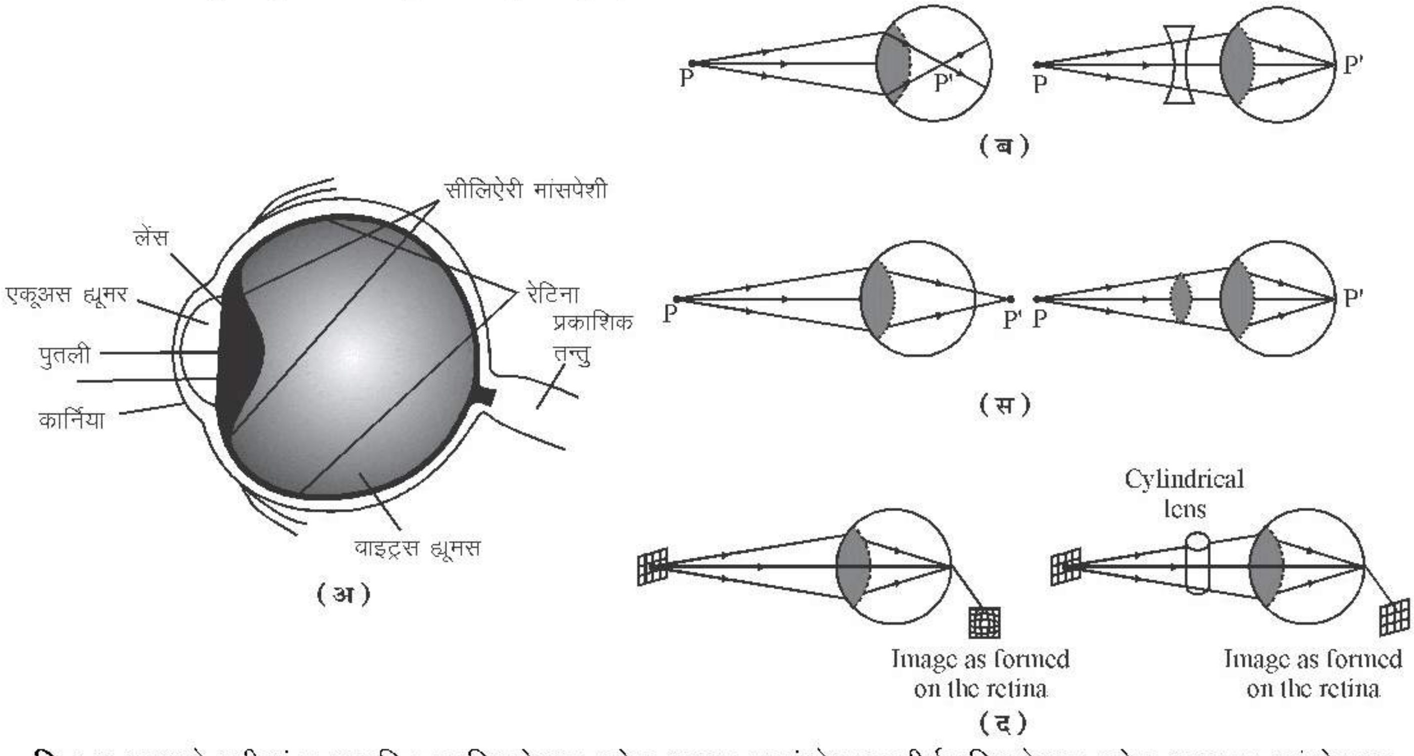
हमारे नेत्र की आकृति लगभग गोलाकार है, चित्र 11.27 (अ) में दर्शाये अनुसार मानव नेत्र के आगे का भाग अधिक तीव्र वक्राकार (more sharply curved) होता है, जो एक पारदर्शक परत (layer) से ढका रहता है। इस परत को कॉर्निया (cornea) कहते हैं। इस परत के बाद एक द्रव, जिसे एक्यूअस ह्यूमर (aqueous humour) कहते हैं, भरा रहता है और उसके बाद प्राकृतिक उत्तल लेंस होता है, जिसका बीच का भाग कठोर तथा बाहरी किनारे नर्म होते हैं। लेंस के बाद भी एक द्रव होता है, जिसे वाइट्रस ह्यूमर (vitreous humour) कहते हैं। इन दोनों द्रवों के अपवर्तनांक लगभग समान ($\mu = 1.336$) होते हैं। इस गोले के पिछले भाग में रेटिना (retina) स्थित होती है। लेंस से जुड़ी मांसपेशी (muscle), जिन्हें सीलिऐरी मांसपेशी (ciliary muscle) कहते हैं, लेंस के वक्र पृष्ठों की वक्रता त्रिज्या को बदलकर, लेंस की फोकस दूरी आवश्यकतानुसार बदलती रहती है। नेत्र का यह गुण समंजन क्षमता कहलाता है जब प्रकाश वायु से आँख में प्रवेश करता है, तो अधिकतर अपवर्तन कॉर्निया पर तथा थोड़ा अपवर्तन लेंस पर होकर, प्रकाश–किरण साधारणतः रेटिना पर फोकस होती है तभी हमें वस्तु स्पष्ट दिखाई देती है।

किसी वस्तु को स्पष्ट देखने के लिए, आँख से वस्तु की एक न्यूनतम दूरी होती है। वस्तु की स्थिति के इस निकटतम बिन्दु को, जिस पर स्थिति किसी वस्तु का आँख द्वारा प्रतिबिम्ब रेटिना पर फोकस होता है, आँख का निकट बिन्दु (near point) कहते हैं, आँख से इस निकट बिन्दु की दूरी को स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी (least distance of distinct/clear vision) कहते हैं, प्रायः इसे D से प्रदर्शित करते हैं सामान्य व्यक्ति के लिए इसका मान 25 cm होता है। इसका मान व्यक्ति तथा आयु के अनुसार बदलता है। दस वर्ष से कम आयु वाले बच्चे की मांसपेशियाँ मजबूत तथा लचीली होने के कारण अधिक तनाव सहन कर सकती हैं इसलिए इस आयु पर D का मान 7-8 सेमी हो सकता है। वृद्धावस्था में मांसपेशियों के क्षीण हो जाने के कारण ये अधिक तनाव सहन नहीं कर सकती हैं, तब D का मान 1 मीटर अथवा 2 मीटर अथवा ओर अधिक हो जाता है।

जब वस्तु निकट बिन्दु पर रखी जाती है तो नेत्र पर अधिकतम कोण अंतरित होता है निकट बिन्दु पर स्थित वस्तु को देखने में आँख पर जोर पड़ता है। जबकि वस्तु अनंत पर स्थित है तब दृष्टिपटल पर अन्तिम प्रतिबिम्ब को फोकस करने में नेत्र अल्पतम संकुचित होते हैं। यह परिस्थिति सामान्य समंजन कहलाती है।

नेत्र के कुछ सामान्य प्रकाशिक विकार (दोष) इस प्रकार है

(i) जरादृष्टि दोष (Presbyopia): आयु में वृद्धि के साथ पक्ष्माभी पेशियाँ उतनी प्रभावकारी नहीं रह जाती तथा लैंस का लचीलापन भी कम हो जाता है 60 वर्ष की आयु तक पहुँचने पर नेत्र का निकट बिन्दु लगभग 200 cm तक पहुँच जाता है। अतः यदि कोई अधिक आयु का व्यक्ति पुस्तक को 25 cm दूरी रख कर पढ़ना चाहे तो उसे प्रतिबिम्ब धुंधला दिखाई देता है। यह अवस्था जरादृष्टि दोष (presbyopia) कहलाती है तथा पढ़ने के लिए इसे अभिसारी लेंस का प्रयोग करके दूर किया जाता है।



चित्र 11.27 अ नेत्र की संरचना **ब** निकट दृष्टि दोष युक्त नेत्र तथा इनका संशोधन **स** दीर्घ दृष्टि दोष युक्त नेत्र तथा इसका संशोधन **द** अबिन्दुक नेत्र तथा संशोधन

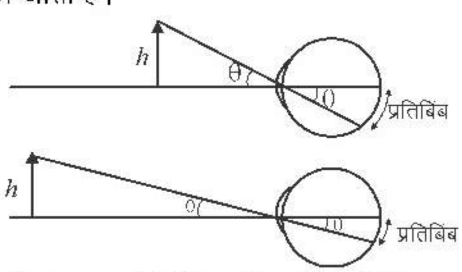
(ii) निकट दृष्टि दोष (Near Sightedness or Myopia): इस दोष से पीड़ित व्यक्ति दूरस्थ वस्तुओं को ठीक से नहीं देख सकता है। इसका कारण यह है कि दूर से आने वाले प्रकाश को नेत्र दृष्टिपटल से पहले ही किसी बिन्दु पर अभिसारित कर देता हैं अर्थात् नेत्र आपतित पुंज को अत्यधिक अभिसारित कर रहा है। इसे दूर करने के लिए हम नेत्र एवं वस्तु के मध्य कोई ऐसा अवतल लैंस सन्निकट करते हैं जिसके अपसारी प्रभाव से प्रतिबिम्ब दृष्टिपटल पर सही फोकस हो जाता है। (चित्र 11.27ब)

(iii) दीर्घ दृष्टि दोष (Far Sigtedness or (Hypermetropia): इस प्रकार के दोष से पीड़ित मनुष्य नेत्र के निकट स्थित वस्तुओं को ठीक से नहीं देख सकता। इस प्रकरण में नेत्र किसी वस्तु के प्रतिबिम्ब को दृष्टिपटल के पीछे किसी बिन्दु पर फोकसित करता हैं। इस दोष को दूर करने के लिए अभिसारी लैंस की आवश्यकता होती है। (चित्र 11.27स)

(iv) अबिन्दुकता (Astigmatism): इस प्रकार के दोष में नेत्र लैंस की वक्रता भिन्न–भिन्न तलों के लिए भिन्न होती है। ऐसा व्यक्ति सभी दिशाओं में एक जैसा नहीं देख सकता चित्र 11.27द में दृष्टि रेखा के लम्बवत् तल में एक दिशा विशेष में बहुत साफ नजर आता है जबकि इसके लम्बवत् दिशा में नहीं। इस दोष को बेलनाकार लैंस के उपयोग से दूर करते हैं। इस लेंस की वक्रता त्रिज्या तथा अक्ष दिशा का उचित चयन करके इस दोष को संशोधित करते हैं। यह दोष निकट दृष्टिदोष अथवा दीर्घ दृष्टि के साथ–साथ हो सकता है।

11.11.1.1 आभासी आकार (Apparent Size):

हमारे द्वारा अनुभव किसी वस्तु का आकार दृष्टिपटल पर बनने वाले प्रतिबिम्ब के आकार से सम्बन्धित है जैसा चित्र 11.28 में दर्शाया गया है। दृष्टिपटल पर प्रतिबिम्ब का आकर मोटे तौर पर वस्तु द्वारा नेत्र पर अंतरित कोण पर निर्भर करता है। यह कोण दृष्टि का कोण (visual angle) या दर्शन कोण कहलाता है चित्र 11.28अ में वस्तु का आकार चित्र 11.28ब की तुलना में अधिक प्रतीत होता है। प्रकाशिक यंत्रों की सहायता से दृष्टि के कोण को कृत्रिम रूप से बढ़ाया जाकर स्पष्टता में वृद्धि की जाती है।



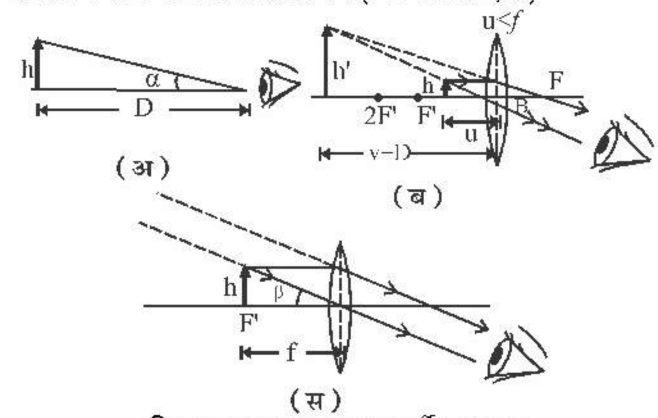
चित्र 11.28 किसी वस्तु का आभासी आकार

11.11.2 सूक्ष्मदर्शी (Microscope)

किसी सूक्ष्म वस्तु द्वारा आँख पर बनने वाला दर्शन कोण छोटा होता है। जिससे वस्तु हमें स्पष्ट दिखाई नहीं देती है। यदि उस वस्तु का प्रतिबिम्ब किसी प्रकाशीय उपकरण की सहायता से बड़ा बना दिया जाये तो उसके द्वारा बने दर्शन कोण में वृद्धि हो जाती है तथा वस्तु आकार में बड़ी एवं स्पष्ट दिखाई पड़ने लगती है। वह प्रकाशीय उपकरण जो वस्तु के प्रतिबिम्ब को बड़ा बना देता है, उसे सूक्ष्मदर्शी कहते है।

11.11.2.1 सरल सूक्ष्मदर्शी (Simple Microscope):

इसे आवर्धक लेंस (magnifying lens) अथवा केवल आवर्धक (magnifier) भी कहते हैं। यह एक कम फोकस दूरी का उत्तल लेंस होता है। इसमें वस्तु को लेंस के प्रथम फोकस तथा प्रकाशिक केन्द्र के बीच रखा जाता है एवं आँख भी लेंस के पास ही रखते हैं। इसके द्वारा बना प्रतिबिम्ब सीधा, आभासी बड़ा तथा लेंस के बायीं ओर वस्तु तथा अनन्त के बीच स्थित होता है। (चित्र 11.29 ब, स)



चित्र 11.29 सरल सूक्ष्मदर्शी व्यवस्था

$$\text{आवर्धन क्षमता, } M = \frac{\text{लेन्स से बने प्रतिबिम्ब द्वारा आँख पर बना दर्शन कोण}}{\text{वस्तु द्वारा आँख पर बना अधिकतम दर्शन कोण}} = \frac{\beta}{\alpha}$$

चित्र 11.29 ब तथा अ से स्पष्ट है कि

$$\beta = \frac{h'}{v} = \frac{h}{u} \text{ तथा } \alpha = \frac{h}{D},$$

क्योंकि वस्तु की आँख से न्यूनतम दूरी D होती है।

$$\therefore \quad M = \frac{h/u}{h/D} = \frac{D}{u}$$

प्रायः इसमें निम्न दो स्थितियाँ होती हैं–

(i) यदि प्रतिबिम्ब D दूरी पर हो (स्वस्थ आँख का निकट बिन्दु) (चित्र 11.29ब) तब $v = -D$ तथा $u = -u$

अतः लेंस सूत्र $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ से

$$\frac{1}{-D} - \frac{1}{-u} = \frac{1}{f} \text{ अथवा } -1 + \frac{D}{u} = \frac{D}{f}$$

$$\text{अथवा } \frac{D}{u} = 1 + \frac{D}{f}$$

$$\therefore \quad M = \frac{D}{u} = 1 + \frac{D}{f} \qquad \ldots(11.46)$$

इस स्थिति में v का मान (D) न्यूनतम है, अतः u का मान भी न्यूनतम होता है। क्योंकि इसमें u सदैव v से कम होता है, अतः M का मान अधिकतम है। प्रतिबिम्ब आँख के निकटतम (nearest) है, अतः आँख अधिकतम तनाव की स्थिति में होती।

(ii) यदि प्रतिबिम्ब अनन्त पर हो (स्वस्थ आँख का दूर बिन्दु), (चित्र 11.29 स) इस स्थिति में $v = -\infty$,

अतः $$\frac{1}{-\infty} - \frac{1}{-u} = \frac{1}{f}$$

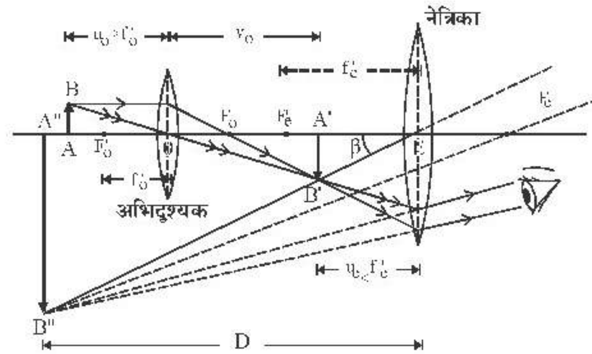
अथवा $u = f$, अतः $M = \frac{D}{u} = \frac{D}{f}$ ...(1147)

इस स्थिति में u का मान f (अधिकतम) होने के कारण M का मान न्यूनतम होता है। आँख में समांतर किरणें प्रवेश करती हैं। अतः आँख पर तनाव नहीं होता है, इसे आँख की सामान्य, श्रांत अथवा तनावहीन (normal, relaxed or unstrained) स्थिति कहते हैं (चित्र 11.29स)

11.11.2.2 संयुक्त सूक्ष्मदर्शी (Compound Microscope):

वास्तविक सरल सूक्ष्मदर्शी का आवर्धन कम (≤ 10) होता है। अतः अधिक आवर्धन के लिए दो लेंस का उपयोग करते है जिससे दो लेंसों के संयुक्त प्रभाव से आवर्धन बढ़ता है। इसे संयुक्त सूक्ष्मदर्शी कहते हैं। इसमें कम फोकस दूरी तथा कम द्वारक वाले दो समाक्ष (coaxial) अवर्णक उत्तल लेंस होते हैं। वस्तु की ओर वाले लेंस को अभिदृश्यक (objective) अथवा क्षेत्र लेंस कहते हैं, माना इसकी फोकस दूरी f_0 है। दूसरा लेंस आँख की ओर होता है, इसे नेत्रिका अथवा चाक्षुष (eye-piece or ocular) कहते हैं, माना इसकी फोकस दूरी f_e है। अभिदृश्यक का द्वारक तथा फोकस दूरी, नेत्रिका के द्वारक तथा फोकस दूरी की अपेक्षा कम होती है। अभिदृश्यक का द्वारक इसलिए कम रखते हैं क्योंकि इसमें प्रकाश बहुत सूक्ष्म वस्तु से आता है। दोनों लेंसों के द्वारक कम होने के कारण इनसे बने प्रतिबिम्ब में गोलीय विपथन नहीं होता है। इनकी फोकस दूरियों के कम होने के कारण सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता बढ़ जाती है।

प्रतिबिम्ब का बनना (किरण पथ)– चित्र 11.30 से संयुक्त सूक्ष्मदर्शी का व्यवस्था आरेख प्रदर्शित किया है इसमें वस्तु AB, अभिदृश्यक के सामने F'_0 तथा $2F'_0$ के बीच रखी है अर्थात् $u_0 > f'_0 (\approx f_0)$ (चित्र 11.30)। अभिदृश्यक लेंस वस्तु AB का वास्तविक, उल्टा तथा बड़ा प्रतिबिम्ब A'B' अपने दूसरी ओर 2F तथा अनन्त के बीच v_0 दूरी पर बनाता है। यह प्रतिबिम्ब A'B', नेत्रिका के लिए काल्पनिक वस्तु की भाँति व्यवहार करता है और सदैव नेत्रिका तथा इसके प्रथम फोकस के बीच स्थित होता है $[u_e < f'_e (\approx f_e)]$। अतः नेत्रिका द्वारा A'B' का बना प्रतिबिम्ब A"B", आभासी, सीधा (A'B' के सापेक्ष) तथा बड़ा होता है। अतः वस्तु AB के सापेक्ष अन्तिम प्रतिबिम्ब, उल्टा आभासी तथा बड़ा होता हैं प्रतिबिम्ब A"B" नेत्रिका के बायीं ओर आँख से D तथा अनन्त तक के बीच की दूरी में, कहीं भी स्थित हो सकता चित्र 11.30 में प्रतिबिम्ब का बनना स्पष्ट रूप से प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 11.30 संयुक्त सुक्ष्मदर्शी

आवर्धन क्षमता (Magnifying Power) – संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता (कोणीय आवर्धन)

$$M = \frac{\text{अन्तिम प्रतिबिम्ब A"B" द्वारा आँख पर बना दर्शन कोण}}{\text{वस्तु द्वारा आँख पर बना अधिकतम दर्शन कोण जबकि वस्तु सीधे देखी जा रही हो}} = \frac{\beta}{\alpha}$$

चूँकि आँख नेत्रिका E के समीप है, अतः अन्तिम प्रतिबिम्ब A"B" द्वारा नेत्रिका पर बने कोण β को, A"B" द्वारा आँख पर बना दर्शन कोण मान लेते हैं।

चूँकि वस्तु बहुत छोटी है, अतः α तथा β भी बहुत छोटे होते हैं। तब

$$M = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\tan\beta}{\tan\alpha} [\because \text{कोण छोटा होने पर } \theta \approx \tan\theta]$$

$$= \frac{\frac{A'B'}{EA'}}{\frac{AB}{D}} = \frac{A'B'}{AB}\left(\frac{D}{EA'}\right)$$

$\{\because$ वस्तु द्वारा आँख पर बना अधिकतम दर्शन कोण $\alpha = \frac{AB}{D}\}$

यदि अभिदृश्यक O से वस्तु AB तथा प्रतिबिम्ब A'B' की दूरियाँ क्रमशः u_0 व v_0 हों तथा नेत्रिका में A'B' तथा प्रतिबिम्ब A"B" की दूरियाँ क्रमशः u_e व v_e हों, तो चिन्हों सहित मान रखने पर,

$$M = \frac{v_0}{-u_0}\left(\frac{-D}{-u_e}\right) = -\frac{v_0}{u_0}\left(\frac{D}{u_e}\right) \quad ...(11.48)$$

$[\because \dfrac{A'B'}{AB} = \dfrac{+v_0}{-u_0}, EA' = -u_e$ तथा D ऋणात्मक है।]

प्रायः इसमें निम्न दों स्थितियाँ संभव हैं

(i) जब अन्तिम प्रतिबिम्ब स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी, D (स्वस्थ आँख का निकट बिन्दु) पर बनता हो (चित्र 11.30), अर्थात् $v_e = -D$, अतः नेत्रिका के लिए

$$\frac{1}{-D} - \frac{1}{-u_e} = \frac{1}{f_e}$$

अथवा $$\frac{1}{u_e} = \frac{1}{f_e} + \frac{1}{D}$$

अथवा $$\frac{D}{u_e} = \frac{D}{f_e} + 1$$

तथा $$u_e = \frac{f_e D}{f_e + D}$$

इस मान को समीकरण 11.43 में रखने पर

$$\therefore \quad M = -\frac{v_0}{u_0}\left(1 + \frac{D}{f_e}\right) \qquad \ldots(11.49)$$

(ii) जब अन्तिम प्रतिबिम्ब अनन्त (स्वस्थ आँख का दूर बिन्दु) पर बनता हो, इस स्थिति में $v_e = -\infty$, अतः नेत्रिका के लिए

$$\frac{1}{-\infty} - \frac{1}{-u_e} = \frac{1}{f_e}$$

अतः $u_e = f_e$

[u_e का अधिकतम मान f_e है, अन्यथा $u_e < f_e$]

अतः समीकरण 11.48 से

$$M = -\frac{v_0}{u_0}\left(\frac{D}{f_e}\right) \qquad \ldots(11.50)$$

11.11.3 खगोलीय दूरदर्शी (Astronomical Telescope)

दूरस्थ स्थित वस्तुएँ जैसे वायुयान, ग्रह, तारे इत्यादि आकार में बड़े होते हुए भी हमें छोटे दिखाई पड़ते है क्योंकि उनके द्वारा आँख पर बना दर्शन कोण का मान कम होता है। इन वस्तुओं को बड़ा देखने के लिये हम आँख से इनकी दूरी को कम नहीं कर सकते परन्तु उपर्युक्त लेंसों की सहायता से इनका प्रतिबिम्ब आँख से कम दूरी पर बना सकते हैं जिससे उनके प्रतिबिम्ब द्वारा आँख पर बना दर्शन कोण अधिक होगा अतः वस्तु बड़ी एवं स्पष्ट दिखाई देगी।

11.11.3.1 खगोलीय अपवर्तक दूरदर्शी (Astronomical Refracting Telescope)

इसकी रचना तथा क्रिया चित्र 11.31 में प्रदर्शित है। इसमें दो समाक्ष अवर्णक उत्तल लेंस होते हैं जिनके मुख्य अक्षें संपाती होती हैं।

इसमें धातु की एक लम्बी बेलनाकार नली होती है, जिसके एक सिरे पर अधिक फोकस दूरी (f_0) तथा बड़े द्वारक का अभिदृश्यक लेंस (O) लगा रहता हैं नली के दूसरे सिरे पर एक अन्य छोटी नली होती है, जो दन्तुर–दण्ड–चक्र (रैक–पिनयन) व्यवस्था द्वारा बड़ी नली में आगे–पीछे खिसकाई जा सकती है। इस छोटी नली के बाहरी सिरे पर छोटी फोकस दूरी (f_e) का नेत्रिका / अभिनेत्र लेंस (E) लगा रहता है।

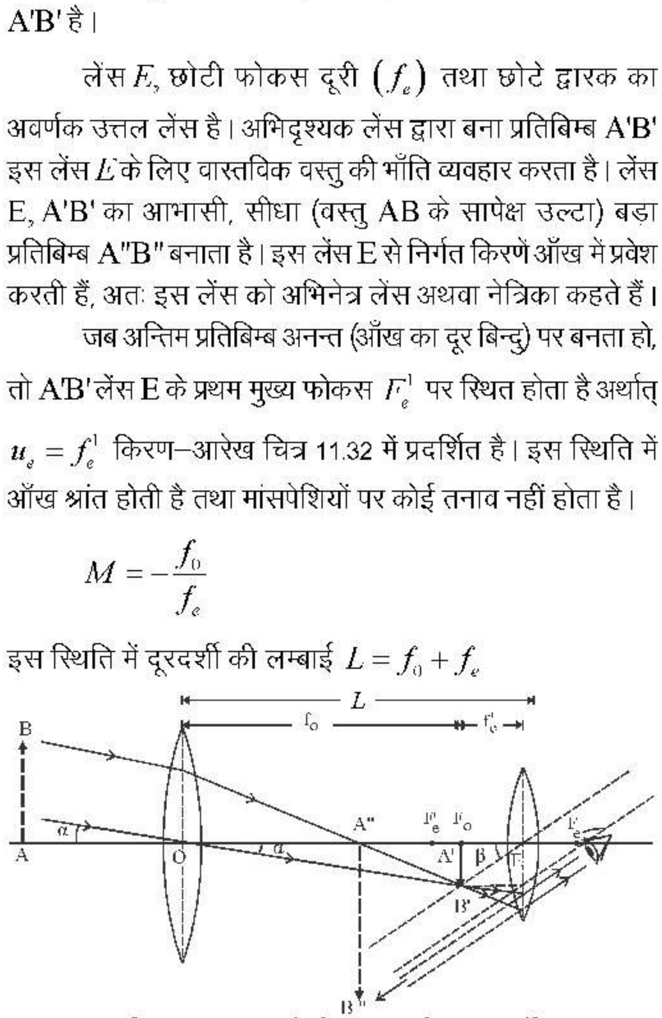
लेंस O, अधिक फोकस दूरी (f_0) तथा बड़े द्वारक का अवर्णक उत्तल लेंस है। बहुत दूर स्थित वस्तु से आने वाली समांतर प्रकाश किरणें इस पर आपतित होती हैं अतः इसे अभिदृश्यक (objective) कहते हैं। यह लेंस समांतर आपतित किरणों का वास्तविक उल्टा तथा छोटा प्रतिबिम्ब अपने द्वितीय फोकस तल में बनाता है। वस्तु AB का अभिदृश्यक द्वारा बना वास्तविक प्रतिबिम्ब A'B' है।

लेंस E, छोटी फोकस दूरी (f_e) तथा छोटे द्वारक का अवर्णक उत्तल लेंस है। अभिदृश्यक लेंस द्वारा बना प्रतिबिम्ब A'B' इस लेंस E के लिए वास्तविक वस्तु की भाँति व्यवहार करता है। लेंस E, A'B' का आभासी, सीधा (वस्तु AB के सापेक्ष उल्टा) बड़ा प्रतिबिम्ब A"B" बनाता है। इस लेंस E से निर्गत किरणें आँख में प्रवेश करती हैं, अतः इस लेंस को अभिनेत्र लेंस अथवा नेत्रिका कहते हैं।

जब अन्तिम प्रतिबिम्ब अनन्त (आँख का दूर बिन्दु) पर बनता हो, तो A'B' लेंस E के प्रथम मुख्य फोकस F_e^1 पर स्थित होता है अर्थात् $u_e = f_e^1$ किरण–आरेख चित्र 11.32 में प्रदर्शित है। इस स्थिति में आँख श्रांत होती है तथा मांसपेशियों पर कोई तनाव नहीं होता है।

$$M = -\frac{f_0}{f_e}$$

इस स्थिति में दूरदर्शी की लम्बाई $L = f_0 + f_e$

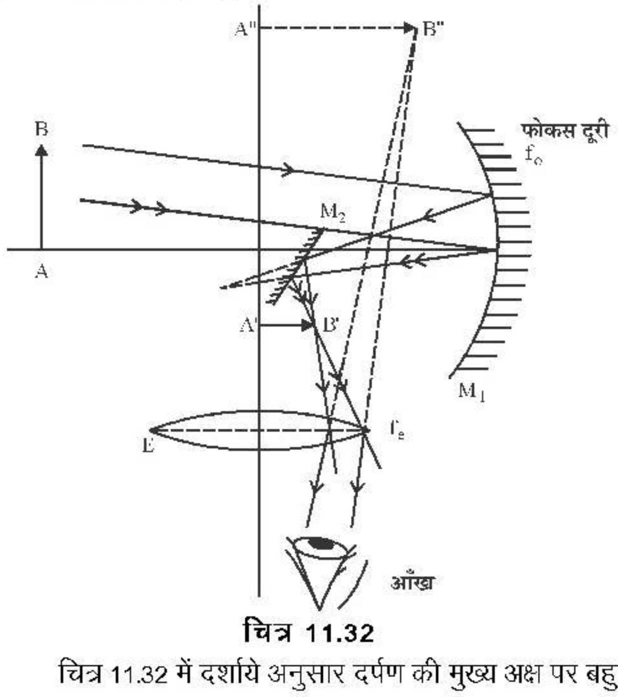


चित्र 11.31 खगोलीय अपवर्तक दूरदर्शी

11.11.3.2 परावर्तक दूरदर्शी (Reflecting type Telescope)

बहुत दूर स्थित वस्तु का चमकीला प्रतिबिम्ब बनाने एवं दूरदर्शी की विभेदन क्षमता बढ़ाने के लिए अपवर्ती दूरदर्शी के अभिदृश्यक का द्वारक बड़ा होना आवश्यक होता है। बड़े द्वारक का अभिदृश्यक न केवल बनाना कठिन होता है वरन् बड़े द्वारक के कारण गोलीय विपथन दोष भी बढ़ जाता है। अपवर्ती दूरदर्शी की इस कमी को दूर करने के लिए परावर्ती दूरदर्शी में बड़ा द्वारक का परलयाकार दर्पण प्रयोग किया जाता है जिससे दूरदर्शी में वर्ण विपथन एवं गोलीय विपथन नहीं होता है।

चित्र 11.32 में दर्शाए अनुसार परावर्ती दूरदर्शी में अभिदृश्यक एक अधिक फोकस दूरी (f_0) व बड़े द्वारक (व्यास D) का अवतल दर्पण M_1 होता है, जो एक चौड़ी नली के सिरे पर लगा होता है। नली के खुले सिरे को बहुत दूर स्थित वस्तु की ओर कर दिया जाता हैं नली में अवतल दर्पण के फोकस से कुछ पहले ही एक छोटा समतल दर्पण M_2 अवतल दर्पण के मुख्य अक्ष से 45° का कोण बनाते हुए रखा होता है। दूरदर्शी नली के पास में एकपतली नली में कम फोकस दूरी व छोटे द्वारक का अवर्णक उत्तल लेंस E लगा होता है, जिसे नेत्रिका कहते हैं।



चित्र 11.32

चित्र 11.32 में दर्शाये अनुसार दर्पण की मुख्य अक्ष पर बहुत दूर स्थित वस्तु से आने वाली समांतर किरणें पहले अवतल दर्पण M_1 पर आपतित होती हैं, जो इन किरणों को परावर्तित करके अपने फोकस पर केन्द्रित करता है। ये किरणें फोकस पर केन्द्रित होने सेपहले समतल दर्पण M_2 पर गिरती हैं। समतल दर्पण इन किरणों को परावर्तित करके वस्तु AB का वास्तविक, उल्टा व छोटा प्रतिबिम्ब $A'B'$ बनाता है। नेत्रिका E, इस प्रतिबिम्ब $A'B'$ का आभासी, सीधा तथा बड़ा प्रतिबिम्ब $A''B''$ बनाता है।

उदाहरण 11.23 राशि की आखों का दूर का बिन्दु 5 m है। राशि की दृष्टि के बारे में नीचे दिया गया कौन सा कथन सत्य है?

(a) वह दीर्घ दृष्टि दोष से पीड़ित है तथा दृष्टि ठीक करने के लिए उसे अभिसारी लेंस चाहिए।

(b) वह निकट दृष्टि दोष से पीड़ित है तथा दृष्टि ठीक करने के लिए उसे अपसारी लेंस चाहिए।

(c) वह निकट दृष्टि दोष से पीड़ित है तथा दृष्टि ठीक करने के लिए उसे अभिसारी लेंस चाहिए।

(d) वह दूर दृष्टि दोष से पीड़ित है तथा दृष्टि ठीक करने के लिए उसे अभिसारी लेंस चाहिए।

हल: सामान्य एवं स्वस्थ नेत्र के लिए दूर बिन्दु अन्नत पर होता है। राशि के लिए दूर बिन्दु 5 m है जिसका आशय है कि यह निकट दृष्टि दोष (मायोपिया) से पीड़ित है। इसका निराकरण करने के लिये हम आंख व बिम्ब के बीच वांछित अपसारी प्रभाव का एक अवतल लेंस रखते हैं जिससे प्रतिबिम्ब रेटिना पर फोकस हो सके।

उदाहरण 11.24 एक खगोलीय दूरदर्शी की रचना सामान्य समायोजन में आवर्धन क्षमता 50 के लिये की जानी है। यदि नलिका की लम्बाई 102 cm है तो अभिदृश्यक एवं नेत्रिका की क्षमता क्या होगी।

हल: दूरदर्शी के लिए $m = 50 = \dfrac{f_0}{f_e}$

या $\quad f_0 = 50 f_e \qquad \ldots (i)$

साथ ही नलिका की लम्बाई $f_0 + f_e = L = 102\,\text{cm} \quad \ldots (ii)$

समीकरण (i) तथा (ii) को हल करने पर, $f_0 = 100\,\text{cm}$ तथा

$f_e = 2\,\text{cm}$

$\therefore \quad P_0 = 1\,\text{D} \qquad P_e = 50\,\text{D}$

उदाहरण 11.25 एक सरलसूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता 11 है। इससे प्रतिबिम्ब स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी पर बनता है। इसमें प्रयुक्त लेंस की फोकस दूरी ज्ञात कीजिये।

हल: प्रश्नानुसार, M = 11 तथा D = 25 cm

सरल सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता

$$M = 1 + \frac{D}{f} \qquad \text{या} \qquad 11 = 1 + \frac{25}{f}$$

$$\text{या} \quad 10 = \frac{25}{f} \qquad \text{या} \qquad f = \frac{25}{10} = 2.5\,\text{cm}$$

$\therefore \quad f = 2.5\,\text{cm}$

उदाहरण 11.26 एक दूरदर्शी की आवर्धन क्षमता 9 है। जब इसे समान्तर किरणों के लिये समायोजित किया जाता है तब नेत्रिका तथा अभिदृश्यक के बीच की दूरी 20 cm होती है। दोनों लेंसों की फोकस दूरियाँ ज्ञात कीजिये।

हलः प्रश्नानुसार, जब दूरदर्शी समान्तर किरणों के लिये समायोजित होता है अर्थात् अन्तिम प्रतिबिम्ब अनन्त पर बनता है। इस अवस्था में दूरदर्शी की आवर्धन क्षमता

$$M = -\frac{f_0}{f_e} = -9$$

या $\quad f_0 = -9 f_e \quad \ldots (1)$

नेत्रिका तथा अभिदृश्यक के बीच की दूरी अर्थात् दूरदर्शी नलिका की लम्बाई

$$L = f_0 + f_e = 20 \quad \ldots (2)$$

समीकरण (1) से f_0 का मान समीकरण (2) में रखने पर

$$9 f_e + f_e = 20$$

या $\quad 10 f_e = 20$

$\therefore \quad f_e = 2\,\text{cm}$

अतः नेत्रिकी फोकस दूरी $f_e = 2\,\text{cm}$

f_e का मान समीकरण (2) में रखने पर

$$f_0 + 2 = 20$$

$\therefore \quad f_0 = 20 - 2 = 18\,\text{cm}$

अतः अभिदृश्यक की फोकस दूरी $f_0 = 18\,\text{cm}$

महत्वपूर्ण बिन्दु (Important Points)

1. **किरण प्रकाशिकी** में प्रकाश तरंग, को सरल रेखीय रूप में माना जाता है।

2. **परावर्तन के नियम**

   (i) आपतन कोण i परावर्तन कोण r के बराबर होता है।

   (ii) आपतित किरण, परावर्तित किरण एवं परावर्तक सतह पर अभिलम्ब तीनों एक ही तल पर स्थित होते हैं। यह तल आपतन तल कहलाता है।

3. **गोलीय दर्पण**

   फोकस बिन्दु एवं फोकस दूरी किसी अवतल दर्पण का फोकस बिन्दु, वह बिन्दु है जहाँ दर्पण से परावर्तन के बाद समान्तर किरणे अभिसारित होती है। उत्तल दर्पण के लिए फोकस बिन्दु, वह बिन्दु है, जहाँ ये दर्पण से परावर्तन के बाद अभिसारित होती प्रतीत होती है। अवतल दर्पण के फोकस बिन्दु से अपसारित किरणें परावर्तन के बाद समान्तर होती है। उत्तल दर्पण के फोकस बिन्दु की ओर अभिसारित किरणें परावर्तन के बाद समान्तर होती है। शीर्ष से फोकस बिन्दु की दूरी फोकस दूरी f कहलाती है।

   कार्तीय चिन्ह परिपाटी आपतित किरणों की दिशा में मापी गई दूरियाँ धनात्मक है। विपिरीत दिशा में मापी गई दूरियाँ ऋणात्मक है। सभी दूरियाँ मुख्य अक्ष पर दर्पण के ध्रुव/प्रकाशिक केन्द्र से नापी जाती है। x-अक्ष से ऊपर तथा मुख्य अक्ष के लम्बवत् नापी गई ऊँचाईयाँ धनात्मक ली जाती है। नीचे की ओर मापी गई ऊँचाईयाँ ऋणात्मक ली जाती है।

   बिम्ब का निर्देशांक u, प्रतिबिम्ब v, फोकस दूरी f व वक्रता त्रिज्या R निम्नलिखित समीकरण द्वारा सम्बन्धित है,

   $$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \text{तथा} \quad f = \frac{R}{2}$$

4. **अपवर्तन** एक पारदर्शी माध्यम से दूसरे माध्यम तक जाने में किसी प्रकाश किरण के मुड़ने को अपवर्तन कहते है।

   (i) आपतित किरण, अपवर्तित किरण तथा अन्तराल पृष्ठ पर अभिलम्ब सभी एक ही समतल में होते हैं।

   (ii) आपतन कोण की ज्या तथा अपवर्तन कोण की ज्या से अनुपात नियत रहता है।

   $$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{या} \quad n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

5. **अपवर्तनांक** प्रकाश की निर्वात में चाल c का उस माध्यम में चाल v से अनुपात के रूप में परिभाषित होता है।

   $$n = \frac{\text{निर्वात में प्रकाश की चाल}}{\text{माध्यम में प्रकाश की चाल}} = \frac{c}{v}$$

6. **पूर्ण आन्तरिक परावर्तन** सघन माध्यम से विरल माध्यम को गमन करती है, आपतित तरंग पूर्ण आन्तरिक परावर्तन अनुभव करेगी, यदि आपतन कोण एक क्रांतिक कोण θ_c से अधिक हो जाये, जहाँ

   $$\theta_c = \sin^{-1}\frac{n_2}{n_1}$$

7. **प्रिज्म में अपवर्तन** जब एक प्रकाश किरण एक प्रिज्म से गुजरती है, तो उसमें δ विचलन होता है। व्यापक रूप में δ के किसी मान के संगत दो आपतन कोण i तथा e है। अर्थात्, i तथा e परस्पर परिवर्तित कर दिए जाए तो δ पूर्ववत् रहता है। विचलन कोण न्यूनतम होता है जब प्रकाश किरण प्रिज्म से सममिततः गुजरती है, अर्थात्

$i = e$ तथा $r_1 = r_2 = A/2$

न्यूनतम विचलन कोण A तथा n से इस प्रकार सम्बन्धित है,

$$n = \frac{\sin\left(\frac{A+\delta_m}{2}\right)}{\sin(A/2)}$$

यदि अपवर्तक कोण A छोटा है, तब विचलन कोण δ_m भी छोटा है।

$$\delta_m = (n-1)A$$

8. **गोलीय सतह से अपवर्तन (Refraction at Spherical Surface)** दो पारदर्शक माध्यमों को पृथक करने वाली R त्रिज्या की गोलीय सतह के लिए, बिम्ब का निर्देशांक u व प्रतिबिम्ब का निर्देशांक v निम्नांकित व्यंजक द्वारा सम्बन्धित होते हैं,

$$\frac{n_2}{v} - \frac{n_1}{u} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

यहाँ n_2 उस माध्यम का अपवर्तनांक हैं जिसमें अपवर्तित किरण है एवं n_1 उस माध्यम का अपवर्तनांक है जिसमें आपतित किरण है।

9. **पतला लेंस** (Thin Lenses)

फोकस एक पतले लेंस में दो फोकस होते है। द्वितीय फोकस वह बिन्दु है जहाँ मुख्य अक्ष के समान्तर किरणें लेंस से अपवर्तन के बाद मिलती है। प्राथमिक फोकस F_1 उस बिन्दु के रूप में परिभाषित किया जाता है जहाँ एक बिम्ब रखा जाना चाहिये ताकि लेंस से निर्गत किरण समान्तर हो। एक अभिसारी लेंस के लिए ऐसा बिम्ब वास्तविक होगा तथा एक अपसारी लेंस के लिए एक बिम्ब आभासी होगा। प्रथम फोकस एवं प्रकाशिक केन्द्र के मध्य दूरी हो प्रथम फोकस दूरी कहा जाता है। पतले लेंस के लिए

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad \text{या} \quad v = \frac{uf}{u+f}$$

तथा $$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

लेंस द्वारा उत्पन्न रैखित या अनुप्रस्थ आवर्धन इस प्रकार दिया जाता है,

$$m = \frac{\text{प्रतिबिम्ब की ऊँचाई}}{\text{बिम्ब की ऊँचाई}} = \frac{h'}{h} = \frac{v}{u} = \frac{f}{u+f}$$

10. **लेंस की क्षमता (Power of Lens)** किसी लेंस की क्षमता उस पर पड़ने वाले प्रकाश को अभिसरित या अपसरित करने की कोटि की माप होती है।किसी लेंस की क्षमता इसकी फोकस दूरी के व्युत्क्रम के बराबर होती है।

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

लेंस की क्षमता का SI मात्रक डाऑप्टर (D) है; $10 = 1m^{-1}$ ।

यदि फोकस दूरियों $f_1, f_2, f_3, \ldots f_n$ के कई पतले लेंस सम्पर्क में है तब संयोजन की प्रभावी दूरी इस प्रकार दी जाती है,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \ldots + \frac{1}{f_n}$$

तथा $P = P_1 + P_2 + P_3 + ...P_n$

लेंस संयोजन का कुल आवर्धन m व्यष्टिगत लेंसों के आवर्धनों $(m_1, m_2, m_3, ...m_n)$ का गुणनफल होता है,

$$m = m_1 \times m_2 \times m_3 \times ... \times m_n$$

11. **प्रिज्म द्वारा श्वेत प्रकाश का वर्ण विक्षेपण**– प्रिज्म द्वारा श्वेत प्रकाश की किरण का अपने घटक रंगों वाली किरणों में विभाजित होने की प्रक्रिया को वर्ण विक्षेपण कहते हैं। रंगों के इस समुदाय को स्पेक्ट्रम कहते हैं। रंगों के कम को अंग्रेजी के शब्द VIBGYOR से याद रखा जाता है। श्वेत प्रकाश के वर्णक्रम में सीमान्त रंग बैंगनी तथा लाल रंग के विचलन कोणों के अन्तर के कोण को प्रिज्म द्वारा उत्पन्न कोणीय विक्षेपण कहते हैं।

कोणीय विक्षेपण $\theta = \phi_v - \delta_R = (\mu_v - \mu_R) A$

विक्षेपण क्षमता– किसी प्रिज्म की दो रंगों के लिये विक्षेपण क्षमता इन रंगों की किरणों के बीच उत्पन्न कोणीय विक्षेपण तथा माध्यम विचलन के अनुपात के बराबर होती है। अर्थात्

विक्षेपण क्षमता $$\omega = \frac{\theta}{\delta} = \frac{\delta_v - \delta_R}{\delta_y} = \frac{n_v - n_R}{n_y - 1}$$

या $$\omega = \frac{(n_v - n_R)}{(n-1)}$$

12. **सूक्ष्मदर्शी**– यह प्रकाशीय उपकरण है जो वस्तु के प्रतिबिम्ब को बड़ा बना देता है। ये दो प्रकार के होते हैं–

(i) सरल सूक्ष्मदर्शी (ii) संयुक्त सूक्ष्मदर्शी

सूक्ष्दर्शी की आवर्धन क्षमता

1. सरल सूक्ष्दर्शी– (i) जब अन्तिम प्रतिबिम्ब D दूरी पर बने तो

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

(ii) जब अन्तिम प्रबिम्ब अनन्त दूरी पर बने तो

$$M = \frac{D}{f}$$

2. संयुक्त सूक्ष्मदर्शी– (i) जब अन्तिम प्रतिबिम्ब D दूरी पर बने तो

$$M = -\frac{v_0}{u_0}\left(1 + \frac{D}{f_e}\right)$$

(ii) जब अन्तिम प्रतिबिम्ब अनन्त दूरी पर बने तो

$$M = -\frac{v_0}{u_0} \times \frac{D}{f_e}$$

12. **दूरदर्शी**– वह प्रकाशीय उपकरण को किसी दूरस्थ वस्तु के प्रतिबिम्ब को निकट बना देता है जिससे वस्तु स्पष्ट दिखाई देती है, दूरदर्शी कहलाता है।

दूरदर्शी की आवर्धन क्षमता– जब अन्तिम प्रतिबिम्ब अनन्त दूरी पर बने तो

$$M = -\frac{f_0}{f_e}$$

अभ्यास प्रश्न

बहुचयनात्मक प्रश्न

1. गोलीय दर्पणों से प्रतिबिम्ब बनने में केवल पराअक्षीय किरणों पर ही विचार करते हैं। क्योंकि
   (अ) इन्हें ज्यामितीय रूप से काम लेना आसान होता है
   (ब) इसमें आपतित प्रकाश की अधिकांश तीव्रता निहित होती है
   (स) ये बिन्दु स्त्रोत का लगभग बिन्दु प्रतिबिम्ब बनाती है
   (द) ये न्यूनतम विक्षेपण दर्शाती है

2. एक 20 cm फोकस दूरी के अवतल दर्पण से 30 cm दूरी पर बिम्ब रखा है तो प्रतिबिम्ब, की प्रकृति एवं आवर्धन होगा?
   (अ) वास्तविक और –2 (ब) आभासी और –2
   (स) वास्तविक और +2 (द) आभासी और +2

3. अवरक्त किरणों के लिये अपवर्तनांक का मान रहता है
   (अ) पराबैंगनी किरणों के समान
   (ब) लाल वर्ण की किरणों के समान
   (स) पराबैंगनी किरणों से कम
   (द) पराबैंगनी किरणों से अधिक

4. पूर्ण आन्तरिक परावर्तन होता है यदि
   (अ) प्रकाश, प्रकाशीय विरल माध्यम से प्रकाशीय सघन माध्यम में प्रवेश करता है।
   (ब) प्रकाश, प्रकाशीय सघन माध्यम से प्रकाशीय विरल माध्यम में प्रवेश करता है।
   (स) दो माध्यमों के अपवर्तनांक लगभग समीप हो
   (द) दो माध्यमों के अपवर्तनांक बिल्कुल भिन्न हो।

5. जब एक बिम्ब अपसारी लैंस से 20 cm दूर रखते हैं तो छोटा प्रतिबिम्ब बनता है निम्न में से कौनसा कथन अवश्य सही होगा?
   (अ) प्रतिबिम्ब उल्टा है
   (ब) प्रतिबिम्ब वास्तविक हो सकता है
   (स) प्रतिबिम्ब की दूरी 20 cm से अधिक होनी चाहिए
   (द) लेंस की फोकस दूरी 20 cm से कम हो सकती है

6. +6 D शक्ति वाला एक उत्तल लेंस –4 D शक्ति वाले एक अवतल लेंस के सम्पर्क में रखते हैं तो संयुक्त लेंस की फोकस दूरी एवं प्रकृति क्या होगी?
   (अ) अवतल, 25 cm (ब) उत्तल, 50 cm
   (स) अवतल, 20 cm (द) उत्तल, 100 cm

7. एक समबाहु प्रिज्म (काँच के) में से एक प्रकाश किरण इस प्रकार गुजरती है कि उसका आपतन कोण एवं निर्गत कोण बराबर होता है तथा यह प्रत्येक कोण प्रिज्म कोण का 3/4 है तो विचलन कोण होगा
   (अ) 45° (ब) 70°
   (स) 39° (द) 30°

8. संयुक्त सूक्ष्मदर्शी के अभिदृश्य लेंस से बना प्रतिबिम्ब होगा
   (अ) आभासी व बड़ा (ब) आभासी और छोटा
   (स) वास्तविक और बिन्दु रूप (द) वास्तविक और बड़ा

9. t c 1.47 अपवर्तनांक के काँच के किसी उपयोत्तल लेंस को किसी द्रव में डुबाया जाता है तो यह एक समतल शीट (परत) की भांति व्यवहार करता है। इसका तात्पर्य यह है कि इस द्रव का अपत्तर्वनांक है।
   (अ) कांच के अपतर्वनांक से अधिक
   (ब) काँच की अपवर्तनांक से कम
   (स) काँच के अपवर्तनांक के बराबर
   (द) एक से कम

10. किसी प्रिज्म के न्यूनतम विचलन कोण का मान उसके अपवर्तनांक कोण के बराबर होगा यदि प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक हो
    (अ) $\sqrt{2}$ और 2 के बीच (ब) 1 से कम
    (स) 2 से अधिक (द) $\sqrt{2}$ और 1 के बीच

11. किसी समतल दर्पण पर प्रकाश की कोई किरण अभिलम्बवत् आपतित होती है, परावर्तन कोण का मान होगा
    (अ) 90° (ब) 180°
    (स) 0° (द) 45°

12. एक अवतल दर्पण की फोकस दूरी 20 cm है। दर्पण के सामने 20 cm दूरी पर वस्तु रखने पर उसका प्रतिबिम्ब बनेगा
    (अ) $2f$ पर (ब) f पर
    (स) 0 पर (द) ∞ पर

13. पृथ्वी पर स्थित प्रेक्षक को तारे टिमटिमाते हुए प्रतीत होते हैं। इसका कारण है
    (अ) यह सत्य कि तारे निरन्तर प्रकाश उत्सर्जित नहीं करते।
    (ब) तारे के प्रकाश का इनके अपने वायुमण्डल द्वारा आवृत्ति अवशोषण।
    (स) तारे के प्रकाश का पृथ्वी के वायुमण्डल द्वारा आवृत्ति अवशोषण
    (द) पृथ्वी के वायुमण्डल में अपवर्तनांक का घटना–बढ़ना।

14. किसी प्रिज्म से यदि पीला प्रकाश न्यूनतम विचलन कोण पर अपवर्तित होता है, तब
    (अ) आपतन कोण तथा निर्गमन कोण बराबर होते हैं।
    (ब) आपतन कोण तथा निर्गमन कोण का योग 90° होता है।
    (स) आपतन कोण, निर्गमन कोण की अपेक्षा छोटा होता है।
    (द) आपतन कोण निर्गमन कोण की अपेक्षा बड़ा होता है

15. स्वस्थ नेत्र के लिये स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी तथा अधिकतम दूरी होती है

(अ) 25 cm तथा 100 cm

(ब) 25 cm तथा अनन्त दूरी

(स) 100 cm तथा अनन्त दूरी

(द) शून्य तथा शून्य से अनन्त दूरी

16. एक साधारण खगोलीय दूरदर्शी की लम्बाई होती है

(अ) दो लेंसों की फोकस दूरी में अन्तर के बराबर।

(ब) फोकस दूरियों के योग की आधी।

(स) फोकस दूरियों के योग के बराबर।

(द) फोकस दूरियों के गुणनफल के बराबर।

17. वस्तु से बड़े आकार का काल्पनिक प्रतिबिम्ब बनाया जा सकता है

(अ) उत्तल दर्पण द्वारा (ब) अवतल दर्पण द्वारा

(स) समतल दर्पण द्वारा (द) अवतल लेंस द्वारा

18. संयुक्त सूक्ष्मदर्शी में अन्तिम प्रतिबिम्ब बनता है

(अ) वास्तविक एवं सीधा (ब) आभासी एवं उल्टा

(स) आभासी एवं सीधा (द) वास्तविक एवं उल्टा

19. परावर्तक दूरदर्शी में अभिदृश्य के रूप में प्रयोग किया जाता है

(अ) उत्तल लेंस (ब) उत्तल दर्पण

(स) प्रिज्म (द) अवतल दर्पण

20. एक खगोलीय दूरदर्शी के अभिदृश्यक और अभिनेत्र लेंस की क्षमता 5 एवं 20 डायोप्टर हैं। इनसे प्रतिबिम्ब अनन्त पर बनता है। दूरदर्शी की आवर्धन क्षमता होगी

(अ) 4 (ब) 2

(स) 100 (द) 0.25

21. उत्तल लेंस की शक्ति होती है

(अ) ऋणात्मक (ब) धनात्मक

(स) शून्य (द) काल्पनिक

अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

1 एक समतल दर्पण की फोकस दूरी कितनी होती है?

2. किस लेंस का आवर्धन सदैव एक से कम होता है।

3. प्रकाश के अपवर्तन का कारण बताइये।

4. रेगिस्तानी क्षेत्रों में गर्मी के दिनों में मरीचिका दिखाई देने का क्या कारण होता है?

5. समान आपतन कोण के लिए तीन माध्यमों A, B तथा C में अपवर्तन कोण क्रमशः 15°, 25° व 35° है। किस माध्यम में प्रकाश का वेग न्यूनतम होगा?

6. उस सिद्धान्त का नाम लिखिए जिस पर प्रकाशिक तन्तु कार्य करता है।

7. प्रिज्म के न्यूनतम विचलन की स्थिति में आपतन कोण तथा निर्गत कोण में क्या सम्बन्ध होता है?

8. एक अभिसारी लेंस एक अपसारी लेंस के साथ समाक्षतः सम्पर्क में है दोनों लेंसों की फोकस दूरियाँ समान है। संयोजन की फोकस दूरी क्या है?

9. सूर्य का सूर्योदय एवं सूर्यास्त के समय लाल दिखाई देने का क्या कारण है?

10. इन्द्र धनुष दिखाई देने का क्या कारण है?

11. निकट दृष्टि दोष (मायोपिया) क्या है? इसके संशोधन के लिए कैसा लेंस प्रयुक्त किया जाता है।

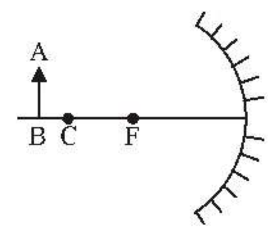
12. प्रकीर्णित प्रकाश की तीव्रता किस पर निर्भर करती है?

13. सरल सूक्ष्मदर्शी में कैसा लेंस प्रयुक्त करते हैं?

14. केवल देखकर आप एक यौगिक सूक्ष्मदर्शी एवं दूरदर्शी में अन्तर कैसे ज्ञात करेंगे?

लघूत्तरात्मक प्रश्न

1. एक वस्तु AB एक अवतल दर्पण के सम्मुख रखी है जैसाकि चित्र में दर्शाया गया है।



(i) वस्तु के प्रतिबिम्ब निर्माण को दर्शाने वाला किरण चित्र पूर्ण कीजिए।

(ii) प्रतिबिंब की स्थिति तथा तीव्रता किस प्रकार प्रभावित होगी यदि दर्पण की परावर्तक सतह का निचला अर्द्ध भाग काला रंग दिया जाए?

2. गोलीय दर्पण के उपयोग लिखिये

3. दर्पण की फोकस दूरी एवं वक्रता त्रिज्या में सम्बन्ध स्थापित कीजिये।

4. (i) सूर्योदय या सूर्यास्त पर सूर्य लाल क्यों प्रतीत होता है?

(ii) किस रंग के लिए प्रिज्म का अपवर्तनांक अधिकतम तथा न्यूनतम है?

5. (i) किसी पदार्थ के क्रांतिक कोण एवं अपवर्तनांक में क्या संबंध है?

(ii) क्या क्रांतिक कोण प्रकाश के रंग पर निर्भर करता है? समझाइए।

6. किसी लेंस की फोकस दूरी किन कारकों पर निर्भर करती है?

7. संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता कैसे बढ़ाई जा सकती है?

8. प्रकाश के प्रकीर्णन से क्या अभिप्राय है? इसका दैनिक जीवन में उपयोग बताइये।

9. लेंस की क्षमता परिभाषित कीजिए। इसके मात्रक लिखिए। समाक्षतः संपर्कित दो पतले लेंसों के लिए संबंध $\frac{1}{f}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$ स्थापित कीजिए।

निबन्धात्मक प्रश्न

1. गोलीय दर्पण को परिभाषित कीजिये। इसके लिये बिम्ब की दूरी, प्रतिबिम्ब की दूरी एवं फोकस दूरी में सम्बन्ध स्थापित कीजिये।
2. उत्तल लेंस एवं अवतल लेंस द्वारा विभिन्न स्थितियों में प्रतिबिम्ब का निर्माण समझाइये। प्रतिबिम्ब की स्थिति, आकार एवं प्रकृति, किरण चित्र द्वारा बताइये।
3. लेंस कितने प्रकार के होते हैं? लेंस के लिये बिम्ब की दूरी, प्रतिबिम्ब की दूरी एवं फोकस दूरी में सम्बन्ध स्थापित कीजिये।
4. उपयुक्त किरण चिन्ह की सहायता से एक उत्तल गोलाकार सतह के लिए जब प्रकाश किरण विरल से सघन माध्यम eat kr h gSr ksfcEc njw h (u) प्रतिबिम्ब दूरी (v) तथा वक्रता त्रिज्या (R) में संबंध स्थापित करो।
5. एक यौगिक सूक्ष्मदर्शी के लिए नेत्र के निकट बिन्दु पर प्रतिबिम्ब निर्माण को दर्शाने वाला नामांकित किरण चित्र बनाइए।
6. एकवर्णी प्रकाश किरण के काँच के प्रिज्म से गुजरने पर अपवर्तन को दर्शाने वाला किरण चित्र बनाइए। प्रिज्म कोण तथा न्यूनतम विचलन कोण के पदों में काँच के अपवर्तनांक का व्यंजक ज्ञात कीजिए।
7. लेंस को दो गोलाकार पृष्ठ से घिरा मानकर u, v एवं f में सम्बन्ध स्थापित कीजिये।
8. दूरदर्शी कितने प्रकार के होते हैं? अपवर्तक दूरदर्शी की बनावट, कार्यप्रणाली एवं आवर्धन क्षमता के लिये सूत्र की स्थापना कीजिये।

उत्तरमाला (बहुचयानात्मक प्रश्न)

1 (स)	2 (अ)	3 (ब)	4 (ब)	5 (द)	6 (ब)
7 (द)	8 (द)	9 (स)	10 (अ)	11 (स)	12 (द)
13 (द)	14 (अ)	15 (ब)	16 (स)	17 (ब)	18 (ब)
19 (द)	20 (अ)	21. (ब)			

अतिलघुत्तरात्मक प्रश्न

1. अनन्त
2. अवतल
3. प्रकाश की चाल का विभिन्न माध्यमों में भिन्न–भिन्न होना है।
4. पूर्ण आन्तरिक परावर्तन
7. आपतन कोण $\angle i =$ निर्गत कोण $\angle e$
9. प्रकीर्णन
10. वर्ण विक्षेपण
12. तरंगदैर्ध्य
13. कम फोकस दूरी का उत्तल लेंस
14. यौगिक सूक्ष्मदर्शी के अभिदृश्यक का द्वारक नेत्रिका की अपेक्षा बहुत छोटा होता है, जबकि दूरदर्शी में अभिदृश्यक का द्वारक नेत्रिका की अपेक्षा बहुत बड़ा होता है।

आंकिक प्रश्न

1. एक 24 cm फोकस दूरी वाले अवतल दर्पण के सामने 36 cm दूरी पर रखे एक बिम्ब के प्रतिबिम्ब की दूरी ज्ञात कीजिये।
(उत्तर : 72 cm बिम्ब की ओर)
2. किसी माध्यम का निर्वात में सापेक्ष अपवर्तनांक 1.33 है। निर्वात में प्रकाश का वेग $c = 3 \times 10^8$ m/s हो तो माध्यम में प्रकाश का वेग ज्ञात कीजिये।
(उत्तर : 2.25×10^8 m/s)
3. किसी 20 cm फोकस दूरी वाले काँच के उत्तल लेंस के पृष्ठों की वक्रता त्रिज्यायें क्रमशः 18 cm एवं 24 cm है। लेंस के काँच का अपवर्तनांक ज्ञात कीजिये।
(उत्तर : 1.514)
4. एक प्रकाश की किरण किसी काँच के गुटके पर 50° कोण पर आपतित होती है। यदि अपवर्तन कोण 30° हो तो काँच का अपवर्तनांक ज्ञात कीजिये।
(उत्तर : 1.532)
5. एक बिम्ब 0.10 m फोकस दूरी के उत्तल लेंस से 0.06m की दूरी पर स्थित है। प्रतिबिम्ब की स्थिति ज्ञात कीजिये।
(उत्तर : 15 m)
6. क्रॉउन काँच से बने 6° अपवर्तक कोण के प्रिज्म के पदार्थ का लाल तथा बैंगनी रंग की प्रकाश की किरणों के लिये अपवर्तनांक क्रमशः 1.514 तथा 1.523 है। प्रिज्म द्वारा उत्पन्न कोणीय विक्षेपण ज्ञात कीजिये।
(उत्तर : 0.054°)
7. +5D तथा –7D के दो पतले लेंसों को परस्पर सम्पर्क में रखकर बनाये गये संयुक्त लेंस की क्षमता ज्ञात कीजिये। संयुक्त लेंस अभिसारी होगा या अपसारी?
(उत्तर : –2D, अपसारी)
8. एक संयुक्त सूक्ष्मदर्शी के अभिदृश्य तथा नेत्रिका लेंस की फोकस दूरियाँ क्रमशः 0.95 तथा 5 cm हैं और वे एक दूसरे से 20 cm है की दूरी पर हैं। अन्तिम प्रतिबिम्ब नेत्रिका में 25 cm की दूरी पर बनता है। सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता ज्ञात कीजिये। (उत्तर : 94)
9. एक पतले अभिसारी काँच लेंस $(\mu_g = 15)$ की शक्ति +5.0 D है जब यह लेंस μ_l अपवर्तनांक वाले द्रव में डुबोया जाता है। यह अपसारी लेंस की तरह व्यवहार करता है। जिसकी फोकस दूरी 100 cm है तो μ_l का मान होना चाहिये।
(उत्तर : 5 / 3)
10. एक प्रिज्म का अपतर्वन कोण A है तथा प्रिज्म का अपतर्वनांक cot (A/2) है तो न्यूनतम विचलन कोण होगा।
(उत्तर : $180^\circ + 2A$)