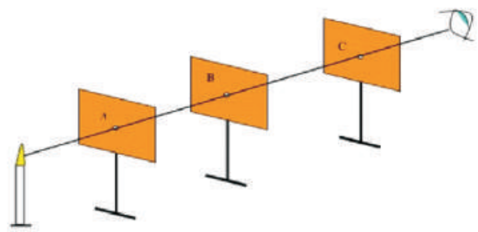
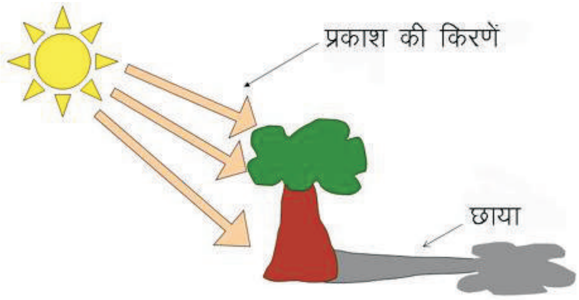
अध्याय – 9
प्रकाश
(Light)

हम दिन में अपने चारों तरफ विभिन्न रंगों की वस्तुओं को देखते हैं लेकिन अंधेरे कमरे में या रात के समय हम आसानी से वस्तुओं को देख नहीं पाते हैं। यदि रात के समय हम बल्ब जलाएं तो हमें वस्तुएं दिखाई देने लगती हैं। पृथ्वी पर प्रकाश का मुख्य स्त्रोत **सूर्य** है। जब प्रकाश किसी वस्तु पर गिरता है तो वह वस्तु प्रकाश के कुछ रंगों को अवशोषित कर लेती है एवं कुछ रंगों को परावर्तित कर देती है। जब यह परावर्तित प्रकाश हमारे नेत्रों पर आता है तो नेत्र में उसका प्रतिबिम्ब रेटिना पर बनता है। रेटिना से संवेदना मस्तिष्क तक पहुंचती है एवं हम वस्तु व उसका रंग देख पाते हैं। कोई वस्तु हमे लाल दिखाई देती है क्योंकि उस पर गिरने वाले प्रकाश के लाल रंग की किरणों को वह वस्तु परावर्तित कर देती है। जब प्रकाश किसी वस्तु के आर पार निकल जाता है तो वह हमें पारदर्शी दिखाई देती है। जब कोई वस्तु सभी रंगों को अवशोषित कर लेती है तो वह काली दिखाई पड़ती है एवं जब वह सभी रंगों को परावर्तित कर देती है तो वह सफेद दिखाई देती है।

प्रकाश हमें सरल रेखा में गमन करता हुआ प्रतीत होता है किन्तु प्रकाश सदैव सरल रेखीय पथ में गमन नहीं करता है। जब प्रकाश बहुत छोटे (तरंगदैर्ध्य की कोटि के) अवरोधों से गुजरता है तो प्रकाश किनारों से मुड़ जाता है। अध्यारोपण व विवर्तन जैसे घटनाओं को समझने के लिये प्रकाश के तरंग स्वरूप की सहायता ली जाती है। लेकिन तरंग स्वरूप से प्रकाश विद्युत प्रभाव एवं प्रकाश की द्रव्य से अन्योन्य क्रिया की व्याख्या नहीं की जा सकी। इन प्रभावों को प्रकाश के कण स्वरूप द्वारा समझा जा सका। वैज्ञानिक डी–ब्रोगली ने प्रकाश के द्वैत सिद्धान्त को प्रस्तावित किया जिसके अनुसार प्रकाश कण व तरंग दोनों प्रकार व्यवहार करता है। वर्तमान में प्रकाश के इस कण–तरंग द्वैतवाद को क्वांटम यांत्रिकी में तरंग–पैकेट (Wave - packet) द्वारा निरूपित किया जाता है। इसके अनुसार प्रकाश फोटॉन कभी तरंग एवं कभी कण की भांति व्यवहार करते हैं।



चित्र 9.1 (a) प्रकाश का सरल रेखीय गमन



चित्र 9.1 (b) वस्तु की छाया

चित्र 9.1 (c) सेव का लाल रंग

सामान्य जीवन में हम देखते हैं कि जब प्रकाश किसी अपारदर्शी वस्तु पर आपतित होता (गिरता) है तो वस्तु की छाया हमें दिखाई देती है। यह प्रकाश की किरणों के सरल रेखीय पथ की वजह से होता है। एक प्रकाश **स्त्रोत** से किरणें सभी दिशाओं में संचरित होती हैं लेकिन प्रयोगशाला में हम प्रकाश की किरणों को किसी विशेष दिशा में सीमित करते हैं ताकि

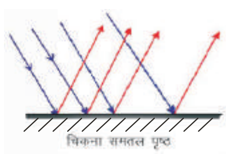
प्रयोग सुगमता से हो सके। चित्रों में बहुधा प्रकाश किरणों को सरल रेखाओं से दर्शाते हैं लेकिन व्यावहारिक दृष्टि से एक किरण को प्राप्त करना प्रायः असम्भव है। इस अध्याय में हम प्रकाश के सरल रेखीय पथ का उपयोग करके परावर्तन व अपवर्तन की घटनाओं का अध्ययन करेंगे।

9.1 प्रकाश का परावर्तन (Reflection of light)

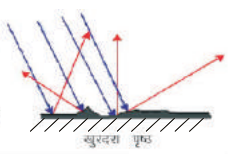
जब प्रकाश की किरणें किसी पृष्ठ पर गिरती हैं तो उनमें से अधिकांश किरणें निश्चित दिशाओं में गमन कर जाती हैं, यही परावर्तन है। दैनिक जीवन में हम सभी दो प्रकार के परावर्तन देखते हैं– नियमित परावर्तन व विसरित परावर्तन।

नियमित परावर्तन (Regular reflection)

जब प्रकाश किसी चिकने समतल पृष्ठ (जैसे दर्पण) पर आपतित होता है तो वह समतल पृष्ठ एक विशेष दिशा से देखने पर चमकता हुआ दिखता है एवं अन्य दिशाओं में लगभग सामान्य ही रहता है। यदि हम दर्पण की दिशा को परिवर्तित करते हैं तो वह दर्पण अब अन्य दिशा से चमकीला दिखाई देता है। इसी प्रकार प्रकाश किरणों के दर्पण पर गिरने की दिशा बदलने पर दर्पण हमें अन्य दिशा में चमकीला दिखाई देता है। आपतित प्रकाश–पुंज (light beam) को चिकने पृष्ठ द्वारा उसी माध्यम में एक विशिष्ट दिशा में भेज देने को नियमित परावर्तन कहते है।



चित्र 9.2 (a) नियमित परावर्तन



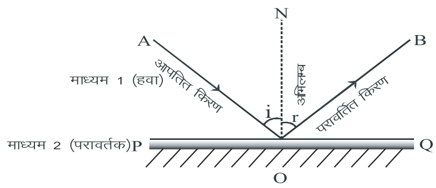
चित्र 9.2 (b) विसरित परावर्तन

विसरित परावर्तन (Diffused reflection)

आप सभी ने अनुभव किया होगा कि जब किसी कमरे में किसी खिड़की आदि से प्रकाश किसी दीवार पर गिरता है तो दीवार का वह भाग कमरे में सभी जगह से समान रूप से प्रदीप्त दिखाई देता है। इसका कारण यह है कि प्रकाश एक निश्चित दिशा से दीवार पर गिरने के पश्चात् सभी दिशाओं में परावर्तित हो जाता है। सामान्य जीवन में अधिकांश वस्तुओं को हम इसी कारण देख पाते हैं। खुरदरे पृष्ठ, धुल, धुएं के सूक्ष्म कण आदि प्रकाश को विभिन्न दिशाओं में विसरित कर देते हैं। जब सूर्य का प्रकाश वायुमण्डल की गैसों के अणुओं से प्रकीर्णित होता है तो नीले रंग की तरंगे सर्वाधिक विसरित होती है, अतः हमें आकाश नीला दिखाई देता है। वायुमण्डल के बाहर से यदि हम आकाश को देखें तो आकाश काला दिखाई देगा। खुरदरे पृष्ठों द्वारा प्रकाश को सभी दिशाओं में बिखेरने के प्रभाव को विसरित परावर्तन कहते हैं।

सामान्यतः कांच अथवा पारदर्शी पदार्थ के पीछे वाले भाग पर परावर्तक आवरण (चांदी अथवा एल्युमीनियम की परत) लगाकर उन्हें दर्पण या परावर्तक पृष्ठ की तरह उपयोग में लिया जाता है।

9.2 परावर्तन के नियम (Laws of reflection)



चित्र 9.3 परावर्तन

जब प्रकाश की कोई किरण एक माध्यम में गमन करती हुई दूसरे माध्यम के पृष्ठ से टकराकर उसी माध्यम में एक निश्चित दिशा में चली जाती है तो यह घटना प्रकाश का परावर्तन कहलाती है।

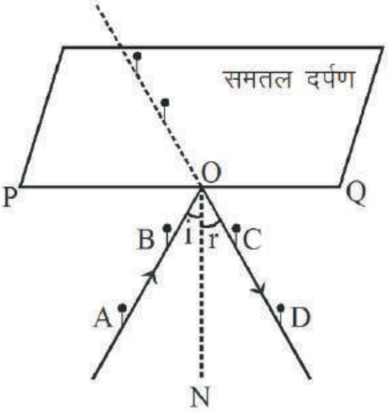
परावर्तन के लिये बहुधा दर्पण उपयोग में लिये जाते हैं। सामान्यतः काँच के एक पृष्ठ को सिल्वर्ड करके परावर्तक पृष्ठ बना दिया जाता हैं जो दर्पण कहलाता है।

चित्र 9.3 में PQ एक समतल दर्पण है। प्रकाश किरण AO दर्पण पर O बिन्दु पर आपतित हो रही है। दर्पण से टकराकर यह किरण OB दिशा में परावर्तित हो रही है। चित्र में ON दर्पण पर अभिलम्ब है। कोण AON आपतन कोण 'i' कहलाता है एवं कोण BON परावर्तन कोण 'r' कहलाता है।

एक प्रायोगिक गतिविधि द्वारा हम आपतन कोण एवं परावर्तन कोण में सम्बन्ध ज्ञात कर सकते हैं।

एक कागज के गत्ते पर एक रेखा PQ खींचे एवं उसके अभिलम्ब एक रेखा ON खींचे। अब किसी कोण 'i' पर एक रेखा AB बनाए एवं उस पर दो आलपीन लगाएं। PQ रेखा पर एक समतल दर्पण खड़ा करे। दर्पण में इन दो आलपीनों के प्रतिबिम्ब को देखते हुए दो अन्य आलपीन C व D इस प्रकार लगावें कि C व D तथा A व B के प्रतिबिम्ब एक सरल रेखा

में दिखाई दें। CD सरल रेखा को खींचे एवं उसे दर्पण तक विस्तारित करें। आप देखेंगे कि CD रेखा दर्पण पर O बिन्दु पर मिलती है।



चित्र 9.4 समतल दर्पण से परावर्तन

आप देख सकते हैं कि कोण AON व DON बराबर है। यदि AB आपतित किरण है तो CD उसकी संगत परावर्तित किरण है।

परावर्तन निम्न नियमों से होता है–

(i) आपतित किरण, परावर्तित किरण एवं आपतन बिन्दु पर अभिलम्ब एक ही समतल में होते हैं।

(ii) आपतित किरण जितना कोण अभिलम्ब के साथ बनाती है उतना ही कोण परावर्तित किरण अभिलम्ब के साथ बनाती है।

आपतन कोण i = परावर्तन कोण r अतः $\angle i = \angle r$

समतल दर्पण में प्रतिबिम्ब (Image formation in plane mirror)

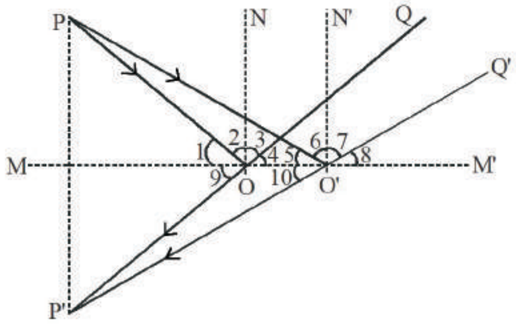
समतल दर्पण में बनने वाला प्रतिबिम्ब आभासी होता है। वह प्रतिबिम्ब दर्पण के पीछे दर्पण से उतनी ही दूरी पर दिखाई देता है जितनी दूरी पर वस्तु दर्पण के सामने स्थित है। प्रतिबिम्ब का आकार वस्तु के आकार जितना ही होता है। दर्पण के सामने खड़े होकर जब हम अपने प्रतिबिम्ब को देखते हैं तो हम पाते हैं कि हमारा दायां भाग प्रतिबिम्ब का बायां भाग बन जाता है। इसी प्रकार यदि एक कागज पर आप P लिखकर उसे दर्पण की ओर करते हैं तो हमे दर्पण में q दिखाई देता है। समतल दर्पण में दिखाई पड़ने वाले इस परावर्तन को पार्श्व परावर्तन (Lateral Inversion) कहते हैं।

क्या आप ने कभी सोचा है कि दर्पण में प्रतिबिम्ब उपर से नीचे क्यों नहीं बनता है? यदि हम गौर से अवलोकन करें तो पाएंगें की दर्पण स्वयं कुछ नहीं करता है। हमें अपने प्रतिबिम्ब को देखने के लिये दायें से बायें घूमना पड़ता है। यदि हम अपना मुंह व दर्पण एक ही दिशा में कर दें तो हमारी पीठ दर्पण की ओर हो जाएगी एवं हम अपना प्रतिबिम्ब नहीं देख पाएंगें।

इसी प्रकार यदि आप अपने सम्मुख दर्पण को इस प्रकार रखें कि जब आप दर्पण को देखें तो आपका मुंह उत्तर दिशा में हो। अब आप अपने दायें हाथ को पूर्व दिशा की तरफ इंगित करे, आप पाएंगे कि आपका प्रतिबिम्ब भी पूर्व दिशा की तरफ ही इंगित कर रहा है। अब आप अपने हाथ को उत्तर दिशा में दर्पण की तरफ इंगित करें तो आप पाएगें कि प्रतिबिम्ब अपना हाथ दक्षिण की तरफ इंगित कर रहा है। यदि आप एक P की आकृति को कागज के गत्ते से काट कर बनाएं (अथवा किसी P आकार के खिलौनेनुमा अक्षर को लेवें) एवं उससे अपने हाथ में रखते हुए दर्पण के सामने खड़े हो तो आप पाएगें कि आपने व प्रतिबिम्ब ने P आकृति को पकड़ रखा है जबकि आपका बायां भाग दर्पण में दायां प्रतीत होता है। अब आप समझ सकते हैं कि जब आप कागज पर 'P' लिखकर उसे दर्पण की ओर मुडाकर दर्पण में दखते हैं आप तो दर्पण को 'q' ही दिखा रहे होते है। आपने पहले ही कागज को 180 डिग्री से घुमा दिया है। जबकि गत्ते की P आकृति की कटिंग को आप प्रतिबिम्ब में 'P' ही देख रहे हैं। यदि इस गत्ते के 'P' के एक तरफ लाल रंग व दूसरी तरफ नीला रंग लगा देवें तो आप पाएंगे कि आप यदि लाल रंग देख रहे हैं तो दर्पण में प्रतिबिम्ब में 'P' नीले रंग वाला दिखेगा।

उदाहरण 1. सिद्ध कीजिये कि दर्पण में प्रतिबिम्ब दर्पण के पीछे उतनी ही दूरी पर बनता है जितनी दूरी पर बिम्ब दर्पण के सामने है।

हल चित्र 9.5 में MM' एक परावर्तक तल है जिस पर बिम्ब P से PO एवं PO' किरण आपतित हो रही हैं जो क्रमशः OQ एवं OQ' दिशा में परावर्तित हो रही हैं।



चित्र 9.5 बिम्ब – प्रतिबिम्ब की ज्यामिति

इन किरणों को पीछे की ओर बढाने पर P' बिन्दु पर बिम्ब P का आभासी प्रतिबिम्ब बनता है। ON व O'N' दर्पण पर अभिलम्ब हैं।

त्रिभुज POO' एवं P'OO' में भुजा OO' उभयनिष्ठ है

परावर्तन के नियम से $\angle 2 = \angle 3$

अतः $\angle 1 = \angle 4 = \angle 9$

$180° - \angle 1 = 180° - \angle 9$

या $\angle POO' = \angle P'OO'$

इसी प्रकार $\angle PO'O = \angle P'O'O$

अतः त्रिभुज POO' व त्रिभुज P'OO' समरूप हैं

इसलिए PO = P'O

एवं PO' = P'O'

इसी तरह त्रिभुज PO'M एवं P'O'M में हम देखते हैं कि

$\angle PO'M = \angle P'O'M$

एवं PO' = P'O'

तथा भुजा MO' उभयनिष्ठ हैं।

अतः त्रिभुज PO'M एवं त्रिभुज P'O'M सर्वांगसम है

अतः PM = P'M

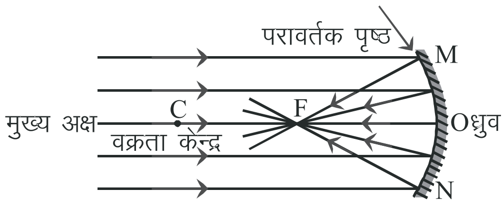
अर्थात् बिम्ब P दर्पण से जितनी दूर आगे है उसका प्रतिबिम्ब P' दर्पण से पीछे उतनी ही दूरी पर है। साथ ही हम यह भी पाते हैं कि सरल रेखा PP' दर्पण के समतल के अभिलम्ब है।

9.3 गोलीय दर्पण (Spherical mirror)

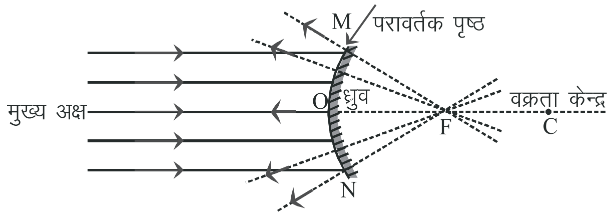
समतल दर्पण के अतिरिक्त ऐसे दर्पण भी होते हैं जिनके पृष्ठ वक्र होते हैं। इस तरह के दर्पणों में हमें प्रतिबिम्ब एक भिन्न आकृति की तरह दिखाई देता है। प्रतिबिम्ब की आकृति दर्पण के वक्र पृष्ठ की प्रकृति पर निर्भर करती है। ऐसे दर्पण जिनके परावर्तक पृष्ठ गोलीय होते हैं, गोलीय दर्पण कहलाते हैं। हम इनके पृष्ठ को किसी खोखले गोले का भाग मान सकते हैं। गोलीय दर्पण दो प्रकार के होते हैं। ऐसे परावर्तक पृष्ठ जो अन्दर की ओर वक्रित है अवतल दर्पण कहलाते हैं। सुरक्षा की दृष्टि से इनके बाहरी अर्थात् पश्च (Back) उत्तल पृष्ठ पर परावर्तक आवरण (चांदी अथवा एल्युमीनियम की परत) लगाने के बाद उन पर रंग भी कर दिया जाता है।

वैज्ञानिक उपकरणों में यथार्थ प्रेक्षण (Accurate observation) लेने के लिये अवतल दर्पण के बाहरी उत्तल पृष्ठ पर परावर्तक आवरण लगाने के बजाय इस के अन्दर के पृष्ठ पर परावर्तक आवरण लगाते हैं। इन्हें अग्र विलेपित दर्पण (Front coated mirror) कहते हैं।

ऐसे गोलीय पृष्ठ जिनका बाहरी भाग दर्पण के परावर्तक पृष्ठ की तरह उपयोग में लिया जाता है उन्हें उत्तल दर्पण कहते हैं। इसके लिये वक्र पृष्ठ के अन्दर की सतह पर परावर्तक आवरण लगाने के बाद वहां रंग कर दिया जाता है ताकि बाहरी उत्तल तल से ही परावर्तन हो।



चित्र 9.6 (a) अवतल दर्पण

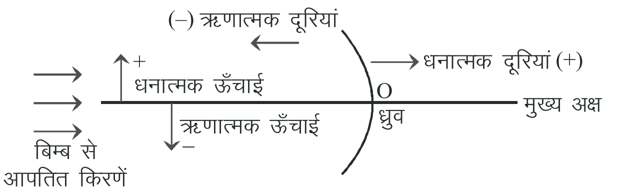


चित्र 9.6 (b) उत्तल दर्पण

जब एक समान्तर किरण–पुंज अवतल दर्पण से परावर्तित होती है तो परावर्तन के पश्चात् किरण–पुंज अभिसारित(Converge) होकर दर्पण के सामने एक बिन्दु पर मिलती है। इस बिन्दु को अवतल दर्पण का फोकस कहा जाता है। उत्तल दर्पण पर जब समान्तर किरण पुंज आपतित होती है तो परावर्तन के पश्चात् अपसारित (Diverge) हो जाती है। इन परावर्तित किरणों को पीछे बढ़ाने पर वे दर्पण के पीछे एक बिन्दु पर मिलती हैं। ऐसा प्रतीत होता है कि परावर्तित किरणें इस बिन्दु से आ रही हैं। इस बिन्दु को उत्तल दर्पण का फोकस कहा जाता है। दर्पण के वक्र पृष्ठ के मध्य बिन्दु को हम ध्रुव कहते हैं। गोलाकार दर्पण को हम गोले का ही एक भाग मान सकते हैं। उस गोले के केन्द्र को वक्रता केन्द्र (चित्र 9.6 में बिन्दु 'C') एवं उसकी त्रिज्या को वक्रता त्रिज्या कहते हैं। वक्रता केन्द्र से ध्रुव की दूरी वक्रता त्रिज्या के बराबर होती है। ध्रुव तथा वक्रता केन्द्र को मिलाने वाली सरल रेखा को मुख्य अक्ष कहते हैं। किसी भी दर्पण के ध्रुव से फोकस की दूरी को फोकस दूरी कहा जाता है एवं उसे f से दर्शाते हैं। बड़े गोलीय दर्पण में ध्रुव से दूरी बढ़ने के साथ

साथ किरणों के परावर्तन की दिशा बदलती रहती है जिससे उसकी तीव्रता समाप्त हो जाती है अर्थात वो एक फोकस पर नहीं मिलती है। अतः आगे के विवेचनों में हम उन गोलीय दर्पणों पर ही विचार करेंगे जिनकी वृत्ताकार सीमारेखा का व्यास या द्वारक (चित्र 9.6 में MN) उनकी वक्रता त्रिज्या से बहुत छोटा हो। समझने के लिये चित्रों में भले ही इनका द्वारक बड़ा दिख रहा हो। इन गोलीय दर्पणों की वक्रता त्रिज्या फोकस दूरी की दोगुनी होती है।

वास्तविक जीवन में बड़े किरण–पुंजों को गोलीय दर्पण की बजाय परवलिय (Parabolic) दर्पण से एकत्रित किया जाता है, जैसे कि टेलिस्कॉप में। गाड़ी की हेडलाईट में भी परवलिय दर्पण लगाये जाते है ताकि फोकस पर स्थित लाइट से परावर्तित किरणें समान्तर किरण–पुंज की तरह प्राप्त हों। चित्र 9.6(a) व 9.6(b) से हम यह भी देखते हैं कि अवतल दर्पण में फोकस उसके सामने होता हैं जबकि उत्तल दर्पण में फोकस उसके पीछे होता है। अतः यदि हम एक प्रकार के दर्पण की फोकस दूरी को धनात्मक मानें तो दूसरे दर्पण की फोकस दूरी को ऋणात्मक मानना होगा। गोलीय दर्पण से परावर्तन का अध्ययन करने के लिये हम कार्तीय चिह्न परिपाटी का पालन करेगें।



चित्र 9.7 कार्तीय चिह्न परिपाटी

इस पद्धति में हम दर्पण के ध्रुव को मूल बिन्दु मानते हैं एवं दर्पण के मुख्य अक्ष को निर्देशांक पद्धति का x-अक्ष लिया जाता है। इसके नियम निम्न प्रकार हैं

(i) मुख्य अक्ष के समान्तर सभी दूरियां दर्पण के ध्रुव (मूल बिन्दु) से मापी जाती हैं।

(ii) बिम्ब दर्पण के बाईं ओर रखा जाता है अर्थात् बिम्ब से आने वाली किरणें दर्पण पर सदैव बाई ओर से आपतित होती है।

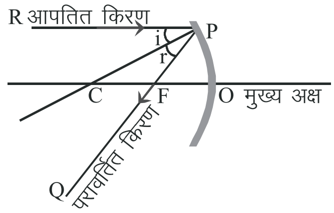
(iii) मुख्य अक्ष के समान्तर मूल बिन्दु के बाईं ओर (–x अक्ष के अनुदिश) की सभी दूरियां ऋणात्मक ली जाती हैं। उदाहरणार्थ उत्तल दर्पण व अवतल दर्पण दोनों में ही बिम्ब की दूरी हमेशा ऋणात्मक होगी। इसी प्रकार मूल बिन्दु के दाईं ओर (+x अक्ष के अनुदिश) की सभी दूरियां धनात्मक मानी जाती हैं।

(iv) मुख्य अक्ष के उपर की ओर लम्बवत् मापी जाने वाली दूरियां (+y अक्ष के अनुदिश) धनात्मक मानी जाती हैं जबकि मुख्य अक्ष के नीचे की ओर लम्बवत् मापी जाने वाली दूरियां (–y अक्ष के अनुदिश) ऋणात्मक मानी जाती हैं।

कार्तीय चिह्न पद्धति के अनुसार अवतल दर्पण हेतु बिम्ब की दूरी हमेशा ऋणात्मक होगी। इसी प्रकार फोकस दूरी एवं वक्रता त्रिज्या भी सदैव ऋणात्मक होगी। अवतल दर्पण में जब प्रतिबिम्ब दर्पण के सामने (बाईं ओर) बनेगा तो उसकी दूरी ऋणात्मक लेगें एवं जब प्रतिबिम्ब दर्पण के पीछे (दाईं ओर) बनेगा तब उसकी दूरी धनात्मक लेंगे। जब प्रतिबिम्ब सीधा होगा तो उसकी लम्बाई धनात्मक लेंगे एवं जब प्रतिबिम्ब उलटा व मुख्य अक्ष के नीचे की ओर हो तो उसकी लम्बाई ऋणात्मक लेंगे।

इस पद्धति के अनुसार एक उत्तल दर्पण के लिये भी बिम्ब की दूरी हमेशा ऋणात्मक होगी। चूंकि उत्तल दर्पण की वक्रता त्रिज्या एवं फोकस दूरी हमेशा दर्पण के पीछे (दाईं ओर) होती है अतः ये दोनों हमेशा धनात्मक होगें। उत्तल दर्पण में प्रतिबिम्ब हमेशा दर्पण के पीछे बनता है अतः प्रतिबिम्ब की दूरी हमेशा धनात्मक होगी। इसी तरह उत्तल दर्पण में प्रतिबिम्ब हमेशा सीधा बनता है अतः प्रतिबिम्ब की लम्बाई धनात्मक लेंगे।

उदाहरण 2 सिद्ध कीजिये कि छोटे द्वारक के अवतल दर्पण की वक्रता त्रिज्या फोकस दूरी से दो गुनी होती है।



चित्र 9.8 अवतल दर्पण से परावर्तन

चित्र 9.8 में अवतल दर्पण से परावर्तन दिखाया गया है। समतल दर्पण के परावर्तन के नियम गोलीय दर्पण पर भी पूर्ण रूप से लागू होते हैं। RP एक आपतित किरण है जो मुख्य अक्ष के समान्तर है एवं अवतल दर्पण से परावर्तन के पश्चात् PQ दिशा में गमन करती है जो मुख्य अक्ष को बिन्दु F पर काटती है। CP रेखा बिन्दु P पर दर्पण पर अभिलम्ब है अतः CP इस अवतल दर्पण की वक्रता त्रिज्या होगी।

परावर्तन के नियम से

आपतन कोण i = परावर्तन कोण r

या $\angle RPC = \angle QPC$

चूंकि आपतित किरण RP मुख्य अक्ष के समान्तर है अतः

$\angle RPC = \angle PCF$ (एकान्तर कोण)

अतः $\angle PCF = \angle QPC = \angle FPC$

इसलिये त्रिभुज PCF में

$PF = FC$

यदि दर्पण का द्वारक छोटा हो तो बिन्दु P दर्पण के ध्रुव O के समीप होगा।

अतः $PF \quad OF$

या $FC \sim OF$

अथवा $OF = \frac{1}{2}OC$

या $OC = 2OF$

अर्थात् जब द्वारक छोटा है तो वक्रता त्रिज्या OC = R, फोकस दूरी OF = f से दुगुनी है एवं फोकस बिन्दु F दूरी OC का मध्य बिन्दु है।

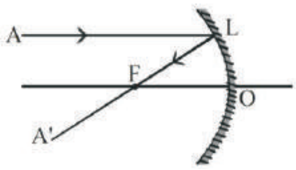
$R = 2f$

9.4 गोलीय दर्पण से प्रतिबिम्ब का निर्माण (Image formation in spherical mirror)

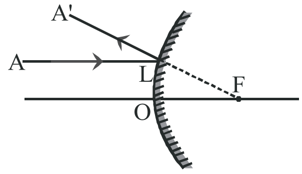
अवतल दर्पण एवं उत्तल दर्पण के फोकस एवं वक्रता त्रिज्या ज्ञात होने पर उन दर्पणों के सामने रखे हुए किसी बिम्ब के प्रतिबिम्ब की स्थिति का निर्धारण ज्यामिति की सहायता से किया जा सकता हैं। किसी भी प्रतिबिम्ब के बनने के लिये कम से कम दो परावर्तित किरणों का प्रतिच्छेदन होना आवश्यक है। प्रतिबिम्ब के स्थान के निर्धारण के लिये हम दोनों ही प्रकार के दर्पणों के लिये कुछ विशिष्ट आपतित किरणों का उपयोग करते हैं।

(i) अक्ष के समान्तर किरण

अवतल दर्पण में मुख्य अक्ष के समान्तर आपतित किरण AL दर्पण से परावर्तन के पश्चात् फोकस बिन्दु से होती हुई LA' दिशा में गमन करती है (चित्र 9.9 (a))। उत्तल दर्पण में AL किरण परावर्तन के पश्चात् अपसारित होती है, जिसे पीछे की ओर बढ़ाने पर फोकस बिन्दु पर मिलती है। ऐसा प्रतीत होता है कि परावर्तित किरण LA' फोकस से अपसारित हो रही है (चित्र 9.9)(b))।



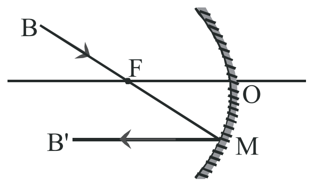
चित्र 9.9 (a)



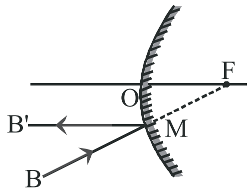
चित्र 9.9 (b)

(ii) फोकसीय किरण

अवतल दर्पण के फोकस बिन्दु से गुजरने वाली किरण BM (चित्र 9.10(a)) परावर्तन के पश्चात् मुख्य अक्ष के समान्तर गमन करती है। इसी तरह उत्तल दर्पण के मुख्य फोकस की ओर जाने वाली किरण BM परावर्तन के पश्चात् MB' दिशा में मुख्य अक्ष के समान्तर गमन करती है चित्र 9.10 (b)।



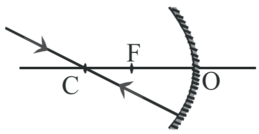
चित्र 9.10 (a)



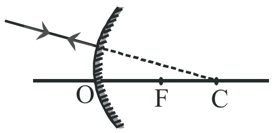
चित्र 9.10 (b)

(iii) अभिलम्ब किरण

दोनों ही प्रकार के दर्पणों में वक्रता केन्द्र से गुजरने वाली किरण अथवा वक्रता केन्द्र की ओर आपतित किरण परावर्तन के पश्चात् पुनः उसी दिशा में गमन कर जाती है। चित्र 9.11(a) व 9.11(b)। इसका कारण यह है कि वक्रता केन्द्र से दर्पण के प्रत्येक बिन्दु को मिलाने वाली रेखा दर्पण के उस बिन्दु पर अभिलम्ब होती है। अतः आपतन कोण व परावर्तन कोण इस स्थिति में शून्य होते है।



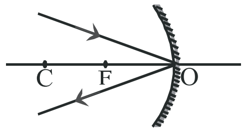
चित्र 9.11 (a)



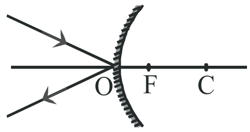
चित्र 9.11 (b)

(iv) तिर्यक किरण

दोनों ही प्रकार के दर्पणों के लिए दर्पण के पृष्ठ पर आपतित तिर्यक किरण परावर्तन के पश्चात् परावर्तन के नियमानुसार दूसरी तिर्यक दिशा में गमन कर जाती है। यहाँ यह ध्यान देने योग्य बात है कि तिर्यक रेखा दर्पण के जिस बिन्दु पर आपतित होती है तो उस बिन्दु से वक्रता त्रिज्या को मिलाने वाली रेखा से तिर्यक रेखा जो कोण बनाती हैं, वह आपतन कोण है। उसी के संगत परावर्तन कोण पर उस तिर्यक किरण का परावर्तन हो जाएगा।



चित्र 9.12 (a)

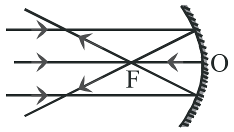


चित्र 9.12 (b)

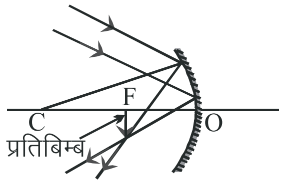
ऊपर दर्शाए गए बिन्दुओं के अनुसार हम अवतल दर्पण एवं उत्तल दर्पण द्वारा बनने वाले प्रतिबिम्ब की रचना को समझने का प्रयास करते हैं। प्रतिबिम्ब बनाते समय यदि परावर्तित किरणें वास्तव में किसी बिन्दु पर मिलती हैं तो बनने वाला प्रतिबिम्ब वास्तविक कहलाता है। यदि परावर्तित किरणें वास्तव में नहीं मिलती हैं एवं उन्हें पीछे की ओर बढ़ाने पर मिलती हुई प्रतीत होती हैं तो प्रतिबिम्ब आभासी कहलाता है। सामान्यतः वास्तविक प्रतिबिम्ब उल्टा बनता है जबकि आभासी प्रतिबिम्ब सीधा बनता है।

अवतल दर्पण द्वारा प्रतिबिम्ब निर्माण (Image formation in concave mirror)

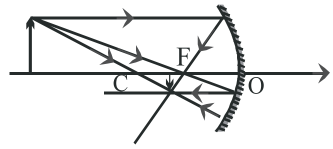
चित्र 9.13 में बिम्ब की विभिन्न स्थितियों में प्रतिबिम्ब निर्माण का किरण आरेख बना हुआ है।



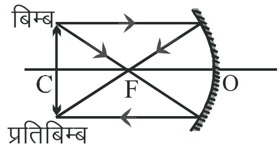
चित्र 9.13 (a)
समान्तर किरणें



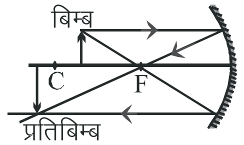
चित्र 9.13 (b)
बिम्ब अनन्त पर



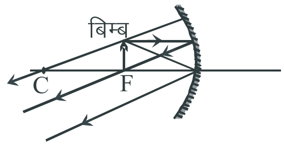
चित्र 9.13 (c) बिम्ब वक्रता केन्द्र से दूर



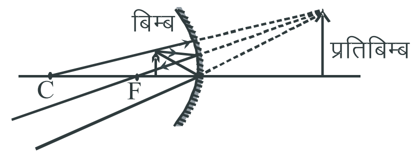
चित्र 9.13 (d) बिम्ब वक्रता केन्द्र पर



चित्र 9.13 (e) बिम्ब वक्रता केन्द्र व फोकस के बीच



चित्र 9.13 (f) बिम्ब फोकस पर



चित्र 9.13 (g) बिम्ब फोकस व ध्रुव के बीच

चित्र 9.13 अवतल दर्पण में प्रतिबिम्ब निर्माण

सारणी – 9.1 अवतल दर्पण में बिम्ब की विभिन्न स्थितियों में प्रतिबिम्ब का विवरण

क्र.सं.	बिम्ब की स्थिति	प्रतिबिम्ब की स्थिति	प्रतिबिम्ब का स्वरूप	प्रतिबिम्ब का आकार
1	अनन्त दूरी पर	फोकस F पर	वास्तविक व उल्टा	प्रतिबिम्ब अत्याधिक छोटा
2	वक्रता केन्द्र C व अनन्त के मध्य	फोकस F व वक्रता केन्द्र के बीच	वास्तविक व उल्टा	प्रतिबिम्ब छोटा
3.	वक्रता केन्द्र C पर	वक्रता केन्द्र C पर	वास्तविक व उल्टा	प्रतिबिम्ब समान बिम्ब के आकार का
4	वक्रता केन्द्र C व फोकस F के बीच	वक्रता केन्द्र C से दूर	वास्तविक व उल्टा	प्रतिबिम्ब बड़ा
5	फोकस F पर	अनन्त पर	वास्तविक व उल्टा	प्रतिबिम्ब बहुत बड़ा
6	फोकस F व ध्रुव के बीच	दर्पण के पीछे	आभासी व सीधा	प्रतिबिम्ब बड़ा

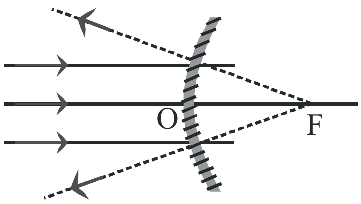
सारणी 9.1 में बिम्ब की विभिनन स्थितियों में बनने वाले प्रतिबिम्ब का विवरण दर्शाया गया है। विद्यार्थी एक मोमबत्ती लेकर उसे अवतल दर्पण के सम्मुख विभिन्न स्थितियों में रखकर दर्पण में बनने वाले प्रतिबिम्ब का प्रायोगिक अध्ययन कर सकते हैं।

सामान्य जीवन में आप घरों पर जो सेटेलाइट डिश एन्टेना देखते हैं तो अवतल दर्पण ही है जो उपग्रहों से प्राप्त संकेतों को एकत्रित करके अभिग्राही (Receiver) तक पहुंचाता है। परावर्तक टेलिस्कॉप में भी अवतल दर्पण का उपयोग किया जाता है जिससे सूर्य, चन्द्रमा अथवा दूरस्थ बिम्ब से प्राप्त समान्तर किरणें फोकस पर केन्द्रित की जाती हैं। ध्यान रहे सूर्य के प्रतिबिम्ब की तरफ कभी भी सीधा नहीं देखना चाहिए अन्यथा आंखों की रोशनी जा सकती है। सूर्य के प्रतिबिम्ब को पर्दे पर निरूपित करके देखा जाता है अथवा विशेष फिल्टर लगाकर देखा जाता है।

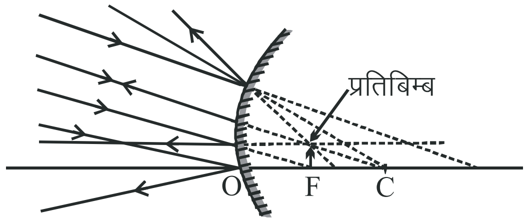
इसके अतिरिक्त दैनिक जीवन में अवतल दर्पण का उपयोग शेविंग दर्पण (चेहरे का बड़ा प्रतिबिम्ब देखने के लिए) के रूप में किया जाता है। मोटर गाड़ियों के हेडलाइट में भी अवतल दर्पण का उपयोग होता है जिसमें शक्तिशाली बल्ब को अवतल दर्पण नुमा परावर्तक के फोकस पर रखा जाता है। इस बल्ब की रोशनी परावर्तन के पश्चात् एक समान्तर किरण–पुंज के रूप में प्राप्त होती है। दंत विशेषज्ञ अवतल दर्पणों का उपयोग प्रकाश के परावर्तन के लिये करते हैं ताकि दांतों के उन भागों को देख सकें जहाँ आसानी से दिखाई नहीं दे रहा होता है। इसके अतिरिक्त दांतों का बड़ा प्रतिबिम्ब देखने के लिये भी दंत विशेषज्ञ इन दर्पणों का उपयोग करते हैं।

उत्तल दर्पण में प्रतिबिम्ब निर्माण (Image formation in convex mirror)

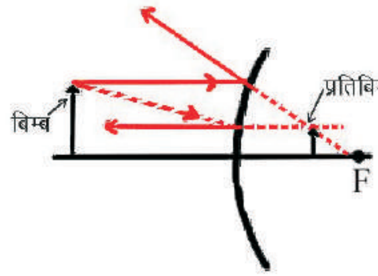
उत्तल दर्पण में प्रकाश किरणें परावर्तन के पश्चात् अपसारित हो जाती है एवं ऐसा प्रतीत होता है कि वो दर्पण के पीछे से आ रही है। चूंकि उत्तल दर्पण में फोकस बिन्दु व वक्रता केन्द्र दर्पण के पीछे है अतः ज्यामिति की सहायता से प्रतिबिम्ब की रचना के लिये हम बिम्ब को अनन्त से लेकर दर्पण के ध्रुव तक के बीच ही रख सकते है। चित्र 9.14 में बिम्ब की कुछ स्थितियों में प्रतिबिम्ब की रचना किरण–आरेख द्वारा दर्शाई गई है।



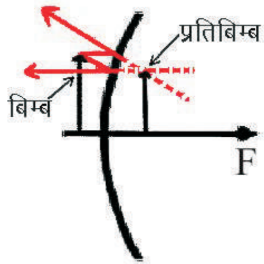
चित्र 9.14 (a) समान्तर किरणें



चित्र 9.14 (b) बिम्ब अनन्त पर



चित्र 9.14 (c) बिम्ब निश्चित दूरी पर



चित्र 9.14(d) बिम्ब ध्रुव के नजदीक

चित्र 9.14 उत्तल दर्पण में प्रतिबिम्ब निर्माण

इस प्रकार हम देखते हैं कि उत्तल दर्पण में प्रतिबिम्ब हमेशा आभासी एवं सीधा ही बनता है। जैसे–जैसे बिम्ब दर्पण के नजदीक आता जाता है उसका प्रतिबिम्ब थोड़ा बड़ा होता जाता है लेकिन उसका आकार बिम्ब से छोटा ही रहता है। सारणी–9.2 में उत्तल दर्पण द्वारा बिम्ब के विभिन्न स्थितियों में बने प्रतिबिम्बों का विवरण है।

उत्तल दर्पण वस्तुओं का सीधा प्रतिबिम्ब बनाते हैं, साथ ही ये एक वृहद् दृश्य क्षेत्र को दिखा सकते हैं अतः उत्तल दर्पणों का उपयोग वाहनों में पश्च–दृश्य दर्पणों (Rear view mirror) एवं पार्श्व दर्पण (Side mirror) की तरह किया जाता है जिनकी सहायता से चालक अपने पीछे का दृश्य एवं वाहनों की स्थिति का अनुमान लगा सकते हैं। वर्तमान में नये ATM मशीनों के पास भी सुरक्षा की दृष्टि से ऐसे उत्तल दर्पण लगाए जा रहे हैं ताकि ग्राहक को पीछे का पूरा दृश्य दिख सके।

सारणी 9.2 उत्तल दपर्ण में बिम्ब की विभिन्न स्थितियों में प्रतिबिम्ब का विवरण

क्र.सं.	बिम्ब की स्थिति	प्रतिबिम्ब की स्थिति	प्रतिबिम्ब का स्वरूप	प्रतिबिम्ब का आकार
1	अनन्त पर	दर्पण के पीछे फोकस पर	आभासी व सीधा	अत्याधिक छोटा बिन्दुवत
2	अनन्त तथा ध्रुव के बीच किसी भी दूरी पर	दर्पण के पीछे ध्रुव व फोकस F के बीच	आभासी व सीधा	छोटा

9.5 दर्पण सूत्र (Mirror formula)

एक गोलीय दर्पण में

(i) ध्रुव से बिम्ब की दूरी u कहलाती है,

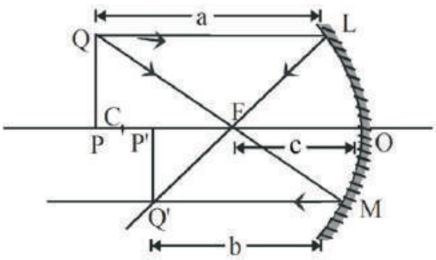
(ii) ध्रुव से प्रतिबिम्ब की दूरी v कहलाती है, एवं

(iii) ध्रुव से फोकस की दूरी f कहलाती है।

ये तीनों राशियां एक समीकरण द्वारा सम्बद्ध है जिसे दर्पण सूत्र कहा जाता है

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

यह सूत्र सभी प्रकार के गोलीय दर्पणों के लिये मान्य है। प्रश्नों का हल करते समय जब u, v, f एवं वक्रता त्रिज्या (R) के मान रखें जाते है तब कार्तीय चिह्न परिपाटी के अनुसार u, v, f एवं R के मानों के साथ उचित चिह्नों का प्रयोग किया जाता है। अब हम अवतल दर्पण के लिये दर्पण सूत्र को व्युत्पन्न करेंगे।



चित्र 9.15 अवतल दर्पण में प्रतिबिम्ब

हम देखते हैं कि त्रिभुज PQF व त्रिभुज MOF समरूप है (यहां यह माना गया है कि O व M इतने पास है कि उन्हें एक सरल रेखा माना जा सकता है)

अतः $$\frac{OM}{PQ}=\frac{OF}{PF}=\frac{c}{a-c}$$

चूंकि P'Q' OM

इसलिये $$\frac{P'Q'}{PQ}=\frac{c}{a-c} \qquad .....(1)$$

इसी प्रकार समरूप त्रिभुज OLF व P'Q' F में

$$\frac{OL}{P'Q'}=\frac{OF}{P'F}=\frac{c}{b-c}$$

चूंकि OL PQ

अतः $$\frac{PQ}{P'Q'}=\frac{c}{b-c} \qquad .....(2)$$

(1) व (2) से $$\frac{c}{a-c}=\frac{b-c}{c}$$

या $ab-ac-bc+c^2=c^2$

या $bc+ac=ab$

प्रत्येक पद में abc का भाग देने पर

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{c}$$

कार्तीय चिन्ह परिपाटी के अनुसार यहाँ a,b व c तीनों ही ऋणात्मक होगें अतः

बिम्ब की ध्रुव से दूरी $u=-a$

प्रतिबिम्ब की ध्रुव से दूरी $v=-b$

फोकस की ध्रुव से दूरी $f=-c$

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

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

यही दर्पण सूत्र है एवं ये सूत्र उत्तल दर्पण पर भी लागू होता है।

9.6 आवर्धनता (Magnification)

प्रतिबिम्ब की ऊँचाई एवं बिम्ब की ऊँचाई के अनुपात को आवर्धन कहा जाता है। समान्यतः इसे m से दर्शाया जाता है।

इससे हमें यह ज्ञात होता है कि किसी बिम्ब का प्रतिबिम्ब बिम्ब से कितना गुना आवर्धित है। दर्पण द्वारा किसी बिम्ब को आवर्धित करने की क्षमता ही आवर्धनता कहलाती हैं।

यदि बिम्ब की ऊँचाई h हो एवं प्रतिबिम्ब की ऊँचाई h' हो तो गोलीय दर्पण से उत्पन्न आवर्धनता

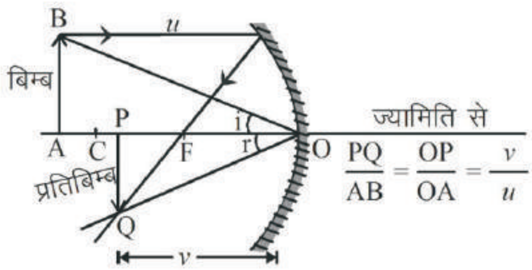
$$m = \frac{\text{प्रतिबिम्ब की ऊँचाई}}{\text{बिम्ब की ऊँचाई}} = \frac{h'}{h}$$

चित्र 9.16 की ज्यामिति से हम अवतल दर्पण के लिये आवर्धन को प्रतिबिम्ब दूरी v एवं बिम्ब दूरी u से भी सम्बद्ध कर सकते है। त्रिभुज PQO एवं ABO समरूप हैं अतः

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

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

चूंकि बिम्ब व प्रतिबिम्ब अक्ष के ऊपर – नीचे है अतः कार्तीय चिह्न परिपाटी के अनुसार



चित्र 9.16 रेखीय आवर्धन

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

सामान्यतः बिम्ब मुख्य अक्ष के ऊपर रखा जाता है अतः बिम्ब की ऊँचाई धनात्मक ली जाती है। यदि प्रतिबिम्ब सीधा हो, जैसे कि आभासी प्रतिबिम्ब, तो प्रतिबिम्ब की ऊँचाई धनात्मक ली जाती है। यदि वास्तविक व उल्टा प्रतिबिम्ब हो तो प्रतिबिम्ब की ऊँचाई ऋणात्मक ली जाती है।

यदि (i) m ऋणात्मक है एवं $v > u$ है तो प्रतिबिम्ब वास्तविक, उल्टा तथा आवर्धित होगा

(ii) m ऋणात्मक है एवं $v = u$ है तो प्रतिबिम्ब वास्तविक, उल्टा तथा बिम्ब के समान आकार का होगा।

(iii) m ऋणात्मक है एवं $v < u$ है तो प्रतिबिम्ब वास्तविक, उल्टा एवं छोटा होगा।

(iv) m धनात्मक है तो प्रतिबिम्ब आभासी एवं सीधा होगा। इस अवस्था में प्रतिबिम्ब आवर्धित होगा (चूंकि $v > u$)।

उत्तल दर्पण के लिये भी आवर्धन का सूत्र यही रहता हैं। उत्तल दर्पण में वास्तविक बिम्ब की किसी भी स्थिति में m का मान धनात्मक ही होगा क्योंकि v धनात्मक है जबकि u का मान ऋणात्मक होगा। साथ ही h' व v का मान h व u से सदैव कम होगा। अतः उत्तल दर्पण के किसी भी वास्तविक बिम्ब का प्रतिबिम्ब आभासी, सीधा तथा बिम्ब से छोटा ही होता है।

उदाहरण 1 एक व्यक्ति का चेहरा शेविंग दर्पण से 20 cm है, यदि शेविंग दर्पण की फोकस दूरी 80 cm है तो बनने वाले प्रतिबिम्ब की दर्पण से दूरी एवं आवर्धनता ज्ञात कीजिये।

हल फोकस दूरी $f = -80$ cm (अवतल दर्पण)

बिम्ब दूरी $u = -20$ cm

प्रतिबिम्ब दूरी $v = ?$

आवर्धनता $m = ?$

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

या $$\frac{1}{v} = \frac{1}{f} - \frac{1}{u} = \frac{1}{(-80)} - \frac{1}{(-20)}$$

$$= -\frac{1}{80} + \frac{1}{20} = \frac{-1+4}{80} = \frac{3}{80}$$

या $$v = \frac{80}{3} \quad +26.67\,cm$$

प्रतिबिम्ब दर्पण के पीछे 26.67 cm पर बनेगा

आवर्धनता $$m = \frac{h'}{h} = -\frac{v}{u} = -\frac{26.67}{(-20)}$$

$$= +1.33$$

अर्थात् प्रतिबिम्ब आभासी, सीधा एवं बिम्ब से बड़ा (1.33 गुना) होगा।

उदाहरण 2 एक उत्तल दर्पण की फोकस दूरी 30 cm है। यदि एक बिम्ब का आभासी प्रतिबिम्ब दर्पण से 20 cm दूरी पर बनता है तो दर्पण से बिम्ब की दूरी ज्ञात कीजिए।

हल फोकस दूरी $f = +30$ cm

प्रतिबिम्ब दूरी $v = +20$ cm

बिम्ब दूरी $u = ?$

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

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

$$=\frac{2-3}{60}=-\frac{1}{60}$$

या $u=-60$ cm

बिम्ब दर्पण से बाईं ओर 60 cm पर है।

उदाहरण 3 एक मोटर साइकिल के पार्श्व में लगे दर्पण से एक कार 4 मीटर की दूरी पर है। यदि दर्पण की फोकस दूरी 1 मीटर हो तो दर्पण में दिखने वाले कार के प्रतिबिम्ब की स्थिति एवं प्रकृति ज्ञात कीजिये।

हल गाड़ियों के पार्श्व दर्पण व पश्च दर्पण उत्तल दर्पण होते हैं

दर्पण की फोकस दूरी f = + 1 m

दर्पण से बिम्ब की दूरी u = – 4m

दर्पण से प्रतिबिम्ब की दरूी v = ?

आवर्धनता m = ?

दर्पण सूत्र से

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

या $\frac{1}{v}=\frac{1}{f}-\frac{1}{u}=\frac{1}{1}-\frac{1}{(-4)}=\frac{1}{1}+\frac{1}{4}$

$$=\frac{4+1}{4}=\frac{5}{4}$$

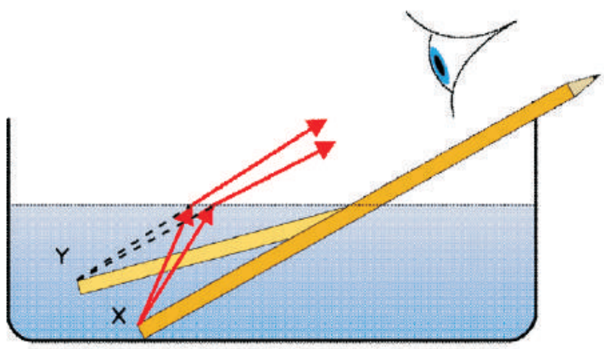
$$v=\frac{4}{5}=0.8m$$

एवं आवर्धनता $m=-\frac{v}{u}=-\frac{4/5}{(-4)}=+\frac{1}{5}$

अर्थात् प्रतिबिम्ब दर्पण से 0.8m दूरी पर बनेगा। प्रतिबिम्ब आभासी, एवं बिम्ब का पांचवा हिस्सा (0.2 गुणा) ही होगा।

9.7 अपवर्तन (Refraction)

आपने अपने दैनिक जीवन में कई बार अनुभव किया होगा कि पानी में थोड़ा डूबा हुआ स्केल का पानी के तल के अन्दर का भाग थोड़ा तिरछा दिखाई देता है। इसी प्रकार पानी की टंकी में गिरे सिक्के या अन्य वस्तु उपर उठी हुई एवं नजदीक दिखाई देती है। आपने यह भी अनुभव किया होगा कि जब पारदर्शी कांच के पेपरवेट को किसी पृष्ठ पर रखा जाता है तो ऊपर से देखने पर पृष्ठ पर लिखित अक्षर उपर उठे हुए से लगते हैं। पानी से भरे कांच के गिलास अथवा टब में कोई छड़, पेन या पेन्सिल को थोडा डुबाते हैं तो आप देखते हैं कि जहां पर यह वस्तु वायु से पानी में प्रवेश करती है उस पृष्ठ के ठीक नीचे से वस्तु तिरछी हो जाती है। गिलास या बर्तन के पार्श्व से देखने पर आप पाएगें कि वस्तु का जितना हिस्सा पानी से डुबा है वह हिस्सा कुछ बड़ा दिखाई देता है। यही प्रयोग यदि पारदर्शक प्लास्टिक के बतर्न में करें अथवा किसी अन्य द्रव के साथ दोहराएं तो आपको अनुभव होगा कि उक्त प्रभाव हर माध्यम के लिए थोड़ा भिन्न होता है।



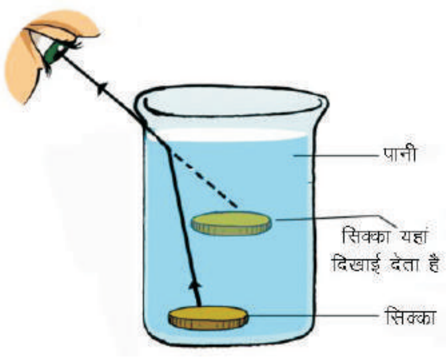
चित्र 9.17 (a) पानी में थोड़ी डुबी हुई पेन्सिल

पानी में आंशिक डुबी हुई वस्तु का इस तरह मुड़ा हुआ दिखने का कारण यह है कि वस्तु के पानी में डुबे हुए भाग से जो प्रकाश हम तक पहुंचता है वो वस्तु के पानी के बाहर के भाग से आने वाले प्रकाश से भिन्न दिशा से आता हुआ प्रतीत होता है। इसलिए वस्तु का पानी के भीतर वाला भाग थोड़ा ऊपर उठा हुआ दिखाई देता है।

चित्र 9.17 (b) गिलास में रखी स्ट्रा

आप एक साधारण सा प्रयोग करके पानी द्वारा प्रकाश

की किरणों के दिशा परिवर्तन की घटना को प्रत्यक्ष देख सकते है। एक बीकर अथवा कटोरीनुमा छोटे बर्तन में एक सिक्का रखे। अब उस बर्तन एवं अपने नेत्रों को इस प्रकार व्यवस्थित करें कि सिक्का दृष्टि से ठीक ओझल हो जाए। अब आप उस बर्तन में पानी भरें। आप देखेंगे कि पानी डालते ही सिक्का तुरन्त ही दिखाई देने लग जाता है।



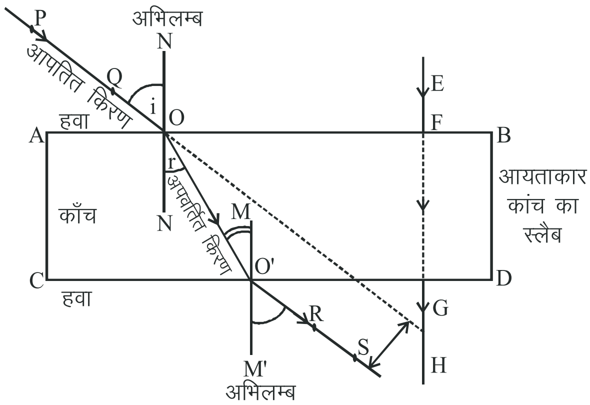
चित्र 9.18 अपवर्तन द्वारा सिक्के का दिखाई देना

जब प्रकाश किसी एक माध्यम से दूसरे माध्यम में गमन करता है तो दोनों माध्यम को पृथक करने वाले पृष्ठ पर प्रकाश किरणों की दिशा में परिवर्तन होता है। यह प्रभाव अपवर्तन कहलाता है।

अपवर्तन के लिये यह आवश्यक है कि प्रकाश की आपतित किरण दोनों माध्यम को पृथक करने वाले पृष्ठ के अभिलम्ब न हो अन्यथा आपतित किरण की दिशा में कोई परिवर्तन नहीं होगा।

हम जानते है कि निर्वात में प्रकाश का वेग 3×10^8 मीटर/सेकण्ड होता है। प्रकाश जब एक माध्यम से दूसरे माध्यम में गमन करता है तो उसके वेग में परिवर्तन होता है। यदि दूसरा माध्यम पहले माध्यम के सापेक्ष सघन है (जैसे ग्लिसरीन, कांच, पानी आदि) तो उस माध्यम में प्रकाश का वेग अपेक्षाकृत कम हो जाएगा जबकि प्रकाश की आवृत्ति वही रहती है। इस कारण प्रकाश किरण विरल माध्यम से सघन माध्यम में जाने पर अभिलम्ब की ओर झुक जाती है। ठीक इसके विपरीत सघन माध्यम से विरल माध्यम में जाने पर प्रकाश का वेग बढ़ जाता है एवं प्रकाश किरणें अभिलम्ब से दूर चली जाती है। यहां सघनता से हमारा अभिप्राय प्रकाशकीय सघनता (Optically dense) से है।

कांच के स्लैब की सहायता से एक सरल प्रयोग द्वारा अपवर्तन की घटना को सुगमता से समझा जा सकता है। एक कागज पर एक आयताकार कांच का स्लैब रखिए एवं पेंसिल से इसकी रूपरेखा खींचिए। इस रूपरेखा ABCD के AB पृष्ठ पर किसी बिन्दु O पर अभिलम्ब ON बनाएं एवं एक रेखा PQ इस तरह बनाए कि यह रेखा लम्ब ON से कोई कोण 'i' बनाए। रेखा PQ पर दो आलपीन लगाएं। अब स्लैब के पृष्ठ CD पर इन दो आलपीनों के संगत दो आलपीन R व S इस तरह लगाएं कि चारों आलपीन एक सीध में दिखें। अब स्लैब के AB पृष्ठ के किसी अन्य बिन्दु F पर अभिलम्बवत् EF रेखा खींचे एवं पुनः स्लैब के CD पृष्ठ की तरफ EF के संगत दो आलपीन G व H लगाएं। अब स्लैब को हटा लेवें।



चित्र 9.19 कांच के स्लैब से अपवर्तन

अब हम रेखा RS को मिलाकर पीछे की ओर इतना बढ़ाते हैं कि वो CD पृष्ठ पर O' पर मिल जाए। अब बिन्दु OO' को मिलाइये। इसी प्रकार F व G बिन्दु को मिलाएं व GH रेखा को बनाएं। बिन्दु O' पर अभिलम्ब MM' बनाएं। अब रेखा PQO को विस्तारित करे। रेखाचित्र से स्पष्ट है कि AB पृष्ठ से पार होकर रेखा PQ अभिलम्ब की तरफ मुड़ कर OO' दिशा में चली जाती है। पुनः पृष्ठ CD से पार होने पर रेखा OO' अभिलम्ब से दूर हो जाती है। आप देखेंगे कि रेखा PQ एवं RS समान्तर है। इसका अर्थ यह हुआ कि स्लैब के वायु कांच अंतरापृष्ठ AB एवं कांच–वायु अन्तरापृष्ठ CD से प्रकाश किरणों के मुड़ने का प्रभाव समान एवं एक दूसरे के विपरीत है। जबकि EF किरण जो कि AB पृष्ठ पर अभिलम्बवत् आपतित हो रही है, वो बिना किसी परिवर्तन के सीधे ही स्लैब से गमन कर जाती है।

यह अपवर्तन भी कुछ नियमों के तहत होता है। चित्र 9. 19 से स्पष्ट है कि अपवर्तन के दौरान आपतित किरण, अपवर्तित किरण एवं अभिलम्ब तीनों ही एक तल में हैं। यह अपवर्तन का

प्रथम नियम है।

अपवर्तन में आपतन कोण i की ज्या एवं अपवर्तन कोण r की ज्या का अनुपात स्थिर रहता है।

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

यह अपवर्तन का दूसरा नियम है जिसे स्नेल का नियम कहते है। इसे माध्यम 2 का माध्यम 1 के सापेक्ष अपवर्तनांक μ_{21} कहते है।

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

यदि प्रकाश निर्वात से किसी माध्यम में प्रवेश करता है तो उस माध्यम के निर्वात के सापेक्ष अपवर्तनांक को निरपेक्ष अपवर्तनाक कहते हैं। इसी प्रकार किसी माध्यम के हवा के सापेक्ष अपवर्तनांक को 'प्रकाश के हवा में वेग' एवं 'प्रकाश के उस माध्यम में वेग' के अनुपात से भी दर्शाया जाता है।

$$\mu_{21} = \frac{\text{प्रकाश का हवा में वेग}}{\text{प्रकाश का माध्यम में वेग}} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\mu_{wa} = \frac{\text{प्रकाश का हवा में वेग}}{\text{प्रकाश का पानी में वेग}} = \frac{v_a}{v_\omega}$$

अपवर्तनांक (Refractive Index) माध्यम की प्रकृति, घनत्व एवं प्रकाश के रंग (तरंगदैर्ध्य) पर भी निर्भर करता है। बैंगनी रंग के प्रकाश के लिये अपवर्तनांक सबसे अधिक होता है व लाल रंग के प्रकाश के लिये अपवर्तनांक सबसे कम होता है। सारणी 3 में कुछ पदार्थों के अपवर्तनांक दिये है।

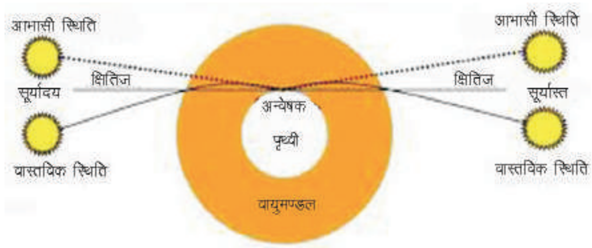
सारणी – 3 विभिन्न पदार्थों के अपवर्तनांक

पदार्थ	अपवर्तनांक	पदार्थ	अपवर्तनांक
निर्वात	1	ग्लिसरीन	1.47
वायु	1.0003	तारपीन	1.47
पानी	1.33	कार्बनडाई	1.64
केरोसिन	1.44	सल्फाइड	
कांच	1.50	हीरा	2.42

अपवर्तन के उदाहरण

1. सूर्योदय से कुछ पहले एवं सूर्यास्त से कुछ समय पश्चात् तक सूर्य का दिखाई देना

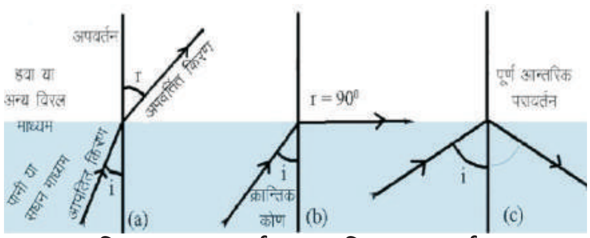
जब सूर्योदय होने लगता है तो उससे पूर्व ही सूर्य से आने वाली किरणें वायुमण्डल की विभिन्न घनत्व की परतों से अपवर्तित होती हैं। हम जानते हैं कि जैसे–जैसे हम पृथ्वी की सतह से ऊपर उठते हैं वायुमण्डल का घनत्व कम होता जाता है। अतः सूर्य की किरणें पृथ्वी के वायुमण्डल में बाहर से आते हुए उत्तरोत्तर सघन माध्यम की ओर गमन करती हैं एवं परिणामस्वरूप ये किरणें अभिलम्ब की ओर झुक जाती हैं। इसी कारण जब सूर्य क्षितिज से थोड़ा नीचे होता है तभी हमे दिखाई देने लग जाता है। ठीक इसी कारण से सूर्यास्त के कुछ देर बाद तक सूर्य दिखाई देता है।



चित्र 9.20 वायुमण्डलीय अपवर्तन का सूर्योदय एवं सूर्यास्त पर प्रभाव

2. पूर्ण आन्तरिक परावर्तन (Total internal reflection)

जब प्रकाश किरणें सघन माध्यम से विरल माध्यम में जाती है तो वे अपवर्तन के पश्चात् अभिलम्ब से दूर होती जाती है (r > i) यदि किरणों के आपतन कोण i को बढ़ाते जाएं तो आपतन कोण के एक विशिष्ट मान, जिसे उस माध्यम का क्रान्तिक कोण भी कहा जाता है, पर अपवर्तित किरण दोनों माध्यमों के पृथक्कारी पृष्ठ के समान्तर से गुजरती है। इस अवस्था में अपवर्तन कोण $r = 90°$ होता है।



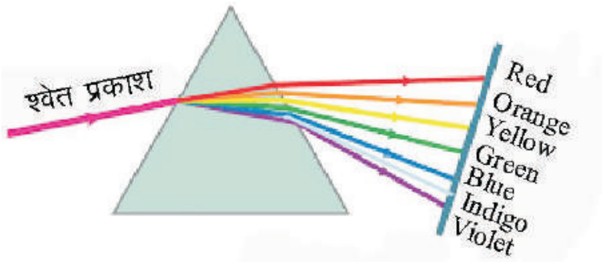
चित्र 9.21 पूर्ण आन्तरिक परावर्तन

अब यदि प्रकाश किरणों के आपतन कोण को और बढाया जाए तो प्राकश की किरण विरल माध्यम में अपवर्तित होने के स्थान पर सघन माध्यम में ही परावर्तित हो जाती है। इसे पूर्ण आन्तरिक परावर्तन कहते है। प्रकाश तन्तु (optical fiber) द्वारा संचार में इसी प्रभाव का उपयोग किया जाता है।

3. वर्ण विक्षेपण

सूर्य का प्रकाश जब कांच के प्रिज्म में से होकर गुजरता है तो उससे निकलने वाला प्राकश सप्त वर्ण प्रतिरूप में प्राप्त होता है, जिसे पर्दे पर देखा जा सकता है। प्रयोगशाला में सफेद प्रकाश बल्ब का उपयोग करके भी सप्त वर्ण प्रतिरूप प्राप्त किया जा सकता है। सूर्य की तरफ या उससे आने वाले प्रकाश को आंखों से सीधा नहीं देखना चाहिए अन्यथा आंखों

की रोशनी जा सकती है।
पर्दे पर प्राप्त होने वाले इस प्रतिरूप को स्पेक्ट्रम कहते हैं। न्यूटन ने सर्वप्रथम यह सिद्ध किया था कि श्वेत प्रकाश में स्पेक्ट्रम के वर्ण विद्यमान होते है। इस सप्त वर्णी प्रतिरूप के प्राप्त होने का मुख्य कारण यह है कि विभिन्न रंगों की किरणें किसी माध्यम में भिन्न–भिन्न वेग से गति करती हैं। निर्वात के अतिरिक्त किसी भी माध्यम में लाल रंग के प्रकाश का वेग बैंगनी रंग के प्रकाश से अधिक होता है। अतः अपवर्तन के पश्चात् बैंगनी रंग की किरण अभिलम्ब की तरफ सबसे ज्यादा मुड़ जाती है। रंगों के विक्षेपण के क्रम को (VIBGYOR) **बे जा नी ह पी ना ला** से भी जाना जाता हैं। इन सात रंगों की पट्टिका में माध्य रंग पीला माना जाता है।



चित्र 9.22 श्वेत प्रकाश का वर्ण विक्षेपण

उदाहरण 4 यदि पानी का आपवर्तनांक 1.33 हो एवं कांच का अपवर्तनांक 1.5 हो तो पानी के सापेक्ष कांच का अपवर्तनांक ज्ञात कीजिये।

हल μ_w (पानी) $= 1.33$

μ_g (कांच) $= 1.50$

पानी के सापेक्ष कांच का अपवर्तनांक

$$\mu_{wg} = \frac{\text{प्रकाश का पानी में वेग}}{\text{प्रकाश का कांच में वेग}} = \frac{v_w}{v_g}$$

यदि प्रकाश का वेग C हो तो

$$\mu_w = \frac{\text{प्रकाश का निर्वात में वेग}}{\text{प्रकाश का पानी में वेग}} = \frac{C}{v_w}$$

या $$v_w = \frac{c}{\mu_w}$$

इसी प्रकार

प्रकाश का कांच में वेग $(v_g) = \dfrac{c}{\mu_g}$

अतः $$\mu_{wg} = \frac{v_w}{v_g} = \frac{c/\mu_w}{c/\mu_g}$$

$$= \frac{\mu_g}{\mu_w} = \frac{1.5}{1.33}$$

$$= 1.12$$

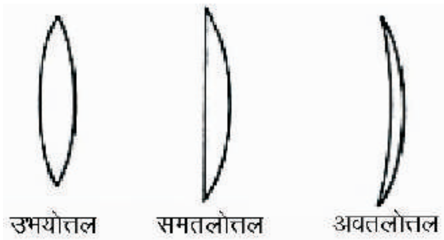
9.8 गोलीय लेंस से अपवर्तन (Refraction through spherical lens)

प्रकाश की किरणों को फोकसित करने के लिये अधिकांशतः हम पारदर्शक पदार्थ के ऐसे टुकड़े काम में लेते हैं जिनके एक अथवा दोनों पृष्ठ वक्र हो। इन अपवर्तक पदार्थों को लेंस कहते हैं एवं इनका कम से कम एक पृष्ठ वक्र होता है। सामान्यतः लेंस में गोलीय वक्र पृष्ठों का उपयोग किया जाता है। ये लैंस दो प्रकार के होते है–

(i) उत्तल लेंस या अभिसारी लेंस (Convex lens)
(ii) अवतल लेंस या अपसारी लेंस (Concave lens)

उत्तल लेंस

उत्तल लेंस किनारों पर पतले एवं बीच से मोटे होते हैं एवं समान्तर प्रकाश किरणों को अपवर्तन के पश्चात् एक स्थान पर फोकसित कर देते हैं। ये तीन प्रकार के होते हैं।



चित्र 9.23 विभिन्न प्रकार के उत्तल लेंस

(अ) उभयोत्तल लेंस (Double convex lens) - इनके दोनों पृष्ठ उत्तल होते हैं

(ब) समतलोत्तल लेंस (Plano convex lens) - इनका एक पृष्ठ उत्तल एवं एक पृष्ठ समतल होता है

(स) अवतलोत्तल लेंस (Concave convex lens) - इनका एक पृष्ठ अवतल एक एवं पृष्ठ उत्तल होता है।

गोलीय पृष्ठ की वक्रता लगभग बराबर होने की अवस्था में एक उभयोत्तल लेंस की फोकसन क्षमता दूसरे दोनों लेंस से ज्यादा होती है।

अवतल लेंस

अवतल लेंस किनारों से मोटे एवं बीच से पतले होते हैं एवं समान्तर किरणों को अपवर्तन के पश्चात् अपसारित कर देते हैं। इन अपवर्तित किरणों को पीछे की ओर बढ़ाने पर वे मिलती हुई प्रतीत होती हैं। अवतल लेंस तीन प्रकार के होते हैं

चित्र 9.24 विभिन्न प्रकार के अवतल लेंस

(अ) उभयावतल लेंस (Double concave lens) - इनके दोनों पृष्ठ अवतल होते है।

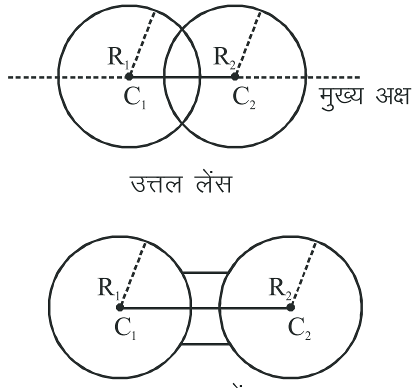
(ब) समतलावतल लेंस (Plano concave lens) - इनका एक पृष्ठ समतल एवं दूसरा पृष्ठ अवतल होता है।

(स) उत्तलावतल लेंस (Convexo concave lens) - इनका एक पृष्ठ उत्तल एवं दूसरा पृष्ठ अवतल होता है।

लेंस से अपवर्तन का अध्ययन करने से पूर्व हम लेंस की ज्यामिति के बारे में कुछ महत्वपूर्ण जानकारी हासिल करेंगे।

(i) वक्रता केन्द्र (Centre of curvature)

हम लेंस के वक्र पृष्ठों को खोखले गोले का छोटा भाग मान सकते हैं। उन गोलों के केन्द्र को वक्रता केन्द्र कहते हैं। यदि लेंस के दोनों पृष्ठ वक्र हैं तो उसके वक्रता केन्द्र भी दो होंगे। चित्र 9.25 में C_1 व C_2 वक्रता केन्द्र है।



चित्र 9.25 वक्र पृष्ठों की ज्यामिति

(ii) वक्रता त्रिज्या (Radius of curvature)

लेंस के वक्र पृष्ठों की त्रिज्याएँ हैं, इन्हें हम प्रथम व द्वितीय पृष्ठों की वक्रता त्रिज्याएँ कहते हैं। लेंस के जिस पृष्ठ पर प्रकाश आपतित होता है उसे प्रथम पृष्ठ एवं जिस पृष्ठ से प्रकाश बाहर निकलता है उसे द्वितीय पृष्ठ कहते है।

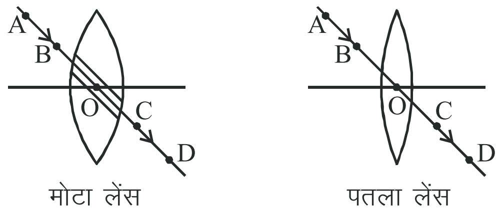
(iii) मुख्य अक्ष (Principal Axis)

लेंस के वक्रता केन्द्रों को मिलाने वाली सरल रेखा को मुख्य अक्ष कहा जाता है।

(iv) प्रकाशिक केन्द्र (Optical centre)

किसी लेंस के मुख्य अक्ष पर स्थित वह बिन्दु जहां से गुजरने वाली प्रकाश किरण बिना मुड़े ही सीधी अपवर्तित हो जाती है, लेंस का प्रकाशिक केन्द्र कहलाता है। यदि लेंस की दोनों वक्रता त्रिज्याएं समान हो $(r_1 = r_2)$ तो प्रकाश केन्द्र मुख्य अक्ष पर ठीक लेंस के बीच में होगा।

लेंस के केन्द्र से होकर गुजरने वाली किरण आपतित किरण के समान्तर होगी लेकिन यदि लेंस पतला हो (लेंस की मोटाई व उसकी वक्रता त्रिज्या r_1 व r_2 का अनुपात बहुत कम हो) तो निर्गत किरण व आपतित किरण एक रेखा में होगी।

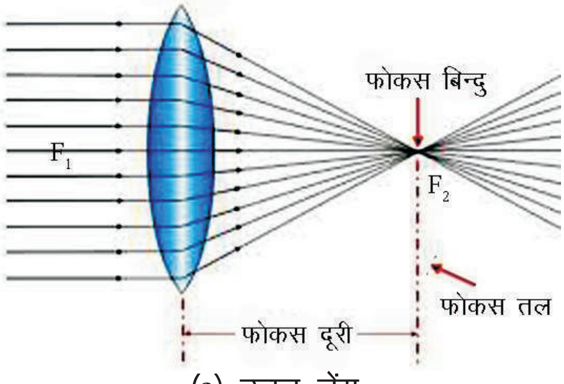


चित्र 9.26 प्रकाशिक केन्द्र से प्रकाश का गमन

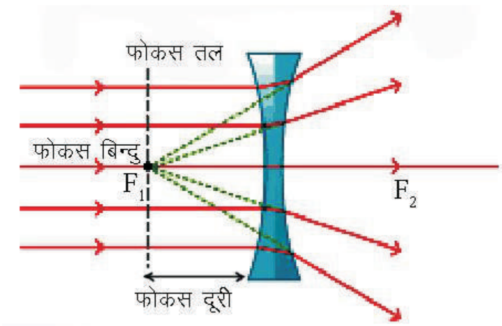
प्रकाशिक केन्द्र का उपयोग ज्यामिति विधि से प्रतिबिम्ब की स्थिति ज्ञात करने के लिये किया जाता है। लेंस के लिये बिम्ब व प्रतिबिम्ब की दूरियां प्रकाशिक केन्द्र से ही मापी जाती हैं। सरलता के लिये पतले लेंस के लिये यह दूरी उनके संगत वक्र पृष्ठों से माप ली जाती है।

(v) मुख्य फोकस (Principal focus)

मुख्य अक्ष के समान्तर लेंस पर आपतित किरणें अपवर्तन के पश्चात् जिस बिन्दु पर जाकर मिलती हैं अथवा मिलती हुई प्रतीत होती हैं उसे मुख्य फोकस कहते हैं। लेंस के दोनो ओर दो मुख्य फोकस होते हैं। परिपाटी के अनुसार बाईं ओर से किरणें आपतित होती हैं। बाई ओर के फोकस को F_1 व दाईं ओर के फोकस को F_2 से निरूपित किया जाता हैं।



(a) उत्तल लेंस



(b) अवतल लेंस

चित्र 9.27 मुख्य फोकस, फोकस दूरी व फोकस तल

(vi) फोकस दूरी (Focal Length)

लेंस के प्रकाशिक केन्द्र व मुख्य फोकस के बीच की दूरी फोकस दूरी कहलाती है।

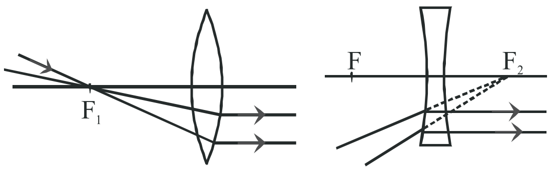
(vii) फोकस तल दूरी (Focal Plane)

मुख्य अक्ष के लम्बवत् ऐसा तल जो फोकस बिन्दु से गुजरता है, फोकस तल कहलाता है।

गोलीय लेंस से अपवर्तन के नियम

(क) मुख्य अक्ष के समान्तर गुजरने वाली किरणें उत्तल लेंस से अपवर्तन के पश्चात् मुख्य फोकस से गुजरती हैं (चित्र 9.27 (a))। जब ये समान्तर किरणें अवतल लेंस पर आपतित होती हैं तो अपवर्तन के पश्चात् अपसारित हो जाती हैं, जिन्हें पीछे की ओर बढ़ाने पर वे मुख्य फोकस पर मिलती हैं। अर्थात् अपवर्तन के पश्चात् ऐसी किरणें मुख्य फोकस से निकलती हुई प्रतीत होती हैं। (चित्र 9.27 (b))।

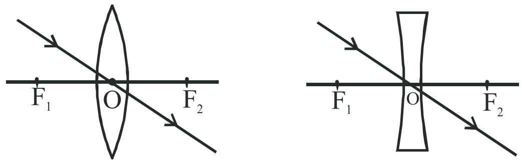
(ख) ऐसी प्रकाश किरणें जो उत्तल लेंस के मुख्य फोकस से होते हुए लेंस पर आपतित होती हैं तो अपवर्तन के पश्चात् वे किरणें मुख्य अक्ष के समान्तर हो जाती हैं। यदि प्रकाश किरणें अवतल लेंस पर मुख्य फोकस की ओर आती हुई प्रतीत होती हैं तो वे किरणें अपवर्तन के पश्चात् मुख्य अक्ष के समान्तर हो जाती हैं। (चित्र 9.28(a) व (b))।



(a) उत्तल लेंस (b) अवतल लेंस

9.28 लेंस में फोकसीय किरणों का अपवर्तन

(ग) प्रकाश किरण जब लेंस के प्रकाशिक केन्द्र से गुजरती हैं तो अपवर्तन के पश्चात् उसकी दिशा में कोई परिवर्तन नहीं होता है (चित्र 9.29 (a) व (b))।



(a) उत्तल लेंस (b) अवतल लेंस

चित्र 9.29 लेंस में प्रकाशिक केन्द्र से गुजरने वाली किरण का पथ

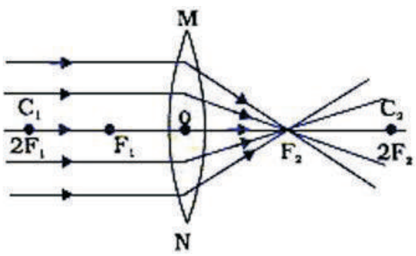
9.9 लेंस से प्रतिबिम्ब निर्माण

(Formation of image by lens)

लेंस से विभिन्न दूरियों पर रखे बिम्ब के प्रतिबिम्ब भिन्न–भिन्न दूरियों पर बनते हैं। लेंस से अपवर्तन के नियमों के अनुसार किन्ही दो प्रकाशिक किरणों (जो अपवर्तन के पश्चात् परस्पर मिलती हों अथवा पीछे बढ़ाने पर मिलती हुई प्रतीत होती हों) की सहायता से हम लेंस से बनने वाले प्रतिबिम्ब की स्थिति एवं प्रकृति ज्ञात कर सकते हैं।

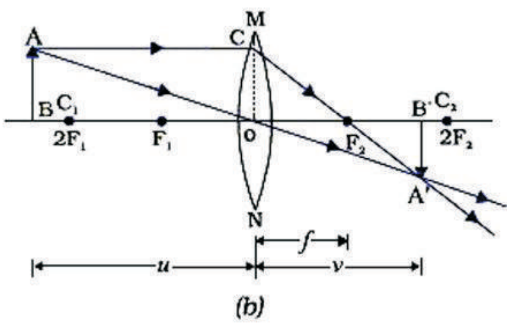
उत्तल लेंस से प्रतिबिम्ब निर्माण

(i) जब बिम्ब अनन्त पर हो– अनन्त से आने वाली प्रकाश किरणें समान्तर होती हैं। जब ये समान्तर किरणें मुख्य अक्ष के समान्तर होगीं तो प्रतिबिम्ब मुख्य फोकस पर बनेगा। अनन्त से आने समान्तर वाली किरणें मुख्य अक्ष से कुछ झुकी हुई हों तो प्रतिबिम्ब फोकस तल के किसी बिन्दु पर बनेगा।

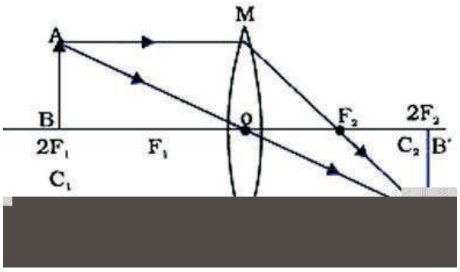


चित्र 9.30 (a) मुख्य अक्ष के समान्तर किरणें

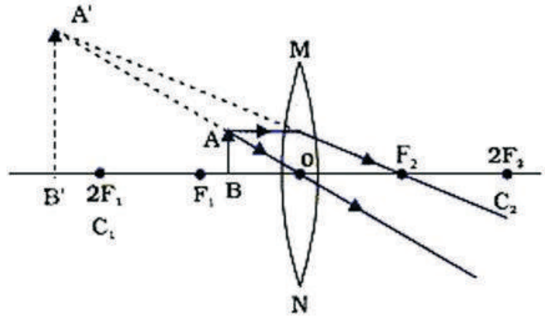
(ii) जब बिम्ब सीमित दूरी पर हो बिम्ब की विभिन्न स्थितियों में प्रतिबिम्ब की स्थिति चित्र 9.31 में दर्शाई गई है।



9.31 (a) बिम्ब अनन्त व $2F_1$ के बीच



9.31 (b) बिम्ब $2F_1$ पर



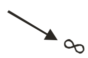
9.31 (e)बिम्ब फोकस व प्रकाशिक केन्द्र के मध्य

चित्र 9.31 उत्तल लेंस में बिम्ब की विभिन्न स्थितियों में प्रतिबिम्ब निर्माण

9.31 (c) बिम्ब $2F_1$ व F_1 के बीच

उत्तल लेंस में हम देखते हैं कि प्रतिबिम्ब की प्रकृति बिम्ब की स्थिति पर निर्भर करती है। बिम्ब जैसे जैसे अनन्त से फोकस की ओर आता जाता है प्रतिबिम्ब का आकार बढ़ता जाता है। प्रतिबिम्ब वास्तविक एंव उल्टा होता है। जब बिम्ब फोकस व प्रकाशिक केन्द्र के मध्य हो तो प्रतिबिम्ब आभासी सीधा एवं बिम्ब से बड़ा बनता है। यदि बिम्ब को लेंस से सटाकर रख दिया जाए ताकि $u = 0$ हो तो प्रतिबिम्ब आभासी सीधा व समान आकार का बनेगा। प्रतिबिम्ब प्रकाशिक केन्द्र पर बनेगा। सारणी 4 में बिम्ब की विभिन्न स्थितियों के लिये प्रतिबिम्ब की प्रकृति दी गई है।

9.31 (d) बिम्ब F_1 पर



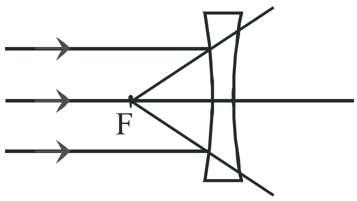
सारणी 9.4 उत्तल लेंस में बिम्ब की विभिन्न स्थितियों में प्रतिबिम्ब का विवरण

क्र.सं.	बिम्ब की स्थिति	प्रतिबिम्ब की स्थिति	प्रतिबिम्ब का स्वरूप	प्रतिबिम्ब का आकार
1.	अनन्त पर	फोकस F_2 पर	वास्तविक व उल्टा	बिन्दुवत
2.	अनन्त व $2F_1$ के बीच	F_2 व $2F_2$ के बीच	वास्तविक व उल्टा	छोटा
3.	$2F_1$ पर	$2F_2$ पर	वास्तविक व उल्टा	बराबर आकार
4.	$2F_1$ व F_1 के बीच	$2F_2$ व अनन्त के बीच	वास्तविक व उल्टा	बिम्ब से बड़ा
5.	F_1 पर हो	अनन्त पर	वास्तविक व उल्टा	अत्यधिक आवर्धित
6.	F_1 व प्रकाशिक केन्द्र के बीच	लेंस के उसी तरफ बिम्ब की ओर	आभासी व सीधा	बिम्ब से बड़ा

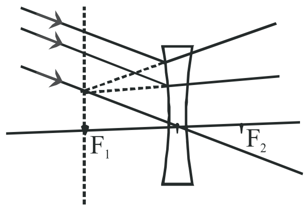
अवतल लेंस से प्रतिबिम्ब निर्माण

(i) जब बिम्ब अनन्त पर हो

अनन्त से आने वाली समान्तर किरणें अवतल लेंस से अपवर्तन के पश्चात् अपसारित हो जाती हैं, जिन्हें पीछे बढ़ाने पर बिम्ब का आभासी, अत्यधिक छोटा एवं सीधा प्रतिबिम्ब फोकस अथवा फोकस तल पर बनता है। यदि किरणें मुख्य अक्ष के समान्तर आती हैं तो प्रतिबिम्ब फोकस पर बनता हैं। यदि समान्तर किरणें मुख्य अक्ष से कुछ झुकी हुई आती है तो प्रतिबिम्ब फोकस तल पर बनता है।



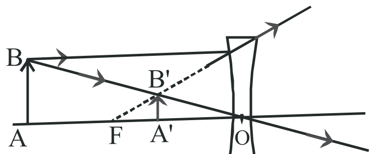
चित्र 9.32 (a) बिम्ब अनन्त पर हो



चित्र 9.32 (b) बिम्ब अनन्त पर

(ii) जब बिम्ब सीमित दूरी पर हो

यदि बिम्ब अवतल लेंस से किसी सीमित दूरी पर हो (अनन्त व प्रकाशिक केन्द्र के बीच) तो बिम्ब का आभासी, सीधा एवं बिम्ब से छोटा प्रतिबिम्ब बनता है। जैसे–जैसे बिम्ब को लेंस के नजदीक लाते जाएगें प्रतिबिम्ब का आकार बढ़ता जाएगा किन्तु उसका आकार हमेशा बिम्ब से छोटा ही होगा।



चित्र 9.33 जब बिम्ब सीमित दूरी पर हो

सारणी 9.5 – अवतल लेंस में प्रतिबिम्ब का विवरण

क्र.सं.	बिम्ब की स्थिति	प्रतिबिम्ब की स्थिति	प्रतिबिम्ब का स्वरूप	प्रतिबिम्ब का आकार
1.	अनन्त पर	फोकस F_1 पर	आभासी व सीधा	अत्यधिक छोटा
2.	अनन्त व प्रकाशिक केन्द्र के बीच	फोकस F_1 तथा प्रकाशिक केन्द्र के बीच	आभासी व सीधा	बिम्ब से छोटा

लेंस सूत्र (Lens formula)

गोलीय दर्पण की तरह ही लेंस में भी बिम्ब दूरी u प्रतिबिम्ब दूरी v एवं फोकस दूरी f में एक सम्बन्ध होता है जिसे निम्न सूत्र से प्रदर्शित किया जाता है।

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

लेंस के लिये f, v व u दूरियां लेंस के प्रकाशिक केन्द्र से मापी जाती है। गोलीय दर्पण की तरह ही लेंस में भी कार्तीय चिह्न परिपाटी का उपयोग करते है। इस परिपाटी के अनुसार उत्तल लेंस की फोकस दूरी धनात्मक ली जाती है एवं अवतल लेंस की फोकस दूरी ऋणात्मक ली जाती है। बिम्ब हमेशा बाईं तरफ रखा जाता है। जिससे लेंस पर आपतित किरणें बाईं ओर से आती है। इसलिये बिम्ब की दूरी ऋणात्मक ली जाती है। आंकिक सवालों के हल के लिये सूत्र में u, v व f के मान प्रतिस्थापित करते समय उचित चिह्न का चयन करने मे पूर्व सावधानी रखनी चाहिए।

आवर्धनता (Magnification)

किसी लेंस द्वारा बिम्ब को आवर्धित करने की क्षमता को आवर्धनता कहते है। लेंस द्वारा उत्पन्न आवर्धन को प्रतिबिम्ब की ऊंचाई (h') व बिम्ब की ऊँचाई (h) के अनुपात के रूप में दर्शाते हैं।

$$m=\frac{\text{प्रतिबिम्ब की ऊँचाई}}{\text{बिम्ब की ऊँचाई}}=\frac{h'}{h}$$

बिम्ब की ऊँचाई समान्यतः धनात्मक ली जाती है क्योंकि बिम्ब को मुख्य अक्ष के उपर रखा जाता है। प्रतिबिम्ब यदि उल्टा बने तो प्रतिबिम्ब की ऊँचाई ऋणात्मक ली जाती है।

आवर्धन को प्रतिबिम्ब दूरी v व बिम्ब दूरी u के अनुपात से भी दर्शाया जाता है।

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

वास्तविक व उल्टे प्रतिबिम्ब का आवर्धन ऋणात्मक होगा जबकि आभासी व सीधे प्रतिबिम्ब के लिये आवर्धन धनात्मक होगा।

उदाहरण 5 एक 3.0 cm लम्बा बिम्ब 20cm फोकस दूरी के उत्तल लेंस के मुख्य अक्ष पर लम्बवत् रखा है। यदि वास्तविक प्रतिबिम्ब लेंस से 60cm दूरी पर बनता है तो बिम्ब की लेंस से दूरी व आवर्धन ज्ञात कीजिये।

हल बिम्ब की ऊँचाई h = +3.0 cm

प्रतिबिम्ब दूरी v = +60 cm

फोकस दूरी f = +20 cm

बिम्ब दूरी u = ?

आवर्धन m = ?

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

या $\frac{1}{u} = \frac{1}{v} - \frac{1}{f} = \frac{1}{60} - \frac{1}{20} = \frac{1-3}{60}$

$$= -\frac{2}{60} = -\frac{1}{30}$$

अतः u = – 30 cm

बिम्ब लेंस से बाईं ओर 30 cm दूरी पर है।

आवर्धन $m = \frac{h'}{h} = \frac{v}{u} = \frac{+60}{-30} = -2$

या $h' = \frac{v}{u} \cdot h = \frac{60}{(-30)} \times (3) = -6\,cm$

प्रतिबिम्ब वास्तविक एवं उलटा है। प्रतिबिम्ब का आकार बिम्ब का दोगुना है।

उदाहरण 6 किसी अवतल लेंस की फोकस दूरी 30 cm है। यदि बिम्ब लेंस से 15cm दूरी पर हो तो प्रतिबिम्ब की स्थिति एवं लेंस द्वारा उत्पन्न आवर्धन ज्ञात कीजिये।

हल बिम्ब दूरी u = – 15 cm

फोकस दूरी f = – 30 cm

प्रतिबिम्ब दूरी v = ?

आवर्धन m = ?

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

या

$$\frac{1}{v} = \frac{1}{f} + \frac{1}{u} = \frac{1}{(-30)} + \frac{1}{(-15)} = -\frac{1}{30} - \frac{1}{15}$$

$$= \frac{-1-2}{30} = -\frac{3}{30} = -\frac{1}{10}$$

अतः v = –10 cm

अतः प्रतिबिम्ब की दूरी 10 cm है एवं प्रतिबिम्ब लेंस के बाईं ओर बनता है।

आवर्धन $m = \frac{v}{u} = \frac{-10}{-15} = \frac{2}{3} = 0.66$

यहां धनात्मक चिह्न दर्शाता है कि प्रतिबिम्ब आभासी व सीधा है। प्रतिबिम्ब बिम्ब का दो–तिहाई आकार का है।

उदाहरण 7 एक उत्तल लेंस की फोकस दूरी 50 cm है। यदि एक बिम्ब इससे 30 cm दूरी पर रखा हो तो प्रतिबिम्ब की स्थिति एवं प्रकृति ज्ञात कीजिये।

हल फोकस दूरी f = 50 cm

बिम्ब दूरी u = –30 cm

प्रतिबिम्ब दूरी v = ?

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

या $\frac{1}{v} = \frac{1}{f} + \frac{1}{u} = \frac{1}{50} + \frac{1}{(-30)} = \frac{1}{50} - \frac{1}{30}$

$$= \frac{3-5}{150} = -\frac{2}{150}$$

अतः v = – 75 cm

अतः प्रतिबिम्ब लेंस से बाईं ओर 75 cm दूरी पर बनेगा। प्रतिबिम्ब आभासी व सीधा होगा।

$$m = \frac{v}{u} = \frac{-75}{-30} = \frac{5}{2} = 2.5$$

प्रतिबिम्ब बिम्ब से 2.5 गुना आवर्धित होगा।

9.10 लेंस की क्षमता (Power of lens)

लेंस की प्रकाश किरणों को अभिसारित या अपसारित करने की क्षमता ही लेंस की क्षमता कहलाती है। एक कम फोकस दूरी वाले उत्तल लेंस में किरणें अपवर्तन के पश्चात् ज्यादा मुड़ेंगी (अभिसारित होंगी) एवं लेंस के नजदीक ही फोकसित होंगी। इसके विपरीत एक ज्यादा फोकस दूरी के उत्तल लेंस में किरणें कम मुड़ेंगी एवं लेंस से दूर फोकसित होगी। जब प्रकाश किरणें अवतल लेंस पर आपतित होंगी तो लेंस की फोकस दूरी के अनुसार कम या ज्यादा अपसारित होंगी। एक कम फोकस दूरी का अवतल लेंस किरणों को ज्यादा अपसारित करेगा।

इस प्रकार हम देखते है कि लेंस की क्षमता उसकी फोकस दूरी की व्युत्क्रम होती है।

अर्थात् $$P = \frac{1}{f}$$

यदि f मीटर में है तो P का मात्रक डाइऑप्टर (Dioptre) होता है। उत्तल लेंस की क्षमता धनात्मक एवं अवतल लेंस की क्षमता ऋणात्मक होती है। सामान्य भाषा में इसे चश्में का नम्बर कहते है। यदि एक लेंस की फोकस दूरी 2 मीटर हो तो लेंस की क्षमता P = 0.5 डाइऑप्टर होगी।

यदि हम दो या दो से अधिक लेंस को मिला देवें तो उस संयोजन की परिणामी क्षमता

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + ...$$

जहां P_1, P_2 ..... क्रमशः पृथक–पृथक लेंसों की क्षमता है।

उदाहरण 1 किसी चश्मे का लेंस दूर से आने वाले प्रकाश को 25 cm दूरी पर स्थित दीवार पर प्रक्षेपित करता है तो लेंस की क्षमता ज्ञात कीजिये।

हल लेंस की फोकस दूरी $f = +25\ cm = 0.25\ m$

अतः क्षमता $$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{0.25} = +4 \text{ डाइऑप्टर}$$

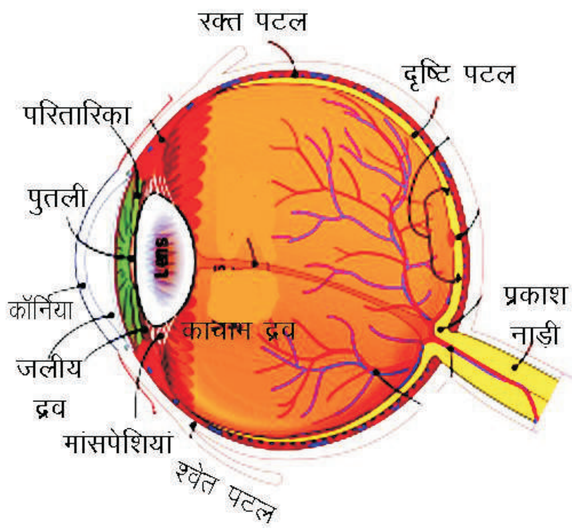
अतः चश्में में उत्तल लेंस है

9.11 नेत्र दृष्टि–दोष एवं उनका निराकरण (Defects in eye vision and their corrections)

नेत्र हमारे शरीर का एक महत्वपूर्ण अंग है। हम अपने चारों तरफ की दुनिया को नेत्रों से देखकर अनुभव करते हैं। जब किसी व्यक्ति को साफ दिखाई देने में दिक्कत आने लगती है तो वह व्यक्ति नेत्र चिकित्सक की सहायता से नेत्र दृष्टि दोषों का निराकरण करवाता है। नेत्र दृष्टि दोषों के बारे में जानने से पहले हम नेत्र की संरचना को समझेंगे।

नेत्र की संरचना

मानव नेत्र की कार्यप्रणाली एक अत्याधुनिक ऑटोफोकस कैमरे की तरह होती है। नेत्र लगभग 2.5 cm व्यास का एक गोलाकार अंग है जिसके प्रमुख भाग चित्र 9.34 में दिखाए गये हैं।



चित्र 9.34 नेत्र की संरचना

1. **श्वेत पटल (Sclera)** – नेत्र के चारों ओर एक श्वेत सुरक्षा कवच बना होता है जो अपारदर्शक होता है। इसे श्वेत पटल कहते है।
2. **कॉर्निया (Cornea)** – नेत्र के सामने श्वेत पटल के मध्य में थोड़ा उभरा हुआ भाग पारदर्शी होता है। प्रकाश की किरणें इसी भाग से अपवर्तित होकर नेत्र में प्रवेश करती हैं।
3. **परितारिका (Iris)** – यह कॉर्निया के पीछे एक अपारदर्शी मांसपेशिय रेशों की संरचना है जिसके बीच में छिद्र होता है। इसका रंग अधिकांशतः काला होता है।
4. **पुतली (Pupil)** – परितारिका के बीच वाले छिद्र को पुतली कहते है। परितारिका की मांसपेशियों के संकोचन व विस्तारण से आवश्यकतानुसार पुतली का आकार कम या ज्यादा होता रहता है। तीव्र प्रकाश में इसका आकार छोटा हो जाता है एवं कम प्रकाश में इसका आकार बढ़ जाता है। यही कारण है कि जब हम तीव्र प्रकाश से मन्द प्रकाश में जाते

हैं तो कुछ समय तक नेत्र ठीक से देख नहीं पाते हैं। थोड़ी देर में पुतली का आकार बढ़ जाता है एवं हमें दिखाई देने लगता है।

5. **नेत्र लेंस (Eye lens)** – परितारिका के पीछे एक लचीले पारदर्शक पदार्थ का लेंस होता है जो माँसपेशियों की सहायता से अपने स्थान पर रहता है। कॉर्निया से अपवर्तित किरणों को रेटिना पर फोकसित करने के लिये माँसपेशियों के दबाव से इस लेंस की वक्रता त्रिज्या में थोड़ा परिवर्तन होता है। इससे बनने वाला प्रतिबिम्ब छोटा, उलटा व वास्तविक होता है।

6. **जलीय द्रव (Aqueous humour)** – नेत्र लेंस व कॉर्निया के बीच एक पारदर्शक पतला द्रव भरा रहता है जिसे जलीय द्रव कहते हैं। यह इस भाग में उचित दबाव बनाए रखता है ताकि आँख लगभग गोल बनी रहे। साथ ही यह कॉर्निया व अन्य भागों को पोषण भी देता रहता है।

7. **रक्त पटल (Choroid)** – नेत्र के श्वेत पटल के नीचे एक झिल्ली नुमा संरचना होती है जो रेटिना को ऑक्सीजन एवं पोषण प्रदान करती है। साथ ही आंख में आने वाले प्रकाश का अवशोषण करके भीतरी दीवारों से प्रकाश के परावर्तन को अवरूद्ध करती है।

8. **दृष्टिपटल (Retina)** – रक्त पटल के नीचे एक पारदर्शक झिल्ली होती हैं जिसे दृष्टिपटल कहते हैं। वस्तु से आने वाली प्रकाश किरणें कॉर्निया एवं नेत्र लेंस से अपवर्तित होकर रेटिना पर फोकसित होती हैं। रेटिना में अनेक प्रकाश सुग्राही कोशिकाएं होती है जो प्रकाश मिलते ही सक्रिय हो जाती हैं एवं विद्युत सिग्नल उत्पन्न करती हैं। रेटिना से उत्पन्न प्रतिबिम्ब के विद्युत सिग्नल प्रकाश नाड़ी द्वारा मस्तिष्क को प्रेषित होते हैं। मस्तिष्क इस उल्टे प्रतिबिम्ब का उचित संयोजन करके उसे हमें सीधा दिखाता हैं।

9. **काचाभ द्रव (Vitreous humour)** – नेत्र लेंस व रेटिना के बीच एक पारदर्शक द्रव भरा होता है जिसे काचाभ द्रव कहते है।

नेत्र जब सामान्य अवस्था में होता है तो अनन्त दूरी पर रखी वस्तुओं का प्रतिबिम्ब रेटिना पर स्पष्ट बन जाता है। जब वस्तु नेत्र के पास होती है तो नेत्र लेंस की मांसपेशियां स्वतः एक तनाव उत्पन्न करती हैं जिससे नेत्र लेंस बीच में से मोटा हो जाता है। इससे नेत्र लेंस की फोकस दूरी कम हो जाती है एवं पास की वस्तु का प्रतिबिम्ब पुनः रेटिना पर बन जाता है। लेंस की फोकस दूरी में होने वाले इस परिवर्तन की क्षमता को नेत्र की संमजन क्षमता कहा जाता है।

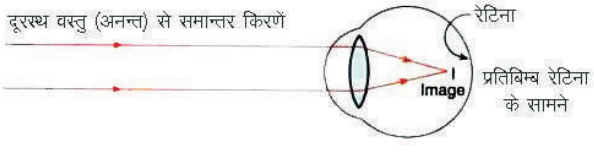
यदि हम बहुत निकट से किसी वस्तु को स्पष्ट देखना चाहें तो हमें स्पष्ट प्रतिबिम्ब देखने में कठिनाई का अनुभव होता है। वस्तु की नेत्र से वह न्यूनतम दूरी जहां से वस्तु को स्पष्ट देख सकते हैं नेत्र का निकट बिन्दु कहलाता है। सामान्य व्यक्ति के लिए यह दूरी 25 cm होती है। इसी प्रकार नेत्र से वह अधिकतम दूरी, जहाँ तक वस्तु को स्पष्ट देखा जा सकता है, नेत्र का दूर बिन्दु कहलाता है। सामान्य नेत्रों की यह दूरी अनन्त होती है। निकट बिन्दु से दूर बिन्दु के बीच की दूरी दृष्टि–परास कहलाती है।

दृष्टि दोष एवं उनका निराकरण

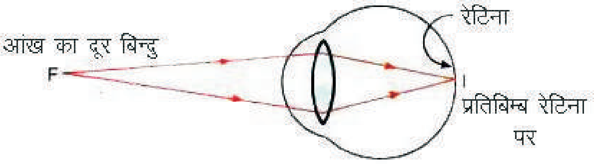
उम्र बढ़ने के साथ मांसपेशियों में संमजन क्षमता कम होने से, चोट लगने से, नेत्रों पर अत्यधिक तनाव आदि अनेक कारणों से नेत्रों की संमजन क्षमता में कमी आ जाती है या उनकी ये क्षमता खत्म हो जाती है अथवा नेत्र लेंस की पारदर्शिता खत्म हो जाती है। नेत्र में दृष्टि सम्बन्धी निम्न दोष प्रमुखता से होते हैं

निकट दृष्टि दोष (Myopia or short sightedness)

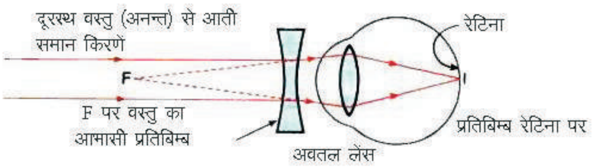
निकट दृष्टि दोष में व्यक्ति को निकट की वस्तुएँ तो स्पष्ट दिखाई देती हैं किन्तु दूर की वस्तुएँ धुंधली दिखाई देने लगती हैं। इस दृष्टि दोष का मुख्य कारण नेत्र लेंस की वक्रता का बढ़ जाना हैं। इस दोष से पीड़ित व्यक्ति के नेत्र में दूर रखी वस्तुओं का प्रतिबिम्ब रेटिना से पहले ही बन जाता है। जबकि कुछ दूरी पर रखी वस्तुओं का प्रतिबिम्ब रेटिना पर बनता हैं। एक प्रकार से उस व्यक्ति का दूर बिन्दु अनन्त पर न होकर पास आ जाता हैं।



चित्र 9.35 (a) निकट दृष्टि दोष



चित्र 9.35 (b) निकट दृष्टि दोष युक्त नेत्र का दूर बिन्दु

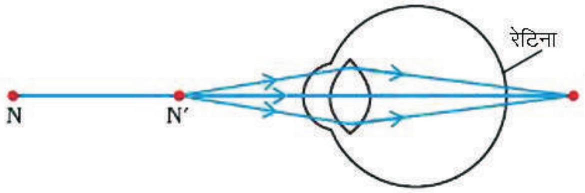


चित्र 9.35 (c) निकट दृष्टि दोष का निवारण

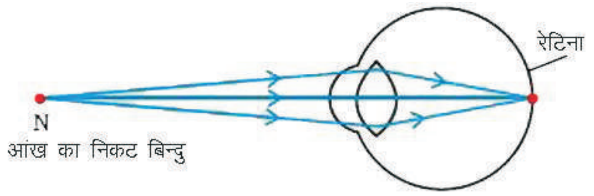
इस दोष के निवारण के लिये उचित क्षमता का अवतल लेंस नेत्र के आगे लगाया जाता है। अवतल लेंस अनन्त पर स्थित वस्तु से आने वाली समान्तर किरणों को इतना अपसारित करता है ताकि वे किरणें उस बिन्दु से आती हुई प्रतीत हो जो दोष युक्त नेत्रों के स्पष्ट देखने का दूर बिन्दु है। वर्तमान में लेजर तकनीक का उपयोग करके भी इस दोष का निवारण किया जाता है।

दीर्घ/दूर दृष्टि दोष (Hypermetropia or long sightedness)

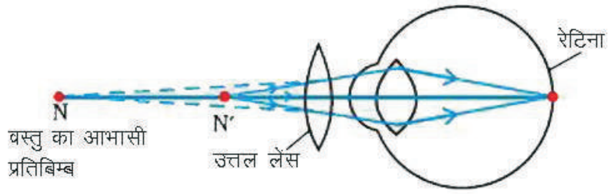
दीर्घ दृष्टि दोष में व्यक्ति को दूर की वस्तुएं तो स्पष्ट दिखाई देती हैं परन्तु पास की वस्तुएँ स्पष्ट दिखाई नहीं देती हैं। इस दोष में व्यक्ति को सामान्य निकट बिन्दु (25 cm) से वस्तुएँ धुंधली दिखती हैं, लेकिन जैसे–जैसे वस्तु को 25 cm से दूर ले जाते हैं वस्तु स्पष्ट होती जाती हैं। एक प्रकार से दीर्घ दृष्टि दोष में व्यक्ति का निकट बिन्दु दूर हो जाता है।



चित्र 9.36 (a) दीर्घ दृष्टि दोष



चित्र 9.36 (b) दीर्घ दृष्टि दोष युक्त नेत्र का निकट बिन्दु



चित्र 9.36 (c) दीर्घ दृष्टि दोष का निवारण

दीर्घ दृष्टि दोष के निवारण के लिये उचित क्षमता का उत्तल लेंस नेत्र के आगे लगाया जाता है। यह लेंस पास की वस्तु का आभासी प्रतिबिम्ब उतना दूर बनता है जितना की दृष्टि दोष युक्त नेत्र का निकट बिन्दु है। इससे पुनः नेत्र को निकट की वस्तुएं स्पष्ट दिखाई देने लगती है।

जरा दूरदर्शिता (Presbyopia)

आयु बढ़ने के साथ नेत्र लेंस एवं मांसपेशियों का लचीलापन कम होने से नेत्र की संमजन क्षमता कम हो जाती है। इस कारण उन्हें दीर्घ दृष्टि दोष हो जाता है एवं वे पास की वस्तुओं को स्पष्ट नहीं देख पाते हैं। कई बार उम्र के साथ व्यक्तियों को दूर की वस्तुएं भी धुंधली दिखाई देने लगती है। इस तरह के दोषों में व्यक्ति को दूर व पास दोनों ही वस्तुओं को स्पष्ट देखने में दिक्कत आने लगती है। इनका निवारण करने के लिये द्वि–फोकसी (Bifocal) लेंस प्रयुक्त किये जाते है। इन लेंसों का ऊपरी भाग अवतल एवं नीचे का भाग उत्तल होता है।

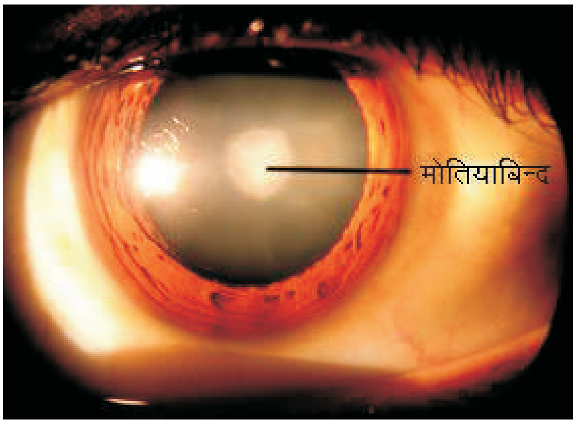
दृष्टि वैषम्य दोष (Astigmatism)

दृष्टि–वैषम्य दोष या अबिन्दुकता दोष कॉर्निया की गोलाई में अनियमितता के कारण होता है। इसमें व्यक्ति को समान दूरी पर रखी उर्ध्वाधर व क्षैतिज रेखाएं एक साथ स्पष्ट दिखाई नहीं देती है। बेलनाकार लेंस का उपयोग करके इस दोष का निवारण किया जाता है।

मोतियाबिन्द (Cataract)

व्यक्ति की आयु बढ़ने के साथ नेत्र लेंस की पारदर्शिता खत्म होने लगती है एवं उसका लचीलापन कम होने लगता है।

इस कारण यह प्रकाश का परावर्तन करने लगता है एवं वस्तु स्पष्ट दिखाई नहीं देती है। इस दोष को **मोतियाबिन्द** कहते हैं (चित्र 9.37) इस दोष को दूर करने के लिए नेत्र लेंस को हटाना पड़ता है। पूर्व में शल्य चिकित्सा द्वारा मोतियाबिन्द को निकाल दिया जाता था। नेत्र लेंस को निकाल देने से व्यक्ति को मोटा व गहरे रंग का चश्मा लगाना पड़ता था। आधुनिक विधि में मोतियाबिन्द युक्त नेत्र लेंस को हटाकर एक कृत्रिम लेंस लगा दिया जाता है जिसे इन्ट्रा आक्युलर लेंस (Intraocular lens) कहते है।



चित्र 9.37 मोतियाबिन्द

महत्वपूर्ण बिन्दु

1. जब प्रकाश किसी वस्तु पर गिरता है तो वस्तु प्रकाश के कुछ रंगों के अवशोषण कर लेती है एंव कुछ रंगों को परावर्तित कर देती है। इस परावर्तित प्रकाश के रंग से ही हमें वस्तु एवं वस्तु के रंग दिखाई देते हैं।
2. प्रकाश परावर्तन के नियम–
   (*i*) आपतित किरण, परावर्तित किरण एवं परावर्तक तल पर अभिलम्ब एक ही तल में होते हैं।
   (*ii*) आपतन कोण '*i*' व परावर्तन कोण '*r*' बराबर होते है।
3. समतल दर्पण में प्रतिबिम्ब आभासी होता है एवं प्रतिबिम्ब दर्पण से पीछे दर्पण से उतनी ही दूरी पर दिखाई देता है। जितनी दूरी पर वस्तु दर्पण के सामने स्थित है।
4. गोलीय दर्पण एवं लेंस के लिये कार्तीय चिह्न परिपाटी का उपयोग किया जाता है। इसके अनुसार बिम्ब हमेशा बांई ओर रखा जाता है। दर्पण या लेंस के बांई तरफ की दूरियां ऋणात्मक ली जाती हैं एवं दांई तरफ की दूरियां धनात्मक ली जाती है। अवतल दर्पण की फोकस दूरी व वक्रता त्रिज्या हमेशा ऋणात्मक एवं उत्तल दर्पण की फोकस दूरी व वक्रता त्रिज्या हमेशा धनात्मक ली जाती है। इसी प्रकार अवतल लेंस की फोकस दूरी ऋणात्मक एवं उत्तल लेंस की फोकस दूरी धनात्मक ली जाती है।
5. उत्तल दर्पण में प्रतिबिम्ब हमेशा आभासी, सीधा एवं वस्तु से छोटा बनता है। अवतल दर्पण में बनने वाले प्रतिबिम्ब की प्रकृति दर्पण से बिम्ब की दूरी पर निर्भर करती है।
6. दर्पण में बिम्ब दूरी u, प्रतिबिम्ब दूरी v व फोकस दूरी f हो तो दर्पण सूत्र निम्नलिखित होगा

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

7. गोलीय दर्पण की वक्रता त्रिज्या उसकी फोकस दूरी की दुगुनी होती है।
8. प्रतिबिम्ब की ऊँचाई एवं बिम्ब की ऊँचाई का अनुपात आवर्धन कहलाता है।
9. अपवर्तन के नियम–
   (*i*) आपतित किरण, अपवर्तित किरण एवं अपवर्तक तल पर अभिलम्ब एक ही तल में होते हैं।
   (*ii*) एक अपवर्तक माध्यम के लिये आपतन कोण '*i*' व अपवर्तन कोण '*r*' के ज्या का अनुपात एक स्थिरांक होता हैं।
10. जब प्रकाश की किरण विरल माध्यम से सघन माध्यम में प्रवेश करती है तो पृथक्ककारी पृष्ठ से अपवर्तन के पश्चात अभिलम्ब की ओर मुड़ जाती है। इसके विपरित सघन माध्यम से विरल माध्यम में अपवर्तन पर किरण अभिलम्ब से दूर हट जाती है।
11. प्रकाश का निर्वात में वेग एवं प्रकाश के पारदर्शी पदार्थ में वेग के अनुपात को उस पदार्थ का अपवर्तनांक कहते हैं।
12. दो वक्र पृष्ठों अथवा एक वक्र पृष्ठ एवं एक समतल पृष्ठ से बना अपवर्तक माध्यम लेंस कहलाता है। लेंस दो प्रकार के होते हैं–
    (*i*) उत्तल या अभिसारी लेंस
    (*ii*) अवतल या अपसारी लेंस
13. अवतल लेंस द्वारा वस्तु का प्रतिबिम्ब सदैव आभासी, सीधा, तथा वस्तु से छोटा बनता है। उत्तल लेंस में वस्तु के प्रतिबिम्ब की प्रकृति, बिम्ब की लेंस से दूरी पर निर्भर करती है।
14. किसी लेंस के लिये बिम्ब दूरी u, प्रतिबिम्ब दूरी v व फोकस दूरी f हो तो लेंस सूत्र निम्न होता है–

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

15. किसी लेस की फोकस दूरी का व्युत्क्रम लेंस की क्षमता कहलाती है। इसका *SI* मात्रक डाइऑप्टर है।
16. नेत्र किसी वस्तु का प्रतिबिम्ब रेटिना पर बनाता है। सामान्य नेत्र के लिये निकट बिन्दु 25*cm* पर तथा दूर बिन्दु अनन्त पर होता है।
17. नेत्र में मुख्यतः निम्न दोष होते है–

(*i*) निकट दृष्टि दोष (*ii*) दूर दृष्टि दोष
(*iii*) जरा– दृष्टि दोष (*iv*) दृष्टि वैषम्य
(*v*) मोतियाबिन्द

अभ्यासार्थ प्रश्न

बहुचयनात्मक प्रश्न

1. निम्न में से कोनसे दर्पण मे वृहद दृष्टि क्षेत्र दिखेगा
(क) समतल दर्पण (ख) उत्तल दर्पण
(ग) अवतल दर्पण (घ) परवलिय दर्पण
2. प्रकाश का वेग सर्वाधिक होगा
(क) पानी में (ख) कांच में
(ग) निर्वात में (घ) ग्लिसरीन में
3. किस प्रभाव के कारण टंकी के पेंदे पर रखा सिक्का थोड़ा उपर उठा हुआ दिखाई देता है–
(क) अपवर्तन (ख) परावर्तन
(ग) पूर्ण आन्तरिक परावर्तन (घ) इसमें से कोई नहीं
4. यदि एक दर्पण की फोकस दूरी + 60 सेमी. है तो यह दर्पण होगा
(क) अवतल दर्पण (ख) परवलिय दर्पण
(ग) समतल दर्पण (घ) उत्तल दर्पण
5. एक समतल दर्पण की फोकस दूरी होगी
(क) 0 (ख) 1
(ग) अनन्त (घ) इनमें से कोई नहीं
6. एक उत्तल दर्पण में सदैव प्रतिबिम्ब बनेगा
(क) वास्तविक व सीधा (ख) वास्तविक व उल्टा
(ग) आभासी व उल्टा (घ) आभासी व सीधा
7. एक लेंस की क्षमता + 2 डायप्टर है तो उसकी फोकस दूरी होगी
(क) 2 मीटर (ख) 1 मीटर
(ग) 0.5 मीटर (घ) 0.2 मीटर
8. दूर दृष्टि दोष में व्यक्ति को
(क) निकट की वस्तु स्पष्ट दिखाई देगी
(ख) दूर की वस्तु स्पष्ट दिखाई देगी
(ग) निकट व दूर दोनो ही वस्तुएं स्पष्ट दिखाई नहीं देगी
(घ) इनमें से कोई नहीं
9. एक उत्तल लेंस की फोकस दूरी 15*cm* है तो बिम्ब को लेंस से कितनी दूरी पर रखा जाए कि प्रतिबिम्ब वास्तविक एंव बिम्ब के बराबर आकार का बने
(क) 30*cm* (ख) 15*cm*
(ग) 60*cm* (घ) इनमें से कोई नहीं
10. एक 20*cm* फोकस दूरी के अवतल लेंस के सम्मुख बिम्ब अनन्त पर रखा है। आभासी प्रतिबिम्ब की लेंस से दूरी कितनी होगी।
(क) 10*cm* (ख) 15*cm*
(ग) 20*cm* (घ) अनन्त पर

अतिलघूत्तरात्मक प्रश्न

1. जब कोई वस्तु प्रकाश के सभी रंगों को अवशोषित कर लेती है। तो वह वस्तु हमें किसी रंग की दिखाई देगी?
2. यदि हम समतल दर्पण में हमारा पूर्ण प्रतिबिम्ब देखना चाहें तो दर्पण की न्यूनतम लम्बाई कितनी होनी चाहिये?
3. एक समतल दर्पण पर प्रकाश की किरण 30^o कोण पर आपतित हो रही है तो परावर्तित किरण एवं आपतित किरण के मध्य कितना कोण बनेगा?
4. उत्तल दर्पण के कोई दो उपयोग लिखिये।
5. अवतल दर्पण के कोई दो उपयोग लिखिये।
6. दर्पण सूत्र लिखिये।
7. गोलीय दर्पण के लिये वक्रता त्रिज्या एवं फोकस दूरी में सम्बन्ध बताइये।
8. आवर्धनता का सूत्र दीजिये।
9. स्नेल का नियम लिखिये।
10. लेंस सूत्र लिखिये।
11. एक वस्तु से समान्तर किरणें उत्तल लेंस पर आपतित होती हैं तो उस वस्तु का प्रतिबिम्ब कहाँ बनेगा?
12. लेंस की क्षमता का मात्रक लिखिये।
13. निकट दृष्टि दोष मे व्यक्ति को कोनसी स्थिति में वस्तुएं स्पष्ट नहीं दिखाई देती हैं?
14. उचित क्षमता का उत्तल लेंस लगा कर कोनसा दृष्टि दोष दूर किया जाता है?
15. मोतियाबिन्द क्या है?
16. एक शेविंग दर्पण में हमें अपना प्रतिबिम्ब कैसा दिखता है?

लघूत्तरात्मक प्रश्न

1. नियमित परावर्तनव विसरित परावर्तन किसे कहते हैं?
2. पार्श्व परावर्तन क्या है ? समझाइये।
3. यदि एक बिम्ब अवतल दर्पण के वक्रता त्रिज्या एवं फोकस के बीच में रखा है तो किरण चित्र द्वारा प्रतिबिम्ब की स्थिति दर्शाइये।
4. गोलीय दर्पणों के लिए कार्तीय चिह्न परिपाटी को समझाइये।

5. प्रकाश के अपवर्तन की व्याख्या कीजिये। एंव अपवर्तन के नियम लिखिये।
6. उत्तल लेंस व अवतल लेंस के विभिन्न प्रकार बताइये।
7. गोलीय लेंस के लिये मुख्य फोकस एवं प्रकाशिक केन्द्र को परिभाषित कीजिये।
8. गोलीय लेंस के लिये वक्रता त्रिज्या एवं वक्रता केन्द्र किसे कहते हैं?
9. गोलीय लेंस से अपवर्तन के नियम लिखिये।
10. अवतल लेंस से प्रतिबिम्ब निर्माण को किरण चित्रों द्वारा समझाइये।
11. लेंस की क्षमता से आप क्या समझते हैं?
12. निकट दृष्टि दोष से आप क्या समझते हैं? इसे कैसे दूर किया जाता है?
13. दूर दृष्टि दोष क्या है? इसका निवारण कैसे किया जाता है?
14. जरा–दृष्टि दोष एवं दृष्टि वैषम्य दोष क्या हैं?
15. नेत्र की संमजन क्षमता व दृष्टि परास से क्या अभिप्राय है?
16. एक बिम्ब उत्तल लेंस के मुख्य अक्ष पर अनन्त व $2F_1$ के बीच रखा है। प्रतिबिम्ब की स्थिति किरण चित्र द्वारा समझाइये।

निबन्धात्मक प्रश्न

1. एक अवतल दर्पण के लिये बिम्ब की निम्न स्थितियों में प्रतिबिम्ब की स्थिति व प्रकृति के बारे में किरण चित्र बनाकर समझाइये
   (*i*) जब बिम्ब अनन्त व वक्रता केन्द्र के बीच हो
   (*ii*) जब बिम्ब वक्रता केन्द्र पर हो
   (*iii*) जब बिम्ब वक्रता केन्द्र व फोकस के बीच हो
   (*iv*) जब बिम्ब फोकस पर हो
   (*v*) जब बिम्ब फोकस व ध्रुव के बीच हो
2. अपवर्तन से आप क्या समझते हैं? अपवर्तन के नियम लिखिये एवं कांच के स्लैब की सहायता से प्रकाश किरण के अपवर्तन को समझाइये।
3. एक उत्तल दर्पण के लिये बिम्ब की निम्न स्थितियों में प्रतिबिम्ब की स्थिति व प्रकृति के बारे में किरण चित्र बनाकर समझाइये
   (*i*) जब बिम्ब अनन्त पर हो
   (*ii*) जब बिम्ब किसी निश्चित दूरी पर हो
4. किरण चित्रों की सहायता से एक अवतल लेंस में प्रतिबिम्ब की स्थिति व स्वरूप को समझाइये जबकि बिम्ब
   (*i*) लेंस के फोकस बिन्दु पर हो
   (*ii*) फोकस F_1 व $2F_2$ के बीच हो
   (*iii*) $2F_1$ से अनन्त के बीच हो
5. किरण चित्र बनाते हुए उत्तल लेंस द्वारा बनने वाले प्रतिबिम्ब की प्रकृति एक स्थिति बताइये जबकि बिम्ब
   (*i*) फोकस एवं प्रकाशिक केन्द्र के मध्य हो
   (*ii*) फोकस पर हो
   (*iii*) फोकस F_1 व $2F_1$ के बीच हो
   (*iv*) $2F_1$ पर हो
   (*v*) $2F_1$ एवं अनन्त के बीच हो
   (*vi*) नेत्र दृष्टि दोषों के बारे में विस्तार से समझाते हुए उन्हे दूर करने के उपाय बताइये।

आंकिक प्रश्न

1. एक अवतल दर्पण की फोकस दूरी 30cm है। यदि एक बिम्ब 40cm पर रखा है तो प्रतिबिम्ब की स्थिति बताइये। प्रतिबिम्ब का आवर्धन भी ज्ञात कीजिये। (-120cm, 3 गुना व वास्तविक)
2. एक बिम्ब का उत्तल दर्पण से प्रतिबिम्ब दर्पण से 8cm पर दिखाई देता है। यदि दर्पण की फोकस दूरी 16cm हो तो दर्पण से बिम्ब की दूरी ज्ञात किजिये। (-16cm)
3. एक 30cm फोकस दूरी के उत्तल लेंस से बिम्ब 60cm दूरी पर रखा है। यदि बिम्ब की ऊँचाईं 3cm है तो प्रतिबिम्ब की स्थिति तथा स्वरूप ज्ञात कीजिये। (60cm, 3cm वास्तविक व उल्टा)
4. एक बिम्ब उत्तल लेंस से 10cm दूरी पर रखा है। यदि लेंस की फोकस दूरी 40cm हो तो प्रतिबिम्ब की स्थिति व स्वरूप ज्ञात कीजिये। (-13.33cm, 1.33 गुना आभासी व सीधा)
5. एक अवतल दर्पण की फोकस दूरी 30*cm* है। यदि एक बिम्ब 20*cm* पर रखा जाता है तो प्रतिबिम्ब की स्थिति व स्वरूप ज्ञात कीजिये। (+60cm,3 गुना व आभासी)
6. अवतल लेंस के सम्मुख रखें बिम्ब का प्रतिबिम्ब 10cm पर बनता है। यदि अवतल लेंस की फोकस दूरी 15cm हो तो लेंस से बिम्ब की दूरी ज्ञात कीजिये। (-30cm)
7. 10cm फोकस दूरी वाले उत्तल लेंस की आवर्धनता ज्ञात कीजिए जबकि लेंस से वस्तु का सीधा प्रतिबिम्ब स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी पर बने। (3.5)

उत्तरमाला

1.(ख)	2. (ग)	3. (क)	4. (घ)	5. (ग)
6. (घ)	7. (ग)	8. (ख)	9. (क)	10. (ग)