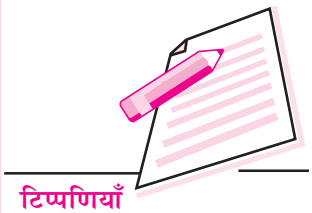


20

प्रकाश का परावर्तन और अपवर्तन

प्रकाश के द्वारा ही हम वस्तुओं को देख सकते हैं और प्रकाश के ही कारण हम अपने निकटवर्ती परिवेश के साथ दृष्टिगत संपर्क स्थापित कर सकते हैं। प्रकाश के ही माध्यम से हम पुष्पों, पौधों, पक्षियों, प्राणियों तथा अन्य प्रकार के जीवन के रूप में प्रकृति की विभिन्न मनोहारी अभिव्यक्तियों की सुखद अनुभूति कर सकते हैं। क्या आप कल्पना कर सकते हैं कि यदि चाक्षुष-विकृति से युक्त होते तो हम कितनी कमी अनुभव करते? क्या तब हम हीरे की चमक और इन्द्रधनुष की छटा को देख सकते? क्या आपने कभी सोचा कि प्रकाश की सहायता से हम किस प्रकार देख सकते हैं? सूर्य और अन्य तारों से पृथ्वी तक प्रकाश किस प्रकार गमन करता है और यह किससे निर्मित होता है? ऐसे प्रश्न मानव बुद्धि को प्रारंभ से ही आकर्षित कर रहे हैं। अब आप कुछ परिघटनाओं के बारे में जानेंगे जिनसे ऐसे प्रश्नों का उत्तर सुलभ होगा।

दीवार में बने एक छोटे छिद्र से प्रकाश को कमरे में प्रवेश करता देखिए। आप धूलकणों की गति को देखेंगे जो मूलत: एक सरल प्रमाण प्रस्तुत करते हैं कि प्रकाश सीधी रेखा में गमन करता है। सीधी रेखा के आगे लगा तीर का निशान, प्रकाश के संचरण की दिशा निरूपित करता है और यह रेखा किरण कहलाती है; किरणों का संग्रह **किरण पुंज** कहलाता है। प्रकाश की किरणों का विवेचन **ज्यामितीय प्रकाशिकी** के अंतर्गत किया जाता है। अध्याय 22 में आपको बताया जाएगा कि प्रकाश, तरंग के रूप में व्यवहार करता हैं। अल्प तरंग दैर्ध्य की तरंग सन्निकटत: किरण विवेचन के अंतर्गत आती है। जब कोई प्रकाश किरण दर्पण पर गिरती है तो उसकी दिशा में परिवर्तन हो जाता है। यह प्रक्रम *परावर्तन* कहलाता है। परंतु, जब प्रकाश की कोई किरण दो असमान पृष्ठों की परिसीमा पर गिरती है तो वह मुड़ जाती हैं यह प्रक्रम *अपवर्तन* कहलाता है। इस पाठ में आप दर्पणों से परावर्तन और लेन्सों से अपवर्तन के बारे में भी जानेंगे। इन परिघटनाओं के हमारे दैनिक जीवन में अनेक उपयोग हैं जिनमें मोटरवाहन, स्वास्थ्य देखभाल से लेकर संचार तक शामिल हैं।

उद्देश्य

इस पाठ के अध्ययन के बाद आप

- वक्र पृष्ठों पर परावर्तन की व्याख्या और गोलीय दर्पणों की फोकस दूरी और वक्रता-त्रिज्या के मध्य संबंध स्थापित कर सकेंगे;

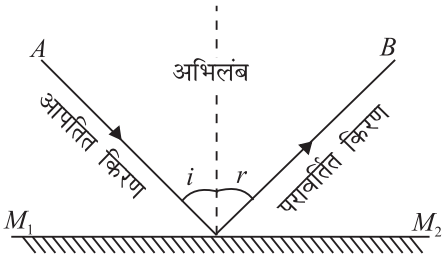
- गोलीय पृष्ठों के लिए चिह्न परिपाटी की व्याख्या कर सकेंगे;
- बिंब दूरी, प्रतिबिंब-दूरी और दर्पण तथा गोलीय आवर्ती पृष्ठ की फोकस दूरी के मध्य संबंध व्युत्पन्न कर सकेंगे;
- अपवर्तन नियमों की परिभाषा दे सकेंगे;
- पूर्ण आंतरिक परावर्तन की व्याख्या और इसके दैनिक जीवन में अनुप्रयोग प्रस्तुत कर सकेंगे;
- किसी लेन्स की फोकस दूरी मापने के लिए न्यूटन का सूत्र व्युत्पन्न कर सकेंगे;
- किसी लेनस की फोकस दूरी ज्ञात करने के लिए विस्थापन विधि का वर्णन कर सकेंगे; तथा
- संपर्क में स्थित लेंस-संयोजन की फोकस दूरी के लिये व्यंजक व्युत्पन्न कर सकेंगे।

20.1 गोलीय पृष्ठों से प्रकाश का परावर्तन

पिछली कक्षाओं में आपको समतल पृष्ठ पर परावर्तन के नियमों के बारे में बताया जा चुका है। हम यहाँ नियमों की पुनरावृत्ति कर रहे हैं:

नियम-I : आपतित किरण, परावर्तित किरण और परावर्तक पृष्ठ के आपतन बिंदु पर अभिलंब सदैव एक ही समतल में होते हैं।

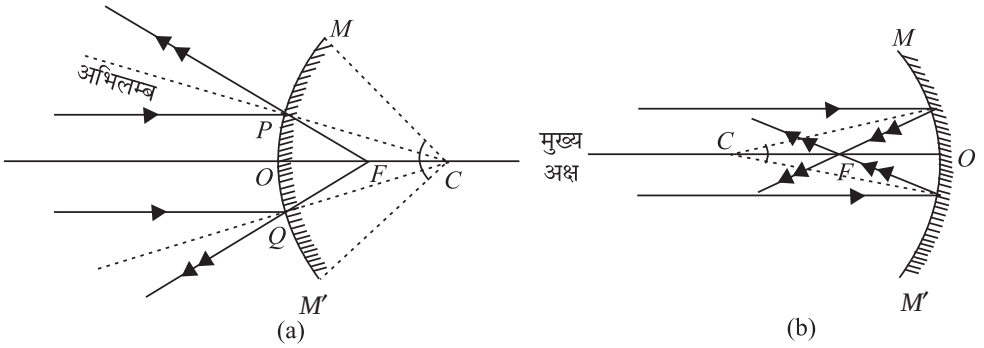
नियम-I : आपतन कोण और परावर्तन कोण बराबर होते हैं:



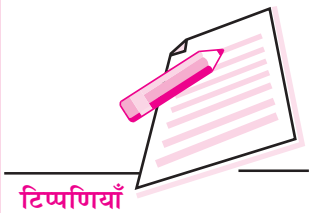
चित्र 20.1: समतल पृष्ठ से प्रकाश का परावर्तन

$$\angle i = \angle r$$

ये नियम चित्र 20.1 में दर्शाए गए हैं यद्यपि ये नियम प्रारंभ में समतल पृष्ठों के लिए प्रतिपादित किए गए थे परन्तु ये नियम गोलीय दर्पणों के लिए भी सत्य हें इसका कारण यह है कि कोई भी गोलीय दर्पण अनेक अत्यंत छोटे-छोटे दर्पणों से निर्मित माना जा सकता है। भली प्रकार पॉलिश की हुई चम्मच गोलीय दर्पण का सुविदित उदाहरण है। क्या आपने ऐसे चम्मच में अपना चेहरा देखा है? चित्र 20.2 (a) और 20.2 (b) में दो मुख्य प्रकार के गोलीय दर्पण दिखाए गए हैं।



चित्र 20.2: गोलीय दर्पण (a) **उत्तल दर्पण** (b) **अवतल दर्पण**



ध्यान दें कि उत्तल दर्पण का परावर्तक पृष्ठ बाहर की ओर उभरा हुआ जब कि अवतल दर्पण का परावर्तक पृष्ठ अंदर की ओर दबा हुआ होता है। अब हम गोलीय दर्पणों के लिए प्रयुक्त कुछ शब्दों की परिभाषा करेंगे।

गोले का वह केन्द्र जिसका दर्पण एक भाग है, दर्पण का वक्रता केन्द्र C और इस गोले की त्रिज्या उसकी **वक्रता त्रिज्या** की कहलाती है। दर्पण के परावर्तक पृष्ठ का मध्य बिंदु O उसका **ध्रुव** कहलाता है। C और O से गुजरने वाली सीधी रेखा, दर्पण की **मुख्य अक्ष** कहलाती है। दर्पण की वृत्ताकार बाहरी रेखा (अथवा परिधि) उसका **द्वारक** तथा कोण ($\angle MCM'$) जो C पर अंतरित करता है, वह दर्पण का **कोणीय द्वारक** कहलाता है। द्वारक, दर्पण के साइज (आमाप) का माप होता है।

मुख्य अक्ष के समांतर गोलीय दर्पण पर आपतित प्रकाश-पुंज परावर्तन के बाद, किसी एक बिंदु पर अभिसारित होता है अथवा उससे अपसरित होता प्रतीत होता है। यह बिंदु, दर्पण का **मुख्य फोकस** कहलाता है। ध्रुव और मुख्य फोकस के बीच की दूरी दर्पण की फोकस दूरी व्यक्त करती है। मुख्य अक्ष के लंबवत् और फोकस से होकर गुजरने वाला समतल, **फोकस समतल** कहलाता है।

हम केवल कम द्वारक वाले दर्पणों और मुख्य अक्ष के समीप अर्थात् **अपाक्षीय किरणों** पर ही चर्चा करेंगे। (मुख्य अक्ष से दूरस्थ किरणें **उपांतीय (या परिधीन)** अथवा **पराफेरल किरणें** कहलाती हैं।

पाठगत प्रश्न 20.1

1. निम्नलिखित प्रश्नों के उत्तर दीजिए:

   (a) समतल, उत्तल अथवा अवतल दर्पणों में से किस दर्पण की अधिकतम वक्रता-त्रिज्या होती है।

   (b) क्या जल में डुबाने पर गोलीय दर्पण की फोकस दूरी में परिवर्तन होता है?

   (c) समतल या उत्तल दर्पण से बने प्रतिबिंबों की प्रकृति कैसी होती है?

   (d) गोलीय दर्पण का केवल एक ही फोकस बिंदु क्यों होता है?

2. एक ही वक्रता-केन्द्र वाले 5 cm, 7 cm तथा 10 cm वक्रता त्रिज्याओं के अवतल दर्पणों के आरेख खींचिए। प्रत्येक दर्पण की फोकस दूरी परिकलित कीजिए। उनकी सर्वनिष्ठ मुख्य अक्ष के समांतर एक किरण खींचिए और प्रत्येक के लिए परावर्तित किरण भी खींचिए।

3. किसी गोलीय दर्पण की वक्रता-त्रिज्या 30 cm है। इस दर्पण के (i) आंतरिक पृष्ठ पर पॉलिश होने पर (ii) बाह्य पृष्ठ पर पॉलिश होने पर, फोकस की दूरियां क्या होगी?

4. डिश-ऐन्टेना वक्रित क्यों होते हैं?

20.1.2 प्रतिबिंब रचना के लिए किरण आरेख

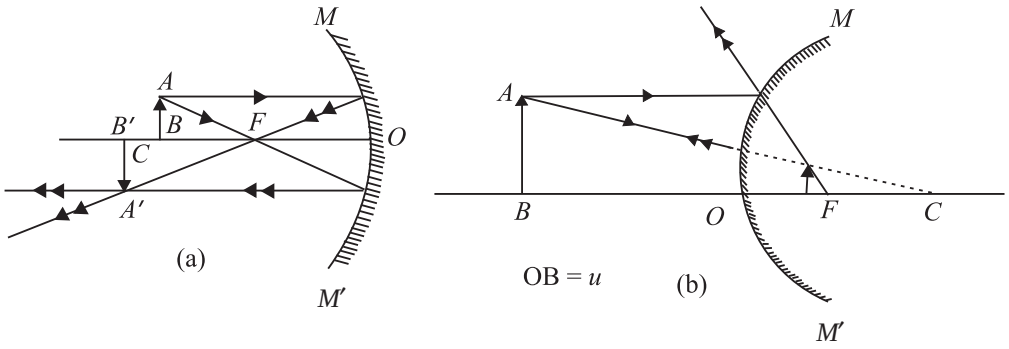
चित्र 20.2(a) तथा 20.2(b) का पुनः अवलोकन करें। आप देखेंगे कि:

- वक्रता-केन्द्र से गुजरने वाली प्रकाश की किरण अपने पथ पर वापस लौट आती है;
- मुख्य अक्ष के समांतर प्रकाश की किरण, परावर्तन के बाद फोकस से होकर गुजरती हैं; और
- F से गुजरने वाली प्रकाश की किरण, मुख्य अक्ष के समांतर परावर्तित होती है;

किसी प्रतिबिंब की स्थिति ज्ञात करने के लिए, इन तीन किरणों में से कोई भी दो किरणें चुनी जा सकती हैं। प्रतिबिंब दो प्रकार के होते हैं–वास्तविक तथा आभासी।

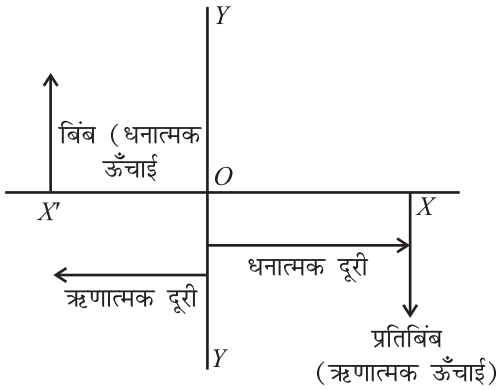
किसी बिंब का वास्तविक प्रतिबिंब तब बनता है जब परावर्तित किरणों वास्तव में परस्पर काटती हैं। ये प्रतिबिंब उल्टे होते हैं और इन्हें परदे पर प्रक्षेपित किया जा सकता है। ये प्रतिबिंब दर्पण के उसी ओर बनती है जिस ओर बिंब होता है। [चित्र 20.3(a)]

किसी बिंब का **आभासी प्रतिबिंब,** उन परावर्तित किरणों द्वारा बनता है जो दर्पण से अपसरित होती प्रतीत होती है। ये प्रतिबिंब सदैव सीधे ओर आभासी होते हैं और इन्हें परदे पर प्रक्षेपित नहीं किया जा सकता। ये दर्पण के पीछे बनते हैं। [चित्र 20.3 (a)]



चित्र 20.3: (a) अवतल दर्पण और (b) उत्तल दर्पण द्वारा बने प्रतिबिंब

20.1.3 चिह्न परिपाटी



चित्र 20.4: चिह्न परिपाटी

हम कार्तीय निर्देशांक पद्धति पर आधारित चिह्न परिपाटी का अनुसरण करते हैं। इस परिपाटी का प्रयोग करते समय निम्नलिखित बिंदु ध्यान में रखे जाने चाहिए:

1. सभी दूरियां दर्पण के ध्रुव (O) से मापी जाती हैं बिंब सदैव बाईं ओर रखा जाता है जिससे आपतित किरण को सदैव बाईं से दाईं ओर गमन करता हुआ लिया जा सके।

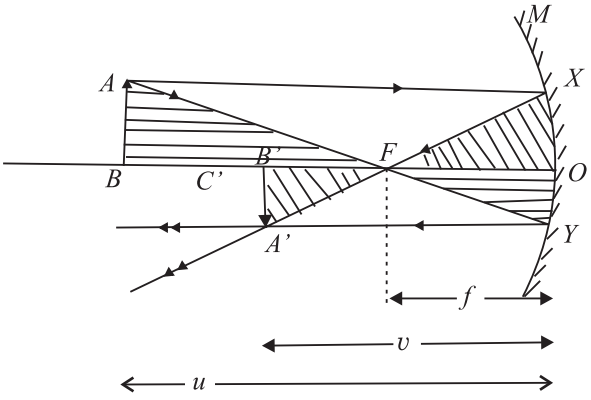
2. ध्रुव (O) के बाईं ओर की सभी दूरियां ऋणात्मक और उसके दाईं ओर की दूरिया धनात्मक मानी जाती हैं।

3. मुख्य अक्ष के ऊपर ओर अभिलंब दिशा में मापी गई दूरियां धनात्मक और मुख्य अक्ष से नीचे मापी गई दूरियां ऋणात्मक मानी जाती हैं।

अवतल दर्पण की वक्रता-त्रिज्या और फोकस दूरी ऋणात्मक और उत्तल दर्पण की वक्रता-त्रिज्या और फोकस दूरी धनात्मक होती है।

20.2 दर्पण सूत्र की व्युत्पत्ति

अब हम गोलीय दर्पण की बिंब दूरी (u), प्रतिबिंब दूरी (v) और उसकी फोकस दूरी (f) के मध्य संबंध ज्ञात करते हैं। हम सरल ज्यामिति का प्रयोग एक संबंध ज्ञात करने के लिए करते हैं जो आश्चर्यजनक रूप से सभी परिस्थितियों में लागू होता है। चित्र 20.5 को देखें जिसमें अवतल दर्पण के सामने रखा बिंब AB दिखाया गया है। इस दर्पण से प्रतिबिंब $A'B'$ बनता है।



चित्र 20.5: अवतल दर्पण के द्वारा प्रतिबिंब की रचना: दर्पण सूत्र

बिंब AB की बिंदु A से निकलने वाली दो किरणें AX तथा AY हैं। M एक अवतल दर्पण है जबकि XA' तथा YA' परावर्तित किरणें हैं।

चिह्न परिपाटी का प्रयोग करते हुए हम लिख सकते हैं:

$$\text{बिंब दूरी}, OB = -u,$$

$$\text{फोकस दूरी}, OF = -f,$$

$$\text{प्रतिबिंब दूरी}, OB' = -v,$$

तथा $$\text{वक्रता-त्रिज्या} \quad OC = -2f$$

ΔABF तथा ΔFOY पर विचार कीजिए। ये समरूप त्रिभुज हैं। अत: हम लिख सकते हैं,

$$\frac{AB}{OY} = \frac{FB}{OF} \qquad (20.1)$$

इसी प्रकार समरूप त्रिभुजों ΔXOF तथा $\Delta B'A'F$ के लिए,

$$\frac{XO}{A'B'} = \frac{OF}{FB'} \qquad (20.2)$$

परन्तु $AB = XO$, चूंकि AX मुख्य अक्ष के समांतर है। इसके साथ-साथ $A'B' = OY$ है। चूंकि समीकरणों (20.1) तथा (20.2) के वाम पक्ष समान हैं अत: इनके दक्षिण पक्ष भी आपस में बराबर होंगे।

इस प्रकार, $$\frac{FB}{OF} = \frac{OF}{FB'} \qquad (20.3)$$

समीकरण (20.3) में u, v तथा f के मानों को रखने पर, हम लिख सकते हैं;

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

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

बज्र गुणन (cross multiplication) करने पर,

$$uv - uf - vf + f^2 = f^2$$

or $$uv = uf + vf$$

दोनों ओर uvf से भाग देने पर हमें फोकस दूरी तथा बिंब और प्रतिबिंब दूरियों के मध्य वांछित संबंध प्राप्त होता है:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u} \qquad (20.4)$$

अब हम एक अन्य महत्वपूर्ण शब्द **आवर्धन** का समावेश करते हैं। यह प्रतिबिंब के साइज (आमाप) और बिंब के साइज (आमाप) के मध्य अनुपात व्यक्त करता है:

$$m = \frac{\text{प्रतिबिंब का आमाप}}{\text{बिंब का आमाप}} = \frac{h_2}{h_1}$$

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

अत: $$m = -\frac{h_2}{h_1} = \frac{v}{u} \qquad (20.5)$$

चूंकि वास्तविक प्रतिबिंब उल्टा होता है, हम लिख सकते हैं:

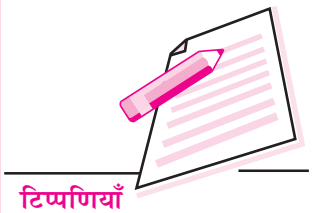
$$m = \frac{A'B'}{AB} = -\frac{v}{u} \qquad (20.5b)$$

संख्यात्मक प्रश्नों को हल करने के लिए निम्नलिखित चरणों को याद रखिए:

1. किसी भी गोलीय दर्पण के लिए निम्नलिखित दर्पण सूत्र का प्रयोग करें:

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

2. नियत राशियों के संख्यात्मक मानों को समुचित चिह्नों के साथ प्रतिस्थापित करें।



3. ज्ञात की जाने वाली राशि को कोई चिह्न न दें; प्रासंगिक चिह्न के साथ यह स्वतः प्राप्त जो जाएगी।

4. याद रखें कि वास्तविक प्रतिबिंब के लिए रैखिक आवर्धन ऋणात्मक और आभासी प्रतिबिंब के लिए रैखिक आवर्धन धनात्मक होता है।

5. संख्यात्मक प्रश्न हल प्रारंभ करने से पहले चित्र खींचना सदैव अच्छा रहता है।

पाठगत प्रश्न 20.2

1. यदि दर्पण के समीप खड़े किसी व्यक्ति को अपना सिर छोटा तथा कूल्हे बड़े दिखाई दें तो यह दर्पण किस प्रकार का होगा?

2. दाढ़ी बनाने के दर्पण अवतल और पिछला दृश्य देखने के लिए दर्पण उत्तल क्यों होते हैं? अपने उत्तर के समर्थन में किरण आरेख खींचिए।

3. 25 cm फोकस दूरी के अवतल दर्पण के सम्मुख जैसे-जैसे किसी बिंब की स्थिति में परिवर्तन किया जाता है वैसे-वैसे उसके प्रतिबिंब की स्थिति भी बदलती जाती है। प्रतिबिंब-दूरी व बिंब दूरी के बीच ग्राफ (वक्र) बनाइये जबकि बिंब-दूरी $-x$ से $+x$ तक बदलती जाती है। प्रतिबिंब वास्तविक कब होगा? आभासी प्रतिबिंब कब होगा? दोनों स्थितियों का चित्र खींचिए।

4. वे दो परिस्थितियाँ बताइए जिनमें अवतल दर्पण के सामने रखा कोई बिंब, आवर्धित प्रतिबिंब बनाता है। किरण आरेख खींच कर अपने उत्तर को समझाइए।

5. 2.6 cm ऊँचा कोई बिंब, किसी अवतल दर्पण से 24 cm की दूरी पर स्थित है। इस दर्पण की वक्रता-त्रिज्या 16 cm है। ज्ञात कीजिए (i) प्रतिबिंब की स्थिति, और (ii) प्रतिबिंब का साइज(आमाप) और प्रकृति।

6. कोई अवतल दर्पण 15 cm की दूरी पर रखें बिंब की ऊँचाई से 4 गुना ऊँचाई का वास्तविक प्रतिबिंब बनाता है। प्रतिबिंब की स्थिति और दर्पण की वक्रता-त्रिज्या ज्ञात कीजिए।

7. 20 cm वक्रता-त्रिज्या के किसी उत्तल दर्पण द्वारा बने प्रतिबिंब का साइज (आमाप), बिंब के साइज (आमाप) का आधा है। बिंब और उसके प्रतिबिंब की स्थिति निर्धारित कीजिए।

8. कोई बन्दर 10 cm त्रिज्या की पॉलिश की हुई गोलाकार गेंद को टकटकी लगाकर देखता है। यदि पृष्ठ से उसकी आँख 20 cm की दूरी पर हो तो उसकी आँख का प्रतिबिंब कहाँ बनेगा?

20.3 प्रकाश का अपवर्तन

जब प्रकाश विरल माध्यम (वायु) से सघन माध्यम (जल, काँच) में तिरछा प्रवेश करता है तो संचरण की दिशा में परिवर्तन हो जाता है। **दो असमान माध्यमों की परिसीमा पर प्रकाश**

का इस प्रकार मुड़ना, अपवर्तन कहलाता है।

जब प्रकाश की कोई किरण किसी अंतरापृष्ठ पर अपवर्तित होती है तो यह निम्नलिखित दो नियमों का पालन करती है:

नियम-I: आपतित किरण, अपवर्तित किरण और आपतन बिंदु पर पृष्ठ पर अभिलंब सदैव एक ही समतल में स्थित होते हैं।

नियम-II: आपतन कोण की ज्या (साइन) और अपवर्तन कोण की ज्या (साइन) का अनुपात किसी माध्यम-युगल के लिए अपरिवर्ती होता है। यह आपतन कोण पर निर्भर नहीं करता। नियत रंग के प्रकाश के लिए यह अनुपात केवल दो माध्यमों (माध्यम-युगल) पर निर्भर करता है।

यह नियम हालैंडवासी वैज्ञानिक विलेब्रोर्ड वान रॉयजन स्नेल ने प्रतिपादित किया था ओर उनके सम्मान में यह नियम अक्सर **स्नेल नियम** कहलाता हैं। स्नेल नियम के अनुसार,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \mu_{12}$$

जबकि μ_{12} एक स्थिरांक है और यह पहले माध्यम के सापेक्ष, दूसरे माध्यम का **अपवर्तनांक** कहलाता है, जो निर्धारित करता है कि दोनों माध्यमों को पृथक करने वाले अंतर्पृष्ठ पर कितना बंकन (झुकाव) हो गया है। प्रथम माध्यम में प्रकाश के वेग और दूसरे माध्यम में प्रकाश के वेग के अनुपात के द्वारा भी इसे व्यक्त किया जा सकता है।

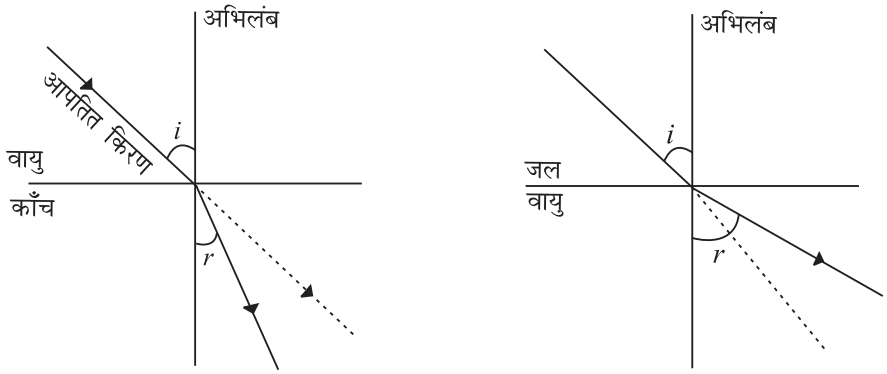
यथा, $$\mu_{12} = \frac{c_1}{c_2}$$

कुछ प्ररूपी पदार्थों के अपवर्तनांक सारणी 20.1 में दिए गए हैं। ध्यान रहे कि ये मान, वायु और निर्वात के संदर्भ में हैं। अधिक अपवर्तनांक वाला माध्यम प्रकाशत: सघन माध्यम है और जिस माध्यम का अपवर्तनांक कम होता है वह विरल माध्यम कहलाता है। अत: वायु की तुलना में जल सघन है परन्तु काँच की तुलना में जल विरल है। इसी प्रकार सामान्य काँच की तुलना में क्राउन काँच सघन है परन्तु फ्लिन्ट काँच की तुलना में क्राउन काँच विरल है।

सारणी 20.1: कुछ सामान्य पदार्थों के अपवर्तनांक

माध्यम	μ
निर्वात/वायु	1
जल	1.33
सामान्य काँच	1.50
क्राउन काँच	1.52
सघन फ्लिन्ट काँच	1.65
हीरा	2.42

यदि हम वायु से काँच जैसे माध्यम में अपवर्तन पर विचार करें जो वायु की तुलना में प्रकाशत: सघन है [चित्र 20.6 (a)], तो $\angle i$ की तुलना में $\angle r$ कम होगा [चित्र 20.6: (a)] अर्थात् वायु-काँच अंतर्पृष्ठ पर अपवर्तित किरण, अभिलंब से दूर मुड़ जाती है। उसके विपरीत यदि किरण, जल से वायु में प्रवेश करे तो , $\angle i$ की तुलना में $\angle r$ अधिक होगा।



चित्र 20.6: (a) वायु काँच अंतर्पृष्ठ पर अपवर्तन और (b) जल-वायु अंतर्पृष्ठ पर अपवर्तन

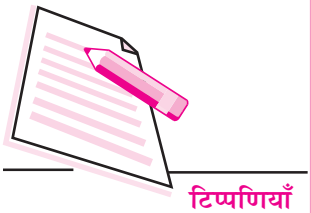
विलब्रोर्ड फान रॉयजन स्नेल
(1580 – 1626)

विलब्रोर्ड स्नेल का जन्म लीडेन में 1580 में हुआ था। बहुत कम आयु में उन्होंने गणित का अध्ययन प्रारंभ किया। उन्होंने लीडेन विश्वविद्यालय में प्रवेश किया और प्रारंभ में विधि (कानून) का अध्ययन किया। परन्तु शीघ्र ही उन्होंने अपना ध्यान गणित पर केन्द्रित किया और 20 वर्ष की आयु में विश्वविद्यालय में अध्यापन प्रारंभ किया। 1613 में वह अपने पिता के पद पर गणित के प्रोफेसर नियुक्त हुए।

उन्होंने गणित में महत्वपूर्ण कार्य किया जिसमें बहुभुज द्वारा π के सन्निकट मान के परिकलन की विधि भी सम्मिलित थी। 96 भुजा वाले बहुभुज के प्रयोग करने की उनकी विधि से सात अंकों तक π का सही मान प्राप्त हुआ जब कि चिरसम्मत विधि से π का सही मान 2 अंकों तक ही प्राप्त होता था। स्नेल ने कुछ पुस्तकें भी प्रकाशित की जिनमें धूमकेतु पर किया हुआ उसका कार्य भी शामिल है। यद्यपि विज्ञान में उनका सबसे बड़ा योगदान अपवर्तन नियमों की खोज है। हालांकि अपवर्तन पर किए हुए कार्य को वह प्रकाशित नहीं कर सके। इनके बारे में जानकारी उनकी मृत्यु के 77 वर्ष बाद सन् 1703 में प्राप्त हुई जब हाइगेन्स ने उनके परिणामों को ''डाइऑप्टिक्स'' में प्रकाशित किया।

20.3.1 प्रकाश की उत्क्रमणीयता

चित्र 20.6 (b) का पुन: अवलोकन कीजिए। इसमें उत्क्रमणीयता का सिद्धान्त दर्शाया गया है। ऐसा प्रतीत होता है कि मानों प्रकाश की किरण अपने पथ पर वापस आ रही है। सदैव यह



टिप्पणियाँ

आवश्यक नहीं कि प्रकाश, वायु से सघन माध्यम में गमन करे। वास्तव में पारदर्शी माध्यमों का कोई भी संयोजन हो सकता है। मान लीजिए कि प्रकाश, जल-काँच पर अंतर्पृष्ठ पर आपतित है। तब स्नेल नियम को लागू करने पर;

$$\frac{\sin i_w}{\sin i_g} = \mu_{wg} \qquad (20.6)$$

अब हम वायु-काँच और वायु-जल अंतर्पृष्ठ पर अलग-अलग विचार करते हैं। स्नेल नियम के अनुसार हम लिख सकते हैं,

$$\frac{\sin i_a}{\sin i_g} = \mu_{ag}$$

तथा

$$\frac{\sin i_a}{\sin i_w} = \mu_{aw}$$

इन दोंनों परिणामों को सयुक्त करने पर हम पाते हैं,

$$\mu_{ag} \sin i_g = \mu_{aw} \sin i_w \qquad (20.7)$$

इसे पुनः इस प्रकार लिखा जा सकता है,

$$\frac{\sin i_w}{\sin i_g} = \frac{\mu_{ag}}{\mu_{aw}} \qquad (20.8)$$

समीकरण (20.6) तथा समीकरण (20.8) की तुलना करने पर,

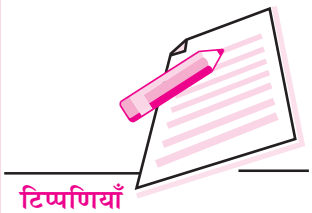
$$\mu_{wg} = \frac{\mu_{ag}}{\mu_{aw}} \qquad (20.9)$$

यह परिणाम दर्शाता है कि जब प्रकाश जल से काँच में गमन करता है तो जल के सापेक्ष काँच के अपवर्तनांक को वायु के सापेक्ष काँच और जल के अपवर्तनांकों के पदों में व्यक्त किया जा सकता है।

उदाहरण 20.1: प्रकाश की कोई किरण जल-काँच अंतर्पृष्ठ पर 30° के कोण पर आपतित है। अपवर्तन कोण परिकलित कीजिए। दिया है, $\mu_{ag} = 1.5$, $\mu_{aw} = 1.3$

हल: समीकरण (20.8) से हम जानते हैं कि,

$$\frac{\sin i_w}{\sin i_g} = \frac{\mu_{ag}}{\mu_{aw}}$$



$$\frac{\sin 30^0}{\sin i_g} = \frac{1.5}{1.3}$$

अथवा $$\sin i_g = \left(\frac{1.3}{1.5}\right) \times \frac{1}{2}$$

$$= 0.4446$$

अथवा $$i_g = 25^o41'$$

उदाहरण 20.2: जल में प्रकाश की चाल परिकलित कीजिए, यदि वायु के सापेक्ष जल का अपवर्तनांक 4/3 है। निर्वात में प्रकाश की चाल = 3×10^8 ms^{-1} है।

हल: हम जानते हैं कि,

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

या $$v = \frac{c}{\mu}$$

$$= \frac{(3\times10^8 \text{ ms}^{-1})}{4/3}$$

$$= \frac{3\times10^8 \times 3}{4}$$

$$= 2.25 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

उदाहरण 20.3: जल और काँच के अपवर्तनांक क्रमश: 1.52 तथा 1.33 है। जल के सापेक्ष, काँच का अपवर्तनांक परिकलित कीजिए।

हल: समीकरण (20.9) का प्रयोग कर हम लिख सकते हैं,

$$\mu_{wg} = \frac{\mu_{ag}}{\mu_{aw}} = \frac{1.52}{1.33} = 1.14$$

पाठगत प्रश्न 20.3

1. जब काँच की सिल्ली पर कोई प्रकाश पुंज अभिलंबत: आपतित होता है तो पार्श्विक विस्थापन क्या होगा?
2. जब $\angle i < \angle i_c$ तथा $\angle i > \angle i_c$ हों तो किसी अर्धवृत्ताकार काँच की सिल्ली के केन्द्र पर आपतित प्रकाश के पथ का अनुरेखण कीजिए।
3. पृथ्वी का वायुमंडल सूर्य और चन्द्रमा के आभासी आकार को किस प्रकार और क्यों परिवर्तित करता है जब वे क्षितिज के समीप होते हैं?
4. तारे क्यों टिमटिमाते हैं?

5. खाली पात्र की तुलना में जल से भरा पात्र क्यों उथला (कम गहरा) प्रतीत होता है? इसके लिए स्वच्छ किरण आरेख खींचिए।

6. जल के पृष्ठ पर 52° के कोण पर आपतित प्रकाश का अपवर्तन-कोण परिकलित कीजिए जबकि $\mu = 4/3$ है।

20.4 पूर्ण आंतरिक परावर्तन

क्रियाकलाप 20.1

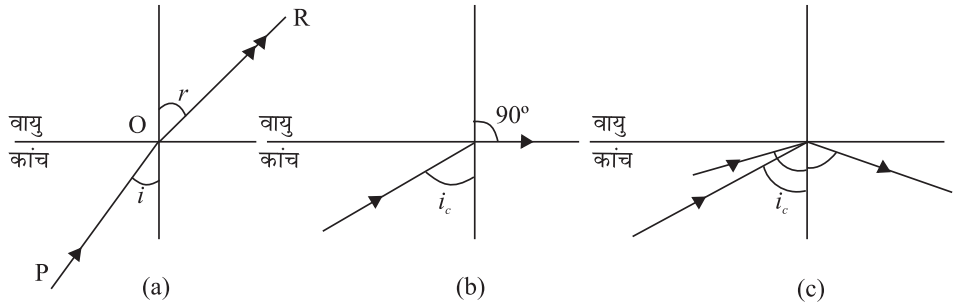
कोई छड़ लीजिए, उसे साइकल-ग्रीज से लेपित कर दीजिए और उसे जल में डुबो दीजिए अथवा एक पतली काँच की शीशी जेसे होम्योपैथिक दवा रखने की शीशी लीजिए और उसे जल में डुबोईए। आप देंखेंगे कि छड़ अथवा शीशी लगभग चांदी की भांति चमकती है। क्या आप इसका कारण जानते हैं? यह विचित्र प्रभाव एक विशेष प्रकार के अपवर्तन के कारण है। हम जानते हैं कि जब कोई प्रकाश-किरण प्रकाशत: सघन माध्यम से प्रकाशत: विरल माध्यम अर्थात् काँच से वायु में अथवा जल से वायु में गमन करती है तो अपवर्तित किरण मुड़कर अभिलंब से दूर हो जाती है। इसका यह अर्थ हुआ कि आपतन कोण की तुलना में अपवर्तन कोण अधिक होता है। जब आपतन कोण बढ़ाया जाता है तो अपवर्तित किरण का क्या होता है? अपवर्तित किरण के झुकाव (बंकन) में भी वृद्धि हो जाती है। अपवर्तन कोण का अधिकतम मान 90° हो सकता है। **सघन माध्यम में आपतन कोण, जिसके लिए विरल माध्यम में (इस उदाहरण में वायु) अपवर्तन कोण 90° होता है, क्रांतिक कोण i_c कहलाता है।** तब अपवर्तित किरण दोनों माध्यमों को पृथक करने वाली परिसीमा के अनुदिश गमन करती है। यदि आपतन कोण, क्रांतिक कोण से अधिक हो तो आपतित किरण उसी माध्यम में वापस परावर्तित हो जाती है जैसा कि चित्र 20.7 (c) में दर्शाया गया है। इस प्रकार का परावर्तन **पूर्ण आंतरिक परावर्तन** कहलाता है और आपतित किरण पूर्ण आंतरिक परावर्तित कही जाएगी। पूर्ण आंतरिक परावर्तन होने के लिए निम्नलिखित दो प्रतिबंधों की संतुष्टि आवश्यक है:

- प्रकाश का प्रकाशत: सघन माध्यम से प्रकाशत: विरल माध्यम में गमन होना चाहिए।
- सघन माध्यम में आपतन कोण दोनों माध्यमों के क्रांतिक कोण से अधिक होना चाहिए।

क्रियाकलाप 20.1 में काँच की नली चांदी जैसी इस कारण प्रतीत होती है क्योंकि उसके पृष्ठ से कुल आंतरिक परावर्तन हो गया है।

स्नेल नियम का प्रयोग कर अपवर्तनांक के पदों में क्रांतिक कोण के लिए व्यंजक आसानी से प्राप्त किया जा सकता है। काँच-वायु अंतरापृष्ठ पर अपवर्तन के लिए हम लिख सकते हैं:

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



चित्र 20.7: (a) $i < i_c$, (b) $i = i_c$ (c) $i > i_c$ तथा (c) I> i_c के लिए काँच से वायु में गमन के लिए प्रकाश कर अपवर्तन

$r = 90°$ तथा $i = i_c$, रखने पर,

$$\frac{\sin i_c}{\sin 90^o} = \mu_{ga}$$

अथवा $$\sin i_c = \mu_{ga}$$

अत: $$\mu_{ag} = \frac{1}{\mu_{ga}} = \frac{1}{\sin i_c}$$

कुछ पदार्थों के क्रांतिक कोण सारणी 20.2 में दिए गए हैं।

उदाहरण 20.4: काँच का अपवर्तनांक 1.52 है। काँच-वायु अंतरापृष्ठ के लिए क्रांतिक-कोण परिकलित कीजिए।

हल: हम जानते हैं कि,

$$\mu = 1/\sin i_c$$

$$\sin i_c = 1/\mu = \frac{1}{1.52}$$

$$\therefore \quad i_c = 42^o$$

पारदर्शी पदार्थों में बहुत कुछ चमक पूर्ण आंतरिक परावर्तन के कारण होती है। अब आप समझ सकते हैं कि हीरें क्यों इतना चमकते हैं? क्योंकि उनके लिए क्रांतिक कोण पर्याप्त कम होता हैऔर क्रिस्टल में प्रवेश करने वाला अधिकांश प्रकाश का अन्ततः बाहर आने से पहले कई बार आंतरिक परावर्तन हो जाता है।

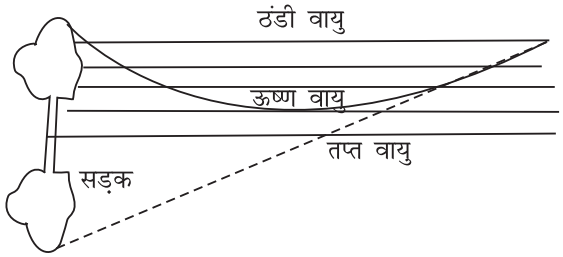
सामान्य परावर्तन में आपतित किरण की तुलना में परावर्तित किरण सदैव क्षीण होती है चाहे परावर्तनी पृष्ठ अति पॉलिश किया हुआ क्यों न हो। इसी कारण कुछ प्रकाश सदैव संचरित अथवा अवशोषित हो जाता है। परन्तु, पूर्ण आंतरिक परावर्तन की स्थिति में, पारदर्शी परिसीमा से शत प्रतिशत (100%) प्रकाश परावर्तित हो जाता है।

20.4.1 अपवर्तन और पूर्ण आंतरिक परावर्तन के अनुप्रयोग

जीवन की वास्तविक परिस्थितियों में इन परिघटनाओं के अनेक उदाहरण हैं। हम इनमें से कुछ पर विचार करेंगे।

(a) मरीचिका: मरीचिका एक प्रकार का प्रकाशिक भ्रम है जो तपती गर्मी के मौसम में रेगिस्तानों अथवा डामर युक्त सड़कों पर देखी जाती है। जैसा कि आपने देखा होगा इससे जल का भ्रम होता है जो वास्तव में वहाँ नहीं होता है।

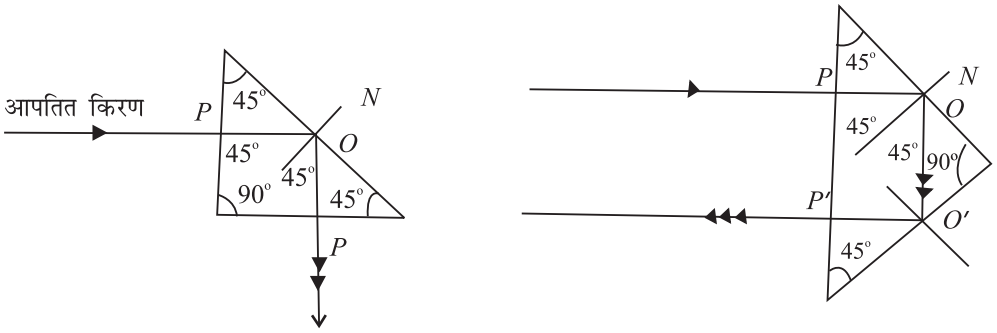
अत्यधिक गर्मी के कारण सड़क बहुत गर्म हो जाती है और इसके संपर्क की वायु भी गर्म हो जाती है। सड़क के ठीक ऊपर की परतों के घनत्व और अपवर्तनांक, अपेक्षाकृत ऊपरी ठंडी परतों की तुलना में कम होते हैं। चूंकि माध्यम में कोई सहसा परिवर्तन नहीं होता (देखिए चित्र 20.9) अत: किसी सुदूर बिंब जैसे कोई वृक्ष से आने वाली प्रकाश की किरण, जैसे-जैसे इन पर्तों से होकर गुजरती है उसमें अधिकाधिक झुकाव (बंकन) होता जाता है। जब यह किसी परत पर दो क्रमागत परतों के लिए क्रांतिक कोण से अधिक कोण पर गिरती है तो पूर्ण आंतरिक परावर्तन हो जाता है। इससे वृक्ष का उल्टा प्रतिबिंब प्राप्त होता है जिससे जल के कुंड का भ्रम होता है।



चित्र 20.8: मरीचिका का बनना

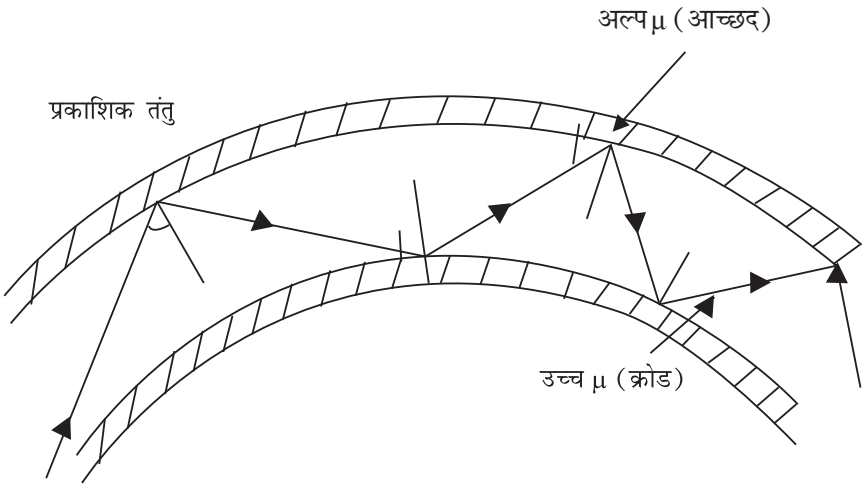
पूर्ण परावर्तक प्रिज्म: प्रकाश के परावर्तन के लिए समकोण युक्त समबाहु त्रिभुजाकार आधार का कोई प्रिज्म अथवा $90^o, 45^o$ तथा 45^o कोण वाला पूर्ण परावर्तक प्रिज्म एक उपयोगी युक्ति है।

चित्र 20.9 (a) का अवलोकन करें। प्रिज्म की सममिति के कारण प्रकाश O पर 45^o के कोण पर आपतित है जो काँच के क्रांतिक कोण 42^o से अधिक है। परिणामस्वरूप प्रकाश का पूर्ण आंतरिक परावर्तन हो जाता है और वह 90^o के कोण से विचलित हो जाता है।



चित्र 20.9: पूर्णत: परावर्तक प्रिज्म

आपतित किरण के अन्य फलक को चुनने पर किरण O तथा O' पर होने वाले दो क्रमागत पूर्ण आंतरिक परावर्तनों के कारण 180° द्वारा विचलित हो जाती है जैसा कि चित्र 20.9 (b) में दिखाया गया है।



चित्र 20.10: किसी प्रकाशिक तंतु में बहु परावर्तन

'प्रकाशिक तंतु' काँच या क्वार्ट्ज से निर्मित केशवत् संरचना होती हैं। इसकी आंतरिक क्रोड पर ऐसी सामग्री की पतली परत (आच्छद) चढ़ी होती है जिसका अपवर्तनांक किंचित कम होता है। उदाहरणस्वरूप क्रोड का अपवर्तनांक लगभग 1.7 तथा आच्छद का अपवर्तनांक 1. 5 होता है। इस व्यवस्था से पूर्ण आंतरिक परावर्तन सुनिश्चित हो जाता है। यदि आप पूर्ण आंतरिक परावर्तन के प्रतिबंधों का स्मरण करें तो यह बात आसानी से समझ सकते हैं।

जब तंतु के एक सिरे पर प्रकाश अल्प-कोण पर आपतित किया जाता है तो इसमें तंतु के अनुदिश (चित्र 20.10) कई बार पूर्ण आंतरिक परावर्तन हो जाते हैं। प्रकाश अन्ततः दूसरे सिरे पर तीव्रता में बिना किसी कमी के निर्गमित हो जाता है (बाहर निकल जाता है)। तंतु मुड़ा होने पर भी यह प्रक्रम अप्रभावित रहता है। आजकल प्रकाशिक तंतुओं का प्रचुरता से प्रयोग होता है। प्रकाशिक तंतुओं का प्रयोग करने वाले नम्य प्रकाश पाइप का प्रयोग, शरीर के अगम्य भागों यथा आमाशय तथा मूत्राशय आदि के लैपेरोस्कोपी परीक्षण में होता है। प्रकाशिक तंतुओं के अन्य चिकित्सीय अनुप्रयोग न्यूरोसर्जरी तथा श्वसनी के अध्ययन में किया जाताहै। चिकित्सीय अनुप्रयोगों के अतिरिक्त प्रकाशिक तंतुओं ने संचार में क्रांतिकारी परिवर्तन ला दिए हैं। प्रत्येक तंतु तीव्रता में बिना किसी अधिक परिवर्तन के 10,000 टेलीफोन संदेशों का दूर तक वहन कर सकता है। इसी कारण लाखों व्यक्ति प्रकाशिक तंतु जालक्रम (नेटवर्क) पर एक महाद्वीप से दूसरे महाद्वीप तक एक साथ बातचीत कर सकते हैं।

पाठगत प्रश्न 20.4

1. जब कोई किरण विरल माध्यम से सघन माध्यम में गमन करती है तो पूर्ण आंतरिक परावर्तन क्यों नहीं होता?

2. काँच का क्रांतिक कोण 40° है। यदि काँच के किसी टुकड़े को जल में डुबो दिया जाए तो क्या इस मान में कोई परिवर्तन होगा? कारण सहित उत्तर दीजिए।

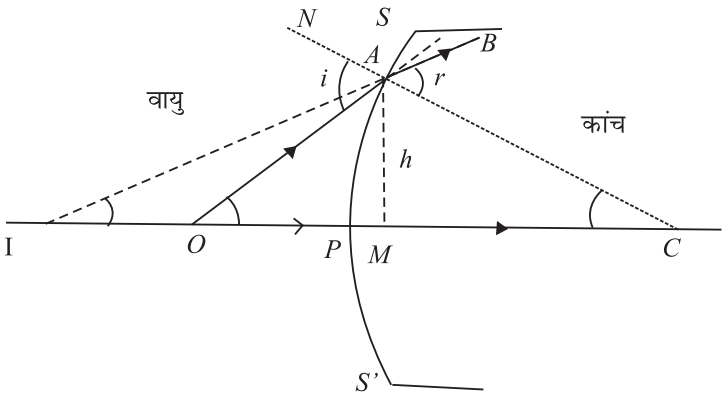
3. किरण आरेख द्वारा दर्शाइए कि (i) समतल दर्पण, और (ii) पूर्ण परावर्तक प्रिज्म का प्रयोग करके प्रकाश किरण किस प्रकार 90° के कोण से विचलित हो जाती है? दूसरे उदाहरण में प्रकाश की तीव्रता क्यों अधिक होती है?

4. पात्र में कोई द्रव 25 cm की गहराई पर है। ऊपर से देखने पर इसकी आभासी गहराई कितनी होगी, यदि द्रव का अपवर्तनांक 1.25 है। द्रव का क्रांतिक कोण कितना होगा?

20.5 गोलीय पृष्ठ पर अपवर्तन

हम कंचे, जलबूंद, काँच की शीशी जैसे गोलीय पृष्ठों के चारों ओर रखें बिंबों की प्रतिबिंब रचना का अध्ययन कर सकते हैं। गोलीय अपवर्तक पृष्ठोंसे दूरी के मापन में हम उसी चिह्न परिपाटी का प्रयोग करेंगे जो गोलीय दर्पणों के लिए लागू होती है। चित्र 20.11 को देखिए।

SPS' एक उत्तल अपवर्तक पृष्ठ है जो दो माध्यमों, वायु और काँच को पृथक करती है। C इसका वक्रता-केन्द्र है, P बिंदु SPS' पर लगभग सममितीयत: स्थित है। आप इसे ध्रुव कह सकते हैं। तब CP **मुख्य अक्ष** होगी। O एक बिंदु बिंब है। OA आपतित किरण और AB अपवर्तित किरण है। एक अन्य किरण OP पृष्ठ पर अभिलंबत: गिरती हैं और अपवर्तन के बाद अविचलित रहती है। PC और AB वास्तव में I से आती प्रतीत होती हैं। अत: O का आभासी प्रतिबिंब I है।

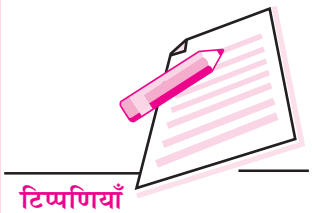


चित्र 20.11: गोलीय पृष्ठ पर अपवर्तन

यदि $\angle OAN = i$, आपतन कोण तथा $\angle CAB = r$, अपवर्तन कोण हैं तो समुचित चिह्न परिपाटी का प्रयोग कर हम लिख सकते हैं;

$$PO = -u\,;\, PI = -v\,;\, PC = +R$$

मान लीजिए α, β, तथा γ मुख्य अक्ष के साथ क्रमश: OA, IA तथा CA, द्वारा अंतरित कोण हैं और h मुख्य अक्ष पर A से खींचे गए अभिलंब की ऊँचाई है। अब ΔOCA तथा ΔICA में,



$$i = \alpha + \gamma \quad (i \text{ बाह्य कोण}) \tag{20.10}$$

और

$$r = \beta + \gamma \quad (r \text{ बाह्य कोण}) \tag{20.11}$$

स्नेल नियम के अनुसार,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \mu$$

जब कि μ वायु के सापेक्ष काँच पृष्ठ का अपवर्तनांक है। अल्प द्वारक वाले पृष्ठ में, A के समीप P होगा और इस प्रकार i और r बहुत छोटे (अत्यल्प) ($\sin i \simeq i, \sin r \simeq r$) होंगे। अत: ऊपर के समीकरण से प्राप्त होता है;

$$i = \mu r \tag{20.12}$$

क्रमश: समीकरणों (20.10) और (20.11) से समीकरण (20.12) में i और r के मान प्रतिस्थापित करने पर हम पाते हैं:

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

या

$$\alpha - \mu\beta = \gamma (\mu - 1) \tag{20.13}$$

चूंकि α, β और γ अत्यल्प हैं हम $\tan \alpha \simeq \alpha$, $\tan \beta \simeq \beta$, और $\tan \gamma = \gamma$ मान सकते हैं। चित्र 20.11 के संदर्भ में हम इस प्रकार लिख सकते हैं:

$$\alpha \approx \tan \alpha = \frac{AM}{MO} = \frac{AP}{PO} = \frac{h}{-u} \quad (M, \text{ यदि } P \text{ के बहुत समीप है।})$$

$$\beta \approx \tan \beta = \frac{AM}{MI} = \frac{AM}{PI} = \frac{h}{-v}$$

तथा

$$\gamma \simeq \tan \gamma = \frac{AM}{MC} = \frac{AM}{PC} = \frac{h}{R}$$

समीकरण (20.13) में α, β और γ के मान प्रतिस्थापित करने पर हम पाते हैं:

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

अथवा

$$\frac{\mu}{v} - \frac{1}{u} = \frac{\mu - 1}{R} \tag{20.14}$$

यह महत्वपूर्ण संबंध, बिंब दूरी और प्रतिबिंब दूरी के साथ अपवर्तक पृष्ठ के अपवर्तनांक और वक्रता-त्रिज्या के मध्य सहसंबंध दर्शाता है।

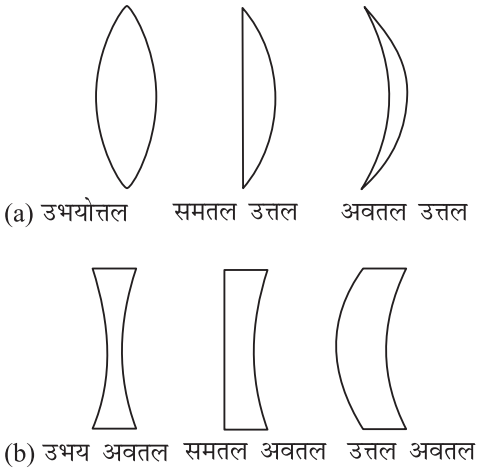
20.5.1 लेन्सों से परावर्तन

लेन्स किसी पारदर्शी पदार्थ (सामान्यत: काँच) का एक पतला टुकड़ा होता है जिसमें दो पृष्ठ होते हैं जिनमें एक या दोनों पृष्ठ वक्रित (अधिकांश गोलीय) रहते हैं आप पिछली कक्षाओं

में पढ़ चुके हैं कि लेन्स मुख्यत: दो प्रकार के होते हैं अर्थात् उत्तल और अवतल लेन्स। इनमें से प्रत्येक तीन प्ररूपों में उपविभाजित रहता है जैसा कि चित्र 20.12 में दिखाया गया है। इस प्रकार समतल-उत्तल और समतल-अवतल लेन्स भी होते हैं।

आधारी नाम पद्धति

पतले लेंस: यदि लेन्स की मोटाई उसकी वक्रता-त्रिज्या की तुलना में नगण्य हो तो यह पतला लेन्स कहलायेगा। हम केवल पतले लेन्सों की ही चर्चा करेंगे। लेन्स के दोंनों पृष्ठों के वक्रता केन्द्रों को मिलाने वाली रेखा **मुख्य अक्ष** कहलाती है।



चित्र 20.12: लेंसों के प्रारूप

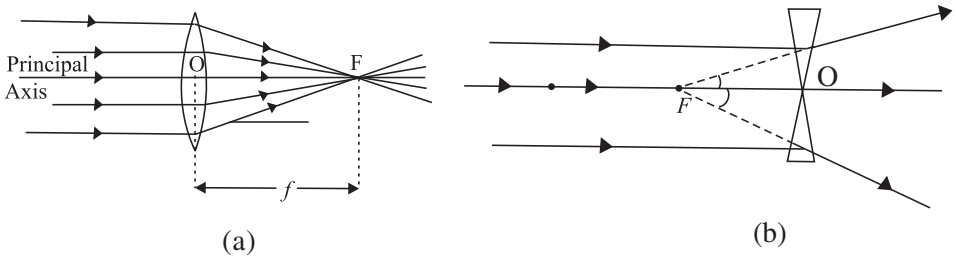
मुख्य अक्ष पर स्थित लेन्स के केन्द्र पर बिंदु **प्रकाशिक केन्द्र** कहलाता है। प्रकाशिक केन्द्र से होकर जाने वाली किरणें विचलित नहीं होती।

मुख्य फोकस वह बिंदु है जिस पर मुख्य अक्ष के समांतर और समीप की किरणें अभिसारित या अपसरित होती प्रतीत होती हैं। यह F द्वारा व्यक्त किया जाता है (चित्र 20.13) है।

लेन्स से होकर प्रकाश की किरणें किसी भी दिशा में गमन कर सकती हैं। अत: प्रत्येक लेन्स के दो मुख्य फोकस होते हैं और लेन्स के दोनों ओर एक-एक फोकस होता है।

प्रकाशिक केन्द्र और मुख्य फोकस के मध्य दूरी **फोकस दूरी** कहलाती हैं। चित्र 20.13 में *OF* फोकस दूरी (*f*) है। चिह्न परिपाटी के अनुसार उत्तल लेन्स के लिए *OF* धनात्मक और अवतल लेन्स के लिए *OF* ऋणात्मक होता है।

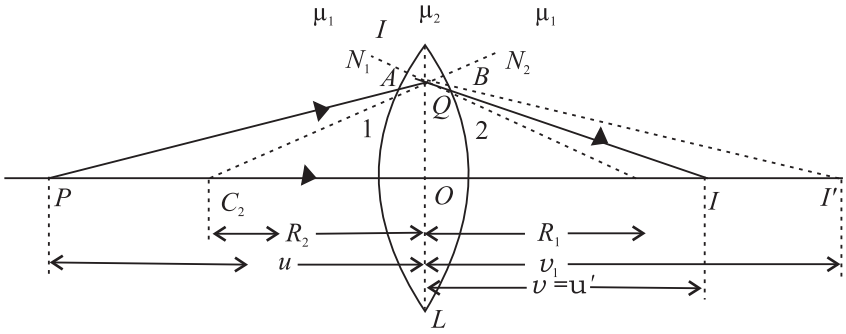
मुख्य अक्ष के अभिलंब और फोकस होकर गुजरने वाला समतल, **फोकस समतल** कहलाता है।



चित्र 23.13: (a) उत्तल, और (b) अवतल लेन्सों के फोकस

20.5.2 लेन्स निर्माता सूत्र और आवर्धन

अब आप अनुमान लगा सकते हैं कि फोकस दूरी का, वक्रता त्रिज्या और लेन्स के पदार्थ के अपवर्तनांक के साथ संबंध होना चाहिए। मान लीजिए कोई पतला उत्तल लेन्स L, प्रकाशिक बैंच पर स्थित (चित्र 20.14) है। वायु के सापेक्ष लेन्स की सामग्री का अपवर्तनांक μ और दोनों पृष्ठों की वक्रता त्रिज्याएं क्रमशः R_1 और R_2 हैं। मान लीजिए कि मुख्य अक्ष पर कोई बिंदुबिंब P स्थित है। वक्र पृष्ठों 1 और 2 के वक्रता केन्द्र क्रमशः C_1 और C_2 हैं।



चित्र 20.14: किसी बिंदु बिंब का पतले उभयोत्तल लेन्स द्वारा रचित बिंदु प्रतिबिंब

P से कोई किरण पृष्ठ 1 से A पर टकराती है। पृष्ठ 1 के बिंदु A पर अभिलंब C_1N_1 है। किरण PA विरल माध्यम (वायु) से सघन माध्यम (काँच) में जाने पर अभिलंब की ओर मुड़ती है और AB दिशा में गमन करती है। **पृष्ठ 2 की अनुपस्थिति** में किरण AB मुख्य अक्ष C_2C_1 से बिंदु I' पर मिलेगी। इसी प्रकार P से दूसरी किरण प्रकाशिक केन्द्र O से होकर बिन्दु I' से गुजरती है। इस प्रकार बिंब P का आभासी प्रतिबिंब I' है।

तब बिंब दूरी $OP = u$ और प्रतिबिंब दूरी $OI' = \upsilon_1$ (मान लीजिए) होंगी। समीकरण (20.14) का प्रयोग कर हम लिख सकते हैं:

$$\frac{\mu}{\upsilon_1} - \frac{1}{u} = \frac{\mu - 1}{R_1} \qquad (20.15)$$

लेन्स के दूसरे पृष्ठ 2 की उपस्थिति से किरण AB, पृष्ठ से B पर टकराती है। बिंदु B पर C_2N_2 अभिलंब है। चूंकि किरण AB, सघन माध्यम (काँच) से विरल माध्यम (वायु) में गमन कर रही है। अतः यह अभिलंब C_2N_2 से दूर हटकर मुड़ती हुई दिशा BI में जाती है और I पर P से दूसरी किरण से मिलती है। इस प्रकार I, लेन्स द्वारा बिंब P का प्रतिबिंब है। इसका यह अर्थ हुआ कि प्रतिबिंब दूरी $OI = \upsilon$ है।

बिंदु-बिंब O पर विचार करने पर, इसका आभासी प्रतिबिंब I' (पृष्ठ 1 के कारण) और अंतिम प्रतिबंब I, है। लेन्स के पृष्ठ 2 के लिए आभासी बिंब I' है और I अंतिम प्रतिबंब है। तब बिंब दूरी $OI' = u' = \upsilon_1$ और प्रतिबिंब दूरी $OI = \upsilon$ होगी।

समीकरण (20.12) को लागू करने पर और यह मानते हुए कि किरण AB **काँच से वायु** में गमन कर रही है, हम पाते हैं:

$$\frac{(1/\mu)}{\upsilon}+\frac{1}{\upsilon_1}=\frac{(1/\mu)-1}{R_2}$$

अथवा $$\frac{1}{\mu\upsilon}-\frac{1}{\upsilon_1}=\frac{1-\mu}{\mu R_2}$$

दोनों ओर μ से गुणा करने पर,

$$\frac{1}{\upsilon}-\frac{\mu}{\upsilon_1}=\frac{\mu-1}{R_2} \qquad (20.16)$$

समीकरण (20.15) और समीकरण (20.16) को जोड़ने पर,

$$\frac{1}{\upsilon}-\frac{1}{u}=(\mu-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right) \qquad (20.17)$$

यदि $u=\infty$ अर्थात् बिंब अनंत पर हो तो आगमी (उससे आनेवाली) किरणें समांतर होंगी और अपवर्तन के बाद; फोकस ($\upsilon=f$) पर अभिसारित होंगी। तब समीकरण (20.17) इस प्रकार हो जाता है:

$$\frac{1}{f}=(\mu-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right) \qquad (20.18)$$

यह लेन्स निर्माता सूत्र कहलाता है।

समीकरण (20.17) और (20.18) से हम यह निष्कर्ष निकालते हैं कि;

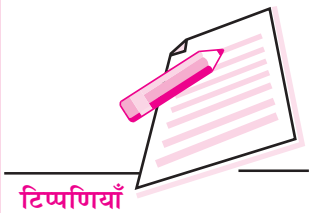
- किसी लेन्स की फोकस दूरी, गोलीय पृष्ठों की वक्रता त्रिज्याओं पर निर्भर करती हैं। अधिक वक्रता त्रिज्या वाले लेन्स की फोकस दूरी अधिक होगी।
- यदि लेन्सों के पदार्थ का अपवर्तनांक अधिक है तो लेन्स की फोकस दूरी कम होगी।

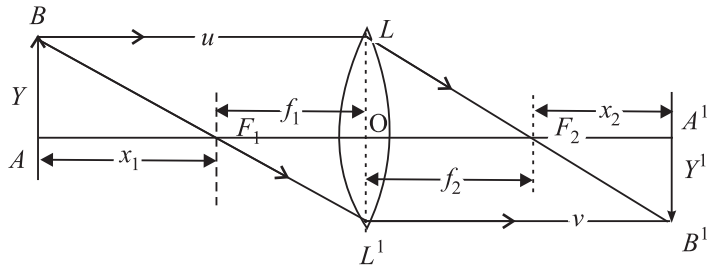
यदि लेन्स को जल या अन्य किसी अन्य पारदर्शी माध्यम में डुबा दिया जाए तो μ के मान में परिवर्तन हो जाता है और आप स्वयं ज्ञात कर सकते हैं कि फोकस दूरी में वृद्धि हो जाती हैं। यदि माध्यम का घनत्व, लेन्स की सामग्री के घनत्व से अधिक है जैसे कार्बन डाइसल्फाइड तो किरणें अपसरित तक हो सकती है।

20.5.3 न्यूटन का सूत्र

चित्र 20.5.3 में उत्तल लेन्स F_1 द्वारा बिंब AB का $A'B'$ पर निर्मित प्रतिबिम्ब दर्शाया गया है। यहाँ F_1 एवं F_2 क्रमशः लेन्स के प्रथम एवं द्वितीय फोकस हैं।

यदि हम बिम्ब एवं प्रतिबिम्ब की दूरियाँ क्रमशः प्रथम एवं द्वितीय फोकस से मापें और ये x_1 एवं x_2 हों तो –





चित्र 20.5.3

चित्र से, समरूप त्रिभुजों ABF_1 एवं $OL'F_1$ में

$$\frac{-y'}{y} = \frac{-f_1}{-x_1}$$

तथा समरूप त्रिभुजों OLF_2 एवं $A'B'F_2$ में

$$\frac{-y'}{y} = \frac{x_2}{f_2}$$

इन दो समीकरणों की तुलना से हमें प्राप्त होता है:

$$x_1 x_2 = f_1 f_2$$

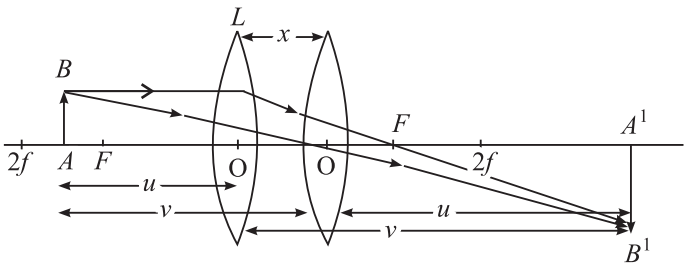
यदि $f_1 \equiv f_2 \approx f$ (ले लें) तो $x_1 x_2 = +f^2$

अथवा $f = \sqrt{x_1 x_2}$

यह संबंध न्यूटन का सूत्र कहलाता है और इसका उपयोग करके हम उत्तल लेन्स की फोकस दूरी सुविधापूर्वक माप सकते हैं।

20.5.4 प्रतिबिम्बों (संयुग्मी बिन्दुओं) की स्थिति ज्ञात करने की विस्थापन विधि

चित्र 20.5.4 में $A'B'$ लेन्स L द्वारा बना बिंब AB का प्रतिबिम्ब है। $OA = u$ तथा $OA' = v$.



चित्र 20.5.4

प्रकाश किरणों की उत्क्रमणीयता का नियम हमें बताता है कि यदि हम लेन्स को दाहिनी ओर इतना विस्थापित करें कि $AO = v$ हो तो फिर से प्रतिबिम्ब उस ही स्थान पर बनेगा, जहाँ पहले बना था।

अतः $$AA' = D = u + v \qquad ...(i)$$

और लेन्स की दो स्थितियों के बीच दूरी

$$OO' = x = (v - u) \qquad ...(ii)$$

समी. (i) एवं (ii) को जोड़ने पर, हमें मिलता है

$$v = \frac{x+D}{2}$$

तथा समी. (i) में से समी. (ii) को घटाने पर, हम पाते हैं:

$$u = \frac{D-x}{2}$$

लेन्स सूत्र में इन मानों को प्रतिस्थापित करने पर हम पाते हैं:

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

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{x+D} + \frac{2}{D-x} = \frac{2}{D+x} + \frac{2}{D-x}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{2(D-x+D+x)}{D^2 - x^2}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{4D}{D^2 - x^2}$$

अथवा $$f = \frac{D^2 - x^2}{4D}$$

अतः बिम्ब और पर्दे की स्थिति नियत रखते हुए, हम लेन्स की दो स्थितियों के संगत, पर्दे पर बिम्ब का स्पष्ट, चमकदार प्रतिबिम्ब प्राप्त कर सकते हैं। यह भी लेंस की फोकस दूरी f ज्ञात करने की एक सुविधाजनक विधि है।

20.6 लेन्सों द्वारा प्रतिबिंबों का बनना

लेन्सों द्वारा प्रतिबिंबों के बनने में किरणों के निम्नलिखित गुणधर्मों का प्रयोग किया जाता है:

- लेन्स के प्रकाशिक केन्द्र से होकर गुजरने वाली किरण अविचलित रहती है।

- मुख्य अक्ष के समान्तर कोई आपाती किरण अपवर्तन के बाद मुख्य फोकस से होकर गुजरती है।
- F या F' से होकर गुजरने वाली किरण अपवर्तन के बाद, मुख्य अक्ष के समान्तर हो जाती है।

  किरण आरेखों को खींचने के लिए, इन किरणों में से किन्हीं दो किरणों का प्रयोग किया जा सकता है।

लेन्स सूत्र $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$ से पता चलता है कि प्रतिबिंब दूरी (v) वस्तुत: बिंब दूरी (u) और लेन्स की फोकस दूरी (f) पर निर्भर करती है।

किसी लेन्स का अभिवर्धन, लेन्स द्वारा निर्मित प्रतिबिंब की ऊँचाई और बिंब की ऊँचाई के अनुपात द्वारा परिभाषित किया जाता है और इसे m द्वारा व्यक्त करते हैं:

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

जबकि I प्रतिबिंब की ऊँचाई और O बिंब की ऊँचाई हैं।

उदाहरण: 20.5: किसी उभयोत्तल लेंस की वक्रता त्रिज्याएं क्रमश: 15cm तथा 30 cm हैं। इसकी फोकस दूरी परिकलित कीजिए। 1.65 अपवर्तनांक वाले द्रव में डुबाने पर इसकी फोकस दूरी भी परिकलित कीजिए। काँच के लिए μ का मान 1.5 है।

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

हल: यहाँ $R_1 = +15\text{cm}$, तथा $R_2 = -30\text{cm}$ है। इन मानों को प्रतिस्थापित करने पर हम पाते हैं,

$$\frac{1}{f} = (1.5 - 1)\ \frac{1}{15} - \frac{1}{-30}$$

$$\Rightarrow \qquad f = 20\ \text{cm}$$

जब लेन्स को द्रव में डुबोया जाता है तो μ के स्थान पर $\mu_{\ell g}$ का प्रयोग किया जाएगा;

$$\mu_{\ell g} = \frac{\mu_{ag}}{\mu_{al}}$$

$$= \frac{1.5}{1.65} = \frac{10}{11}$$

अत:

$$\frac{1}{f_l} = (\mu_{\ell g} - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$= \frac{10}{11} - 1 \quad \frac{1}{15} - \frac{1}{-30}$$

$$= -\frac{1}{110}$$

$$\therefore \quad f = -110\text{cm}$$

चूंकि f ऋणात्मक है अत: लेन्स वास्तव में अवतल लेन्स की तरह व्यवहार करता है।

20.7 लेन्स की क्षमता

लेन्स का एक व्यावहारिक अनुप्रयोग दृष्टि-दोषों को सुधारने में किया जाता है। हो सकता है आप स्वयं चश्में का प्रयोग कर रहे हो अथवा आपने अपने साथियों, माता-पिता अथवा अन्य लोगों को चश्में का प्रयोग करते देखा होगा। जब उनसे लेन्स की क्षमता के बारे में पूछा जाता है तो वे केवल कोई धन या ऋण संख्या बताते हैं। यह संख्या क्या दर्शाती है? यह संख्या लेन्स की डाइऑप्टर में व्यक्त क्षमता है। लेन्स की क्षमता, मीटर में फोकस दूरी के व्युत्क्रम के द्वारा परिभाषित की जाती है:

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

लेन्स की क्षमता का SI मात्रक m^{-1} है। डाइऑप्टर मात्र एक व्यावसायिक मात्रक है जिसका चश्मा निर्माता सामान्यत: प्रयोग करते हैं। उत्तल लेन्स की क्षमता धनात्मक और अवतल लेन्स की क्षमता ऋणात्मक होती है। ध्यान रहे कि अधिक क्षमता का होना अल्प फोकस दूरी दर्शाता है। लेन्स निर्माता सूत्र का प्रयोग करने पर हम लेन्स की क्षमता और उसकी वक्रता-त्रिज्या में संबंध स्थापित कर सकते हैं:

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

अथवा

$$P = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

उदाहरण 20.5: ऐसे उभयोत्तल लेन्स की वक्रता त्रिज्या परिकलित कीजिए जिसकी दोनों परतों की त्रिज्याएं समान हैं और जो काँच ($\mu = 1.54$) से निर्मित है ताकि +2.75 डाइऑप्टर की क्षमता प्राप्त हो।

हल:

$$P = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$P = +2.75 \text{ dioptre}$$

$$\mu = 1.54$$

$$R_1 = R$$

तथा $$R_2 = -R$$

लेन्स निर्माता सूत्र में दिए हुए मानों को प्रतिस्थापित करने करने पर हम पाते हैं:

$$2.75 = (0.54)\ \frac{2}{R}$$

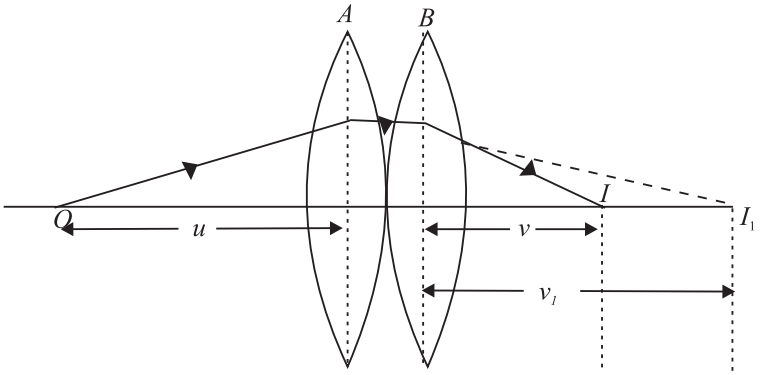
$$R = \frac{0.54 \times 2}{2.75}$$

$$= 0.39 \text{ m}$$

$$= 39 \text{ cm}$$

20.8 लेन्सों का संयोजन

चित्र 20.15 का अवलोकन कीजिए। क्रमशः f_1 और f_2 फोकस दूरियों के दो पतले उत्तल लेन्स परस्पर संपर्क में हैं। इन लेन्सों की उभयनिष्ठ अक्ष पर एक बिंदु बिंब रखा गया है।



चित्र 20.15: संपर्क में रखे दो पतले उत्तल लेन्स

आप देखते हैं कि लेन्स A बिंदु O का I_1 पर प्रतिबिंब बनाता है। यह प्रतिबिंब लेन्स B के लिए आभासी बिंब का कार्य करता है और इस प्रकार अन्तिम प्रतिबिंब I पर बनता है। यदि लेन्स A के लिए बिंब दूरी u तथा प्रतिबिंब दूरी v_1 हों तो लेन्स सूत्र का प्रयोग करने पर हम लिख सकते हैं;

$$\frac{1}{v_1} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1} \qquad (20.19)$$

यदि लेन्स B के लिए अंतिम प्रतिबिंब दूरी v हो तो,

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_2} \qquad (20.20)$$

ध्यान रहे कि उपर्युक्त व्यंजक को लिखने में हमने पतले लेन्स B के लिए v_1 को बिंब दूरी माना है।

टिप्पणियाँ

समीकरण (20.19) और समीकरण (20.20) को जोड़ने पर हम पाते हैं;

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \qquad (20.21)$$

यदि इस लेन्स-संयोजन के स्थान पर F फोकस दूरी वाले ऐसे एकल लेन्स का प्रयोग किया जाए कि वह O का प्रतिबिंब 1 की उसी स्थिति पर बनाए तो यह लेन्स, दोनों लेन्सों के तुल्य कहा जाएगा। इसे संयोजन का **तुल्य लेन्स** भी कह सकते हैं। तुल्य लेन्स के लिए हम लिख सकते हैं;

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{F} \qquad (20.22)$$

जबकि,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}. \qquad (20.23)$$

यदि P तुल्य लेन्स की क्षमता और P_1 और P_2 क्रमशः अलग-अलग लेन्सों की क्षमताएँ लें तो,

$$P = P_1 + P_2 \qquad (20.24)$$

ध्यान रहे कि समीकरण (20.23) तथा (20.24) यह मानते हुए व्युत्पन्न किए गए हैं कि दो पतले उत्तल लेन्स संपर्क में हैं। ये समीकरण संपर्क में स्थित दो पतले लेन्सों के सभी संयोजनों के लिए मान्य हैं। (ये पतले लेन्स दोनों उत्तल अथवा अवतल एक उत्तल और दूसरा अवतल हो सकता हैं।

उदाहरण: 20.7: 20 cm और 40 cm फोकस दूरियों के दो पतले उत्तल लेन्स परस्पर संपर्क में हैं। तुल्य लेंस की फोकस दूरी और क्षमता परिकलित कीजिए।

हल: संयोजन की फोकस दूरी के लिए सूत्र $\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$ है,

अर्थात्
$$\frac{1}{F} = \frac{1}{20} + \frac{1}{40}$$

$$= \frac{3}{40}$$

अथवा
$$F = \frac{40}{3} = 13.3\text{cm} = 0.133\text{m}$$

तुल्य लेन्स की क्षमता,

$$P = \frac{1}{F} = \frac{1}{0.133} = +7.5 \text{ डाइऑप्टर}$$

पाठगत प्रश्न 20.5

1. किसी लेन्स की फोकस दूरी किन कारकों पर निर्भर करती है?
2. विभिन्न वक्रता त्रिज्याओं वाले लेन्स का प्रयोग उसकी अक्ष पर स्थित बिंब का प्रतिबिंब बनाने में किया गया है। यदि बिंब के सम्मुख लेंस के फलक (पृष्ठ) को उलट दिया जाए तो क्या प्रतिबिंब की स्थिति में परिवर्तन होगा?
3. किसी सम उभयोत्तल लेन्स के पदार्थ का अपवर्तनांक 1.5 है। सिद्ध कीजिए कि इसकी फोकस दूरी, वक्रता त्रिज्या के बराबर होगी।
4. जल के अंदर बना वायु का बुलबुला किस प्रकार का लेन्स होता है?
5. लेन्स को जब किसी पारदर्शी द्रव में डुबोया जाता है तो वह अदृश्य हो जाता है। ऐसा क्यों?
6. यदि दो पृष्ठों की वक्रता त्रिज्याएं क्रमशः + 20 cm तथा –25cm हों तो लेन्स की फोकस दूरी और लेन्स की क्षमता परिकलित कीजिए। ($\mu = 1.5$).
7. क्या संपर्क में स्थित दो लेन्सों से शून्य क्षमता संभव है?
8. 40 cm फोकस दूरी का एक उत्तल लेन्स, 20 cm की फोकस दूरी के अवतल लेन्स के साथ संपर्क में है। इस संयोजन की फोकस दूरी और क्षमता परिकलित कीजिए।

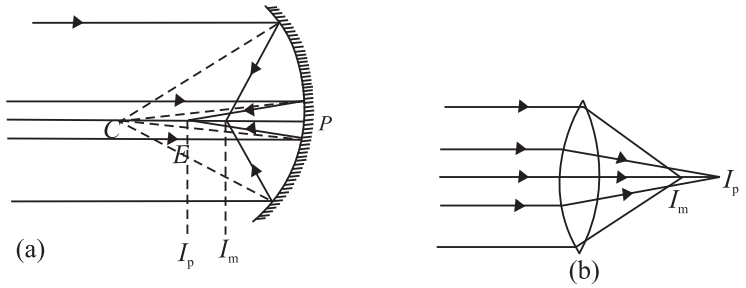
प्रतिबिंब की रचना में दोष

लेन्सों और दर्पणों का हमारे दैनिक जीवन में प्रचुरता से प्रयोग होता है। यह देखा गया है कि इनसे बिंदु का बिंदु प्रतिबिंब प्राप्त नहीं होता। यह बात सूर्य के सामने किसी लेन्स को रखकर और कागज पर उसवे बनने वाले प्रतिबिंब से देखी जा सकती है। आप देखेंगे कि दोनों बिल्कुल सदृश नहीं है। दर्पणों से भी पूर्ण प्रतिबिंब प्राप्त नहीं होता। प्रतिबिंबों की रचना में उत्पन्न दोष विपथन (aberration) कहलाते हैं। विपथन (i) प्रयुक्त लेन्स अथवा दर्पण की गुणता और (ii) प्रयुक्त प्रकाश के प्रारूप (प्रकार) पर निर्भर करते हैं।

लेन्सों और दर्पणों में देखे गए दो मुख्य विपथन (i) गोलीय विपथन तथा (ii) वर्ण विपथन हैं। इन विपथनों के कारण कैमरा, दूरबीन ओर सूक्ष्मदर्शी आदि से निर्मित प्रतिबिंबों में गंभीर दोष उत्पन्न होते हैं।

गोलीय विपथन

ये प्रतिबिंब रचना में एकवर्णी दोष हैं जो अपवर्तक अथवा परावर्तक पृष्ठों की गोलीयता के कारण उत्पन्न होते हैं। उपाक्षीय किरणें तथा उपांत किरणें विभिन्न बिंदुओं क्रमशः I_p और I_m पर प्रतिबिंब का निर्माण करती है (चित्र 20.16)।



चित्र 20.16: उपाक्षीय किरणों तथा उपांत किरणों द्वारा निर्मित क्रमशः प्रतिबिंबों I_p तथा I_m में (a) दर्पण और (b) लेन्स से उत्पन्न गोलीय विपथन

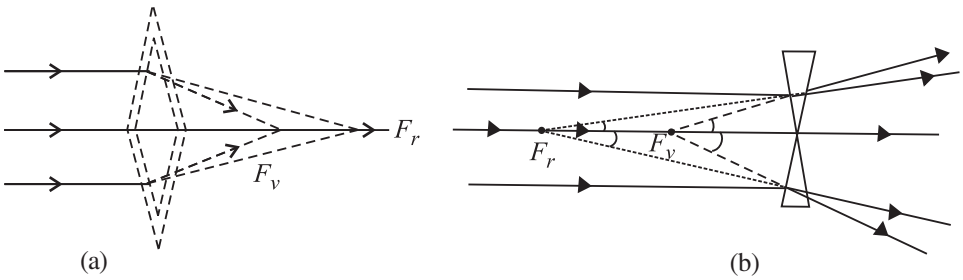
दर्पणों और लेन्सों दोनों में पृष्ठ पर केवल उपाक्षीय किरणों को आपतित कर गोलीय विपथन में कमी की जा सकती है। ''रोक'' (स्टाप) का प्रयोग कर ऐसा किया जाता है। अथवा उपाक्षीय किरणों को अलग करने के लिए केन्द्रिय भाग को ढक दिया जाता है। इस प्रकार केवल उपांत किरणें ही प्रतिबिंब बना पाती है। ''रोक'' (स्टाप) के प्रयोग से हालांकि प्रतिबिंब की द्युति (चमक) में कमी आ जाती है।

दीर्घवृत्तीय अथवा परवलयिक दर्पणों का प्रयोग कहीं अधिक अच्छी विधि है।

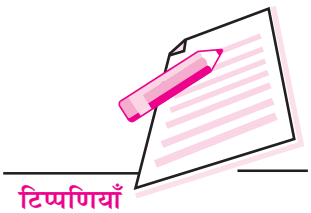
लेन्सों में गोलीय विपथन कम करने की अन्य विधियाँ हैं: समतल उत्तल लेन्स का प्रयोग अथवा उत्तल तथा अवतल लेन्स के समुचित संयोजन का प्रयोग।

लेन्सों में वर्ण विपथन

किसी उत्तल लेन्स को ऐसे दो अल्पकोणीय प्रिज्म के तुल्य मापा जा सकता है जिनके आधार एक दूसरे के ऊपर है और अवतल लेन्स ऐसे दो प्रिज्मों के तुल्य होता है जिनके शीर्ष एक दूसरे के ऊपर है। इस प्रकार किसी लेन्स पर आपतित बहुवर्णिक किरण पुंज **परिक्षेपित** हो जाएगा। समातर किरण पुंज विभिन्न रंगीन फोकसों पर फोकसित होगा। गोलीय लेन्सों द्वारा निर्मित प्रतिबिंब का यह दोष **वर्ण विपथन के कारण उत्पन्न होता है (चित्र 20.17)**। स्पष्ट है कि लाल रंग लेन्स से दूर और नीला रंग लेन्स के समीप फोकसित होगा। (अवतल लेन्स में लाल और नीले रंग का फोकसन भी उसी प्रकार परन्तु दूसरे पार्श्व पर होता है।



चित्र 20.17: वर्ण विपथन



इस दोष को दूर करने के लिए हम उपयुक्त पदार्थ के और उपयुक्त फोकस दूरी के अभिसारी लेन्स को उपयुक्त पदार्थ के और उपयुक्त फोकस दूरी के अपसारी लेन्स के साथ संयोजित करते हैं। ऐसा लेन्स संयोजन **अवर्णक लेन्स युग्म** कहलाता है। अवतल लेन्स की फोकस दूरी निम्नलिखित के द्वारा व्यक्त अवर्णकता के लिए आवश्यक प्रतिबंध द्वारा ज्ञात की जा सकती है:

$$\frac{\omega_1}{f_1} + \frac{\omega_2}{f_2} = 0$$

जहाँ ω_1 तथा ω_2 दिए गए लेन्सों की परिक्षेपण क्षमताएं हैं।

आपने क्या सीखा

- वास्तविक प्रतिबिंब तब ही बनता है जब परावर्तित किरणें परावर्तन के बाद वास्तव में प्रतिच्छेदन करती हैं (मिलती हैं)। इन्हें परदे पर प्रक्षेपित किया जा सकता है।
- फोकस दूरी, वक्रता त्रिज्या की आधी होती है।

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

- बिंब दूरी और प्रतिबिंब दूरी का आवर्धन के साथ निम्नलिखित संबंध है:

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

- प्रकाश के अपवर्तन से प्रकाश की चाल में परिवर्तन होता है जब यह एक माध्यम से दूसरे माध्यम में गमन करता है। इससे प्रकाश की किरणें अभिलंब की ओर या अभिलंब से दूर मुड़ जाती हैं।
- अपवर्तनांक μ, दो माध्यमों के अंतरापृष्ठ पर प्रकाश के झुकने या मुड़ने (बंकन) की मात्रा निर्धारित करता है।
- स्नेल नियम को गणितीय रूप में इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \mu_{12}$$

जबकि i माध्यम 1 में आपतन कोण और r माध्यम 2 में अपवर्तन कोण हैं।

- पूर्ण आंतरिक परावर्तन, अपवर्तन का एक विशेष उदाहरण है जिसमें सघन माध्यम से विरल माध्यम में गमन करते समय प्रकाश, क्रांतिक कोण से अधिक कोण पर आपतित होता है: क्रांतिक कोण तथा अपवर्तनांक में निम्नलिखित सम्बंध है।

$$\mu = \frac{1}{\sin i_C}$$

- दो गोलीय पृष्ठों अथवा एक गोलीय पृष्ठ और एक समतल पृष्ठ द्वारा परिवद्ध कोई पारदर्शी माध्यम, लेन्स कहलाता है।

- लेन्सों से बने प्रतिबिंब, उनकी फोकस दूरी और उनसे बिंब की दूरी पर निर्भर करते हैं।
- उत्तल लेन्स अभिसारी और अवतल लेन्स अपसारी होते हैं।
- $$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

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

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

  फोकस दूरी (f), अपवर्तनांक (μ), वक्रता त्रिज्याएं (R_1, R_2), बिंब दूरी (u) तथा प्रतिबिंब दूरी (v) के मध्य ये सरल संबंध हैं।
- किसी लेन्स की फोकस दूरी ज्ञात करने के लिए न्यूटन के सूत्र का उपयोग किया जा सकता है।
- विस्थापन विधि किसी लेन्स की फोकस दूरी ज्ञात करने की एक अत्यन्त सुविधाजनक विधि है।
- लेन्स की क्षमता व्यक्त करती है कि वह कितना अपसारी अथवा अभिसारी है;

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

  क्षमता को डाइऑप्टर (अथवा SI मात्रक में m^{-1}) में व्यक्त किया जाता है।
- जब f_1 और f_2 फोकस दूरी के दो लेन्सों को संपर्क में रखा जाता है तो तुल्य लेन्स की फोकस दूरी निम्नलिखित संबंध के द्वारा व्यक्त की जाती है:

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

पाठान्त प्रश्न

1. अवतल और उत्तल लेन्सों के उपयोगों को सूचीबद्ध कीजिए।
2. जब अवतल दर्पण तथा उत्तल दर्पण में बिंब (i) अनंत पर (ii) $2f$ पर तथा (iii) f पर हों तो निर्मित प्रतिबिंब की प्रकृति तथा स्थिति कैसी होगी?
3. उन कारकों को सूचीबद्ध कीजिए जिन पर किसी आपतित किरण का पार्श्विक-विस्थापन निर्भर करता है जब वह आयताकार काँच के स्लेबसे गुजरने पर अपवर्तित होती है। यदि आपतन कोण अधिक हो तो पार्श्विक-विस्थापन क्यों अधिक होता है? किरण-आरेख खींच कर दर्शाइए।
4. उन प्रतिबंधों को बताइए जिनके अन्तर्गत प्रकाश का पूर्ण आंतरिक परावर्तन होता है।
5. डाइऑप्टर की परिभाषा दीजिए। +1.5 डाइऑप्टर किस अर्थ में −1.5 डाइऑप्टर से भिन्न है।

6. अपवर्तन के कारण प्रकाश की तीव्रता क्यों कम हो जाती है?
7. कोई लैम्प एक दीवार से 4 m की दूरी पर है। उस अवतल दर्पण की फोकस दूरी परिकलित कीजिए जो दीवार पर लैम्प का पांच गुना आवर्धित प्रतिबिंब बनाए। दर्पण को दीवार से कितनी दूरी पर रखा जाना चाहिए?
8. दंत विशेषज्ञ के किसी अवतल दर्पण की वक्रता-त्रिज्या 30 cm है। उसे दांत के कोटर से कितनी दूरी पर रखा जाना चाहिए ताकि कोटर का पांचगुना आवर्धित आभासी प्रतिबिंब प्राप्त हो?
9. लेन्स से 45 cm की दूरी पर स्थित कोई सुई, लेन्स की दूसरी ओर 90 cm की दूरी पर स्थित परदे पर प्रतिबिंब बनाती है। यह लेन्स किस प्रकार का है और इसकी फोकस दूरी निर्धारित कीजिए। यदि सुई का आमाप 5 cm हो तो प्रतिबिंब का क्या आमाप होगा?
10. 3 cm आमाप का कोई बिंब 21 cm फोकस दूरी के अवतल लेन्स के सामने 14 cm की दूरी पर रखा गया है। लेन्स द्वारा बने प्रतिबिंब की प्रकृति बताइए। यदि बिंब को लेन्स से ओर अधिक दूरी पर रखा जाए तो क्या होगा?
11. कोई बिंब किसी उभयोतल लेन्स से 100 cm की दूरी पर रखा गया है जो 20 cm की दूरी पर वास्तविक प्रतिबिंब बनाता है। लेन्स के दो पृष्ठों की वक्रता त्रिज्याएं क्रमश: 25 cm तथा 12 cm हैं। लेन्स की सामग्री का अपवर्तनांक परिकलित कीजिए।
12. कोई प्रकाश किरण हीरे से काँच में गमन कर रही है। इस किरण के क्रांतिक कोण का मान परिकलित कीजिए जबकि काँच का अपवर्तनांक 1.51 और हीरे का अपवर्तनांक 2. 47 है।
13. संपर्क में स्थित दो समाक्षी पतले उत्तल लेन्सों से 15 cm की दूरी पर एक छोटा बिंब रखा गया है। यदि प्रत्येक लेन्स की फोकस दूरी 20 cm हो तो इस संयोजन की फोकस दूरी और क्षमता तथा बिंब और प्रतिबिंब के मध्य दूरी परिकलित कीजिए।
14. किसी उत्तल लेन्स की फोकस दूरी ज्ञात करते समय बिम्ब को पर्दे से 65 cm की दूरी पर रखा गया। लेन्स की वे दो स्थितियां प्राप्त की गई जिनके लिए बिम्ब के दो स्पष्ट प्रतिबिम्ब पर्दे पर बनें। लेन्स की इन दो स्थितियों के बीच की दूरी 15 cm पाई गई। दिए गए लेनस की फोकस दूरी परिकलित कीजिए।

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

20.1

1. (a) समतल दर्पण (जिसकी वक्रता त्रिज्या अनंत है)।

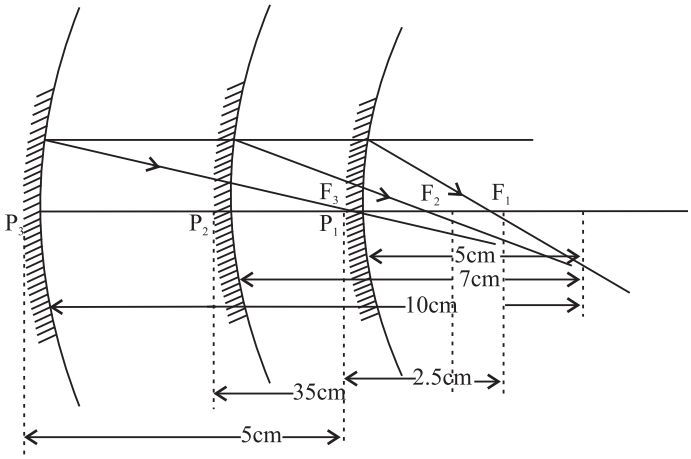
   (b) नहीं। गोलीय दर्पण की फोकस दूरी उसकी वक्रता त्रिज्या की आधी होती है $\left(f = \frac{R}{2}\right)$

   और उसका उस माध्यम से कोई संबंध नहीं होता जिसमें वह डुबाया गया है।

   (c) आभासी

(d) ऐसा इस कारण है कि मुख्य अक्ष के समांतर किरणें, फोकस बिंदु F पर अभिसरित होती (मिलती) हैं और F से निकलने वाली किरणें दर्पण से परावर्तन के बाद, मुख्य अक्ष के समांतर हो जाती हैं। इस प्रकार F, पहले ओर दूसरे फोंकस बिंदु के रूप में कार्य करता है।

2. फोकस दूरी : 2.5cm, 3.5cm, 5cm.



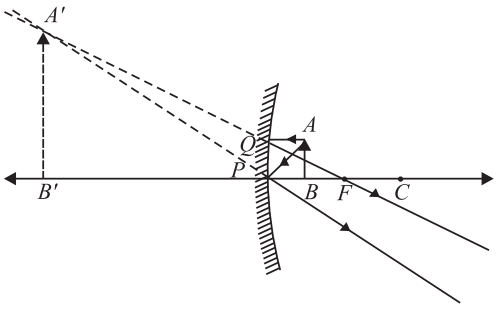
3. $f = -15\text{cm}; f = +15\text{cm}$.

4. डिश ऐन्टेना वक्रित होते हैं ताकि आपतित समांतर किरणें, अभिग्राही पर फोकस हो सकें।

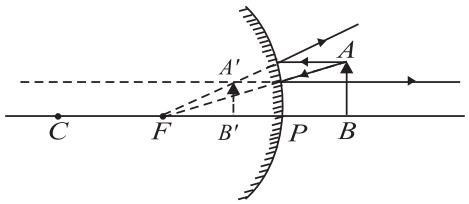
20.2

1. दर्पण का ऊपरी भाग उत्तल और निचला भाग अवतल है।

2. अवतल दर्पण के निकट रखे बिंब से परिवर्धित प्रतिबिंब प्राप्त होता है। उत्तल दर्पणों से छोटा सीधा प्रतिबिंब प्राप्त होता है और उसका दृश्य-क्षेत्र विस्तृत होता है।

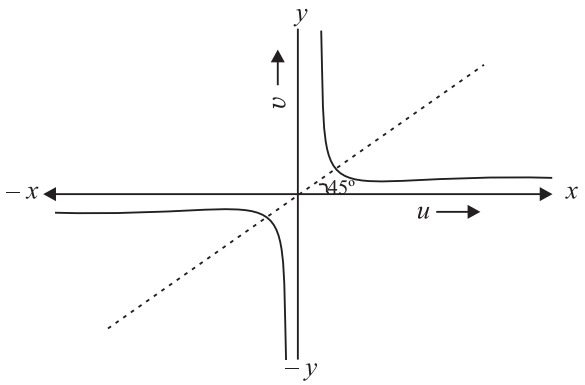


(a) अवतल दर्पण द्वारा बना प्रतिबिंब

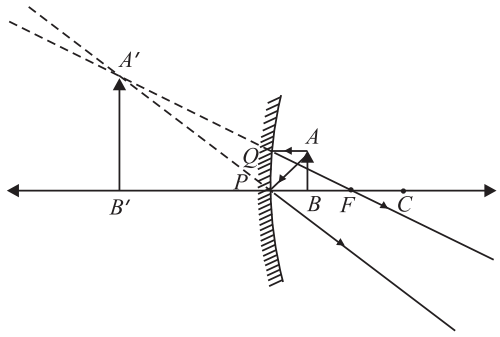


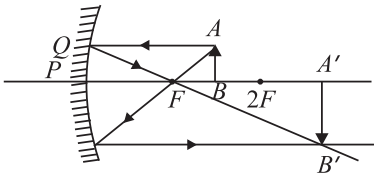
(b) उत्तल दर्पण द्वारा बना प्रतिबिंब

3. $|u| > f$ के लिए हमें वास्तविक प्रतिबिंब प्राप्त होता है; $u = -2f$ एक ऐसा विशेष उदाहरण है जब दर्पण के वक्रता केन्द्र पर स्थित बिंब, स्वत: इस बिंदु पर वास्तविक प्रतिबिंब बनाता है $(v = -2f)$ $u < f$ के लिए हमें आभासी प्रतिबिंब प्राप्त होता है।



4. जब (i) $u < f$, तथा (ii) $f < u < 2f$.



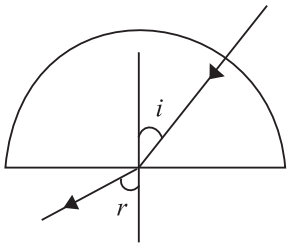


5. (i) दर्पण के सामने 12 cm पर, वास्तविक तथा उल्टा (ii) 0.8 cm
6. $v = -60$ cm, $R = -24$cm 7. $u = -10$ cm, $v = +5$cm
8. $v = 4$ cm

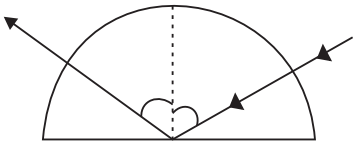
20.3

1. पार्श्विक विस्थापन नहीं होगा।

2.



$\angle r > \angle i$ जब $\angle i < \angle i_C$

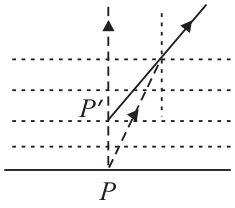


पूर्ण आंतकिर परावर्तन जब $\angle i > \angle i_C$

3. जैसे-जैसे हम ऊँचाई पर जाते हैं वैसे-वैसे वायु का घनत्व और अत: इसका अपवर्तनांक घटता जाता है। परिणामस्वरूप जब सूर्य क्षिजित से नीचे होता है तो उससे आने वाली प्रकाश किरणें विरल से सघन माध्यम में गमन करती हुई जब तक प्रेक्षक के नेत्र तक पहुंचती है अभिलंब की ओर मुड़ जाती हैं। इससे सूर्य का आकार दीर्घित (बड़ा) प्रतीत होता है।

4. वायुमेंडल में वायु की विभिन्न परतों में घनत्व-परिवर्तन के कारण μ के मान में लगातार परिवर्तन होता रहता है। इस कारण वायु का अपवर्तनांक, वायु मंडल के विभिन्न परतों में परिवर्तित होता रहता है। वायुधाराओं और इसके कारण तारे टिमटिमाते हैं।

5. बिंदु P अपवर्तन के कारण P' पर प्रतीत होता है।



6. 36.2^0

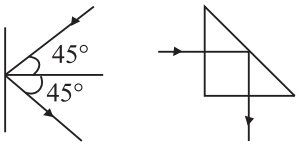
20.4

1. यदि किरण विरल से सघन माध्यम में गमन करती है तो पूर्ण आंतरिक परावर्तन नहीं हो सकता क्योंकि आपतन कोण से अपवर्तन कोण सदैव कम होगा।

2. हाँ, क्रांतिक कोण में परिवर्तन होगा, क्योंकि;

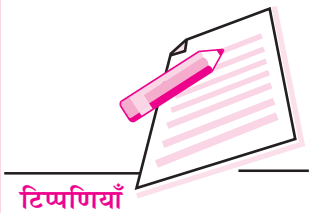
$$\mu_{ag} = \frac{1}{\sin i_c}$$

$$\mu_{\omega g} = \frac{\mu_{ag}}{\mu_{aw}}$$

3. 

दूसरे उदाहरण में पूर्ण आंतरिक परावर्तन के कारण तीव्रता अधिक है।

4. 20cm, $i_c = \sin^{-1} 0.8$



टिप्पणियाँ

20.5

2. नहीं। लेन्स निर्माता सूत्र में R_1 और R_2 की स्थिति को बदलने पर f का मान प्रभावित नहीं होता। इस कारण प्रतिबिंब उसी स्थिति में बनेगा।

3. लेन्स निर्माता सूत्र में $R_1 = R; R_2 = -R$ तथा $\mu = 1.5$ प्रतिस्थापित करने पर आपको $f = R$ प्राप्त होगा।

4. अवतल लेन्स। परन्तु इसको उत्तल लेन्स जैसा आकार दिया गया है।

5. ऐसा तब होता है जब लेन्स के पदार्थ का अपवर्तनांक, द्रव के अपवर्तनांक के बराबर होता है।

6. $f = 22.2$ cm तथा $P = 4.5$ डाइऑप्टर

7. हाँ, समान फोकस दूरी के उत्तल और अवतल लेन्सों को संपर्क में रखकर;

8. – 40 cm, – 2.5 डाईऑप्टर

अंतिम अभ्यास के प्रश्नों के उत्तर

7. $f = -0.83$, 5m. 8. 12 cm

9. $f = 30$ cm, प्रतिबिंब का साइज (आमाप) = 10 cm, अभिसारी लेन्स;

10. प्रतिबिंब सीधा, आभासी, साइज (आमाप) में छोटा और बिंब की ओर लेन्स से 8.4 cm की दूरी पर स्थित होगा। बिंब को लेन्स से जैसे-जैसे दूर ले जाया जाता है वैसे-वैसे आभासी प्रतिबिंब, लेन्स के फोकस की ओर खिसकता जाता है परन्तु फोकस के आगे कभी नहीं जाता और उसके साइज में क्रमशः कमी होती जाती है।

11. $\mu = 1.5$ 12. 37.7°

13. 10 cm, 10 डाइऑप्टर, 45 cm.

14. f = 15.38 cm