किरण प्रकाशिकी
RAY OPTICS

11 CHAPTER

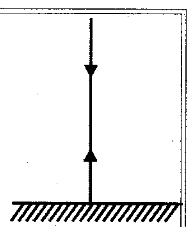
प्रस्तावना (Introduction)

प्रकाश एक ऊर्जा है जिसकी अनुभूति आँखों द्वारा होती है। जिसके कारण हम विभिन्न वस्तुओं को देखते हैं। हमारी आँखें विद्युतीय चुम्बकीय स्पेक्ट्रम से संबंधित विकिरणों जिनकी तरंगदैर्ध्य 400 nm से 750 nm तक होती है संसूचित कर सकती हैं। इन विकिरणों को प्रकाश कहते हैं। प्रकाश की निर्वात् में चाल सबसे अधिक होती है। जिसका मान $c = 3 \times 10^8$ मीटर/सेकण्ड होता है तथा प्रकाश सरल रेखा में गमन करता है चूँकि सामान्य वस्तुओं के आकार की तुलना में प्रकाश की तरंगदैर्ध्य काफी कम होती है। अत: प्रकाश तरंग को एक बिंदु से दूसरे बिंदु तक किसी सरल रेखा के अनुदिश गमन करते हुए माना जा सकता है। इस पथ को प्रकाश किरण कहते हैं तथा किरणों के समूह को प्रकाशपुंज कहते हैं। किरण को एक सरल रेखा द्वारा दर्शाते हैं। सरल रेखा पर तीर का निशान प्रकाश के संचरण की दिशा को व्यक्त करता है। किरण से हमारा अभिप्राय उस दिशा से है जिसमें ऊर्जा का संचरण होता है।

11.1 प्रकाश का परावर्तन (Reflection of Light)

जब प्रकाश किसी तल पर गिरता है तो प्रकाश का कुछ भाग तल द्वारा अवशोषित हो जाता है, कुछ भाग तल द्वारा दूसरे तल या माध्यम में चला जाता है। कुछ भाग पुन: उसी माध्यम में लौटा दिया जाता है। गिरने वाले प्रकाश का कितना भाग लौटता है, कितना भाग दूसरे माध्यम में चला जाता है तथा कितना भाग अवशोषित होता है यह तल पर निर्भर करता है। **''जब एक प्रकाश किरण किसी माध्यम से चलकर एक परिसीमा (दो माध्यमों को अलग-अलग करने वाली सीमा) पर आपतित होकर उसी माध्यम में वापस आ जाती है, तो इस घटना को प्रकाश का परावर्तन कहते हैं।''** इस समय तल चमकीला दिखाई देता है।

महत्वपूर्ण तथ्य

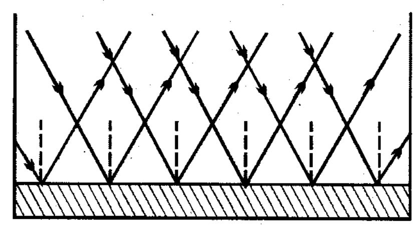


(i) परावर्तन के पश्चात् प्रकाश का वेग, तरंगदैर्ध्य तथा आवृत्ति अपरिवर्तित रहते हैं जबकि तीव्रता तल की प्रकृति के अनुसार परिवर्तित होती रहती है।

(ii) यदि प्रकाश किरण किसी सतह पर अभिलम्बवत् आपतित होती है, तो परावर्तन के पश्चात् यह अपने आपतित पथ पर वापिस लौट जाती है।

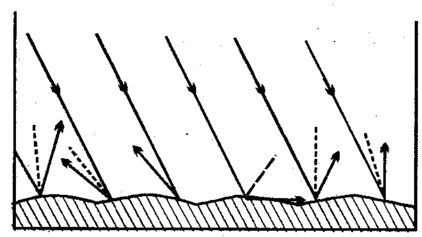
समतल पर परावर्तन (Reflection at Plane)

समतल पर प्रकाश परावर्तन के लिये हम समतल व खुरदरे पृष्ठ दोनों पर परावर्तन की घटना का अध्ययन करेंगे।



चित्र 11.1

नियमित परावर्तन (Regular reflection)–समतल दर्पण पर जब सूर्य का प्रकाश या किसी अन्य स्रोत से प्रकाश गिरता है तो सभी परावर्तित किरणें परावर्तन के नियमानुसार एक विशेष दिशा में लौटती हैं अत: आँख को जब इन परावर्तित किरण के मार्ग में रखते हैं तो दर्पण हमें चमकीला दिखाई देता है परन्तु इसके अतिरिक्त अन्य दिशाओं से देखने पर यह चमक कम या नहीं दिखाई देती है। इस प्रकार के परावर्तन को नियमित परावर्तन कहते हैं।



चित्र : 11.2

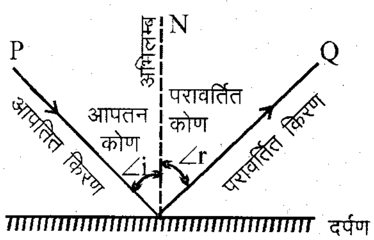
विसरित परावर्तन (Diffused reflection)–जब सूर्य का प्रकाश किसी खुरदरे पृष्ठ पर गिरता है तो सभी दिशाओं में फैल जाता है। खुरदरे पृष्ठ द्वारा प्रकाश को समान रूप से चारों ओर फैलाने के प्रभाव को विसरित परावर्तन कहते हैं। अधिकांशत: हम वस्तुओं को विसरित प्रकाश से ही देखते हैं। वायुमण्डल में धूल, धुएँ के कण आदि प्रकाश को विसरित करते रहते हैं।

आकाश का नीला रंग भी वायुमण्डल के कारण विसरित प्रकाश का प्रभाव ही है।

जबकि अन्तरिक्ष यात्रियों के पृथ्वी के वायुमण्डल से बाहर निकलने पर आकाश बिल्कुल काला दिखाई देता है।

प्रकाश परावर्तन के नियम (Laws of Reflection of Light)

प्रकाश परावर्तन कुछ नियमों द्वारा होता है। जिन्हें परावर्तन के नियम कहते हैं। चित्र में प्रकाश के परावर्तन के नियमों को स्पष्ट किया गया है। परावर्तन निम्न दो नियमों के अनुसार होता है–



चित्र : 11.3

1. आपतित किरण, परावर्तित किरण और अभिलम्ब एक ही समतल में होते हैं।

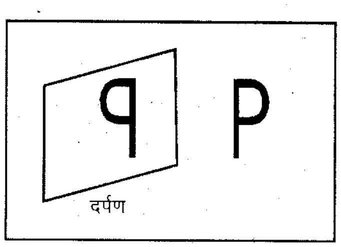
2. नियमित परावर्तन में सदैव आपतन कोण i, परावर्तन कोण r के बराबर होता है अर्थात् $\angle i = \angle r$

महत्वपूर्ण तथ्य

1. यदि परावर्तन सघन माध्यम से होता है, तो कला π से परिवर्तित हो जाती है। इसे स्टोक नियम भी कहते हैं।
2. ये नियम किसी भी परावर्तक पृष्ठ, चाहे वह समतल हो या वक्रित हो, के प्रत्येक बिंदु के लिए वैध हैं।
3. आपतित किरण की दिशा में परिवर्तन करने से परावर्तित किरण की दिशा में भी परिवर्तन होता है।
4. आपतित किरण की दिशा को स्थिर रखते हुए यदि हम दर्पण को उसके तल में ही घुमाएँ तो भी परावर्तित किरण अपनी दिशा से विचलित नहीं होती है।

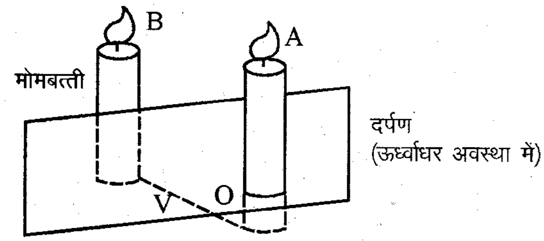
11.1.1 समतल दर्पण से प्रतिबिम्ब का निर्माण (Formation of image by plane mirror)

(i) पार्श्व परिवर्तन–समतल दर्पण में प्रतिबिम्ब का आकार बिम्ब के आकार के बराबर होता है तथा आकृति भी समान होती है। परन्तु प्रतिबिम्ब की आकृति में एक परिवर्तन आवश्यक होता है। समतल दर्पण में किसी वस्तु के प्रतिबिम्ब में दायीं ओर दिशा में प्रतिवर्ती परिवर्तन को पार्श्व परिवर्तन कहते हैं।



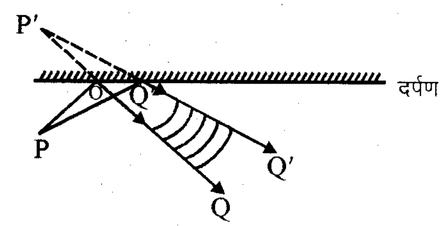
चित्र 11.4

(ii) प्रतिबिम्ब की स्थिति–समतल दर्पण में प्रतिबिम्ब उतनी ही दूरी पर (दर्पण के पीछे) बनता है जितनी दूरी पर दर्पण से बिम्ब स्थित होता है। चित्र के अनुसार, एक समतल दर्पण में किसी भी वस्तु का प्रतिबिम्ब उसके पीछे तथा उससे उतनी ही दूरी पर दिखायी पड़ता है जितनी दूरी पर दर्पण के सामने वस्तु स्थित है।



चित्र 11.5

(iii) प्रतिबिम्ब की प्रकृति (आभासी)–समतल दर्पण में दिखाई देने वाले प्रतिबिम्बों का वास्तव में कोई अस्तित्व नहीं होता है। समतल दर्पण में जो प्रतिबिम्ब दिखाई देते हैं वे आभासी होते हैं। आभासी प्रतिबिम्ब को हम किसी भी पर्दे पर प्राप्त नहीं कर सकते हैं, क्योंकि प्रकाश की किरणें प्रतिबिम्ब तक पहुँचने में असमर्थ होती हैं।



चित्र : 11.6

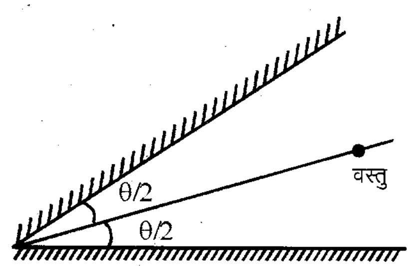
महत्वपूर्ण तथ्य

झुके हुए दो समतल दर्पणों द्वारा बने प्रतिबिम्ब–θ कोण पर झुके हुए दो समतल दर्पणों के मध्य स्थित वस्तु के प्रतिबिम्बों (n) की संख्या–

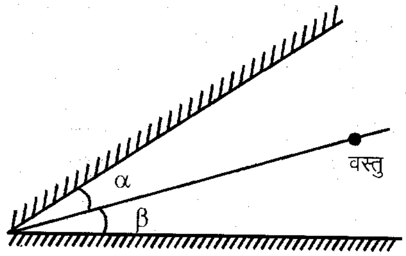
(i) यदि $\frac{360^\circ}{\theta}$ = समपूर्णांक, तब $n = \left(\frac{360^\circ}{\theta} - 1\right)$

(ii) यदि $\frac{360^\circ}{\theta}$ = विषमपूर्णांक, तब दो संभावनायें हो सकती हैं–

(a) वस्तु सममित अवस्था में स्थित है– तब $n = \left(\frac{360^\circ}{\theta} - 1\right)$



(b) वस्तु असममित अवस्था में स्थित है : तब $n = \frac{360^\circ}{\theta}$



विशेष –

(i) यदि $\theta = 0°$ अर्थात् दर्पण परस्पर समान्तर है, तब $n = \infty$ अर्थात् प्रतिबिम्बों की संख्या अनन्त होगी।

(ii) यदि $\theta = 90°$ तब $n = \frac{360°}{90°} - 1 = 3$

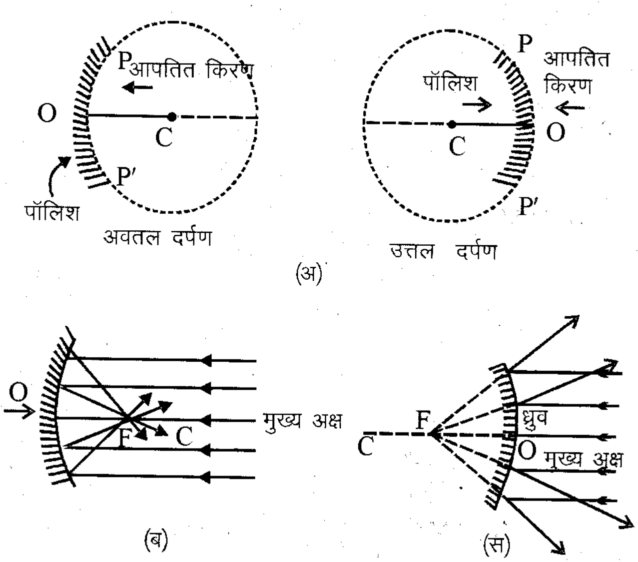
(iii) यदि $\theta = 72°$ तब $n = \frac{360°}{72°} - 1 = 4$

(यदि कुछ नहीं कहा गया हो तो वस्तु को सममित स्थिति में मानें)

11.2 गोलीय दर्पण (Spherical mirror)

समतल दर्पण के अतिरिक्त कुछ दर्पण ऐसे भी होते हैं जिनका पृष्ठ वक्र होता है। इस प्रकार के दर्पण से प्रतिबिम्ब की आकृति दर्पण के वक्र पृष्ठ के अनुसार भिन्न-भिन्न होती है। उस दर्पण को जिसके पृष्ठ को किसी खोखले गोले का भाग मान सकते हैं, गोलीय दर्पण कहते हैं।

खोखले गोले के उभरे हुए तल पर कलई कर दी जाये तो इसके अन्दर का तल परावर्तक बन जाता है इसे अवतल दर्पण (concave mirror) कहते हैं। यदि अन्दर के भाग पर कलई कर दी जाये तो उभरे हुए तल से परावर्तन होता है इस प्रकार के दर्पण को उत्तल दर्पण (convex mirror) कहते हैं। अवतल दर्पण आपतित समान्तर किरण पुंज को परावर्तन के पश्चात् अभिसरित करता है जबकि उत्तल दर्पण आपतित समान्तर किरण पुंज को अपसरित करने अर्थात् फैलाने की क्षमता रखता है। चित्र में उत्तल व अवतल दर्पण को बताया गया है।



चित्र 11.7 : अवतल दर्पण व उत्तल दर्पण से परावर्तन

11.2.1 गोलीय दर्पणों से सम्बन्धित राशियाँ तथा उनकी परिभाषाएँ (Terms and their definitions related to spherical mirrors)

1. **द्वारक**–दर्पण के उस भाग का व्यास जिससे प्रकाश परावर्तित होता है। दर्पण का भाग POP′ द्वारक कहलाता है।
2. **वक्रता केन्द्र**–खोखले गोले के केन्द्र को जिसका दर्पण कटा हुआ भाग होता है उसे दर्पण का वक्रता केन्द्र कहते हैं। इसको चित्र में C से अंकित किया गया है।
3. **ध्रुव**–दर्पण से परावर्तन तल के मध्य बिन्दु को दर्पण का ध्रुव कहते हैं। चित्र में इसे O से दिखाया गया है।
4. **मुख्य अक्ष**–दर्पण के ध्रुव O तथा वक्रता केन्द्र C को मिलाने वाली रेखा को मुख्य अक्ष कहते हैं।
5. **वक्रता त्रिज्या**–ध्रुव व वक्रता केन्द्र के मध्य की दूरी को वक्रता त्रिज्या कहते हैं। CO वक्रता त्रिज्या है। इसे r या R से व्यक्त करते हैं।
6. **मुख्य फोकस**–मुख्य अक्ष के समान्तर आपतित प्रकाश किरणें दर्पण से परावर्तन के पश्चात् मुख्य अक्ष पर जिस बिन्दु पर मिलती है या मिलती हुई प्रतीत होती है उस बिन्दु को दर्पण का मुख्य फोकस कहते हैं। इसे चित्र में F से बताया गया है। अवतल दर्पण का फोकस दर्पण के सामने व उत्तल दर्पण का फोकस दर्पण के पीछे होता है।
7. **फोकस दूरी**–दर्पण के ध्रुव O व फोकस बिन्दु F के बीच की दूरी को दर्पण की फोकस दूरी कहते हैं। इसे f से व्यक्त करते हैं।
8. **कोणीय द्वारक**–दर्पण के व्यास द्वारा वक्रता केन्द्र पर बनने वाला कोण, कोणीय द्वारक कहलाता है।
9. **फोकस तल**–मुख्य अक्ष के लम्बवत्, दर्पण के फोकस बिन्दु से गुजरने वाला तल, फोकस तल कहलाता है। मुख्य अक्ष पर समान्तर किरण पुंज किसी कोण पर आपतित हो तो परावर्तन के पश्चात् सभी किरणें फोकस तल पर मिलती है या मिलती हुई प्रतीत होती है।
10. **सीमान्त किरणें**–मुख्य अक्ष से दूर दर्पण के किनारों के भागों पर आपतित प्रकाश किरणें सीमान्त किरणें कहलाती है।
11. **उपाक्षीय किरणें**–मुख्य अक्ष के समीप दर्पण के मध्य भाग पर आपतित प्रकाश किरणें उपाक्षीय किरणें कहलाती है।

11.2.2 चिह्न परिपाटी (Sign Convention)

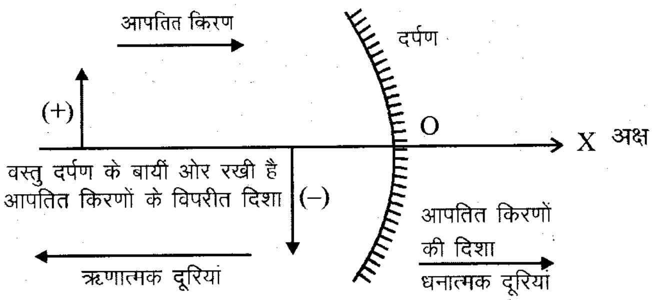
दर्पणों से बिम्ब, प्रतिबिम्ब आदि की दूरियों को नापने के लिए चिह्न नियम या चिह्न प्रथा का होना आवश्यक है। विभिन्न लेखकों ने इस प्रथा को अलग-अलग तरह से स्वीकार किया है। इस अध्याय में एवं पुस्तक के अन्य स्थानों पर हम निम्न चिह्न प्रथा का उपयोग करते हैं। इस प्रथा को कार्तीय चिह्न प्रथा भी कहते हैं। यह प्रथा निर्देशांक ज्यामिती पर आधारित है। दर्पण के ध्रुव को निर्देशांक (0, 0) पर लेते हैं।

दर्पण में प्रयुक्त विभिन्न राशियों को इस नियम के अनुसार निम्न प्रकार धनात्मक या ऋणात्मक लेते हैं–

1. इस परिपाटी के अनुसार वस्तु को दर्पण के बाँयी ओर रखते हैं तथा बिम्ब, प्रतिबिम्ब, फोकस आदि सभी दूरियाँ दर्पण के ध्रुव से मापी जाती है।
2. आपतित किरणों की दिशा में नापी जाने वाली सभी दूरियों को धनात्मक लेते हैं।
3. आपतित किरण के विपरीत दिशा में नापी जाने वाली दूरियों को

ऋणात्मक लेते हैं।

4. मुख्य अक्ष से ऊपर की ओर लम्बवत् (उपरिमुखी) नापी जाने वाली दूरियाँ धनात्मक व मुख्य अक्ष से लम्बवत् नीचे की ओर (अधोमुखी) नापी जाने वाली सभी दूरियाँ ऋणात्मक लेते हैं।



चित्र : 11.8

5. दर्पण से बिम्ब की दूरी सदैव ऋणात्मक तथा प्रतिबिम्ब की दूरी अवतल दर्पण में ऋणात्मक व उत्तल दर्पण में धनात्मक होती है।
6. उत्तल दर्पण की फोकस दूरी धनात्मक तथा अवतल दर्पण की फोकस दूरी ऋणात्मक होती है।

11.2.3 गोलीय दर्पण से प्रतिबिम्ब निर्माण (Image formation by Spherical mirror)

किसी दर्पण के सामने जब कोई बिम्ब (वस्तु) रखते हैं तो उसका प्रतिबिम्ब बनता है। बिम्ब का प्रतिबिम्ब वहाँ बनता है जहाँ बिम्ब से चलने वाली दो या दो से अधिक किरणें परावर्तन के बाद मिलती है या मिलती हुई प्रतीत होती है। प्रतिबिम्ब दो प्रकार के होते हैं–

(i) वास्तविक (ii) आभासी (काल्पनिक)

(i) जब बिम्ब से चलने वाली प्रकाश की किरणें परावर्तन के पश्चात् वास्तव में किसी बिन्दु पर जाकर मिलती है तो दूसरे बिन्दु को पहले बिन्दु का वास्तविक प्रतिबिम्ब कहते हैं। इन्हें पर्दे पर प्राप्त किया जा सकता है। ये बिम्ब के सापेक्ष सदैव उल्टे होते हैं।

(ii) जब बिम्ब से चलने वाली प्रकाश किरण–परावर्तन के पश्चात् वास्तव में किसी दूसरे बिन्दु पर जाकर नहीं मिलती है परन्तु पीछे की ओर बढ़ाए जाने पर उस बिन्दु पर मिलती हुई प्रतीत होती है तो दूसरा बिन्दु पहले बिन्दु का काल्पनिक प्रतिबिम्ब कहलाता है। इन्हें पर्दे पर प्राप्त नहीं किया जा सकता है। यह हमेशा बिम्ब के आकार के समान (सीधा) होता है। अवतल या उत्तल दर्पण से प्रतिबिम्ब के निर्माण के लिए बिम्ब से चलकर दर्पण पर जाने वाली आपतित किरणें एवं उनसे प्राप्त संगत किरणों का उपयोग करते हैं। निम्न प्रकार की चार किरणों में से किन्हीं दो किरणों का उपयोग करते हैं–

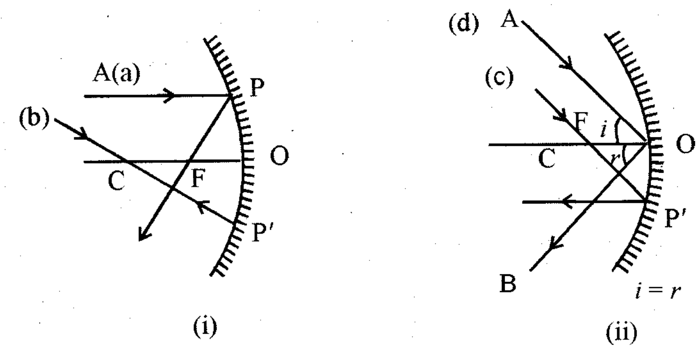
(a) मुख्य अक्ष के समान्तर, आपतित किरण दर्पण से परावर्तन के पश्चात् फोकस से गुजरती है या गुजरती हुई प्रतीत होती है।

(b) वक्रता केन्द्र से होकर जाने वाली आपतित किरण परावर्तन के पश्चात् उसी पथ से वापिस लौट आती है। यह किरण दर्पण पर अभिलम्ब होती है।

(c) मुख्य फोकस से गुजरने वाली आपतित किरण परावर्तन के पश्चात् मुख्य अक्ष के समान्तर हो जाती है।

(d) दर्पण के ध्रुव पर आपतित किरणें व उससे प्राप्त परावर्तित किरणें मुख्य अक्ष से बराबर कोण बनाती है।

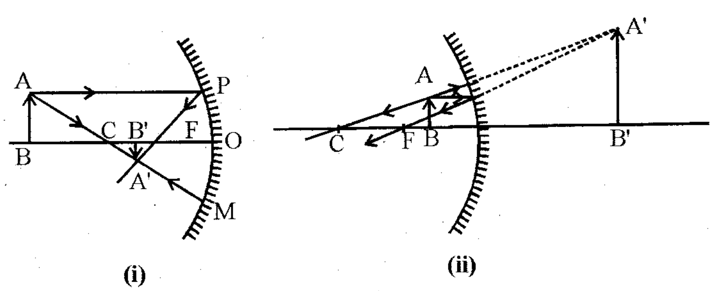
उपरोक्त चार आपतित किरणों व उनकी संगत परावर्तित किरणों को चित्र में दिखाया गया है।



चित्र : 11.9

अवतल दर्पण से प्रतिबिम्ब का निर्माण

चित्र में अवतल दर्पण से प्रतिबिम्ब का निर्माण बताया गया है। चित्र (i) में वस्तु AB दर्पण के ध्रुव व अनन्त के मध्य स्थित है। वस्तु AB के ऊपरी सिरे A से चलने वाली समान्तर किरण AP परावर्तन के पश्चात् फोकस से गुजरती है। इसी प्रकार A से दूसरी किरण AC दर्पण से टकराने के पश्चात् पहली परावर्तित किरण को A′ पर काटती है। अत: A का प्रतिबिम्ब A′ बनेगा इसी प्रकार B से मुख्य अक्ष के साथ चलने वाली किरण परावर्तित होकर इसी दिशा में वापिस लौट जायेगी।



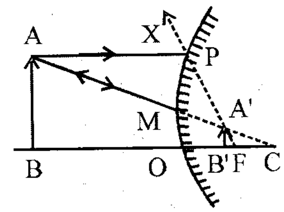
चित्र 11.10 : अवतल दर्पण से प्रतिबिम्ब का बनना

अत: B का प्रतिबिम्ब B′ मुख्य अक्ष पर बनेगा। इस प्रकार वस्तु (बिम्ब) AB का प्रतिबिम्ब A′B′ बनेगा। यह प्रतिबिम्ब वास्तविक है क्योंकि यहाँ किरणें वास्तव में मिलती है। प्रतिबिम्ब की स्थिति व आकार दर्पण से वस्तु की दूरी पर निर्भर करता है। वस्तु को जब हम वक्रता केन्द्र पर लाते हैं तो प्रतिबिम्ब वही बनता है जो उल्टा, वास्तविक व बिम्ब के आकार का होता है। वस्तु को जब दर्पण के सामने फोकस व ध्रुव के मध्य रखते हैं तो प्रतिबिम्ब दर्पण के पीछे बनता है। इस स्थिति में परावर्तित किरणें परावर्तन के पश्चात् फैल जाती है जो पीछे की ओर मिलती हुई प्रतीत होती है। यह प्रतिबिम्ब सीधा, काल्पनिक व बड़ा बनता है। [चित्र (ii)]

उत्तल दर्पण से प्रतिबिम्ब का निर्माण

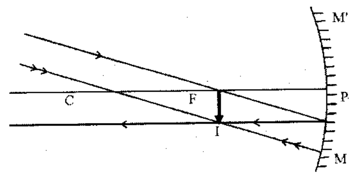
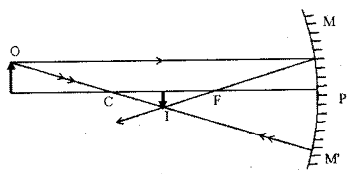
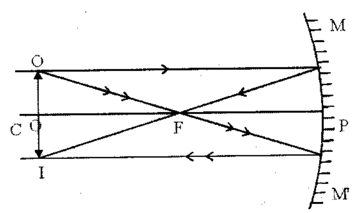
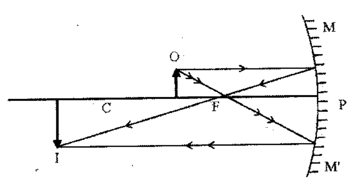
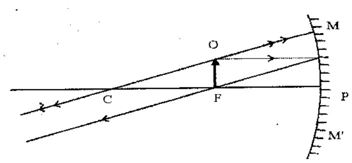
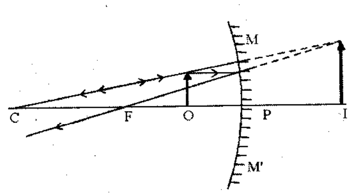
उत्तल दर्पण में प्रतिबिम्ब सदैव आभासी, सीधे व बिम्ब से छोटे आकार के बनते हैं। चित्र में उत्तल दर्पण से प्रतिबिम्ब का निर्माण बताया गया है। वस्तु AB दर्पण के सामने मुख्य अक्ष पर B पर लम्बवत् रखी है। AP समान्तर किरण परावर्तन के पश्चात् PX दिशा में चली जाती है जो FP से आती हुई प्रतीत होगी। इसी प्रकार AM किरण परावर्तन के पश्चात् MAC दिशा से आती हुई प्रतीत होती है।

ये किरणें परावर्तन के पश्चात् फैल जाती है। इन्हें दर्पण के पीछें बढ़ाने पर A′ पर मिलती है। अत: AB का प्रतिबिम्ब A′B′ बनता है। यह काल्पनिक सीधा व छोटा होता है।

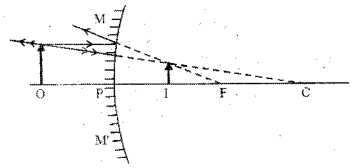
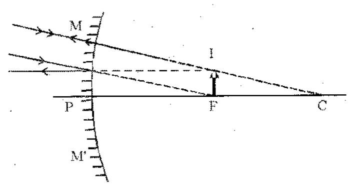


चित्र : 11.11 : उत्तल दर्पण से प्रतिबिम्ब का निर्माण

सारणी (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.	अनन्त 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 अनन्त के बीच
5.	फोकस F पर		वास्तविक, उल्टा, बहुत बड़ा
6.	F एवं P के मध्य		आभासी, सीधा, बड़ा, दर्पण के पीछे

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

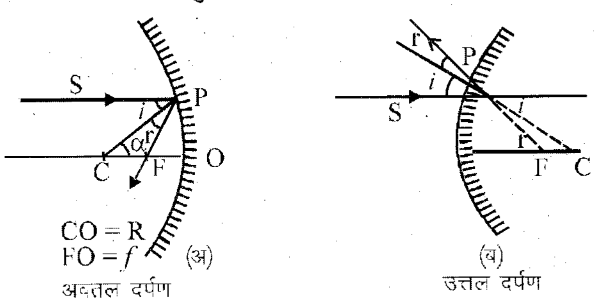
क्र.सं.	बिम्ब की स्थिति	किरण चित्र	प्रतिबिम्ब का स्वरूप
1.	अनन्त पर		आभासी, सीधा, बहुत छोटा, फोकस पर
2.	दर्पण के सामने		आभासी, सीधा, छोटा, ध्रुव तथा फोकस के मध्य

11.3 दर्पण सूत्र (Mirror Formula)

11.3.1 दर्पणों की फोकस दूरी (Focal length of mirrors)

चित्र में एक अवतल व उत्तल दर्पण के लिये आपाती किरण व परावर्तित किरण को बताया गया है।

सामान्यत: उपयोग में लिये जाने वाले दर्पणों का द्वारक छोटा होता है अत: इस पर आपतित किरणें मुख्य अक्ष के बहुत पास होती है। चित्र में SP एक आपतित किरण, मुख्य अक्ष के समान्तर दर्पण के P बिन्दु पर आपतित है। परावर्तन के पश्चात् यह किरण फोकस F से गुजरती है। किरण PF किरण SP की परावर्तित किरण है। CP दर्पण पर बिन्दु P पर अभिलम्ब है। (चित्र अ)



चित्र 11.12 : फोकस दूरी व वक्रता त्रिज्या में सम्बन्ध

उत्तल दर्पण के लिए यह आपतित किरण परावर्तन के पश्चात् बिन्दु F से गुजरती हुई प्रतीत होगी (चित्र ब) किरण SP, OC के समान्तर है तथा CP बिन्दु P पर अभिलम्ब है। अत:

आपतन कोण SPC = परावर्तन कोण FPC

$$\angle i = \angle r$$

तथा $\angle SPC = \angle FCP = \angle i = \angle \alpha$ (एकान्तर कोण)

$\therefore$ ΔFCP में $\angle \alpha = \angle r$

अत: भुजा CF = FP

छोटे दर्पण के लिए P, O के समीप होता है।

अत: FP = FO

एवं FC = OF

पुन: OC = FC + OF = OF + OF

$$R = f + f = 2f \quad \text{(उत्तल दर्पण)}$$

$$-R = -f - f = -2f \quad \text{(अवतल दर्पण)}$$

यहाँ OC = R दर्पण की वक्रता त्रिज्या है तथा OF = f फोकस दूरी है।

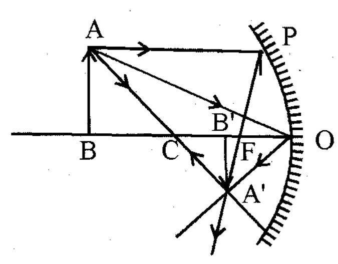
$$\therefore \quad \boldsymbol{f = R/2}$$

अत: गोलीय दर्पण में फोकस दूरी, वक्रता त्रिज्या R की आधी होती है।

11.3.2 दर्पण समीकरण (Mirror equation)

अब हम गोलीय दर्पण से प्रतिबिम्ब निर्माण के समय बिम्ब, प्रतिबिम्ब व फोकस दूरी के लिए सम्बन्ध ज्ञात करेंगे।

चित्र में अवतल दर्पण से प्रतिबिम्ब का बनना दिखाया गया है। मुख्य अक्ष पर B बिन्दु पर बिम्ब AB से एक समान्तर किरण AP दर्पण के धरातल से टकराकर परावर्तन के पश्चात् फोकस से होती हुई गुजरती है। बिन्दु A से अन्य किरण AC दर्पण पर टकराकर अभिलम्बवत् होने के कारण पुन: उसी मार्ग पर लौट आती है। ये दोनों परावर्तित किरणें बिन्दु A' पर परस्पर मिलती है। अत: AB का प्रतिबिम्ब B'A' बनता है। AO व A'O को मिलाती हुई रेखाएँ बनाते हैं।



चित्र : 11.13

चित्र में ΔPOF व ΔA'FB' में ∠A'FB' = ∠PFO सम्मुख कोण होने के कारण (दर्पण छोटे द्वारक का है) अत: PO लगभग सीधी रेखा है।

$\therefore$ ∠FOP = ∠A'B'F समकोण होने के कारण।

अत: ΔPOF, Δ A'FB' समरूप त्रिभुज है।

$$\therefore \quad \frac{PO}{A'B'} = \frac{OF}{B'F} \quad ...(1)$$

AB व PO बराबर है।

अब समी. (1) से

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{OF}{B'O-FO} \quad ...(2)$$

[$\therefore$ B'F = B'O − FO]

इसी प्रकार समरूप ΔABO तथा $\Delta A'B'O$ से

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{BO}{B'O} \quad ...(3)$$

समी. (2) व समी. (3) से

$$\frac{BO}{B'O} = \frac{OF}{B'O-FO} \quad ...(4)$$

चिह्न परिपाटी प्रयुक्त करने पर

अब दर्पण से बिम्ब की दूरी $BO = -u$

दर्पण से प्रतिबिम्ब की दूरी $B'O = -v$

दर्पण से फोकस की दूरी $FO = -f$

का मान. समी. (4) में रखने पर (चूँकि तीनों ऋणात्मक है)

अत: $$\frac{u}{v} = \frac{f}{v-f} \quad ..(5)$$

या $$uv - uf = vf$$

या $$uv = vf + uf \quad ...(6)$$

समी. (6) में uvf का भाग देने पर

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u} \quad ...(7)$$

यह संबंध **दर्पण समीकरण (सूत्र)** कहलाता है।

यह सूत्र अवतल दर्पण के लिए ज्ञात किया गया है। उत्तल दर्पण के लिए भी u, v, f में यही सम्बन्ध प्राप्त होता है।

रेखीय आवर्धन–दर्पण से बनने वाले प्रतिबिम्ब व उसके सामने रखे बिम्ब की ऊँचाइयों के अनुपात को रेखीय आवर्धन कहते हैं। इसे 'm' द्वारा व्यक्त करते हैं।

$$\text{रेखीय आवर्धन } m = \frac{\text{प्रतिबिम्ब की ऊँचाई}}{\text{वस्तु की ऊँचाई}}$$

चित्र में बिम्ब AB की ऊँचाई h_1 तथा प्रतिबिम्ब A'B' की ऊँचाई h_2 लें तो

$$m = \frac{h_2}{h_1} = \frac{A'B'}{AB}$$

समी. (3) से $\frac{A'B'}{AB} = \frac{B'O}{BO} = \frac{v}{u}$

चिह्न परिपाटी प्रयुक्त करने पर $m = \frac{-h_2}{h_1} = \frac{-v}{-u}$

$$\boldsymbol{m = \frac{h_2}{h_1} = -\frac{v}{u}} \quad ...(8)$$

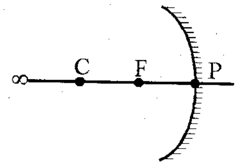
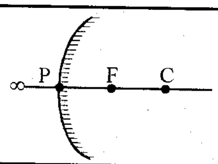
समीकरण (8) से स्पष्ट है कि u व v दोनों के चिह्न एक से हों तो प्रतिबिम्ब वास्तविक व उल्टा बनेगा यदि विपरीत है तो सीधा व काल्पनिक बनेगा अर्थात् अवतल अथवा उत्तल दर्पण द्वारा बने सीधे तथा आभासी प्रतिबिंब के लिए m धनात्मक जबकि उल्टे तथा वास्तविक प्रतिबिंब के लिएं m ऋणात्मक होता है।

(i) प्रश्नों को हल करने के लिये चिह्न परिपाटी

	अवतल दर्पण		उत्तल दर्पण
	वास्तविक प्रतिबिम्ब ($u \geq f$)	आभासी प्रतिबिम्ब ($u < f$)	
वस्तु की दूरी	$u \rightarrow -$	$u \rightarrow -$	$u \rightarrow -$
प्रतिबिम्ब की दूरी	$v \rightarrow -$	$v \rightarrow +$	$v \rightarrow +$
फोकस दूरी	$f \rightarrow -$	$f \rightarrow -$	$f \rightarrow +$
वस्तु की ऊँचाई	h_1 या O $\rightarrow +$	h_1 या O $\rightarrow +$	h_1 या O $\rightarrow +$
प्रतिबिम्ब की ऊँचाई	h_2 या I $\rightarrow -$	h_2 या I $\rightarrow +$	h_2 या I $\rightarrow +$
वक्रता त्रिज्या	$R \rightarrow -$	$R \rightarrow -$	$R \rightarrow +$
आवर्धन	$m \rightarrow -$	$m \rightarrow +$	$m \rightarrow +$

(ii) गोलीय दर्पण से बने प्रतिबिम्ब की स्थिति, आकार एवं प्रकृति

दर्पण	वस्तु की स्थिति	प्रतिबिम्ब की स्थिति	आवर्धन प्रतिबिम्ब का आकार	प्रकृति	
				वास्तविक आभासी	सीधा उल्टा
(i) अवतल	अनन्त पर अर्थात् $u = \infty$	फोकस पर अर्थात् $v = f$	$m << 1$, बिन्दुवत्	वास्तविक	उल्टा

	वक्रता केन्द्र से दूर ($u > 2f$)	f एवं $2f$ के बीच अर्थात् $f < v < 2f$	$m < 1$, छोटा	वास्तविक	उल्टा
	वक्रता केन्द्र पर $u = 2f$	वक्रता केन्द्र अर्थात् $v = 2f$	$m = 1$, वस्तु के बराबर	वास्तविक	उल्टा
	वक्रता केन्द्र तथा फोकस के मध्य $f<u<2f$	वक्रता केन्द्र और ∞ के मध्य अर्थात् $v > 2f$	$m > 1$, आवर्धित	वास्तविक	उल्टा
	फोकस पर, अर्थात् $u = f$	अनन्त पर $v = \infty$	$m = \infty$, आवर्धित	वास्तविक	उल्टा
	ध्रुव तथा फोकस के मध्य $u<f$	दर्पण के पीछे $v > u$	$m > 1$, आवर्धित	आभासी	सीधा
(ii) उत्तल	अनन्त पर अर्थात् $u = \infty$	फोकस पर $v = f$	$m < 1$, छोटा	आभासी	सीधा
	अनन्त एवं ध्रुव के मध्य	ध्रुव एवं फोकस के मध्य	$m < 1$, छोटा	आभासी	सीधा

महत्त्वपूर्ण तथ्य

(i) उत्तल दर्पण के सामने स्थित कोई वस्तु जब दर्पण से दूर की ओर गति करती है, तो प्रतिबिम्ब छोटा होकर फोकस की ओर अग्रसर होने लगता है।

(ii) दर्पणों से बने प्रतिबिम्बों में वर्ण विपथन दोष नहीं होता है।

(iii) उत्तल दर्पण में प्रतिबिम्ब की अधिकतम दूरी फोकस दूरी के बराबर होती है।

(iv) अवतल दर्पण में, वास्तविक वस्तु और उसके वास्तविक प्रतिबिम्ब के बीच की न्यूनतम दूरी शून्य होती है। (अर्थात् जब $u = v = 2f$)

(v) यदि एक गोलीय दर्पण किसी वस्तु का 'm'गुना प्रतिबिम्ब बनाता है। (m = आवर्धन) तब u, v तथा f में निम्न सम्बन्ध होंगे–

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

$$v = -(m-1)f$$

तथा $$f = \left(\frac{m}{m-1}\right)u$$ (चिह्नों का उपयोग करें)

(vi) अवतल दर्पण व उत्तल दर्पण दोनों का व्यवहार भिन्न होता है। अवतल दर्पण आपतित समान्तर किरणपुंज को परावर्तन के पश्चात् अभिसरित (Converge) करता है तथा वे दर्पण के सामने एक बिन्दु पर मिलती है। जिसे अवतल दर्पण का मुख्य फोकस कहते हैं।

उत्तल दर्पण में आपतित समान्तर किरण पुंज को अपसरित (diverge) करने अर्थात् फैलाने की क्षमता होती है। परावर्तित किरणों को बढ़ाने पर वे दर्पण के पीछे एक बिंदु पर मिलती हुई प्रतीत होती है। जिसे उत्तल दर्पण का मुख्य फोकस कहते हैं।

(vii) गोलीय दर्पण दो प्रकार के होते हैं–

(i) **अवतल दर्पण**–इसका परावर्ती पृष्ठ दबा हुआ होता है।

(ii) **उत्तल दर्पण**–इसका परावर्ती पृष्ठ उभरा हुआ होता है।

(viii) गोलीय दर्पण के लिए

(i) $f = \frac{R}{2}$ (ii) $\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$

(c) $m = \frac{I}{O} = \frac{-v}{u} = \frac{f}{f-u} = \frac{f-v}{f}$ या $m = \frac{h_2}{h_1}$

आंकिक प्रश्नों को हल करते समय चिह्नों का प्रयोग करते हैं तथा जिस राशि को ज्ञात करना है उसे चिह्न सहित नहीं रखते हैं।

(ix) अवतल दर्पण के मुख्य अक्ष पर बिन्दुओं के ऐसे जोड़े पाए जाते हैं कि वस्तु को एक बिन्दु पर रखने पर उसका प्रतिबिंब दूसरे बिन्दु पर तथा वस्तु को दूसरे बिन्दु पर रखने पर प्रतिबिंब पहले बिन्दु पर बनता है। बिन्दुओं के ऐसे जोड़ों को संयुग्मी फोकस कहते हैं। ये केवल वास्तविक प्रतिबिम्बों के लिए ही सत्य होते हैं।

(x) दो वस्तुओं को एक ही सीध में रखकर आँख को दायीं ओर या बाँयी ओर हटाने पर उनमें जो सापेक्ष विस्थापन होता है उसे लम्बन (Parllex) कहते हैं। दो वस्तुएँ जब एक ही स्थान पर होती हैं तो उनमें लम्बन नहीं होता।

(xi) जब कोई रैखिक वस्तु मुख्य अक्ष के लम्बवत् रखी हो, तब इसके आवर्धन को पार्श्विक या अनुप्रस्थ आवर्धन कहते हैं।

(xii) वास्तविक प्रतिबिम्ब के लिए $f^2 = x_1 \; x_2$ जहाँ x_1 = फोकस से वस्तु की दूरी तथा x_2 = फोकस से प्रतिबिंब की दूरी

दर्पणों की उपयोगिता (Uses of mirrors)

समतल दर्पण

1. इस दर्पण का उपयोग मुँह देखने के शीशे के रूप में हम सभी नियमित रूप से करते हैं।
2. इस दर्पण का उपयोग वैज्ञानिक उपकरणों में किरण का पथ मोड़ने व कोणों को नापने के लिए करते हैं।

अवतल दर्पण

1. उचित आकार (बड़ी फोकस दूरी) वाले अवतल दर्पण की स्थिति में होने पर बाल व दाढ़ी बनाने वाले शीशे के रूप में काम में लाया जाता है। जिससे व्यक्ति के चेहरे का आभासी, बड़ा और सीधा प्रतिबिम्ब बनता है।
2. छोटे मुख पृष्ठ वाले अवतल दर्पण की सहायता से डॉक्टर रोगी के कान, नाक अथवा आँख पर प्रकाश का एक संकुचित और काफी चमकीला किरण पुंज डालकर, अन्दर के भाग का परीक्षण करते हैं।

3. परावर्तक के रूप में भी इसका उपयोग करते हैं इस प्रकार के उपयोग के समय इसको परवलय का रूप देकर परवलय दर्पण बना देते हैं। सर्चलाइट में भी इस प्रकार के परावर्तक लगाये जाते हैं।
4. अवतल दर्पण परावर्तक दूरदर्शी में काम में लेते हैं। इससे दूरदर्शी की विभेदन क्षमता में वृद्धि होती है।

उत्तल दर्पण :

1. उत्तल दर्पण में बड़ी वस्तुओं के छोटे प्रतिबिम्ब प्राप्त करके सजावट के लिए उपयोग में लेते हैं।
2. उत्तल दर्पण द्वारा, समतल व अवतल दर्पण की अपेक्षा काफी चौड़े क्षेत्र को एक साथ देखा जा सकता है अर्थात् उत्तल दर्पण का दृष्टिक्षेत्र अपेक्षाकृत अधिक होता है। अत: वाहनों में चालक के बगल में उन्हें लगाकर पीछे से आने वाले वाहनों को चालक आसानी से देख सकता है जिनके प्रतिबिम्ब सीधे व छोटे बनते हैं।
3. सड़कों पर प्रकाश लैम्पों में भी प्रकाश को फैलाने के लिए इस प्रकार के दर्पणों का उपयोग करते हैं।

उदाहरण 1. एक अवतल दर्पण की वक्रता त्रिज्या 50 cm है। इसकी फोकस दूरी ज्ञात कीजिये। पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.1

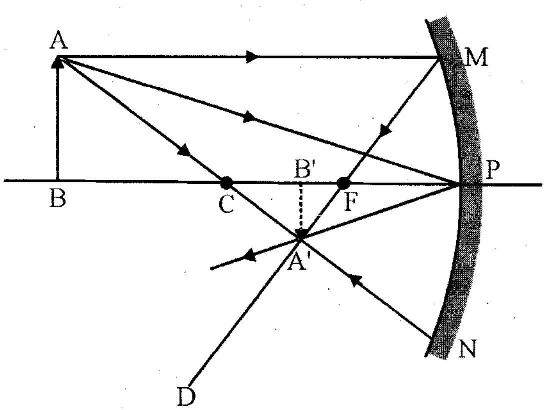
हल–दिया गया है– $R = 50$ सेमी.

$\therefore$ फोकस दूरी $f = \frac{R}{2} = \frac{50}{2} = 25$ सेमी.

अत: अवतल दर्पण की फोकस दूरी

$= 25$ सेमी. $= 0.25$ मी.

उदाहरण 2. मान लीजिए चित्र में दर्शाए अवतल दर्पण के परावर्तक पृष्ठ के नीचे का आधा भाग किसी अपारदर्शी (अपरावर्ती) पदार्थ से ढक दिया गया है। दर्पण के सामने स्थित किसी बिंब के दर्पण द्वारा बने प्रतिबिंब पर इसका क्या प्रभाव पड़ेगा ?



चित्र : 11.14

हल–ऐसा प्रतीत होता है कि प्रतिबिंब में बिंब का आधा भाग दिखाई देगा परन्तु यह मानते हुए कि परावर्तन के नियम दर्पण के शेष भाग पर भी लागू होते हैं, अत: दर्पण द्वारा बिंब का पूर्ण प्रतिबिंब बनेगा। अब, क्योंकि परावर्ती पृष्ठ का क्षेत्रफल कम हो गया है। इसलिए प्रतिबिंब की तीव्रता कम हो जाएगी। इस स्थिति में आधी हो जाएगी।

उदाहरण 3. 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। पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.2

हल–यहाँ $f = -\frac{15}{2} = -7.5$ सेमी., $u = -10$ सेमी.

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

$\Rightarrow \frac{1}{-7.5} = \frac{1}{v} + \frac{1}{-10}$

$\Rightarrow \frac{1}{v} = \frac{1}{10} - \frac{1}{7.5} = \frac{1}{10} - \frac{2}{15}$

$= \frac{15-20}{150} = -\frac{1}{30}$

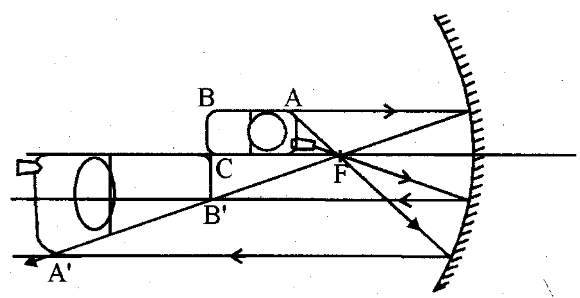
$\Rightarrow v = -30$ सेमी.

अर्थात् प्रतिबिम्ब दर्पण की बायीं ओर बनेगा व वास्तविक होगा तथा उल्टा बनेगा।

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

प्रतिबिम्ब की ऊँचाई वस्तु की ऊँचाई से तीन गुनी होगी।

उदाहरण 4. किसी अवतल दर्पण के मुख्य अक्ष पर एक मोबाइल फोन रखा है। उचित किरण आरेख द्वारा प्रतिबिंब की रचना दर्शाइए। व्याख्या कीजिए कि आवर्धन एकसमान क्यों नहीं है? क्या प्रतिबिंब की विकृति दर्पण के सापेक्ष फोन की स्थिति पर निर्भर करती है ?



चित्र : 11.15

हल–चित्र में फोन के प्रतिबिंब की रचना का प्रकाश किरण आरेख दर्शाया गया है। मुख्य अक्ष के लंबवत् समतल में स्थित भाग का प्रतिबिंब उसी समतल में होगा। यह उसी साइज का होगा, अर्थात् $B'C = BC$। प्रतिबिंब की विकृति दर्पण के सापेक्ष फोन की स्थिति पर निर्भर करती है।

उदाहरण 5. अवतल दर्पण के सामने रखे एक बिम्ब का प्रतिबिम्ब दर्पण के सामने 100 सेमी. पर बनता है। यदि दर्पण की फोकस दूरी 98 सेमी. हो, तो बिम्ब की दूरी ज्ञात करो। पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.3

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

यहाँ $f = -98\ cm$, $v = -100\ cm.$, $u = ?$

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

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{100} - \frac{1}{98} = -\frac{1}{4900}$$

$$u = -4900\,cm = -49\,m$$

उदाहरण 6. एक अवतल दर्पण की फोकस-दूरी f है। वस्तु की फोकस से दूरी x है। रैखिक आवर्धन की गणना कीजिए।

हल : सूत्र : गोलीय दर्पण के लिए,

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

अवतल दर्पण के लिए f ऋणात्मक होगा।

दिया है– $u = -(f+x)$

अत: $$m = \frac{-f}{-f+(f+x)} = \frac{-f}{x}$$

उदाहरण 7. 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। पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.4

हल-दिया गया है: आवर्धन $m = -2.5$ एवं $R = -4\,\text{m}$

$$\because \text{ फोकस दूरी } f = \frac{R}{2} = \frac{-4.0}{2} = -2.0\,\text{m}$$

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

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

उदाहरण 8. 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। पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.5

हल-सूत्र : $$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

दिया है –फोकस-दूरी = f, $u = -f$

सूत्र में मान रखने पर,

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

या $$\frac{1}{v} = \frac{2}{f}$$

$\therefore$ $$v = \frac{f}{2}$$

वस्तु के दूसरी ओर $\frac{f}{2}$ दूरी पर बनेगा।

उदाहरण 9. मान लीजिए कि आप किसी स्थिर कार में बैठे हैं। आप 2m वक्रता त्रिज्या के पार्श्व दृश्य दर्पण में किसी धावक को अपनी ओर आता हुआ देखते हैं। यदि धावक 5 ms^{-1} की चाल से दौड़ रहा हो, तो उसका प्रतिबिंब कितनी चाल से दौड़ता प्रतीत होगा जबकि धावक (a) 39m. (b) 29 m, (c) 19 m, तथा (d) 9 m दूर है।

हल : दर्पण सूत्र से

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

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

उत्तल दर्पण के लिए R = 2m , f = 1m

(a) तब $u = -39m$

$$v = \frac{(-39)\times 1}{-39-1} = \frac{39}{40}m$$

चूंकि धावक 5m/s की अपरिवर्ती चाल से चलता है।

1 सेकण्ड के पश्चात् धावक की स्थिति $u' = -39 + 5 = -34m$

के लिए प्रतिबिंब की स्थिति $v' = \frac{(-34)\times 1}{-34-1} = \frac{34}{35}m$ होगी।

उदाहरण 10. एक उत्तल दर्पण की फोकस दूरी f है। उसमें निर्मित प्रतिबिंब की लम्बाई वस्तु की लम्बाई की $\frac{1}{n}$ गुनी है। दर्पण से वस्तु की दूरी ज्ञात करो।

हल : गोलीय दर्पण के लिए $$m = \frac{f}{f-u}$$

दिया है– $$m = \frac{1}{n}$$

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

$$nf = f - u$$

$$u = f - nf$$

$$= -nf + f$$

$$u = -(n-1)f$$

उदाहरण 11. 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। पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.6

हल-दिया गया है: $u = -20\,\text{cm}$, $v = -40\,\text{cm}$, $f = ?$

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

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

$$\therefore f = -\frac{40}{3} = -13.33\,\text{cm}$$

उदाहरण 12. अवतल दर्पण की वक्रता त्रिज्या 10 सेमी. है। वस्तु को 10 गुना बड़ा देखने के लिए वस्तु की स्थिति ज्ञात करो।

हल : अवतल दर्पण के लिए R = –10 सेमी.

अत: $$f = \frac{R}{2} = -5 \text{ सेमी.}$$

प्रश्नानुसार $m = -10$ आवर्धन

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

$$-10 = -\frac{v}{u}$$

या $v = 10u$

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

$$\frac{1}{-5} = \frac{1}{10u} + \frac{1}{u}$$

या $u = -5.5\,cm$

उदाहरण 13. सूर्य का व्यास पृथ्वी के किसी बिन्दु पर 20′ का कोण बनाता है। 2 मीटर फोकस-दूरी के अवतल दर्पण द्वारा बनाये गये सूर्य के प्रतिबिम्ब का व्यास एवं स्थिति ज्ञात कीजिए।

हल : सूत्र : $\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$

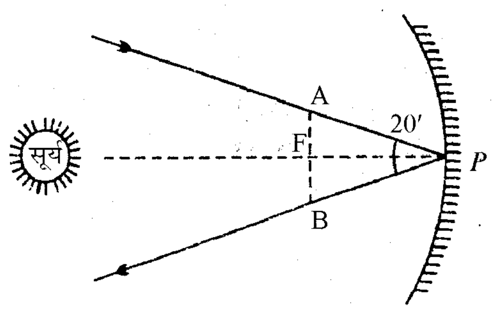
दिया है : $f = -2$ मीटर $= -200$ सेमी., $u = -\infty$

उपर्युक्त सूत्र में मान रखने पर,

या $-\frac{1}{200} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{v}$

$\Rightarrow v = -200$ सेमी.

अत: प्रतिबिम्ब दर्पण के फोकस F पर बनेगा।



चित्र 11.16

चित्र में AB सूर्य का प्रतिबिम्ब है।

अत: ΔPAB में कोण $= \frac{\text{चाप}}{\text{त्रिज्या}}$ से,

$$\frac{20}{60} \times \frac{\pi}{180} = \frac{AB}{PF} \qquad \text{जहाँ } \theta = 20' \text{ (मिनट)}$$

या $\frac{AB}{200} = \frac{20}{60} \times \frac{3.14}{180}$ $\qquad 1'$ (मिनट) $= \frac{1^\circ}{60}$

या $AB = \frac{20 \times 3.14 \times 200}{60 \times 180}$

$= 1.16$ सेमी.

अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

1. एक मोटे काँच के दर्पण में कितने प्रतिबिम्ब बनते हैं तथा कौनसा प्रतिबिम्ब अधिक चमकीला होता है?
2. संयुग्मी फोकस विधि से किस दर्पण की फोकस दूरी ज्ञात की जा सकती है?
3. गोलीय दर्पण में वास्तविक तथा आभासी प्रतिबिम्ब के लिए रेखीय आवर्धन m का चिन्ह बताइए।
4. क्या कारण है कि जब लहरदार समुद्र में प्रकाश के परावर्तन से चन्द्रमा को देखते हैं तो वह कुछ लम्बा सा प्रतीत होता है, क्यों?
5. किस स्थिति में प्रकाश को तरंग के स्थान पर किरण के रूप में माना जा सकता है?
6. गोलीय दर्पण की फोकस दूरी आपतित प्रकाश के रंग पर किस प्रकार निर्भर करती है?
7. h ऊँचाई के एक व्यक्ति को अपना पूर्ण प्रतिबिम्ब देखने के लिए कम से कम कितनी लम्बाई के समतल दर्पण की आवश्यकता होती है?
8. यदि एक प्रकाश किरण समतल दर्पण पर अभिलम्बवत् आपतित होती हो तो परावर्तन कोण कितना होगा?
9. गोलीय दर्पण के लिए (i) u– v ग्राफ तथा (ii) $\frac{1}{u}$ व $\frac{1}{v}$ ग्राफ की आकृति बताइए।
10. यदि अपना चेहरा एक दर्पण में देखने पर वह छोटा तथा सीधा दिखायी देता है, तब दर्पण कौनसा है?
11. एक प्रकाश किरण समतल दर्पण पर 40° कोण पर आपतित है। दर्पण द्वारा विचलन कोण ज्ञात कीजिए।
12. एक प्रकाश किरण पुंज एक समतल दर्पण पर आपतित होता है तथा उससे परावर्तित होकर वास्तविक प्रतिबिम्ब बनाता है। तब दर्पण पर आपतित पुंज किस प्रकार का होगा?
13. यदि गोलीय दर्पण को पानी में रख दिया जाए तो दर्पण की फोकस दूरी पर क्या प्रभाव पड़ता है?
14. यदि किसी दर्पण (या वस्तु) को v वेग से चलाया जाए तब वस्तु के सापेक्ष प्रतिबिम्ब का वेग कितना होगा?
15. प्रकाश किरण से क्या तात्पर्य है?
16. अन्तरिक्ष यात्रियों के पृथ्वी के वायुमण्डल से बाहर निकलने पर आकाश का रंग कैसा दिखायी देता है?
17. पार्श्व परिवर्तन किसे कहते हैं?
18. समतल दर्पण में प्रतिबिम्ब वास्तविक होते हैं या आभासी होते हैं?
19. गोलीय दर्पण किसे कहते हैं?
20. अवतल दर्पण किसे कहते हैं?
21. उत्तल दर्पण किसे कहते हैं?
22. दर्पण के द्वारक से क्या तात्पर्य है?
23. दर्पण की फोकस दूरी से क्या तात्पर्य है?
24. गोलीय दर्पण की फोकस दूरी f तथा वक्रता त्रिज्या R में क्या सम्बन्ध होता है?
25. प्रतिबिम्ब कितने प्रकार के होते हैं?
26. उत्तल दर्पण से बने प्रतिबिम्ब की प्रकृति लिखिए।
27. दर्पण सूत्र लिखिए।
28. रेखीय आवर्धन से क्या तात्पर्य है?
29. उत्तल व अवतल दर्पण की फोकस दूरी का चिन्ह लिखिए।

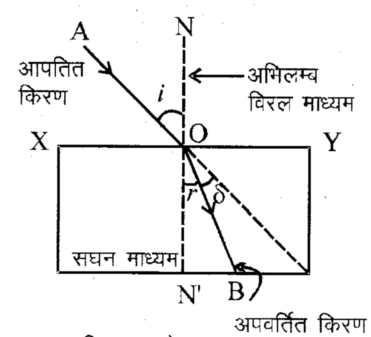
उत्तरमाला

1. एक मोटे काँच के दर्पण में अनन्त प्रतिबिम्ब बनते हैं, क्योंकि मोटे काँच के दर्पण की ऊपरी तथा निचली सतहों से क्रमिक रूप में आंशिक परावर्तन तथा आंशिक अपवर्तन होता है। इनमें से दूसरा प्रतिबिम्ब जो कि दर्पण की पॉलिश की हुई निचली सतह से परावर्तन द्वारा बनता है, सबसे अधिक चमकीला होता है।
2. केवल अवतल दर्पण की।
3. वास्तविक प्रतिबिम्ब के लिए m ऋणात्मक तथा आभासी प्रतिबिम्ब के लिए m धनात्मक होगा।
4. प्रकाश के विसरित परावर्तन के कारण।
5. जब अवरोधक या द्वारक का आकार, प्रकाश की तरंगदैर्ध्य की तुलना में बहुत बड़ा होता है।
6. गोलीय दर्पण की फोकस दूरी आपतित प्रकाश के रंग पर निर्भर नहीं करती है।
7. $\frac{h}{2}$ 8. 0°
9. (i) अतिपरवलय तथा (ii) सरल रेखा।
10. उत्तल दर्पण।
11. $\because$ विचलन कोण $\delta = 180^\circ - 2i = 180^\circ - 2\times 40^\circ = 100^\circ$
12. अभिसारी किरण पुंज।
13. फोकस दूरी अपरिवर्तित रहती है।
14. 2v
15. प्रकाश तरंग का संचरण पथ प्रकाश किरण कहलाता है।
16. काला।
17. समतल दर्पण में किसी वस्तु के प्रतिबिम्ब में दांयी दिशा में प्रतिवर्ती परिवर्तन को पार्श्व परिवर्तन कहते हैं।
18. आभासी।
19. वह दर्पण जिसके पृष्ठ को किसी खोखले गोले का भाग मान सकते हैं, गोलीय दर्पण कहलाता है।
20. खोखले गोले के उभरे हुए तल पर कलई कर दी जाये तो इसके भीतर का तल परावर्तक बन जाता है। इसे अवतल दर्पण कहते हैं।
21. यदि खोखले गोले के भीतर के भाग पर कलई कर दी जाये तो इसके उभरे हुए तल से परावर्तन होता है। इसे उत्तल दर्पण कहते हैं।
22. दर्पण के उस भाग का व्यास जिससे प्रकाश परावर्तित होता है, दर्पण का द्वारक कहलाता है।
23. दर्पण के ध्रुव तथा फोकस बिन्दु के बीच की दूरी को दर्पण की फोकस दूरी कहते हैं।
24. $f = \frac{R}{2}$
25. प्रतिबिम्ब दो प्रकार के होते हैं–
(i) वास्तविक प्रतिबम्ब (ii) आभासी प्रतिबिम्ब।
26. उत्तल दर्पण से बने प्रतिबिम्ब सदैव आभासी, सीधे व बिम्ब से छोटे होते हैं।
27. $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u}$
28. दर्पण से बनने वाले प्रतिबिम्ब व उसके सामने स्थित बिम्ब की ऊँचाईयों के अनुपात को रेखीय आवर्धन कहते हैं।
29. उत्तल दर्पण की फोकस दूरी धनात्मक तथा अवतल दर्पण की फोकस दूरी ऋणात्मक होती है।

11.4 प्रकाश का अपवर्तन (Refraction of Light)

किसी समांगी (isotropic) एवं पारदर्शी माध्यम में प्रकाश की किरणें सीधी रेखाओं में एक ही चाल से चलती हैं। परन्तु **''जब प्रकाश की किरण एक पारदर्शी माध्यम से दूसरे पारदर्शी माध्यम में तिर्यक आपतित होकर संचरण करती है तो दोनों माध्यमों को पृथक् करने वाले पृष्ठ पर इसके संचरण की दिशा प्रारम्भिक दिशा से विचलित हो जाती है। इस परिघटना को प्रकाश का अपवर्तन कहते हैं।''**

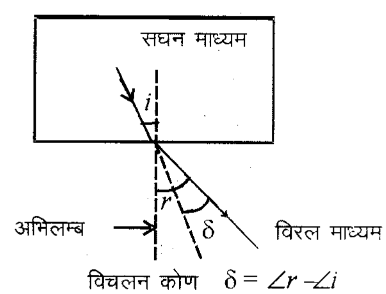
चित्र में प्रकाश की एक किरण जो वायु से पानी में प्रवेश कर रही है का गमन पथ दिखाया गया है। AO पृथक्कारी धरातल XY पर आपाती किरण है। OB किरण दूसरे माध्यम में अपवर्तित किरण है। आपतित किरण अभिलम्ब के साथ जो कोण बनाती है उसे आपतन कोण i तथा अपवर्तित किरण अभिलम्ब के साथ जो कोण बनाती है उसे अपवर्तन कोण r कहते हैं। जब प्रकाश किरण प्रकाशीय विरल माध्यम से प्रकाशीय सघन माध्यम में प्रवेश करती है तो वह अभिलम्ब की ओर झुक जाती है। इस समय $\angle i > \angle r$ होता है।



विचलन कोण $\delta = \angle i - \angle r$

चित्र : 11.17

इसके विपरीत जब प्रकाशीय किरण सघन माध्यम से विरल माध्यम (पानी में हवा) में जा रही है तो इस समय अपवर्तित किरण अभिलम्ब से दूर हटती है तथा $\angle i < \angle r$ होता है। यदि किरण इन पृथक्कारी धरातल पर लम्बवत् गिरती है तो आपतन कोण i व अपवर्तन कोण r परस्पर बराबर होने से किरण में विचलन नहीं होता है।



विचलन कोण $\delta = \angle r - \angle i$

चित्र : 11.18

अपवर्तन के नियम (Laws of Refraction)

जब प्रकाश किरण एक माध्यम से दूसरे माध्यम में जाती है तो स्नैल ने प्रयोगों द्वारा अपवर्तन के निम्नलिखित नियम प्रतिपादित किए–

1. आपतित किरण, अपवर्तित किरण तथा आपतन बिंदु पर अभिलंब, एक ही समतल में होते हैं।
2. किन्हीं दो माध्यमों के लिए तथा एकवर्णी प्रकाश के लिए आपतन कोण की ज्या (sine) तथा अपवर्तन कोण की ज्या का अनुपात एक नियतांक होता है।

यदि आपतित किरण व अपवर्तित किरण अभिलंब के साथ क्रमशः आपतन कोण (i) तथा अपवर्तन कोण (r) बनाती हैं तो

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{नियतांक}$$

इस नियम को **स्नैल का नियम** (Snell's Law) कहते हैं तथा इस नियतांक को पहले माध्यम के सापेक्ष दूसरे माध्यम का अपवर्तनांक (refractive index) कहते हैं।

यदि पहले व दूसरे माध्यम को 1 व 2 से अंकित करें तो माध्यम 1 के सापेक्ष माध्यम 2 का अपवर्तनांक ${}_1\mu_2$ से प्रदर्शित करते हैं।

इस प्रकार $$\frac{\sin i}{\sin r} = {}_1\mu_2 \quad ...(1)$$

किसी पदार्थ का अपवर्तनांक (i) माध्यम की प्रकृति (ii) प्रकाश के रंग अर्थात् तरंगदैर्ध्य पर (iii) माध्यम के ताप पर निर्भर करता है, परन्तु यह आपतन कोण पर निर्भर नहीं करता। अपवर्तनांक दो राशियों की निष्पत्ति है अत: इसका कोई मात्रक नहीं होता।

समीकरण (1) से यदि ${}_1\mu_2 > 1, r < i$ अर्थात् अपवर्तित किरण अभिलंब की ओर मुड़ जाती है। इस दशा में माध्यम 2 को माध्यम 1 की तुलना में प्रकाशीय सघन माध्यम कहते हैं। इसके विपरीत यदि ${}_1\mu_2 < 1, r > i$ तो अपवर्तित किरण अभिलंब से दूर मुड़ती है। इस स्थिति में आपतित किरण किसी सघन माध्यम से गमन करती हुई विरल माध्यम में अपवर्तित होती है अर्थात् माध्यम 2 को माध्यम 1 की तुलना में विरल माध्यम कहते हैं। यदि $i = 0$, तो $r = 0$ क्योंकि ${}_1\mu_2 \neq 0$ अत: यदि कोई प्रकाश किरण माध्यम के संस्पर्श तल पर अभिलंबवत् आपतित होती है तो वह उसी दिशा में बिना विचलित हुए दूसरे माध्यम में प्रवेश करेगी।

यदि ${}_1\mu_2$ माध्यम 2 का माध्यम 1 के सापेक्ष अपवर्तनांक है तो

$$\frac{\sin i}{\sin r} = {}_1\mu_2$$

यदि प्रकाश का मार्ग उल्टा हो जाए तो प्रकाश के उत्क्रमणीयता के सिद्धान्त से

$$\frac{\sin r}{\sin i} = {}_2\mu_1$$

जहाँ ${}_2\mu_1$ माध्यम 1 का माध्यम 2 के सापेक्ष अपवर्तनांक है

अत: $${}_1\mu_2 \times {}_2\mu_1 = 1 \text{ या } {}_2\mu_1 = \frac{1}{{}_1\mu_2} \quad ...(2)$$

यदि माध्यम 1 वायु तथा माध्यम 2 काँच हो तो

$${}_a\mu_g \times {}_g\mu_a = 1 \text{ या } {}_g\mu_a = \frac{1}{{}_a\mu_g}$$

यदि हम तीन माध्यम इस प्रकार लें कि माध्यम 1 वायु हो, माध्यम 2 जल हो तथा माध्यम 3 काँच हो तो समीकरण (2) व (3) की भाँति यह सिद्ध किया जा सकता है कि

$${}_1\mu_2 \times {}_2\mu_3 \times {}_3\mu_1 = 1$$

या $${}_a\mu_w \times {}_w\mu_g \times {}_g\mu_a = 1$$

या $${}_2\mu_3 = \frac{1}{{}_1\mu_2 \times {}_3\mu_1}$$

या $${}_w\mu_g = \frac{1}{{}_a\mu_w \times {}_g\mu_a}$$

या $${}_2\mu_3 = {}_1\mu_3 \times {}_2\mu_1$$

अत: माध्यम 3 का माध्यम 2 के सापेक्ष अपवर्तनांक

$${}_2\mu_3 = \frac{{}_1\mu_3}{{}_1\mu_2}$$

जहाँ ${}_1\mu_3$ माध्यम 3 का माध्यम 1 के सापेक्ष अपवर्तनांक है।

अत: काँच का जल के सापेक्ष अपवर्तनांक

$${}_w\mu_g = \frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_w}$$

स्पष्ट है कि यदि काँच का वायु के सापेक्ष तथा जल का वायु के सापेक्ष अपवर्तनांक ज्ञात हो तो काँच का जल के सापेक्ष अपवर्तनांक ज्ञात किया जा सकता है।

निरपेक्ष अपवर्तनांक (Absolute Refractive Index)

यदि प्रकाश की किरण निर्वात् से चलकर किसी माध्यम में प्रवेश करती है तो निर्वात् के सापेक्ष उस माध्यम के अपवर्तनांक को निरपेक्ष अपवर्तनांक कहते हैं। निर्वात् का अपवर्तनांक 1.0 (न्यूनतम) तथा हीरे का अपवर्तनांक 2.418 (अधिकतम) होता है। वायु का निरपेक्ष अपवर्तनांक 1.0003 के लगभग होता है। अत: सामान्यत: वायु के सापेक्ष किसी माध्यम के अपवर्तनांक को ही उस माध्यम का निरपेक्ष अपवर्तनांक मान लेते हैं। निरपेक्ष अपवर्तनांक को केवल μ से व्यक्त करते हैं। जैसे काँच के लिए μ_g का मान 1.5 एवं पानी के लिए μ_w का मान 1.33 है।

किन्हीं दो माध्यमों के निरपेक्ष अपवर्तनांकों की निष्पत्ति, उनके सापेक्ष अपवर्तनांक के बराबर होती है। उदाहरण के लिए यदि माध्यम 1 व 2 के निरपेक्ष अपवर्तनांक क्रमश: μ_1 व μ_2 हों तब माध्यम 2 का माध्यम 1 के सापेक्ष अपवर्तनांक

$${}_1\mu_2 = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

या $$\frac{\sin i}{\sin r} = {}_1\mu_2 = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

अथवा $$\mu_1 \sin i = \mu_2 \sin r$$

अपवर्तन का कारण–प्रकाश तरंग का अलग-अलग माध्यम में वेग अलग-अलग होता है। वेग के अन्तर के कारण ही प्रकाश किरण का अपवर्तन होता है। जब प्रकाश विरल माध्यम से सघन माध्यम में प्रवेश करता है तो प्रकाश का वेग घट जाता है और वह तल के अभिलम्ब की ओर मुड़ जाता है। इसके विपरीत जब प्रकाश सघन माध्यम से विरल माध्यम में प्रवेश करता है तो प्रकाश का वेग बढ़ जाता है और वह तल के अभिलंब से दूर हट जाता है।

यदि $v_1 > v_2$ तो $r < i$

यदि $v_1 < v_2$ तो $r > i$

तरंग सिद्धान्त के अनुसार माध्यम 1 के सापेक्ष माध्यम 2 का अपवर्तनांक (${}_1\mu_2$) दोनों माध्यमों में प्रकाश के वेगों के अनुपात के बराबर होता है।

अत: $${}_1\mu_2 = \frac{\text{माध्यम 1 में प्रकाश का वेग}}{\text{माध्यम 2 में प्रकाश का वेग}} = \frac{v_1}{v_2}$$

यदि पहला माध्यम वायु तथा दूसरा माध्यम काँच हो तो वायु के सापेक्ष काँच का अपवर्तनांक

$${}_a\mu_g = \frac{\text{वायु में प्रकाश का वेग}}{\text{काँच में प्रकाश का वेग}} = \frac{v_1}{v_2}$$

किसी माध्यम (काँच) का निरपेक्ष अपवर्तनांक

$$\mu_g = \frac{\text{निर्वात् में प्रकाश का वेग}}{\text{काँच में प्रकाश का वेग}} = \frac{c}{v}$$

प्रकाश का वेग निर्वात् में सर्वाधिक होता है तथा पानी, काँच इत्यादि पारदर्शक माध्यमों में प्रकाश का वेग निर्वात् में वेग से कम होता है। निर्वात् या वायु में प्रकाश का वेग $c = 3 \times 10^8$ मी./से. होता है।

महत्वपूर्ण तथ्य

1. स्नैल के नियम से $\quad {}_1\mu_2 = \dfrac{\sin i}{\sin r}$

तथा तरंग सिद्धान्त के अनुसार

$${}_1\mu_2 = \frac{v_1}{v_2}$$

अतः $\quad \dfrac{\sin i}{\sin r} = \dfrac{v_1}{v_2}$

जहाँ v_1 व v_2 क्रमशः प्रथम व द्वितीय माध्यमों में प्रकाश तरंगों की चालें हैं।

यदि $v_1 = v_2$ अर्थात् दोनों चालें बराबर होती हैं तो

$$\frac{\sin i}{\sin r} = 1$$

या $\quad \sin i = \sin r$

या $\quad i = r$

तब प्रकाश किरणें अपने पथ से नहीं मुड़ेंगी।

2. प्रकाश के अपवर्तन की क्रिया में प्रकाश का वेग, प्रकाश की तरंगदैर्ध्य व तीव्रता बदल जाती है परन्तु प्रकाश की आवृत्ति वही रहती है। तीव्रता के बदलने का कारण यह है कि प्रकाश के अपवर्तन के साथ-साथ प्रकाश का आंशिक परावर्तन तथा अवशोषण भी होता है।

3. स्नैल नियम से

$${}_1\mu_2 = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{\sin i}{\sin r}$$

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

अर्थात् $\quad \mu \sin\theta =$ नियतांक

4. जब प्रकाश माध्यम (1) से माध्यम (2) में गमन करता है तो माध्यम (1) के सापेक्ष माध्यम (2) का अपवर्तनांक

$${}_1\mu_2 = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

$$\mu \propto \frac{1}{\lambda}$$

$$\mu \propto \frac{1}{v}$$

$$v \propto \lambda$$

चूँकि $\lambda_{\text{लाल}} > \lambda_{\text{बैंगनी}}$ अतः $\mu_{\text{लाल}} < \mu_{\text{बैंगनी}}$

अतः एक ही माध्यम का अपवर्तनांक बैंगनी रंग के लिए सर्वाधिक तथा लाल रंग के लिए सबसे कम होता है।

5. कॉशी समीकरण (Cauchy's Equation)—

$$\mu = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4} + \ldots\ldots$$

6. प्रकाशिक घनत्व दो माध्यमों में प्रकाश की चाल का अनुपात है जबकि द्रव्यमान घनत्व एकांक आयतन का द्रव्यमान है।

जैसे तारपीन के तेल का द्रव्यमान घनत्व जल के द्रव्यमान घनत्व से कम होता है। लेकिन इसका प्रकाशिक घनत्व अधिक होता है।

7. अपवर्तन की क्रिया में कोई कलान्तर उत्पन्न नहीं होता है।

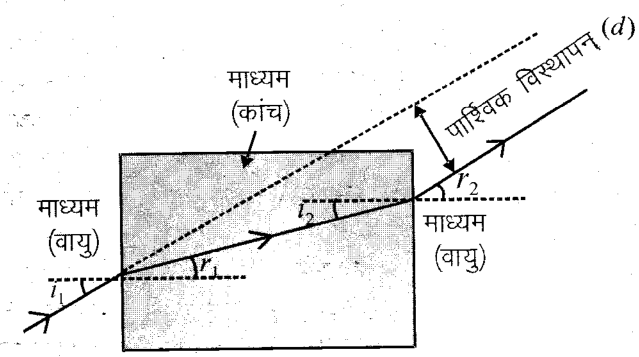
11.4.1 प्रकाश के अपवर्तन से सम्बन्धित घटनाएँ (Phenomena related to refraction of light)

1. किसी आयताकार स्लैब में, अपवर्तन वायु से काँच में तथा काँच से वायु में अर्थात् दो अंतरापृष्ठों पर होता है। चित्र द्वारा यह आसानी से देखा जा सकता है कि $r_2 = i_1$, अर्थात् निर्गत किरण, आपतित किरण के समांतर होती है–आपतित किरण के सापेक्ष निर्गत किरण में कोई विचलन नहीं होता, परन्तु इसमें आपतित किरण के सापेक्ष पार्श्विक विस्थापन हो जाता है।

साथ ही काँच की स्लैब से प्रकाश पुंज का विक्षेपण (परिक्षेपण) भी नहीं होता है। जब प्रकाश किसी पारदर्शी समान्तर पट्ट से गुजरता है तब बिना विचलित हुए पार्श्विक रूप से विस्थापित होता है। छोटे आपतन कोणों के लिए पार्श्विक विस्थापन

$$d = it\left[1 - \frac{1}{\mu}\right]$$

जहाँ i = आपतन कोण , $\quad t$ = समान्तर पट्ट की मोटाई,
μ = माध्यम का अपवर्तनांक



चित्र 11.19

2. सघन में स्थित बिम्ब को विरल माध्यम से देखने पर अर्थात् जल से भरे किसी तालाब या बर्तन का पैंदा ऊपर उठा प्रतीत होता है (चित्र)। अभिलंबवत् दिशा के निकट से देखने पर यह दर्शाया जा सकता है कि आभासी गहराई (h_1), वास्तविक गहराई (h_2) को माध्यम (जल) के अपवर्तनांक से विभाजित करने पर प्राप्त होती है।

अतः $\quad$ आभासी गहराई $= \dfrac{\text{वास्तविक गहराई}}{\text{माध्यम का अपवर्तनांक}}$

या $\quad h_1 = \dfrac{h_2}{\mu} \qquad h_1 < h_2$

जहाँ μ माध्यम का अपवर्तनांक है।

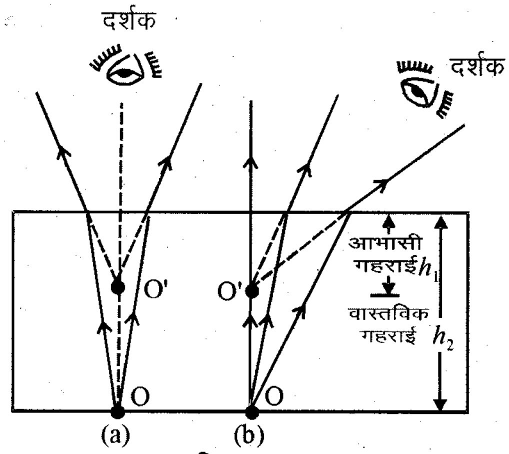
या $\quad$ अपवर्तनांक $\mu = \dfrac{h_2}{h_1}$

अभिलम्ब विस्थापन–बिम्ब व प्रतिबिम्ब के मध्य की दूरी को अभिलम्ब विस्थापन कहते हैं।

अभिलम्ब विस्थापन $d = h_2 - h_1 = h_2\left[1 - \dfrac{h_1}{h_2}\right] = h_2\left[1 - \dfrac{1}{\mu}\right]$

यदि $h_2 = t$ (समान्तर पट्ट की मोटाई) हो तो

$$d = t\left[1 - \frac{1}{\mu}\right]$$

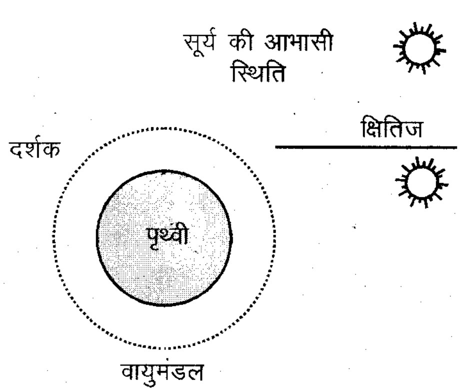


चित्र 11.20

3. प्रकाश का वायुमंडलीय अपवर्तन

(a) सूर्य का सूर्योदय होने से पूर्व व सूर्यास्त के पश्चात् दिखाई देना—प्रकाश के अपवर्तन के कारण ही सूर्य वास्तविक सूर्योदय से कुछ पहले दिखाई देने लगता है तथा वास्तविक सूर्यास्त के कुछ समय पश्चात् तक दिखाई देता है (चित्र)। वास्तविक सूर्योदय से हमारा तात्पर्य है क्षितिज से सूर्य का ऊपर उठना। चित्र में क्षितिज के सापेक्ष सूर्य की वास्तविक एवं आभासी स्थितियाँ दर्शायी गई हैं। जिन्हें चित्र में आवर्धित करके दर्शाया गया है। निर्वात् के सापेक्ष वायु का अपवर्तनांक 1.00029 है। अतः पृथ्वी की सतह के समीप हवा का घनत्व अधिक होता है। जब सूर्य वास्तविक स्थिति में होता है तो प्रकाश की किरणें विरल माध्यम से सघन माध्यम में आती है। जिसके कारण ये किरणें अपने मार्ग से अभिलम्ब की झुक जाती हैं और सूर्य की दिशा में लगभग आधे डिग्री का आभासी विस्थापन होता है। सूर्य आभासी स्थिति में दिखाई देता है। यही कारण है कि सूर्योदय से कुछ मिनट पहले व सूर्यास्त के कुछ मिनट पश्चात् भी सूर्य दिखायी देता रहता है। यह समय लगभग 2 मिनट होता है। इस प्रकार वायुमण्डलीय अपवर्तन के कारण दिन की लम्बाई में लगभग 4 मिनट की वृद्धि हो जाती है।

सूर्योदय तथा सूर्यास्त के समय सूर्य का आभासी चपटापन (अंडाकार आकृति) भी प्रकाश के वायुमण्डलीय अपवर्तन के कारण ही है।



चित्र 11.21

(b) तारों का टिमटिमाना : रात में तारे टिमटिमाते हुए दिखाई देते हैं। इसका कारण है कि जब प्रकाश किरणें वायुमण्डल में संचरित होती है तो वायु के विभिन्न परतों से होकर गुजरना पड़ता है जिनके घनत्व में निरन्तर परिवर्तन के कारण नेत्र में प्रवेश करने वाली किरणों की दिशा प्रति क्षण तेजी से परिवर्तित होती रहती हैं। अतः तारे का बिन्दु प्रतिबिम्ब नेत्र के रेटिना पर हिलता रहता है, जिससे तारे टिमटिमाते हुए प्रतीत होते है।

जबकि ग्रह आकाश में टिमटिमाते हुए दिखाई नहीं देते हैं इसका कारण है कि रेटिना पर उनके प्रतिबिम्ब निश्चित आकार के होने के कारण उतार-चढ़ाव के प्रभाव अनुभव नहीं होते हैं। ग्रह स्वयं प्रकाशमान नहीं होते हैं।

उदाहरण 14. वायु में प्रकाश का वेग 3×10^8 मीटर सेकण्ड$^{-1}$ है। यदि काँच का अपवर्तनांक 1.5 सेमी. हो तो काँच में प्रकाश का वेग ज्ञात कीजिये।

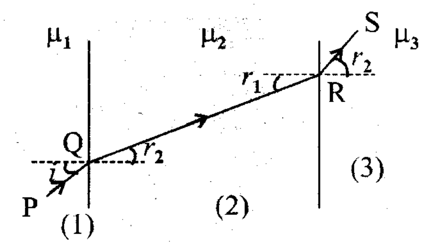
हल : सूत्र $\mu = \frac{c}{v}$ या $v = \frac{c}{\mu}$

दिया है : $c = 3 \times 10^8$ मीटर-सेकण्ड$^{-1}$ तथा $\mu = 1.5$

उपर्युक्त सूत्र में मान रखने पर,

$$v = \frac{3 \times 10^8}{1.5} = 2 \times 10^8 \text{ मीटर/सेकण्ड}$$

उदाहरण 15. चित्र प्रकाश की एक किरण के भाग के पथ को दर्शाता है। जब यह तीन भिन्न माध्यमों से गुजरती है।



चित्र 11.22

इन माध्यमों के अपवर्तनांकों के बारे में क्या निष्कर्ष निकाला जा सकता है? पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.7

हल—माध्यम 2 में प्रकाश किरण माध्यम 1 की अपेक्षाकृत अभिलम्ब की ओर झुक रही है। अतः माध्यम 2, माध्यम 1 की अपेक्षाकृत अधिक प्रकाशिक सघन होगा।

$$\therefore \quad \mu_2 > \mu_1 \quad \ldots(1)$$

माध्यम 3 में प्रकाश किरण माध्यम 2 की अपेक्षाकृत अभिलम्ब से दूर हट रही है अतः माध्यम 3, माध्यम 1 की अपेक्षा अधिक प्रकाशिक विरल होगा।

$$\therefore \quad \mu_2 > \mu_3 \quad \ldots(2)$$

माध्यम 3 के लिए अपवर्तन कोण का मान माध्यम 1 के लिए आपतन कोण से अधिक है।

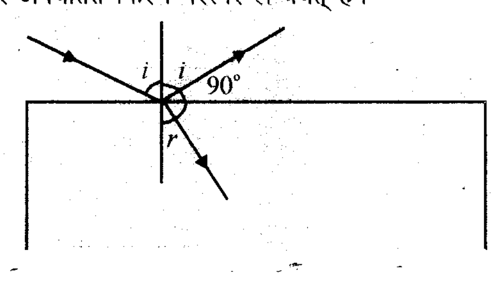
$$\therefore \quad \mu_1 > \mu_3 \quad \ldots(3)$$

इस प्रकार समी. (1), (2) व (3) से स्पष्ट है कि

$$\mu_2 > \mu_1 > \mu_3$$

उदाहरण 16. एक प्रकाश किरण 1.62 अपवर्तनांक वाले काँच के आयताकार गुटके पर आपतित होती है। यदि परावर्तित और अपवर्तित किरण परस्पर लम्बवत् हों, तो आपतन-कोण का मान कितना होगा ?

हल : चित्र में i आपतन-कोण तथा r अपवर्तन-कोण है। परावर्तित किरण और अपवर्तित किरण परस्पर लम्बवत् हैं।



अतः चित्रानुसार,

$$i + 90° + r = 180°$$

या $\quad i + r = 90°$

या $\quad r = (90° - i)$

अब स्नैल के नियमानुसार,

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

$$= \frac{\sin i}{\sin(90° - i)} = \frac{\sin i}{\cos i} = \tan i$$

$$[\because \sin(90° - i) = \cos i]$$

अब $\quad 1.62 = \tan i$

या $\quad i = \tan^{-1}(1.62) = 58°19$

उदाहरण 17. 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? पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.8

हलः $\because \frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$

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

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

उदाहरण 18. 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। पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.9

हलः दिया गया है $\mu_\omega = \frac{4}{3}$, $\mu_g = \frac{3}{2}$

अतः पानी का काँच के सापेक्ष अपवर्तनांक

$$_g\mu_w = \frac{\mu_\omega}{\mu_g} = \frac{4/3}{3/2} = \frac{8}{9}$$

उदाहरण 19. काँच और जल के निरपेक्ष अपवर्तनांक क्रमशः $\frac{3}{2}$ तथा $\frac{4}{3}$ हैं। काँच और जल में प्रकाश की चाल का अनुपात ज्ञात कीजिये।

हल : सूत्र : $\mu = \frac{c}{v}$ से,

$$\mu \propto \frac{1}{v} \text{ या } \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

$$\text{या } \frac{\mu_g}{\mu_w} = \frac{v_w}{v_g} \text{ या } \frac{v_g}{v_w} = \frac{\mu_w}{\mu_g}$$

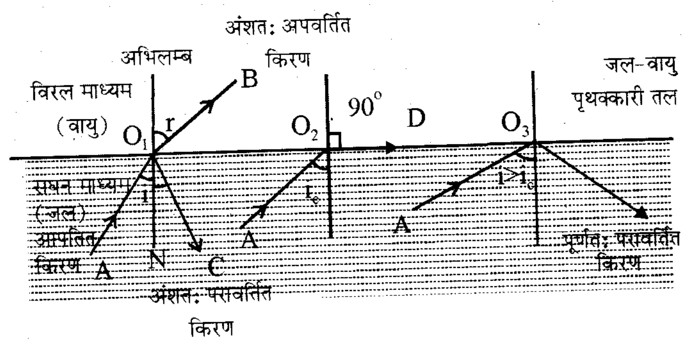
$$\therefore \frac{v_g}{v_w} = \frac{4/3}{3/2} = \frac{4}{3} \times \frac{2}{3} = \frac{8}{9}$$

11.5 पूर्ण आंतरिक परावर्तन (Total Internal Reflection)

जब प्रकाश किसी सघन माध्यम से विरल माध्यम में गमन करता है तब उसका कुछ भाग उसी माध्यम में परावर्तित हो जाता है तथा कुछ भाग दूसरे माध्यम में अपवर्तित (पारगमित) हो जाता है। इस परावर्तन को **आंतरिक परावर्तन** कहते हैं। परावर्तित किरण सदैव आपतित किरण से कम तीव्रता की होती है। परावर्तक पृष्ठ चाहे जितना भी चिकना क्यों न हो।

जब कोई प्रकाश की किरण सघन माध्यम से विरल माध्यम में प्रवेश करती है तो यह अभिलंब से दूर मुड़ जाती है।

उदाहरणार्थ, चित्र में आपतित किरण AO_1, अंशतः परावर्तित O_1C तथा अंशतः पारगमित अथवा अपवर्तित O_1B होती है तथा अपवर्तन कोण (r) आपतन कोण (i) से अधिक होता है। जैसे-जैसे आपतन कोण के मान में वृद्धि होती है, अपवर्तन कोण में भी वृद्धि होने लगती है और जब एक विशिष्ट आपतन कोण के लिए अपवर्तन कोण का मान 90° हो जाता है तो इस अवस्था में अपवर्तित किरण पृथक्कारी पृष्ठ के समान्तर गमन करती है। जिसे चित्र में किरण AO_2D द्वारा दर्शाया गया है।



चित्र : 11.24

अतः **''किसी सघन माध्यम से विरल माध्यम की ओर जाने वाली प्रकाश किरण के लिए आपतन कोण के उस चरम (विशिष्ट) मान को जिसके संगत अपवर्तन कोण 90° होता है क्रांतिक कोण (critical angle) i_c या C कहते हैं।''**

यदि आपतन कोण में इससे अधिक ($i > i_c$) वृद्धि की जाती है तो अपवर्तन संभव नहीं होता तथा आपतित किरण पूर्णतः परावर्तित हो जाती है इसे पूर्ण आंतरिक परावर्तन कहते हैं।

अतः **''किसी सघन माध्यम में संचरित होता हुआ प्रकाश विरल माध्यम के पृथक्कारी पृष्ठ पर क्रांतिक कोण से अधिक कोण पर आपतित हो तो उसका पुनः उसी माध्यम में परावर्तन हो जाता है इस प्रभाव को पूर्ण आंतरिक परावर्तन कहते हैं।''**

पूर्ण आन्तरिक परावर्तन के लिए निम्न बातों का होना आवश्यक होता है–

(1) प्रकाश किरण सघन माध्यम से विरल माध्यम में जानी चाहिये।

(2) आपतन कोण, क्रांतिक कोण से अधिक होना चाहिए।

जब प्रकाश का पूर्ण आंतरिक परावर्तन होता है तो आपतित किरण की सम्पूर्ण ऊर्जा परावर्तित होती है। उसका कोई भी अंश विसरित नहीं होता है अर्थात् पूर्ण आंतरिक परावर्तन में प्रकाश का कोई पारगमन नहीं होता। प्रकाश का पूर्ण आंतरिक परावर्तन होने से परावर्तित प्रकाश की तीव्रता आपतित प्रकाश की तीव्रता के बराबर होती है अर्थात् पृथक्कारी पृष्ठ एक आदर्श दर्पण की तरह व्यवहार करता है।

क्रांतिक कोण (i_c) तथा माध्यम के अपवर्तनांक (μ) में सम्बन्ध–

यदि प्रकाश किरण सघन माध्यम (1) से विरल माध्यम (2) में प्रवेश करती है तब स्नैल के नियम से सघन माध्यम (1) के सापेक्ष विरल माध्यम (2) का अपवर्तनांक–

अर्थात् $\dfrac{\sin i}{\sin r} = {}_1\mu_2$

यदि $i = i_c$ तब $r = 90°$ इससे $\sin r = 1$

अत: $\sin i_c = {}_1\mu_2$

या $${}_2\mu_1 = \frac{1}{\sin i_c} \quad \left(\because {}_2\mu_1 = \frac{1}{{}_1\mu_2}\right)$$

जहाँ ${}_2\mu_1$ सघन माध्यम 1 का विरल माध्यम 2 के सापेक्ष अपवर्तनांक है।

यदि माध्यम 1 जल हो तथा माध्यम 2 हवा हो तो हवा के सापेक्ष जल का अपवर्तनांक

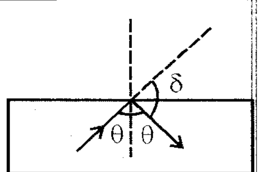
$${}_a\mu_w = \frac{1}{\sin i_c} \quad \text{जहाँ} \left({}_a\mu_w = \frac{\mu_w}{\mu_a}\right) \quad \therefore \mu_a = 1$$

या $$\mu_w = \frac{1}{\sin i_c} = \text{cosec } i_c$$

उपर्युक्त सूत्र से क्रांतिक कोण ज्ञात होने पर माध्यम का अपवर्तनांक ज्ञात किया जा सकता है।

महत्वपूर्ण तथ्य

(1) जब एक प्रकाश किरण सघन माध्यम से विरल माध्यम में प्रवेश करती है तब इसका अधिकतम विचलन



$\delta = \pi - 2\theta$

जब $\theta \to$ न्यूनतम $= i_c$ तब $\delta \to$ अधिकतम

अर्थात् $\delta_{max} = (\pi - i_c)$

i_c = क्रांतिक कोण

(2) **पूर्ण आन्तरिक परावर्तन के उदाहरण**–हीरे का चमकना, प्रकाशिक तन्तु, गोताखोर का दृष्टि क्षेत्र, पोरो प्रिज्म आदि।

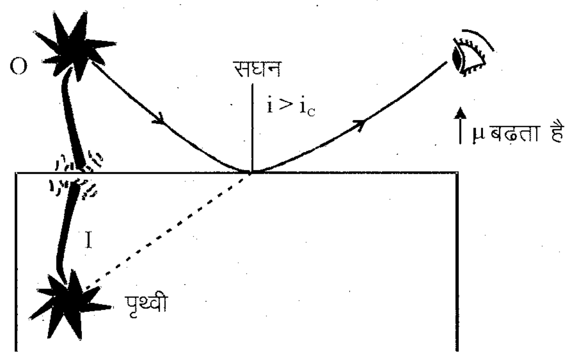
सारणी : कुछ पारगमित माध्यम के लिए क्रांतिक कोण

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

11.5.1 पूर्ण आंतरिक परावर्तन के कुछ प्रभाव तथा उपयोग (Some applications of total internal reflection)

(i) मरीचिका (Mirages)—सामान्यतया मरुभूमि में विचरण करने वाले यात्रियों को गर्मी के दिनों में कभी-कभी कुछ दूरी पर लहराते हुए जलाशय अथवा दूरस्थ वस्तु या पेड़ों के उल्टे प्रतिबिंब जल में सदृश दिखाई पड़ते हैं यह घटना पूर्ण आंतरिक परावर्तन के कारण होती है। इस दृष्टि भ्रम को ही मरीचिका कहते हैं।

गर्मी के दिनों में मरु प्रदेश में पृथ्वी की सतह की वायु अपने से ऊपर की वायु की तुलना में अधिक गर्म होकर विरल हो जाती हैं तथा ऊपरी सतह पर वायु का अपवर्तनांक घनत्व के साथ बढ़ जाता है।



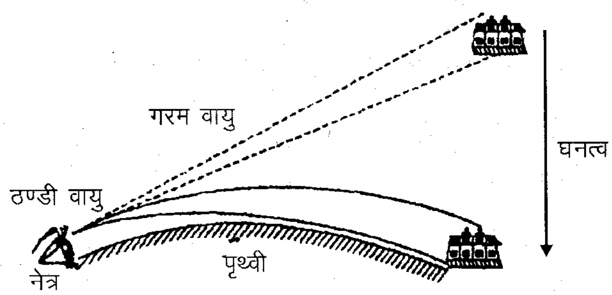
मरीचिका

चित्र 11.25

अत: जब किसी ऊँची वस्तु जैसे आकाश अथवा किसी पेड़ से आता हुआ प्रकाश सघन माध्यम से विरल माध्यम में गमन करता है तो वस्तु से आने वाली प्रकाश की किरण उत्तरोत्तर अभिलंब से दूर मुड़ती जाती है और जब आपतन कोण का मान क्रांतिक कोण से अधिक हो जाता है तो पूर्ण आंतरिक परावर्तित होती है (चित्र)। दूरस्थ प्रेक्षक के लिए प्रकाश भूमिपृष्ठ के कहीं नीचे से आता हुआ प्रतीत होता है। प्रेक्षक यह मान लेता है कि यह प्रकाश ऊँची वस्तु के समीप जल से भरे किसी तालाब या पोखर से परावर्तित होकर उस तक पहुँच रहा है। इस कारण किसी दूरस्थ वस्तु का बना उल्टा प्रतिबिंब रेत में पानी का आभास कराता है अर्थात् दृष्टिभ्रम उत्पन्न करता है। इस परिघटना को मरीचिका कहते हैं।

(ii) हीरा–हीरे का अपवर्तनांक 2.42 होता है। जो सामान्य कांच के अपवर्तनांक से काफी अधिक है। हीरे को इस प्रकार तराशा जाता है कि प्रत्येक स्थिति में प्रकाश क्रांतिक कोण से अधिक कोण पर आपतित हो। अत: पूर्ण आंतरिक परावर्तन के कारण हीरा चमकीला दिखाई देता है। हीरे-वायु पृथक्कारी तल के लिए क्रांतिक कोण लगभग 24.4° होता है जो काँच के क्रांतिक कोण की अपेक्षा बहुत कम है। इसलिए यदि एक बार हीरे में प्रकाश प्रवेश कर जाए तो इसके अंदर प्रकाश के पूर्ण आंतरिक परावर्तन होने की अत्यधिक संभावनाएँ होती हैं। इस कारण हीरे से बाहर निकलने से पूर्व प्रकाश कई फलकों से पूर्ण परावर्तित होकर हीरे में चमक उत्पन्न कर देता है।

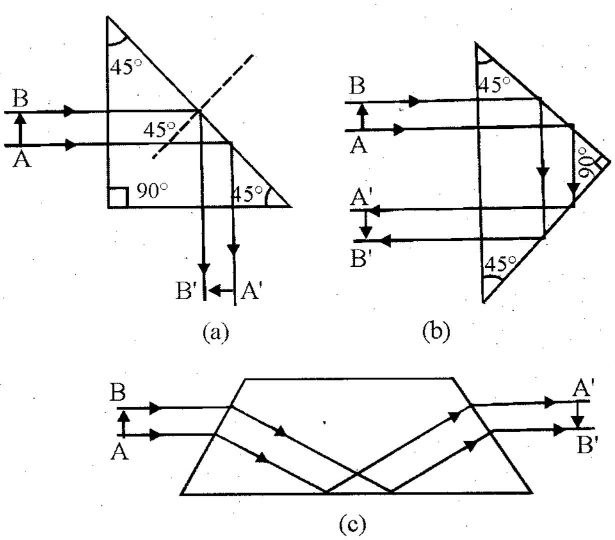
(iii) उन्मरीचिका (Unmirages)—ध्रुवीय प्रदेशों में कभी-कभी समुद्र तट पर जहाजों के क्षैतिज से ऊपर उठे प्रतिबिम्ब दिखायी पड़ते हैं, इस प्रभाव का उन्मरीचिका कहते हैं। उन्मरीचिका भी विभिन्न घनत्व वाली वायु के पर्तों से पूर्ण आंतरिक परावर्तन का ही परिणाम है।



चित्र : 11.26

(iv) पूर्ण परावर्तक प्रिज्म (Total Reflecting Prism)—यह समकोण प्रिज्म होता है जिसका एक कोण 90° एवं शेष दो कोण 45° के होते हैं।

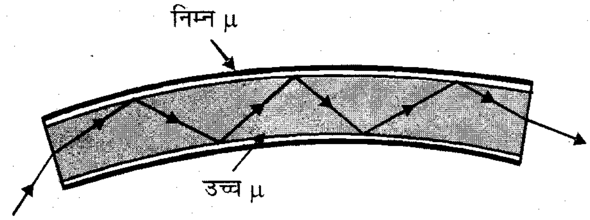
प्रकाश किरणों को 90° अथवा 180° पर मोड़ने के लिये [चित्र (a) व (b)] या प्रतिबिंब के साइज में परिवर्तन किए बिना उलटने के लिए [चित्र (c)] डिजाइन किए गए प्रिज्मों में पूर्ण आंतरिक परावर्तन का उपयोग किया जाता है। पहली दो स्थितियों के लिए, प्रिज्म के पदार्थ के क्रांतिक कोण i_c को 45° से कम होना चाहिए। इसके लिए हम क्राउन तथा फ्लिंट काँच उपयोग में ले सकते हैं। काँच के लिए क्रांतिक कोण का मान 42° होता है। इनका उपयोग पेरिस्कोप, प्रकाशमापी आदि प्रकाशीय यंत्रों में करते हैं।



चित्र : 11.27

(v) प्रकाशिक तंतु (Optical Fiber)— प्रकाशिक तंतु पूर्ण आंतरिक परावर्तन की घटना पर आधारित वह युक्ति है जिसकी सहायता से एक प्रकाश संकेत को एक स्थान से दूसरे स्थान तक बिना ऊर्जा क्षति के प्रेषित किया जा सकता है। प्रकाशिक तंतु उच्च गुणवत्ता के संयुक्त काँच/क्वार्ट्ज तंतुओं से बनाया जाता है।

यह एक पतला बेलनाकार तार होता है जिसका व्यास मनुष्य के बाल के बराबर (0.1 mm व्यास) होता है। प्रत्येक तंतु में एक आन्तरिक बेलन जिसे क्रोड (core) कहते हैं तथा एक बाह्य बेलन जिसे आवरण (Cladding) कहते हैं से ढका होता है। क्रोड के पदार्थ का अपवर्तनांक आवरण के अपवर्तनांक की तुलना में अधिक होता है। आंतरिक क्रोड का व्यास इतना कम होता है कि जब प्रकाश के रूप में कोई संकेत पर्याप्त छोटे कोण पर तंतु के एक सिरे पर प्रवेश करता है तो क्रोड व बाह्य बेलन की उभयनिष्ठ परत पर आपतन कोण क्रांतिक कोण से अधिक हो जाता है और प्रकाश का पूर्ण आंतरिक परावर्तन हो जाता है। विपरीत दिशा में पुनः उभयनिष्ठ पृष्ठ से पूर्ण आंतरिक परावर्तन हो जाता है। इस प्रकार उसकी लंबाई के अनुदिश बार-बार पूर्ण आंतरिक परावर्तन होता है तथा अंत में दूसरे सिरे से बाहर निकल आता है (चित्र)। निर्गत प्रकाश संकेत की तीव्रता में कोई विशेष हानि नहीं होती क्योंकि प्रत्येक चरण में प्रकाश का पूर्ण आंतरिक परावर्तन होता है। प्रकाश तंतु इस प्रकार बनाए जाते हैं कि तंतु में मुड़ाव होने पर भी प्रकाश तंतु के भीतर उसकी लंबाई के अनुदिश सरलतापूर्वक गमन कर सकता है। इस प्रकार एक प्रकाशिक तंतु प्रकाशित पाइप के रूप में प्रयोग किया जा सकता है।



चित्र 11.28

उपयोग –बहुत सारे प्रकाशिक तंतुओं को मिलाकर एक बंडल या केबिल (Cable) बना दी जाती है जिसका उपयोग कई प्रकार से किया जाता है –

1. प्रकाशिक तंतुओं का बड़े पैमाने पर उपयोग वैद्युत संकेतों, जिन्हें उचित ट्रांसड्यूसरों द्वारा प्रकाश संकेतों में परिवर्तित कर लेते हैं के प्रेषण तथा अभिग्रहण में किया जाता है।

2. प्रकाशिक तंतुओं का उपयोग प्रकाशिक संकेत प्रेषण के लिए भी किया जा सकता है। जैसे आंतरिक अंगों–ग्रसिका, आमाशय तथा आंतों के दृश्य अवलोकन हेतु 'लाइट पाइप' के रूप में प्रयोग किया जाता है जिसे **एन्डोस्कोपी (Endoscopy)** कहते हैं।

3. सजावटी लैंपों में भी प्रकाशिक तंतुओं का उपयोग किया जाता है।

महत्त्वपूर्ण तथ्य

1. प्रकाश तंतुओं का निर्माण–क्वार्ट्ज जैसे पदार्थों के शोधन तथा विशिष्ट विरचन द्वारा किया जाता है। जिससे इनके भीतर लंबी दूरियाँ तय करते समय प्रकाश का अवशोषण बहुत कम हो।
2. सिलिका काँच तंतुओं में 1 किमी. लंबे तंतु में प्रकाश के 95% से भी अधिक भाग को संचरित किया जा सकता है।
3. प्रकाशीय तंतु अमणिय सिलिका (SiO_2) काँच का बना होता है।
4. प्रकाशिक तंतु, काँच के तंतुओं के बने होते हैं जिन पर अपेक्षाकृत कम अपवर्तनांक के पदार्थ की पतली परत का लेपन होता है।

उदाहरण 20. यदि हीरे का अपवर्तनांक 2.42 है तो उसके लिये क्रान्तिक कोण का मान ज्ञात कीजिये।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.10

हल: दिया गया है : $\mu = 2.42, i_C = ?$

पदार्थ के अपवर्तनांक तथा क्रान्तिक कोण के सम्बन्ध से

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

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

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

या $$i_C = 24.4^\circ$$

उदाहरण 21. किसी माध्यम से प्रकाश हवा में प्रवेश करता है, तो प्रकाश किरण का पूर्ण आन्तरिक परावर्तन होता है। इस समय माध्यम से हवा में क्रांतिक कोण 30° है। माध्यम का अपवर्तनांक ज्ञात करो।

हल : $$\mu = \frac{1}{\sin i_c}$$

यहाँ $$i_c = 30^\circ$$

$$\mu = \frac{1}{\sin 30^\circ} = \frac{1}{0.5}$$

अत: $$\mu = 2$$

उदाहरण 22. एक प्रकाश तन्तु रेखा के क्रोड का अपवर्तनांक 1.47 तथा परिनिधान अधिपट्टन का अपवर्तनांक 1.31 है। आपतन कोण i जिसके लिये प्रकाश तन्तु में पूर्ण आन्तरिक परिवर्तन होता है, ज्ञात कीजिए। **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.11**

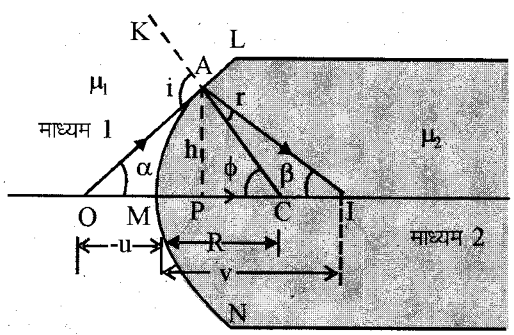
हल-पूर्ण आन्तरिक परावर्तन के लिए आपतन कोण i क्रांतिक कोण i_C से अधिक होना चाहिए अर्थात्

$$i > i_C = \sin^{-1}(\mu_2/\mu_1)$$

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

$\Rightarrow$ $$i > 63^\circ$$

11.6 गोलीय पृष्ठ पर अपवर्तन (Refraction at Spherical Surface)



चित्र : 11.29 : गोलीय उत्तल पृष्ठ से अपवर्तन

चित्र में NML काँच के गोले का उत्तल पृष्ठ है। काँच के गोले के अन्दर के माध्यम को माध्यम 2 व इसके बाहर के माध्यम को माध्यम 1 मानते हैं।

माध्यम 2, माध्यम 1 की अपेक्षा सघन है। माना कि माध्यम 1 एवं माध्यम 2 के अपवर्तनांक क्रमश: μ_1 व μ_2 है। गोलीय तल NML का M मध्य बिन्दु है इसके सामने माध्यम 1 में कोई O बिन्दु पर बिम्ब (वस्तु) रखा है। इसका प्रतिबिम्ब गोलीय धरातल द्वारा OM को मिलाने वाली रेखा पर माध्यम 2 में I पर बनता है। C गोलीय तल का वक्रता केन्द्र है। OA आपतित किरण व AI अपवर्तित किरण है। बिन्दु A पर CAK रेखा अभिलम्ब है। गोलीय तल का द्वारक AM, बिम्ब की दूरी OM की तुलना में बहुत ही छोटा है। ताकि आवश्यकतानुसार लघु कोण सन्निकट किया जा सके।

चित्र की ज्यामिति से

$$\angle OAK = \text{आपतन कोण} = i$$

तथा $$\angle CAI = \text{अपवर्तन कोण} = r$$

इसी प्रकार माना कि

$\angle AOM = \alpha$, $\angle ACM = \phi$ तथा $\angle AIM = \beta$

स्नैल के नियम से

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

या $$\mu_1 \sin i = \mu_2 \sin r$$

छोटे कोणों के लिए $\sin\theta = \theta$

अत: $$\mu_1 i = \mu_2 r \quad \text{...(1)}$$

ΔAOC में i बहिष्कोण है अत:

$$i = \alpha + \phi \quad \text{...(2)}$$

इसी प्रकार ΔAIC में ϕ बहिष्कोण है अत:

$$\phi = r + \beta$$

या $$r = \phi - \beta \quad \text{...(3)}$$

अत: समीकरण (1) में i व r के मान रखने पर

$$\mu_1(\alpha + \phi) = \mu_2(\phi - \beta)$$

या $$\mu_1\alpha + \mu_2\beta = (\mu_2 - \mu_1)\phi \quad \text{...(4)}$$

A बिन्दु से मुख्य अक्ष पर AP लम्ब डालते हैं।

P व M बिन्दु निकट है अत: OM = OP, PI = MI तथा PC = MC, माना कि AP = h,

अत: ΔAOP, ΔAIP, ΔACP से छोटे कोणों के लिए

$$\alpha = \tan\alpha = \frac{h}{OP} = \frac{h}{OM} \quad \text{...(5)}$$

$$\beta = \tan\beta = \frac{h}{IP} = \frac{h}{MI} \quad \text{...(6)}$$

$$\phi = \tan\phi = \frac{h}{PC} = \frac{h}{MC} \quad \text{...(7)}$$

समीकरण (4) में (5), (6) व (7) से मान रखने पर

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

$$\frac{\mu_1}{OM} + \frac{\mu_2}{MI} = \frac{(\mu_2 - \mu_1)}{MC} \qquad ...(8)$$

कार्तीय चिह्न परिपाटी का उपयोग करने पर

बिम्ब की दूरी $OM = -u$

प्रतिबिम्ब की दूरी $MI = +v$ (वास्तविक प्रतिबिम्ब)

वक्रता त्रिज्या $MC = +R$

समीकरण (8) में इनके मान रखने पर

$$\frac{\mu_1}{-u} + \frac{\mu_2}{v} = \frac{(\mu_2 - \mu_1)}{R}$$

$$\frac{\mu_2}{v} - \frac{\mu_1}{u} = \frac{(\mu_2 - \mu_1)}{R} \qquad .....(9)$$

यह समीकरण किसी भी प्रकार के वक्रित गोलीय पृष्ठ के लिए मान्य है।

यदि माध्यम 1 हवा हो तो $\mu_1 = 1$ तथा काँच के माध्यम का अपवर्तनांक हवा के सापेक्ष μ है तो $\mu_2 = \mu$ अत:

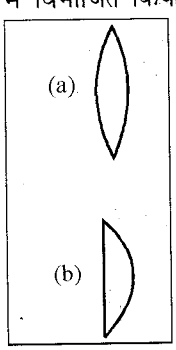
$$\frac{\mu}{v} - \frac{1}{u} = \frac{(\mu - 1)}{R} \qquad ...(10)$$

11.7 लैंस (Lens)

लैंस एक ऐसा समांगी पारदर्शी माध्यम होता है जो दो वक्र पृष्ठों से अथवा एक वक्र पृष्ठ तथा एक समतल पृष्ठ से घिरा होता है। वक्र पृष्ठ गोलीय (spherical), बेलनाकार अथवा परवलयाकार (parabolic) हो सकते हैं परन्तु अधिकांशत: पृष्ठ गोलीय होते हैं। लैंस दो प्रकार के होते हैं। जो लैंस बीच में मोटे तथा किनारों पर पतले होते हैं वे 'उत्तल लैंस' (convex lens) कहलाते हैं। यह प्रकाश किरणों को फोकसित करता है इसलिए इसे अभिसारी लैंस भी कहते हैं।

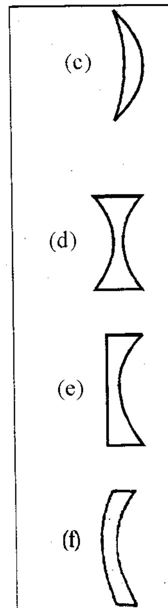
इसके विपरीत जो लैंस बीच में पतले तथा किनारों पर मोटे होते हैं वे 'अवतल लैंस' (Concave lens) कहलाते हैं। यह प्रकाश किरणों का अपसारित करता है इसलिए इसे अपसारी लैंस भी कहते हैं।

दोनों प्रकार के लैंसों को पुन: तीन-तीन श्रेणियों में विभाजित किया गया है-



1. उभयोत्तल (Convexo-convex)—इसके दोनों पृष्ठ उत्तल होते हैं। उन पृष्ठों की वक्रता त्रिज्यायें समान भी हो सकती हैं तथा भिन्न-भिन्न भी।

2. समतलोत्तल (Plano-convex)—इसका एक पृष्ठ समतल तथा दूसरा पृष्ठ उत्तल होता है।



चित्र 11.30

3. अवतलोत्तल (Concavo-convex)—इसका एक पृष्ठ अवतल तथा दूसरा पृष्ठ उत्तल होता है। इन पृष्ठों की वक्रता त्रिज्यायें भिन्न-भिन्न हो सकती हैं।

4. उभयावतल (Concavo-concave)—दोनों पृष्ठ अवतल होते हैं। इन पृष्ठों की वक्रता त्रिज्यायें समान भी हो सकती हैं तथा भिन्न-भिन्न भी।

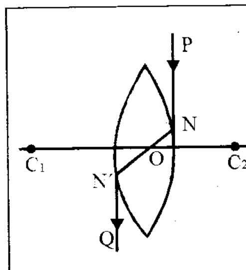
5. समतलावतल (Plano-concave)—इसका एक पृष्ठ समतल तथा दूसरा पृष्ठ अवतल होता है।

6. उत्तलावतल (Convexo-concave)—इसका एक पृष्ठ उत्तल तथा दूसरा पृष्ठ अवतल होता है। इन पृष्ठों की वक्रता त्रिज्यायें भिन्न-भिन्न होती हैं।

परिभाषाएँ (Definitions)

मुख्य अक्ष (Principal axis)–लैंस के गोलीय तलों के वक्रता केन्द्रों को मिलाने वाली रेखा को लैंस का मुख्य अक्ष कहते हैं।

प्रकाश केन्द्र (Optical centre)–यह बिन्दु लैंस के मुख्य अक्ष पर स्थित एक बिन्दु है, जिसमें होकर जाने वाली प्रकाश की किरणें अपवर्तन के पश्चात् अपनी प्रारम्भिक दिशा के समान्तर निकलकर लैंस के बाहर आती है। चित्र में PN एक प्रकाश किरण लैंस पर PN दिशा से आपतित है। लैंस से निकलने पर यह N'Q दिशा में चली जाती है। यदि N'Q व PN समान्तर है तो NN' को मिलाने वाली रेखा मुख्य अक्ष C_1OC_2 को जिस बिन्दु पर काटती है उसे लैंस का प्रकाश केन्द्र कहते हैं। O लैंस का प्रकाश केन्द्र है।

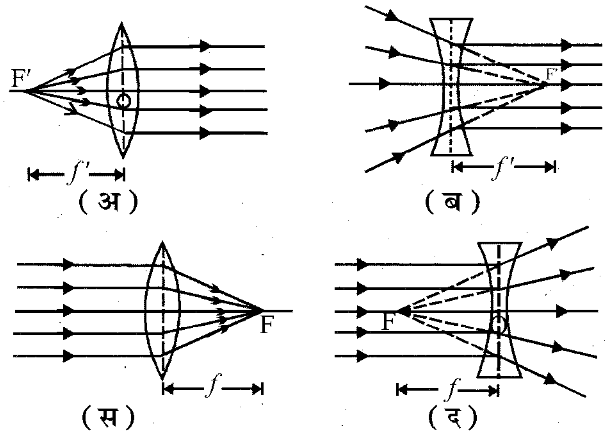


चित्र : 11.31

यद्यपि लैंस के प्रकाशिक केन्द्र में से गुजरने वाली किरणों के लिए आपतित व निर्गत किरणें समान्तर होती हैं परन्तु उनमें पार्श्विक विस्थापन होता है। एक पतले लैंस में यह नगण्य होता है। इस कारण एक पतले उत्तल अथवा अवतल लैंस के प्रकाशिक केन्द्र में से गुजरने वली प्रकाश किरण बिना विचलित व विस्थापित हुए सीधी चली जाती है।

मुख्य फोकस (Principal focus)–प्रत्येक लैंस में मुख्य अक्ष पर दो फोकस स्थित होते हैं।

प्रथम फोकस (First focus)–मुख्य अक्ष पर स्थित वह बिन्दु जिससे चलने वाली प्रकाश किरणें (उत्तल लैंस) अथवा जिसकी ओर जाती प्रतीत होने वाली प्रकाश किरणें (अवतल लैंस) लैंस से निकलने के बाद मुख्य अक्ष के समान्तर हो जाती हैं, प्रथम फोकस कहलाता है। इसे F' से व्यक्त करते हैं। [चित्र (अ) व (ब)]



चित्र : 11.32

द्वितीय फोकस (Second focus)–मुख्य अक्ष के समान्तर आने वाली प्रकाश किरणे लैंस से निकलने के बाद जिस बिन्दु पर लैंस के दूसरी ओर एकत्रित होती है या उस बिन्दु से फैलती हुई प्रतीत होती है। लैंस का द्वितीय फोकस F कहलाता है। [चित्र (स) व (द)] लैंस के वक्रतलों की त्रिज्याएँ समान होने एवं लैंस के दोनों ओर का माध्यम एकसा होने पर दोनों फोकस बिन्दु प्रकाश केन्द्र से बराबर दूरी पर स्थित होते हैं। अर्थात् $f = -f'$

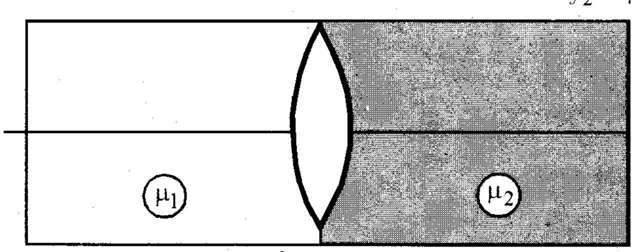
फोकस दूरी (Focus length)–अवतल या उत्तल लैंस के प्रकाश केन्द्र व द्वितीय मुख्य फोकस के मध्य की दूरी को फोकस दूरी कहते हैं। उत्तल लैंस के लिए कार्तीय पद्धति में f धनात्मक होता है। अवतल लैंस के लिए इस पद्धति में f ऋणात्मक होता है।

फोकस तल (Focal plane)–यदि प्रकाश किरणें मुख्य अक्ष के समान्तर न आकर आपस में समान्तर आती है तो लैन्स से अपवर्तन होने के बाद एक बिन्दु F पर केन्द्रित होती है या फैलती हुई प्रतीत होती है। यह मुख्य अक्ष पर नहीं होता। इस बिन्दु से अक्ष पर लम्ब रूप खींचा गया तल फोकस तल कहलाता है। इस तल के प्रत्येक बिन्दु पर समान्तर किरण पुंज आकर फोकस होता है। अत: लैंस के फोकस में होकर जाने वाले तथा मुख्य अक्ष के लम्बवत् तल को फोकस तल कहते हैं।

महत्वपूर्ण तथ्य

(1) वास्तव में द्वितीय फोकस लैंस का मुख्य फोकस होता है।

(2) यदि लैंस के दोनों ओर भिन्न-भिन्न माध्यम हो तो $\dfrac{f_1}{f_2} = \dfrac{\mu_1}{\mu_2}$



(3) $f_{\text{समतल}} \to \infty$ तथा शक्ति शून्य

(4) **द्वारक (Aperture)**–लैंस के उस भाग का प्रभावी व्यास, जिसमें से होकर प्रकाश पारगमित होता है, द्वारक कहलाता है।

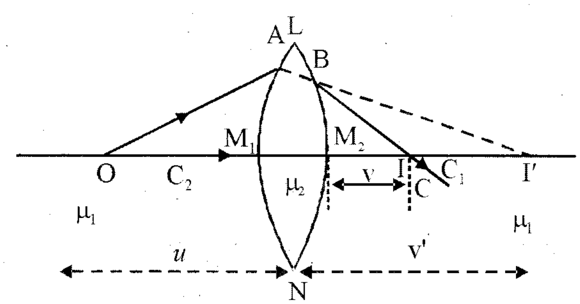
प्रतिबिम्ब की तीव्रता $\propto$ (द्वारक)^2

(5) **पतला लैंस**–जब लैंस की मोटाई उसकी वक्रता त्रिज्या के सापेक्ष नगण्य होती है तो उसे पतला लैंस कहते हैं।

(6) **प्रधान बिंदु**–प्रथम फोकस बिंदु, द्वितीय फोकस बिंदु व प्रकाश केन्द्र को प्रधान बिंदु कहते हैं।

11.7.1 पतले लैंस से अपवर्तन (Refraction by Thin lens)

दो गोलीय तलों के संयोग से लैंस बनता है। ऐसे लैंस जिनके दो तलों की दूरी बहुत ही कम होती है, उनके प्रकाश केन्द्र दोनों तलों से बहुत ही समीप होते हैं। ऐसी स्थिति में तलों तथा प्रकाश केन्द्र को एक ही स्थान पर मान सकते हैं। ऐसे बिन्दु से कोई भी प्रकाश किरण बिना विचलित हुए निकल जाती है। पतले लैंस से प्रतिबिम्ब की रचना के लिए दो बार अपवर्तन होता है। चित्र में एक उत्तल लैंस प्रतिबिंब के निर्माण को बताया गया है। इसके दो गोलीय तल LM_1N व LM_2N है। तल LM_1N का वक्रता केन्द्र C_1 तथा तल LM_2N का वक्रता केन्द्र C_2 है। मुख्य अक्ष पर कोई बिम्ब बिन्दु O पर रखा है। लैंस के दोनों ओर के माध्यम एक ही हैं। जिनका अपवर्तनांक μ_1 तथा लैंस के पदार्थ का अपवर्तनांक μ_2 है। बिम्ब O से कोई प्रकाश किरण OA तल LM_1N पर आपतित है, तल किरण को AB दिशा में अपवर्तित कर देता है। यदि LM_2N तल नहीं होता तो यह प्रकाश किरण अपवर्तन के पश्चात् बिन्दु I′ पर मुख्य अक्ष को काटती है तथा O का प्रतिबिम्ब I′ पर बनता है परन्तु दूसरे तल LM_2N के कारण यह किरण AB, BC दिशा में अपवर्तित हो जाती है तथा यह किरण I पर मुख्य अक्ष को काटती है अत: O बिम्ब का प्रतिबिम्ब I पर बनेगा। पतले लैंस के लिए लैंस की मोटाई M_1M_2 को वस्तु प्रतिबिम्ब व वक्रता त्रिज्या की दूरियों की तुलना में छोड़ा जा सकता है। साथ ही जब लैंस का द्वारक छोटा होता है तो आपतित किरण द्वारा बनने वाले कोण भी छोटे होंगे। इन तथ्यों को मानते हुये हम पतले लैंस के लिए सूत्र की गणना करेंगे।



चित्र 11.33 : पतले लैंस से अपवर्तन

तल LM_1N पर अपवर्तन–तल पर OA आपतित किरण है। OA किरण माध्यम μ_1 में गमन कर रही है। यह किरण अपवर्तन के पश्चात् माध्यम μ_2 में गमन कर बिम्ब का प्रतिबिम्ब I′ पर बनाती है। यहाँ बिम्ब की ध्रुव से दूरी $OM_1 = u$, प्रतिबिम्ब की ध्रुव से दूरी $M_1 I' = v'$, तल LM_1N की वक्रता त्रिज्या R_1 है तो गोलीय पृष्ठ पर अपवर्तन के सूत्र से

$$\frac{\mu_2}{v'} - \frac{\mu_1}{u} = \frac{\mu_2 - \mu_1}{R_1} \qquad \ldots(1)$$

तल LM_2N पर अपवर्तन–तल LM_2N के लिए बिम्ब का कार्य I′ बिन्दु करेगा तथा इसका प्रतिबिम्ब I पर बनेगा। अत: इस तल के लिए

$$I'M_2 = I'M_1 = v'$$

(आभासी बिम्ब की दूरी)

तथा प्रतिबिंब की दूरी $IM_2 = v$

इस तल की वक्रता त्रिज्या R_2 है तो, दूरी

$$\frac{\mu_1}{v} - \frac{\mu_2}{v'} = \frac{\mu_1 - \mu_2}{R_2} \quad ...(2)$$

समी. (1) व (2) को जोड़ने पर

$$\frac{\mu_1}{v} - \frac{\mu_1}{u} = (\mu_2 - \mu_1)\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right]$$

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \left(\frac{\mu_2 - \mu_1}{\mu_1}\right)\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right] \quad ...(3)$$

या

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \left(\frac{\mu_2}{\mu_1} - 1\right)\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right]$$

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = ({}_1\mu_2 - 1)\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right] \quad ...(4)$$

जहाँ ${}_1\mu_2 = \frac{\mu_2}{\mu_1}$ प्रथम माध्यम के सापेक्ष दूसरे माध्यम का अपवर्तनांक है।

पतले लैंस के लिए फोकस दूरी f की गणना—यदि बिंब अनन्त पर है तो प्रतिबिंब फोकस पर बनेगा अर्थात् $u = \infty$ तो $v = f$ समीकरण (4) से

$$\frac{1}{f} = ({}_1\mu_2 - 1)\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right] \quad ...(5)$$

इस समीकरण को **लैंस मेकर (लैंस निर्माता) सूत्र** कहते हैं। यह सूत्र अवतल लैंसों पर भी समान रूप से लागू होता है।

समीकरण (4) व (5) से

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \quad ...(6)$$

यह पतले लैंस के लिए लैंस सूत्र कहलाता है। यह सूत्र भी दोनों ही लैंसों अर्थात् उत्तल व अवतल तथा दोनों ही प्रकार के प्रतिबिंबों वास्तविक व आभासी के लिए मान्य है।

महत्वपूर्ण तथ्य

1. लैंस निर्माता सूत्र–

$$\frac{1}{f} = \left[\frac{\mu_2}{\mu_1} - 1\right]\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right]$$

यदि $\mu_1 = 1$ हवा के लिए तथा

$\mu_2 = \mu$ काँच माध्यम के लिए

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

आंकिक प्रश्नों को हल करते समय चिह्नों का प्रयोग किया जाता है। जिस राशि को ज्ञात करना है उसे चिह्न सहित नहीं रखा जाता है।

2. उत्तल लैंस के लिए R_1 धनात्मक तथा R_2 ऋणात्मक होता है।

अत: $$\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left[\frac{1}{+R_1} - \frac{1}{-R_2}\right]$$

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

इस प्रकार उत्तल लैंस की फोकस दूरी धनात्मक होती है।

3. अवतल लैंस के लिए R_1 ऋणात्मक तथा R_2 धनात्मक होता है।

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

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

इस प्रकार अवतल लेन्स की फोकस दूरी ऋणात्मक होती है।

इन सूत्रों से स्पष्ट है कि बड़ी वक्रता-त्रिज्याओं अर्थात् पतले लैंस की फोकस दूरी अधिक तथा छोटी वक्रता त्रिज्याओं अर्थात् मोटे लैंस की फोकस दूरी कम होती है तथा μ का मान घटने पर f का मान बढ़ेगा।

4. उभयोत्तल (उत्तल) लैंस–$R_1 = +R, R_2 = -R$

तो लैंस निर्माता सूत्र से $f = \frac{R}{2(\mu - 1)}$

यदि लैंस काँच का बना है तो $\mu = 1.5$

तब $f = +R$

इस प्रकार उत्तल लैंस की फोकस दूरी धनात्मक होती है।

5. उभयावतल (अवतल) लैंस–

$R_1 = -R, \quad R_2 = +R$

लैंस निर्माता सूत्र से $f = -\frac{R}{2(\mu - 1)}$

$\mu = 1.5$ काँच के लिए

$f = -R$

इस प्रकार अवतल लैंस की फोकस दूरी ऋणात्मक होती है।

6. गोलीय अवतल व उत्तल पृष्ठ पर अपवर्तन से

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

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

आंकिक प्रश्नों के लिए अवतल पृष्ठ के लिए R, u व v तीनों ही ऋणात्मक लेते हैं। जबकि उत्तल पृष्ठ के लिए R धनात्मक व v धनात्मक (वास्तविक), ऋणात्मक (आभासी) तथा u ऋणात्मक लेते हैं। जिस राशि को ज्ञात करना है उसे चिह्न सहित नहीं रखा जाता।

7. **द्रव में स्थित लैंस**–माना कि लैंस की फोकस दूरी वायु में f_a तथा द्रव में f_l हो तब

$$\frac{1}{f_a} = ({}_a\mu_g - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\frac{1}{f_l} = ({}_l\mu_g - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

या
$$\frac{f_l}{f_a} = \frac{({}_a\mu_g - 1)}{({}_l\mu_g - 1)}$$

जहाँ
$${}_l\mu_g = \frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_l}$$

यहाँ पर ${}_l\mu_g$, ${}_a\mu_g$ तथा ${}_a\mu_l$ क्रमशः द्रव के सापेक्ष काँच का अपवर्तनांक, वायु के सापेक्ष काँच का अपवर्तनांक तथा वायु के सापेक्ष द्रव का अपवर्तनांक है।

(a) यदि लैंस को किसी ऐसे द्रव में डुबाया जाये जिसका अपवर्तनांक लैंस के पदार्थ के अपवर्तनांक से कम हो तो

$${}_l\mu_g = \frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_l} > 1$$

परन्तु द्रव का अपवर्तनांक ${}_a\mu_l > 1$

अतः ${}_l\mu_g < {}_a\mu_g$

तब $f_l > f_a$

अतः फोकस दूरी बढ़ जाती है। परन्तु उसकी प्रकृति नहीं बदलती है।

(b) यदि लैंस को किसी ऐसे द्रव में डुबाया जाए जिसका अपवर्तनांक लैंस के पदार्थ के अपवर्तनांक के बराबर हो तो

$${}_l\mu_g = \frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_l} = 1$$

तब $f_l = \infty$ तथा $P_l = 0$

अर्थात् लैंस की फोकस दूरी अनन्त हो जायेगी और वह एक समतल पारदर्शी प्लेट की भाँति कार्य करेगा।

(c) यदि लैंस को किसी ऐसे द्रव में डुबाया जाए जिसका अपवर्तनांक लैंस के पदार्थ के अपवर्तनांक से अधिक हो, तो

$${}_l\mu_g = \frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_l} < 1$$

तब f_l का मान ऋणात्मक होगा अर्थात् वायु में जो उत्तल लैंस था वह द्रव में अवतल लैंस की भाँति व्यवहार करेगा। प्रकृति बदल जाएगी। इसी कारण जल में स्थित वायु का बुलबुला (उत्तल) एक अवतल लैंस की भाँति व्यवहार करता है।

(d) एक लैंस ($\mu = 1.5$) की फोकस दूरी f है तब जल में डुबाने पर इसकी फोकस दूरी $4f$ होगी। जल का अपवर्तनांक 4/3 है।

(e) द्रव में डुबाने पर लैंस की फोकस दूरी बढ़ जाती है। अतः क्षमता कम हो जाती है।

(f) लैंस निर्माता का अपवर्तन सूत्र

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

अतः किसी लैंस की फोकस दूरी लाल रंग के लिए सर्वाधिक एवं बैंगनी रंग के लिए सबसे कम होती है।

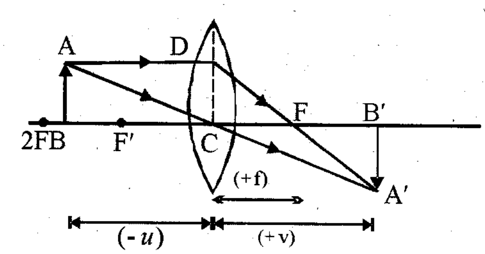
लैंस दूरियों के लिए चिह्न प्रथा (Sign Convention for lens distances)

1. इस परिपाटी के अनुसार वस्तु को लैंस के बांयी ओर रखते हैं तथा समस्त दूरियाँ लैंस के प्रकाश केन्द्र से मुख्य अक्ष के साथ-साथ मापी जाती है।
2. प्रकाश किरण के आपतित दिशा में नापी गई दूरियाँ धनात्मक तथा इसके विपरीत दिशा में नापी गई दूरियाँ ऋणात्मक होती है।
3. वस्तु तथा प्रतिबिम्ब की लम्बाई मुख्य अक्ष से ऊपर की ओर धनात्मक तथा नीचे की ओर ऋणात्मक ली जाती है।

इस आधार पर वास्तविक वस्तु के लिए u ऋणात्मक तथा आभासी वस्तु के लिए u धनात्मक होता है। वास्तविक प्रतिबिम्ब के लिए v ऋणात्मक होता है। उत्तल लैंस के लिए फोकस दूरी f धनात्मक तथा अवतल लैंस के लिए फोकस दूरी f ऋणात्मक होती है। वास्तविक प्रतिबिम्ब के लिए आवर्धन m ऋणात्मक तथा आभासी प्रतिबिम्ब के लिए आवर्धन m धनात्मक होता है।

लैंस के लिए u, v व f में सम्बन्ध अथवा लैंस सूत्र (Lens formula)

चित्र में उत्तल लैंस से प्रतिबिम्ब का बनना दिखाया गया है। मुख्य अक्ष पर B बिन्दु पर बिम्ब AB से मुख्य अक्ष के समान्तर किरण AD लैंस से अपवर्तन के पश्चात् द्वितीय फोकस से होती हुई गुजरती है। बिन्दु A से अन्य किरण AC सीधी ही गुजर जाती है। ये दोनों अपवर्तित किरणें DA' तथा CA' परस्पर बिन्दु A' पर मिलती है जिससे A का प्रतिबिम्ब A' पर बनता है। इसी प्रकार B का प्रतिबिम्ब B' पर बनता है।



चित्र : 11.34

इस प्रकार चित्र में A'B', AB का प्रतिबिम्ब है।

Δ ABC तथा ΔA'B'C में

$\angle ABC = \angle A'B'C = 90°$

तथा $\angle ACB = \angle A'CB'$

अतः ΔABC तथा ΔA'B'C समरूप त्रिभुज हैं।

$$\therefore \quad \frac{BA}{B'A'} = \frac{CB}{CB'} \qquad ...(1)$$

इसी प्रकार ΔDCF तथा $\Delta A'B'F$ समरूप त्रिभुज है।

$$\therefore \quad \frac{CD}{B'A'} = \frac{CF}{FB'}$$

परन्तु BA = CD

$$\therefore \quad \frac{BA}{B'A'} = \frac{CF}{FB'} \qquad ...(2)$$

अत: समीकरण (1) व (2) से-

$$\frac{CB}{CB'} = \frac{CF}{FB'}$$

$$\frac{CB}{CB'} = \frac{CF}{CB'-CF} \qquad ...(3)$$

$$[\because FB' = CB' - CF]$$

चिन्ह परिपाटी प्रयुक्त करने पर-
लैंस से बिम्ब की दूरी CB = –u
लैंस से प्रतिबिम्ब की दूरी CB' = v
लैंस से फोकस की दूरी CF = f
का मान समी. (3) में रखने पर-

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

$$\Rightarrow \quad -uv + uf = vf$$

$$\Rightarrow \quad uf - vf = uv$$

दोनों पक्षों में uvf का भाग देने पर

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f} \qquad ...(4)$$

यह संबंध **लैंस सूत्र (Lens formula)** कहलाता है।

यह सूत्र अवतल लैंस के लिए भी ज्ञात किया जा सकता है।

रेखीय आवर्धन-

लैंस के सामने रखी वस्तु की स्थिति एवं आकार पर ही प्रतिबिम्ब का आकार व स्थिति निर्भर करती है।

लैंस के लिए प्रतिबिम्ब के आकार एवं बिम्ब के आकार के अनुपात को रेखीय आवर्धन कहते हैं।

आवर्धन प्रतिबिम्ब के आकार एवं उसकी स्थिति, बिम्ब के आकार एवं उसकी स्थिति तथा लैंस की फोकस दूरी पर निर्भर करता है।

यदि वस्तु की ऊँचाई h_1 तथा प्रतिबिम्ब की ऊँचाई h_2 है तो आवर्धन

$$m = h_2/h_1$$

समरूप ΔABC व $\Delta A'B'C$ में

$$\therefore \quad \frac{A'B'}{AB} = \frac{CB'}{CB}$$

यहाँ $AB = h_1$ बिम्ब या वस्तु की ऊँचाई
तथा $A'B' = h_2$ प्रतिबिम्ब की ऊँचाई

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

परन्तु $\frac{h_2}{h_1} = m$ अत: $m = \frac{v}{u}$ ...(5)

$$\text{रेखीय आवर्धन} = \frac{\text{प्रतिबिम्ब की लैंस से दूरी}}{\text{वस्तु की लैंस से दूरी}}$$

समी. (5) से स्पष्ट है कि u व v दोनों के चिह्न एक से हो, तो प्रतिबिम्ब सीधा व काल्पनिक बनेगा। यदि विपरीत है तो उल्टा व वास्तविक बनेगा अर्थात् उत्तल अथवा अवतल लैंस द्वारा बने सीधे तथा आभासी प्रतिबिम्ब के लिए m धनात्मक होता है; जबकि उल्टे तथा वास्तविक प्रतिबिम्ब के लिए m ऋणात्मक होता है।

11.7.2 लैंस की क्षमता (Power of Lens)

प्रकाश की किरणों को अभिसरित अथवा अपसरित करने के सामर्थ्य को लैंस की क्षमता या लैंस की शक्ति कहते हैं।

उत्तल लैंस में अपवर्तित किरण अभिसरित होती है तथा अवतल लैंस में अपवर्तित किरण अपसरित होती है। अत: लैंस का वास्तविक कार्य प्रकाश की किरणों को मोड़ना है। स्पष्ट है कि कोई लैंस प्रकाश किरणों को जितना अधिक मोड़ता है उसकी क्षमता उतनी ही अधिक होती है। स्पष्टत: कम फोकस दूरी का कोई लैंस आपतित प्रकाश किरणों को अधिक मोड़ता है अत: किसी लैंस की फोकस दूरी जितनी कम होगी, उसकी क्षमता उतनी ही अधिक होगी। किसी भी लैंस की क्षमता, उस लैंस की फोकस दूरी की व्युत्क्रम होती है। फोकस दूरी मीटर में है तो लैंस क्षमता डायऑप्टर में होगी।

$$\text{लैंस क्षमता} \qquad \mathbf{P} = \frac{1}{f_{(\text{मीटर})}}$$

लैंस की क्षमता का SI मात्रक डायऑप्टर (D) है जहाँ 1D = $1m^{-1}$

अत: $1m$ फोकस दूरी के लैंस की क्षमता एक डायऑप्टर होती है। चूँकि उत्तल लैंस (अभिसारी) की फोकस दूरी धनात्मक तथा अवतल लैंस (अपसारी) की ऋणात्मक होती है, अत: उत्तल लैंस की क्षमता धनात्मक तथा अवतल लैंस की क्षमता ऋणात्मक होती है।

महत्वपूर्ण तथ्य

1. $$P(D) = \frac{1}{f_{(\text{मीटर})}} = \frac{100}{f_{(\text{सेमी.})}}$$

2. लैंस मेकर सूत्र से $\frac{1}{f} = (\mu-1)\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right]$

जहाँ μ हवा के सापेक्ष काँच (लैंस) का अपवर्तनांक है।

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

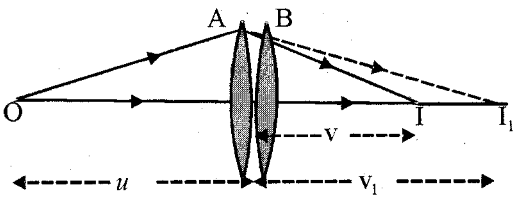
3. समतल प्लेट की फोकस दूरी अनन्त होने से उसकी शक्ति शून्य होगी। अत: इन पर आपतित किरणें अपवर्तन के पश्चात् प्लेट के दूसरे तल से बिना मुड़े निकल जाती हैं।

4.
मोटा लैंस
$P\uparrow f\downarrow R\downarrow$

पतला लैंस
$P\downarrow f\uparrow R\uparrow$

11.7.3 पतले लैंसों का संयोजन (Combination of thin lenses)

माना दो पतले लैंस A व B एक-दूसरे के सम्पर्क में रखे हुए हैं जिनकी फोकस दूरियाँ क्रमशः f_1 व f_2 हैं। माना कोई बिंब पहले लैंस A के फोकस से दूर किसी बिन्दु पर स्थित है (चित्र) पहला लैंस बिंदु I_1 पर प्रतिबिंब बनाता है। जो वास्तविक है, अतः यह लैंस B के लिए आभासी बिंब की भाँति कार्य करता है तथा अंतिम प्रतिबिंब I पर बनता है।



चित्र 11.35

लैंस A द्वारा बने प्रतिबिंब के लिए

$$\frac{1}{v_1}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f_1} \quad ...(1)$$

लैंस B द्वारा बने प्रतिबिंब के लिए

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{v_1}=\frac{1}{f_2} \quad ...(2)$$

समीकरण (1) व (2) को जोड़ने पर

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2} \quad ...(3)$$

इन दो लैंसों के तंत्र को f फोकस दूरी के किसी एकल लैंस के तुल्य मानने पर

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

अर्थात्

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2} \quad ...(4)$$

यदि $f_1, f_2, f_3, ...$ फोकस दूरियों के बहुत से लैंस एक दूसरे के संपर्क में रखे हैं तो इस संयोजन की प्रभावी फोकस दूरी

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}+\frac{1}{f_3} \quad ...(5)$$

परन्तु लैंस क्षमता $P=\frac{1}{f}$

अतः लैंस संयोजन की प्रभावी क्षमता

$$\mathbf{P = P_1 + P_2 + P_3 + ...} \quad (6)$$

स्पष्ट है कि संयुक्त लैंस की क्षमता प्रत्येक लैंस की क्षमता के बीजीय योग के बराबर होती है। इस समीकरण के दायें पक्ष में कुछ पद धनात्मक (उत्तल लैंस) तथा कुछ पद ऋणात्मक (अवतल लैंस) हो सकते हैं।

लैंसों के संयोजन में प्रयुक्त सभी लैंस आवर्धन करते हैं तथा ये प्रतिबिम्ब की तीक्ष्णता में भी वृद्धि कर देते हैं क्योंकि पहले लैंस द्वारा बना प्रतिबिम्ब दूसरे लैंस के लिए बिंब बन जाता है।

यदि $m_1, m_2, m_3, ...$ संयुक्त लैंसों द्वारा अलग-अलग आवर्धन है तो संयोजन का कुल आवर्धन (m) प्रत्येक लैंस के अलग-अलग आवर्धनों के गुणनफल के बराबर होता है।

अतः

$$m = m_1 \times m_2 \times m_3 \times .... \quad ...(7)$$

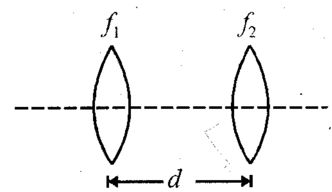
लैंसों के संयोजन का उपयोग–दो या दो से अधिक लैंसों का संयोजन सामान्यतयाः कैमरों, सूक्ष्मदर्शियों, दूरबीनों तथा अन्य प्रकाशिक यंत्रों के डिजायन में उपयोग किया जाता है। इस प्रकार के संयोजन से–

1. प्रतिबिम्ब की आवर्धनता बढ़ायी जा सकती है।
2. अन्तिम प्रतिबिम्ब को सीधा बनाया जा सकता है।
3. प्रतिबिम्ब के विभिन्न दोषों को दूर किया जा सकता है।
4. प्रतिबिम्ब की तीक्ष्णता में वृद्धि होती है।

महत्वपूर्ण तथ्य

1. संयुक्त लैंस क्षमता $P = P_1 + P_2$
   - (a) यदि दोनों लैंस उत्तल हैं तो संयुक्त लैंस उत्तल लैंस की भाँति तथा दोनों लैंस अवतल होने पर संयुक्त लैंस अवतल लैंस की भाँति व्यवहार करेगा।
   - (b) यदि एक लैंस उत्तल तथा दूसरा अवतल है तो संयुक्त लैंस उत्तल या अवतल लैंस की तरह कार्य करेगा। इनमें से जिस लैंस की फोकस दूरी कम अर्थात् शक्ति अधिक होगी लैंस उसकी तरह ही कार्य करेगा।
   - (c) समान फोकस दूरी के उत्तल तथा अवतल लैंस मिलाने पर संयुक्त लैंस की क्षमता शून्य तथा फोकस दूरी अनन्त होती है। इस समय संयुक्त लैंस समतल प्लेट की तरह व्यवहार करेगा।
2. जब दो लैंस परस्पर d दूरी पर समाक्षतः स्थित है तो तुल्य फोकस दूरी (f)

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}-\frac{d}{f_1 f_2}$$



तथा $P = P_1 + P_2 - dP_1P_2$

3. उत्तल लैंस की क्षमता धनात्मक व अवतल लैंस की क्षमता ऋणात्मक होती है।
4. उत्तल लैंस द्वारा बने प्रतिबिंब तथा वस्तु के बीच न्यूनतम दूरी $4f$ होती है।
5. अवतल लैंस में प्रतिबिंब की अधिकतम दूरी इसकी फोकस दूरी के तुल्य होती है।
6. अपवर्तनांक $\mu=\frac{1}{\sin i_c}=\text{cosec } i_c$ जहाँ i_c = क्रांतिक कोण या $i_c = C$
7. सूत्र $x_1 x_2 = f_1 f_2$ को **न्यूटन का सूत्र** कहते हैं। यह केवल वास्तविक प्रतिबिंबों के लिए सत्य है।
   जहाँ x_1 = बिम्ब की प्रथम फोकस से दूरी
   x_2 = प्रतिबिम्ब की द्वितीय फोकस से दूरी
8. विस्थापन विधि में दोनों स्थिर पिनों के बीच की दूरी को लैंस की फोकस दूरी के चौगुने से अधिक होना चाहिए। इस विधि में उत्तल लैंस की फोकस-दूरी निम्न सूत्र से दी जाती है–

$f = \frac{d^2 - x^2}{4d}$ तथा वस्तु की लम्बाई O = $\sqrt{I_1 \times I_2}$

जहाँ d = दोनों पिनों के बीच की दूरी तथा $d > 4f$

x = लेन्स की दोनों स्थितियों का अन्तर

$\sqrt{I_1 I_2}$ = दोनों प्रतिबिंबों की लम्बाई का गुणोत्तर माध्य है।

9. लैंस सूत्र $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$,

आवर्धन $m = \frac{I}{O} = \frac{v}{u} = \frac{f}{f+u} = \frac{f - v}{f}$ या $m = \frac{h_2}{h_1}$

तथा लैंस क्षमता $P = \frac{1}{f_{(\text{मी.})}}$ डायऑप्टर

आंकिक प्रश्नों को हल करने के लिए चिह्नों का प्रयोग किया जाता है। जिस राशि को ज्ञात करना है उसे चिह्न सहित नहीं रखा जाता है।

10. किसी जार में भरे द्रव के तल में बिन्दु स्रोत से निर्गत प्रकाश का पृष्ठीय क्षेत्रफल = πr^2

पानी में गोताखोर h गहराई पर बाहरी दुनिया को त्रिज्या r पर देख सकता है।

जहाँ $r = \frac{h}{\sqrt{\mu^2 - 1}}$

h = द्रव की ऊँचाई

μ = द्रव का अपवर्तनांक

11. किसी लैंस को घिसने पर उसकी फोकस दूरी बढ़ जाती है और क्षमता घट जाती है। किसी भी लैंस की वायु में क्षमता सर्वाधिक होती है।

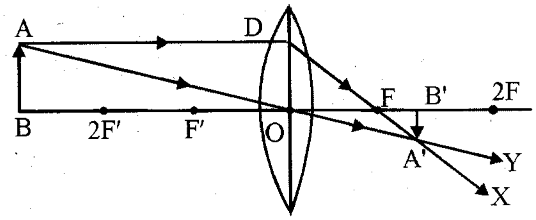
11.7.4 लैंसों से प्रतिबिम्ब का निर्माण (Image formation by lenses)

पतले लैंस द्वारा प्रतिबिम्ब बनाने में निम्न नियम काम में लेते हैं–

1. बिम्ब से चलकर लैंस के मध्य बिन्दु प्रकाश केन्द्र से होकर जाने वाली किरण, बिना विचलित हुए, उसी दिशा में लैंस से बाहर निकल जाती है।
2. लैंस की मुख्य अक्ष के समांतर आपतित किरण लैंस में अपवर्तित होकर द्वितीय फोकस (F) में से जाती है (उत्तल लैंस में), या द्वितीय फोकस (F) से आती हुई प्रतीत होती है (अवतल लैंस में)।
3. लैंस के प्रथम फोकस (F′) में से होकर जाने वाली (उत्तल लैंस में) या प्रथम फोकस (F′) की ओर जाती प्रतीत होने वाली (अवतल लैंस में) आपतित किरण लैंस में से अपवर्तित होकर मुख्य अक्ष के समांतर हो जाती है।

इन तीन कारणों से बिम्ब के किसी बिन्दु से दो किरणें लेकर प्रतिबिम्ब बनाते हैं। दो किरणें अपवर्तन के बाद जहाँ मिलती है वहाँ उस बिन्दु का प्रतिबिम्ब बनता है।

उत्तल लैंस से प्रतिबिम्ब की रचना–यदि वस्तु लैंस से बहुत दूर अनन्त पर स्थित है तो वस्तु से आने वाली सभी प्रकाश किरणें समान्तर आयेगी जो लैंस से अपवर्तन के पश्चात् मुख्य फोकस पर आकर मिलेगी। यहीं वस्तु का प्रतिबिम्ब बनता है। यह प्रतिबिम्ब वास्तविक, उल्टा व छोटा होता है।

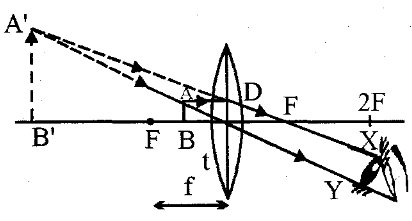


चित्र : 11.36

वस्तु को अनन्त व $2f$ के मध्य में रखने पर उसका प्रतिबिम्ब लैंस के दूसरी ओर f व $2f$ के मध्य बनेगा। यह प्रतिबिम्ब छोटा, वास्तविक व उल्टा होगा। चित्र में प्रतिबिम्ब का निर्माण बताया है। बिन्दु A से चलने वाली समान्तर किरण अपवर्तन के पश्चात् लैंस के फोकस F से गुजरती है। दूसरी किरण AO जो प्रकाश केन्द्र से गुजरती है अपवर्तन के बाद सीधी चली जाती हैं। दोनों प्रकाश किरणें A′ पर मिलती है अत: A′, A का प्रतिबिम्ब है। इसी प्रकार B से चलने वाली प्रकाश किरण BO द्वारा B का प्रतिबिम्ब B′ प्राप्त होता है। इस प्रकार A′ B′, AB का प्रतिबिम्ब है। A′ B′ वास्तविक प्रतिबिम्ब है।

वस्तु $2f$ पर होने पर प्रतिबिम्ब $2f$ पर दूसरी ओर बनेगा। इसकी आकृति व आकार बिम्ब के अनुरूप होते हैं। यह वास्तविक, उल्टा एवं वस्तु के बराबर होता है। वस्तु को f व $2f$ दूरी के मध्य रखने पर प्रतिबिम्ब लैंस के दूसरी ओर $2f$ व अनन्त के मध्य बनता है। प्रतिबिम्ब वास्तविक, उल्टा व आवर्धित होता है।

बिम्ब लैंस के सामने फोकस पर है तो प्रतिबिम्ब अनन्त पर बनेगा। यह वास्तविक, उल्टा व बड़ा होगा। वस्तु लैंस के फोकस व प्रकाश केन्द्र के मध्य में स्थित होने पर वस्तु से चलने वाली प्रकाश किरणें अपवर्तन के बाद फैल जाती है जिससे वे लैंस के दूसरी ओर नहीं मिलती है।



चित्र : 11.37 उत्तल लैंस से आभासी प्रतिबिम्ब का निर्माण

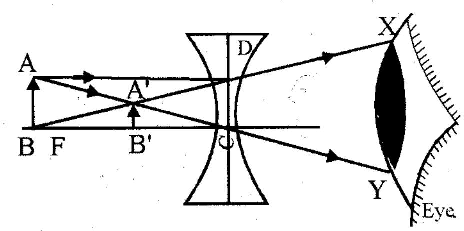
चित्र में वस्तु के बिन्दु A से चलने वाली समान्तर किरण अपवर्तन के पश्चात् DFX दिशा में जाती है इसी प्रकार किरण AO अपवर्तन के पश्चात् OY दिशा में जाती है। इस किरण की दिशा में कोई परिवर्तन नहीं आता है इन किरणों को पीछे की ओर बढ़ाने पर A′ बिन्दु पर मिलती हुई प्रतीत होती है। अत: A′, A का काल्पनिक प्रतिबिम्ब है। B का प्रतिबिम्ब B′ मुख्य अक्ष पर ही बनेगा। अत: A′B′, AB का प्रतिबिम्ब है जो सीधा है एवं वस्तु की ओर ही बनता है। प्रतिबिम्ब का आकार वस्तु के आकार से बड़ा है। उत्तल लैंस से विभिन्न दूरियों पर रखे वस्तु के प्रतिबिम्ब निर्माण का विवरण तालिका में बताया गया है–

(i) प्रश्नों को हल करने के लिए चिह्न

	उत्तल लैंस		अवतल लैंस
	वास्तविक प्रतिबिम्ब $u \geq f$	**आभासी प्रतिबिम्ब** $u < f$	
वस्तु की दूरी	$u \rightarrow -$	$u \rightarrow -$	$u \rightarrow -$
प्रतिबिम्ब की दूरी	$v \rightarrow +$	$v \rightarrow -$	$v \rightarrow -$
फोकस दूरी	$f \rightarrow +$	$f \rightarrow +$	$f \rightarrow -$
वस्तु की ऊँचाई	h_1 या $O \rightarrow +$	h_1 या $O \rightarrow +$	h_1 या $O \rightarrow +$
प्रतिबिम्ब की ऊँचाई	h_2 या $I \rightarrow -$	h_2 या $I \rightarrow +$	h_2 या $I \rightarrow +$
आवर्धन	$m \rightarrow -$	$m \rightarrow +$	$m \rightarrow +$

अवतल लैंस से प्रतिबिम्ब का निर्माण–अवतल लैंस से प्रतिबिम्ब की रचना, उत्तल लैंस की तरह ही वस्तु से दो प्रकाश किरणें लेकर अपवर्तन के पश्चात् किरणों के मिलने के स्थान से ज्ञात करते हैं। अवतल लैंस के सामने AB वस्तु से प्रतिबिम्ब की रचना के लिए बिन्दु A से AD, समान्तर किरण व AO प्रकाश केन्द्र से गुजरने वाली किरण लेते हैं।

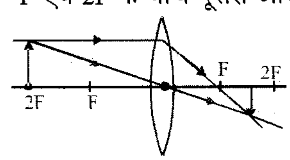
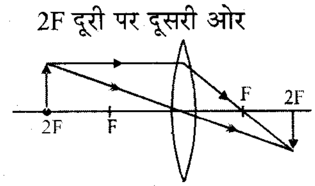
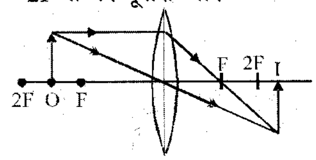
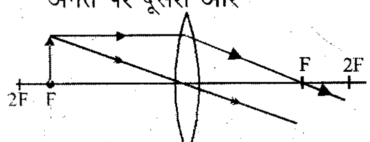
ये किरणें अपवर्तन के पश्चात् DX व OY दिशा में जाती है। इन्हें पीछे की ओर बढ़ाये जाने पर ये किरणें A′ पर मिलती है। इसी प्रकार B का प्रतिबिम्ब B′ पर बनता है। इस प्रकार A′B′ वस्तु AB का काल्पनिक, छोटा प्रतिबिम्ब लैंस के बांयी ओर, वस्तु की तरफ प्राप्त होता है। अवतल लैंस के सामने रखी वस्तु के प्रतिबिम्ब सदैव काल्पनिक, सीधे व छोटे बनते हैं।

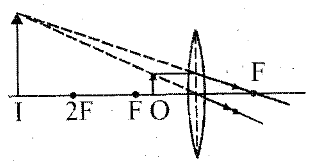
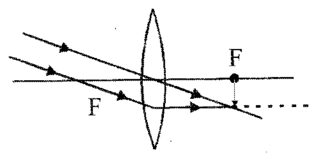
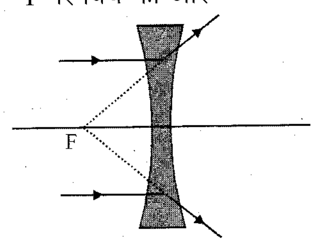
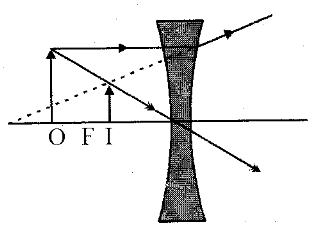


चित्र 11.38 अवतल लैंस से प्रतिबिम्ब का निर्माण

अवतल लैंस से विभिन्न दूरियों पर रखे वस्तु के प्रतिबिम्ब निर्माण का भी विवरण तालिका में बताया गया है–

(ii) गोलीय लैंस से बने प्रतिबिम्ब की स्थिति, आकार एवं प्रकृति

लैंस	वस्तु की स्थिति	प्रतिबिंब की स्थिति	प्रतिबिंब की प्रकृति	आवर्धन
(i) उत्तल	अनंत एवं 2F के बीच	F एवं 2F के बीच दूसरी ओर 	वास्तविक, उल्टा, छोटा	$m < 1$
	2F दूरी पर	2F दूरी पर दूसरी ओर 	वास्तविक, उल्टा, बराबर	$m = 1$
	2F एवं F के बीच	2F से परे दूसरी ओर 	वास्तविक, उल्टा, बड़ा	$m > 1$
	F पर	अनंत पर दूसरी ओर 	वास्तविक, उल्टा, बहुत बड़ा	$m >> 1$

	F एवं प्रकाश केंद्र के बीच	F एवं 2F के बीच बिंब की ओर 	काल्पनिक (आभासी) सीधा, बड़ा	$m > 1$
	अनंत पर	F पर दूसरी ओर 	वास्तविक, उल्टा, बहुत छोटा	$m << 1$
(ii) अवतल	अनंत पर	F पर बिंब की ओर 	काल्पनिक (आभासी) सीधा, अतिसूक्ष्म	$m << 1$
	अनंत एवं प्रकाश केन्द्र के बीच	फोकस बिंदु एवं प्रकाश केंद्र के बीच सदैव बिंब की ओर 	सदैव काल्पनिक, सीधा, बिंब से छोटा	$m < 1$

उदाहरण 23. वायु में रखे किसी बिन्दु स्रोत से प्रकाश काँच के किसी गोलीय पृष्ठ पर पड़ता है। ($\mu = 1.5$ तथा वक्रता त्रिज्या = 20 cm)। प्रकाश स्रोत की काँच के पृष्ठ से दूरी 100 cm है। प्रतिबिंब कहाँ बनेगा ?

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

जहाँ $\mu = 1.5$, $u = -100\ cm$, $v = ?$, $R = +20\ cm$

$$\frac{1.5}{v} + \frac{1}{100} = \frac{(1.5-1)}{20}$$

$$\frac{1.5}{v} = \frac{5}{20} - \frac{1}{100}$$

अथवा $$v = +100\ cm$$

अत: प्रतिबिंब आपतित प्रकाश की दिशा में काँच के पृष्ठ से 100 *cm* की दूरी पर बनेगा व वास्तविक होगा।

उदाहरण 24. 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?

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.12

हल: दिया गया है– $h_1 = 6$ सेमी., $h_2 = -2$ सेमी., $u = -30$ सेमी.

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

या $$\frac{(-2)}{(6)} = \frac{f}{(-30)+f}$$

$$\Rightarrow \quad f = \frac{60}{8.0} = 7.5 \text{ सेमी.}$$

उदाहरण 25. कोई जादूगर खेल दिखाते समय $\mu = 1.47$ अपवर्तनांक के काँच के लेंस को किसी द्रव से भरी द्रोणिका में डालकर अदृश्य कर देता है। द्रव का अपवर्तनांक क्या है ? क्या यह द्रव जल हो सकता है ?

हल : द्रव में लैंस के अदृश्य होने के लिए द्रव का अपवर्तनांक, लैंस के काँच के अपवर्तनांक के बराबर होना चाहिए

अर्थात् $\mu_1 = \mu_2 = \mu$

जहाँ $\mu = 1.47$ द्रव का अपवर्तनांक होगा।

$$\frac{1}{f} = \left[\frac{\mu_2}{\mu_1} - 1\right]\left[\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right]$$

या $$\frac{1}{f} = 0$$

$$f = \infty$$

अतः द्रव के अंदर लैंस काँच की एक समतलशीट की भाँति कार्य करेगा। द्रोणिका से भरा द्रव जल नहीं हो सकता है। क्योंकि जल का अपवर्तनांक 1.33 है। यह द्रव ग्लिसरीन हो सकता है।

उदाहरण 26. 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।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.13

हलः दिया गया है– $\mu_2 = 1.5$, $\mu_1 = 1.33$

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

$$\therefore \quad \frac{1}{f} = \left(\frac{\mu_2}{\mu_1} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

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

$$\Rightarrow \quad f = 96 \text{ सेमी.}$$

उदाहरण 27. काँच ($\mu = 1.5$) के एक उत्तल लैंस की फोकस दूरी 2 सेमी. है। यदि इस लैंस को एक द्रव में डुबाया जाये तो इसकी फोकस दूरी क्या होगी ? यदि द्रव का अपवर्तनांक 1.25 है।

हल : दिया है : ${}_a\mu_g = 1.5$, ${}_a\mu_l = 1.25$, $f_a = +2$ सेमी.

$${}_l\mu_g = \frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_l} = \frac{1.5}{1.25} = \frac{6}{5} = 1.2$$

सूत्र : $$\frac{f_l}{f_a} = \frac{{}_a\mu_g - 1}{{}_l\mu_g - 1}$$ से,

$$\frac{f_l}{+2} = \frac{1.5-1}{1.2-1}$$

या $$\frac{f_l}{+2} = \frac{0.5}{0.2}$$

$\therefore$ $f_l = 5$ सेमी.

उदाहरण 28. एक बिम्ब की उत्तल लेंस से दूरी क्या होगी यदि प्रतिबिम्ब दो गुना आवर्धित है लेंस की फोकस दूरी 10 cm है।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.14

हलः दिया गया है– $f = +10\,\text{cm}$, $|m| = 2$

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

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

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

या $u = -15$ सेमी.

उदाहरण 29. यदि कोई नेत्र चिकित्सक +2.5D तथा –4.0D क्षमता के संशोधक लैंस निर्धारित करता है तो लैंस की प्रकृति व फोकस दूरी ज्ञात कीजिये।

हल : $$P = \frac{1}{f_{(\text{मीटर})}}$$

(i) जहाँ $P = +2.5D$

तो $f = \dfrac{1}{2.5}$ मीटर $= \dfrac{100}{2.5}$ सेमी.

$= +40$ सेमी.

अतः उत्तल लैंस जिसकी फोकस दूरी 40 सेमी. है की आवश्यकता होती है।

(ii) जब $P = -4.0\,D$

तो $f = -\dfrac{1}{4.0}$ मीटर $= -\dfrac{100}{4}$ सेमी.

$f = -25$ सेमी.

अतः अवतल लैंस जिसकी फोकस दूरी 25 सेमी. है की आवश्यकता होती है।

उदाहरण 30. 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 कीजिए।

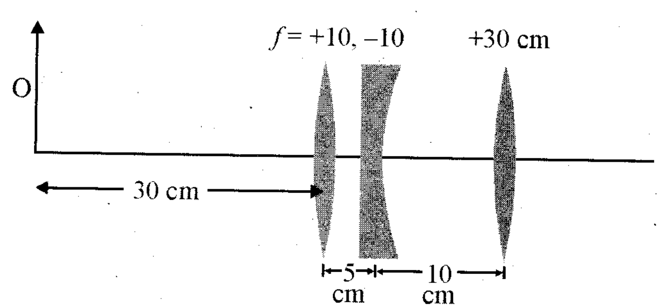
पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.15

हलः दिया गया है– $f_1 = +5\,\text{cm}$, $f_2 = -10\,\text{cm}$

लैंस संयोजन के लिए $\dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{f_1} + \dfrac{1}{f_2}$

$$\therefore \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{5} - \frac{1}{10} = +\frac{1}{10} \Rightarrow f = +10 \text{ सेमी.}$$

उदाहरण 31. चित्र में दिए गए लैंसों के संयोजन द्वारा निर्मित प्रतिबिंब की स्थिति ज्ञात कीजिए।



चित्र : 11.39

हल : पहले लैंस द्वारा निर्मित प्रतिबिंब

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

जहाँ $u_1 = -30\,cm, f_1 = +10\,cm$

$$\frac{1}{v_1}-\frac{1}{-30} = \frac{1}{10}$$

अथवा $v_1 = +15$ cm यह प्रतिबिंब वास्तविक है परन्तु यह दूसरे लैंस के लिए आभासी बिंब का कार्य करता है। यह दूसरे लैंस के दार्यी ओर (15-5) cm = 10 cm दूरी पर होगा।

दूसरे लैंस द्वारा निर्मित प्रतिबिंब

$$\frac{1}{v_2}-\frac{1}{u_2} = \frac{1}{f_2}$$

जहाँ $u_2 = 10\,cm$

$f_2 = -10\,cm$

या $v_2 = \infty$

यह आभासी प्रतिबिंब दूसरे लैंस के बाँयीं ओर अनंत दूरी पर बनता है। यह तीसरे लैंस के लिए बिंब का कार्य करेगा।

$$\frac{1}{v_3}-\frac{1}{u_3} = \frac{1}{f_3}$$

जहाँ $u_3 = \infty$

$f_3 = +30$

$$\frac{1}{v_3}-\frac{1}{\infty} = \frac{1}{30}$$

$v_3 = +30\,cm$

अंतिम प्रतिबिंब तीसरे लैंस के दाँयीं ओर 30 cm दूरी पर अर्थात् उसके फोकस पर बनता है।

उदाहरण 32. 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? पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.16

हल: दिया गया है– $h_1 = 3\,\text{cm}$, $f = +10\,\text{cm}$,

$h_2 = -6\,\text{cm}$

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

या $\frac{-6}{3} = \frac{v}{u}$

$\therefore \quad v = -2u$

लेंस 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 $u = \frac{-3\times 10}{2} = -15$ सेमी.

तथा $v = -2u = -2\times(-15) = 30$ सेमी.

अतः वस्तु की लेंस से दूरी $u = -15$ सेमी.

उदाहरण 33. काँच के एक आयताकार चौकोर टुकड़े को एक ओर से काट लिया गया है। इस गोल तल का अर्द्धव्यास 10 सेमी. है। यह पृष्ठ बीच में ऊपर की ओर उठा हुआ है। तल के सामने हवा में 30 सेमी. की दूरी पर एक वस्तु रखी है। इस वस्तु का प्रतिबिम्ब कहाँ बनेगा? काँच का अपवर्तनांक 1.5 है।

हल : सूत्रानुसार $\frac{\mu}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{R}(\mu - 1)$

प्रश्नानुसार $\mu = 1.5$, $u = -30$ सेमी., R = 10 सेमी. (उत्तलपृष्ठ)

$$\frac{1.5}{v} - \frac{1}{-30} = \frac{1}{10}(1.5-1)$$

या $\frac{1.5}{v} + \frac{1}{30} = \frac{0.5}{10}$

या $\frac{15}{v} = \frac{1}{20} - \frac{1}{30}$

या $\frac{15}{v} = \frac{3-2}{60} = \frac{1}{60}$

$v = 60 \times 1.5 = 90$ सेमी.

उदाहरण 34. किसी काँच के उभयोत्तल लेंस के पृष्ठों की वक्रता त्रिज्यायें क्रमशः 20 cm एवं 30 cm हैं। काँच का अपवर्तनांक 1.5 है। लेंस की फोकस दूरी ज्ञात कीजिये।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.17

हल: दिया गया है– $R_1 = +20\,\text{cm}$, $R_2 = -30\,\text{cm}$

तथा $\mu = 1.5$

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

$\therefore \quad f = +24$ सेमी.

उदाहरण 35. 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।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.18

हल: दिया गया है– $\mu_g = 1.50$, $f_a = 30\text{cm}$ तथा $\mu_w = 1.33$

हवा में पतले लेंस की फोकस दूरी के लिय सम्बन्ध से

$$\frac{1}{f_a} = (\mu_g - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

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

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

माना कि द्रव में लेंस की फोकस दूरी f_w है।

$$\frac{1}{f_w} = ({}_g\mu_w - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

लेकिन $${}_g\mu_w = \frac{\mu_g}{\mu_w} = \frac{1.50}{1.33} = 1.1278$$

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

या $$\frac{1}{f_w} = 0.1278 \times \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \quad \ldots (2)$$

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

$$\frac{f_w}{30} = \frac{0.50}{0.1278} = 3.912$$

$\therefore \quad f_w = 3.912 \times 30 = 117.36$ सेमी.

अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

1. समान फोकस दूरी के एक उत्तल लेंस तथा एक अवतल लेंस को सम्पर्क में रखकर एक संयुक्त लेंस बनाया जाता है। संयुक्त लेंस की प्रकृति एवं फोकस दूरी कितनी होगी?
2. क्या होता है जबकि एक लेंस को ऐसे पारदर्शी द्रव में डुबो दिया जाता है जिसका अपवर्तनांक लेंस के पदार्थ के अपवर्तनांक के बराबर होता है?
3. यदि वायु में प्रकाश की चाल c है तब किसी माध्यम (अपवर्तनांक μ) में प्रकाश की चाल क्या होगी?
4. एकवर्णी प्रकाश वायु से μ अपवर्तनांक के कांच में अपवर्तित होता है। आपतित तथा अपवर्तित तरंगदैर्ध्यों में अनुपात कितना होगा?
5. यदि हीरे, कांच तथा पानी में प्रकाश की चाल क्रमश: v_d, v_g तथा v_w है तब इन चालों में परस्पर सम्बन्ध लिखिए।
6. कांच-वायु युग्म के लिए क्रान्तिक कोण किस रंग के लिए अधिकतम होता है?
7. सूर्योदय से कुछ समय पूर्व सूर्य दिखायी देने का क्या कारण है?
8. वायु के सापेक्ष पानी का अपवर्तनांक 1.33 है। पानी तथा वायु में प्रकाश की चाल का अनुपात लिखिए।
9. किसी द्रव-वायु युग्म के लिए क्रान्तिक कोण θ है। वायु के सापेक्ष उस द्रव का अपवर्तनांक कितना होगा?
10. यदि आपतन कोण का मान क्रान्तिक कोण के बराबर होता है तब अपवर्तन कोण का मान कितना होगा?
11. द्रव में स्थित एक वस्तु को वायु से ऊर्ध्वाधरत: देखने पर वह उतनी ही गहराई पर दिखायी देती है जितनी कि उसकी वास्तविक गहराई है। उस द्रव का अपवर्तनांक कितना होगा?
12. किसी सघन माध्यम (अपवर्तनांक ${}_a\mu_d$) में स्थित वस्तु को विरल माध्यम (अपवर्तनांक ${}_a\mu_r$) से देखा जाता है। तब वास्तविक गहराई h तथा आभासी गहराई h' के मध्य सम्बन्ध लिखिए।
13. हीरे की चमक का कारण क्या है?
14. μ अपवर्तनांक का एक लेंस μ' अपवर्तनांक के एक द्रव में रखा जाता है। यदि हवा में लेंस की फोकस दूरी f है तो द्रव में लेंस की फोकस दूरी कितनी होगी?
15. एक पतले लेंस की फोकस दूरी f तथा इसके द्वारक का व्यास d है। यह I तीव्रता का प्रतिबिम्ब बनाता है। यदि द्वारक के केन्द्रीय भाग को $\frac{d}{2}$ व्यास तक अपारदर्शी कागज से ढक दिया जाए तब फोकस दूरी तथा प्रतिबिम्ब की तीव्रता के मान लिखिए।
16. एक लेंस वायु में अभिसारी लेंस तथा पानी में अपसारी लेंस की भांति कार्य करता है। लेंस के पदार्थ के अपवर्तनांक के बारे में अपना मत लिखिए।
17. दो पतले लेंस एक अक्ष पर सम्पर्क में है तथा उनकी फोकस दूरी क्रमश: f_1 व f_2 है। ऐसा संयोजन एक लेंस की भांति कार्य करता है। ऐसे तुल्य लेंस की क्षमता का सूत्र लिखिए।
18. जब प्रकाश किरण प्रकाशीय विरल माध्यम से प्रकाशीय सघन माध्यम में प्रवेश करती है तब आपतन कोण व अपवर्तन कोण में सम्बन्ध लिखिए।
19. किसी पदार्थ का अपवर्तनांक किन राशियों पर निर्भर करता है?
20. अपवर्तनांक का मात्रक लिखिए।
21. यदि तीन माध्यम वायु, जल तथा कांच हो तब इनसे सम्बन्धित सापेक्ष अवर्तनांकों में सम्बन्ध लिखिए।
22. निरपेक्ष अपवर्तनांक से क्या तात्पर्य है?
23. हीरे का अपवर्तनांक कितना होता है?
24. निरपेक्ष व सापेक्ष अपवर्तनांकों में क्या सम्बन्ध है?

25. छोटे आपतन कोणों के लिए पार्श्विक विस्थापन का सूत्र लिखिए।
26. अपवर्तनांक, वास्तविक गहराई तथा आभासी गहराई में सम्बन्ध लिखिए।
27. वायुमण्डलीय अपवर्तन के कारण दिन की लम्बाई में लगभग कितना परिवर्तन होता है?
28. क्रान्तिक कोण से क्या तात्पर्य है?
29. क्रान्तिक कोण i_c तथा माध्यम के अपवर्तनांक μ में सम्बन्ध लिखिए।
30. हीरे-वायु पृथक्कारी तल के लिए क्रान्तिक कोण का मान लिखिए।
31. कांच के लिए क्रान्तिक कोण का मान लिखिए।
32. पूर्ण परावर्तक प्रिज्म का उपयोग कहाँ होता है?
33. प्रकाशिक तन्तु प्रकाश की किस घटना पर आधारित होता है?
34. चिकित्सा क्षेत्र में एन्डोस्कोपी प्रकाश की किस घटना पर आधारित है?
35. गोलीय पृष्ठ पर अपवर्तन का सूत्र लिखिए।
36. लैंस निर्माता (मेकर) सूत्र लिखिए।
37. लैंस का सूत्र लिखिए।
38. लैंस क्षमता का मात्रक लिखिए।
39. उत्तल लैंस तथा अवतल लैंस की लैंस क्षमता के चिन्ह लिखिए।
40. लैंस संयोजन की प्रभावी लैंस क्षमता का सूत्र लिखिए।

उत्तरमाला

1. समतल काँच की प्लेट, अनन्त
2. लेंस एक समतल काँच की प्लेट की तरह व्यवहार करता है।
3. $\frac{c}{\mu}$
4. $\mu:1$
5. $v_w > v_g > v_d$
6. लाल रंग के लिए।
7. प्रकाश का अपवर्तन।
8. 3:4
9. $\operatorname{cosec}\theta$
10. 90°
11. 1
12. $\frac{h}{h'} = \frac{_a\mu_d}{_a\mu_r}$
13. पूर्ण आन्तरिक परावर्तन।
14. $\frac{1}{f} = (\mu-1)\left(\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right)$ तथा

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

$$\therefore \quad \frac{f'}{f} = \left(\frac{\mu-1}{\frac{\mu}{\mu'}-1}\right) = \frac{\mu'(\mu-1)}{\mu-\mu'} \Rightarrow f' = \frac{f\mu'(\mu-1)}{(\mu-\mu')}$$

15. f तथा $\frac{3I}{4}$
16. लेंस के पदार्थ का अपवर्तनांक पानी से अधिक होगा।
17. $\frac{f_1+f_2}{f_1 f_2}$
18. $\angle i > \angle r$
19. किसी पदार्थ का अपवर्तनांक (i) माध्यम की प्रकृति, (ii) प्रकाश की तरंगदैर्ध्य तथा (iii) माध्यम के ताप पर निर्भर करता है।
20. अपवर्तनांक मात्रकहीन होता है।
21. $_a\mu_w \times {_w\mu_g} \times {_g\mu_a} = 1$
22. निर्वात के सापेक्ष किसी माध्यम के अपवर्तनांक को निरपेक्ष अपवर्तनांक कहते हैं।
23. हीरे का अपवर्तनांक 2.418 (अधिकतम) होता है।
24. किन्हीं माध्यमों के निरपेक्ष अपवर्तनांकों का अनुपात, उनके सापेक्ष अपवर्तनांक के बराबर होता है अर्थात्

$$_1\mu_2 = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

25. $d = it\left[1-\frac{1}{\mu}\right]$

जहाँ i = आपतन कोण, t = समान्तर पट्ट की मोटाई तथा μ = माध्यम का अपवर्तनांक।

26. माध्यम का अपवर्तनांक = $\frac{\text{वास्तविक गहराई}}{\text{आभासी गहराई}}$
27. लगभग 4 मिनट की वृद्धि
28. किसी सघन माध्यम से विरल माध्यम की ओर जाने वाली प्रकाश किरण के लिए आपतन कोण का वह चरम (विशिष्ट) मान जिसके संगत अपवर्तन कोण 90° होता है, क्रान्तिक कोण कहलाता है।
29. यदि $_2\mu_1$ सघन माध्यम 1 का विरल माध्यम 2 के सापेक्ष अपवर्तनांक हो तब-

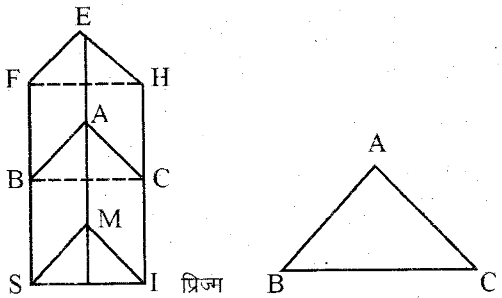
$$_2\mu_1 = \frac{1}{\sin i_c}$$

30. लगभग 24.4°
31. लगभग 42°
32. इसका उपयोग पेरिस्कोप, प्रकाशमापी आदि प्रकाशीय यंत्रों में होता है।
33. प्रकाशिक तन्तु प्रकाश के पूर्ण आंतरिक परावर्तन की घटना पर आधारित होता है।
34. पूर्ण आंतरिक परावर्तन।
35. $\frac{\mu}{v} - \frac{1}{u} = \frac{\mu-1}{R}$
36. $\frac{1}{f} = (\mu-1)\left[\frac{1}{R_1}-\frac{1}{R_2}\right]$
37. $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$
38. यदि फोकस दूरी मीटर में है तब लैंस क्षमता का मात्रक डायऑप्टर (D) होता है।
39. उत्तल लैंस की लैंस क्षमता धनात्मक तथा अवतल लैंस की लैंस क्षमता ऋणात्मक होती है।
40. प्रभावी लैंस क्षमता $P = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots$

11.8 प्रिज्म (Prism)

किसी कोण पर झुके दो अपवर्तक सतहों से घिरा पारदर्शी माध्यम प्रिज्म कहलाता है। प्रिज्म के जिन पृष्ठों से अपवर्तन होता है। उन्हें प्रिज्म के अपवर्तक पृष्ठ कहते हैं। दो अपवर्तक पृष्ठों के बीच का कोण प्रिज्म कोण या अपवर्तक कोण कहलाता है। साधारणत: प्रिज्म काँच के बने होते हैं एवं त्रिकोण का प्रत्येक कोण 60° का होता है। विशेष कार्यों के लिए प्रिज्म कोण 45° या 90° का भी होता है।

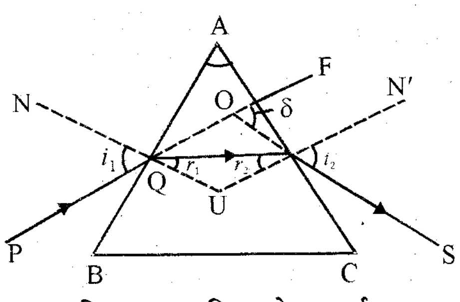
अपवर्तक पृष्ठों के अभिलंबत् किसी तल द्वारा काटे हुए परिच्छेद को प्रिज्म का मुख्य परिच्छेद (काट) कहते हैं। प्रिज्म को चित्र में केवल उसके मुख्य काट ABC से दिखाया गया है।



चित्र : 11.40

11.8.1 प्रिज्म से अपवर्तन (Refraction through a prism)

चित्र में ABC काँच के एक प्रिज्म का अनुप्रस्थ काट है। इसके अपवर्तक तल AB और AC के बीच का कोण A है। माना कि किसी एक रंग की एक प्रकाश किरण PQ प्रिज्म के पृष्ठ AB पर आपतित होती है। यह किरण अपवर्तक पृष्ठ AB पर अभिलंब NQU की ओर झुकती हुई QR दिशा में अपवर्तित हो जाती है। पृष्ठ AB पर आपतन कोण $\angle PQN = i_1$ तथा अपवर्तन कोण $\angle UQR = r_1$ है। अपवर्तित किरण QR पृष्ठ AC पर अभिलंब N'RU से दूर हटती हुई RS दिशा में बाहर वायु में निर्गत हो जाती है। पृष्ठ AC पर आपतन कोण $\angle QRU = r_2$ तथा अपवर्तन कोण या निर्गत कोण $\angle SRN' = i_2$ है। आपतित किरण PQ को आगे व निर्गत किरण RS को पीछे बढ़ाने पर वे बिन्दु O पर मिलती है। इन दोनों किरणों के बीच बना कोण $\angle FOS = \delta$ विचलन कोण कहलाता है।



चित्र 11.41 प्रिज्म से अपवर्तन

चित्र की ज्यामिति से स्पष्ट है कि UQAR एक चक्रीय चतुर्भुज है जिसके कोण $\angle AQU$ तथा $\angle ARU$ समकोण है। इसलिये शेष कोणों का योग 180° होगा।

$$\angle QUR + \angle A = 180° \quad ...(1)$$

चतुर्भुज के चारों कोणों का योग चार समकोण होता है। इसी प्रकार ΔQRU के तीनों कोणों का योग दो समकोण के बराबर होगा। अत:

$$\angle r_1 + \angle r_2 + \angle QUR = 180° \quad ...(2)$$

समी. (1) व (2) से $r_1 + r_2 = A$ ...(3)

पुन: ΔOQR के लिए $\angle FOR$ बहिष्कोण है इसलिये इसका मान अन्त:कोणों के योग के बराबर होगा।

$$\angle FOR = \delta = \angle OQR + \angle ORQ \quad ...(4)$$

परन्तु $\angle PQN$ तथा $\angle UQO$ सम्मुख कोण है

अत: $\angle OQR = i_1 - r_1$ ...(5)

इसी प्रकार $\angle ORQ = i_2 - r_2$ ...(6)

समी. (4), (5) व (6) से

$$\delta = (i_1 - r_1) + (i_2 - r_2)$$
$$\delta = (i_1 + i_2) - (r_1 + r_2)$$
$$\delta = (i_1 + i_2) - A \quad ...(7)$$

इस प्रकार विचलन कोण आपतन कोण पर निर्भर करता है।

यदि हम आपतन कोण i_1 के विभिन्न मान लेकर इस प्रयोग को दोहराए एवं प्रत्येक बार विचलन कोण δ का मान ज्ञात करें तो हम पाते हैं कि आपतन कोण i_1 के विभिन्न मानों के लिए विचलन कोण δ भी भिन्न-भिन्न आता है। प्रारम्भ में i_1 के मान के साथ δ का मान कम होता है तथा एक विशेष आपतन कोण i_1 के लिए इस δ का मान न्यूनतम हो जाता है। अब यदि i_1 के मान को बढ़ायें तो δ का मान भी पुन: बढ़ना प्रारम्भ हो जाता है। आपतन कोण के विभिन्न मान एवं उनसे प्राप्त विचलन कोण में ग्राफ को चित्र में बताया गया है। चित्र से स्पष्ट है कि किसी भी विचलन कोण के लिए आपतन कोण के दो मान हैं। परन्तु न्यूनतम विचलन की अवस्था में आपतन कोण का एक ही मान सम्भव है अर्थात् जब $\delta = \delta_m$ तो $i_1 = i_2$ एवं $r_1 = r_2$ होता है। इस समय आपतित किरण एवं निर्गत किरण का झुकाव (प्रिज्म से) बराबर होता है। अपवर्तित किरण QR आधार BC के समानान्तर होती है।

समी. (3) से $r_1 = r_2$

अत: दोनों को r अंकित करने पर

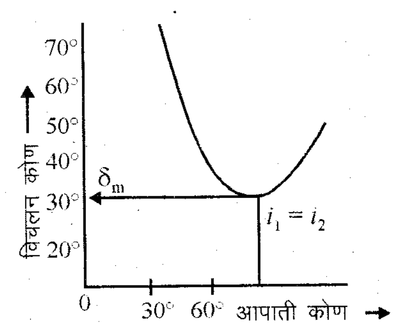
$$2r = A \text{ या } r = \frac{A}{2} \quad ...(8)$$

तथा $i_1 = i_2 = i$ है तो समी. (7) में $\delta = \delta_m$ होगा।

तथा $\delta_m = 2i - A$ या $2i = \delta_m + A$

$$\text{या} \quad i = \frac{\delta_m + A}{2} \quad ...(9)$$

अत: प्रिज्म से अपवर्तन के समय जब न्यूनतम विचलन होता है तो i व r का मान समी. (8) व (9) से दिया जाता है।



चित्र : 11.42

अपवर्तन के स्नैल के नियम से हम माध्यम का अपवर्तनांक निम्न सूत्र से देते हैं–

$$_1\mu_2 = \frac{\sin i}{\sin r}$$

समी. (8) व (9) से i व r का मान रखने पर (प्रकाश किरण हवा से प्रिज्म में प्रवेश कर रही है)

अत: ${}_1\mu_2 = \mu =$ काँच का अपवर्तनांक

$$\mu = \frac{\sin\left(\frac{A+\delta_m}{2}\right)}{\sin(A/2)} \quad ...(10)$$

इस सूत्र से प्रिज्म के पदार्थ (काँच) का अपवर्तनांक ज्ञात कर सकते हैं। छोटे कोण के प्रिज्म अर्थात् पतले प्रिज्म के लिए δ_m भी काफी कम होता है। छोटे कोणों के लिए $(\sin\theta \approx \theta)$

अत: $$\mu = \frac{\frac{A+\delta_m}{2}}{A/2}$$

$$\mu = \frac{A+\delta_m}{A}$$

या $$\mu A = A+\delta_m$$

$$\delta_m = (\mu-1)A \quad ....(1)$$

इस समीकरण से स्पष्ट है कि पतले प्रिज्म में प्रकाश का विचलन काफी कम होता है तथा प्रिज्म द्वारा विचलन उसके माध्यम के अपवर्तनांक एवं प्रिज्म कोण A पर निर्भर करता है। μ का मान प्रकाश के रंग पर निर्भर करता है।

उदाहरण 36. एक प्रिज्म का अपवर्तक कोण 60° है। यदि अल्पतम विचलन का कोण 38° हो, तो प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक ज्ञात कीजिये। ($\sin 49° = 0.7547$)

हल : सूत्र : $$\mu = \frac{\sin\left(\frac{A+\delta_m}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}$$

दिया है : $A = 60°, \delta_m = 38°$

सूत्र में मान रखने पर, $$\mu = \frac{\sin\left(\frac{60°+38°}{2}\right)}{\sin\frac{60°}{2}}$$

या $$\mu = \frac{\sin 49°}{\sin 30°} = \frac{0.7547}{0.5000} = 1.5094$$

उदाहरण 37. यदि $\mu = \sqrt{3}$ वाले काँच के प्रिज्म का न्यूनतम विचलन कोण इसके अपवर्तक कोण के बराबर है, तब प्रिज्म का कोण ज्ञात कीजिए।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.19

हल: दिया गया है– $A = \delta_m$, $\mu = \sqrt{3}$

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

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

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

$$\therefore \quad \frac{A}{2} = 30° \Rightarrow A = 60°$$

उदाहरण 38. प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक 1.65 है। यदि यह प्रकाश-किरणों को 7.5° के कोण से विचलित करता है, तो प्रिज्म के कोण की गणना कीजिए।

हल : $\delta = (\mu-1)A$

दिया है : $\mu = 1.65, \delta = 7.5°$

उपर्युक्त सूत्र से, $$A = \frac{\delta}{(\mu-1)}$$

मान रखने पर, $$A = \frac{7.5}{1.65-1} = \frac{7.5}{0.65} = 11.5°$$

उदाहरण 39. 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 μ, है तो आपतन कोण का मान ज्ञात करो।

पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.20

हल: चूंकि विपरीत पृष्ठ से किरण अभिलम्बवत् निर्गत है, यह तभी संभव 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 $\mu = \frac{\sin i}{\sin r_1} = \frac{i}{r_1}$ (लघु कोणों के लिए)

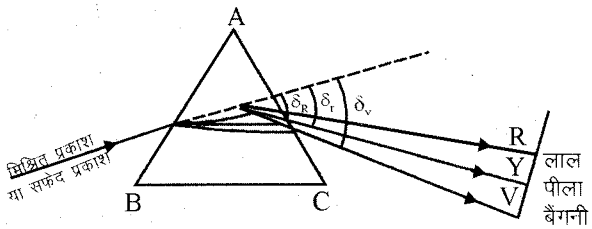
$\therefore \quad i = \mu r_1 = \mu A$

11.8.2 प्रकाश का विक्षेपण (Dispersion of Light)

श्वेत प्रकाश अनेक रंगों के प्रकाश का मिश्रण होता है। सूर्य से आने वाला प्रकाश श्वेत प्रकाश ही कहलाता है। "**जब श्वेत प्रकाश की किरण किसी पारदर्शी प्रिज्म पर आपतित होती है तो अपवर्तन के पश्चात् वह सात मुख्य रंगों में विभाजित हो जाती है। श्वेत प्रकाश की किरण का अपने संघटक रंगों वाली प्रकाश किरणों में विभाजन (विपाटन) होने की परिघटना को परिक्षेपण कहते हैं।**" निर्वात् में तथा वायु में सभी रंगों की प्रकाश किरणें एक ही चाल 3×10^8 मीटर/सेकण्ड से चलती है। परन्तु पदार्थिक माध्यम में भिन्न-भिन्न रंगों के प्रकाश की चाल अलग-अलग होती है जिसके कारण से वर्ण-परिक्षेपण उत्पन्न होता है।

प्रकाश के परिक्षेपण का कारण–

अत: किसी पदार्थ का अपवर्तनांक μ, भिन्न-भिन्न तरंग दैर्ध्यों (रंगों) के प्रकाश के लिए भिन्न-भिन्न होता है। काँच में लाल रंग के प्रकाश की चाल सबसे अधिक तथा बैंगनी रंग के प्रकाश की चाल सबसे कम होती है। चूँकि किसी पदार्थ का अपवर्तनांक μ का मान प्रकाश की उस पदार्थ में चाल के व्युत्क्रमानुपाती होता है अत: काँच का अपवर्तनांक लाल प्रकाश के लिए सबसे कम तथा बैंगनी प्रकाश के लिए सबसे अधिक होता है। इस प्रकार बैंगनी प्रकाश का विचलन सबसे अधिक व लाल प्रकाश का विचलन सबसे कम होता है। (चित्र)



चित्र 11.43

प्रिज्म से वर्ण परिक्षेपण के पश्चात् विभिन्न संघटक रंग इस क्रम में दिखाई देते हैं। बैंगनी, जामुनी, नीला, हरा, पीला, नारंगी और लाल। रंगों के इस क्रम को अंग्रेजी में **"VIBGYOR"** अथवा हिन्दी में **''बैंजानीहपीनाला''** के रूप में याद रखा जा सकता है।

''प्रिज्म से वर्ण परिक्षेपण के पश्चात् प्रकाश के संघटक रंगों के प्रतिरूप को स्पेक्ट्रम कहते हैं।'' प्रिज्म से प्राप्त स्पेक्ट्रम को दृश्य स्पेक्ट्रम कहते हैं। दृश्य स्पेक्ट्रम में लाल प्रकाश दीर्घ तरंगदैर्ध्य के सिरे (~750 *nm*) पर जबकि बैंगनी प्रकाश लघु तरंगदैर्ध्य के सिरे (~400 *nm*) पर होता है।

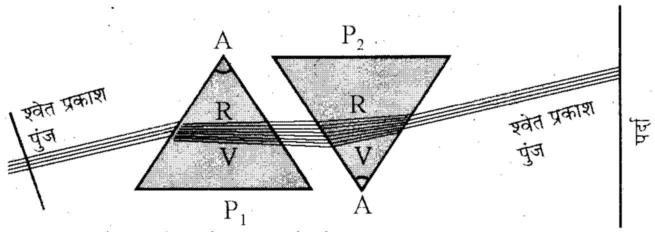
तालिका

क्राउन व फ्लिंट काँच के लिए विभिन्न रंगों के लिए अपवर्तनांक

रंग	तरंग लम्बाई	अपवर्तनांक	
		क्राउन	फ्लिंट
बैंगनी	3969Å	1.533	1.633
नीला	4861Å	1.523	1.639
पीला	5893Å	1.517	1.627
लाल	6563Å	1.515	1.622

महत्वपूर्ण तथ्य

1. आपतित किरण एवं निर्गत किरण के मध्य बने कोण को विचलन कोण कहते हैं।
2. काँच के स्लैब में प्रकाश के प्रवेश करने पर वह अपने संघटक रंगों में विभक्त हो जाता है। विभिन्न रंगों का यह प्रकाश जब दूसरे फलक से बाहर निकलता है तो पुन: श्वेत प्रकाश उत्पन्न करता है। अत: काँच की स्लैब से परिक्षेपण व विचलन दोनों ही नहीं होते हैं तथा स्लैब द्वारा वर्ण विपथन नहीं होता है।
3. श्वेत प्रकाश के परिक्षेपण पर न्यूटन के क्लासिकी प्रयोग का व्यवस्था आरेख–



4. मोटे लैंसों को अनेक प्रिज्मों से मिलकर बना हुआ माना जा सकता है। इसलिए मोटे लैंस प्रकाश के परिक्षेपण के कारण वर्ण विपथन (chromatic abberation) क्लासिकी प्रयोग दर्शाते हैं।
5. **वर्ण विपथन**–''लैंस द्वारा निर्मित श्वेत वस्तु का प्रतिबिंब साधारणतया रंगीन और अस्पष्ट होता है प्रतिबिंब के इस दोष को वर्ण विपथन कहते हैं।'' यह दोष इस कारण से उत्पन्न होता है क्योंकि लैंस के पदार्थ के अपवर्तनांक तथा इस कारण लैंस की फोकस दूरी अलग-अलग रंगों के लिए अलग-अलग होती है। यह दोष केवल लैंसों में होता है, दर्पणों में नहीं।

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

चूँकि $\mu_r < \mu_v$

अत: $f_r > f_v$

6. परिक्षेपण का कारण किसी माध्यम का अपवर्तनांक विभिन्न तरंगदैर्ध्यों (रंगों) के लिए भिन्न-भिन्न होता है।
7. निर्वात् में प्रकाश की चाल तरंगदैर्ध्य पर निर्भर नहीं करती अत: निर्वात् अथवा वायु एक अपरिक्षेपी माध्यम है। जिसमें सभी रंग समान चाल से गमन करते हैं।
8. काँच एक परिक्षेपी माध्यम है जिसमें सभी रंग भिन्न-भिन्न चाल से गमन करते हैं।
9. मोटे लैंस परिक्षेपण के कारण रंगीन प्रतिबिंब बनाते हैं।
10. वर्ण विपथन दो प्रकार का होता है (i) अनुदैर्ध्य या अक्षीय वर्ण विपथन (ii) पार्श्वीय वर्ण विपथन।
11. एक अकेला लैंस कभी भी वर्ण विपथन के दोष को दूर नहीं कर सकता परन्तु लैंस की फोकस दूरी जितनी कम होगी अर्थात् लैंस की क्षमता जितनी अधिक होगी लैंस में वर्ण विपथन उतना ही कम होगा।
12. वर्ण विपथन दोष को दूर करने के लिए दो अथवा दो से अधिक लैंसों को संयुक्त करके एक लैंस युग्म इस प्रकार का बनाया जाए कि उसके द्वारा सभी रंगों के प्रतिबिंब एक ही स्थिति में बनें तथा उनके आकार भी बराबर हों तो ऐसे लैंस युग्म को अवर्णक लैंस युग्म कहते हैं। युग्म के इस गुण को अवर्णता कहते हैं।
13. प्रिज्म से प्रकाश के विचलन के साथ-साथ परिक्षेपण भी होता है।

कोणीय विक्षेपण (Angular dispersion)

बैंगनी व लाल रंग के विचलन के अन्तर में हमें स्पेक्ट्रम दिखाई देता है। इस अन्तर को ($\theta = \delta_v - \delta_r$) कोणीय विक्षेपण कहते हैं।

$$\theta = \delta_V - \delta_r = A(\mu_v - \mu_r) \quad ...(1)$$

θ का मान अधिक होने पर स्पेक्ट्रम की चौड़ाई अधिक होती है।

वर्ण विक्षेपण क्षमता (Dispersive power)

दो रंगों के कोणीय विक्षेपण (θ) एवं मध्यमान रंग के विचलन (δ) के अनुपात को उन रंगों के लिए प्रिज्म की वर्ण विक्षेपण क्षमता कहते हैं। इसे ω (ओमेगा) से व्यक्त करते हैं।

$$\omega = \frac{\theta}{\delta_y} = \frac{\delta_V - \delta_r}{\delta_y} \quad ...(2)$$

परन्तु $\delta = (\mu-1)A$ से

$\delta_v = (\mu_v - 1)A$ तथा

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

तथा $\delta_y = (\mu_y - 1)A$ को समी. (2) में रखने पर

$$\omega = \frac{\mu_V - \mu_r}{\mu_y - 1} \quad ...(3)$$

यहाँ μ_v, μ_r, μ_y क्रमश: बैंगनी, लाल व पीले रंग के लिए अपवर्तनांक है।

उदाहरण 40. एक प्रिज्म के पदार्थ का लाल रंग के लिये अपवर्तनांक 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। **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.21**

हल: प्रश्नानुसार, $\mu_R = 1.58$, $\mu_B = 1.60$ तथा $A = 2^\circ$

लाल रंग के लिये विचलन

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

नीले रंग के लिये विचलन

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

अतः प्रिज्म द्वारा उत्पन्न कोणीय विक्षेपण

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

उदाहरण 41. 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। **पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.22**

हल: प्रश्नानुसार, $\mu_R = 1.514$, $\mu_v = 1.523$ तथा $A = 6^\circ$

प्रिज्म द्वारा उत्पन्न कोणीय विक्षेपण

$$\theta = (\mu_v - \mu_R)A$$

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

सूर्य के प्रकाश के कारण कुछ प्राकृतिक परिघटनाएँ (Natural Incident by Sun Light)

सूर्य के प्रकाश के कारण हमारे चारों ओर वस्तुओं के साथ प्रकाश के खेल में बहुत-सी रमणीय प्राकृतिक परिघटनाएँ देखने को मिलती है। जैसे आकाश का नीला प्रतीत होना, श्वेत बादल, सूर्योदय तथा सूर्यास्त के समय आकाश भी लालिमा (रक्ताभ), इंद्रधनुष, कुछ पक्षियों के पंखों, सीपियों, शंखों एवं मोतियों की रंग-बिरंगी चमक कुछ कुछ ऐसे अद्भुत एवं आश्चर्यजनक प्राकृतिक चमत्कार देखने को मिलते हैं।

11.9 प्रकाश का प्रकीर्णन (Scattering of Light)

जब सूर्य के श्वेत प्रकाश की किरणें किसी खुरदुरे पृष्ठ जैसे वायुमण्डल के कणों आदि पर आपतित होती हैं तो परावर्तित किरणें उसी माध्यम में विभिन्न दिशाओं में बिखर जाती हैं इस घटना को प्रकाश का प्रकीर्णन कहते हैं।

रैले के अनुसार प्रकीर्णन की मात्रा अर्थात् प्रकीर्णित प्रकाश की तीव्रता प्रकाश की तरंगदैर्ध्य की चतुर्थ घात (λ^4) के व्युत्क्रमानुपाती होती है। इसे **रैले प्रकीर्णन** कहते हैं। अतः लघु तरंगदैर्ध्य का प्रकाश दीर्घ तरंगदैर्ध्यों की तुलना में कहीं अधिक प्रकीर्णित होता है।

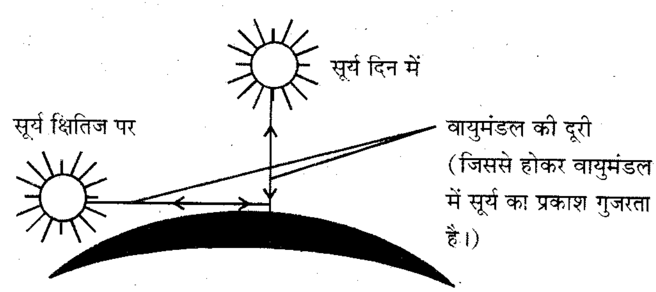
11.9.1 प्रकीर्णन पर आधारित कुछ घटनाएँ (Phenomenon related to scattering)

(i) आकाश का नीला दिखाई देना–जब सूर्य का प्रकाश वायुमण्डल में अणुओं पर आपतित होता है तो रैले के अनुसार नीले रंग की किरणों का प्रकीर्णन लाल रंग की अपेक्षा अधिक प्रबलता से होता है। वास्तव में बैंगनी रंग की तरंगदैर्ध्य और भी कम होने के कारण यह नीले रंग से भी अधिक प्रबलता से प्रकीर्ण होता है। लेकिन हमारी आँखें बैंगनी रंग की अपेक्षा नीले रंग के लिए अधिक सुग्राही हैं इसलिए इस प्रकीर्णित प्रकाश के कारण "आकाश नीला" दिखाई देता है। लाल रंग की किरणों का प्रकीर्णन न्यून होने से, ये वायुमण्डल द्वारा अवशोषित कर लिया जाता है।

(ii) बादलों का सफेद दिखाई देना–यदि $a << \lambda$, तो रैले प्रकीर्णन होता है जो कि $\left(\frac{1}{\lambda^4}\right)$ के समानुपाती होता है। जहाँ λ प्रकाश की तरंगदैर्ध्य तथा a प्रकीर्णक का साइज है। यदि $a >> \lambda$; अर्थात् बड़े साइज की प्रकीर्णक वस्तु जैसे बड़े आकार के धूल के कण, वर्षा की बड़ी बूंदों अथवा हिमकण आदि के लिए प्रकीर्णन सभी रंगों के लिए लगभग समान होता है। रैले प्रकीर्णन नहीं होता।

अतः वायुमण्डल में उपस्थित धूल के कण एवं वर्षा की बड़ी बूंदों द्वारा सूर्य की प्रकाश किरणों का प्रकीर्णन सभी तरंगदैर्ध्यों के लिए लगभग समान होता है। इसीलिए बादल सामान्यतः सफेद (श्वेत) दिखाई देते हैं।

(iii) सूर्योदय तथा सूर्यास्त के समय सूर्य का रक्ताभ या लाल दिखाई देना–सूर्योदय तथा सूर्यास्त के समय सूर्य से आती हुई प्रकाश किरणों को वायुमण्डल में अधिक मार्ग तय करना पड़ता है (चित्र)।



चित्र : 11.44 सूर्य का सूर्यास्त पर एवं सूर्योदय पर लाल एवं आकाश का नीला दिखाई देना

नीले रंग की किरणों का प्रकीर्णन अधिक मात्रा में होने के कारण ये किरणें आकाश में बिखर जाती हैं जबकि लाल रंग की किरणों की तरंगदैर्ध्य अधिक होने के कारण उनका प्रकीर्णन कम मात्रा में होता है अतः प्रकाश का सबसे कम प्रकीर्णित भाग जो हमारी आँखों तक पहुँचता है। रक्ताभ या लाल प्रतीत होता है। यही कारण है कि क्षितिज के निकट होने पर सूर्य रक्ताभ या लाल प्रतीत होता है। इसी कारण से क्षितिज के निकट पूर्ण चंद्रमा भी रक्ताभ प्रतीत होता है।

महत्वपूर्ण तथ्य

(1) वैज्ञानिक रैले के अनुसार प्रकीर्णित प्रकाश की तीव्रता $\propto \frac{1}{\lambda^4}$ या υ^4

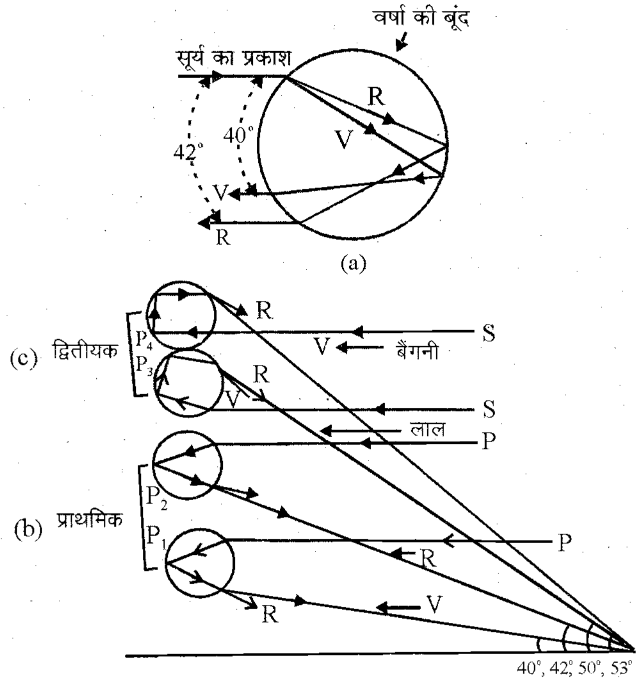
(2) **प्रत्यास्थ प्रकीर्णन**–जब आपतित प्रकाश की तरंगदैर्ध्य तथा प्रकीर्णित प्रकाश की तरंगदैर्ध्य समान हो तो प्रकीर्णन को प्रत्यास्थ प्रकीर्णन कहते हैं।

(3) **अप्रत्यास्थ प्रकीर्णन (रमन प्रभाव)**–कुछ विशेष परिस्थितियों में प्रकीर्णित प्रकाश की तरंगदैर्ध्य आपतित तरंगदैर्ध्य से भिन्न होती है तब प्रकीर्णन को अप्रत्यास्थ प्रकीर्णन कहते हैं।

11.10 इंद्रधनुष (Rainbow)

प्रकृति में इंद्रधनुष वायुमण्डल में उपस्थित जल की बूंदों के द्वारा प्रकाश के परिक्षेपण एवं सूर्य के स्पेक्ट्रम का एक अच्छा उदाहरण है। वर्षा ऋतु में वर्षा के पश्चात् अथवा जब हल्की वर्षा हो रही हो तो सूर्य के विपरीत दिशा में धनुष की आकृति का सात रंगों का इंद्रधनुष दिखाई देता है। यह सूर्य के प्रकाश का जल की

गोलीय सूक्ष्म बूंदों द्वारा परिक्षेपण, अपवर्तन तथा आन्तरिक परावर्तन के संयुक्त प्रभाव की परिघटना है। जब इंद्र धनुष में रंगों का क्रम लाल रंग से बैंगनी रंग की ओर होता है तो हमें प्राथमिक इंद्रधनुष दिखाई देता है। कभी-कभी एक इंद्र धनुष के ऊपर दूसरा इंद्रधनुष दिखाई देता है। ऊपर वाले इंद्रधनुष में रंगों का क्रम बैंगनी से लाल रंग की ओर होता है। इसे द्वितीयक इंद्रधनुष कहते हैं।



चित्र 11.45 प्राथमिक एवं द्वितीयक इन्द्रधनुष

सूर्य का प्रकाश सर्वप्रथम वर्षा की बूंद में प्रवेश करते समय अपवर्तित होता है, जिसके कारण श्वेत प्रकाश विभिन्न तरंगदैर्ध्यों में पृथक हो जाता हैं। प्रकाश की उच्चतरंगदैर्ध्य (लाल) सबसे कम मुड़ती हैं जबकि निम्न तरंगदैर्ध्य (बैंगनी) सबसे अधिक मुड़ती है। इसके पश्चात् ये संघटक किरणें बूंद के भीतरी पृष्ठ से टकराती हैं और जब बूंद पृष्ठ पर अभिलंब और अपवर्तित किरण के बीच का कोण क्रांतिक कोण (48°) से अधिक हो जाता है तो आंतरिकत: परावर्तित हो जाती है। यह परावर्तित प्रकाश, बूंद से बाहर निकलते समय (चित्र a) पुन: अपवर्तित हो जाता है। सूर्य से आने वाले प्रकाश के सापेक्ष बैंगनी प्रकाश 40° के कोण पर तथा लाल प्रकाश 42° के कोण पर निर्गत होता है। अन्य रंगों के लिए कोणों के मान इन दोनों के मध्य होते हैं। चित्र (b) में प्राथमिक इंद्रधनुष का बनना समझाया गया है। हम देखते हैं कि बूंद P_1 से बैंगनी प्रकाश तथा बूंद P_2 से लाल प्रकाश प्रेक्षक की आँखों तक पहुँचता है। बूंद P_1 आने वाला लाल तथा बूंद P_2 से आने वाला बैंगनी प्रकाश प्रेक्षक की आँखों से नीचे अथवा ऊपर की ओर दिष्ट होते हैं। इस प्रकार प्रेक्षक इंद्रधनुष के शीर्ष पर लाल रंग और पैंदी पर बैंगनी रंग देखता है। सभी रंगों को एक साथ देखने के लिए अनेक बूंदों की आवश्यकता होती है। इस प्रकार प्राथमिक इंद्रधनुष तीन चरणीय प्रक्रम अर्थात् अपवर्तन, परावर्तन तथा पुन: अपवर्तन का परिणाम है।

जब प्रकाश की किरणें किसी वर्षा की बूंद के भीतर एक बार की बजाए दो बार आंतरिकत: परावर्तित होती हैं तो द्वितीयक इंद्रधनुष बनता है (चित्र c) यह चार चरणीय प्रक्रम है। द्वितीय परावर्तन के प्रक्रम में प्रकाश की तीव्रता कम हो जाती है। इसलिए द्वितीयक इंद्रधनुष प्राथमिक इंद्रधनुष की तुलना में धुंधला होता है तथा इसमें रंगों का क्रम प्राथमिक इंद्रधनुष की तुलना में उल्टा होता है। चित्र में बूंद P_3 व P_4 से इसका बनना बताया गया है। इस स्थिति में निर्गत किरणों का आपाती किरणों से झुकाव बैंगनी रंग के लिए 53° व लाल रंग के लिए 50° के लगभग होता है।

इंद्रधनुष के गुण :

1. प्रेक्षक के पृथ्वी पर होने के कारण वह पूर्ण वृत्त में स्थित बूंदों से आ सकने वाली प्रकाश किरणों में असमर्थ होता है। इसलिए इंद्रधनुष वृत्त के केवल छोटे भाग के रूप में ही दिखाई देता है।
2. प्राथमिक इंद्रधनुष का बाहरी किनारा लाल तथा आंतरिक किनारा बैंगनी होता है।
3. लाल रंग का झुकाव कोण 42° तथा बैंगनी रंग का झुकाव कोण 40° होता है।
4. प्राथमिक इंद्रधनुष प्रेक्षक की आँख पर 2° का दर्शन कोण बनाता है।
5. प्राथमिक इंद्रधनुष, द्वितीयक इंद्रधनुष की तुलना में अधिक चमकीला होता है।
6. द्वितीयक इंद्रधनुष प्रेक्षक की आँख पर 3° का दर्शन कोण बनाता है।
7. द्वितीयक इंद्रधनुष का बाहरी किनारा बैंगनी तथा आंतरिक किनारा लाल होता है।

प्राथमिक एवं द्वितीयक इन्द्रधनुष में अन्तर

क्र.	प्राथमिक इन्द्रधनुष	द्वितीयक इन्द्रधनुष
1.	इसमें लाल रंग बाह्य किनारे पर तथा बैंगनी रंग आन्तरिक किनारे पर होता है।	इसमें बैंगनी रंग बाह्य किनारे पर तथा लाल रंग आन्तरिक किनारे पर होता है।
2.	प्राथमिक इन्द्रधनुष तीव्र होता है।	द्वितीयक इन्द्रधनुष फीका होता है।
3.	इसकी कोणीय चौड़ाई कम (2°) होती है।	इसकी कोणीय चौड़ाई अधिक (3°) होती है।
4.	यह द्वितीयक इन्द्रधनुष के नीचे होता है।	यह प्राथमिक इन्द्रधनुष के ऊपर होता है।
5.	इसका निर्माण दो अपवर्तन और एक आन्तरिक परावर्तन के कारण होता है।	इसका निर्माण दो अपवर्तन और दो आन्तरिक परावर्तन के कारण होता है।

इन्द्रधनुष से सम्बन्धित महत्त्वपूर्ण तथ्य

(1) इन्द्रधनुष के निर्माण हेतु आवश्यक शर्तें हैं–(i) सूर्य प्रेक्षक के पीठ की ओर हो, (ii) वर्षा के बाद आकाश साफ हो, सूर्य प्रकाश चमकीला हो तथा सूर्य के विपरीत ओर बादल हो।

(2) मध्याह्न में इन्द्रधनुष दिखाई नहीं देता, क्योंकि उस समय सूर्य प्रेक्षक के पीठ की ओर नहीं होता।

(3) द्वितीयक इन्द्रधनुष में प्रकाश का दो बार अपवर्तन तथा दो बार आन्तरिक परावर्तन होता है, जबकि प्राथमिक इन्द्रधनुष में प्रकाश का दो बार अपवर्तन एवं एक बार आन्तरिक परावर्तन होता है। इस प्रकार द्वितीयक इन्द्रधनुष बनते समय प्रकाश का अधिक अवशोषण होता है। अत: वह फीका होता है।

(4) प्राथमिक इन्द्रधनुष का निर्माण उस समय होता है, जबकि प्रकाश की किरणें जल बूँदों के केन्द्र के ऊपर आपतित होती हैं तथा द्वितीयक इन्द्रधनुष का निर्माण उस समय होता है, जबकि प्रकाश की किरणें जल बूँदों के केन्द्र के नीचे आपतित होती हैं। अत: द्वितीयक इन्द्रधनुष में रंगों का क्रम प्राथमिक इन्द्रधनुष की तुलना में विपरीत होता है।

11.11 प्रकाशिक यंत्र (Optical Instruments)

जब वस्तुएँ बहुत सूक्ष्म अथवा बहुत दूर स्थित होती है तो हमारी आँखें उन्हें स्पष्ट नहीं देख पाती है। जिन युक्तियों या उपकरणों द्वारा उन्हें स्पष्ट एवं आवर्धित देख सकते हैं प्रकाशीय उपकरण कहलाते हैं।

दर्पणों, लैंसों तथा प्रिज्मों के परावर्ती तथा अपवर्ती गुणों का उपयोग करके अनेक प्रकाशिक युक्तियाँ एवं यंत्र तैयार किये जाते हैं। जैसे परिदर्शी, बहुमूर्तिदर्शी, द्विनेत्री, दूरदर्शक, सूक्ष्मदर्शी आदि। नेत्र सबसे महत्त्वपूर्ण प्राकृतिक प्रकाशीय उपकरण हैं जो प्रकृति की देन है।

11.11.1 नेत्र (Eye)

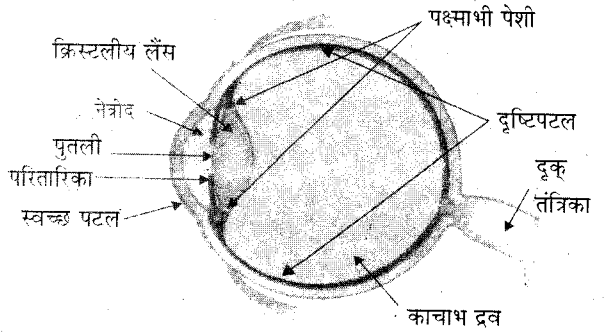
नेत्र एक गोलाकार गेंद की भाँति होती है। (चित्र)

नेत्र के गोले की रक्षा के लिए एक श्वेत पटल (Sclera) अपारदर्शक भाग नेत्र को ढके रहता है। श्वेतपटल के मध्य में उभरे हुए वक्रीय पृष्ठ को कॉर्निया (cornea) या स्वच्छ पटल कहते हैं। यह एक प्रकार का पारदर्शक लैंस होता है।

इसके पीछे एक परितारिका या आइरिस (Iris) नामक अपारदर्शक पर्दा होता है। जिसके केन्द्र में एक छोटा-सा छिद्र होता है जिसे पुतली (pupil) कहते हैं। आइरिस पुतली के आकार को नियंत्रित करती है। तेज प्रकाश में आइरिस पुतली के आकार को कम कर देती है और धुँधले प्रकाश में यह पुतली अधिक प्रकाश ग्रहण करने के लिए बड़ी हो जाती है। आइरिस कैमरे के डायफ्राम की तरह कार्य करती है।

आइरिस के पीछे नेत्र लैंस पक्ष्माभी पेशियों की सहायता से अपने स्थान पर लगा होता है। यह एक लचीले पदार्थ का बना उत्तल लैंस होता है। दोनों पृष्ठों की वक्रता त्रिज्या अलग-अलग होती है। पक्ष्माभी पेशियों के द्वारा नेत्र लैंस की आकृति (वक्रता) परिवर्तित की जा सकती है। जिससे लैंस की फोकस दूरी बदल सकती है। इस लैंस से देखने वाली वस्तु का उल्टा, छोटा एवं वास्तविक प्रतिबिंब बनता है। कॉर्निया और नेत्र लैंस के मध्य एक द्रव भरा होता है जिसे नेत्रोद या जलीय द्रव कहते हैं। कॉर्निया के सामने स्थित नेत्र का अन्य महत्त्वपूर्ण भाग रेटिना (दृष्टिपटल) (Retina) होता है। नेत्र लैंस और रेटिना के बीच खोखले कोष्ठ में एक लसेदार गाढ़ा पदार्थ भरा रहता है जिसे विट्रीयस ह्यूमर (काचाभ द्रव) कहते हैं। प्रकाश कॉर्निया से प्रवेश करते हुए पुतली में से गुजरता है। नेत्र लैंस इस प्रकाश को फोकसित करके रेटिना पर प्रतिबिंब बना देता है। रेटिना तंत्रिका तंतुओं की एक पतली झिल्ली होती है जो नेत्र के पीछे के वक्रित पृष्ठ को ढके रखती है। रेटिना में शलाका और शंकु होते हैं जो क्रमशः प्रकाश की तीव्रता तथा रंग के प्रति संवेदनशील होते हैं तथा दृक् तंत्रिकाओं से होकर विद्युतीय संकेतों को मस्तिष्क तक प्रेषित करते हैं जो इस सूचना को अंततः संसाधित कर प्रतिबिंब को सीधा बताता है।

जब पेशियाँ शिथिल होती हैं तो नेत्र लैंस और रेटिना के बीच की दूरी अर्थात् नेत्र लैंस की फोकस दूरी 2.5 cm होती है।



चित्र : 11.46 नेत्र की संरचना

नेत्र की समंजन क्षमता (Accommodation Power of Eye)

जब पेशियाँ शिथिल होती हैं तो नेत्र लैंस और रेटिना की दूरी निश्चित रहती है तथा अनंत दूरी पर स्थित वस्तुओं के प्रतिबिंब रेटिना पर स्पष्ट फोकसित होते हैं। जब वस्तु को नेत्र के निकट लाया जाता है तो रेटिना पर उसका प्रतिबिंब प्राप्त करने के लिए माँसपेशियाँ नेत्र लैंस पर दबाव डालकर लैंस की वक्रता त्रिज्या को इस प्रकार समंजित करती हैं कि लैंस की फोकस दूरी कम हो जाती है और प्रतिबिंब रेटिना पर ही प्राप्त हो।

"माँस पेशियों द्वारा नेत्र लैंस की फोकस दूरी परिवर्तित करने के गुण को ही नेत्र की समंजन क्षमता कहते हैं।" नेत्र के इस गुण के कारण ही विभिन्न दूरियों पर रखी वस्तुओं के प्रतिबिंब स्वतः ही रेटिना पर बनने लगते हैं।

स्वस्थ नेत्र की सामान्य अवस्था में अनंत दूरी पर स्थित वस्तुओं का प्रतिबिंब रेटिना पर बनता है। इस स्थिति में लैंस अपनी प्राकृतिक अवस्था में होता है अर्थात् माँसपेशियाँ इस पर दबाव नहीं डालती है। जब वस्तु निकट आती है तो लैंस समंजित हो जाता है परन्तु नेत्र के समंजन की भी एक सीमा होती है। यदि वस्तु नेत्र के बहुत निकट है तो लैंस इतना अधिक वक्रित नहीं हो पाता कि वस्तु का स्पष्ट प्रतिबिंब रेटिना पर बना सके, जिसके कारण वस्तु का धुँधला प्रतिबिंब बनता है। अतः **"वह कम से कम दूरी जिस पर रखी वस्तु का सामान्य नेत्र लैंस रेटिना पर स्पष्ट प्रतिबिंब बना देता है, उसे स्पष्ट दर्शन की अल्पतम दूरी कहते हैं। इस दूरी पर स्थित बिन्दु को सामान्य नेत्र का निकट बिन्दु कहते हैं।"** स्वस्थ नेत्र के लिए इसका मानक मान 25cm लिया गया है। प्रायः निकट बिंदु को D के द्वारा प्रदर्शित करते हैं। **"शिथिल अवस्था में नेत्र जितनी दूर तक देख सकता है उस दूरी पर स्थित बिंदु को नेत्र का दूर बिंदु कहते हैं।"** स्वस्थ नेत्र के लिए इसका मान अनंत होता है।

दूर बिंदु व नेत्र के बीच की दूरी को 'दृष्टि विस्तार' कहते हैं। अतः स्वस्थ नेत्र अनंत और 25cm के बीच रखी वस्तुओं को स्पष्टता से देख सकता है।

प्रत्येक मनुष्य में नेत्र की समंजन क्षमता भिन्न-भिन्न होती है। नेत्र रोगों अधिक कार्य, कम या तीव्र प्रकाश में कार्य करने और कई कारणों से नेत्र की समंजन क्षमता कम हो जाती है । आयु में वृद्धि के साथ पक्ष्माभी पेशियाँ उतनी प्रभावकारी नहीं रह पाती तथा साथ ही लैंस का लचीलापन भी घट जाता है और समंजन क्षमता कम हो जाती है। जिसके कारण आँख के निकट बिंदु और दूर बिंदु भी परिवर्तित हो जाते हैं तथा हमारी आँखों में दृष्टिदोष विकसित हो जाते हैं।

दृष्टिदोष तथा उसका निवारण (Defects of Vision Their Corrections)

(i) निकट दृष्टिदोष (Myopia or Short Sightedness)

यदि किसी दूरस्थ वस्तु से आने वाले प्रकाश को नेत्र लैंस रेटिना से पहले ही किसी बिंदु पर फोकसित (अभिसरित) करता है तो इस दोष को निकट दृष्टिदोष कहते हैं।

इस दोष से पीड़ित व्यक्ति का दूर बिंदु अनंत पर स्थित नहीं होता है अतः वह दूरस्थ वस्तुओं को स्पष्ट नहीं देख सकता है। नेत्र लैंस की फोकस

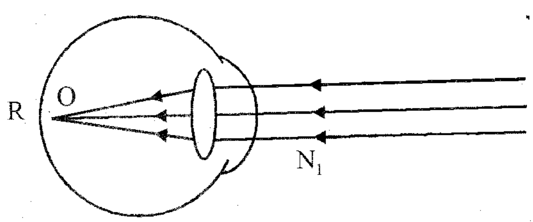
दूरी कम हो जाती है अत: अनंत से आने वाले प्रकाश की समांतर किरणावली रेटिना पर फोकस न होकर रेटिना और नेत्र लैंस के बीच कहीं फोकस हो जाती है [चित्र (a)] ये किरणें O पर फोकस हो गई है। अत: अनंत पर रखी वस्तु साफ दिखाई नहीं देगी। इस दोष से पीड़ित व्यक्ति जब शिथिलावस्था में आँख रखता है तो उसका दूर बिन्दु अनन्त की अपेक्षा एक बिन्दु F पर स्थित पाया जाता है अर्थात् उसका दूर बिंदु निकट आ जाता है [चित्र (b)]। इसका अर्थ यह है कि नेत्र आपतित पुंज को अत्यधिक अभिसरित कर रहा है तो इसे प्रतिकारित करने के लिए एक अवतल (अपसारी) लैंस की आवश्यकता होती है जिसके अपसारी प्रभाव के कारण प्रतिबिंब रेटिना पर सही फोकसति हो जाए। इस प्रकार अवतल लैंस का उपयोग करके दूर बिंदु को अनंत पर स्थापित किया जा सकता है। अवतल लैंस की फोकस दूरी इतनी होनी चाहिए कि अनंत से आने वाली प्रकाश किरणें F से आती हुई दिखाई दें [चित्र (c)] जिसे आँख देख सकती हैं। यदि किसी व्यक्ति का दूर बिंदु d दूरी पर स्थित है तो उसे d फोकस दूरी के अवतल लैंस का उपयोग करना चाहिए।

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

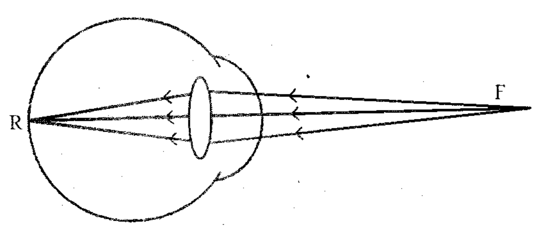
जहाँ $u=\infty$, $v=-d$ (दोषी आँख का दूर बिंदु)

तब $f=-d$

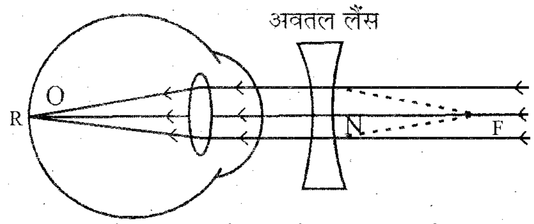
अत: फोकस दूरी ऋणात्मक होगी।



(a) निकट दृष्टि दोष से पीड़ित मनुष्य की आँख



(b) निकट दृष्टि दोष से पीड़ित व्यक्ति शिथिलावस्था में देखने पर बिन्दु F तक ही दिखाई देता है।



(c) अवतल लैंस का उपयोग करके दूर बिन्दु को अनन्त पर स्थापित किया जा सकता है।

चित्र 11.47

(ii) दीर्घ दृष्टिदोष (Hypermetropia or Long Sightedness)—यदि आँख के निकट रखी वस्तु से आने वाले प्रकाश को नेत्र लैंस रेटिना के पीछे किसी बिंदु पर फोकसित करता है तो इस दोष को दीर्घ दृष्टिदोष कहते हैं।

इस दोष से पीड़ित व्यक्ति को दूरस्थ वस्तुएँ तो स्पष्ट दिखलाई पड़ती हैं परन्तु आँख के निकट रखी वस्तुएँ स्पष्ट दिखाई नहीं देती। आयु बढ़ने के साथ आमतौर पर यह दोष उत्पन्न हो जाता है।

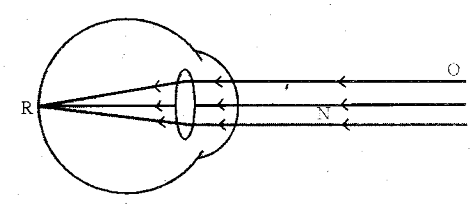
समान्तर किरणों का प्रतिबिंब तो रेटिना पर बन जाता है [चित्र (a)] परन्तु स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी (D) पर बिन्दु (N) पर रखी वस्तु का प्रतिबिंब रेटिना के पीछे बनता है अर्थात् उसका निकट बिंदु बढ़ जाता है। [चित्र (b)] ऐसा नेत्र लैंस की फोकस दूरी के बढ़ने से या नेत्र लैंस और रेटिना के बीच दूरी कम हो जाने से होता है। इस दोष को दूर करने के लिए उत्तल (अभिसारी) लैंस की आवश्यकता होती है जिससे निकट बिन्दु को स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी D पर लाया जा सके। अब यदि नेत्र लैंस के साथ एक उत्तल लैंस रख दिया जाए तो N बिन्दु पर रखी वस्तु से चलने वाली किरणें बिंदु O से आती प्रतीत होगी [चित्र (c)]। यहाँ OL = d है। दूरी d दीर्घ दृष्टि से पीड़ित व्यक्ति के निकट बिंदु की दूरी है। उत्तल लैंस की फोकस दूरी f इतनी होनी चाहिए कि वह D दूरी पर रखी वस्तु को d दूरी पर फोकसित कर दे।

अत: लैंस सूत्र से $\frac{1}{f}=\frac{1}{v}-\frac{1}{u}$

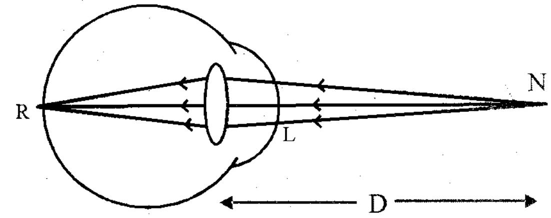
जहाँ $u=-D$, $v=-d$, (दोषी आँख का निकट बिंदु), $D=25cm=0.25m$

या $\frac{1}{f}=-\frac{1}{d}+\frac{1}{0.25}$

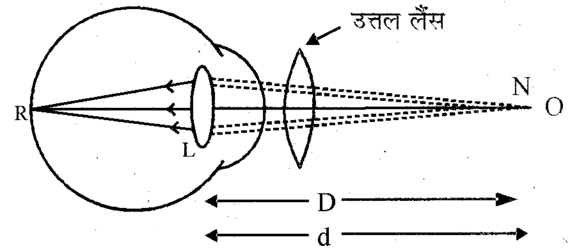
तब f धनात्मक होगी।



(a) दीर्घदृष्टि दोष से पीड़ित व्यक्ति का दूर बिन्दु अनन्त पर स्थित है।



(b) दीर्घदृष्टि दोष



(c) दीर्घदृष्टि दोष का निवारण

चित्र : 11.48

(iii) अबिंदुकता या दृष्टि वैषम्य दोष (Astigmatism)

इस नेत्र दोष में समान दूरी पर रखी क्षैतिज और उर्ध्वाधर रेखाएँ एक साथ स्पष्ट नहीं दिखती हैं। अबिंदुकता के कारण किसी एक दिशा की रेखाएँ तो भलीभाँति फोकसित हो जाती हैं। जबकि इन रेखाओं के लंबवत् दिशा की रेखाएँ भलीभाँति फोकसित नहीं हो पाती। यह दोष कॉर्निया (स्वच्छ पटल) की गोलाई में अनियमितता के कारण उत्पन्न होता है। इस दोष को दूर करने के लिए किसी उचित फोकस दूरी अथवा वक्रता त्रिज्या वाले सिलिंडरी अथवा बेलनाकार लैंस का प्रयोग करते हैं। इस लैंस की अक्ष दिशा का भी उचित चयन किया जाता है। यह दोष निकट दृष्टिदोष अथवा दीर्घ दृष्टि दोष के साथ-साथ हो सकता है।

(iv) जरा दूरदर्शिता (Pres byopia)

सामान्य व्यक्ति का निकट बिंदु का मानक मान 25cm लिया गया है। यह दूरी आयु में वृद्धि के साथ बढ़ती जाती है, क्योंकि आयु में वृद्धि के साथ पक्ष्माभी पेशियाँ उतनी प्रभावकारी नहीं रह पाती तथा साथ ही लैंस का लचीलापन भी घट जाता है। 10 वर्ष के बालक के नेत्र का निकट बिंदु 7 से 8cm तक होता है। जबकि 60 वर्ष की आयु तक पहुँचने पर यह लगभग 200cm पहुँच सकता है। अत: यदि कोई अधिक आयु का व्यक्ति, पुस्तक को नेत्र से 25cm दूरी पर रखकर पढ़ना चाहे तो उसका प्रतिबिंब धुँधला प्रतीत होता है। यह अवस्था जरादर्शिता कहलाती है। इस दोष में नेत्र लैंस की समंजन क्षमता में भी आंशिक ह्रास होता है। इसका निराकरण दीर्घ दृष्टिदोष की तरह किया जाता है अर्थात् अभिसारी लैंस का उपयोग किया जाता है।

उदाहरण 42. किसी व्यक्ति जिसके लिए d का मान 50 cm है, के पढ़ने के लिए चश्मे के लैंस की फोकस दूरी क्या होनी चाहिए ?

हल : यहाँ $u = -25$ cm, $v = -d = -50$ cm.

अत:
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$$
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{-50} - \frac{1}{-25}$$
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{25} - \frac{1}{50}$$

अथवा $f = +50$ cm (उत्तल लैंस)

उदाहरण 43. (a) निकट दृष्टि दोषयुक्त किसी व्यक्ति का दूर बिन्दु, नेत्र के सामने 80 cm दूर है। उस लेंस की अपेक्षित क्षमता क्या होगी जो इस व्यक्ति को बहुत दूर की वस्तुओं को स्पष्ट देखने योग्य बना देगा ?

(b) संशोधक लेंस किस प्रकार उपरोक्त व्यक्ति की सहायता करता है ? क्या लेंस बहुत दूर की वस्तुओं को आवर्धित करता है ? सावधानीपूर्वक उत्तर दीजिए।

(c) उपरोक्त व्यक्ति पुस्तक पढ़ते समय अपना चश्मा उतारना चाहता है। स्पष्ट कीजिए ऐसा क्यों है ?

हल : (a) जहाँ $u = \infty$, $v = -80$ cm

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$$
$$\frac{1}{f} = -\frac{1}{80} - \frac{1}{\infty}$$

लैंस की फोकस दूरी $f = -80$cm (अवतल लैंस)

$$f = -0.80\,m$$

$$\text{लैंस की क्षमता P} = \frac{1}{f(\text{मी.})}\ \text{डायऑप्टर}$$

$$P = \frac{1}{-0.80} = \frac{100}{80}$$
$$= -1.25\ \text{डायऑप्टर}$$

(b) अवतल लैंस किसी वस्तु के आकार को घटा देता है, परन्तु दूरस्थ वस्तु द्वारा नेत्र पर आंतरित कोण प्रतिबिंब द्वारा (दूर बिंदु पर) नेत्र पर अंतरित कोण के समान होता है संशोधक लैंस बहुत दूर की वस्तुओं को आवर्धित नहीं करता। यह वस्तु का आभासी प्रतिबिंब बनाकर वस्तु को नेत्र के दूर बिंदु पर ले आता है। जिसे नेत्र रेटिना पर फोकसित कर देता है। इस प्रकार नेत्र दूरस्थ वस्तुओं को देखने योग्य हो जाता है।

(c) निकट दृष्टि दोषयुक्त व्यक्ति का सामान्य निकट बिंदु लगभग 25cm दूर हो सकता है दूर की वस्तु को देखने वाले चश्मे के साथ पुस्तक पढ़ने के लिए उसे पुस्तक को 25cm से अधिक दूरी पर रखना चाहिए जिससे पुस्तक का अवतल लैंस द्वारा बना प्रतिबिंब 25cm से कम दूरी पर न बने। परन्तु जब पुस्तक 25cm से अधिक दूरी पर स्थित होती है तो उसका कोणीय साइज अथवा प्रतिबिंब स्पष्ट रूप से उस साइज से छोटा होता है जब उसे बिना चश्मा लगाए 25cm की दूरी पर रखकर देखते हैं। अत: वह व्यक्ति चश्मा उतारकर ही पुस्तक को पढ़ना पसंद करता है।

उदाहरण 44. (a) दीर्घ दृष्टि दोषयुक्त किसी व्यक्ति का निकट बिन्दु नेत्र से 75 cm दूर है। उस लैंस की आवश्यक क्षमता क्या होगी जो इस व्यक्ति को नेत्र से 25 cm की दूरी पर रखी पुस्तक को स्पष्ट पढ़ने योग्य बना देगा ?

(b) संशोधक लैंस किस प्रकार उपरोक्त व्यक्ति की सहायता करता है ? क्या लैंस नेत्र के निकट की वस्तुओं को आवर्धित करता है ?

(c) उपरोक्त व्यक्ति आकाश देखते समय अपना चश्मा उतारना चाहता है। स्पष्ट कीजिए ऐसा क्यों है ?

हल : (a) $v = -75$ cm, $u = -25$ cm

अत:
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$$
$$= \frac{1}{-75} - \frac{1}{-25}$$
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{25} - \frac{1}{75}$$
$$f = +37.5\ \text{cm (उत्तल लैंस)}$$
$$= +0.375\,m$$

संशोधक लैंस की अभिसारी क्षमता

$$P = \frac{1}{f(\text{मी.})}\ \text{डायऑप्टर}$$

$$= \frac{1}{0.375} = \frac{1000}{375} = +2.67 \text{ डायऑप्टर}$$

(b) संशोधक लैंस (उत्तल लैंस) 25cm दूर रखें बिंब का आभासी प्रतिबिंब (75 cm पर) बनाता है। इस प्रतिबिंब का कोणीय साइज बिंब के कोणीय साइज के बराबर होता है। लैंस बिंब का आवर्धन नहीं करता वरन् वह बिंब को निकट ला देता है। जिसे नेत्र अपने नेत्र लैंस द्वारा रेटिना पर फोकसित कर लेता है। तथापि, यह कोणीय साइज उस साइज से अधिक होता है जब वह बिना चश्मे के उसी बिंब को निकट बिंदु (75cm) पर रखकर देखता है।

(c) किसी दूर दृष्टिदोष युक्त नेत्र का दूर बिंदु सामान्य है, अर्थात् अनंत से आने वाले समांतर प्रकाश पुंज को फोकसित करने की अभिसरण क्षमता इतनी होती है कि वह लघुकृत नेत्र गोले के रेटिना पर इस पुंज को फोकसित कर लेता है। निकट की वस्तुओं को देखने वाले अभिसारी लैंसों का चश्मा पहनने पर उसे समांतर किरणों को फोकसित करने के लिए जितनी अभिसरण क्षमता चाहिए उससे अधिक हो जायेगी। इसलिए वह व्यक्ति दूर की वस्तुओं को देखने के लिए चश्मा लगाना पसंद नहीं करता।

उदाहरण 45. 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।

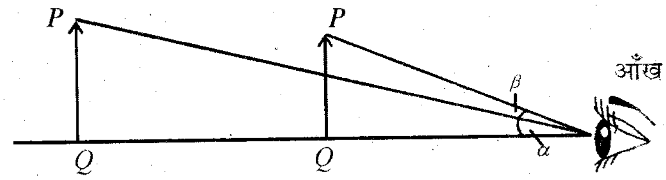
(c) वह निकट दृष्टि दोष से पीड़ित है तथा दृष्टि ठीक करने के लिए उसे अभिसारी लेंस चाहिए।

(d) वह दूर दृष्टि दोष से पीड़ित है तथा दृष्टि ठीक करने के लिए उसे अभिसारी लेंस चाहिए। पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.23

हलः सामान्य एवं स्वस्थ नेत्र के लिए दूर बिन्दु अनंत 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।

11.11.1.1 आभासी आकार (Apparent Size)

आँख पर बनने वाला कोण व वस्तु का आकार–यह सभी के अनुभव की बात है कि बिजली या टेलीफोन के समान ऊँचाई वाले समीप के खम्भे दूर के खम्भे से अधिक ऊँचे दिखाई देते हैं। आँख द्वारा किसी वस्तु का छोटा या बड़ा दिखाई देना उस वस्तु द्वारा आँख पर बने कोण पर निर्भर करता है। जिसे **दर्शन कोण** कहते हैं। वस्तु को आँख के समीप लाने पर इसके द्वारा आँख पर बनने वाला दर्शन कोण जितना अधिक होता है, वस्तु उतने ही बड़े आकार की दिखाई देती है। चित्र से स्पष्ट है कि जब वस्तु को PQ स्थान पर रखते हैं तो आँख पर दर्शन कोण α बनता है। वस्तु का स्थान परिवर्तन कर उसे आँख के समीप लाने पर वही वस्तु आँख पर दर्शन कोण β बनाती है। कोण β अधिक है अतः वस्तु PQ अब बड़ी दिखाई देती है। जबकि दोनों के वास्तविक आकार बराबर हैं अतः किसी वस्तु को देखने के लिए दर्शन कोण को बढ़ाना चाहिए। सूक्ष्मदर्शी, दूरदर्शी आदि प्रकाशिक यंत्रों में दर्शन कोण बढ़ाकर ही वस्तुओं का आभासी आकार बढ़ाया जाता है।



चित्र 11.49

इसलिये हमें जब दूर स्थित छोटी वस्तुओं को बड़ा देखना है तो उसे आँख के समीप लाते हैं। परन्तु आँख के पास लाने की एक सीमा है। स्वस्थ आँख के लिए यह सीमा 25 सेमी. है। इस दूरी को अल्पतम दूरी या स्पष्ट देखने की न्यूनतम दूरी कहते हैं, इसे D से व्यक्त करते हैं। यदि उपयुक्त लैन्सों की सहायता से सूक्ष्म वस्तु का बड़ा प्रतिबिम्ब बना ले तब प्रतिबिम्ब द्वारा आँख पर बना कोण बड़ा होगा और हमें वस्तुएँ बड़ी दिखाई देगी। सूक्ष्मदर्शी का यही सिद्धान्त है। बहुत दूर स्थित वस्तुएँ आकार में बड़ी होने पर भी बहुत छोटी दिखाई देती है जैसे सूर्य, चन्द्रमा आदि दूर होने के कारण उनके द्वारा आँख पर बना कोण छोटा होता है। इन्हें हम पास नहीं ला सकते हैं। अतः हम उपयुक्त लैंसों की सहायता से दूर स्थित वस्तु का प्रतिबिम्ब आँख के समीप बना लें तो प्रतिबिम्ब से आँख पर बड़ा कोण बनेगा तथा हमें वस्तु बड़ी दिखाई देगी। दूरदर्शी इसी सिद्धान्त पर आधारित है।

कोणीय आवर्धन या आवर्धन क्षमता–किसी प्रकाशिक यंत्र की कोणीय आवर्धन क्षमता कोणीय आवर्धन के कारण होती है, किसी प्रकाशिक यंत्र की दर्शन कोण बढ़ाने की क्षमता को 'आवर्धन क्षमता' कहते हैं।

किसी प्रकाशिक यंत्र से बने प्रतिबिंब द्वारा आँख पर बनने वाले कोण (β) तथा बिना यंत्र के, केवल आँख से देखने पर वस्तु द्वारा बने कोण (α) का अनुपात आवर्धन क्षमता के बराबर होता है अर्थात्

$$m = \frac{\beta}{\alpha}$$

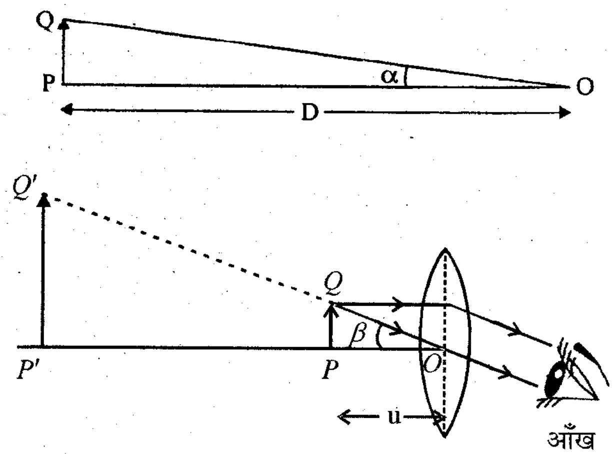
11.11.2 सूक्ष्मदर्शी (Microscope)

11.11.2.1 सरल सूक्ष्मदर्शी या आवर्धक लैन्स (Simple Microscope or Magnifying Glass)

जब कोई वस्तु उत्तल लैंस के सामने उसके प्रकाश केन्द्र व फोकस के मध्य रखी होती है तो उसका प्रतिबिम्ब सीधा, बड़ा तथा आभासी बनता है। अतः उत्तल लैंस से इस स्थिति में वस्तु को देखने पर वस्तु आकार में बड़ी दिखाई देती है। उत्तल लैंस के इस प्रकार के उपयोग को सरल सूक्ष्मदर्शी या आवर्धक लैंस कहते हैं। यह कम फोकस दूरी का एक उत्तल लैंस होता है।

सिद्धान्त–चित्र में PQ एक छोटी वस्तु है, जब यह आँख से स्पष्ट देखने की न्यूनतम दूरी D = PO के अनुसार रखी है तो यह आँख पर α कोण बनाती है अब इसी वस्तु को एक उत्तल लैंस के सामने उसके मुख्य अक्ष पर उसके फोकस व प्रकाश केन्द्र के बीच रखते हैं तो उत्तल लैंस इसका आभासी प्रतिबिम्ब आँख पर P′Q′ आवर्धित व सीधा बनाता है। P′Q′ आँख पर β कोण, α की तुलना में अधिक होने के कारण हमें वस्तु बड़ी दिखाई देती है। यही सरल सूक्ष्मदर्शी का सिद्धान्त है।

आवर्धन क्षमता–



चित्र 11.50 सरल सूक्ष्मदर्शी

सरल सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता m है तो

$$m = \frac{\text{प्रतिबिम्ब द्वारा आँख पर बना कोण}}{\text{वस्तु द्वारा आँख पर बना कोण (जब वह D दूरी पर)}}$$

$$m = \frac{\beta}{\alpha} \text{ (कोण } \beta \text{ व } \alpha \text{ बहुत छोटे हैं)}$$

अत: $\beta = \tan\beta$ तथा $\alpha = \tan\alpha$

$$\therefore m = \frac{\tan\beta}{\tan\alpha} \quad ...(1)$$

चित्र से $$\tan\alpha = \frac{PQ}{D} \quad ...(2)$$

तथा चित्र से $\tan\beta = \dfrac{PQ}{PO}$

परन्तु $PO = u$ वस्तु की लैंस से दूरी

$$\tan\beta = \frac{PQ}{u} \quad ...(3)$$

समी. (1), (2) व (3) से

$$m = \frac{\tan\beta}{\tan\alpha} = \frac{PQ/u}{PQ/D}$$

$$m = \frac{D}{u} \quad ...(4)$$

चूँकि D व u दोनों ही ऋणात्मक हैं अत: m धनात्मक होगा।

विशेष परिस्थितियाँ

(i) जब अन्तिम प्रतिबिंब स्पष्ट देखने की न्यूनतम दूरी D पर बनता है

लैंस सूत्र से $$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u} \quad ...(5)$$

यहाँ $v = -D$ तथा u दोनों ऋणात्मक हैं (दोनों दूरियाँ आपाती किरण के गमन की दिशा के विपरीत होने के कारण)

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

यहाँ f उत्तल लैंस की फोकस दूरी है

या $$\frac{1}{u} = \frac{1}{f} + \frac{1}{D} \quad ...(6)$$

समी. (6) को D से गुणा करने पर

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

समी. (4) से $$m = 1 + \frac{D}{f} \quad ...(7)$$

समी. (7) से स्पष्ट है कि f का मान जितना कम होगा उतना ही m का मान अधिक होगा। परन्तु लैंस की फोकस दूरी को अधिक कम करने पर लैंस में विभिन्न प्रकार के दोष उत्पन्न हो जाते हैं। अत: इसका मान एक सीमा से अधिक नहीं कर सकते हैं।

(ii) यदि u को इस प्रकार समंजित किया जाये कि **अन्तिम प्रतिबिम्ब अनन्त पर बने** तो $v = \infty$ तथा समी. (4) व (5) से ($u = f$)

अत: $$m = \frac{D}{f} \quad ...(8)$$

यह उस स्थिति के आवर्धन की तुलना में एक कम है, जिसमें प्रतिबिंब निकट बिंदु पर बनता है परन्तु प्रतिबिंब देखना अपेक्षाकृत अधिक आरामदायक होता है तथा आवर्धन में अंतर भी अपेक्षाकृत कम है।

वास्तविक फोकस दूरियों के लैंसों के लिए किसी सरल सूक्ष्मदर्शी का अधिकतम आवर्धन (≤ 9) होता है।

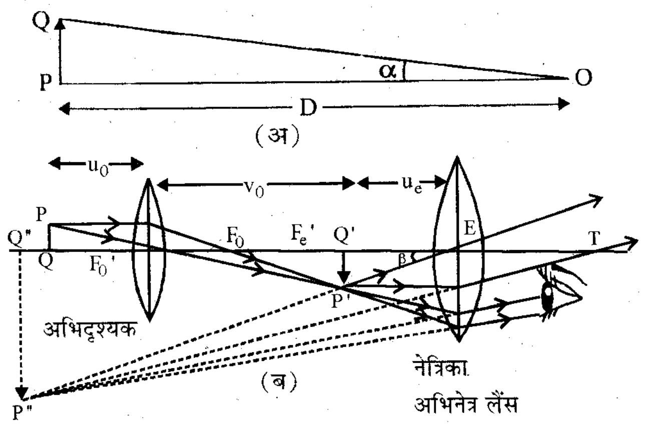
निकटतम आरामदेह दूरी D = 25 सेमी. पर होती है परन्तु इससे नेत्रों पर कुछ तनाव पड़ता है अत: अनन्त पर बना प्रतिबिम्ब शिथिल नेत्रों द्वारा देखने के लिए उचित माना गया है।

उपयोग–सरल सूक्ष्मदर्शी का व्यावहारिक जीवन में बड़ा उपयोग है। घड़ीसाज घड़ी के बारीक व सूक्ष्म पुर्जों को इससे देखकर मरम्मत करते हैं। प्रयोगशाला में इसकी सहायता से यंत्रों में लगे सूक्ष्म पैमाने को पढ़ते हैं।

11.11.2.2 संयुक्त सूक्ष्मदर्शी (Compound microscope)

सरल सूक्ष्मदर्शी की अपेक्षा अधिक आवर्धन पाने के लिए एक लैंस के स्थान पर दो या दो से अधिक लैंस का उपयोग करते हैं। जिनमें एक लैंस, दूसरे लैंस के प्रभाव को बढ़ाता है। इस प्रकार के संयोजन द्वारा निकट की अत्यधिक छोटी वस्तुओं के बड़े प्रतिबिम्ब देखे जाते हैं। इस व्यवस्था को संयुक्त सूक्ष्मदर्शी कहते हैं।

बनावट–इसमें धातु की एक लम्बी बेलनाकार नली होती है, जिसके एक सिरे पर कम फोकस दूरी व छोटे द्वारक का उत्तल लैंस O स्थित होता है। इसे अभिदृश्यक लैंस कहते हैं। नली के दूसरे सिरे एक अन्य नली लगी होती है। इस नली के बाहर वाले सिरे पर एक अन्य उत्तल लैंस, E स्थित होता है। जिसकी फोकस दूरी व द्वारक अभिदृश्यक लैन्स की अपेक्षा बड़े होता हैं। यह लैंस आँख की ओर रखा जाता है अत: इसे अभिनेत्र लैंस कहते हैं। इस लैंस के फोकस पर क्रॉस तार लगे होते हैं। पूरी नली को आगे पीछे खिसकाने के लिए दंतुर दण्डचक्र व्यवस्था होती है। अच्छे सूक्ष्मदर्शी में अभिनेत्र तथा अभिदृश्य लैंस कई लैंसों के संयोग से बनाये जाते हैं। इसमें प्रतिबिम्ब के निर्माण को चित्र में बताया गया है–



चित्र 11.51 संयुक्त सूक्ष्मदर्शी

कार्य प्रणाली–जैसा कि चित्र में दिखाया गया है वस्तु PQ को अभिदृश्यक लैंस के सामने लैंस की फोकस दूरी से कुछ आगे रखते हैं। वस्तु से निकलने वाली किरणें इस लैंस से अपवर्तित होकर वस्तु का P′Q′ वास्तविक, उल्टा व आवर्धित प्रतिबिम्ब बनाती है। यह प्रतिबिंब अभिनेत्र लैंस के लिए बिंब का कार्य करता है।

नेत्र लैंस को इस प्रकार समंजित करते हैं कि प्रतिबिंब P′Q′ नेत्र लैंस के फोकस एवं प्रकाश केन्द्र के बीच बने। नेत्र लैंस वास्तविक रूप से सरल सूक्ष्मदर्शी अथवा अवर्धक के रूप में कार्य करके अब इसका आवर्धित आभासी प्रतिबिम्ब P″Q″ बनता है। नेत्र लैंस की स्थिति ऐसे समंजित करते हैं जिससे P″Q″ नेत्र से D दूरी पर बने। अंतिम प्रतिबिंब P″Q″ मूल बिंब PQ के सापेक्ष उल्टा बनता है।

आवर्धन क्षमता–माना कि अन्तिम प्रतिबिम्ब P″Q″ अभिनेत्र लैंस पर β कोण बनाता है। मान लो कि वस्तु PQ जब स्पष्ट देखने की न्यूनतम दूरी D पर हो तो वह आँख पर α कोण बनाती है। अतः संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता

$$m = \frac{\text{अन्तिम प्रतिबिम्ब द्वारा आँख पर बना कोण}}{\text{वस्तु द्वारा आँख पर बना कोण (जबकि वस्तु D दूरी पर है)}}$$

$$m = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{\tan\beta}{\tan\alpha} \text{ (छोटे कोणों के लिए)} \quad ...(1)$$

चित्र से $\tan\beta = \dfrac{P''Q''}{EQ''} = \dfrac{P'Q'}{Q'E}$ ...(2)

$$\tan\alpha = \frac{PQ}{D}$$

$$\therefore m = \frac{P'Q'}{Q'E} \div \frac{PQ}{D} = \frac{P'Q'}{PQ} \times \frac{D}{EQ'}$$

$\because \Delta OQ'P' \cong \Delta OQP$

अतः $\dfrac{P'Q'}{PQ} = \dfrac{OQ'}{OQ}$

अतः $m = \dfrac{OQ'}{OQ} \times \dfrac{D}{EQ'}$

यदि u_0 तथा v_0 क्रमशः अभिदृश्यक से वस्तु PQ तथा प्रतिबिंब P′Q′ की दूरियाँ हों तो उचित चिह्न लेने पर

$$OQ = -u_0, OQ' = +v_0$$

इसी प्रकार यदि P′Q′ की दूरी नेत्रिका से $EQ' = -u_e$ तथा D भी ऋणात्मक है तो

$$m = -\frac{v_0}{u_0}\left(\frac{-D}{-u_e}\right)$$

अतः $$\boldsymbol{m = -\frac{v_0}{u_0}\left(\frac{D}{u_e}\right)} \quad ...(3)$$

(i) जब अंतिम प्रतिबिंब स्पष्ट देखने की न्यूनतम दूरी D पर बनता है तो अभिनेत्र लैंस के लिए

$$v = -D, u = -u_e \text{ तथा } f = f_e$$

लैंस सूत्र से $\dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{v} - \dfrac{1}{u}$

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

यहाँ D व u_e दोनों ऋणात्मक हैं।

$$\frac{1}{u_e} = \frac{1}{f_e} + \frac{1}{D} \quad ...(4)$$

समीकरण (4) व (3) से $\boldsymbol{m = -\dfrac{v_0}{u_0}\left[1 + \dfrac{D}{f_e}\right]}$ ...(5)

$v_0 \approx L$ (नली की लम्बाई)

$u_0 = f_0$ तब $m = -\dfrac{L}{f_0}\left(1 + \dfrac{D}{f_e}\right)$

इस स्थिति में सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता सर्वाधिक होती है।

नली की कुल लम्बाई $L = v_0 + u_e$

(ii) जब अंतिम प्रतिबिंब अनन्त पर बनता है–जब $v = \infty$ तो इस समय P″Q″ अनंत पर बनेगा। यह तभी संभव है जब P′Q′ अभिनेत्र लैंस के फोकस पर स्थित होगा अर्थात् $u_e = f_e$ अतः समीकरण (3) से

$$m = -\frac{v_0}{u_0}\left(\frac{D}{f_e}\right) \quad ...(6)$$

$$m = \frac{-L}{f_0}\left(\frac{D}{f_e}\right)$$

ऋणात्मक चिह्न इस बात का सूचक है कि अंतिम प्रतिबिंब उल्टा बनता है।

नली की कुल लम्बाई $L = v_0 + f_e$

किसी छोटी वस्तु का आवर्धन अधिक हो इसके लिए (5) व (6) से स्पष्ट है कि–

1. अभिदृश्यक लैंस की फोकस दूरी f_0 कम होनी चाहिए।
2. अभिनेत्र लैंस की फोकस दूरी f_e कम होनी चाहिए।
3. अभिदृश्यक लैंस O के प्रतिबिम्ब P′Q′ की दूरी v_0 अधिक होनी चाहिए। इसके लिए सूक्ष्मदर्शी की लम्बाई के अनुसार वस्तु को अभिदृश्यक लैंस के फोकस के समीप रखना चाहिए अर्थात् u_0 का मान कम होना चाहिए।
4. अभिदृश्यक लैंस का द्वारक छोटा तथा अभिनेत्र लैंस का द्वारक बड़ा होना चाहिए।

11.11.3 दूरदर्शी (Telescope)

दूरदर्शी या दूरबीन का उपयोग दूर की वस्तुओं को कोणीय आवर्धन (आवर्धन क्षमता) प्रदान करने के लिए किया जाता है।

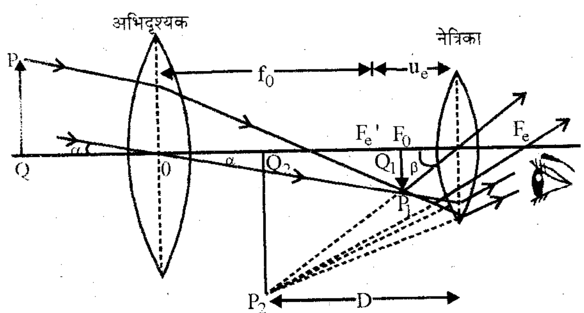
केवल आँख से देखने पर दूर की वस्तुएँ छोटी एवं अस्पष्ट दिखाई देती

हैं। अनेक नक्षत्र एवं ग्रह हमारी पृथ्वी से देखने पर कई गुना बड़े हैं पर उनकी अत्यधिक दूरी के कारण वे छोटे दिखाई देते हैं। इनकी संरचना के बारे में ज्ञान प्राप्त करने के लिए इनका आवर्धित प्रतिबिम्ब दूरदर्शी द्वारा प्राप्त करते हैं। अत: वह प्रकाशीय उपकरण जो दूरस्थ वस्तु के प्रतिबिम्ब को आवर्धित कर समीप बना देता है, दूरदर्शी कहलाता है। दूरदर्शी प्रकाश के अपवर्तन एवं परावर्तन दोनों सिद्धान्तों पर बने होते हैं। अपवर्तन के सिद्धान्त पर कार्य करने वाले दूरदर्शी को अपवर्ती दूरदर्शी भी कहते हैं। अपवर्ती दूरदर्शी का उपयोग खगोलीय एवं पार्थिव दोनों प्रकार के प्रेक्षणों के लिए किया जा सकता है। खगोलीय दूरदर्शी, पार्थिव दूरदर्शी वस्तु का कोणीय आवर्धन करते हैं तथा परावर्तन सिद्धान्त पर कार्य करने वाले दूरदर्शी को परावर्ती दूरदर्शी कहते हैं।

11.11.3.1 खगोलीय अपवर्ती दूरदर्शी (Astronomical Refracting Telescope)

खगोलीय अपवर्ती दूरदर्शी दो या दो से अधिक लैंसों के संयोजन से बनते हैं। इनके द्वारा दूरस्थ वस्तु का बड़ा प्रतिबिम्ब निकट बनाने से दर्शन कोण बड़ा हो जाता है तथा वस्तु स्पष्ट व बड़ी दिखाई देती है।

रचना–इसमें धातु की एक लम्बी बेलनाकार नली होती है। जिसके एक सिरे पर बड़ी फोकस दूरी तथा बड़े द्वारक का अवर्णक उत्तल लैंस लगा रहता है। इसे वस्तु की ओर रखते हैं, अत: इसे अभिदृश्यक लैंस कहते हैं। नली के दूसरे सिरे पर एक अन्य छोटी नली लगी होती है।



चित्र : 11.52 खगोलीय दूरदर्शी

जिसे दंतुर दण्ड चक्र व्यवस्था द्वारा बड़ी नली में आगे पीछे खिसकाया जा सकता है। छोटी नली के बाहरी सिरे पर एक छोटी फोकस दूरी तथा छोटे द्वारक वाला अवर्णक उत्तल लैंस लगा रहता है। इसे अभिनेत्र लैंस कहते हैं।

प्रतिबिम्ब का बनना–चित्र में दूरदर्शी का अभिदृश्यक O तथा अभिनेत्र लैंस E पर स्थित है। PQ एक दूर स्थित वस्तु है, जिसका Q सिरा दूरदर्शी के अक्ष पर स्थित है। लैंस O तथा PQ का वास्तविक उल्टा व छोटा प्रतिबिम्ब P_1Q_1 लैंस के द्वितीय फोकस F_0 पर बनता है। यह प्रतिबिम्ब अभिनेत्र लैंस के लिए बिंब का कार्य करता है। अभिनेत्र लैंस को इस प्रकार समंजित करते हैं कि प्रतिबिम्ब P_1Q_1 अभिनेत्र लैंस E व उसके फोकस F_e के मध्य बने। अभिनेत्र लैंस वास्तविक रूप से सरल सूक्ष्मदर्शी अथवा आवर्धक के रूप में कार्य करके अब इसका सीधा, बड़ा, आभासी प्रतिबिम्ब P_2Q_2 बनाती है। नेत्र लैंस की स्थिति ऐसी समंजित करते हैं जिससे P_2Q_2 नेत्र से D दूरी पर बने। अंतिम प्रतिबिंब P_2Q_2 मूल बिंब PQ के सापेक्ष उल्टा बनता है।

दूरदर्शी की आवर्धन क्षमता–दूरदर्शी की आवर्धन क्षमता अन्तिम प्रतिबिम्ब द्वारा आँख पर बने कोण β तथा वस्तु द्वारा आँख पर बने कोण α की निष्पत्ति होती है। चूंकि वस्तु अनंत पर होती है इसलिए आँख पर उसका कोण वही माना जा सकता है जो वस्तु अभिदृश्यक के केन्द्र पर बनाती है।

$$m = \frac{\beta}{\alpha} \quad ...(1)$$

छोटे कोणों के लिए $m = \dfrac{\tan\beta}{\tan\alpha}$ ...(2)

चित्र की ज्यामिति से $\tan\alpha = \dfrac{P_1Q_1}{OQ_1}$ तथा $\tan\beta = \dfrac{P_1Q_1}{EQ_1}$

$\tan\beta$ व $\tan\alpha$ के मान रखने पर

$$m = \frac{P_1Q_1}{EQ_1} \div \frac{P_1Q_1}{OQ_1} = \frac{OQ_1}{EQ_1} \quad ...(3)$$

यदि अभिदृश्यक लैंस की फोकस दूरी f_0 है तथा P_1Q_1 की दूरी EQ_1 अभिनेत्र लैंस से u_e है तो $OQ_1 = +f_0$, $EQ_1 = -u_e$

$$m = -\frac{f_0}{u_e} \quad ...(4)$$

यह दूरदर्शी की आवर्धनता का व्यापक सूत्र है। अब हम दो विभिन्न परिस्थितियों में इसकी गणना करेंगे–

1. जब अन्तिम प्रतिबिम्ब स्पष्ट देखने की न्यूनतम दूरी D पर बनता है–जब प्रतिबिम्ब अभिनेत्र लैंस से D दूरी पर बने तो अभिनेत्र लैंस के लिए

$v = -D$, $u = -u_e$ तथा $f = f_e$

लैंस सूत्र $\dfrac{1}{f} = \dfrac{1}{v} - \dfrac{1}{u}$ से

$\dfrac{1}{f_e} = \dfrac{1}{-D} - \dfrac{1}{-u_e}$ यहाँ D व u_e ऋणात्मक है।

या $$\frac{1}{u_e} = \frac{1}{f_e} + \frac{1}{D} \quad ...(5)$$

$$\frac{1}{u_e} = \frac{1}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right) \quad ...(6)$$

समी. (4) से

$$m = -\frac{f_0}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right) \quad ...(7)$$

इस समय नली की लम्बाई

$$L = v_0 + u_e$$

$\because$ $v_0 = f_0$

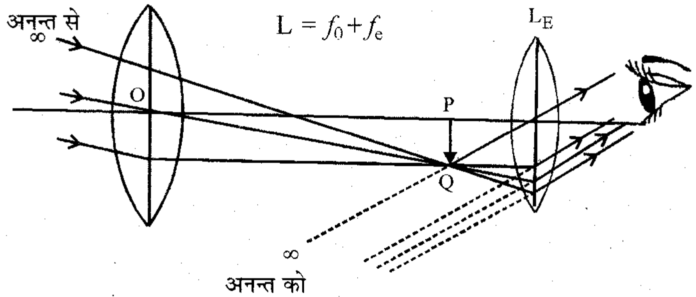
$\therefore$ $L = f_0 + u_e$

2. जब अन्तिम प्रतिबिम्ब अनन्त पर बनता है (सामान्य समायोजन)–जब अन्तिम प्रतिबिम्ब चित्र में दिखाये अनुसार अनन्त पर बनता है तो इसके लिए अभिदृश्यक लैंस द्वारा बना प्रतिबिम्ब अभिनेत्र लैंस के फोकस पर बनना चाहिए अर्थात् $u_e = f_e$ इस अवस्था में दूरदर्शी की आवर्धन क्षमता

$$m = -\frac{f_0}{u_e} = -\frac{f_0}{f_e} \quad ...(8)$$

ऋणात्मक चिह्न इस बात का सूचक है कि अंतिम प्रतिबिंब उल्टा बनता है।

इस समय नलिका की लम्बाई L है तो



चित्र 11.53 : अन्तिम प्रतिबिम्ब अनन्त पर

दूरदर्शी की आवर्धनता बढ़ाने के लिए समी. (7) व (8) से स्पष्ट है कि–

(i) अभिदृश्यक लैंस की फोकस दूरी अधिक होनी चाहिए। (अर्थात् f_0 अधिक)

(ii) अभिनेत्र लैंस की फोकस दूरी कम होनी चाहिए। (अर्थात् f_e कम)

(iii) अभिदृश्यक लैंस का द्वारक बड़ा तथा अभिनेत्र लैंस का द्वारक छोटा होना चाहिए।

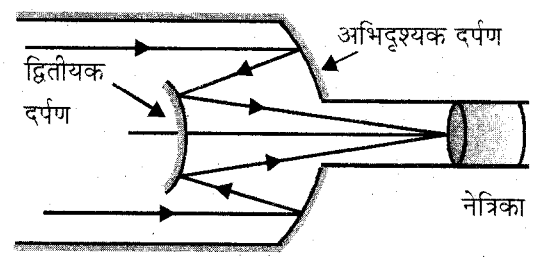
परन्तु व्यवहार में f_0 को एक निश्चित सीमा से अधिक नहीं बढ़ा सकते हैं क्योंकि नली की लम्बाई L भी बढ़ती जाती है। इसी प्रकार f_e के मान में भी एक सीमा से अधिक कमी करना सम्भव नहीं है, f_e के मान को कम करने से लैंस में विभिन्न दोष उत्पन्न हो जाते हैं।

खगोलीय दूरदर्शी विशेषत: आकाशीय पिण्डों के प्रेक्षण में उपयोगी हैं। खगोलीय दूरदर्शी से अन्तिम प्रतिबिम्ब उल्टा बनता है इसलिए यह पृथ्वी की वस्तुओं को देखने में प्रयोग नहीं किया जाता है। आकाशीय पिण्ड प्राय: गोल होते हैं। अत: इनके देखने में इससे कठिनाई नहीं आती। अत: पृथ्वी पर स्थित वस्तुओं का अध्ययन करने के लिए पार्थिव दूरदर्शी का उपयोग करते हैं। इसमें अभिदृश्य लैंस द्वारा अंतिम प्रतिबिम्ब को सीधा करने के लिए एक उर्ध्वशीर्षकारी लैंस अथवा अभिदृश्यक व अभिनेत्र लैंस के अतिरिक्त प्रतिलोमी लैंसों के एक युगल का उपयोग करते हैं।

11.11.3.2 परावर्ती दूरदर्शी (Reflecting Telescope)

अपवर्ती दूरदर्शी से दूर स्थित वस्तु का चमकीला प्रतिबिंब बनाने के लिए यह आवश्यक है कि उसका अभिदृश्यक बड़े द्वारक का हो जिससे वह वस्तु से आने वाले प्रकाश को अधिक से अधिक एकत्रित कर सके। परन्तु बड़े द्वारक के लैंस तैयार करना बहुत कठिन है तथा ये बहुत मूल्यवान भी होते हैं। बड़े लैंस अत्यधिक भारी होते हैं, अत: इन्हें किनारों के सहारे टिकाकर रखना कठिन कार्य है। ये प्रकाश का भी अधिक अवशोषण करते हैं, ऐसे लैंस से बने प्रतिबिंब में वर्ण विपथन, गोलीय विपथन तथा अन्य विरुपण का दोष भी पाया जाता है। यही कारण है कि आधुनिक दूरदर्शकों में अभिदृश्यक के रूप में लैंस के स्थान पर अवतल दर्पण का उपयोग किया जाता है। ऐसे दूरदर्शकों को जिनमें अभिदृश्यक दर्पण होता है, परावर्ती दूरदर्शी (दूरबीन) कहते हैं। अवतल दर्पण के कई लाभ भी हैं। यह वर्ण विपथन के दोष से मुक्त होता है। क्योंकि इसमें किरणों का अपवर्तन नहीं होता है। इसमें परवलयाकार दर्पण लेने से गोलीय विपथन का दोष भी दूर हो जाता है। इसे लैंस की अपेक्षा बनाना आसान है। इसी सिद्धान्त पर परावर्ती दूरदर्शी कार्य करता है। इसमें दर्पण को यांत्रिक सहारा देने की समस्या भी काफी कम होती है क्योंकि लैंस की तुलना में, तुल्य प्रकाशिक गुणता का दर्पण अपेक्षाकृत कम भारी होता है तथा दर्पण को केवल रिम पर ही सहारा देने की बजाए उसके समस्त पीछे के पृष्ठ को सहारा प्रदान किया जा सकता है। अवतल दर्पण, दूर स्थित वस्तु का वास्तविक और उल्टा प्रतिबिंब दर्पण के फोकस पर बनता है।

रचना–इस दूरदर्शी में अभिदृश्यक एक बड़ी फोकस दूरी व बड़े आकार का अवतल दर्पण होता है जो एक चौड़ी नली के सिरे पर लगा होता है। नली का खुला सिरा दूर स्थित वस्तु की ओर दिष्ट किया जाता है। परन्तु इस दूरबीन की एक समस्या होती है कि अभिदृश्यक दर्पण दूरदर्शी की नली के भीतर प्रकाश को फोकसित करता है। अत: नेत्रिका तथा प्रेक्षक को उसी स्थान पर होना चाहिए जिससे प्रकाश के मार्ग में अवरोध के कारण कुछ प्रकाश कम हो जाता है। प्रेक्षक एक छोटे पिंजरे में दर्पण के फोकस बिंदु के निकट बैठता है। इस समस्या का समाधान करने के लिए फोकसित होने वाले प्रकाश को किसी अन्य दर्पण द्वारा विक्षेपित कर दिया जाता है। चित्र के अनुसार इसमें आपतित प्रकाश को फोकसित करने के लिए किसी उत्तल द्वितीयक दर्पण का उपयोग किया जाता है जो अभिदृश्यक (प्राथमिक दर्पण) के छिद्र में से गुजरता है। यह दर्पण किरणों को एकत्रित कर नेत्रिका के सामने वस्तु का प्रतिबिंब बनाता है। इस दूरदर्शी को इसके आविष्कारक के नाम पर कैसेग्रेन दूरदर्शी कहते हैं। इसका एक लाभ यह है कि छोटे दूरदर्शी में बड़ी फोकस दूरी होती है।



चित्र : 11.54

दूरदर्शी की आवर्धन क्षमता

$$m = \frac{\text{अन्तिम प्रतिबिंब द्वारा आँख पर बना कोण}}{\text{वस्तु द्वारा आँख पर बना कोण}}$$

यह सिद्ध किया जा सकता है कि जब प्रतिबिंब अनन्त पर बनता है।

$$m = \frac{f_0}{f_e}$$

जब अंतिम प्रतिबिम्ब D दूरी पर बनता तब $m = \frac{f_0}{f_e}\left(1+\frac{f_e}{D}\right)$

जहाँ f_0 व f_e क्रमश: अभिदृश्यक अवतल दर्पण तथा नेत्रिका लैंस की फोकस दूरियाँ हैं।

विशेषताएँ :

(1) परावर्तक दूरदर्शी में प्रतिबिम्ब, अपवर्तक दूरदर्शी की अपेक्षा अधिक चमकीला बनता है।

(2) परावर्तक दूरदर्शी से बने प्रतिबिम्ब में वर्ण-विपथन का दोष नहीं होता जबकि अपवर्तक दूरदर्शी से बने प्रतिबिम्ब में यह दोष होता है।

(3) परावर्तक दूरदर्शी में परवलययिक दर्पण के उपयोग से प्रतिबिम्ब में गोलीय विपथन के दोष को भी दूर किया जा सकता है।

(4) दूरदर्शी के अभिदृश्यक का द्वारक बड़ा होना आवश्यक है परन्तु बड़े द्वारक के लैंस का ढालना कठिन है क्योंकि जब गर्म काँच ठण्डा होता है तो उसमें विकृति आ जाती है जिससे प्रतिबिम्ब भी विकृत हो जाते हैं। दर्पण द्वारा बने प्रतिबिम्ब पर काँच के भीतर की विकृति का कोई प्रभाव नहीं पड़ता क्योंकि परावर्तन की क्रिया में प्रकाश काँच के भीतर प्रवेश नहीं करता।

(5) दर्पण का व्यास अधिक होता है। अत: परावर्ती दूरदर्शी की आवर्धन क्षमता तथा विभेदन क्षमता अधिक होती है।

महत्वपूर्ण तथ्य

1. किसी खगोलीय दूरदर्शी की प्रकाश संग्रहण क्षमता स्पष्ट रूप से दूरदर्शी के अभिदृश्यक के क्षेत्रफल पर निर्भर करती है। यदि अभिदृश्यक का व्यास बड़ा है तो धुँधले पिंडों का भी प्रेक्षण किया जा सकता है।
2. किसी खगोलीय दूरदर्शी की विभेदन क्षमता अथवा एक ही दिशा में दो अत्यधिक निकट की वस्तुओं को सुस्पष्टत: भिन्न प्रेक्षित करने की योग्यता भी अभिदृश्यक के व्यास पर निर्भर करती है।
3. गोलीय विपथन (Spherical Aberration) लैंस का वह दोष जिसके कारण मुख्य अक्ष के समांतर चलने वाली उपाक्षीय तथा सीमान्त किरणें एक बिन्दु पर फोकस नहीं हो पाती है; गोलीय विपथन कहते हैं। इस दोष के कारण वस्तु का प्रतिबिंब अस्पष्ट बनता है। यह दोष लैंस की गोलीय आकृति के कारण होता है। इस दोष को बड़ी फोकस दूरी के लैंस का उपयोग करके कम किया जा सकता है तथा द्वारक कम होने से प्रतिबिम्ब में गोलीय विपथन नहीं होता है।
4. लैंसों की तरह गोलीय दर्पणों द्वारा बने प्रतिबिंबों में भी गोलीय विपथन का दोष पाया जाता है। परवलयाकार दर्पण द्वारा बने प्रतिबिंब में गोलीय विपथन का दोष पूर्णतया समाप्त हो जाता है। परावर्ती दूरदर्शी में परवलयाकार दर्पण अत्यन्त उपयोगी है क्योंकि ये गोलीय विपथन व वर्ण विपथन दोनों प्रकार के दोषों से मुक्त होते हैं।
5. संसार का सबसे बड़ा ऐसा परावर्ती दूरदर्शी जिसमें प्रेक्षक एक छोटे पिंजरे में दर्पण के फोकस बिंदु के निकट बैठता है। कैलिफोर्निया में माउण्ट पोलोमार में रखा हुआ है। जिसके अभिदृश्यक दर्पण का द्वारक 200 इंच (लगभग 5.08 m) है। यह सितारों तथा ग्रहों को देखने के काम आता है। इसे **न्यूटन का परावर्ती दूरदर्शी** कहते हैं।
6. भारत वर्ष में सबसे बड़ा कैसेग्रेन परावर्ती दूरदर्शी कवलूर, तमिलनाडु में है। जिसका व्यास $2.34m$ है।
7. संसार का सबसे बड़ा कैसेग्रेन परावर्ती दूरदर्शी हवाई, संयुक्त राज्य अमेरिका में कैक दूरदर्शकों का युग्म है। जिसके परावर्तक का व्यास 10 मीटर है।
8. आधुनिक सूक्ष्मदर्शियों में, अभिदृश्यक तथा नेत्रिका बहुअवयवी लैंसों द्वारा बनाए जाते हैं जिनके कारण लैंसों के प्रकाशिक विपथनों (दोष) को कम करके प्रतिबिंब की गुणवत्ता में सुधार किया जाता है।
9. संयुक्त सूक्ष्मदर्शी में अभिदृश्यक लैंस छोटे द्वारक तथा कम फोकस दूरी का लेते हैं। जिससे बिंब से आने वाला प्रकाश कम क्षेत्र में फैले और प्रतिबिंब सुस्पष्ट एवं चमकीला बन सके तथा अधिक आवर्धनता प्राप्त हो सके।
10. दूरदर्शी में अभिदृश्यक लैंस का द्वारक बड़ा होना चाहिए। जिससे वह दूर स्थित बिंब से आने वाले प्रकाश को अधिक से अधिक मात्रा में एकत्रित कर सके जिससे प्रतिबिंब बड़ा, चमकीला व सुस्पष्ट प्राप्त हो सके।
11. सरल सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता

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

तथा $$m = \frac{D}{f}$$

संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता

$$m = -\frac{v_0}{u_o}\left[1+\frac{D}{f_e}\right], \text{ जब } v = D \text{ पर}$$

तथा $$m = -\frac{v_0}{u_o}\left(\frac{D}{f_e}\right), \text{ जब } v = \infty \text{ पर}$$

यहाँ पर ऋणात्मक चिह्न u_0 के कारण है।

नली की लम्बाई $L = v_o + u_e$ तथा $L = v_o + f_e$

संयुक्त आवर्धन क्षमता $m = m_o m_e$

जहाँ $m_o = -\frac{v_0}{u_o}$ तथा $m_e = \left(1+\frac{D}{f_e}\right)$, जब $v = D$ पर

या $m_e = \frac{D}{f_e}$, जब $v = \infty$ पर

दूरदर्शी की आवर्धन क्षमता व नली की लम्बाई

$$m = -\frac{f_0}{f_e}\left[1+\frac{f_e}{D}\right], \quad \text{जब } v = D \text{ पर}$$

$$m = -\frac{f_0}{f_e} \quad \text{जब } v = \infty \text{ पर}$$

$$L = v_o + u_e = f_o + u_e$$

चूँकि $v_o = f_o$

तथा $$L = f_o + f_e$$

आंकिक प्रश्नों को हल करते समय चिह्नों का प्रयोग नहीं किया जाता है। परन्तु आवर्धन क्षमता m का मान चिह्न सहित रखा जाता है। जिस राशि को ज्ञात करना है उसे चिह्न सहित नहीं रखा जाता। नली की लम्बाई ज्ञात करने के लिए भी चिह्नों का प्रयोग नहीं किया जाता। परन्तु $\frac{1}{f_e}=\frac{1}{v_e}-\frac{1}{u_e}$ व $\frac{1}{f_o}=\frac{1}{v_o}-\frac{1}{u_o}$ में ज्ञात राशियों में चिह्नों का प्रयोग किया जाता है।

12. निकट दृष्टिदोष $\frac{1}{f}=\frac{1}{v}-\frac{1}{u}$

$u = \infty, v = -d$ दूर बिंदु

$f = -d$ अवतल लैंस

दीर्घ दृष्टिदोष $\frac{1}{f}=\frac{1}{-d}-\frac{1}{-D}$

$u = -D, v = -d$ निकट बिंदु

$D = 25\,cm$

$f =$ धनात्मक उत्तल लैंस

13. **परावर्ती दूरदर्शी**–ऐसा दूरदर्शी जो परावर्तन के सिद्धान्त पर कार्य करता है, परावर्ती दूरदर्शी कहलाता है। इसमें अभिदृश्यक के रूप में अवतल दर्पण का उपयोग किया जाता है जो परवलयाकार आकृति का होता है।

उदाहरण 46. 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। पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.24

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

या $f_0 = 50 f_e$ ...(i)

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

समीकरण (i) तथा (ii) को हल करने पर, $f_0 = 100\text{cm}$ तथा $f_e = 2\text{cm}$

$\therefore \quad P_0 = \frac{1}{f_0} = \frac{1}{1} = 1\text{D}$

$P_e = \frac{1}{f_e} = \frac{1}{2/100} = \frac{100}{2} = 50\text{D}$

उदाहरण 47. एक दूरदर्शी की आवर्धन-क्षमता 9 है। जब इसे समान्तर किरणों के लिए समंजित किया जाता है तब नेत्रिका और अभिदृश्यक के बीच की दूरी 20 सेमी. होती है। दोनों लैंसों की फोकस-दूरियाँ ज्ञात कीजिए।

हल : सूत्र : $m = -\frac{f_0}{f_e}$ ....(1)

तथा दूरदर्शी की नली की लम्बाई = अभिदृश्यक और नेत्रिका के बीच की दूरी $= f_0 + f_e$

दिया है : $m = -9$ तथा $f_0 + f_e = 20$ ...(2)

समीकरण (1) में m का मान रखने पर,

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

समीकरण (2) में f_0 का मान रखने पर, $9f_e + f_e = 20$

या $10f_e = 20$ या $f_e = 2$ सेमी.

समीकरण (2) में f_e का मान रखने पर, $f_0 + 2 = 20$ या $f_0 = 18$ सेमी.

उदाहरण 48. 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। पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.25

हल: दिया गया है– $M = 11, D = 25\text{ cm}$

सरल सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता

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

या $10 = \frac{25}{f}$ या $f = \frac{25}{10} = 2.5$ सेमी.

$\therefore \quad f = 2.5$ सेमी.

उदाहरण 49. एक दूरदर्शी के अभिदृश्यक की फोकस-दूरी 50 सेमी. तथा नेत्रिका की फोकस-दूरी 5 सेमी. है। स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी 25 सेमी. है। इसे 200 सेमी. दूर पैमाने पर फोकस दिया जाता है। गणना कीजिए–(i) अभिदृश्यक से नेत्रिका तक की दूरी तथा (ii) आवर्धन।

हल : अभिदृश्यक के लिए $u_o = -200$ सेमी., $f_o = 50$ सेमी.।

लैंस के सामान्य सूत्र $\frac{1}{f_0} = \frac{1}{v_0} - \frac{1}{u_0}$ में मान रखने पर,

$$\frac{1}{50} = \frac{1}{v_0} - \frac{1}{-200}$$

या $\frac{1}{50} = \frac{1}{v_0} + \frac{1}{200}$

या $v_0 = \frac{200}{3}$ सेमी.

नेत्रिका के लिए $v_e = D = -25$ सेमी., $f_e = 5$ सेमी.

लैंस के सामान्य सूत्र से,

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

या $\frac{1}{5} = \frac{1}{-25} - \frac{1}{u_e}$

या $\frac{1}{5} = -\frac{1}{25} - \frac{1}{u_e}$

या $-\frac{1}{u_e} = \frac{1}{5} + \frac{1}{25} = \frac{6}{25}$

या $u_e = -\frac{25}{6}$ सेमी. $= \left|\frac{25}{6}\right|$ सेमी.

(i) नेत्रिका तथ अभिदृश्यक के बीच की दूरी $= v_0 + u_e$

$= \frac{200}{3} + \frac{25}{6} = \frac{425}{6} = 70.83$ सेमी.

(ii) आवर्धन $m = \frac{-f_0}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right)$

या $m = \frac{-50}{5}\left(1 + \frac{5}{25}\right) = -10 \times \frac{6}{5} = -12$

उदाहरण 50. 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। पाठ्यपुस्तक उदाहरण 11.26

हल: 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 $f_0 = -9f_e$ ...(1)

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

$L = f_0 + f_e = 20$ ...(2)

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

$9f_e + f_e = 20$

या $10f_e = 20$

$\therefore$ $f_e = 2$ सेमी.

अतः नेत्रिकी फोकस दूरी $f_e = 2$ सेमी.

f_e का मान समीकरण (2) में रखने पर

$f_0 + 2 = 20$

$\therefore$ $f_0 = 20 - 2 = 18$ सेमी.

अतः अभिदृश्यक की फोकस दूरी $f_0 = 18$ सेमी.

अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

1. किसी पारदर्शी माध्यम में किस रंग के प्रकाश की चाल सबसे अधिक तथा किसकी सबसे कम होती है?
2. प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक सबसे अधिक व न्यूनतम किस रंग के प्रकाश के लिए होता है?
3. प्रिज्म द्वारा किस रंग की प्रकाश किरण का विचलन न्यूनतम होता है ?
4. यदि क्राउन काँच के लिए लाल, पीले तथा बैगनी रंग के अपवर्तनांक क्रमशः μ_R, μ_Y, μ_V है तब काँच की वर्ण विक्षेपण क्षमता का सूत्र लिखिए।
5. यदि पृथ्वी पर कोई वातावरण नहीं हो तो पृथ्वी से देखने पर आकाश का रंग कैसा दिखायी देगा?
6. क्या कारण है कि हम कोहरे में नहीं देख पाते हैं?
7. प्राथमिक इन्द्रधनुष बनने की प्रक्रिया में सूर्य की प्रकाश किरणों का बरसात की बूँदों से न्यूनतम विचलन पर निकलने से पूर्व कौनसी घटना होती है?
8. एक स्वस्थ मानव नेत्र के लिए निकट तथा दूर बिन्दु की क्रमशः दूरी लिखिए।
9. यदि निकट दृष्टि दोष से ग्रसित एक मनुष्य के दूर बिन्दु की दूरी दोगुनी हो जाए, तो उसकी सही दृष्टि से लिए प्रयुक्त लेंस की फोकस दूरी कितनी हो जाएगी?
10. आँख के लेंस की क्षमता बढ़ जाने पर उसमें कौनसा दोष आ जाता है?
11. एक उत्तल लेंस द्वारा सरल सूक्ष्मदर्शी की तरह कार्य करने के लिए लैंस से वस्तु की दूरी की स्थिति बताइए।
12. संयुक्त सूक्ष्मदर्शी में अभिदृश्यक तथा नेत्रिका की आवर्धन क्षमताएँ क्रमशः m_1 व m_2 है। संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता का सूत्र लिखिए।
13. एक संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की लम्बाई बढ़ाने पर उसकी आवर्धन क्षमता पर क्या प्रभाव पड़ेगा?
14. सामान्य दृष्टि के लिए एक खगोलीय दूरदर्शी में अन्तिम प्रतिबिम्ब कहाँ बनता है?
15. साधारण दृष्टि के लिए खगोलीय दूरदर्शी की लम्बाई कितनी होती है ?
16. प्रिज्म के पदार्थ (काँच) का अपवर्तनांक का सूत्र लिखिए।
17. पतले प्रिज्म के लिए न्यूनतम विचलन कोण, अपवर्तनांक व प्रिज्म कोण में सम्बन्ध सूत्र लिखिए।
18. प्रिज्म से वर्ण परिक्षेपण के पश्चात् विभिन्न संघटक रंगों का क्रम से नाम लिखिए।
19. स्पेक्ट्रम से क्या तात्पर्य है?
20. कोणीय विक्षेपण से क्या तात्पर्य है?
21. इन्द्रधनुष प्रकाश की किस घटना पर आधारित होता है?
22. प्राथमिक इन्द्र धनुष द्वारा प्रेक्षक की आँख पर बनाया गया दर्शन कोण कितना होता है?
23. द्वितीयक इन्द्रधनुष द्वारा प्रेक्षक की आँख पर बनाया गया दर्शन कोण कितना होता है?
24. रैले प्रकीर्णन से क्या तात्पर्य है?
25. एक स्वस्थ नेत्र के लिए स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी का मान कितना होता है?
26. जरादर्शिता के निवारण के लिए कौनसा लैंस प्रयुक्त किया जाता है ?
27. सरल सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता का सूत्र लिखिए।
28. सरल सूक्ष्मदर्शी का कोई एक उपयोग लिखिए।
29. संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता का सूत्र लिखिए।
30. खगोलीय अपवर्ती दूरदर्शी की आवर्धन क्षमता का सूत्र लिखिए।
31. खगोलीय अपवर्ती दूरदर्शी का कोई एक उपयोग लिखिए।

उत्तरमाला

1. बैंगनी रंग के प्रकाश की चाल सबसे कम तथा लाल रंग के प्रकाश की चाल सबसे अधिक होती है।

   $\mu_V > \mu_R$ तथा $v_R > v_V$
2. बैंगनी रंग के लिए सर्वाधिक तथा लाल रंग के प्रकाश के लिए न्यूनतम होता है।
3. लाल रंग की प्रकाश किरण का।
4. $\dfrac{\mu_V - \mu_R}{\mu_Y - 1}$ 5. काला
6. इसका कारण है कि प्रकाश कोहरे के कणों द्वारा प्रकीर्णित हो जाता है।
7. एक बार आन्तरिक परावर्तन तथा दो बार अपवर्तन।
8. 25 सेमी. तथा अनन्त। 9. दोगुनी
10. निकट दृष्टि दोष।
11. लेंस से वस्तु की दूरी फोकस दूरी से कम होनी चाहिए।
12. $m_1 \times m_2$ 13. आवर्धन क्षमता बढ़ती है।
14. स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी पर।
15. $f_0 + f_e$ 16. $\mu = \dfrac{\sin\left(\dfrac{A+\delta_m}{2}\right)}{\sin\left(\dfrac{A}{2}\right)}$

17. $\delta_m = (\mu - 1)A$
जहाँ μ = अपवर्तनांक तथा A = प्रिज्म कोण
18. बैंगनी, जामुनी, नीला, हरा, पीला, नारंगी और लाल (VIBGYOR)
19. प्रिज्म से वर्ण परिक्षेपण के पश्चात् प्रकाश के संघटक रंगों के प्रतिरूप को स्पेक्ट्रम कहते हैं।
20. बैंगनी व लाल रंग के विचलन के अन्तर को कोणीय विक्षेपण कहते हैं अर्थात्
कोणीय विक्षेपण $\theta = \delta_v - \delta_r = (\mu_v - \mu_r)A$
21. इन्द्र धनुष सूर्य के प्रकाश का जल की गोलीय सूक्ष्म बूँदों द्वारा परिक्षेपण, अपवर्तन तथा आन्तरिक परावर्तन के संयुक्त प्रभाव की घटना है।
22. 2° 23. 3°
24. रैले के अनुसार प्रकीर्णन की मात्रा प्रकाश की तरंगदैर्ध्य की चतुर्थ घात (λ^4) के व्युत्क्रमानुपाती होती है। इसे रैले प्रकीर्णन कहते हैं।
25. D = 25 सेमी 26. अभिसारी लैंस।
27. $m = \frac{D}{u}$
28. इसका उपयोग घड़ीसाज द्वारा घड़ी के बारीक व सूक्ष्म पुर्जों को देखकर मरम्मत करने में किया जाता है।
29. $m = -\frac{v_0}{u_0}\left(\frac{D}{u_e}\right)$ 30. $m = -\frac{f_0}{u_e}$
31. इसका उपयोग आकाशीय पिण्डों के प्रेक्षण में किया जाता है।

विविध उदाहरण

Basic Level

उदाहरण 51. तालाब के किनारे खड़े एक व्यक्ति को ऊर्ध्वाधर नीचे की ओर देखने पर एक मछली जल की सतह से 2 मीटर नीचे दिखाई देती हैं। यदि पानी का अपवर्तनांक 1.33 हो तो मछली की वास्तविक गहराई क्या होगी ?

हल : सूत्र : अपवर्तनांक $\mu = \frac{h_2}{h_1}$

दिया है : $\mu = 1.33, h_1 = 2$ मीटर

सूत्र में मान रखने पर, $1.33 = \frac{h_2}{2}$

$\therefore \quad h_2 = 1.33 \times 2 = 2.66$ मीटर

उदाहरण 52. एक प्रकाश पुंज बिन्दु P पर अभिसरित होती है। बिन्दु P से 12 सेमी. की दूरी पर अभिसरित पुंज के मार्ग में एक लैंस रख दिया जाता है। किस बिन्दु पर पुंज अभिसरित होगी ? यदि :
(i) लैंस उत्तल लैंस हो तथा उसकी फोकस दूरी 20 सेमी. हो।
(ii) लैंस अवतल लैंस हो तथा उसकी फोकस-दूरी 16 सेमी. हो।

हल : सूत्र : $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$

(i) उत्तल लैंस के लिए, $f = +20$ सेमी., $u = +12$ सेमी. (प्रकाश की दिशा में वस्तु की दूरी)।

सूत्र में मान रखने पर,

$$\frac{1}{20} = \frac{1}{v} - \frac{1}{12}$$

या $$\frac{1}{v} = \frac{1}{20} + \frac{1}{12} = \frac{3+5}{60} = \frac{8}{60}$$

$\therefore$ $$v = \frac{60}{8} = +7.5 \text{ सेमी.}$$

अत: P की ओर 7.5 सेमी. की दूरी पर पुंज अभिसरित होगी।

(ii) अवतल लैंस के लिए, $f = -16$ सेमी.

सूत्र में मान रखने पर,

$$\frac{-1}{16} = \frac{1}{v} - \frac{1}{12}$$

या $$\frac{1}{v} = -\frac{1}{16} + \frac{1}{12} = \frac{-3+4}{48} = \frac{1}{48}$$

$\therefore \quad v = 48$ सेमी.

अत: P की ओर 48 सेमी. की दूरी पर अभिसरित होगी।

उदाहरण 53. 30 सेमी. फोकस-दूरी वाले एक उत्तल लैंस को 20 सेमी. फोकस-दूरी वाले एक अवतल लैंस के सम्पर्क में रखा गया है। यह निकाय अभिसारी लैंस की तरह कार्य करेगा या अपसारी लैंस की तरह ?

हल : $$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$$

दिया है : $f_1 = +30$ सेमी. तथा $f_2 = -20$ सेमी.।

सूत्र में मान रखने पर,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{30} + \frac{1}{-20} = \frac{1}{30} - \frac{1}{20}$$
$$= \frac{2-3}{60} = -\frac{1}{60}$$

$\therefore \quad f = -60$ सेमी.
$= -0.60$ मीटर

क्षमता $$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{-0.60}$$
$= -1.66$ डायऑप्टर

अत: निकाय अपसारी लैंस (अवतल लैंस) की तरह कार्य करेगा।

उदाहरण 54. चश्मे बनाने वाला दो लैंस जिनकी क्षमता क्रमश: 1.25 और −2.0 डायऑप्टर है, संयोजित कर एक लैंस बनाता है। नये बने लैंस की क्षमता ज्ञात कीजिये।

हल : हम जानते हैं कि, $P = P_1 + P_2$

दिया है : $P_1 = 1.25$ और $P_2 = -2.0$ डायऑप्टर

मान रखने पर,

$P = 1.25 - 2.00 = -0.75$ डायऑप्टर

उदाहरण 55. पानी के सापेक्ष काँच का अपवर्तनांक 9/8 है। यदि पानी में प्रकाश की चाल 2.25×10^8 मीटर/सेकण्ड हो, तो काँच में प्रकाश की चाल ज्ञात कीजिये।

हल : सूत्र $${}_w\mu_g = \frac{v_w}{v_g}$$

दिया है : $_w\mu_g = \frac{9}{8}$

$v_w = 2.25 \times 10^8$ मीटर/सेकण्ड

$v_g = \frac{v_w}{_w\mu_g} = \frac{2.25\times10^8}{9/8}$

$= 2.25 \times \frac{8}{9}\times10^8$

$= 2.0 \times 10^8$ मीटर/सेकण्ड

उदाहरण 56. काँच (अपवर्तनांक 1.5) में प्रकाश की चाल 2×10^8 मीटर/सेकण्ड है, तो वायु में प्रकाश की चाल ज्ञात कीजिये।

हल : सूत्र $_a\mu_g = \frac{v_a}{v_g}$, जहाँ $_a\mu_g = 1.5, v_g = 2 \times 10^8$ मीटर/सेकण्ड

$\therefore \quad v_a = v_g \times {_a\mu_g}$

$v_a = 1.5 \times 2 \times 10^8$

$= 3.0 \times 10^8$ मीटर/सेकण्ड।

उदाहरण 57. उत्तल लैंस के सम्मुख रखी वस्तु का प्रतिबिम्ब दूसरी ओर रखे पर्दे पर 4.6 सेमी. लम्बाई का बनता है। लैंस को पर्दे की ओर खिसकाने पर 1.7 सेमी. लम्बाई का दूसरा प्रतिबिम्ब प्राप्त होता है। वस्तु की लम्बाई ज्ञात कीजिये।

सूत्र : सूत्र $O = \sqrt{I_1 \times I_2}$

दिया है : $I_1 = 4.6$ सेमी. तथा $I_2 = 1.7$ सेमी.

सूत्र में मान रखने पर,

$O = \sqrt{4.6\times1.7} = \sqrt{7.82} = 2.80$ सेमी.

उदाहरण 58. किसी उत्तल लैंस की फोकस-दूरी 75 सेमी. है, तो इसकी शक्ति की गणना कीजिये।

हल : दिया है : $f = 75$ सेमी., = 0.75 मीटर

$\therefore$ शक्ति $P = \frac{1}{f} = \frac{1}{0.75} = 1.33$ डायऑप्टर

उदाहरण 59. एक पिन उत्तल लैंस के सामने, जिसकी फोकस-दूरी 20 सेमी. तथा पदार्थ का अपवर्तनांक 1.5 है, 10 सेमी. दूरी पर रखी है। लैंस के पिन से दूर वाले पृष्ठ पर चाँदी की कलई की गई है। इस पृष्ठ की वक्रता-त्रिज्या 22 सेमी. है। पिन का अन्तिम प्रतिबिम्ब कहाँ बनेगा?

हल : सूत्र : $\frac{1}{f} = \frac{2}{f_l} + \frac{2}{R_2}$

दिया है : $f_l = -20$ सेमी. (प्रथम फोकस-दूरी), $R_2 = -22$ सेमी.

उपर्युक्त सूत्र में मान रखने पर,

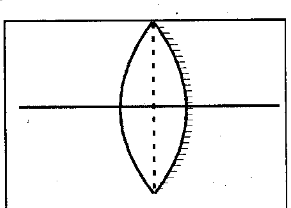
$$\frac{1}{f} = \frac{-2}{20} + \frac{-2}{22} = \frac{-21}{110}$$

$\therefore \quad f = \frac{-110}{21}$

पुन: $\quad u = -10$ सेमी.

सूत्र: $\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$ में मान रखने पर,

$$\frac{-21}{110} = \frac{-1}{10} + \frac{1}{v}$$



चित्र 11.55

या $\quad \frac{1}{v} = \frac{-21}{110} + \frac{1}{10}$

$= -\frac{1}{11}$

या $\quad v = -11$ सेमी.

उदाहरण 60. एक अभिसारी लैंस की क्षमता +4D है। वस्तु और उसके वास्तविक प्रतिबिम्ब के बीच की न्यूनतम दूरी क्या होगी ?

हल : न्यूनतम दूरी = $4f$

क्षमता $\quad P = \frac{100}{f}$ से,

$4 = \frac{100}{f}$

या $\quad f = \frac{100}{4} = 25$ सेमी.

अत: न्यूनतम दूरी = $4 \times 25 = 100$ सेमी.

उदाहरण 61. काँच के एक प्रिज्म पर आपतित किरण लम्बवत् गिर रही है। यह किरण दूसरे धरातल से निकल सके, इसके लिए प्रिज्म कोण की गणना करो।

हल : प्रश्नानुसार यह घटना तभी सम्भव है जबकि प्रिज्म में अपवर्तित किरण QO, 90–A कोण से O बिन्दु पर पहुँचें। यदि प्रिज्म कोण A° हो तो चित्र के अनुसार क्रांतिक कोण A° होगा।

अत: $\quad \mu = \frac{1}{\sin A}$

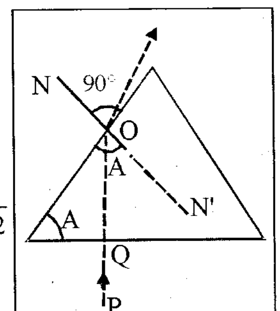
या $\quad \sin A = \frac{1}{\mu}$

यहाँ $\quad \mu = 1.52, \sin A = \frac{1}{1.52}$

या $\quad \sin A = 0.6578$

या $\quad \sin A = \sin 41.2°$

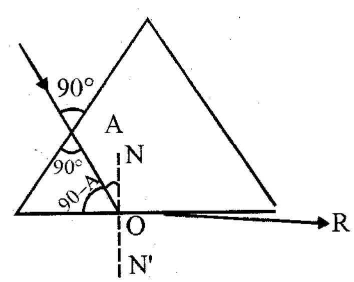
$A = 41.2°$ होगा।



चित्र : 11.56

उदाहरण 62. सिद्ध करो कि यदि प्रिज्म का कोण वायु के सापेक्ष काँच के संगत क्रांतिक कोण के मान के दुगुने से अधिक हो, तो प्रिज्म से आपतित प्रकाश किरण दूसरे धरातल से बाहर नहीं निकल पायेगी।

हल : जब आपतित किरण प्रिज्म पर लम्बवत् गिरती है तो लम्बवत् ही प्रिज्म में प्रवेश करेगी। इस अवस्था में प्रिज्म कोण A व क्रांतिक कोण बराबर होते हैं।



चित्र 11.57

प्रश्नानुसार आपतन कोण A से अधिक है। अत: पूर्ण आन्तरिक परावर्तन होगा और किरण बाहर नहीं निकलेगी।

उदाहरण 63. 45° के प्रिज्म कोण वाले समकोणिक प्रिज्म द्वारा एक किरण को 90° से घुमा सकने के लिए उसके माध्यम का अपवर्तनांक कितना होना चाहिए ?

हल : समकोणिक प्रिज्मों में समकोणिक परावर्तन के समय

या $\mu = \frac{1}{\sin A}$ या $\mu = \frac{1}{\sin 45°} = \sqrt{2}$

या $\mu = 1.41$

उदाहरण 64. किसी प्रिज्म के लिए बैंगनी एवं लाल रंग के प्रकाश के अपवर्तनांक क्रमशः 1.659 तथा 1.641 हैं। यदि प्रिज्म का कोण 10° हो, तो सम्पूर्ण वर्ण-विक्षेपण ज्ञात कीजिए।

हल : सूत्र : सम्पूर्ण वर्ण-विक्षेपण = $(\mu_v - \mu_r)$ A

दिया है : $\mu_v = 1.659$, $\mu_r = 1.641$ तथा A = 10°

सूत्र में मान रखने पर,

सम्पूर्ण वर्ण-विक्षेपण = (1.659 – 1.641) 10°

$= 0.018 \times 10 = 0.18°$

उदाहरण 65. बैंगनी और लाल रंग के प्रकाश के लिए फ्लिंट-काँच के अपवर्तनांक क्रमशः 1.659 और 1.641 हैं। फ्लिंट-काँच की वर्ण-विक्षेपण क्षमता ज्ञात कीजिए।

हल : सूत्र $\omega = \frac{\mu_v - \mu_r}{\mu_y - 1}$

दिया है : $\mu_v = 1.659$, $\mu_r = 1.641$

$$\mu_y = \frac{1.659 + 1.641}{2} = \frac{3.300}{2} = 1.65$$

सूत्र में मान रखने पर,

$$\omega = \frac{1.659 - 1.641}{1.65 - 1} = \frac{0.018}{0.65} = 0.028$$

उदाहरण 66. एक प्रिज्म (μ = 1.5) का अपवर्तक कोण 30° है। इसके एक पृष्ठ पर लम्बवत् आपतित एकवर्णी प्रकाश-किरण के लिए विचलन कोण ज्ञात कीजिए।

(sin 48° 36′ = 0.75)

हल : दिया है $\mu = 1.5$, A = 30°, $i = 0°$ (चूँकि प्रकाश-किरण लम्बवत् आपतित होती है।)

चूँकि आपतन कोण $i_1 = 0$, अत: अपवर्तक कोण $r_1 = 0$

अब $r_1 + r_2 = A$ $\therefore 0 + r_2 = A$

या $r_2 = A = 30°$

परन्तु $\mu = \frac{\sin i_2}{\sin r_2}$

या $\sin i_2 = \mu \sin r_2 = 1.5 \times \sin 30° = 1.5 \times \frac{1}{2} = 0.75$

या $\sin i_2 = \sin 48° 36′ \therefore i_2 = 48°36′$

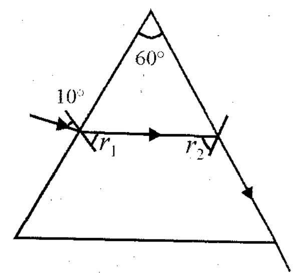
परन्तु $\delta + A = i_1 + i_2$

या $\delta = i_1 + i_2 - A = 0 + 48° 36′ - 30° = 18°36′$

उदाहरण 67. किसी प्रिज्म की एक सतह पर प्रकाश-किरण 10° के कोण पर आपतित होती है तथा दूसरी सतह को स्पर्श करती हुई चली जाती है। यदि प्रिज्म का कोण 40° हो, तो विचलन कोण का मान कितना होगा ?

हल : सूत्र : $\delta = i_1 + i_2 - A$

दिया है : $A = 40°$, $i_1 = 10°$



चित्र 11.58

प्रकाश-किरण दूसरी सतह को स्पर्श करती हुई चली जाती है।

अत: $i_2 = 90°$

उपर्युक्त सूत्र में मान रखने पर,

$40° + \delta = 10° + 90°$

$\therefore$ $\delta = 100° - 40° = 60°$

उदाहरण 68. सरल सूक्ष्मदर्शी के उत्तल लैंस की फोकस दूरी 5 सेमी. है। यदि स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी 25 सेमी. हो, तो सरल सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन-क्षमता ज्ञात कीजिए।

हल : सूत्र $m = 1 + \frac{D}{f}$

दिया है : D = 25 सेमी. तथा f = 5 सेमी.

सूत्र में मान रखने पर, $m = 1 + \frac{25}{5} = 6$

उदाहरण 69. एक संयुक्त सूक्ष्मदर्शी के अभिदृश्यक लैंस की आवर्धन-क्षमता 8 है। यदि सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन-क्षमता 32 हो तो नेत्रिका की आवर्धन-क्षमता ज्ञात कीजिए।

हल : सूत्र $m = m_o \times m_e$

दिया है : $m_o = -8$ तथा $m = -32$

उपर्युक्त सूत्र में मान रखने पर, $-32 = -8 \times m_e$

या $m_e = \frac{-32}{-8} = 4$

उदाहरण 70. एक खगोलीय दूरदर्शी के अभिदृश्यक और नेत्रिका की फोकस-दूरियाँ क्रमशः 2 मीटर और 0.05 मीटर हैं। दूरदर्शी की आवर्धन-क्षमता ज्ञात कीजिए, जबकि अन्तिम प्रतिबिम्ब अनन्त पर बने। दूरदर्शी की नली की लम्बाई भी ज्ञात कीजिए।

हल : सूत्र $m = \frac{-f_o}{f_e}$

दिया है : f_o = 2 मीटर, f_e = 0.05 मीटर

उपर्युक्त सूत्र में मान रखने पर,

$$m = \frac{-2}{0.05} = \frac{-200}{5} = -40$$

दूरदर्शी की नली की लम्बाई
$= f_o + f_e = 2 + 0.05 = 2.05$ मीटर

उदाहरण 71. केवल नेत्र से देखने पर चन्द्रमा का नेत्र पर दर्शन कोण 0.6° है। एक दूरदर्शी के अभिदृश्यक तथा नेत्रिका की फोकस-दूरियाँ क्रमशः 200 सेमी. तथा 5 सेमी. हैं। दूरदर्शी से चन्द्रमा को देखने पर चन्द्रमा का दर्शन कोण कितना प्रतीत होगा ?

हल : $m = \frac{f_o}{f_e}$ तथा $m = \frac{\beta}{\alpha}$ (संख्यात्मक मान)

दिया है : $f_o = 200$ सेमी., $f_e = 5$ सेमी., $\alpha = 0.6°$

अतः $\frac{f_o}{f_e} = \frac{\beta}{\alpha}$ से,

$$\beta = \frac{f_o}{f_e} \times \alpha = \frac{200}{5} \times 0.6 = 40 \times 0.6 = 24°$$

उदाहरण 72. चार उत्तल लैंस दिये गये हैं जिनकी फोकस-दूरियाँ क्रमशः 5, 10, 15 और 20 सेमी. हैं। अधिकतम आवर्धन-क्षमता वाला दूरदर्शी बनाने के लिए किन दो लैंसों को चुनना चाहिए ?

हल : दूरदर्शी की आवर्धन-क्षमता $m = -\frac{f_o}{f_e}$

m का मान अधिक होने के लिए, f_o का मान अधिक एवं f_e का मान कम होना चाहिए।

अतः 20 सेमी. फोकस-दूरी के वाले लैंस को अभिदृश्यक एवं 5 सेमी. फोकस-दूरी वाले लैंस को नेत्रिका के लिए चुनना चाहिए।

उदाहरण 73. किसी व्यक्ति का निकट बिन्दु 50 सेमी. तथा दूर बिंदु 200 सेमी. है। इसके लिए आवश्यक चश्मे के लैंस की क्षमता ज्ञात कीजिये।

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

निकट बिन्दु $v = -50 cm$, $u = -25$ cm

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{-50} - \frac{1}{-25} = \frac{1}{25} - \frac{1}{50} = \frac{1}{50}$$

$f = +50$ सेमी. उत्तल लैंस,

$$P = \frac{1}{f} D = +2.0 D$$

दूर बिंदु $v = -200$ सेमी., $u = \infty$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{-200}$$

$f = -200$ सेमी.

अवतल लैंस

$$P = \frac{1}{f} D = -0.5 D$$

उदाहरण 74. एक सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता 60 है जबकि वस्तु अभिदृश्यक लैंस से 1 सेमी. दूर रखी है। यदि अभिनेत्र लैंस की फोकस दूरी 5 सेमी. एवं अन्तिम प्रतिबिम्ब स्पष्ट देखने की न्यूनतम दूरी पर बनता है तो अभिदृश्यक लैंस की फोकस दूरी ज्ञात करो।

हल : प्रश्नानुसार

$m = -60$, $f_e = 5$ सेमी.
$u_0 = -1$ सेमी., $D = 25$ सेमी.
$|u_o| = 1$ सेमी.

सूत्र $$m = -\frac{v_o}{u_o}\left[1 + \frac{D}{f_e}\right]$$

$$-60 = \frac{v_0}{-1}\left(1 + \frac{25}{5}\right)$$

या $$60 = v_0\left(\frac{30}{5}\right) \text{ या } v_0 = \frac{60 \times 5}{30}$$

$v_0 = 10$ सेमी. ...(1)

$$\therefore \quad \frac{1}{f_0} = \frac{1}{v_0} - \frac{1}{u_0}$$

$$\frac{1}{f_0} = \frac{1}{10} - \frac{1}{-1} = \frac{1}{10} + \frac{1}{1}$$

या $$\frac{1}{f_0} = \frac{1+10}{10} = \frac{11}{10}$$

या $$f_0 = \frac{10}{11}$$

$f_0 = 0.91$ सेमी.

उदाहरण 75. एक दूरदर्शी के अभिदृश्यक की फोकस-दूरी 3 मीटर तथा व्यास 15 सेमी. है। यह मानकर कि आँख की पुतली का व्यास 3 मिमी है, अभिदृश्यक की विभेदन क्षमता का पूर्ण उपयोग करने के लिए नेत्रिका की फोकस-दूरी कितनी होनी चाहिए ?

हल : कोणीय आवर्धन या क्षमता

$$m = \frac{\text{अभिदृश्यक का व्यास}}{\text{नेत्र - वलय का व्यास}}$$

परन्तु $$m = \frac{f_o}{f_e}$$

$$\therefore \quad \frac{f_o}{f_e} = \frac{\text{अभिदृश्यक का व्यास}}{\text{नेत्र - वलय का व्यास}}$$

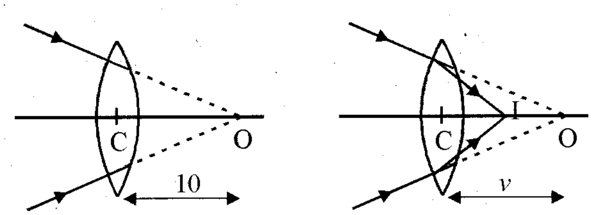
दिया है : $f_o = 3$ मीटर $= 300$ सेमी., अभिदृश्यक का व्यास $= 15$ सेमी., नेत्र-वलय का व्यास = पुतली का व्यास = 3 मिमी. = 0.3 सेमी.

उपर्युक्त सूत्र में मान रखने पर,

$$\frac{300}{f_e} = \frac{15}{0.3}$$

या $$f_e = \frac{300 \times 0.3}{15} = 6 \text{ सेमी.}$$

उदाहरण 76. उत्तल लैंस पर प्रकाश किरणें चित्र के अनुसार आपतित हो रही है। यदि लैंस की फोकस दूरी 30 सेमी. हैं तो प्रतिबिम्ब की स्थिति ज्ञात कीजिये।



चित्र 11.59

हल : किरणें जिस बिन्दु O पर मिलती हुई प्रतीत होती है। वह लैंस के लिए आभासी वस्तु का कार्य करेगा। इस प्रकार यहाँ

$CI = v$, $CO = u = +10$ सेमी.

फोकस दूरी $f = +30$ सेमी.

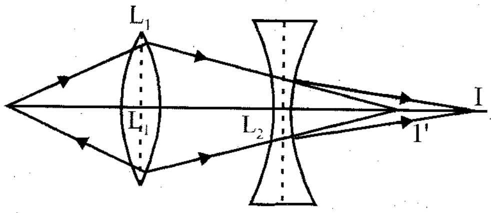
अत: सूत्र $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ के अनुसार

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{10}=\frac{1}{30}$$

$$\therefore\ \frac{1}{u}=\frac{1}{10}+\frac{1}{30}=\frac{4}{30} \text{ या } v=\frac{30}{4}=7.5 \text{ सेमी.}$$

अत: प्रतिबिम्ब लैंस से 7.5 सेमी. की दूरी पर वस्तु O की ओर ही I पर बनेगा।

उदाहरण 77. किरण चित्र में वस्तु O, प्रतिबिम्ब I तथा दो लैंसों की परस्पर दूरियाँ एवं एक लैंस की फोकस दूरी दी गयी है। दूसरे लैंस की फोकस दूरी की गणना कीजिये।



चित्र 11.60

हल : पहले उत्तल लैंस L_1 के लिए

$$f = +15 \text{ सेमी.}, u=-40 \text{ सेमी.}, v=?$$

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

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{-40} = \frac{1}{15}$$

$$\frac{1}{v}=\frac{1}{15}-\frac{1}{40} = \frac{8-3}{120}=\frac{5}{120}=\frac{1}{24}$$

$$v = +24 \text{ सेमी.}$$

उत्तल लैंस L_1 द्वारा बना यह प्रतिबिम्ब I', अवतल लैंस L_2 के लिए वस्तु का कार्य करता है तथा लैंस L_2 द्वारा इसका प्रतिबिम्ब I बनता है। अत: लैंस L_2 के लिए

$$u = +(24-15)=+9 \text{ सेमी.}$$

$$v = +30, f=?$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{30}-\frac{1}{9} = \frac{3-10}{90} = -\frac{7}{30}$$

$$f = -\frac{30}{7}=-4.28 \text{ सेमी.}$$

उदाहरण 78. एक काँच के प्रिज्म का अपवर्तन कोण 72° है। इस प्रिज्म को 1.33 अपवर्तनांक के द्रव में डुबोने पर आपतित समान्तर किरणों के लिये विचलन कोण की गणना करो। प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक 1.66 है।

हल : यहाँ किरण द्रव से काँच में प्रवेश करती है।

$$_l\mu_g = \frac{\mu_g}{\mu_l}=\frac{1.66}{1.33}$$

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

$$\frac{1.66}{1.33} = \frac{\sin\frac{72^\circ+\delta_m}{2}}{\sin(72^\circ/2)}$$

$$\text{या } \sin\left(\frac{72^\circ+\delta_m}{2}\right) = \frac{1.66}{1.33}\times\sin 36^\circ=0.7335$$

$$\text{या } \frac{72+\delta_m}{2} = 47^\circ 11'$$

$$\delta_m = 22^\circ 12'$$

उदाहरण 79. यदि काँच के एक पतले प्रिज्म को जल में डुबो दें तो सिद्ध करो कि प्रिज्म द्वारा उत्पन्न प्रकाश का न्यूनतम विचलन (वायु के सापेक्ष) एक चौथाई रह जायेगा।

(दिया है : $_a\mu_g = 3/2$ तथा $_a\mu_w=\frac{4}{3}$)

हल : पतले प्रिज्म द्वारा विचलन $\delta=(\mu-1)A$

यहाँ μ प्रिज्म के पदार्थ का चारों ओर के माध्यम के सापेक्ष अपवर्तनांक है तथा A प्रिज्म कोण है।

वायु में $\mu = {_a\mu_g}=\frac{3}{2}$

$$\therefore\ \delta_1 = \left(\frac{3}{2}-1\right)A=\frac{A}{2}$$

जल में $\mu={_w\mu_g}=\frac{_a\mu_g}{_a\mu_w}=\frac{3/2}{4/3}=\frac{9}{8}$

$$\therefore\ \delta_2 = \left(\frac{9}{8}-1\right)A=\frac{A}{8}$$

$$\therefore\ \frac{\delta_2}{\delta_1} = \frac{1}{4}$$

उदाहरण 80. एक समतल दर्पण प्रेक्षक की ओर 10 सेमी/से. की चाल से आ रहा है जिसमें प्रेक्षक अपना प्रतिबिम्ब देख रहा है। प्रेक्षक का प्रतिबिम्ब प्रेक्षक की ओर किस चाल से आ रहा है ज्ञात कीजिए?

हल–माना कि किसी समय समतल दर्पण, प्रेक्षक से x दूरी पर स्थित है तब प्रतिबिम्ब दर्पण के पीछे x दूरी पर ही होगा।

जब दर्पण को प्रेक्षक की ओर y दूरी खिसकाया जाता है तब प्रतिबिम्ब का विस्थापन $= x+y-(x-y)=x+y-x+y=2y$

अत: प्रतिबिम्ब की चाल = 2 × दर्पण की चाल

= 2 × 10 = 20 सेमी/से

उदाहरण 81. एक अवतल दर्पण के फोकस से x_1 दूरी पर स्थित वस्तु का प्रतिबिम्ब फोकस से x_2 दूरी पर बनता है तो दर्पण की फोकस दूरी ज्ञात कीजिए।

हल- प्रश्नानुसार $u=f+x_1$

तथा $v=f+x_2$

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

$$\Rightarrow f=\frac{uv}{u+v}=\frac{(f+x_1)(f+x_2)}{(f+x_1)+(f+x_2)}$$

$$\Rightarrow f^2 = x_1x_2$$

$$\Rightarrow f = \sqrt{x_1x_2}$$

उदाहरण 82. एकवर्णी नीले प्रकाश पुंज की वायु में तरंगदैर्ध्य 4200Å है। यह $\frac{4}{3}$ अपवर्तनांक के जल में संचरित होती है। प्रकाश की जल में

तरंगदैर्ध्य ज्ञात कीजिए।

हल– ∵ $_a\mu_w = \frac{\lambda_a}{\lambda_w}$

$\Rightarrow \lambda_w = \frac{\lambda_a}{_a\mu_w} = \frac{4200}{4/3} = \frac{3}{4} \times 4200 = 3150 \text{Å}$

उदाहरण 83. किसी माध्यम में प्रकाश का वेग वायु में वेग का आधा है। यदि प्रकाश किरण इस माध्यम से वायु में प्रवेश करती है तब पूर्ण आन्तरिक परावर्तन के लिए, आपतन कोण का मान लिखिए।

हल– ∵ अपवर्तनांक $\mu = \frac{c}{v} = \frac{c}{c/2} = 2$

∵ पूर्ण आन्तरिक परावर्तन के लिए $i > i_c$

$\Rightarrow \sin i \geq \sin i_c$

$\Rightarrow \sin i \geq \frac{1}{\mu}$

$\therefore i \geq \sin^{-1}\left(\frac{1}{\mu}\right)$

$\Rightarrow i \geq \sin^{-1}\left(\frac{1}{2}\right)$

$\Rightarrow i \geq 30^\circ$

उदाहरण 84. एक उत्तल लैंस की फोकस दूरी f है। इसे परस्पर x दूरी पर स्थित वस्तु तथा पर्दे के मध्य रखा जाता है। यदि लैंस द्वारा उत्पन्न आवर्धन का सांख्यिक मान m है तब लैंस की फोकस दूरी ज्ञात कीजिए।

हल– ∵ आवर्धन $m = \frac{v}{u}$

तथा $u + v = x \Rightarrow u + mu = x \Rightarrow u(1+m) = x$

$\Rightarrow u = \frac{x}{1+m}$

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

$\Rightarrow f = \frac{mx}{(m+1)^2}$

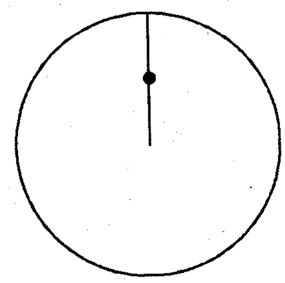
Advance Level

उदाहरण 85. काँच के 7 सेमी. त्रिज्या वाले एक ठोस काँच के गोले के अन्दर हवा का एक बुलबुला है, जो त्रिज्या की दिशा में देखने पर गोले की सतह से 5.6 सेमी. दूर दिखाई देता है। यदि काँच का अपवर्तनांक 1.5 हो, तो हवा के बुलबुले की वास्तविक स्थिति ज्ञात कीजिये।

हल : सूत्र : $\frac{\mu - 1}{R} = \frac{\mu}{v} - \frac{1}{u}$

चूँकि प्रकाश किरण काँच से हवा में प्रवेश करती है, μ के स्थान पर $\frac{1}{\mu}$ लिखेंगे।

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



चित्र 11.61

दिया है : R = –7 सेमी., v = –5.6 सेमी. (अवतल पृष्ठ), $\mu = 1.5$

सूत्र में मान रखने पर,

$\frac{\frac{1}{1.5} - 1}{-7} = \frac{\frac{1}{1.5}}{-5.6} - \frac{1}{u}$

या $\frac{1 - 1.5}{-7} = \frac{1}{-5.6} - \frac{1.5}{u}$

या $\frac{1.5}{u} = -\frac{1}{5.6} - \frac{0.5}{7} = -\left(\frac{1 + 0.4}{5.6}\right)$

या $\frac{1.5}{u} = \frac{-1.4}{5.6} = -\frac{1}{4}$

$\therefore u = -1.5 \times 4 = -6$ सेमी.

उदाहरण 86. एक उत्तल लैंस से वस्तु का पाँच गुना बड़ा प्रतिबिम्ब बनता है। यदि वस्तु 3 सेमी. पीछे हटा दी जाए तो प्रतिबिम्ब का आवर्धन 2 गुना रह जाता है। लैंस की फोकस दूरी और वस्तु की प्रारम्भिक स्थिति ज्ञात कीजिये।

हल : पहली विधि : सूत्र : $m = \frac{f}{u + f}$ ...(1)

पहली स्थिति में–मान लो लैंस से वस्तु की दूरी x है। तब $u = -x$ तथा $m = -5$ (वास्तविक प्रतिबिम्ब)

समीकरण (1) में मान रखने पर,

$-5 = \frac{f}{-x + f}$

या $5x - 6f = 0$ ...(2)

दूसरी स्थिति में– $u = -(x + 3)$ तथा $m = -2$

समीकरण (1) में मान रखने पर

$-2 = \frac{f}{-(x+3) + f}$

या $2x - 3f = -6$ ...(3)

समी. (2) तथा (3) को हल करने पर

$x = 12$ सेमी. तथा $f = 10$ सेमी.।

दूसरी विधि : सूत्र

(1) $m = \frac{v}{u}$

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

पहली स्थिति में–$m = -5$ (वास्तविक प्रतिबिम्ब), $u = -x$ (मान लो)

सूत्र (1) में मान रखने पर,

$$-5 = \frac{v}{-x} \text{ या } v = 5x$$

सूत्र (2) में u और v के मान रखने पर,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{5x} - \frac{1}{-x} = \frac{1}{5x} + \frac{1}{x} = \frac{6}{5x}$$

$$\therefore \quad f = \frac{5x}{6} \quad \ldots(1)$$

दूसरी स्थिति में–$m = -2$ तथा $u = -(x+3)$

सूत्र (1) में मान रखने पर,

$$-2 = \frac{v}{-(x+3)} \text{ या } v = 2(x+3)$$

सूत्र (2) में मान रखने पर,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{2(x+3)} - \frac{1}{-(x+3)}$$

$$= \frac{1}{2(x+3)} + \frac{1}{(x+3)} = \frac{3}{2(x+3)}$$

$$\therefore \quad f = \frac{2(x+3)}{3} \quad \ldots(2)$$

समी. (1) और (2) से,

$$\frac{5x}{6} = \frac{2(x+3)}{3} \Rightarrow x = 12$$

समीकरण (1) में मान रखने पर,

$$f = \frac{5}{6} \times 12 = 10 \text{ सेमी.}$$

उदाहरण 87. एक लैंस को 25 सेमी. फोकस-दूरी वाले अवतल लैंस के सम्पर्क में रखा जाता है। इस संयोजन से 20 सेमी. दूर रखी वस्तु का 5 गुना बड़ा वास्तविक प्रतिबिम्ब बनता है। लैंस की फोकस दूरी एवं प्रकृति ज्ञात कीजिए।

हल : सूत्र : $\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$, $m = \frac{v}{u}$

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

दिया है : $u = -20$ सेमी., $m = -5$ (वास्तविक प्रतिबिम्ब)

सूत्र : $m = \frac{v}{u}$ में मान रखने पर,

$$-5 = +\frac{v}{-20}$$

या $\quad v = 100$ सेमी.

सूत्र : $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$ में मान रखने पर,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{100} - \frac{1}{-20} = \frac{1}{100} + \frac{1}{20}$$

या $\quad \frac{1}{f} = \frac{6}{100}$

$$\therefore \quad f = \frac{100}{6} = \frac{50}{3} \text{ सेमी.}$$

दिया है : $f_2 = -25$ सेमी. (अवतल लैंस)

अब सूत्र : $\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$ में मान रखने पर,

$$\frac{1}{50/3} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{-25} \text{ या } \frac{3}{50} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{25}$$

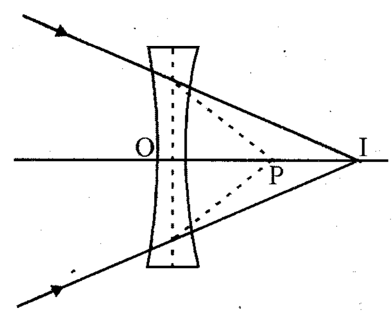
या $\quad \frac{1}{f_1} = \frac{3}{50} + \frac{1}{25} = \frac{1}{10}$

$\therefore \quad f_1 = 10$ सेमी.

चूँकि फोकस-दूरी धनात्मक है, लैंस उत्तल लैंस होगा।

उदाहरण 88. प्रकाश की अभिसारी किरणें एक अपसारी लैंस से निकलकर 15 सेमी. पीछे अक्ष पर फोकस हो जाती है। यदि लैंस की फोकस दूरी 20 सेमी. हो, तो लैंस की अनुपस्थिति में ये किरणें कहाँ फोकस होंगी?

हल : चित्र में O लैंस का प्रकाश केन्द्र है। लैंस की अनुपस्थिति में अभिसारी किरणें P पर फोकस होती हैं तथा लैंस रखने पर I पर फोकस होती है।



चित्र 11.62

अतः ऐसा माना जा सकता है कि P पर रखी वस्तु का प्रतिबिम्ब अवतल लैंस द्वारा बिन्दु I पर बनता है।

दिया है : OI = v = 15 सेमी. तथा $f = -20$ सेमी.

सूत्र : $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$ में मान रखने पर,

$$-\frac{1}{20} = \frac{1}{15} - \frac{1}{u}$$

या $\quad \frac{1}{u} = \frac{1}{15} + \frac{1}{20} = \frac{7}{60}$

$$\therefore \quad u = \frac{60}{7} = 8.57 \text{ सेमी.}$$

उदाहरण 89. एक कमरे की एक दीवार में एक छोटा-सा विद्युत बल्ब लगा है। उत्तल लैंस की सहायता से सामने की दीवार पर उसका प्रतिबिम्ब बनाना है। दोनों दीवारों के बीच की दूरी 3 मीटर है। इस उद्देश्य

के लिए प्रयुक्त उत्तल लैंस की अधिकतम फोकस दूरी क्या होगी ?

उत्तर—मानलो $u = -x$ सेमी. तब $v = (3 - x)$ सेमी.

सूत्र : $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$ में मान रखने पर,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{3-x} - \frac{1}{-x} = \frac{1}{3-x} + \frac{1}{x}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{x+3-x}{(3-x)x}$$

या $(3 - x)\,x = 3f$ या $3x - x^2 = 3f$ ...(1)

f के मान को अधिकतम होने के लिए $\frac{d}{dx}(3f) = 0$

अर्थात् $\frac{d}{dx}(3x - x^2) = 0$

या $3 - 2x = 0$

या $2x = 3$

$\therefore$ $x = \frac{3}{2}$

समीकरण (1) में मान रखने पर,

$$3 \times \frac{3}{2} - \left(\frac{3}{2}\right)^2 = 3f$$

या $\frac{9}{2} - \frac{9}{4} = 3f$

या $3f = \frac{9}{4}$

य $f = \frac{3}{4} = 0.75$ मीटर

उदाहरण 90. एक समतलोत्तल लैंस के उत्तल तल की वक्रता त्रिज्या 12 सेमी. तथा अपवर्तनांक 1.5 है। यदि लैंस के समतल पृष्ठ पर चाँदी की कलई कर दें, तो लैंस के उत्तल पृष्ठ पर गिरने वाली समान्तर किरणें कितनी दूरी पर अभिसरित होंगी ?

यदि एक बिन्दु वस्तु लैंस के मुख्य अक्ष पर लेंस से 20 सेमी. की दूरी पर स्थित हो, तो उसके प्रतिबिम्ब की दूरी ज्ञात कीजिये।

उत्तर—दिया है : $\mu = 1.5$, $R_1 = +12$ सेमी., $R_2 = \infty$

यदि लैंस की फोकस-दूरी f_l हो, तो

सूत्र : $\frac{1}{f_l} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$ में मान रखने पर,

$$\frac{1}{f_l} = (1.5 - 1)\left(\frac{1}{12} - \frac{1}{\infty}\right)$$

$$= 0.5 \times \frac{1}{12} = \frac{1}{24}$$

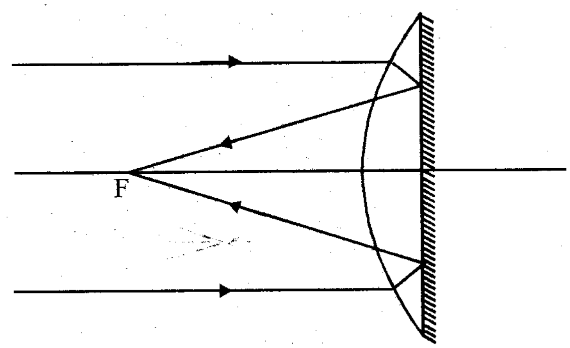
$\therefore$ $f_l = 24$ सेमी.

समतल पृष्ठ पर कलई करने पर, $f = \frac{f_l}{2}$

उपर्युक्त सूत्र में मान रखने पर, $f = \frac{-24}{2}$

(यहाँ f_l प्रथम फोकस-दूरी है)

या $f = -12$ सेमी.



चित्र 11.63

दूसरी स्थिति में—

$u = -20$ सेमी.

अत: $\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$ में मान रखने पर,

$$-\frac{1}{12} = \frac{1}{-20} + \frac{1}{v}$$

या $\frac{1}{v} = -\frac{1}{12} + \frac{1}{20} = -\frac{1}{30}$

$\therefore$ $v = -30$ सेमी.

उदाहरण 91. दो लैंसों को एक-दूसरे से 6 सेमी. की दूरी पर इस प्रकार रखा जाता है कि वे अवर्णक संयुक्त लैंस बनायें। यदि एक लैंस की फोकस-दूरी 8 सेमी. हो, तो दूसरे लैंस की फोकस दूरी क्या होगी ?

हल : सूत्र $x = \frac{f_1 + f_2}{2}$

दिया है : $x = 6$ सेमी.; $f_1 = 8$ सेमी.

उपर्युक्त सूत्र में मान रखने पर,

$$6 = \frac{8 + f_2}{2}$$

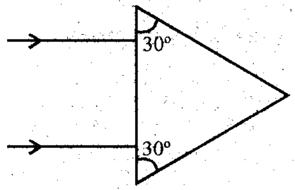
$\therefore$ $f_2 = 4$ सेमी.

उदाहरण 92. चित्रानुसार एक प्रिज्म ($\mu = 1.5$) पर दो समान्तर किरणें आपतित होती हैं। प्रिज्म से निर्गत होने पर दोनों किरणों के बीच का कोण ज्ञात कीजिए।

हल : चित्र से स्पष्ट है कि $r_2 = 30°$, अत: $\mu = \frac{\sin i_2}{\sin r_2}$ से,

$$\sin i_2 = \mu \sin r_2 = 1.5 \times \sin 30°$$

$$= 1.5 \times \frac{1}{2} = 0.75$$

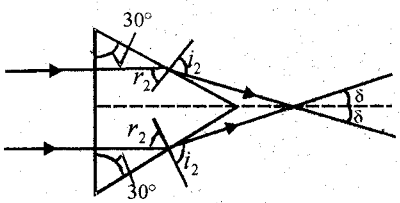


चित्र 11.64

अत: $i_2 = 48.59°$

अब $A+\delta = i_1 + i_2$

या $\delta = i_1 + i_2 - A = 0° + 48.59° - 30°$
$= 18.59°$



चित्र 11.65

अत: निर्गत होने पर दोनों किरणों के बीच कोण

$$2\delta = 2 \times 18.59 = 37.18°$$

उदाहरण 93. एक संयुक्त सूक्ष्मदर्शी के अभिदृश्यक और नेत्रिका की फोकस-दूरियाँ क्रमश: 2 सेमी. और 5 सेमी. हैं। ये एक-दूसरे से 20 सेमी. की दूरी पर हैं। अन्तिम प्रतिबिम्ब नेत्रिका से 25 सेमी. दूरी पर बनता है। वस्तु की स्थिति तथा सम्पूर्ण आवर्धन ज्ञात कीजिए।

हल : सूत्र $m = -\frac{v_o}{u_o}\left(1+\frac{D}{f_e}\right)$ ...(1)

दिया है : $f_o = 2$ सेमी., $f_e = 5$ सेमी.

$L = v_o + u_e = 20$ ...(2)

$v_e = -25$ सेमी.

सूत्र $\frac{1}{f_e} = \frac{1}{v_e} - \frac{1}{u_e}$ में मान रखने पर,

$$\frac{1}{5} = \frac{1}{-25} - \frac{1}{u_e}$$

या $\frac{1}{u_e} = \frac{1}{-25} - \frac{1}{5} = \frac{-1-5}{25} = \frac{-6}{25}$

$\therefore$ $u_e = \frac{25}{-6}$ सेमी., $u_e = \left|\frac{25}{6}\right|$ सेमी.

समीकरण (2) में u_e का संख्यात्मक मान रखने पर,

$$v_o + \frac{25}{6} = 20$$

या $v_o = 20 - \frac{25}{6} = \frac{95}{6}$ सेमी.

अब सूत्र $\frac{1}{f_o} = \frac{1}{v_o} - \frac{1}{u_o}$ में मान रखने पर,

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{95/6} - \frac{1}{u_o}$$

या $\frac{1}{u_o} = \frac{6}{95} - \frac{1}{2} = \frac{12-95}{190} = \frac{-83}{190}$

$\therefore$ $u_o = \frac{-190}{83}$ सेमी.

$u_o = \left|\frac{190}{83}\right|$ सेमी.

समी. (1) में मान रखने पर, $m = -\frac{\frac{95}{6}}{\frac{190}{83}}\left(1+\frac{25}{5}\right)$

[u_o और v_o के धनात्मक मान रखने पर]

$$= -\frac{95}{6} \times \frac{83}{190} \times 6 = \frac{-83}{2} = -41.5$$

उदाहरण 94. उत्तल लैंस के सामने रखी वस्तु का वास्तविक प्रतिबिम्ब वस्तु की ऊँचाई का प्राप्त होता है। वस्तु को लैंस की ओर 10 सेमी. पास लाने से अब 3 गुना आवर्धित वास्तविक प्रतिबिम्ब प्राप्त होता है। लैंस की फोकस दूरी ज्ञात करो।

हल : प्रश्नानुसार

$m = -1,$

माना वस्तु x दूरी पर स्थित है।

अत: $u = -x$

$m = \frac{v_1}{u}$ या $-1 = \frac{v_1}{-x}$

$v_1 = +x$ ...(1)

जब लैंस से वस्तु की दूरी $(x-10)$ होती है, तो $m = -3$ मिलता है।

$$\frac{v_2}{-(x-10)} = -3$$

या $v_2 = 3(x-10)$ ...(2)

समी. (1) से

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v_1} - \frac{1}{u} \text{ या } \frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{x}$$

$\frac{1}{f} = \frac{2}{x}$ ...(3)

समी. (2) से

$\frac{1}{f} = \frac{1}{v_2} - \frac{1}{u}$ से

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{3(x-10)} - \frac{1}{-(x-10)}$$

या $\frac{1}{f} = \frac{1}{3(x-10)} + \frac{1}{(x-10)}$

या $\frac{1}{f} = \frac{1+3}{3(x-10)} = \frac{4}{3x-30}$

$4f = 3x - 30$

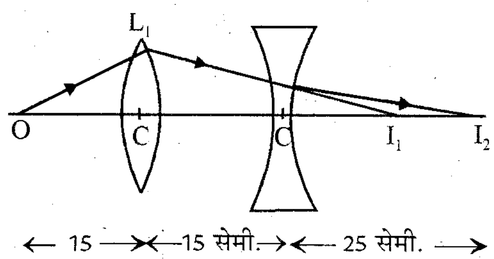
समी. (3) से $2f = x$ रखने पर

$$4f = 6f - 30$$

$$-2f = -30 \text{ या } f = 15 \text{ सेमी.}$$

उदाहरण 95. एक उत्तल व अवतल लैंस के संयोजन के सामने उत्तल लैंस से 15 सेमी. की दूरी पर एक बिम्ब रखा है। अन्तिम प्रतिबिम्ब अवतल लैंस से 25 सेमी. की दूरी पर बनता है। लैंसों के मध्य की दूरी 15 सेमी. तथा उत्तल लैंस की फोकस दूरी 10 सेमी. है। अवतल लैंस की फोकस दूरी ज्ञात करो। अन्तिम प्रतिबिम्ब का आवर्धन भी ज्ञात करो।

हल :



चित्र 11.66

उत्तल लैंस के लिए $\frac{1}{f} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$ से

यहाँ $u = -15$ सेमी., $v = ?$, $f = 10$ सेमी.

$$\frac{1}{10} = \frac{1}{v} - \frac{1}{-15}$$

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{10} + \frac{1}{15}$$

$$v = 30 \text{ सेमी.} = PI_1$$

प्रतिबिम्ब I_1 अवतल लैंस के लिए बिम्ब का कार्य करेगा अत: अवतल लैंस के लिए

$$\frac{1}{10} = \frac{1}{v} - \frac{1}{-15}$$

यहाँ $u = C_1I_1 = 15$ सेमी., $v = 25$ सेमी., $f = ?$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{25} - \frac{1}{15}$$

हल करने पर $f = -37.5$ सेमी.

कुल आवर्धन $m = m_A \times m_B$

परन्तु $m_A = \frac{v}{u} = \frac{30}{-15} = -2$

$$m_B = \frac{v}{u} = \frac{25}{15} = \frac{5}{3}$$

$$m = m_A \times m_B = -2 \times (5/3) = \frac{-10}{3}$$

यहाँ ऋणात्मक चिह्न इस बात का प्रतीक है कि अन्तिम प्रतिबिम्ब उल्टा होगा।

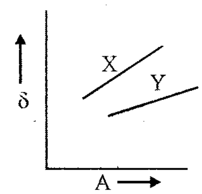
अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

1. एक गोलीय दर्पण की त्रिज्या 30 सेमी. है, उसकी फोकस-दूरी बताइये।
2. समतल दर्पण की फोकस दूरी कितनी होती है ?
3. आपतित किरण की दिशा को स्थिर रखकर समतल दर्पण को θ कोण से घुमाया जाता है तो परावर्तित किरण कितने कोण से घूम जायेगी ?
4. एक समतल दर्पण में 1.5 मीटर ऊँचा व्यक्ति अपना पूरा प्रतिबिम्ब देखना चाहता है। समतल दर्पण की न्यूनतम लम्बाई बताइये।
5. समतल दर्पण आपकी ओर 5 सेमी. प्रति सेकण्ड के वेग से आ रहा है। आपका प्रतिबिम्ब आपकी ओर किस वेग से आ रहा है ?
6. एक प्रकाश किरण किसी दर्पण पर अभिलम्बवत् आपतित होता है तो परावर्तन-कोण का मान कितना होगा ?
7. 60° के कोण पर झुके हुए दो समतल दर्पणों के बीच रखी एक वस्तु के कितने प्रतिबिम्ब बनेंगे ?
8. एक प्रकाश किरण समतल दर्पण पर 30° के कोण पर आपतित होती है। दर्पण के द्वारा उत्पन्न विचलन बताइये।
9. जब लहरदार समुद्र के परावर्तन के कारण चन्द्रमा को देखते हैं तो वह कुछ लम्बा-सा प्रतीत होता है क्यों ?
10. क्या गोलीय दर्पण का सूत्र समतल दर्पण के लिए भी लागू हो सकता है ?
11. यदि आपतित किरण और परावर्तित किरण के बीच का कोण 60° हो, तो आपतन-कोण का मान बताइये।
12. गोलीय दर्पण की फोकस-दूरी f और वक्रता-त्रिज्या R में सम्बन्ध बताइये।
13. एक गोलीय दर्पण पानी में रखा है। उसकी फोकस दूरी में क्या परिवर्तन होगा ?
14. एक दर्पण में किसी वस्तु का प्रतिबिम्ब सदैव छोटा और सीधा बनता है। कौन-सा दर्पण है ?
15. दो समान्तर दर्पणों के बीच रखी किसी वस्तु के कितने प्रतिबिम्ब बनेंगे ?
16. अवतल दर्पण से बने प्रतिबिम्ब को पर्दे पर कब प्राप्त नहीं कर सकते ?
17. किस दर्पण द्वारा बड़े आकार का आभासी प्रतिबिम्ब बनाया जा सकता है ?
18. क्या भिन्न-भिन्न रंगों के लिए गोलीय दर्पण की फोकस-दूरी भिन्न-भिन्न होती है ?
19. गोलीय दर्पण के लिए $\frac{1}{u}$ और $\frac{1}{v}$ के बीच ग्राफ खींचिये।
20. उत्तल दर्पण के लिए u और v के बीच ग्राफ खींचिये।
21. एक व्यक्ति 6 मीटर/सेकण्ड की चाल से दर्पण से दूर जा रहा है। व्यक्ति के सापेक्ष इसके प्रतिबिम्ब की चाल क्या होगी ?
22. अपवर्तन की घटना में स्नैल का नियम कब असफल होता है ?
23. जब प्रकाश एक माध्यम से दूसरे माध्यम में प्रवेश करता है, तो निम्न में से क्या नियत नहीं रहता है–वेग, तरंगदैर्ध्य, आवृत्ति, तीव्रता?

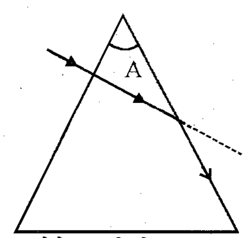
24. जब प्रकाश एक माध्यम से दूसरे माध्यम में प्रवेश करता है, तो उसकी आवृत्ति पर क्या प्रभाव पड़ता है ?
25. अपवर्तन का कारण क्या है ?
26. क्या निर्वात् में भिन्न-भिन्न रंगों के प्रकाश की चाल भिन्न-भिन्न होती है ?
27. किस लैंस की फोकस-दूरी धनात्मक और किस लैंस की फोकस-दूरी ऋणात्मक होती है ?
28. एक वस्तु अवतल लैंस के फोकस पर रखी है। रेखाचित्र खींचकर बताइए कि उसका प्रतिबिम्ब कहाँ बनेगा ?
29. लैंस का एक भाग टूटा हुआ है। क्या इस लैंस से किसी वस्तु का पूरा प्रतिबिम्ब प्राप्त हो सकता है ?

अथवा

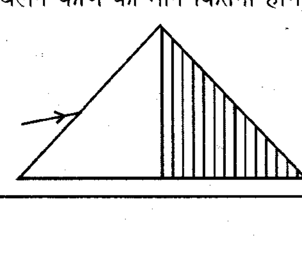
यदि एक उत्तल लैंस का आधा भाग ढँक दिया जाये तो बनने वाले प्रतिबिम्ब पर क्या प्रभाव पड़ेगा? इसकी फोकस दूरी किस प्रकार प्रभावित होगी ?
30. क्या होता है, जब एक लैंस को ऐसे पारदर्शी द्रव में डुबा दिया जाता है जिसका अपवर्तनांक लैंस के पदार्थ के अपवर्तनंक के बराबर होता है ?
31. किसी लैंस की फोकस-दूरी उसके पदार्थ के अपवर्तनांक पर किस प्रकार निर्भर करती है ?
32. क्या एक माध्यम का अभिसारी लैंस दूसरे माध्यम में अपसारी लैंस की तरह कार्य कर सकता है ?
33. किसी लैंस की दोनों फोकस-दूरियाँ कब समान होती हैं ?
34. किसी लैंस की फोकस-दूरी किस रंग के लिए सर्वाधिक एवं किस रंग के लिए सबसे कम होती है।
35. उत्तल लैंस को द्रव कार्बन-डाइऑक्साइड में डुबाने पर उसकी फोकस-दूरी और प्रकृति पर क्या प्रभाव पड़ता है?
36. समतल काँच की फोकस-दूरी तथा क्षमता कितनी होती है?
37. सम्पर्क में रखे एक उत्तल लैंस और अवतल काँच का युग्म कब अभिसारी लैंस की तरह और कब अपसारी लैंस की तरह कार्य करता है ?
38. काँच के एक लैंस को जल में डुबाया जाता है। इसकी क्षमता बढ़ेगी या घटेगी ?
39. क्या विस्थापन विधि द्वारा किसी अवतल लैंस की फोकस-दूरी ज्ञात की जा सकती है? समझाइए।
40. किसी पारदर्शी पदार्थ का अपवर्तनांक किस रंग के लिए सर्वाधिक एवं किस रंग के लिए सबसे कम होता है।
41. क्रॉउन-काँच तथा फ्लिण्ट-कांच में से किसका अपवर्तनांक कम होता है?
42. श्वेत प्रकाश का एक पुंज एक खोखले प्रिज्म में से गुजरता है। इसका वर्ण-विक्षेपण कितना होगा ?
43. एक पतले लैंस के लिए अनुदैर्ध्य वर्ण-विपथन का मान कितना होता है ?
44. क्या अकेला लैंस वर्ण-विपथन का दोष दूर कर सकता है?
45. पतले प्रिज्म से अपवर्तन होने पर अल्पतम विचलन के लिए व्यंजक लिखिए।
46. यदि वायुमण्डल नहीं होता तो आकाश कैसा दिखाई देता?
47. अंतरिक्ष यात्री को आकाश कैसा दिखाई देता है ?
48. चन्द्रमा से देखे जाने पर आकाश कैसा दिखाई देता है ?
49. प्राथमिक इन्द्रधनुष बनते समय जल की बूँदों द्वारा प्रकाश के कितने अपवर्तन तथा कितने पूर्ण आन्तरिक परावर्तन होते हैं?
50. द्वितीयक इन्द्रधनुष बनते समय जल की बूँदों द्वारा प्रकाश के कितने अपवर्तन व कितने पूर्ण आन्तरिक परावर्तन होते हैं?
51. वर्षा के बाद ही इन्द्रधनुष दिखाई देते हैं, क्यों ?
52. प्राथमिक इन्द्रधनुष की कोणीय चौड़ाई कितनी होती है?
53. द्वितीयक इन्द्रधनुष की कोणीय चौड़ाई कितनी होती है ?
54. स्पेक्ट्रोमीटर के समान्तरित्र का कार्य बताइये।
55. तरंगदैर्ध्य λ के प्रकाश के लिए किसी माध्यम का वर्ण-विक्षेपण ω है, तो तरंगदैर्ध्य 2λ के प्रकाश के लिए उसी माध्यम का वर्ण-विक्षेण कितना होगा ?
56. संलग्न चित्र में दो प्रिज्मों X और Y के लिए प्रिज्म के कोण A और विचलन कोण δ के मध्य ग्राफ प्रदर्शित किया गया है। इनमें से कौन-सा क्रॉउन-काँच का तथा कौनसा फ्लिण्ट-काँच का प्रिज्म होगा ?



57. चित्रानुसार कोई प्रकाश-किरण प्रिज्म के एक पृष्ठ के लम्बवत् आपतित होती है तथा दूसरे पृष्ठ को स्पर्श करती हुई निकल जाती है। यदि प्रिज्म का कोण A हो, तो विचलन कोण का मान कितना होगा ?



58. प्रिज्म पर आपतित होने वाली किरण कब प्रिज्म के आधार से दूर हटती है ?
59. एक प्रिज्म को जल में डुबाया जाता है, अल्पतम विचलन कोण पर क्या प्रभाव पड़ेगा ?
60. एक प्रकाश-किरण एक प्रिज्म पर अल्पतम विचलन की स्थिति में आपतित होती है, फलस्वरूप उसमें 39° का विचलन होता है। अब यदि छायांकित आधे भाग को काटकर अलग कर दिया जाये, तो अल्पतम विचलन कोण का मान कितना होगा ?



61. संयुक्त सूक्ष्मदर्शी में अभिदृश्यक की फोकस-दूरी को कम क्यों होना चाहिए ?
62. सूक्ष्मदर्शी के अभिदृश्यक का द्वारक छोटा क्यों होता है?
63. यदि नेत्रिका की फोकस-दूरी बढ़ा दी जाये तो सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता पर क्या प्रभाव पड़ेगा ?
64. संयुक्त सूक्ष्मदर्शी में बने अन्तिम प्रतिबिम्ब की प्रकृति लिखिए।
65. यदि सूक्ष्मदर्शी के अभिदृश्यक पर मक्खी बैठ जाये तो बनने वाले प्रतिबिम्ब पर क्या प्रभाव पड़ेगा?
66. यदि अभिदृश्यक और नेत्रिका की फोकस-दूरियाँ $f_o + f_e$ हों, तो सूक्ष्मदर्शी की नली की लम्बाई क्या होगी ?

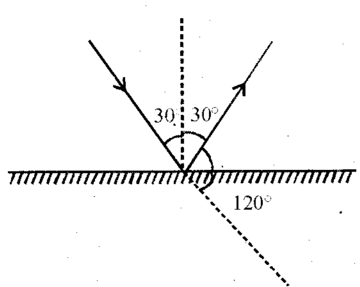
अथवा

संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की नली की लम्बाई लिखिए जबकि अन्तिम प्रतिबिम्ब–
(i) स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी पर बने।
(ii) अनन्त पर बने।

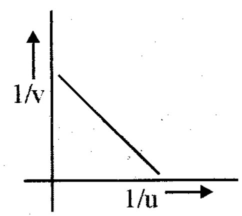
67. यदि नेत्रिका की फोकस-दूरी को बढ़ा दिया जाये तो दूरदर्शी और सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता पर क्या प्रभाव पड़ेगा ?
68. आपको 800 मिमी. और 80 मिमी. फोकस दूरी के दो उत्तल लैंस दिये गये हैं। एक खगोलीय दूरदर्शी के लिए किसे अभिदृश्यक और किसे नेत्रिका बनायेंगे ?
69. दूरदर्शी के अभिदृश्यक का व्यास बढ़ाने पर उसकी आवर्धन क्षमता और विभेदन क्षमता पर क्या प्रभाव पड़ेगा ?

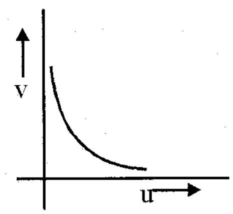
उत्तरमाला

1. 15 सेमी., 2. अनन्त
3. 2θ, 4. 75 सेमी.
5. 10 सेमी./सेकण्ड 6. 0°
7. $n = \frac{360°}{\theta} - 1 = \frac{360°}{60°} - 1 = 5$
8. $120°, \delta = 180 - 2i$

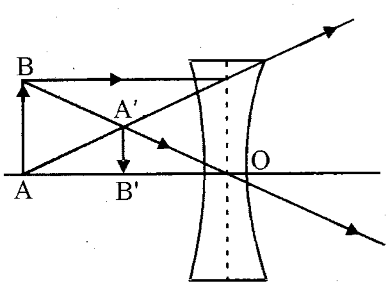


9. प्रकाश के विसरित परावर्तन के कारण,
10. हाँ, क्योंकि समतल दर्पण के लिए, $f = \infty$ अतः सूत्र
$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$ से, $v = -u$
11. 30°, 12. $f = \frac{1}{2}R$,
13. गोलीय दर्पण की वक्रता-त्रिज्या R माध्यम पर निर्भर नहीं करती अतः फोकस दूरी अपरिवर्तित रहती है।
14. उत्तल दर्पण, 15. अनन्त,
16. जब वस्तु ध्रुव और फोकस के बीच हो,
17. अवतल,
18. नहीं, दर्पण की फोकस दूरी प्रकाश के रंग पर निर्भर नहीं करती।

19. 

20. 

21. $6-(-6) = 12$ मीटर/सेकण्ड।
22. जब प्रकाश-किरण अपवर्तक पृष्ठ पर अभिलम्बवत् आपतित होती है।
23. वेग, तरंगदैर्ध्य, आयाम (तीव्रता)।
24. आवृत्ति अपरिवर्तित रहती है।
25. भिन्न-भिन्न माध्यमों में प्रकाश की चाल भिन्न-भिन्न होना।
26. नहीं, निर्वात में सभी रंगों के प्रकाश की चाल एकसमान होती है।
27. उत्तल लैंस की फोकस-दूरी धनात्मक तथा अवतल लैंस की फोकस दूरी ऋणात्मक होती है।
28. प्रकाश-केन्द्र और प्रथम मुख्य फोकस के बीच बनेगा।



29. हाँ, किन्तु प्रतिबिम्ब धुँधला बनेगा।

अथवा

अब भी पूरा प्रतिबिम्ब बनेगा किन्तु ढँके भाग से प्रकाश नहीं आने के कारण प्रतिबिम्ब धुँधला बनेगा। फोकस-दूरी अप्रभावित रहेगी।

30. सूत्र $\frac{f_l}{f_a} = \frac{{}_a\mu_g - 1}{\left(\frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_l} - 1\right)}$ में यदि ${}_a\mu_g = {}_a\mu_l$ हो तो

$$\frac{f_l}{f_a} = \frac{{}_a\mu_g - 1}{1-1} = \frac{{}_a\mu_g - 1}{0}$$

अतः $f_l = \infty$

अब लैंस की तरह कार्य न कर समतल प्लेट की तरह कार्य करेगा।

31. सूत्र $\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$ के अनुसार, μ का मान अधिक

होने पर f का मान कम होता है।

32. हाँ, यदि उसे ऐसे माध्यम में रखा जाए जिसका अपवर्तनांक लैंस के पदार्थ के अपवर्तनांक से अधिक हो।
33. जब दोनों ओर के माध्यम समान हों।
34. लाल रंग के लिए सर्वाधिक एवं बैंगनी रंग के लिए सबसे कम।
35. फोकस-दूरी बढ़ जाती है तथा अवतल लैंस की तरह कार्य करने लगते हैं।
36. फोकस-दूरी अनंत तथा क्षमता शून्य होती है।
37. उत्तल लैंस की फोकस-दूरी कम होने पर अभिसारी लैंस की तरह तथा अवतल लैंस की फोकस-दूरी कम होने पर अपसारी लैंस की तरह कार्य करता है।
38. फोकस-दूरी बढ़ने के कारण क्षमता घटेगी।
39. नहीं, आभासी प्रतिबिम्ब बनता है।
40. बैंगनी रंग के लिए सर्वाधिक एवं लाल रंग के लिए सबसे कम
41. क्रॉउन-काँच का
42. नहीं
43. ωf
44. नहीं
45. $\delta_m = (\mu - 1)A$
46. काला
47. काला
48. काला
49. दो अपवर्तन और एक पूर्ण आन्तरिक परावर्तन
50. दो अपवर्तन और दो पूर्ण आन्तरिक परावर्तन
51. वर्षा के बाद वायुमण्डल में जल की बूँदें विद्यमान रहती हैं
52. 2°
53. 3°
54. प्रकाश-किरणों को समान्तर करना
55. $\omega = \dfrac{dn}{d\lambda} = \dfrac{2B}{\lambda^3}$ अत: $\dfrac{\omega_1}{\omega_2} = \left(\dfrac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^3$ या

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \left(\frac{2\lambda}{\lambda}\right)^3 \text{ या } \omega_2 = \frac{\omega}{8}$$

56. X फ्लिण्ट एवं Y क्रॉउन
57. $90^\circ - A$
58. जब उसे ऐसे द्रव में रखा जाता है जिसका अपवर्तनांक प्रिज्म के अपवर्तनांक से अधिक हो।
59. प्रिज्म को जल में डुबाने पर अल्पतम विचलन कोण

$$\delta_\omega = ({}_w\mu_g - 1)A = \left(\frac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_w} - 1\right)A$$

वायु में अल्पतम विचलन कोण $\delta_a = ({}_a\mu_g - 1)A$

चूँकि ${}_a\mu_w > 1; \left[\dfrac{{}_a\mu_g}{{}_a\mu_w} - 1\right] < ({}_a\mu_g - 1)$

अत: $\delta_w < \delta_a$. अर्थात् प्रिज्म को जल में डुबाने पर अल्पतम विचलन कोण का मान कम हो जाता है।

60. $\delta = (\mu - 1)A$ के अनुसार A के मान के आधा होने पर δ का मान भी आधा हो जाएगा। अत: अब अल्पतम विचलन कोण $= \dfrac{39^\circ}{2} = 19.5^\circ$
61. संयुक्त सूक्ष्मदर्शी में अधिक आवर्धन क्षमता के लिए वस्तु को अभिदृश्यक के पास, किन्तु उसके फोकस से दूर रखना चाहिए। यह तभी सम्भव है जबकि उसकी फोकस-दूरी कम हो।
62. ताकि वस्तु से आने वाला प्रकाश कम क्षेत्रफल में फैले और प्रतिबिम्ब तीव्र बने।
63. आवर्धन क्षमता कम हो जाएगी।
64. उल्टा, वस्तु से बड़ा एवं आभासी बनता है।
65. कोई प्रभाव नहीं पड़ेगा, केवल तीव्रता कम हो जायेगी।
66. $f_0 + f_e$
67. आवर्धन क्षमता कम हो जायेगी।
68. अभिदृश्यक-फोकस-दूरी 800 मिमी. तथा नेत्रिका-फोकस दूरी 80 मिमी.।
69. आवर्धन क्षमता अपरिवर्तित रहेगी, किन्तु विभेदन-क्षमता बढ़ जाएगी।

पाठ्यपुस्तक के प्रश्न-उत्तर

वस्तुनिष्ठ 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. **जब 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 अपवर्तनांक है।**
(अ) कांच के अपवर्तनांक 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

उत्तरमाला

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

हल एवं संकेत (बहुचयनात्मक प्रश्न)

1. (स)
2. (अ) u = –30 cm., f = –20 cm, बिम्ब दूरी v

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

$$\Rightarrow \frac{1}{v}+\frac{1}{-30}=\frac{1}{-20}$$

या $$\frac{1}{v}=\frac{1}{30}-\frac{1}{20}=\frac{2-3}{60}$$

$$=-\frac{1}{60}$$

∴ v = –30 cm, वास्तविक प्रतिबिम्ब

$$\text{आवर्धन } m = -\frac{v}{u} = -\frac{(-60)}{(-30)} = -2, \text{ (अ)}$$

3. (ब)
4. (ब)
5. (द)
6. (ब) $F = \frac{1}{P} = \frac{1}{(P_1 + P_2)} = \frac{1}{(+6-4)}$
$= 0.50 \text{ m.} = +50 \text{ cm},$
फोकस दूरी धनात्मक → उत्तल लैंस (ब)
7. (द) ∵ $i = e = \frac{3}{4}A$
तथा $A = 60^o$ (समबाहु प्रिज्म में)
तब $r = \frac{A}{2}$,
विचलन कोण $\delta = (i - r) + (e - r)$
$= i + e - 2r$
$\delta = \frac{3}{4}A + \frac{3}{4}A - 2 \times \frac{A}{2}$
$\delta = \frac{A}{2} = \frac{60^o}{2} = 30^o$, (द)
8. (द)
9. (स) ∵ $\frac{1}{f} = \left(\frac{\mu_g}{\mu_l} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$
जब उभयोत्तल लेंस एक समतल शीट की तरह व्यवहार करता है, उसकी फोकस दूरी अनन्त होगी।
∵ $\frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} = 0$.
या $\left(\frac{\mu_g}{\mu_l} - 1\right) = 0$
या $\mu_l = \mu_g$, (स)
10. (अ) ∵ $\delta_m = (\mu - 1)A$
किन्तु $\delta_m = r = \frac{A}{2}$
∴ $\frac{A}{2} = (\mu - 1)A$
⇒ $\mu = \frac{3}{2} = 1.5$
μ का मान $\sqrt{2}$ तथा 2 के बीच, (अ)
11. (स) आपतन कोण i = अभिलम्ब के साथ बना कोण $= 0^o$
किन्तु परावर्तन कोण $r = i$
∴ $r = 0^o$, (स)
12. (द) $f = -20$ cm, $u = -20$ cm.
∵ $f = u$,
अतः फोकस पर स्थित बिम्ब का प्रतिबिम्ब ∞ पर बनेगा। (द)
13. (द)
14. (अ) न्यूनतम विचलन कोण की स्थिति में $\angle i = \angle e$ (अ)
15. (ब)
16. (स) ∵ $L = f_0 + f_e$ (स)
17. (ब) अवतल दर्पण द्वारा जब बिम्ब फोकस व ध्रुव के मध्य स्थित हो।
18. (ब)
19. (द)
20. (अ) $M = \frac{f_0}{f_e} = \frac{\frac{1}{f_e}}{\frac{1}{f_0}} = \frac{P_e}{P_0} = \frac{20}{5} = 4$ (अ)
21. (ब)

अतिलघुत्तरात्मक प्रश्न

1. एक समतल दर्पण की फोकस दूरी कितनी होती है?
उत्तर– अनन्त

2. किस लेंस का आवर्धन सदैव एक से कम होता है।
उत्तर– अवतल लैंस का आवर्धन 1 से कम होता है।

3. प्रकाश के अपवर्तन का कारण बताइये।
उत्तर– प्रकाश का वेग भिन्न-भिन्न माध्यमों में भिन्न-भिन्न होना।

4. रेगिस्तानी क्षेत्रों में गर्मी के दिनों में मरीचिका दिखाई देने का क्या कारण होता है?
उत्तर– प्रकाश का पूर्ण आंतरिक परावर्तन।

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?
उत्तर– तीनों माध्यमों A, B व C के अपवर्तनांक $\mu_A = \frac{\sin i}{\sin 15^o}$, $\mu_B = \frac{\sin i}{\sin 25^o}$ तथा $\mu_C = \frac{\sin i}{\sin 35^o}$, अतः $\mu_A > \mu_B > \mu_C$
अतः माध्यम A की प्रकाशीय सघनता अधिक है, अतः माध्यम A में प्रकाश का वेग न्यूनतम होगा।

6. उस सिद्धान्त का नाम लिखिए जिस पर प्रकाशिक तन्तु कार्य करता है।
हल– प्रकाश के पूर्ण आंतरिक परावर्तन के सिद्धांत पर प्रकाशिक तन्तु कार्य करता है।

7. प्रिज्म के न्यूनतम विचलन की स्थिति में आपतन कोण तथा निर्गत कोण में क्या सम्बन्ध होता है?
उत्तर– आपतन कोण $\angle i$ = निर्गत कोण $\angle e$

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?
उत्तर– संयोजन की क्षमता शून्य हो जायेगी, अतः फोकस दूरी अनन्त होगी।

9. सूर्य का सूर्योदय एवं सूर्यास्त के समय लाल दिखाई देने का क्या कारण है?
उत्तर– प्रकाश का प्रकीर्णन।

10. इन्द्र धनुष दिखाई देने का क्या कारण है?
उत्तर– वर्षा के बाद वायुमण्डल में जल की कुछ बूँद लटकी रह जाती है। इन बूंदों पर जब सूर्य का प्रकाश गिरता है, तो बूंदों द्वारा प्रकाश किरणों का विक्षेपण होता है। साथ ही ये किरणें बूंदों के अंदर पूर्ण आंतरिक परावर्तन के पश्चात् बूंद से बाहर निकलती है, जिससे

प्रेक्षक की पीठ की ओर सूर्य होने पर सामने सतरंगी इन्द्रधनुष कभी-कभी दिखाई देता है।

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

उत्तर– मानव नेत्र के कॉर्निया में अधिक वक्रता आ जाने से इससे निकट स्थित वस्तुओं को स्पष्ट रूप से देखा जा सकता है, परंतु इससे दूर स्थित वस्तुओं को स्पष्ट रूप से नहीं देखा जा सकता। इस दोष को निकट दृष्टि दोष कहते हैं।

इस दोष का निवारण उपयुक्त फोकस दूरी के अवतल लेंस का प्रयोग करके किया जाता है।

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

उत्तर– प्रकीर्णित प्रकाश की तीव्रता प्रकाश के तरंगदैर्ध्य पर निर्भर करती है तथा आपतित प्रकाश की तरंगदैर्ध्य की चतुर्थ घात के व्युत्क्रमानुपाती होती है।

13. सरल सूक्ष्मदर्शी में कैसा लेंस प्रयुक्त करते हैं?

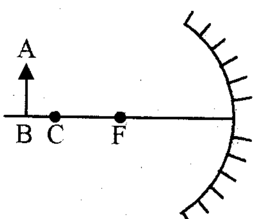
उत्तर– सरल सूक्ष्मदर्शी में कम फोकस दूरी का उत्तल लैंस प्रयुक्त करते हैं।

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

उत्तर– यौगिक सूक्ष्मदर्शी के अभिदृश्यक का आकार (द्वारक) नेत्रिका की अपेक्षा बहुत छोटा होता है, जबकि दूरदर्शी में अभिदृश्यक का द्वारक नेत्रिका की अपेक्षा बहुत बड़ा होता है।

लघुत्तरात्मक प्रश्न

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

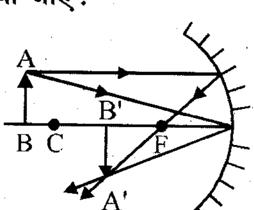


चित्र 11.67

(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?

उत्तर– (i)



चित्र 11.68

(ii) यदि दर्पण की परावर्तक सतह का निचला अर्द्धभाग काला रंग दिया जाए, तो पूर्ण प्रतिबिम्ब उसी स्थिति में बनेगा, किन्तु प्रतिबिम्ब की चमक (brightness) आधी रह जायेगी।

2. गोलीय दर्पण के उपयोग लिखिये।

उत्तर– गोलीय दर्पणों के उपयोग–

(i) बड़ी फोकस दूरी का अवतल दर्पण शेविंग बनाने के शीशे के रूप में प्रयुक्त होता है। इसमें शेविंग बनाने वाले व्यक्ति का चेहरा आभासी बड़ा और सीधे प्रतिबिम्ब में दिखाई देता है।

(ii) अवतल दर्पण समान्तर किरणों के रूप में प्रकाश पुंज प्राप्त करने में प्रयुक्त होता है, जिसके लिए प्रकाश स्रोत को दर्पण के फोकस पर रखते हैं। इसके उदाहरण शिकार के काम की टॉर्च तथा समुद्र में लगे प्रकाश स्तम्भ है।

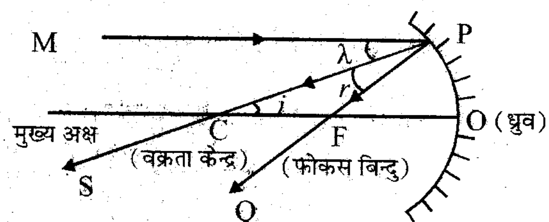
(iii) अवतल दर्पण परावर्तक दूर दर्शकों में प्रयुक्त होते हैं।

(iv) मोटर चालक के पास साइड में लगा हुआ उत्तल दर्पण पीछे के अधिक क्षेत्रफल का सारा दृश्य उसकी आंखों के सामने प्रस्तुत करता है।

(v) उत्तल दर्पण में बड़ी वस्तुओं के छोटे-छोटे प्रतिबिम्ब बनाने का गुण है, अत: यह दर्पण सजावट के काम में लगाया जाता है।

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

उत्तर– चित्रानुसार मुख्य अक्ष के समान्तर एक किरण MP दर्पण पर आपतित होती है तथा PQ परावर्तित किरण प्राप्त होती है, जो फोकस बिन्दु F में से गुजरती है। PS दर्पण के बिन्दु P पर अभिलम्ब है, जो वक्रता केन्द्र C से गुजरता है। परावर्तन के नियम से,



चित्र 11.69

आपतन कोण MPC = परावर्तन कोण CPF

या $\angle i = \angle r$

किन्तु $\angle MPC = \angle PCF = \angle i$ (एकान्तर कोण)

अत: ΔPCF में,

$\angle CPF = \angle PCF$

$\therefore$ भुजा PF = भुजा FC

(समान कोणों की सम्मुख भुजाएँ)

यदि बिन्दु P, ध्रुव O के अत्यन्त निकट हो, तो

$PF = OF = f$ (फोकस दूरी)

$\therefore FC = f$

किन्तु वक्रता त्रिज्या $R = OC = OF + FC$

या $R = f + f = 2f$

या $f = \frac{R}{2}$

अत: फोकस दूरी वक्रता त्रिज्या की आधी होती है।

4. (i) सूर्योदय या सूर्यास्त पर सूर्य लाल क्यों प्रतीत होता है?
(ii) किस रंग के लिए प्रिज्म का अपवर्तनांक अधिकतम तथा न्यूनतम है?

उत्तर– (i) प्रकाश के प्रकीर्णन के कारण सूर्योदय और सूर्यास्त के समय सूर्य और इसके चारों ओर का वातावरण लाल दिखाई देता है। सूर्योदय व सूर्यास्त के समय सूर्य से आने वाली प्रकाश किरणों को वायुमण्डल में लम्बी दूरी पार करके हमारी आँखों तक पहुँचना होता है। वायुमण्डल में उपस्थित कणों के कारण इनमें अत्यधिक मात्रा में बैंगनी व नीले रंग का प्रकीर्णन हो जाता है, जबकि अत्यल्प मात्रा में लाल रंग का प्रकीर्णन होता है। अत: लाल रंग की अधिकता से सूर्योदय व सूर्यास्त के समय सूर्य एवं उसके चारों ओर का वातावरण लाल दिखाईदेता है।

(ii) बैंगनी रंग के प्रकाश के लिए प्रिज्म का अपवर्तनांक अधिकतम तथा लाल रंग के प्रकाश के लिए प्रिज्म का अपर्वतनांक न्यूनतम होता 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।

उत्तर– (i) किसी माध्यम का अपर्वतनांक $\mu = \frac{1}{\sin i_c}$
जहाँ i_c उस माध्यम के लिए क्रांतिक कोण है।

(ii) हाँ, क्रांतिक कोण प्रकाश के रंग पर निर्भर करता है।
एक दिये हुए माध्यमों के युग्म के लिए, क्रांतिक कोण प्रकाश के तरंगदैर्ध्य पर निर्भर करता है, अर्थात् प्रकाश का तरंगदैर्ध्य अधिक होने पर अपवर्तनांक μ का मान कम होगा $\left(\because \mu \propto \frac{1}{\lambda}\right)$ और तब क्रांतिक कोण का मान अधिक होगा। यही कारण है, कि लाल रंग के प्रकाश के लिए क्रांतिक कोण अधिकतम और बैंगनी रंग के प्रकाश के लिए क्रांतिक कोण न्यूनतम होता है।

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

उत्तर– किसी लैंस की फोकस दूरी निम्नलिखित कारकों पर निर्भर करती है–
(i) लैंस के पदार्थ के अपवर्तनांक पर।
(ii) लैंस के दोनों पृष्ठों की वक्रता त्रिज्याओं पर।
(iii) लैंस के चारों ओर के बाह्य माध्यम पर।
(iv) प्रकाश के तरंगदैर्ध्य पर।

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

उत्तर– संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता निम्नलिखित बिन्दुओं के अनुसार बढ़ाई जा सकती है–
(i) अभिदृश्यक लैंस की फोकस दूरी f_0 का मान कम करके।
(ii) नेत्रिका की फोकस दूरी f_e भी कम हो, किन्तु $f_e > f_0$
(iii) अभिदृश्यक लेंस द्वारा बनाए गए प्रतिबिम्ब की दूरी v_0 बढ़ा करके, इसके लिए वस्तु को अभिदृश्यक लैंस के सामने उसके फोकस F के अति समीप F व 2F के बीच रखना होगा।
(iv) अभिदृश्यक लैंस का द्वारक छोटा और नेत्रिका का द्वारक बड़ा लेना होगा।

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

उत्तर– **प्रकाश का प्रकीर्णन**–जब प्रकाश किन्हीं ऐसे अणुओं या कणों पर आपतित होता है, जिनका आकार प्रकाश के तरंगदैर्ध्य (λ) की तुलना में बहुत छोटा होता है, तो यह सभी दिशाओं में फैल जाता है।
जब प्रकाश वायु के ऐसे ही सूक्ष्म अणुओं पर आपतित होता है, तो वे अणु इसे अवशोषित कर लेते हैं। ये अणु प्रकाश विकिरणों का उत्सर्जन सभी दिशाओं में कर देते हैं। यह घटना प्रकाश का प्रकीर्णन कहलाती है। रैले के अनुसार, प्रकीर्णित प्रकाश की तीव्रता (I) आपतित प्रकाश की तरंगदैर्ध्य (λ) के चतुर्थ घात के व्युत्क्रमानुपाती होती है।

अर्थात् $$I \propto \frac{1}{\lambda^4}$$

इस तथ्य के अनुसार लाल रंग का प्रकीर्णन सबसे कम जबकि नीले रंग का प्रकीर्णन सर्वाधिक होता है।
प्रकीर्णन के दैनिक जीवन में उपयोग–

(i) **खतरे के निशान व रोकने के यातायात संकेत लाल रंग के होते हैं।** जब प्रकाश चिह्न या संकेत पर पड़ता है, तो लाल रंग का प्रकीर्णन सबसे कम होने से लाल रंग के चिह्न व संकेत दूर से ही स्पष्ट दिखाई देते हैं।

(ii) दिन के समय वस्तुओं एवं दृश्यों की दृश्यता (Visibility) सूर्य के प्रकाश के प्रकीर्णन द्वारा ही प्राप्त होती है।

(iii) प्रकाश के प्रकीर्णन से होने वाली कतिपय प्राकृतिक घटनाओं के घटित होने के मूल कारण को स्पष्ट समझा जा सकता है। जैसे–
(i) सूर्योदय व सूर्यास्त के समय सूर्य एवं उसके चारों ओर का क्षेत्र लाल दिखाई देना।
(ii) आकाश का रंग नीला दिखाई देना।
(iii) बादलों का रंग सफेद दिखाई देना। इत्यादि।

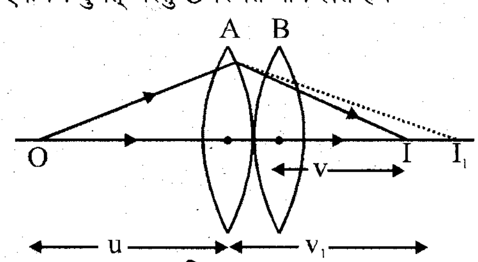
9. **लेंस की क्षमता परिभाषित कीजिए। इसके मात्रक लिखिए। समाक्षतः संपर्कित दो पतले लेंसों के लिए संबंध $\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}$ स्थापित कीजिए।**

उत्तर– **लैंस की क्षमता**–लैंस के द्वारा प्रकाश किरणों को अभिसारित या अपसारित करने की सामर्थ्य उसकी क्षमता कहलाती है। यह लैंस की फोकस दूरी के व्युत्क्रम के रूप में परिभाषित की जाती है। इसे P से व्यक्त करते हैं।

अर्थात् $$P = \frac{1}{f\,(\text{मीटर में})}$$

लैंस की क्षमता का मात्रक– लैंस की क्षमता का मात्रक डॉइऑप्टर (Dioptre) होता है।

संपर्कित दो पतले लैंसों के लिए संयुक्त फोकस दूरी का व्यंजक–
यदि हम एक दूसरे से संपर्क में रखे दो पतले लैंसों पर विचार करें, जिनकी फोकस दूरियाँ f_1 व f_2 हैं तथा उनकी अक्ष उभयनिष्ठ है, तब उनकी संयुक्त फोकस दूरी f ज्ञात करने के लिए हम उनकी मुख्य अक्ष पर एक बिन्दुवत् वस्तु O स्थित मान लेते हैं।



चित्र 11.70

यदि दूसरे लैंस B को अनुपस्थित मान लें, तो पहले लैंस A से u दूरी पर स्थित वस्तु का प्रतिबिम्ब I_1 लैंस से v_1 दूरी पर बनता है। तब, पहले लैंस के लिए,

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

चूँकि दूसरा लैंस B पहले लैंस A के संपर्क में रखा जाता है, अत: प्रतिबिम्ब I_1 दूसरे लैंस B के लिए बिम्ब का कार्य करता है तथा इसका प्रतिम्बि दूसरे लैंस से v दूरी पर बनाता है, तब दूसरे लेंस के लिए,

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{v_1} = \frac{1}{f_2} \qquad ...(2)$$

समी. (1) व (2) को जोड़ने पर,

$$\frac{1}{v_1}-\frac{1}{u}+\frac{1}{v}-\frac{1}{v_1}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}$$

या
$$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2} \quad ....(3)$$

यदि इन दो लैंसों के संयोजन को संयुक्त फोकस दूरी f वाले एकल लैंस के तुल्य मान लिया जावे, तो

$$\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f} \quad ...(4)$$

समी. (3) व (4) की तुलना से,

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2} \quad ...(5)$$

निबंधात्मक प्रश्न

1. **गोलीय दर्पण को परिभाषित कीजिये। इसके लिये बिम्ब की दूरी, प्रतिबिम्ब की दूरी एवं फोकस दूरी में सम्बन्ध स्थापित कीजिये।**

उत्तर- अनुच्छेद 11.2 व 11.3.2 पर देखें।

2. **उत्तल लेंस एवं अवतल लेंस द्वारा विभिन्न स्थितियों में प्रतिबिम्ब का निर्माण समझाइये। प्रतिबिम्ब की स्थिति, आकार एवं प्रकृति, किरण चित्र द्वारा बताइये।**

उत्तर- अनुच्छेद 11.7.4 पर देखें।

3. **लेंस कितने प्रकार के होते हैं? लेंस के लिये बिम्ब की दूरी, प्रतिबिम्ब की दूरी एवं फोकस दूरी में सम्बन्ध स्थापित कीजिये।**

उत्तर- अनुच्छेद 11.7 व 11.7.1 पर देखें।

4. **उपयुक्त किरण चिन्ह की सहायता से एक उत्तल गोलाकार सतह के लिए जब प्रकाश किरण विरल से सघन माध्यम में जाती है तो बिम्ब दूरी (u) प्रतिबिम्ब दूरी (v) तथा वक्रता त्रिज्या (R) में संबंध स्थापित करो।**

उत्तर- अनुच्छेद 11.6 पर देखें।

5. **एक यौगिक सूक्ष्मदर्शी के लिए नेत्र के निकट बिन्दु पर प्रतिबिम्ब निर्माण को दर्शाने वाला नामांकित किरण चित्र बनाइए।**

उत्तर- अनुच्छेद 11.11.2.2 पर देखें।

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।**

उत्तर- अनुच्छेद 11.8.1 पर देखें।

7. **लेंस को दो गोलाकार पृष्ठ से घिरा मानकर u, v एवं f में सम्बन्ध स्थापित कीजिये।**

उत्तर- अनुच्छेद 11.7.1 पर देखें।

8. **दूरदर्शी कितने प्रकार के होते हैं? अपवर्तक दूरदर्शी की बनावट, कार्यप्रणाली एवं आवर्धन क्षमता के लिये सूत्र की स्थापना कीजिये।**

उत्तर- अनुच्छेद 11.11.3 व 11.11.3.1 पर देखें।

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– प्रश्नानुसार,

फोकस दूरी $f = -24$ cm.

बिम्ब दूरी $u = -36$ cm.

प्रतिम्बि दूरी $v = ?$

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

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

या $\frac{1}{v}=\frac{1}{-24}-\frac{1}{-36}$

या $\frac{1}{v}=\frac{-3+2}{72}=-\frac{1}{72}$

या $v = -72$ cm.

अतः अवतल दर्पण के समाने बिम्ब की ओर 72 सेमी. दूरी पर प्रतिबिम्ब बनेगा।

2. **किसी माध्यम का निर्वात में सापेक्ष अपवर्तनांक 1.33 है। निर्वात में प्रकाश का वेग $c = 3\times10^8$ m/s हो तो माध्यम में प्रकाश का वेग ज्ञात कीजिये।**

उत्तर– प्रश्नानुसार,

$$\text{अपवर्तनांक } \mu = 1.33 = \frac{4}{3}$$

निर्वात में प्रकाश का वेग,

$$c = 3\times10^8 \text{ m/s}$$

माध्यम में प्रकाश का वेग $v = ?$

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

$$\therefore \quad v=\frac{c}{\mu}=\frac{3\times10^8}{4/3}$$

$$=\frac{9}{4}\times10^8$$

या $v = 2.25\times10^8$ 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– प्रश्नानुसार, $f = +20$ cm.

$R_1 = 18$ cm.

$R_2 = -24$ cm.

$\mu = ?$

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

$$\frac{1}{+20}=(\mu-1)\left(\frac{1}{18}-\frac{1}{(-24)}\right)$$

$$\frac{1}{20}=(\mu-1)\left(\frac{4+3}{72}\right)$$

$$\frac{1}{20} = (\mu-1)\times\frac{7}{72}$$

$$(\mu - 1) = \frac{1}{20}\times\frac{72}{7} = \frac{18}{35}$$

$$\therefore \quad \mu = \frac{18}{35}+1 = \frac{18+35}{35} = \frac{53}{35}$$

$$\mu = 1.514$$

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– प्रश्नानुसार,

आपतन कोण $i = 50^\circ$

अपवर्तन कोण $r = 30^\circ$

काँच का अपवर्तनांक $\mu = ?$

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

या $$\mu = \frac{\sin 50^\circ}{\sin 30^\circ}$$

या $$\mu = \frac{0.7660}{0.5000} = 1.532$$

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– प्रश्नानुसार,

$f = 0.10$ m.

$u = -0.06$ m.

$v = ?$

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

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

या $$\frac{1}{v} = \frac{1}{0.10}+\frac{1}{-0.06} = \frac{100}{10}-\frac{100}{6}$$

$$\frac{1}{v} = 10-\frac{50}{3} = \frac{30-50}{3} = \frac{-20}{3}$$

$$\therefore \quad v = -\frac{3}{20}\text{m.} = -0.15 \text{ m.}$$

प्रतिबिम्ब बिम्बी की ओर 0.15 m. दूरी पर बनेगा।

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–प्रश्नानुसार,

प्रिज्म का अपवर्तक कोण $A = 6^\circ$

$\mu_r = 1.514$

$\mu_v = 1.523$

प्रिज्म द्वारा उत्पन्न कोणीय विक्षेपण

$\theta = ?$

$$\theta = (\mu_v - \mu_r)A$$
$$= (1.523 - 1.514)6^\circ$$
$$= 0.009 \times 6^\circ$$
$$= 0.054^\circ$$

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– प्रश्नानुसार,

$P_1 = +5D$

$P_2 = -7D$

$P = ?$

$$\because \quad P = P_1 + P_2$$
$$= +5 + (-7)$$
$$= -2D$$

$\because$ क्षमता ऋणात्मक है, अतः लैंस अपसारी होगा।

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 की दूरी पर हैं। अन्तिम प्रतिबिम्ब नेत्रिका में 25 cm की दूरी पर बनता है। सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता ज्ञात कीजिये।**

उत्तर– प्रश्नानुसार,

$f_0 = 0.95$ cm.

$f_e = 5$ cm.

$L = 20$ cm.

$V_e = -25$ cm.

आवर्धन क्षमता $M = ?$

नेत्रिका के लिए, $$\frac{1}{f_e} = \frac{1}{v_e}-\frac{1}{u_e}$$

या $$\frac{1}{u_e} = \frac{1}{v_e}-\frac{1}{f_e}$$

$$\frac{1}{u_e} = \frac{1}{-25}-\frac{1}{5} = \frac{-1-5}{25}$$

या $$\frac{1}{u_e} = -\frac{6}{25}$$

$$u_e = -\frac{25}{6}\text{cm.}$$

$$\therefore \quad v_0 = L-|u_e| = 20-\frac{25}{6}$$

$$v_0 = \frac{120-25}{6} = \frac{95}{6}\text{cm.}$$

अभिदृश्यक लेंस के लिए,

$$\frac{1}{f_0} = \frac{1}{v_0}-\frac{1}{u_0}$$

या $$\frac{1}{u_0} = \frac{1}{v_0}-\frac{1}{f_0}$$

या $$\frac{1}{u_0} = \frac{6}{95} - \frac{1}{0.95}$$

या $$\frac{1}{u_0} = \frac{6-100}{95} = \frac{-94}{95}$$

$\therefore$ $$u_0 = -\frac{95}{94} \text{ cm.}$$

$\therefore$ संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता M

$$= -\frac{v_0}{u_0}\left[1+\frac{D}{f_e}\right]$$

$$M = -\frac{\left(\frac{95}{6}\right)}{\left(-\frac{95}{94}\right)}\left[1+\frac{25}{5}\right]$$

$$M = \frac{94}{6}[1+5] = \frac{94\times 6}{6}$$

$$M = 94$$

9. एक पतले अभिसारी काँच लेंस $(\mu_g = 1.5)$ 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– प्रश्नानुसार,
$${}_a\mu_g = 1.5$$
$$P = +5.0D$$
$$\mu_l = ?$$
$$f' = (-1)\ 100 \text{ cm.} \quad \text{(अपसारी लेंस)}$$

अभिसारी लेंस के लिए,
$$P = +5.0\ D$$

$\therefore$ फोकस दूरी $f = +0.20$ m.

या $$f = 20 \text{ cm.}$$

$\because$ $$\frac{1}{f} = ({}_a\mu_g - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

$$\frac{1}{20} = (1.5-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

या $$\frac{1}{20} = 0.5\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

या $$\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) = \frac{1}{10} \quad ...(1)$$

जब लैंस द्रव में डुबो दिया जाता है, तब वह अपसारी की तरह व्यवहार करता है,

$$\frac{1}{f'} = \left(\frac{\mu_g}{\mu_l} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$$

या $$\frac{1}{-100} = \left(\frac{1.5}{\mu_l} - 1\right)\times\frac{1}{10}$$

[समी. (1) से मान रखने पर]

या $$-\frac{1}{10} + 1 = \frac{1.5}{\mu_l}$$

$$\frac{9}{10} = \frac{1.5}{\mu_l}$$

$\because$ $$\mu_l = \frac{1.5\times 10}{9} = \frac{5}{3} = 1.67$$

10. एक प्रिज्म का अपतर्वन कोण A है तथा प्रिज्म का अपवर्तनांक cot (*A*/2) है तो न्यूनतम विचलन कोण होगा।

उत्तर– प्रश्नानुसार,

प्रिज्म का अपवर्तन कोण = A

प्रिज्म का अपवर्तनांक $\mu = \cot\frac{A}{2}$

न्यूनतम विचलन कोण $\delta_m = ?$

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

या $$\cot\frac{A}{2} = \frac{\sin\left(\frac{A+\delta_m}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}$$

या $$\frac{\cos\frac{A}{2}}{\sin\frac{A}{2}} = \frac{\sin\left(\frac{A+\delta_m}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}$$

या $$\cos\frac{A}{2} = \sin\left(\frac{A+\delta_m}{2}\right)$$

या $$\sin\left(90^\circ - \frac{A}{2}\right) = \sin\left(\frac{A+\delta_m}{2}\right)$$

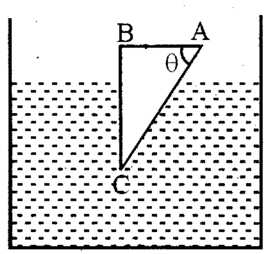
या $$90^\circ - \frac{A}{2} = \frac{A+\delta_m}{2}$$

या $$180^\circ - A = A + \delta_m$$

या $$\delta_m = (180^\circ - 2A)$$

महत्त्वपूर्ण वस्तुनिष्ठ प्रश्न

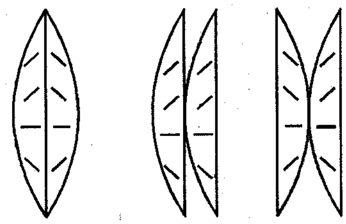
1. समतल दर्पण की वक्रता त्रिज्या होती हैं–
(अ) 25 सेमी. (ब) अनन्त
(स) शून्य (द) 40 सेमी.
2. अन्तरिक्ष यात्रियों को पृथ्वी के वायुमण्डल के बाहर पहुँचने पर आकाश दिखाई देता है–
(अ) श्वेत (ब) लाल
(स) नीला (द) काला
3. प्राय: मोटर ड्राइवर की सीट के आगे लगा दर्पण होता है–
(अ) समतल (ब) उत्तल
(स) अवतल (द) इनमें से कोई नहीं
4. प्राय: मोटरगाड़ियों के अग्रदीपों में परावर्तकों की आकृति होगी–
(अ) अवतल (ब) उत्तल
(स) परवलयिक (द) समतल
5. अवतल लैंस के सामने रखी वस्तु का प्रतिबिम्ब सदैव होता है–
(अ) आभासी एवं सीधा (ब) आभासी एवं उल्टा
(स) वास्तविक एवं सीधा (द) वास्तविक एवं उल्टा
6. डायऑप्टर किसका मात्रक है–
(अ) फोकस दूरी का (ब) आवर्धन क्षमता का
(स) लैंस की शक्ति का (द) विभेदन क्षमता का
7. उत्तल लैंस की शक्ति होती है–
(अ) ऋणात्मक (ब) धनात्मक
(स) शून्य (द) काल्पनिक
8. एक किरण पुंज वायु से जल में प्रवेश करता है। जल में प्रकाश के किस अभिलक्षण में परिवर्तन नहीं होगा?
(अ) वेग (ब) आयाम
(स) तरंग-दैर्ध्य (द) आवृत्ति
9. काँच और जल के अपवर्तनांक वायु के संदर्भ में क्रमशः $\frac{3}{2}$ और $\frac{4}{3}$ है। काँच का अपवर्तनांक जल के संदर्भ में होगा–



चित्र 11.71

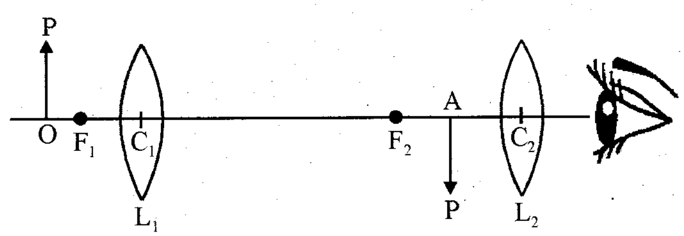
(अ) $\frac{8}{9}$ (ब) $\frac{9}{8}$
(स) $\frac{7}{6}$ (द) इनमें से कोई नहीं

10. दो समरूप समतल उत्तल लैंसों को संलग्न तीन प्रकार संयोजित किया गया है। इन संयोगों की फोकस दूरियों का अनुपात होगा–



चित्र 11.72

(अ) 2 : 2 : 1 (ब) 1 : 1 : 1
(स) 1 : 2 : 2 (द) 2 : 1 : 1
11. एक दूरस्थ वस्तु का आवर्धित सीधा प्रतिबिम्ब करने के लिए उत्तल लैंस के साथ निम्न में से क्या प्रयुक्त करना चाहिये ?
(अ) एक उत्तल लैंस (ब) एक अवतल लैंस
(स) एक उत्तल दर्पण (द) एक अवतल दर्पण
12. दो उत्तल लैंस L_1 व L_2 चित्रानुसार समाक्ष रखे हैं तथा इनके फोकस बिन्दु F_1 व F_2 है। लैंस L_1 के सामने रखी वस्तु OP का प्रतिबिम्ब, F_2 के समीप F_2 व C_2 के बीच बनता है। आँख को दिखने वाला अन्तिम प्रतिबिम्ब होगा–



चित्र 11.73

(अ) उल्टा, वस्तु से दूर C_2O से अधिक दूरी पर
(ब) उल्टा, अनन्त पर
(स) सीधा, C_1 व C_2 के बीच
(द) उल्टा, C_1 व C_2 के बीच
13. इन्द्रधनुष कौनसी घटना के कारण बनता है–
(अ) विवर्तन (ब) वर्ण विक्षेपण
(स) परावर्तन (द) व्यतिकरण
14. सरल सूक्ष्मदर्शी में प्रतिबिम्ब बनता है–
(अ) काल्पनिक एवं उल्टा (ब) वास्तविक एवं सीधा
(स) कल्पनिक एवं सीधा (द) वास्तविक एवं उल्टा
15. संयुक्त सूक्ष्मदर्शी में अन्तिम प्रतिबिम्ब बनता है–
(अ) वास्तविक एवं सीधा (ब) आभासी एवं उल्टा
(स) आभासी एवं सीधा (द) वास्तविक एवं उल्टा
16. दूरस्थ वस्तु को खगोलीय दूरदर्शी द्वारा देखने पर इसका प्रतिबिम्ब होता है –
(अ) सीधा (ब) विकृत
(स) उल्टा (द) उपर्युक्त में से कोई नहीं
17. परावर्तक दूरदर्शी में अभिदृश्यक के रूप में प्रयोग किया जाता है–
(अ) उत्तल लैंस (ब) उत्तल लैंस
(स) प्रिज्म (द) अवतल दर्पण
18. यदि μ_r, μ_y, μ_v क्रमशः लाल, पीले और बैंगनी रंग के लिए अपवर्तनांक हैं तो सूर्य के प्रकाश का प्रिज्म द्वारा विक्षेपण सिद्ध करता है कि–

(अ) μ_r कम है μ_v से (ब) μ_v कम है μ_r से
(स) तीनों में से μ_r अधिकतम है
(द) $\mu_r = \mu_y = \mu_v$

19. संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता बढ़ती है जबकि–
(अ) अभिदृश्यक लैंस अधिक फोकस दूरी और अभिनेत्र लैंस अधिक फोकस दूरी का होता है
(ब) अभिदृश्यक लैंस कम फोकस दूरी का और अभिनेत्र लैंस अधिक फोकस दूरी का होता है
(स) अभिदृश्यक लैंस कम फोकस दूरी का और अभिनेत्र लैंस अधिक फोकस दूरी का होता है
(द) अभिदृश्यक और अभिनेत्र दोनों ही लैंस कम फोकस दूरी के होते हैं।

हल एवं संकेत

1. (ब) अनन्त, क्योंकि समतल पृष्ठ की वक्रता शून्य होती है।
2. (द) काला, वायुमण्डल के बाहर निर्वात् होगा।
3. (ब) उत्तल, प्रतिबिम्ब सीधा व छोटा बनता है।
4. (स) परवलयिक, जिससे प्रकाश किरणें अधिक दूरी पर संचरित हो।
5. (अ) आभासी एवं सीधा
6. (स) लैंस शक्ति
7. (ब) धनात्मक
8. (द)
9. (ब)
10. (ब)
11. (ब)
12. (अ)
13. (ब) वर्ण-विक्षेपण (परिक्षेपण)
14. (स) काल्पनिक एवं सीधा
15. (ब) आभासी एवं उल्टा
16. (स) उल्टा
17. (द) अवतल दर्पण
18. (अ)
19. (द)

लघुत्तरात्मक प्रश्न

प्रश्न 1. समाचार पत्र के द्वारा परावर्तित प्रकाश (विसरित प्रकाश) के कारण उसे पढ़ पाते हैं किन्तु उसमें हम अपना धुँधला प्रतिबिम्ब नहीं देख पाते। क्यों ?

उत्तर–हम किसी वस्तु को उसी समय देख पाते हैं जबकि उसके द्वारा विसरित प्रकाश (अनियमित परावर्तन के कारण) हमारी आँख में प्रवेश करता है। किसी वस्तु का प्रतिबिम्ब उस स्थिति में बनता है जबकि उससे चलने वाली प्रकाश किरणों का किसी पृष्ठ से नियमित परावर्तन होता है। समाचार पत्र से प्रकाश का विसरण होता है नियमित परावर्तन नहीं। अत: समाचार पत्र में हमारा प्रतिबिम्ब नहीं बनता है।

प्रश्न 2. मोटर वाहनों में पीछे के ट्रैफिक देखने के लिए कौनसा दर्पण प्रयुक्त किया जाता है और क्यों ?

उत्तर–उत्तल दर्पण। उत्तल दर्पण द्वारा किसी वस्तु का प्रतिबिम्ब आभासी, सीधा और छोटा बनता है। अत: मोटर वाहनों के पीछे के विस्तृत क्षेत्र का छोटा और सीधा प्रतिबिम्ब उत्तल दर्पण में देखा जा सकता है।

प्रश्न 3. सर्च लाइट में प्रयुक्त दर्पण परवलयाकार (Parabolic) होना है, अवतल गोलाकार नहीं। क्यों ?

उत्तर–सर्च लाइट में प्रकाश की चौड़ी किरण-पुंज की आवश्यकता होती है। यदि अवतल गोलाकार दर्पण के फोकस पर एक प्रकाश स्रोत रख दिया जाये तो उसके मुख्य अक्ष के पास से परावर्तित किरणें ही मुख्य अक्ष के समान्तर हो पाती हैं, मुख्य अक्ष के दूर से परावर्तित किरणें समान्तर नहीं होतीं। अत: तीव्र तथा चौड़ी किरण-पुंज प्राप्त नहीं होती।

परवलयाकार दर्पण में उसके फोकस पर रखे प्रकाश स्रोत से चलकर परावर्तित होने वाली समस्त किरणें एक-दूसरे के समान्तर होती हैं। इस प्रकार तीव्र और चौड़े परिच्छेद की प्रकाश-पुंज प्राप्त हो जाती है।

प्रश्न 4. समतल दर्पण और उत्तल दर्पण में प्रतिबिम्ब सदैव आभासी बनता है। क्या कुछ परिस्थितियों में वे वास्तविक प्रतिबिम्ब बना सकते हैं ?

उत्तर–यदि वस्तु आभासी (Virtual) हो, तो समतल दर्पण और उत्तल दर्पण द्वारा उसका प्रतिबिम्ब वास्तविक बनेगा।

प्रश्न 5. एक वस्तु दो समान्तर दर्पणों के बीच रखी गई है। उत्तरोत्तर परावर्तन के कारण उसके कई प्रतिबिम्ब बनते हैं। दूर बनने वाले प्रतिबिम्बों की तीव्रता घटती जाती है। क्यों ?

उत्तर–प्रत्येक परावर्तन में प्रकाश का कुछ भाग अवशोषित हो जाता है। अत: दूर बनने वाले प्रतिबिम्बों की तीव्रता घटती जाती है।

प्रश्न 6. (i) एक अवतल दर्पण को पानी में रखने पर उसकी फोकस दूरी में क्या परिवर्तन होगा ?

(ii) उत्तल दर्पण द्वारा बने प्रतिबिम्ब की मुख्य विशेषतायें लिखिए।

उत्तर–(i) अवतल दर्पण को पानी में रखने पर उसकी वक्रता-त्रिज्या R अपरिवर्तित रहती है। अत: फोकस-दूरी $\left(f = \frac{R}{2}\right)$ में कोई परिवर्तन नहीं होता।

(ii) उत्तल दर्पण द्वारा बना प्रतिबिम्ब सदैव वस्तु से छोटा, सीधा एवं आभासी बनता है। दर्पण के पीछे ध्रुव और फोकस के मध्य बनता है।

प्रश्न 7. ग्रीष्म ऋतु में दोपहर के समय खुले धरातल पर पेड़ व मकान हिलते हुए प्रतीत होते हैं, क्यों ?

उत्तर–ग्रीष्म ऋतु में धरातल के समीप की वायु गर्म हो जाती है अत: वायु के विभिन्न पर्तों का घनत्व अनियमित रूप से परिवर्तित होने लगता है। फलस्वरूप विभिन्न पर्तों के अपवर्तनांक में भी अनियमित रूप से परिवर्तन होता है। इसलिये पेड़ तथा मकान से आने वाली किरणें भिन्न-भिन्न कोणों से अपवर्तित होकर प्रेक्षक तक पहुँचती है। अत: पेड़ या मकान हिलते हुए प्रतीत होते हैं।

प्रश्न 8. एक लेंस की दोनों वक्रता-त्रिज्याएँ भिन्न-भिन्न हैं। यदि लैंस को उलट दें तो क्या प्रतिबिम्ब की स्थिति बदल जायेगी ?

उत्तर–नहीं।

सूत्र $\frac{1}{f} = (\mu - 1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)$ में यदि R_1 के स्थान पर R_2 तथा R_2 के स्थान पर R_1 रखें तो f का मान नहीं बदलेगा।

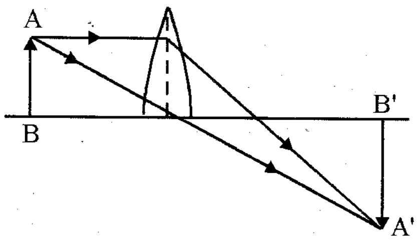
प्रश्न 9. एक लैंस के दोनों पृष्ठों की वक्रता-त्रिज्याएँ बराबर हैं। यदि इसके एक पृष्ठ को घिसकर समतल कर दें तो क्या उसकी फोकस-दूरी

बदल जायेगी ?

उत्तर–हाँ, दुगुनी हो जायेगी।

प्रश्न 10. एक मोमबत्ती का प्रतिबिम्ब पर्दे पर उत्तल लैंस द्वारा बनाया जा रहा है। यदि निचले भाग को काला पेण्ट करके पूर्णतः अपारदर्शी कर दें तो क्या अब भी पूरा प्रतिबिम्ब प्राप्त होगा ?

यदि लैंस के बीच के भाग को ढँक दें तो प्रतिबिम्ब पर क्या प्रभाव पड़ेगा ?



चित्र 11.74

उत्तर–लैंस के निचले भाग को काला पेण्ट कर देने पर अब भी पूरा प्रतिबिम्ब बनेगा, किन्तु निचले भाग से प्रकाश न आने के कारण प्रतिबिम्ब की तीव्रता कम हो जायेगी।

यदि लैंस के बीच के भाग को ढँक दें तो भी पूरा प्रतिबिम्ब बनेगा, किन्तु तीव्रता कम हो जायेगी।

प्रश्न 11. एक अवतल दर्पण और एक उत्तल लैंस पानी में रखे गये हैं। उनकी फोकस-दूरियों में क्या परिवर्तन होगा ?

उत्तर–अवतल दर्पण की फोकस-दूरी में कोई परिवर्तन नहीं होगा, क्योंकि फोकस-दूरी वक्रता-त्रिज्या की आधी होती है। दर्पण की वक्रता-त्रिज्या माध्यम पर निर्भर नहीं करती।

उत्तल लैंस को पानी में डुबाने पर उसकी फोकस दूरी बढ़ जाती है।

प्रश्न 12. धूप के चश्मे के काँच वक्रीय (Curved) होते हैं, फिर भी इनकी क्षमता शून्य होती है, क्यों ?

उत्तर–धूप के चश्मे के काँच की बाहरी और आन्तरिक सतहें परस्पर समान्तर होती हैं तथा उनकी वक्रता-त्रिज्याएँ बराबर तथा समान चिन्ह होती हैं। फलस्वरूप चश्मे के काँच की फोकस-दूरी अनन्त होती है। अतः क्षमता शून्य होती है। अतः धूप के चश्में रंगीन काँच को पतली चद्दरों में से काटकर बनाए जाते हैं, ये लैंस नहीं होते हैं।

प्रश्न 13. फ्यूज बल्ब में पानी भरकर देखने पर किताब के अक्षर बड़े दिखाई देते हैं। क्यों ?

उत्तर–बल्ब की दीवारें उभरी हुई होती हैं। पानी डालने पर वह उत्तल लैंस की तरह कार्य करने लगते हैं। अतः अक्षर आवर्धित होकर बड़े दिखाई देते हैं।

प्रश्न 14. जल के भीतर वायु का बुलबुला कैसा व्यवहार करता है ?

उत्तर–अपसारी लैंस की तरह व्यवहार करता है। जल का अपवर्तनांक वायु के अपवर्तनांक से अधिक होता है। अतः वायु के बुलबुले को जल में रखने पर उसकी प्रकृति बदल जाती है।

प्रश्न 15. एक चींटी अनन्त से प्रथम फोकस तक एक उत्तल लैंस की ओर एकसमान चाल से सरकती है। लैंस द्वारा बने उसके प्रतिबिम्ब की चाल किस प्रकार परिवर्तित होगी ?

उत्तर–जहाँ चींटी अनन्त से $2f$ तक सरकती है, तो उसका प्रतिबिम्ब f से $2f$ तक हटता है और जब चींटी $2f$ से f तक सरकती है तो उसका प्रतिबिम्ब $2f$ से अनन्त तक दूसरी ओर हटता है। अतः प्रतिबिम्ब की चाल पहले घटती है तत्पश्चात् बढ़ती है।

प्रश्न 16. लैंस में दो फोकस बिन्दु होते हैं, जबकि गोलीय दर्पण में केवल एक। कारण बताइए।

उत्तर–इसका कारण यह है कि लैंस में दो प्रकाशीय पृष्ठ होते हैं, जबकि दर्पण में केवल एक होता है।

प्रश्न 17. दो अभिसारी लैंसों को किस प्रकार रखा जाए कि इन पर पड़ने वाला समान्तर किरण-पुंज इनसे निकलने के बाद पुनः समान्तर हो जाये ?

उत्तर–दोनों अभिसारी लैंसों को इस प्रकार रखना चाहिए कि उनके बीच की दूरी उनकी फोकस-दूरियों के योग के बरबर तो इस प्रकार यदि $x = f_1 + f_2$ हो, तो

सूत्र : $\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{x}{f_1 f_2}$ में मान रखने पर,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{f_1 + f_2}{f_1 f_2} \text{ या } \frac{1}{f} = 0 \text{ या } f = \infty$$

अतः यह युग्म एक समतल काँच की प्लेट की तरह कार्य करेगा। फलस्वरूप आपतित और निर्गत किरणें समान्तर होंगी।

प्रश्न 18. लैंसों की पहचान किस प्रकार करते हैं ?

उत्तर–लैंसों की पहचान दो प्रकार से करते हैं–

(i) स्पर्श करके–यदि लैंस बीच में मोटा तथा किनारों पर पतला है तो उत्तल लैंस होगा। इसके विपरीत यदि बीच में पतला तथा किनारों पर मोटा हो तो वह अवतल लैंस होगा।

(ii) प्रतिबिम्ब देखकर–(a) लैंस को पुस्तक के पन्ने पर रखकर, धीरे-धीरे ऊपर उठाते हैं। यदि अक्षर बड़े होते दिखाई दें तो वह उत्तल लैंस है और यदि अक्षर छोटे होते दिखाई दें तो अवतल लैंस है। अक्षर के आकार में कोई परिवर्तन न हो तो वह साधारण काँच का टुकड़ा होगा।

(b) लैंस से दूर की वस्तु को देखते हैं। यदि वह उल्टी दिखाई दे तो लैंस उत्तल है और यदि वस्तु छोटी और सीधी दिखाई दे तो लैंस अवतल है।

प्रश्न 19. सोडियम लैम्प के प्रकाश में नीले रंग की वस्तु कैसी दिखाई देगी ?

उत्तर–अपारदर्शी वस्तु जिस रंग को परावर्तित करती है, उसी रंग की दिखाई देती है। नीले रंग की वस्तु पर जब प्रकाश डाला जाता है तो वह केवल नीले रंग के प्रकाश को ही परावर्तित करती है, शेष रंगों को अवशोषित कर लेती है। अतः जब नीले रंग की वस्तु को सोडियम लैम्प के प्रकाश (नीला प्रकाश) में रखा जाता है तो वह पीले रंग को अवशोषित कर लेती है, किसी रंग को परावर्तित नहीं करती जिससे वह वस्तु काली दिखाई देती है।

प्रश्न 20. वेल्डर वेल्डिंग करते समय मास्क क्यों पहनते हैं?

उत्तर–वेल्डिंग करते समय उत्पन्न पराबैंगनी किरणें आँखों के लिए अत्यन्त नुकसानदायक होती हैं। इनसे आँखों की सुरक्षा के लिए ही वेल्डर मास्क पहनते हैं।

प्रश्न 21. कभी-कभी सूर्य या चन्द्रमा के चारों ओर प्रभामण्डल (Haloes) दिखाई देता है। क्यों ?

उत्तर–जब सूर्य या चन्द्रमा पतले बादल से ढँके होते हैं, तभी प्रभामण्डल दिखाई देता है। वास्तव में बादल में बर्फ के ढेर सारे छोटे-छोटे क्रिस्टल होते हैं। इन बर्फीले क्रिस्टलों से प्रकाश का अपवर्तन होता है। जिसके कारण ही प्रभामण्डल दिखाई देता है।

प्रश्न 22. काँच के आयताकार गुटके से अपवर्तित प्रकाश में वर्ण-विक्षेपण क्यों नहीं होता है ?

उत्तर–काँच के आयताकार गुटके की दोनों समान्तर सतहों के अपवर्तन के पश्चात् निर्गत किरणें आपतित किरणों के समानान्तर होती हैं। गुटके के अन्दर श्वेत प्रकाश का वर्ण-विक्षेपण हो जाता है, किन्तु जब विभिन्न रंगों की किरणें गुटके से निकलती हैं तो वे एक-दूसरे के समान्तर होती हैं। अत: सभी रंग मिलकर पुन: श्वेत प्रकाश का निर्माण करते हैं। इस प्रकार काँच के आयताकार गुटके से अपवर्तित प्रकाश में वर्ण-विक्षेपण नहीं होता।

प्रश्न 23. खतरे का सिगनल लाल क्यों होता है ?

उत्तर–लाल रंग का तरंगदैर्ध्य अधिक होता है, जिससे उसका प्रकीर्णन बहुत कम होता है, क्योंकि प्रकीर्णन की तीव्रता $I \propto \frac{1}{\lambda^4}$, जहाँ λ = तरंगदैर्ध्य। अत: लाल रंग के सिगनल को दूर से देखा जा सकता है।

प्रश्न 24. दर्पण से बने प्रतिबिम्ब में वर्ण-विपथन नहीं होता है, क्यों ?

उत्तर–दर्पण के द्वारा परावर्तन की क्रिया में आपतन कोण सदैव परावर्तन कोण के बराबर होता है। परावर्तन कोण का मान प्रकाश के रंग पर निर्भर नहीं करता। अत: दर्पण द्वारा बने प्रतिबिम्ब में वर्ण-विपथन नहीं होता।

प्रश्न 25. पीले काँच से गुजरने वाले सूर्य प्रकाश के स्पेक्ट्रम और सोडियम वाष्प लैम्प से होकर जाने वाले सूर्य प्रकाश के स्पेक्ट्रम में क्या अन्तर होता है ?

उत्तर–पीला काँच पीले रंग को छोड़कर समस्त रंगों को अवशोषित कर लेता है। अत: प्राप्त स्पेक्ट्रम संतत अवशोषण स्पेक्ट्रम होता है। सोडियम वाष्प लैम्प का पीला प्रकाश केवल दो रेखाओं D_1 (5896 Å) और D_2 (5890 Å) को अवशोषित करता है। अत: यह स्पेक्ट्रम अदीप्त रेखिल स्पेक्ट्रम होता है।

प्रश्न 26. लोग ग्रीष्म ऋतु में सफेद कपड़ा एवं ठण्ड ऋतु में रंगीन कपड़ा पहनना पसन्द करते हैं, क्यों ?

उत्तर–सफेद कपड़ा अपने पर आपतित प्रकाश-किरणों को परावर्तित कर देता है। अत: वह अधिक गर्म नहीं हो पाता, जबकि रंगीन कपड़ा अधिकांश प्रकाश किरणों को अवशोषित कर लेता है, अत: वह जल्दी गर्म हो जाता है।

प्रश्न 27. लोग ग्रीष्म ऋतु में भी सफेद छाता की तुलना में काला छाता पसन्द करते हैं, क्यों ?

उत्तर–काला छाता, सफेद छाता की तुलना में अधिक छाया उपलब्ध कराता है, क्योंकि सफेद कपड़ा कुछ प्रकाश किरणों को पारगमित भी करता है। काला कपड़ा में दोष यह है कि वह सम्पूर्ण प्रकाश-किरणों को अवशोषित कर लेता है। अत: जल्दी गर्म हो जाता है, किन्तु चूँकि छाता सीधे शरीर के सम्पर्क में नहीं रहता। अत: उसके गर्म होने का अधिक प्रभाव नहीं पड़ता।

प्रश्न 28. आवर्धक लैंस से देखते समय नेत्र को लैंस के पास ही होना चाहिये। यदि नेत्र को लैंस से दूर रखें तो कोणीय आवर्धन (अर्थात् आवर्धन-क्षमता) किस प्रकार प्रभावित होगा ?

उत्तर–यदि नेत्र आवर्धक लैंस से कुछ दूरी पर है तो वस्तु द्वारा नेत्र पर बनाया गया कोण वस्तु द्वारा लैंस पर बनाये गये कोण से कम होगा। अत: कोणीय आवर्धन कुछ कम हो जायेगा।

प्रश्न 29. संयुक्त सूक्ष्मदर्शी से देखते समय उत्तम दृष्टि के लिए नेत्र को नेत्रिका के बिल्कुल पास नहीं रखना चाहिये। अपितु नेत्रिका से कुछ दूरी पर रखना चाहिये, क्यों? नेत्र और नेत्रिका के बीच की दूरी कितनी होनी चाहिये ?

उत्तर–नेत्रिका में बने अभिदृश्यक के प्रतिबिम्ब को नेत्र-वलय (Eye Ring) कहते हैं। नेत्र-वलय की सही स्थिति अभिदृश्यक और नेत्रिका के बीच की दूरी पर तथा नेत्रिका की फोकस-दूरी पर निर्भर करती है। वस्तु से चलने वाली समस्त किरणें अभिदृश्यक से अपवर्तित होने के बाद नेत्र-वलय से होकर गुजरती हैं। अत: नेत्र को नेत्र-वलय के पास रखना चाहिये। नेत्र-वलय नेत्रिका से कुछ मिलीमीटर की दूरी पर होती है।

प्रश्न 30. विभिन्न दूरियों पर रखी वस्तुओं का चित्र लेने के लिए क्या समंजन करना होता है ?

उत्तर–विभिन्न दूरियों पर रखी वस्तुओं का चित्र लेने के लिए फोटोग्राफिक लैंस को फिल्म के आगे-पीछे चलाते हैं। उदाहरण के लिए बहुत दूरस्थ वस्तु का चित्र लेना हो तो फोटोग्राफिक लैंस और फिल्म के बीच की दूरी को फोटोग्राफिक लैंस की फोकस दूरी के लगभग बराबर होना चाहिए। यदि वस्तु कम दूरी पर है तो उसका चित्र लेने के लिए फोटोग्राफिक लैंस को फिल्म से दूर हटाया जाता है जिससे वस्तु का स्पष्ट, वास्तविक, उल्टा व छोटा प्रतिबिम्ब फिल्म पर बन जाये।

प्रश्न 31. फोटोग्राफिक लैंस का द्वारक छोटा होता है, जबकि दूरदर्शी के अभिदृश्यक का द्वारक बहुत बड़ा होता है, क्यों ?

उत्तर–फोटोग्राफिक लैंस का द्वारक छोटा होता है। इसका कारण यह है कि द्वारक छोटा होने से फोकस की गहराई बढ़ जाती है।

दूरदर्शी के अभिदृश्यक का द्वारक बड़ा होता है। इसके निम्न कारण हैं–

(i) द्वारक बड़ा होने से इसकी विभेदन-क्षमता बढ़ जाती है।

(ii) द्वारक बड़ा होने से दूरदर्शी में अधिक प्रकाश प्रवेश करता है जिससे चमकीला प्रतिबिम्ब बनता है।

प्रश्न 32. सूक्ष्मदर्शी और दूरदर्शी में उच्च आवर्धन-क्षमता के साथ-साथ पर्याप्त विभेदन-क्षमता भी होनी चाहिए, क्यों ?

उत्तर–आवर्धन-क्षमता अधिक होने से वस्तु बड़ी और स्पष्ट दिखाई देती है। किन्तु यदि विभेदन-क्षमता कम है, तो उसकी संरचना स्पष्ट नहीं होगी।

प्रश्न 33. यदि दूरदर्शी से दूर स्थित वस्तु को देखते समय अभिदृश्यक

पर मक्खी बैठ जाये तो वस्तु के प्रतिबिम्ब पर क्या प्रभाव पड़ेगा ?

उत्तर–अभिदृश्यक पर मक्खी बैठ जाने के कारण अभिदृश्यक से गुजरने वाले प्रकाश की मात्रा कम हो जायेगी जिससे प्रतिबिम्ब की तीव्रता कम हो जायेगी, किन्तु मक्खी दिखाई नहीं देगी।

प्रश्न 34. आपको एक संयुक्त सूक्ष्मदर्शी और दूरदर्शी दिया गया है। आप कैसे पता लगायेंगे कि कौनसा सूक्ष्मदर्शी है और कौन-सा दूरदर्शी ?

उत्तर–अभिदृश्यक को देखकर। संयुक्त सूक्ष्मदर्शी के अभिदृश्यक का द्वारक छोटा और दूरदर्शी के अभिदृश्यक का द्वारक बड़ा होता है।

प्रश्न 35. खगोलीय दूरदर्शी के अभिदृश्यक के व्यास को दुगुना कर देने पर प्रतिबिम्ब की तीव्रता पर क्या प्रभाव पड़ेगा ? विभेदन-क्षमता किस प्रकार प्रभावित होगी ?

उत्तर–प्रतिबिम्ब की तीव्रता I, अभिदृश्यक के द्वारक के क्षेत्रफल $\frac{\pi d^2}{4}$ के अनुक्रमानुपाती होती है, जहाँ d अभिदृश्यक का व्यास है।

अत: $I \propto \frac{\pi d^2}{4}$ या $I \propto d^2$ या $\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2}$

दिया है : $d_2 = 2d_1$

उपर्युक्त समीकरण में मान रखने पर,

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4} \text{ या } I_2 = 4I_1$$

अर्थात् तीव्रता चार गुनी हो जायेगी।

दूरदर्शी की विभेदन-क्षमता

$$R_M = \frac{d}{1.22\lambda} \qquad \therefore R \propto d$$

या $$\frac{R_1}{R_2} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{1}{2} \quad \text{या} \quad R_2 = 2R_1$$

आंकिक प्रश्न

प्र. 1. 2.5 cm साइज की कोई छोटी मोमबत्ती 36 cm वक्रता त्रिज्या के किसी अवतल दर्पण से 27 cm दूरी पर रखी है। दर्पण से किसी परदे को कितनी दूरी पर रखा जाए कि उसका सुस्पष्ट प्रतिबिंब परदे पर बने। प्रतिबिंब की प्रकृति और साइज का वर्णन कीजिए। यदि मोमबत्ती को दर्पण की ओर ले जाएँ, तो परदे को किस ओर हटाना पड़ेगा ?

उत्तर- $O = 2.5$ cm, $R = -36$ cm, $f = \frac{R}{2} = -18$ cm, $u = -27$ cm

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

$$\frac{1}{-18} = \frac{1}{v} + \frac{1}{-27}$$

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{27} - \frac{1}{18} = \frac{2-3}{54} = \frac{-1}{54}$$

अत: प्रतिबिंब की स्थिति

$$v = -54 \text{ cm}$$

प्रतिबिंब वास्तविक, उल्टा व बड़ा बनेगा।

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

$$\frac{I}{2.5} = -\left(\frac{-54}{-27}\right)$$

प्रतिबिंब का साइज $I = -5.0$ cm

यदि मोमबत्ती को दर्पण की ओर ले जायें।

तब $u \to f$ तो $v = \infty$

अत: प्रतिबिंब प्राप्त करने के लिए पर्दा अनंत पर रखना पड़ेगा।

$u < f$ के लिए प्रतिबिंब आभासी बनेगा।

प्र. 2. 4.5 cm साइज की कोई सुई 15 cm फोकस दूरी के किसी उत्तल दर्पण से 12 cm दूर रखी है। प्रतिबिंब की स्थिति तथा आवर्धन लिखिए। क्या होता है जब सुई को दर्पण से दूर ले जाते हैं ? वर्णन कीजिए।

उत्तर- $O = 4.5$ cm, $f = +15$ cm, $u = -12$cm

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

$$\frac{1}{15} = \frac{1}{v} + \frac{1}{-12}$$

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{15} + \frac{1}{12} = \frac{4+5}{60} = \frac{9}{60}$$

$$v = \frac{60}{9} = +6.7 \text{cm}$$

प्रतिबिंब आभासी, छोटा व सीधा बनेगा।

आवर्धन $$m = -\frac{v}{u} = -\frac{60}{9(-12)} = +\frac{5}{9}$$

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

$$\frac{5}{9} = \frac{I}{4.5}, \ I = \frac{4.5 \times 5}{9} = +2.5 \text{cm}$$

अत: प्रतिबिंब की साइज $I = +2.5$ cm

जब सुई को दर्पण से दूर ले जायेंगे अर्थात्

$u \to \infty$ तो $v = f$ प्रतिबिंब फोकस पर बनेगा।

जबकि $m = -\frac{v}{u} = 0$

प्र. 3. कोई टैंक 12.5 cm ऊँचाई तक जल से भरा है। किसी सूक्ष्मदर्शी द्वारा बीकर की तली पर पड़ी किसी सुई की आभासी गहराई 9.4 cm मापी जाती है। जल का अपवर्तनांक क्या है ? बीकर में उसी ऊँचाई तक जल के स्थान पर किसी 1.63 अपवर्तनांक के अन्य द्रव से प्रतिस्थापन करने पर सुई को पुनः फोकसित करने के लिए सूक्ष्मदर्शी को कितना ऊपर/नीचे ले जाना होगा ?

उत्तर- (i) सूई की वास्तविक ऊँचाई $h_2 = 12.5$ cm,

आभासी गहराई $h_1 = 9.4$ cm

जल का अपवर्तनांक $\mu = \frac{h_2}{h_1} = \frac{12.5}{9.4} = 1.33$

(ii) यदि अन्य द्रव का अपवर्तनांक $\mu' = 1.66$

तब $h'_1 = ?\ ,\ h_2 = 12.5\,\text{cm}$

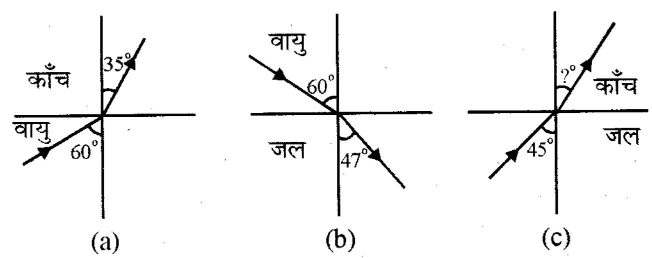
$$\mu' = \frac{h_2}{h_1'}$$

$$h'_1 = \frac{h_2}{\mu'} = \frac{12.5}{1.63} = 7.7\text{cm}$$

सूई का विस्थापन $= h_1 - h'_1 = 9.4 - 7.7$

$= 1.7$ cm ऊपर लाना पड़ेगा।

प्र. 4. चित्र (a) तथा (b) में किसी आपतित किरण का अपवर्तन दर्शाया गया है जो वायु में क्रमशः काँच-वायु तथा जल-वायु अंतरापृष्ठ के अभिलंब से 60° का कोण बनाती है। उस आपतित किरण का अपवर्तन कोण ज्ञात कीजिए, जो जल में जल-काँच अंतरापृष्ठ के अभिलंब से 45° का कोण बनाती है [चित्र (c)]।



चित्र 11.75

उत्तर- चित्र (a) से $_a\mu_g = \frac{\sin 60°}{\sin 35°} = \frac{0.8660}{0.5736}$
$= 1.51$

चित्र (b) से $_a\mu_w = \frac{\sin 60°}{\sin 47°} = \frac{0.8660}{0.7314}$
$= 1.32$

$$_w\mu_g = \frac{_a\mu_g}{_a\mu_w} = \frac{1.51}{1.32} = 1.144$$

$$_w\mu_g = 1.144$$

चित्र (c) से $_w\mu_g = \frac{\sin i}{\sin r}$

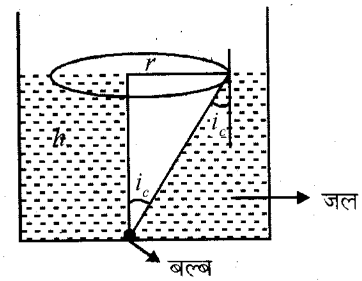
$$\sin r = \frac{\sin i}{_w\mu_g} = \frac{\sin 45°}{1.144} = \frac{0.7071}{1.144}$$

$$\sin r = 0.6181$$

$$r \simeq 38°$$

प्र. 5. जल से भरे 80 cm गहराई के किसी टैंक की तली पर कोई छोटा बल्ब रखा गया है। जल के पृष्ठ का वह क्षेत्र ज्ञात कीजिए जिससे बल्ब का प्रकाश निर्गत हो सकता है। जल का अपवर्तनांक 1.33 है। (बल्ब को बिन्दु प्रकाश स्रोत मानिए।)

उत्तर- प्रथम विधि– $h = 80\,\text{cm} = 0.8$ m, $\mu = 1.33$



चित्र 9.76

चित्र की ज्यामिति से

$$\tan i_c = \frac{r}{h}$$

$$r = h \tan i_c$$

$$r = 0.8 \tan i_c \quad ...(1)$$

चूँकि $\sin i_c = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{1.33} = 0.75$

$$i_c = \sin^{-1} 0.75 = 48.55°$$

अतः $\tan i_c = \tan 48.55° = 1.1336 \quad ...(2)$

समी. (1) से $r = 0.8 \times 1.1336 = 0.90688$

अतः जल के पृष्ठ का क्षेत्र जिससे बल्ब का प्रकाश निर्गत होगा = πr^2

$= 3.14 \times 0.90688 \times 0.90688$

$= 2.6$ वर्ग मी.

द्वितीय विधि : $h = 80\text{ m} = 0.8$ m, $\mu = 1.33 = \frac{4}{3}$

जल के पृष्ठ का क्षेत्र जिससे बल्ब का प्रकाश निर्गत होगा
$= \pi r^2$

जहाँ $r = \frac{h}{\sqrt{\mu^2 - 1}} = \frac{0.8}{\sqrt{\left(\frac{4}{3}\right)^2 - 1}}$

$$= \frac{0.8}{\sqrt{\frac{16}{9} - 1}} = \frac{0.8}{\sqrt{\frac{7}{9}}} = \frac{0.8 \times 3}{\sqrt{7}}$$

$$r = \frac{2.4}{2.6} = \frac{24}{26} = \frac{12}{13}$$

अत: क्षेत्र $= \pi r^2$

$$= 3.14 \times \frac{12}{13} \times \frac{12}{13}$$

$= 2.6$ वर्ग मीटर

प्र. 6. कोई प्रकाश-पुंज किसी बिंदु P पर अभिसरित होता है। कोई लेंस इस अभिसारी पुंज के पथ में बिंदु P से 12 cm दूर रखा जाता है। यदि यह (a) 20 cm फोकस दूरी का उत्तल लेंस है, (b) 16 cm फोकस दूरी का अवतल लेंस है, तो प्रकाश-पुंज किस बिंदु पर अभिसरित होगा ?

उत्तर- $u = +12$ cm बिंब आभासी तथा दायीं ओर है।

(a) $f = +20$ cm उत्तल लैंस के लिए

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

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

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{20} + \frac{1}{12}$$

$$v = +7.50\ cm$$

प्रतिबिंब वास्तविक तथा लैंस से दायीं ओर 7.5 cm पर होगा।

(b) $f = -16$ *cm* अवतल लैंस के लिए

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

$$\frac{1}{v} = -\frac{1}{16} + \frac{1}{12}$$

$$v = +48\,\text{cm}$$

प्रतिबिंब वास्तविक तथा लैंस से दायीं ओर 48 cm पर होगा।

प्र. 7. 3.0 cm ऊँची कोई बिंब 21 cm फोकस दूरी के अवतल लेंस के सामने 14 cm दूरी पर रखी है। लेंस द्वारा निर्मित प्रतिबिंब का वर्णन कीजिए। क्या होता है जब बिंब लेंस से दूर हटती जाती है ?

उत्तर- $O = 3cm, f = -21\ cm, u = -14\ cm$

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

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{f} + \frac{1}{u} = -\frac{1}{21} - \frac{1}{14}$$

$$v = -8.4\ cm$$

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

$$I = \frac{v}{u} \times O = \frac{-8.4}{-14} \times 3$$

प्रतिबिंब का आकार $I = 1.8\ cm$

प्रतिबिंब छोटा, आभासी व सीधा बनेगा।

(ii) जब $u \to \infty$ तब $v = f$ लेकिन f से आगे नहीं जाता जबकि

$$m = \frac{v}{u} = 0$$

जब बिंब लैंस से दूर हटता है।

माना $u = f = -21\,\text{cm}$

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

तब $v = -10.5\,\text{cm}$

परन्तु अनंत पर नहीं बनेगा।

प्र.8. किसी 30 cm फोकस दूरी के उत्तल लेंस के संपर्क में रखे 20 cm फोकस दूरी के अवतल लेंस के संयोजन से बने संयुक्त लेंस (निकाय) की फोकस दूरी क्या है ? यह तंत्र अभिसारी लेंस है अथवा अपसारी ? लेंसों की मोटाई की उपेक्षा कीजिए।

उत्तर- उत्तल लैंस के लिए $f_1 = +30$ cm,

अवतल लैंस के लिए $f_2 = -20$cm

संयोजन की फोकस दूरी

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

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

$$f = \frac{f_1 f_2}{f_2 + f_1} = \frac{30 \times (-20)}{-20 + 30}$$

$$f = \frac{-600}{10} = -60\text{cm} \quad (\text{अपसारी})$$

प्र.9. किसी संयुक्त सूक्ष्मदर्शी में 2.0 cm फोकस दूरी का अभिदृश्यक लेंस तथा 6.25 cm फोकस दूरी दूरी का नेत्रिका लेंस एक-दूसरे से 15 cm दूरी पर लगे हैं। किसी बिंब को अभिदृश्यक से कितनी दूरी पर रखा जाए कि अंतिम प्रतिबिंब (a) स्पष्ट दर्शन की अल्पतम दूरी (25 cm) तथा (b) अनन्त पर बने ? दोनों स्थितियों में सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता ज्ञात कीजिए।

उत्तर-
$$f_0 = 2.0\,\text{cm},$$
$$f_e = 6.25\,\text{cm},$$
$$L = 15\,\text{cm},$$
$$D = 25\,\text{cm}$$

(a) जब अंतिम प्रतिबिंब स्पष्ट दर्शन की न्यूनतम दूरी पर बनता है।

$L = v_0 + u_e$ जहाँ $v_e = -25\ cm$

$$v_0 = L - u_e$$

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

$$\frac{1}{u_e} = \frac{1}{v_e} - \frac{1}{f_e} = \frac{1}{-25} - \frac{1}{6.25}$$

$$\frac{1}{u_e} = -\frac{1}{25}-\frac{100}{625}$$

$$\frac{1}{u_e} = \frac{-25-100}{625}=\frac{-125}{625}$$

$$u_e = -5\text{ cm} = |5|\text{ cm}$$

$$v_0 = L-u_e = 15-5$$

$$v_0 = +10\text{ cm}$$

$$\frac{1}{f_0} = \frac{1}{v_0}-\frac{1}{u_0}$$

$$\frac{1}{u_0} = \frac{1}{v_0}-\frac{1}{f_0} = \frac{1}{10}-\frac{1}{2}$$

बिंब की स्थिति $u_0 = -2.5\text{ cm} = |2.5|\text{ cm}$

आवर्धन क्षमता $m = -\frac{v_0}{u_0}\left[1+\frac{D}{f_e}\right]$

$$= -\frac{10}{2.5}\left[1+\frac{25}{6.25}\right]$$

$$m = -20 = |20|$$

(b) जब अंतिम प्रतिबिंब अनन्त पर बनता है।

$$L = v_0+f_e$$

जहाँ $u_e = f_e$, $v_e = \infty$

$$v_0 = L-f_e = 15-6.25$$

$$v_0 = +8.75\text{ cm}$$

$$\frac{1}{f_0} = \frac{1}{v_0}-\frac{1}{u_0}$$

$$\frac{1}{u_0} = \frac{1}{v_0}-\frac{1}{f_0} = \frac{1}{8.75}-\frac{1}{2}$$

$$= \frac{100}{875}-\frac{1}{2}$$

$$= \frac{200-875}{1750} = \frac{-675}{1750}$$

$$u_0 \quad -\frac{1750}{675} = -2.59\text{cm}$$

$$u_0 = |2.59|\text{ cm}$$

आवर्धन क्षमता $m = -\frac{v_0}{u_0}\left[\frac{D}{f_e}\right]$

$$= -\frac{8.75}{2.59}\left[\frac{25}{6.25}\right]$$

$$= -\frac{875}{259}\times 4$$

$$m = -13.5 = |13.5|$$

प्र.10. 25 cm के सामान्य निकट बिंदु का कोई व्यक्ति ऐसे संयुक्त सूक्ष्मदर्शी जिसका अभिदृश्यक 8.0 mm फोकस दूरी तथा नेत्रिका 2.5 cm फोकस दूरी की है, का उपयोग करके अभिदृश्यक से 9.0 mm दूरी पर रखे बिंब को सुस्पष्ट फोकसित कर लेता है। दोनों लेंसों के बीच पृथक्कन दूरी क्या है ? सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता क्या है?

उत्तर- $f_0 = 8.0\text{ mm} = 0.8\text{ cm}, f_e = 2.5\text{ cm}, u_0 = -9.0\ mm = -0.9\text{ cm}$

$v_e = -25\text{ cm}, D = 25\text{ cm}$

(i) जब प्रतिबिंब स्पष्ट देखने की न्यूनतम दूरी पर बनता है

तो आवर्धन क्षमता $m = -\frac{v_0}{u_0}\left[1+\frac{D}{f_e}\right]$

लैंस सूत्र से $\frac{1}{f_0} = \frac{1}{v_0}-\frac{1}{u_0}$

$$\frac{1}{v_0} = \frac{1}{f_0}+\frac{1}{u_0} = \frac{1}{0.8}+\frac{1}{-0.9}$$

$$\frac{1}{v_0} = \frac{72}{10},$$

$$v_0 = +7.20\text{ cm}, u_0 = |0.9\text{ cm}|$$

आवर्धन क्षमता $m = -\frac{7.2}{0.9}\left[1+\frac{25}{2.5}\right] = -88 = |88|$

(ii) $$\frac{1}{f_e} = \frac{1}{v_e}-\frac{1}{u_e}$$

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

$$\frac{1}{u_e} = \frac{1}{-25}-\frac{1}{2.5}$$

$$u_e = \frac{25}{11}\text{cm} = -2.27\text{cm}$$

$$u_e = |2.27\text{ cm}|$$

नली की लम्बाई $L = v_0 + u_e$

या पृथक्कन दूरी $= 7.20 + 2.27$

$$L = 9.47\text{ cm}$$

प्र.11. किसी छोटी दूरबीन के अभिदृश्यक की फोकस दूरी 144 cm तथा नेत्रिका की फोकस दूरी 6.0 cm है। दूरबीन की आवर्धन क्षमता कितनी है ? अभिदृश्यक तथा नेत्रिका के बीच पृथक्कन दूरी क्या है ?

उत्तर- $f_0 = 144\text{ cm},\ f_e = 6.0\text{ cm}$

आवर्धन क्षमता $m = -\frac{f_0}{f_e} = -\frac{144}{6} = -24$

नली की लम्बाई $L = f_0 + f_e = 144 + 6$

$$= 150\text{ cm}$$