एकलव्य का प्रकाशन

हाई स्कूल विज्ञान शृंखला

सीखने के लिए एक प्रयोग आधारित पुस्तिका

प्रकाश

आमोद कारखानीस

हाई स्कूल विज्ञान शृंखला

प्रकाश

सीखने के लिए एक प्रयोग आधारित पुस्तिका

आमोद कारखानीस

एकलव्य

प्रकाश
सीखने के लिए एक प्रयोग आधारित पुस्तिका

PRAKASH
SIKHANE KE LIYE EK PRAYOG AADHARIT PUSTIKA

आमोद कारखानीस
सहयोगः प्रमोद मैथिल

सलाहकारः उर्जित याग्निक, भास बापट, रमा चारी, विजय वर्मा

अँग्रेज़ी से अनुवादः सुशील जोशी

डिज़ाइनः आमोद कारखानीस

एकलव्य / सितम्बर 2017 / 2000 प्रतियाँ

इस किताब का उपरोक्त के समान क्रिएटिव कॉमन्स लाइसेंस के तहत गैर-व्यावसायिक शैक्षणिक उद्देश्यों से मुफ्त वितरण के लिए उपयोग किया जा सकता है। ऐसा करते हुए मूल स्रोत के रूप में एकलव्य का ज़िक्र करना और सूचित करना आवश्यक होगा। अन्य किसी भी प्रकार के उपयोग के लिए एकलव्य से सम्पर्क करें।

पराग इनिशिएटिव, टाटा ट्रस्ट के वित्तीय सहयोग से विकसित
कागज़ः 80 gsm मेपलिथो और 300 gsm पेपर बोर्ड (कवर)
ISBN: 978-93-85236-27-3
मूल्यः ₹ 185.00

प्रकाशकः **एकलव्य**
ई-10, शंकर नगर बीडीए कॉलोनी,
शिवाजी नगर, भोपाल - 462 016 (मप्र)
फोनः + 91 755 255 0976, 267 1017
www.eklavya.in / books@eklavya.in

मुद्रकः आदर्श प्रा लि, भोपाल, फोनः +755 255 5442

विषय-सूची

पृष्ठभूमि **5**

परिचय **7**

कुछ सवाल 7

छाया के खेल 8

क्या हर चीज़ की छाया बनती है 10

वस्तुओं की छाया कैसे बनती है 11

ट्यूबलाइट के नीचे पैनी छाया क्यों नहीं मिलती? 13

प्रकाश कैसे चलता है? 14

अपना पिन होल कैमरा बनाओ 15

परावर्तन **19**

किरण बनाओ 19

परावर्तन के नियम पता करो 20

परावर्तन का दूसरा नियम 21

दर्पण झूठ न बोले 23

प्रतिबिम्ब दर्पण के कितना पीछे है? 24

अपना पेरिस्कोप बनाओ 26

कई दर्पण, कई प्रतिबिम्ब 27

कैलीडोस्कोप बनाओ 28

खुरदरी सतह से बढ़िया परावर्तन क्यों नहीं होता? 28

गोलाई वाले दर्पण **30**

गोलीय दर्पणों के साथ प्रयोग 32

अवलोकनों को समझाने के लिए मॉडल 34

उत्तल दर्पण 37

अपवर्तन **39**

किरण पुंज का मुड़ना यानी मरीचिका कैसे बनती है? 43

पूर्ण आन्तरिक परावर्तन 44

प्रकाशीय तन्तु 47

प्रिज़्म 49

लेंस 51

उत्तल लेंस से प्रतिबिम्ब 53

उत्तल लेंस के किरण चित्र 54

किरण चित्र बनाओ 55

अवतल लेंस के किरण चित्र 56

कैमरा और उत्तल लेंस 57

फ्रेनेल लेंस 59

प्रकाशीय उपकरण **61**

साइकिल में लगा रिफ्लेक्टर 62

बायनॉक्यूलर्स 62

सूक्ष्मदर्शी 63

दूरबीन 65

प्रकाश की तीव्रता का मापन **67**

हमारा बल्ब कितना प्रकाश देता है? **69**

रंग **71**

इन्द्रधनुष 72

रंगों का मिश्रण 74

न्यूटन की चकरी 76

परिशिष्ट

1. कुछ परिभाषाएँ और थोड़ा-सा गणित 77

2. लेंस की समीकरण 78

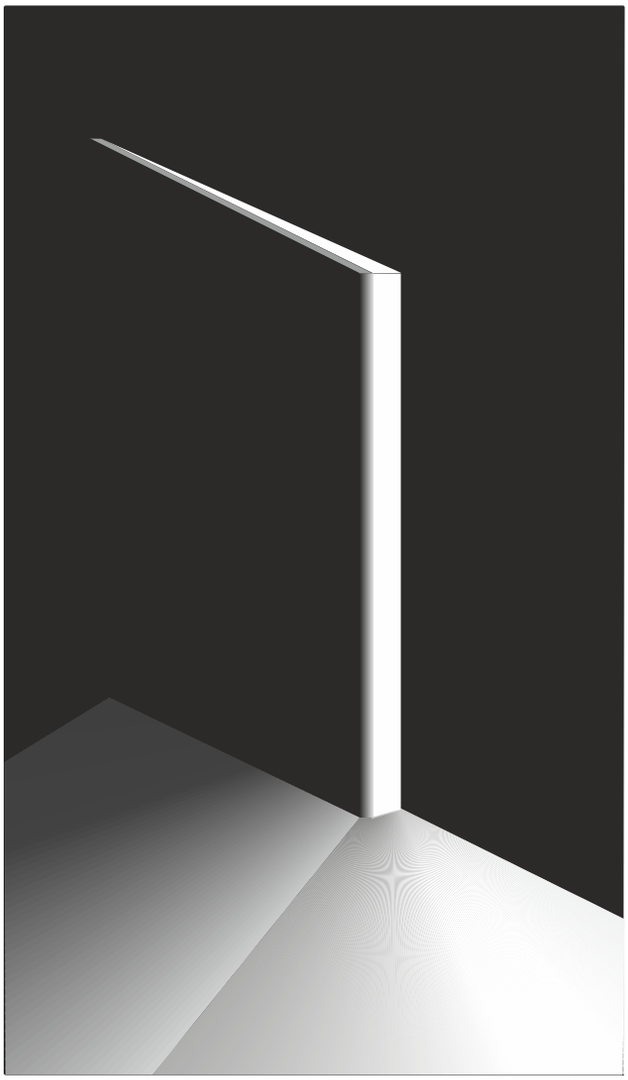
गतिविधियों की सूची **79**

इंडेक्स **80**

पृष्ठभूमि

काफी सारे शोध बताते हैं कि बच्चे उस सामग्री से बेहतर सीखते-समझते हैं जो उन्हें प्रासंगिक और उपयोगी लगती है। विज्ञान सीखने-सिखाने के मामले में इसका मतलब यह लगाया गया है कि विद्यार्थियों को विभिन्न प्रयोग करने चाहिए, जो उन्हें अवधारणा को लागू करके देखने में मदद करें। इसके अलावा कक्षा में हो रही चीज़ों का सम्बन्ध उनके रोज़मर्रा के जीवन से होना चाहिए।

प्रकाश विषय को मिडिल और हाई स्कूल दोनों स्तरों पर काफी विस्तार में शामिल किया गया है। यह विषय उपरोक्त दोनों लिहाज़ से कई अवसर प्रदान करता है। विभिन्न परिस्थितियों में प्रकाश का व्यवहार कई रोचक घटनाओं को जन्म देता है। इन घटनाओं को समझने के लिए कुछ आसान प्रयोग किए जाएँ, तो हमें कुछ बुनियादी अवधारणाओं को गहराई से समझने में मदद मिल सकती है। उदाहरण के लिए, अपवर्तित किरण का मार्ग पता करने के लिए किए जाने वाले सामान्य प्रयोग में काँच के गुटके के एक ओर पिनें गाड़कर, दूसरी ओर से उन पिनों को देखकर उसी सीध में पिनें गाड़ी जाती हैं और मान लिया जाता है कि उन पिनों को जोड़ने वाली रेखा अपवर्तित किरण का मार्ग दर्शाती है। किन्तु यह प्रयोग अपवर्तन को समझने में मददगार नहीं होता। जब इस मॉड्यूल में दिया गया प्रयोग — जिसमें अपवर्तित किरण पुंज को वास्तव में 'देखा' जाता है — करने के बाद शुरुआती प्रतिक्रिया आश्चर्य की होती है और उसके बाद समझने का आनन्द महसूस होता है। इसी प्रकार से, परावर्तन से शुरुआती परिचय के दौरान ही पाठ्यपुस्तकें वास्तविक और आभासी प्रतिबिम्ब के बीच का अन्तर बता देती हैं। यही अन्तर तब भी उभारा जाता है जब लेंस द्वारा अपवर्तन से बने प्रतिबिम्बों की बात होती है। लेकिन यह कदापि स्पष्ट नहीं होता कि वास्तविक प्रतिबिम्ब क्या होता है। इस मॉड्यूल में जो प्रयोग दिया गया है उसमें अवतल दर्पण या उत्तल लेंस की मदद से एक मोमबत्ती की लौ का प्रतिबिम्ब एक पर्दे पर प्राप्त



किया जाता है। इस प्रयोग के बाद सोच में जो बदलाव आता है, वह देखा जा सकता है।

प्रकाशिकी यानी ऑप्टिक्स में जिस तरह के अनुप्रयोगों का विकास हुआ है, उनके चलते इस विषय के अध्यापन में कुछ नए आयाम जुड़े हैं। हमें लगता है कि ऑप्टिकल फाइबर जैसी टेक्नॉलॉजी की बातचीत बच्चों के साथ की जानी चाहिए।

इस मॉड्यूल में प्रकाश से सम्बन्धित उन सारे विषयों का समावेश किया गया है जो मिडिल व हाई स्कूल की पाठ्यपुस्तकों में शामिल किए जाते हैं। इस मॉड्यूल के लिए विषयों के चयन और प्रस्तुतीकरण के निर्णय दो प्रक्रियाओं के आधार पर किए गए हैं। एक स्तर पर, एकलव्य ने इस बाबत एक संवाद शुरू किया है कि कक्षा 6 से 10 तक सामान्य विज्ञान के अन्तर्गत कौन-से विषय पढ़ाए जाने चाहिए। इस

संवाद का एक अहम हिस्सा यह भी है कि ये चीज़ें कैसे पढ़ाई जाएँ। शिक्षकों के अनुभवों के अलावा, अब इस बात को लेकर काफी शोध हुआ है कि बच्चे कैसे सीखते हैं और अवधारणाओं को मात्र सतही तौर पर स्पर्श करने के परिणामस्वरूप किस तरह की गलत अवधारणाएँ पैदा होती हैं। जब तमाम अमूर्त अवधारणाओं को बच्चों के रोज़मर्रा के अनुभवों से जोड़ने की कोई कोशिश नहीं की जाती, तो बच्चों को ऐसे सैद्धान्तिक विचारों से जूझना होता है जिनका कोई अर्थ नहीं होता और जो कई मर्तबा उनके सहजबोध के विपरीत जाते हैं। लिहाज़ा, यह निर्णय लिया गया कि इन बातों को ध्यान में रखा जाए और विज्ञान शिक्षा और सीखने के सिद्धान्तों का अध्ययन करके सामग्री में कुछ सन्तुलन बनाने का प्रयास किया जाए।

जिस दूसरी प्रक्रिया ने इस मॉड्यूल के विकास में योगदान दिया वह थी, हमारे शिक्षक प्रशिक्षण के सत्र। एकलव्य पिछले कुछ सालों से हाई स्कूल स्तर पर विज्ञान के चुनिन्दा विषयों को लेकर शिक्षक प्रशिक्षण आयोजित करता रहा है। इन प्रशिक्षण शिविरों से यह समझने में मदद मिली कि बच्चों में (और कभी-कभी शिक्षकों में भी) किस तरह के भ्रम व्याप्त हैं। इन अवधारणाओं को स्पष्ट करने के लिए प्रयोग विकसित किए गए, शिक्षकों के साथ आज़माए गए और फिर इस मॉड्यूल में शामिल किए गए। इस तरह का एक प्रयोग वह है जहाँ यह समझाने की कोशिश की गई है कि ट्यूबलाइट से हमें सुस्पष्ट छाया क्यों नहीं मिलती। इसके अलावा दो प्रकाश स्रोतों की तीव्रता की तुलना वाला प्रयोग भी इसी तरह जुड़ा। एक बात और, हमने कई जगहों पर खुले खोजबीन प्रोजेक्ट्स के लिए विचार दिए हैं। इनमें ऐसे प्रोजेक्ट्स शामिल हैं जिनमें कुछ अवधारणाओं का उपयोग करने की अपेक्षा की जा सकती है।

हम मानते हैं कि बच्चों को यह बात भी सम्प्रेषित होनी चाहिए कि विज्ञान एक निरन्तर चलती हुई प्रक्रिया है। विज्ञान इस रूप में नहीं उभरना चाहिए कि वह कुछ बुद्धिमान 'वैज्ञानिकों' द्वारा विकसित तैयारशुदा उत्पाद है। इस लिहाज़ से विज्ञान के कुछ ऐसे नवीनतम तथ्यों को भी शामिल किया गया है, जो हो सकता है कि इन विद्यार्थियों के अवधारणात्मक स्तर से थोड़े ऊपर हों। चलते-चलते शैली में ये अवधारणाएँ इस उम्मीद में दी गई हैं कि शायद विद्यार्थियों को विज्ञान के लिए रिझाया जा सकेगा और शायद उनमें से कुछ विद्यार्थी विज्ञान का अध्ययन करने को प्रेरित होंगे। हम कई उपकरणों का उपयोग करते हैं। ऐसे कुछ उपकरणों में विकास के इतिहास व तकनीक को शामिल किया गया है ताकि बच्चे विज्ञान के मानवीय पहलू से परिचित हो सकें।

हमारी कल्पना है कि इस मॉड्यूल का उपयोग शिक्षकों द्वारा एक संसाधन के रूप में किया जाएगा। वे विचारों और सिद्धान्तों में स्पष्टता के लिए भी इसकी मदद ले सकते हैं। इस मॉड्यूल की सबसे महत्वपूर्ण बात इसमें विषयवस्तु के प्रस्तुतीकरण की शैली है। शिक्षक चाहें तो सीधे-सीधे इसका उपयोग कर सकते हैं – इसमें दी गई गतिविधियों को इसी क्रम में अपनी कक्षा में करवा सकते हैं। मॉड्यूल जानकारी परोसने के आम ढर्रे से थोड़ा हटकर चलता है। हर बात को एक सवाल के रूप में पेश किया गया है और इस सवाल के इर्द-गिर्द गतिविधियों और अवलोकनों के ज़रिए अवधारणाएँ विकसित होती हैं। किसी भी विषय को एक पके-पकाए उत्पाद के रूप में प्रस्तुत नहीं किया गया है।

मॉड्यूल में अवधारणाओं का विकास कदम दर कदम किया गया है और भाषा सरल रखी गई है। इसके चलते यह मॉड्यूल बच्चों के लिए कक्षा के बाहर भी खोजबीन का एक साधन बन सकता है। उम्मीद तो यह है कि किसी सीनियर अथवा वयस्क की थोड़ी-सी मदद से कोई भी बच्चा गतिविधियों को कर सकेगा। बच्चा पाठ्यवस्तु को पढ़े, सम्बन्धित प्रयोग करे, सवालों के जवाब दे, तर्क को समझते हुए आगे बढ़े। मकसद बच्चे के मन में सवाल पैदा करना है जिनके जवाब मॉड्यूल में दी गई गतिविधियाँ करके खोजे जा सकें।

इस मॉड्यूल को करते हुए आपके मन में कई सवाल उठेंगे। इनमें से कुछ सवालों के जवाब मॉड्यूल की मदद से खोजना सम्भव होगा। कुछ सवाल ऐसे भी होंगे जो आप हमारे साथ साझा करना चाहेंगे। ऐसे सवाल और अपने विचार व टिप्पणियाँ हमें निम्नलिखित पते पर भेजें:

सवालीराम
मार्फत एकलव्य
ई-10, शंकर नगर बीडीए कॉलोनी,
शिवाजी नगर, भोपाल 462 016

परिचय

प्रकाश कई मायनों में महत्वपूर्ण है। हम में से ज़्यादातर लोग जो भी ज्ञान हासिल करते हैं, उसका एक बड़ा हिस्सा तो आसपास की चीज़ों को देखकर प्राप्त होता है। और प्रकाश के साथ खेलकूद और प्रयोग बहुत मज़ेदार होते हैं। हालाँकि प्रकाश की वास्तविक प्रकृति अत्यन्त जटिल है मगर इसके कुछ नियम हैं जो न सिर्फ सरल हैं बल्कि इन्हें समझने में मज़ा भी आता है। इस मॉड्यूल की शुरुआत हम करेंगे प्रकाश और छाया के सम्बन्ध को समझकर। इसके बाद हम परावर्तन और अपवर्तन की बात करेंगे। फिर आगे बढ़ते हुए हम प्रकाश और रंगों के बिखरने (प्रकीर्णन) की बात उठाएँगे। और ये सारी बातें भारी-भरकम सिद्धान्तों के रूप में नहीं होंगी। हम कई गतिविधियों, प्रयोगों, खिलौनों और खेलों की मदद से सीखेंगे।

तो तैयार हैं इस मज़ेदार सफर के लिए?

कुछ सवाल

यदि मैं आपसे पूछूँ कि देखने के लिए क्या लगता है, तो आप सोचेंगे कि क्या फालतू सवाल है। सब जानते हैं कि हम अपनी आँखों से देखते हैं। हम यह भी जानते हैं कि हम तभी देख सकते हैं जब प्रकाश उपस्थित हो। यानी देखने के लिए दो चीज़ें ज़रूरी हैं – आँखें और प्रकाश।

हूँऽऽऽ...बढ़िया। यदि मैं मेज़ पर एक पेंसिल रख दूँ और उस पर धूप पड़ रही हो, तो निस्सन्देह आप पेंसिल को देख सकेंगे। मगर...मगर यदि मैं वही पेंसिल एक दीवार के पीछे रखी मेज़ पर रख दूँ और रोशनी हो, तो भी आप उसे नहीं देख पाएँगे। क्यों? ज़ाहिर है बीच में रुकावट आ गई है। तो किसी वस्तु (जैसे पेंसिल) को देखने के लिए अब तीन शर्तें हो गई हैं – आँखें, प्रकाश की उपस्थिति और वस्तु व हमारी आँख के बीच रुकावट का न होना। क्या और कोई शर्त भी है? नहीं? पक्का?

ऊपर के चित्र को देखिए। क्या आप पत्तियों के बीच तितली को देख पाए? मैं जानता हूँ कि यह वाक्य पढ़ने के बाद आप में से कई लोगों ने चित्र को एक बार फिर ज़रूर देखा होगा (अरे...क्या इस तस्वीर में तितली भी है, ज़रा फिर से देखती हूँ...)। तितली के रंगों में ऐसी कुछ बात थी कि हम उसे देखने से चूक गए। वह बात क्या थी?

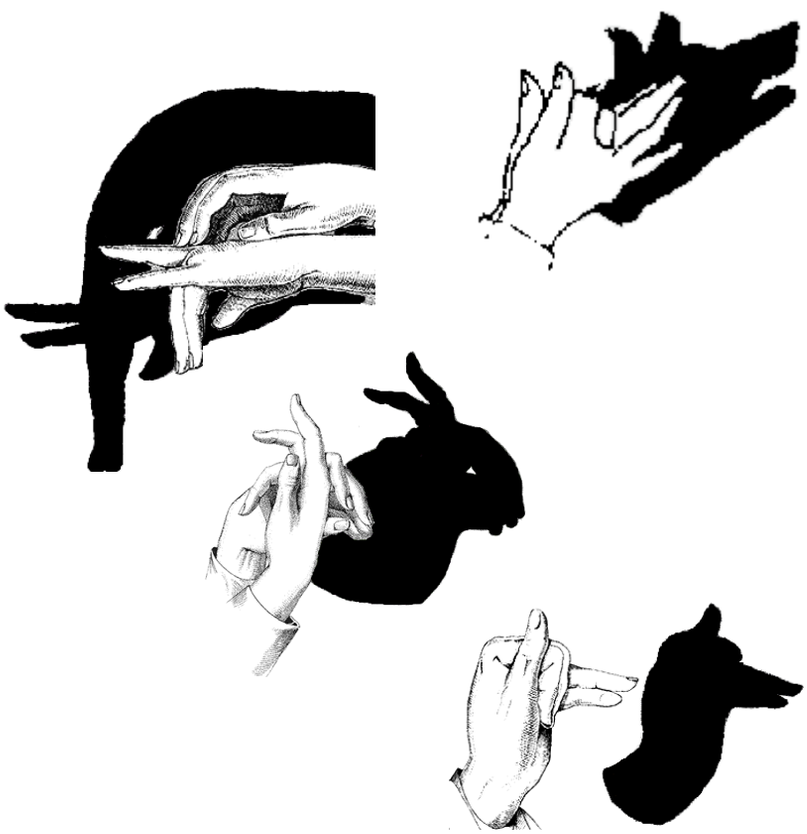
ऐसे कई और सवाल हैं। जैसे, क्या आप काँच की खिड़की में से बाहर के पेड़ देख सकते हैं? हम दीवार के आर-पार तो नहीं देख सकते मगर काँच के आर-पार देख सकते हैं। यानी काँच में कुछ खास बात है। वह क्या है?

यदि आप एक पेंसिल को धूप में रखें तो दीवार पर या फर्श पर उसकी छाया बनेगी। छाया बनने के लिए क्या ज़रूरी होता है? क्या छाया हमेशा बनती है? क्या काँच की छाया बनती है? क्या ट्यूबलाइट के नीचे छाया बनती है? क्या ट्यूबलाइट से बनी छाया और बल्ब से बनी छाया एक जैसी होती हैं?

सूर्य का प्रकाश यानी धूप पृथ्वी पर, हम पर, पेड़ों पर, सड़कों पर, घरों पर, हर चीज़ पर पड़ती है और धूप में हम चीज़ों को देख पाते हैं। मगर क्या हम प्रकाश यानी धूप को देख पाते हैं? कहने का मतलब यह है कि यदि धूप किसी वस्तु पर पड़ती है, तो हमें वह चीज़ चमकती हुई दिखती है मगर जब तक धूप वस्तु पर न पड़े, हमें धूप दिखाई नहीं देती। हाँ, हवा में धूल उड़ रही हो तो हमें प्रकाश का रास्ता दिखता है मगर यदि धूल न हो तो? क्या तब भी हमें प्रकाश का रास्ता दिखेगा?

ऐसा लगता है कि प्रकाश का मामला इतना सरल भी नहीं है। चलो, इसका अध्ययन ज़्यादा बारीकी से करते हैं। शुरुआत छाया से करेंगे।

छाया के खेल



गतिविधि 1

तुमने धूप में अपनी छाया ज़रूर देखी होगी। ऐसा लगता है कि छाया सदा तुम्हारा पीछा करती है और तुम जो भी करो उसकी नकल करती है। चलो, छाया के साथ कुछ खेल-खिलवाड़ करें।

एक कमरे में अँधेरा कर लो। अपने सारे दोस्तों और परिवार के सदस्यों को वहाँ बुला लो। कमरे में एक मोमबत्ती जला लो। अपने हाथों को मोमबत्ती के सामने इस तरह रखो कि उनकी छाया सामने दीवार पर पड़े। यह दीवार ही तुम्हारा रंगमंच है। यहाँ दिए गए चित्रों को देखो। अपने दोनों हाथों की मदद से चित्र में दिखाई अलग-अलग आकृतियाँ बनाओ और कोशिश करो कि दीवार पर विभिन्न जीव-जन्तुओं की आकृतियाँ बनें। क्या तुम्हारे दर्शक (दोस्त और परिवार के सदस्य) इन जानवरों को पहचान पाए? यदि छाया का असर बढ़ाना चाहो, तो साथ में आवाज़ भी कर सकते हो।

गतिविधि 2

छायाओं को और अच्छे से समझने के लिए एक प्रयोग करो।

इसके लिए तुम्हें गत्ते के वर्गाकार और वृत्ताकार टुकड़ों की ज़रूरत होगी। इसके अलावा, पर्दा बनाने के लिए एक बड़ा सफेद कागज़ चाहिए होगा।

इस प्रयोग को खुली धूप में करना होगा।

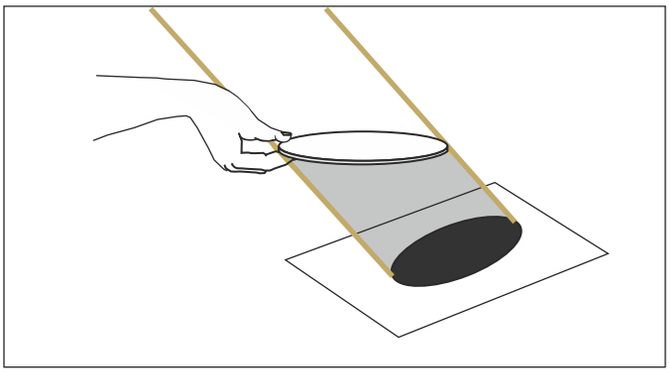
सफेद कागज़ को फर्श पर धूप में बिछा दो।

अब वृत्ताकार टुकड़े को इस तरह पकड़ो कि उसकी छाया सफेद कागज़ से बने पर्दे पर पड़े। हम गत्ते के इस टुकड़े को 'वस्तु' कहेंगे।

अपने दोस्त से कहो कि एक पेंसिल की मदद से पर्दे पर पड़ रही छाया की रूपरेखा बना दे। यह छाया वृत्ताकार है या अण्डाकार? क्या तुम इसे वृत्ताकार बना सकते हो? इसके लिए क्या करना होगा?

वस्तु को जिस कोण पर पकड़ा है, शायद उसे बदलने से मदद मिले। करके देखो। छाया की आकृति को बदलने के लिए और क्या-क्या कर सकते हो?

इसी प्रयोग को वर्गाकार टुकड़े से भी करके देखो और कोशिश करो कि छाया वर्गाकार बने।



हूबहू वस्तु की आकृति की छाया बनाने के लिए पर्दे और वस्तु के आपसी कोण के बारे में तुम क्या कह सकते हो?

इसी प्रकार से पर्दे और वस्तु के बीच की दूरी बदल-बदलकर देखो कि छाया के साइज़ पर क्या असर पड़ता है?

कागज़ को किसी सपाट जगह पर रखकर पर्दा बनाने की बजाय वर्गाकार टुकड़े की छाया किसी गेंद या गोल टोकरी पर पड़ने दो। अब छाया की आकृति कैसी है?

इसी प्रयोग को सूरज के प्रकाश की बजाय एक बल्ब के प्रकाश में भी करके देखो। इसमें प्रकाश के स्रोत (बल्ब) और वस्तु के बीच की दूरी या वस्तु और पर्दे के बीच की दूरी बदलकर देखो। ये दूरियाँ बदलने पर छाया के साइज़ पर क्या असर पड़ता है?

इस प्रयोग में तुमने सफेद कागज़ का उपयोग पर्दे के रूप में किया। अब पर्दे के रूप में एक काला कागज़ लेकर प्रयोग करके देखो। क्या छाया उतनी ही पैनी और स्पष्ट बनती है जितनी सफेद कागज़ पर बनी थी?

छाया के साथ खेलते हुए तुम समझ ही गए होगे कि छाया बनने के लिए तीन चीज़ों की ज़रूरत होती है: 1) वस्तु, 2) प्रकाश का स्रोत, और 3) कोई सतह या पर्दा जिस पर छाया पड़ सके।

गोले की छाया

गेंद जैसी कोई गोल वस्तु लो। इसकी छाया बनाओ। यह देखो कि क्या वस्तु, प्रकाश के स्रोत और पर्दे के बीच के कोण बदलने से इसकी छाया की आकृति बदलती है?

क्या हर चीज़ की छाया बनती है?

यदि ऊपर वाले प्रयोग में गत्ते के टुकड़ों की जगह काँच के टुकड़े का उपयोग वस्तु के रूप में करें, तो तुम्हारे विचार में क्या हमें उसी तरह की छाया मिलेगी?

ऐसा लगता है कि कुछ चीज़ें ऐसी हैं जिनकी छाया नहीं पड़ती। नीचे तालिका में कुछ वस्तुओं की सूची दी गई है। इनका वर्गीकरण इस आधार पर करो कि कौन-सी वस्तुएँ उन पर पड़ने वाले प्रकाश को रोकती हैं और कौन-सी वस्तुएँ प्रकाश को आर-पार जाने देती हैं। इन वस्तुओं की तुलना करने के लिए तुम्हें एक उचित तरीका विकसित करना होगा (सुराग – तुलना करते वक्त एक ही प्रकाश स्रोत का उपयोग करो)। अपना तरीका समझाओ और यह भी बताओ कि तुमने क्या देखा। चलो अब कुछ शब्द परिभाषित कर लेते हैं। जो वस्तुएँ प्रकाश को आर-पार नहीं जाने देतीं उन्हें **अपारदर्शी** कहते हैं। जो वस्तुएँ प्रकाश को आर-पार जाने देती हैं उन्हें **पारदर्शी** कहते हैं।

तालिका

वस्तु	प्रकाश को पार जाने देती है या नहीं जाने देती	वस्तु	प्रकाश को पार जाने देती है या नहीं जाने देती
काँच का कप		तिल का तेल	
बीकर		नदी का पानी	
नल का पानी		दूध	
केरोसीन		पानी मिला दूध	
नारियल का तेल		धुआँ	
कागज़		प्लास्टिक की पन्नी	
एक्रिलिक शीट		बटर पेपर	
कार्डबोर्ड		पत्ती	
स्टील का बरतन		काँच का पतीला	
सफेद कागज़		चलनी	

कुछ वस्तुओं के लिए तो यह फैसला करना आसान रहा होगा कि वे पारदर्शी हैं या अपारदर्शी हैं। मगर कुछ वस्तुएँ बीच में कहीं रही होंगी। इन चीज़ों को हम **अल्प-पारदर्शी** या **पारभासी** कहते हैं।

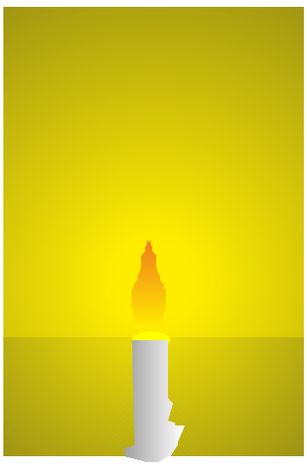
क्या पारदर्शिता का सम्बन्ध वस्तु की मोटाई से है? सोचो।

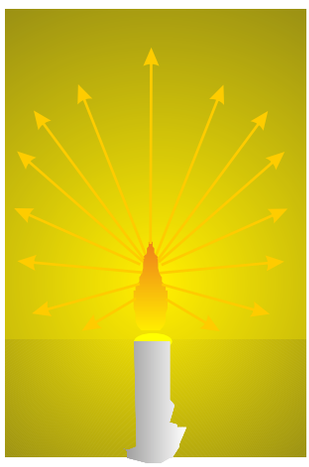
यह तो हो गई बात उस वस्तु की जिसकी छाया हम बनाना चाहते हैं। पर्दे के बारे में क्या विचार है? क्या वह भी अपारदर्शी होना चाहिए?

तुमने देखा होगा कि यदि पर्दा सफेद हो, तो हमें छाया ज़्यादा साफ दिखती है बनिस्बत काले पर्दे के। ऐसा क्यों होता है? इस सवाल का जवाब देने के लिए हमें यह समझना होगा कि छाया बनती क्यों है।

वस्तुओं की छाया कैसे बनती है?

पुराने ज़माने में लोग मानते थे कि हमारी आँखों से कोई चीज़ निकलकर वस्तु तक जाती है और उसी के कारण हम चीज़ों को देख पाते हैं। फिर धीरे-धीरे उन्होंने निष्कर्ष निकाला कि हम किसी चीज़ को तभी देख पाते हैं जब उससे निकलने वाला या उससे परावर्तित होने वाला प्रकाश हमारी आँखों तक पहुँचता है।



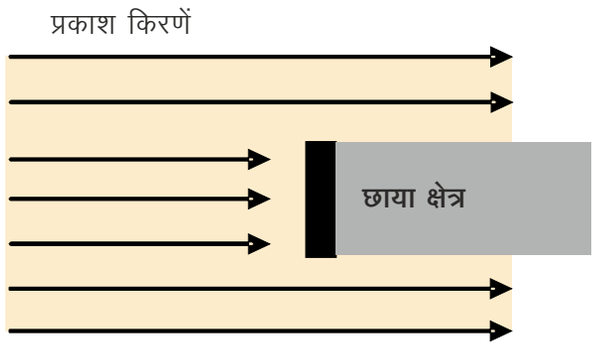


प्रकाश किसी स्रोत – मोमबत्ती या बल्ब या सूरज – से निकलता है और सारी दिशाओं में फैलता है। प्रकाश को किरणों से बना मानें तो प्रकाश के फैलने की बात को समझना आसान हो जाता है।

पिछले प्रयोग में हमने देखा था कि कागज़ के जिस हिस्से पर प्रकाश पड़ता है वह चमकदार दिखता है। छाया वाला हिस्सा थोड़ा अँधेरे वाला था क्योंकि वस्तु ने सूरज के प्रकाश को रोक लिया था। इसलिए उस हिस्से में कम प्रकाश पहुँचता है। इसी बात को हम थोड़े अलग शब्दों में कहेंगे:

जब कोई अपारदर्शी वस्तु प्रकाश किरणों के मार्ग में आ जाती है तो हमें छाया नज़र आती है। वस्तु के कारण कुछ किरणें रुक जाती हैं (साथ के चित्र को देखो) जबकि शेष प्रकाश किरणें पर्दे के बाकी हिस्से पर पड़ती रहती हैं और उसे प्रकाशित करती रहती हैं। प्रकाश किरणों से प्रकाशित हिस्सा तो चमकदार दिखता है जबकि शेष हिस्से में अँधेरा हो जाता है और वह काला दिखता है। इसी अँधेरे हिस्से को हम छाया कहते हैं।

जब हमने सफेद कागज़ की जगह काला कागज़ लिया था तो क्या देखा था? काले कागज़ पर इस बात से कोई फर्क नहीं पड़ता कि किसी हिस्से पर प्रकाश पहुँच रहा है या नहीं। दूसरे



शब्दों में, प्रकाशित व अप्रकाशित हिस्सों में कोई अन्तर नहीं होता। इस अन्तर को हम 'कॉन्ट्रास्ट' कहते हैं। कॉन्ट्रास्ट शब्द का उपयोग हम दैनिक जीवन में भी करते हैं। यहाँ हम सिर्फ यही ध्यान रखेंगे कि छाया तब बेहतर दिखती है जब पर्दा हल्के रंग का हो।

बच्ची की छाया को उचित जगह पर बनाएँ।

हमने देखा कि छाया की साइज़ और आकृति प्रकाश के स्रोत, वस्तु और पर्दे की स्थिति पर निर्भर करती है। बाजू के चित्र को देखो और बताओ कि इसमें निम्नलिखित स्थितियों में छाया किस दिशा में बनेगी और कितनी लम्बी बनेगी:

क) जब बच्ची बिजली के खम्भे के नज़दीक आ रही हो?

ख) बिजली के खम्भे के ठीक नीचे खड़ी हो?

ग) जब वह बिजली के खम्भे के आगे निकल गई हो?

सूरज को उगते और डूबते तो हमने रोज़ देखा है।

तुमने यह भी देखा होगा कि दिन के अलग-अलग समय पर वस्तुओं की छाया की लम्बाइयाँ अलग-अलग होती हैं। क्या धूप में छाया की लम्बाई व दिशा देखकर हम समय बता सकते हैं?

पुराने ज़माने में जब घड़ियाँ नहीं बनी थीं, उस समय लोग इसी तरीके से समय का अन्दाज़ लगाते थे। इसके लिए उन्होंने बड़ी-बड़ी सूर्य घड़ियाँ भी बनाई थीं। ऐसी ही एक घड़ी जयपुर में भी है।

जन्तर मन्तर, जयपुर

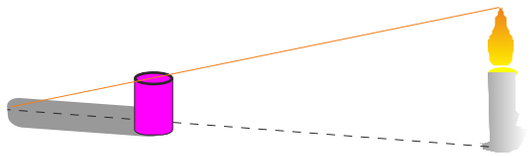
हम किसी चीज़ को कितनी अच्छी तरह देख सकेंगे, यह उपलब्ध प्रकाश की मात्रा पर निर्भर करता है। यदि वस्तु से बहुत कम प्रकाश आ रहा है, तो आँख उसे देख नहीं पाएगी।

उल्लू और बिल्ली जैसे कुछ जानवर बहुत मद्धिम प्रकाश में भी देख सकते हैं। उनकी आँखें हमारी आँखों की तुलना में ज़्यादा संवेदनशील होती हैं। इसलिए वस्तु से बहुत कम प्रकाश आए, तो भी वे उसे देख लेते हैं।

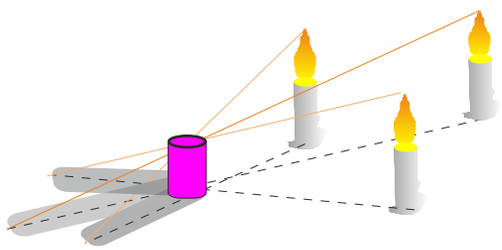
चमचमाती धूप में छाया के साथ प्रयोगों में हमें पैनी (सुस्पष्ट) छायाएँ मिली थीं। बिजली के साधारण बल्ब या मोमबत्ती की रोशनी में भी सुस्पष्ट छायाएँ मिलती हैं। मगर क्या ट्यूबलाइट, सीएफएल या दूधिया बल्ब की रोशनी में भी ऐसी छाया मिलेगी? ऐसी रोशनी में प्रयोग करके देखो कि कैसी छाया मिलती है।

ट्यूबलाइट की रोशनी में छाया क्यों नहीं बनती?

क्या तुम सोच सकते हो कि ऐसा क्यों होता है? इस बात का पता करने के लिए एक सरल प्रयोग कर सकते हो।



एक अँधेरे कमरे में एक जलती हुई मोमबत्ती को एक मेज़ पर रख दो। एक चॉक को इसके नज़दीक खड़ा कर दो। चॉक की छाया को देखो।



अब मेज़ के दूसरे छोर पर इसी प्रकार से एक और मोमबत्ती और चॉक जमाओ। ज़रूरी हो, तो इन दो सेट्स के बीच कुछ आड़ लगा दो। दोनों छायाओं की तुलना करके पक्का कर लो कि वे एक जैसी हैं। इसके बाद दूसरे वाले सेट में चित्र के अनुसार 1-2 जलती हुई मोमबत्तियाँ और लगा दो और देखो कि छाया में क्या परिवर्तन होता है।

चूँकि हमने मोमबत्तियों को एक-दूसरे से थोड़ी दूरी पर रखा था, इसलिए छायाएँ अलग-अलग दिशा में बन रही थीं। मोमबत्तियों को थोड़ा पास-पास लाओ और देखो कि छाया पर क्या असर पड़ता है।

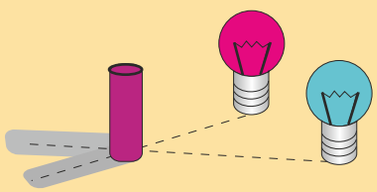
दोनों स्थितियों में छाया की तुलना करो। क्या वे बराबर गहरे रंग की हैं? एक मोमबत्ती जलाने पर छाया वाले हिस्से को छोड़कर मेज़ का बाकी हिस्सा एक मोमबत्ती द्वारा प्रकाशित हो रहा था। दूसरे मामले में एक मोमबत्ती के कारण बनी छाया वाले हिस्से में दूसरी मोमबत्ती का प्रकाश पहुँच रहा था। इसलिए मेज़ का वह हिस्सा अब कम गहरा काला नज़र आता है। यदि हम कई मोमबत्तियाँ जलाकर रख दें तो छाया को क्या होगा? सोचो। क्या हर छाया इतने गहरे रंग की होगी कि हम उसे अलग से देख सकें? या क्या वे एक-दूसरे में घुल-मिल जाएँगी?

ट्यूबलाइट जैसे प्रकाश स्रोतों के मामले में ऐसा ही कुछ होता है।

मोमबत्ती या साधारण बल्ब जैसे प्रकाश स्रोतों को हम **बिन्दु स्रोत** मान सकते हैं। ट्यूबलाइट जैसे प्रकाश स्रोतों को **विस्तारित स्रोत** कहेंगे।

स्टूडियो में फोटो खींचते समय फोटोग्राफर एक से अधिक प्रकाश स्रोतों का उपयोग क्यों करते हैं?

बहुत ऊपर उड़ते हवाई जहाज़/पक्षी की छाया क्यों नहीं बनती?



क्या छाया हमेशा काली होती है?

अनुमान से बताओ कि मोमबत्ती की जगह पर यदि हम दो अलग-अलग रंगों के बल्बों का उपयोग करें (जैसा कि चित्र में दिखाया गया है) तो क्या होगा? इसे करके देखो और अपने उत्तर की जाँच करो।

गतिविधि 4

प्रकाश कैसे चलता है?

जब भी हमें सूरज का चित्र बनाने को कहा जाता है, तो हम इस तरह बनाते हैं, इस तरह बनाकर हम दिखा पाते हैं कि सूरज चमक रहा है। मगर इस चित्र में जो रेखाएँ बनाई गई हैं, वे क्या हैं? चित्रकार क्या दर्शाने की कोशिश कर रहा/रही है? इसकी थोड़ी और छानबीन करते हैं।

तुम्हारे पास एक मोमबत्ती और एक पर्दा है। इनके बीच एक कार्डबोर्ड का टुकड़ा रखो, जिसमें एक सुराख हो। हम देखते हैं कि कुछ प्रकाश इस सुराख में से गुज़रता हुआ पर्दे पर पड़ता है।

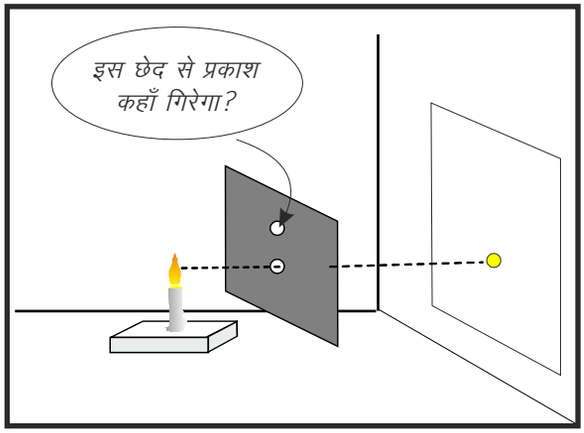
यदि हम छोटे-छोटे सुराख वाले कार्डबोर्ड के ऐसे तीन टुकड़े इस तरह जमाएँ कि उनके सुराख एक सीध में हों, तो हम उनमें से आर-पार देख पाएँगे। यदि इनमें से एक कार्डबोर्ड को थोड़ा-सा भी हिला दिया तो हम दूसरी ओर का दृश्य नहीं देख पाएँगे। इसका मतलब यह है कि कार्डबोर्ड के दूसरी ओर रखी किसी वस्तु से जो प्रकाश निकलता है वह सीधी रेखा में ही चलता है।

जब हम कहते हैं कि प्रकाश सीधी रेखा में चलता है तो कभी-कभी ऐसा मान लिया जाता है कि प्रकाश सीधी क्षैतिज (आड़ी) रेखा में चलता है। मगर हम देखते हैं कि प्रकाश तो चारों ओर पहुँच रहा है। तो क्या प्रकाश हर दिशा में सीधी रेखा में चलेगा। निम्नलिखित प्रयोग करके देखो।

गतिविधि 5

इसके लिए तुम्हें 1 मोमबत्ती, काले कागज़ और सफेद कागज़ की ज़रूरत पड़ेगी।

इस प्रयोग को किसी ऐसे कमरे में करना बेहतर होगा जहाँ रोशनी कम हो।



काले कागज़ के एक टुकड़े में एक सुराख (करीब 3 मिमी) कर लो। मोमबत्ती जला लो। सुराख वाले काले कागज़ को मोमबत्ती से कुछ दूरी पर पकड़कर रखो। यह ध्यान रखना कि मोमबत्ती की लौ और सुराख एक ही ऊँचाई पर हों। काले कागज़ के पीछे की ओर एक सफेद कागज़ को पकड़कर रखो। यह पर्दा है। तुम्हें सफेद कागज़ के पर्दे पर एक चमकीला धब्बा दिखेगा। सफेद कागज़ को आगे-पीछे सरकाओ (ऊँचाई न बदलें)। क्या पर्दे पर पड़ने वाले चमकीले धब्बे की स्थिति बदलती है?

अब काले कागज़ को थोड़ा ऊपर उठाओ। तुम्हें क्या लगता है चमकीला धब्बा पर्दे पर कहाँ बनेगा?

चित्र में दिखाए अनुसार यदि हम काले कागज़ में एक और सुराख बना दें, तो चमकीला धब्बा कहाँ बनेगा? यदि हम मोमबत्ती की लौ, काले कागज़ में बने सुराख और सफेद पर्दे पर बने चमकीले धब्बे को एक रेखा से जोड़ें तो क्या वह एक सरल रेखा होगी? क्या यह रेखा हमेशा क्षैतिज (आड़ी) दिशा में होगी?

कल्पना करो यदि प्रकाश सरल रेखा में न चले। क्या तब भी छाया बनेगी? अपने साथियों से चर्चा करो।

प्रकाश के बारे में इस जानकारी की मदद से अब हम एक रोचक उपकरण बनाएँगे — पिन होल कैमरा।

अपना पिन होल कैमरा बनाओ

गतिविधि 6

ज़रूरी सामग्रीः मोटे गत्ते (कार्ड शीट) के दो टुकड़े, कार्बन कागज़, अर्ध-पारदर्शी कागज़ (बटर पेपर चलेगा), गोंद।

चित्र में दिखाए अनुसार कार्ड शीट के टुकड़ों से दो नलियाँ बना लो। नलियों के व्यास लगभग 30 मिमी होना चाहिए। एक नली का व्यास दूसरी से थोड़ा कम होना चाहिए ताकि इसे दूसरी नली में पिरोने पर दोनों के बीच ज़्यादा जगह न रहे।

ज़्यादा व्यास वाली नली के एक छोर पर कार्बन कागज़ चिपका दो। इस काले कागज़ के बीचोंबीच पिन की मदद से एक बारीक छेद कर दो। पिन से किए गए ऐसे बारीक छेद को पिन होल कहते हैं।

दूसरी नली (कम व्यास वाली) के एक मुँह पर बटर पेपर लगा दो। यदि बटर पेपर न हो, तो एक सादे सफेद कागज़ से भी काम चल जाएगा। करना यह होगा कि इस पर थोड़ा-सा तेल मल दो ताकि यह अर्ध-पारदर्शी हो जाए। पतली वाली नली को मोटी नली में इस तरह घुसाओ कि बटर पेपर लगा सिरा अन्दर की ओर रहे।

तुम्हारा पिन होल कैमरा तैयार है।

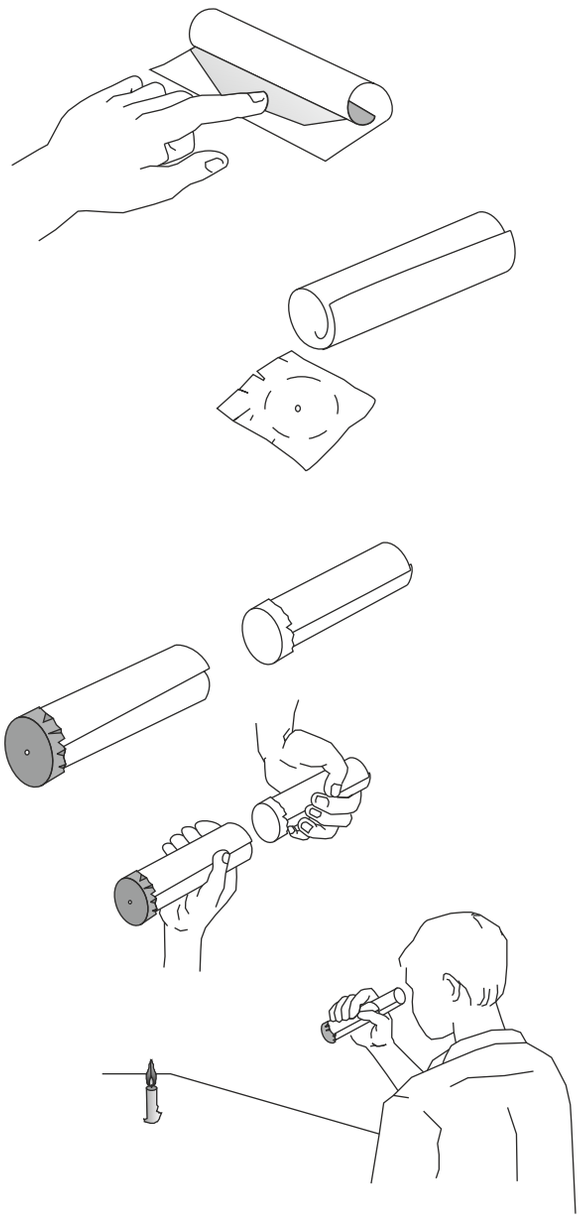
मेज़ पर एक मोमबत्ती जलाकर रख दो। पिन होल को मोमबत्ती की ओर करके कैमरे में से देखो। तुम्हें कैमरे के पर्दे (यानी बटर पेपर पर) मोमबत्ती की लौ का प्रतिबिम्ब दिखाई देगा।

यदि तुम कैमरे को मोमबत्ती के निकट ले जाओगे तो प्रतिबिम्ब ज़्यादा चमकदार हो जाएगा।

पर्दे वाली नली को आगे-पीछे सरकाओगे, तो क्या प्रतिबिम्ब छोटा-बड़ा होगा? पर्दे को पिन होल के पास या दूर ले जाने पर क्या होता है?

पिन होल कैमरा की मदद से खिड़की से बाहर धूप में रखी चीज़ों को देखो। यह ध्यान दो कि प्रतिबिम्ब कैसा है।

प्रतिबिम्ब के तुम्हारे अवलोकन क्या हैं?



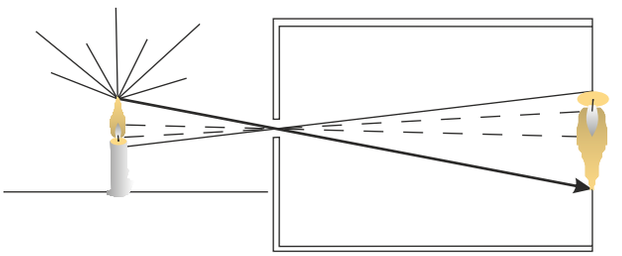
क्या प्रतिबिम्ब उल्टे बनते हैं? क्या प्रतिबिम्ब चमकदार और सुस्पष्ट हैं?

हमने कहा था कि पिन होल कैमरा का सुराख बहुत बारीक होना चाहिए। क्यों?

चलो यह समझने की कोशिश करते हैं कि हो क्या रहा है।

यहाँ हम प्रकाश किरणों की अवधारणा का उपयोग करेंगे। हमने कहा था कि मोमबत्ती हर दिशा में प्रकाश किरणें छोड़ती है। ये किरणें सरल रेखा में तब तक आगे बढ़ती हैं जब तक कि मार्ग में कोई रुकावट न आ जाए। पिन होल कैमरे के पर्दे पर प्रतिबिम्ब कैसे बनता है, इसे समझने के लिए हम वस्तु से (मोमबत्ती की लौ से) निकलकर विभिन्न दिशाओं में जाने वाली किरणों को बनाते हैं। मगर प्रतिबिम्ब तो उन्हीं किरणों की वजह से बनता है जो पिन होल में से निकलकर पर्दे तक पहुँचती हैं। ऐसी किरणें कम होंगी मगर फिर भी काफी होंगी। प्रतिबिम्ब कैसे बनता है, इसे समझने के लिए हम दो किरणों को नमूने के तौर पर लेंगे – एक किरण लौ के ऊपरी सिरे से निकलने वाली और दूसरी किरण लौ के निचले हिस्से से निकलने वाली।

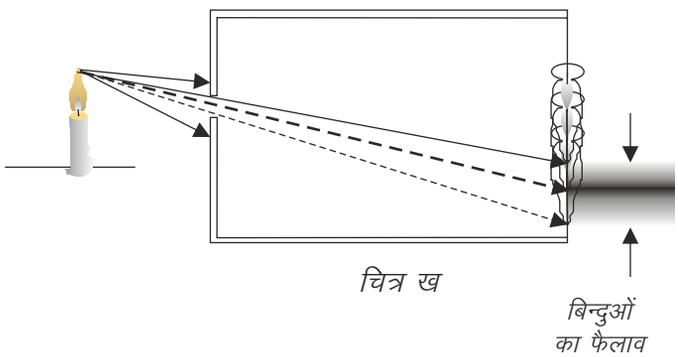
चलो, पहले लौ के ऊपरी छोर से निकलने वाली किरण को देखते हैं। नीचे के चित्र क में उस किरण को देखो जो मोटी साबुत रेखा से बनी है। जहाँ यह बटर पेपर से टकराएगी, उसी बिन्दु पर हमें लौ के ऊपरी सिरे का प्रतिबिम्ब दिखेगा। एक किरण हम लौ के निचले सिरे से निकलने वाली लेते हैं (पतली साबुत रेखा) और यह देखने की कोशिश करते हैं कि यह बटर पेपर पर किस बिन्दु पर टकराएगी। यदि ज़रूरी हुआ तो हम लौ के अलग-अलग हिस्सों से निकलने वाली किरणों को लेकर देख सकते हैं कि वे बटर पेपर पर कहाँ-कहाँ पहुँचती हैं। इन सब किरणों की मदद से हम यह पता लगा सकते हैं कि प्रतिबिम्ब कैसा बनेगा।



चित्र क

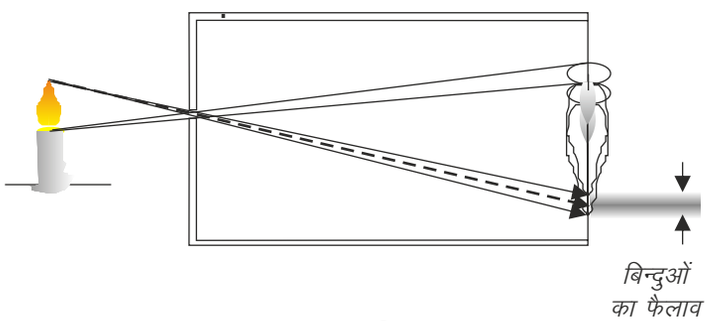
किरणें खींचकर बनाया गया प्रतिबिम्ब सीधा है या उल्टा? क्या यह बात तुम्हारे अवलोकनों से मेल खाती है? वास्तव में लौ के सिरे से सिर्फ एक किरण नहीं निकलती। यहाँ से कई किरणें निकलेंगी और पिन होल तक पहुँचेंगी।

चित्र ख में ऐसी कई किरणें दर्शाई गई हैं। इनमें से हरेक किरण लौ के सिरे का प्रतिबिम्ब बनाएगी। मगर ये किरणें बटर पेपर के एक ही बिन्दु पर नहीं पहुँचती बल्कि थोड़े अलग-अलग बिन्दुओं पर पहुँचती हैं। इसका मतलब हुआ कि सिरे का प्रतिबिम्ब एक स्पष्ट बिन्दु के रूप में नहीं बनेगा बल्कि थोड़ा फैला हुआ होगा। यही बात अन्य बिन्दुओं पर भी लागू होगी। कुल मिलाकर प्रतिबिम्ब थोड़ा धुँधला होगा।



चित्र ख

चित्र ख और ग की तुलना करो। इनमें अन्तर सिर्फ इतना है कि चित्र ग में पिन होल का साइज़ छोटा है। हम देख सकते हैं कि प्रतिबिम्ब बनाने वाले बिन्दुओं का फैलाव कम हो गया है। अर्थात् धुँधलापन कम हो जाएगा और प्रतिबिम्ब ज़्यादा पैना नज़र आएगा।



चित्र ग

प्रतिबिम्ब का चमकीलापन किस बात से तय होता है?

प्रतिबिम्ब का चमकीलापन इस बात पर निर्भर करता है कि पर्दे पर कितना प्रकाश पड़ रहा है। यानी चमकीले प्रतिबिम्ब के लिए बड़ा छेद होना चाहिए। मगर यदि स्पष्ट प्रतिबिम्ब

चाहिए तो छेद छोटा से छोटा होना चाहिए। अर्थात् चमकदार और स्पष्ट प्रतिबिम्ब की शर्तें एक-दूसरे के विपरीत हैं।

एक पिन होल कैमरा और बनाओ। इसका छेद छोटा रखो। इसकी मदद से पता करो कि क्या तर्क के आधार पर निकाले गए उपरोक्त दोनों निष्कर्ष अवलोकनों से मेल खाते हैं?

अब एक सवाल और रह जाता है। हमने दूसरी कार्डबोर्ड नली का उपयोग क्यों किया था?

सवाल का जवाब पता करने का एक तरीका तो यह है कि दूसरी नली के बगैर ही प्रयोग करके देख लो अर्थात् एक ही नली बनाओ और उसके एक सिरे पर बटर पेपर तथा दूसरे सिरे पर सुराख वाला काला कागज़ लगा लो। या चाहो तो पतली नली को थोड़ा बाहर खींच लो ताकि बटर पेपर बाहर रहे। अब प्रतिबिम्ब को देखो। क्या कोई अन्तर नज़र आता है? यदि हाँ, तो क्या?

वास्तव में दूसरी (मोटी वाली) नली एक आड़ की तरह काम करती है और बाहर के प्रकाश को बटर पेपर पर पड़ने से रोकती है। इस तरह से तुम्हें जो प्रतिबिम्ब मिलता है वह साफ दिखाई पड़ता है। इसी वजह से सिनेमा हॉल में फिल्म अँधेरे में दिखाई जाती है।

कैमरा ऑब्सक्यूरा

कैमरा ऑब्सक्यूरा दरअसल एक बड़ा पिन होल कैमरा होता है। वैसा ही जैसा तुमने अभी बनाया था। पहले तो कैमरा ऑब्सक्यूरा एक बड़े से अँधेरे कमरे में बनाया जाता था। ऐसा पहला कैमरा अरबी वैज्ञानिक अबु अली अल हसन (965-1039) ने बनाया था। इसका उपयोग आंशिक सूर्य ग्रहण व कई अन्य वैज्ञानिक अध्ययनों में किया गया था। इसका उपयोग कलाकार लोग भी किया करते थे। खास तौर से किसी व्यक्ति की तस्वीर बनाते समय। कभी-कभी इसमें एक दर्पण भी लगा दिया जाता था। पिन होल की मदद से जो भी प्रतिबिम्ब बनेगा दर्पण उसका प्रतिबिम्ब सामने लगे एक पर्दे पर बना देगा। फिर कलाकार इस प्रतिबिम्ब को देखकर वस्तु का चित्र बनाते थे।

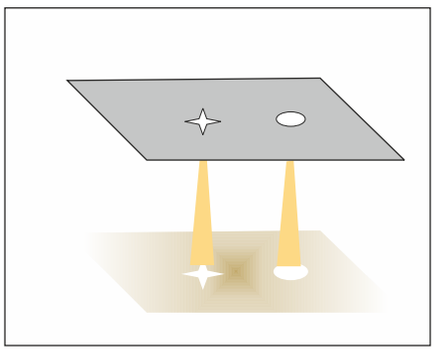
अपना कैमरा ऑब्सक्यूरा बनाओ

किसी कमरे की सारी खिड़कियों पर मोटे कपड़े के पर्दे लगाकर कमरे में अँधेरा कर दो। हाँ, किसी एक खिड़की के पर्दे में एक छोटा-सा सुराख छोड़ देना। अब तुम सामने वाली दीवार पर बाहर का नज़ारा देख सकते हो।

किसी बड़े पेड़ की ठण्डी छाया में खड़े रहने का आनन्द तो सबने लिया होगा। पत्तियों के बीच-बीच में से धूप भी आती रहती है। क्या तुमने कभी इस धूप की वजह से ज़मीन पर पड़ने वाले धब्बों की आकृति पर ध्यान दिया है?

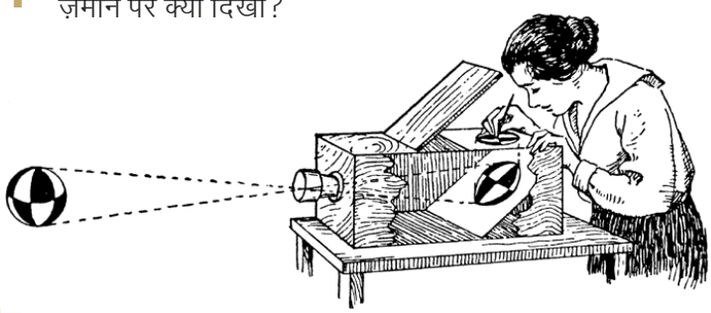
बाजू के फोटोग्राफ को देखो। प्रकाश के धब्बों की आकृति हमेशा गोल ही क्यों होती है? यह तिकोन, चौकोन वगैरह क्यों नहीं होती? तुम्हारे विचार में ऐसा क्यों होता है?

ऊपर बॉक्स में पूछे गए सवाल का जवाब पाने के लिए हम एक और गतिविधि करेंगे। हो सकता है इस गतिविधि से हमें कुछ सुराग मिलें।



कागज़ की एक शीट लेकर पंचिंग मशीन की मदद से उसमें एक छेद कर दो। उसी कागज़ पर थोड़ी-थोड़ी दूरी पर अलग-अलग आकृति के कुछ और छेद करो, जैसे तिकोन, वर्गाकार वगैरह। ध्यान देने की बात यह है कि सारे छेद लगभग बराबर साइज़ के हों। इस कागज़ को धूप में इस तरह आड़ा पकड़ो कि यह ज़मीन से करीब 30 सेमी ऊपर रहे।

ज़मीन पर क्या दिखा?



क्या कागज़ की छाया दिख रही है?

क्या इस छाया में छोटे-छोटे प्रकाश के धब्बे दिख रहे हैं? इन धब्बों की आकृतियों को ध्यान से देखो। क्या ये वैसी ही हैं जैसी तुम्हें उम्मीद थी?

अब यदि तुम कागज़ को ज़मीन से दूर ले जाओ, तो तुम्हारे खयाल में क्या प्रकाश के ये धब्बे बड़े हो जाएँगे?

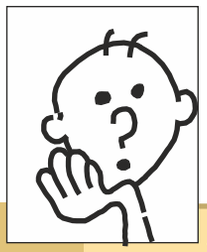
धीरे-धीरे कागज़ को ज़मीन से दूर ले जाओ। कागज़ को अपने सिर से भी ऊपर तक ले जाओ।

क्या देखते हो? क्या विभिन्न आकृतियों के प्रतिबिम्ब बड़े होते जाते हैं?

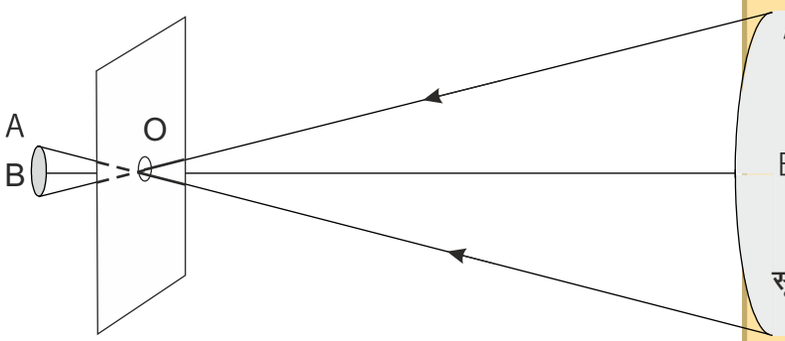
कागज़ को एक ऊँचाई तक ले जाने के बाद प्रतिबिम्बों की आकृतियाँ क्यों बदल गईं? क्या तुम इस बात का कोई सम्बन्ध पिन होल कैमरा में प्रतिबिम्ब बनने के ढंग से देख पा रहे हो?

अभी और मदद चाहिए? इस तरह से सोचने की कोशिश करो – कागज़ में जो छेद किया है वह चाहे किसी भी आकृति का हो, एक पिन होल की तरह काम करेगा बशर्ते कि पर्दा (यानी ज़मीन) काफी दूरी पर हो।

इस प्रयोग में वस्तु कौन-सी है?



आंशिक सूर्य ग्रहण के दौरान जब पत्तियों में से प्रकाश रिसकर ज़मीन पर पहुँचेगा तो वहाँ बनने वाले चमकीले धब्बों की आकृति कैसी होगी?



प्रोजेक्ट के लिए सुझाव

सूरज को नापो

सूरज का व्यास नापना लगता तो बहुत कठिन है मगर इसे एक आसान से प्रयोग की मदद से कर सकते हो। इस प्रयोग को मध्याह्न में उस समय करना सबसे बढ़िया होगा जब सूरज ठीक सिर पर हो।

एक सफेद कागज़ में एक छोटा-सा सुराख (व्यास 2-4 मिमी) कर लो।

इस प्रयोग में हम एक सफेद कागज़ को ज़मीन पर बिछाकर पर्दे के रूप में उपयोग करेंगे। सुराख वाले कागज़ को ज़मीन से करीब 30 सेमी ऊपर आड़ा रखो ताकि पर्दे पर रोशनी का एक गोल बिम्ब बन जाए। ज़मीन पर बने इस धब्बे और कागज़ पर बने छेद के बीच की दूरी सावधानी से नाप लो। बिम्ब का व्यास भी नाप लो। इस प्रयोग को छेद वाले कागज़ को अलग-अलग ऊँचाई (50 सेमी, 75 सेमी, 100 सेमी) पर रखकर दोहराओ। हर बार पर्दे व कागज़ के बीच की दूरी और बिम्ब का व्यास सावधानीपूर्वक नापो। अपने अवलोकन नीचे बनी तालिका में लिखो।

क्र.	दूरी	व्यास	अनुपात*
1	50 सेमी		
2	30 सेमी		
3	75 सेमी		
4	100 सेमी		
5	..... सेमी		

$$*\text{अनुपात} = \frac{\text{सुराख और पर्दे के बीच की दूरी}}{\text{प्रतिबिम्ब का व्यास}}$$

क्या अनुपात के बारे में तुमने किसी खास बात पर ध्यान दिया? ऐसा क्यों होता है?

सुरागः त्रिभुज ओएबी तथा ओए' बी' समरूप त्रिभुज हैं। ओबी' सूर्य और पृथ्वी के बीच की दूरी है जबकि ए'बी' सूर्य की त्रिज्या है।

यदि तुम्हें पृथ्वी से सूर्य की दूरी पता हो, तो अपने परिणामों और इस सुराग की मदद से क्या तुम सूर्य का व्यास निकाल सकते हो?

(सूर्य से पृथ्वी की दूरी लगभग 15 करोड़ किमी है।)

परावर्तन

तुमने परावर्तन कई बार देखा है। तुमने पानी में परावर्तित होते आकाश को देखा होगा और आईने में अपना प्रतिबिम्ब देखा होगा। क्या तुमने कभी सोचा है कि परावर्तन क्यों होता है और कैसे होता है? क्यों प्रतिबिम्ब में दाएँ-बाएँ में उलटफेर हो जाता है और क्या कभी-कभी प्रतिबिम्ब टेढ़ा-मेढ़ा होता है? इस अध्याय में हम इन्हीं चीज़ों का अध्ययन करेंगे और ऐसे कुछ सवालों के जवाब देने की कोशिश करेंगे।

इस खोजी यात्रा में पहले-पहल हम यह समझने की कोशिश करेंगे कि दर्पण जैसी किसी चमकीली सतह से परावर्तन कैसे होता है। इसके आधार पर हम परावर्तन के कुछ नियम निकालेंगे।

बाज़ार में लेसर पुंज पॉइंटर्स मिलते हैं। इस पुंज को भी एक किरण माना जा सकता है। इसका उपयोग करते समय काफी सावधानी रखनी पड़ती है। न तो खुद इसकी किरण को देखो, न इसे किसी दूसरे की ओर करके चमकाओ। हम तो यही कहेंगे कि लेसर पुंज का उपयोग किसी बड़े व्यक्ति की देखरेख में किया जाए। सावधानी के तौर पर यह ध्यान रखना कि लेसर पुंज को हमेशा आँखों के स्तर से नीचे ही रखो। इसके अलावा किरण पुंज को पैना बनाने के लिए बीम-ब्लॉकर्स का उपयोग करना भी अच्छा होगा। एक मोटे गत्ते का टुकड़ा बीम ब्लॉकर का काम कर सकता है।

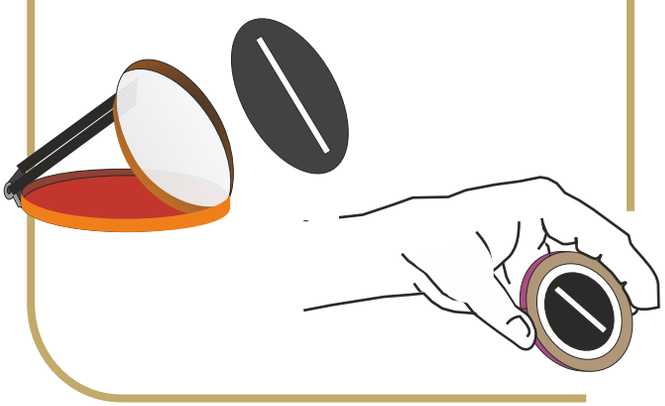
परावर्तन के अध्ययन का सबसे आसान तरीका यह है कि हमारे पास प्रकाश की एक इकलौती किरण हो और हम देखें कि जब यह किसी चमकीली सतह पर पड़ती है तो इसका क्या होता है। मगर दिक्कत यह है कि एक इकलौती प्रकाश किरण प्राप्त करना सम्भव नहीं है और ऐसी इकलौती किरण का अवलोकन करना भी असम्भव है। इस समस्या से निपटने का एक तरीका है – हम किरणों का एक अत्यन्त बारीक समूह ले सकते हैं और इसका अवलोकन कर सकते हैं। किरणों के ऐसे समूह को हम किरण पुंज कहते हैं। यहाँ हम मानकर चलेंगे कि किरण पुंज लगभग एक किरण के समान व्यवहार करती है। ऐसे किरण पुंज को ही हम एक 'किरण' कहेंगे। तो चलो प्रकाश की किरण बनाएँ।

'किरण' बनाओ

एक समतल दर्पण लो। मेकअप किट में जो दर्पण मिलता है वह ठीक रहेगा।

एक मोटा काला कागज़ लो। चित्र में दिखाए अनुसार इसमें एक पतली झिर्री (करीब 1-2 मिमी चौड़ी) बना लो और इसे दर्पण की सतह पर चिपका दो।

अब इस झिर्रीवाले दर्पण को धूप में इस तरह पकड़कर रखो कि यह प्रकाश की एक पतली रेखा परावर्तित करे। यही तुम्हारी प्रकाश 'किरण' है। इसे हम प्रकाश किरण ही कहेंगे मगर ध्यान रखना कि यह एक इकलौती प्रकाश किरण नहीं बल्कि प्रकाश की एक पतली रेखा है।



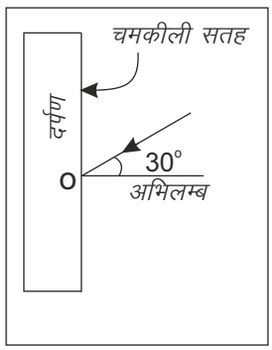
यहाँ दिए गए अधिकांश प्रयोग ऊपर बताए गए तरीके से बनी प्रकाश किरण की मदद से किए जा सकते हैं। हमारा सुझाव है कि लेसर की बजाय इसी प्रकाश किरण का उपयोग किया जाए ताकि बच्चे सुरक्षित ढंग से ये प्रयोग कर सकें।

परावर्तन के नियम पता करो

गतिविधि 8

इस प्रयोग का उद्देश्य यह पता करना है कि जब कोई प्रकाश किरण किसी समतल दर्पण पर अलग-अलग कोण से पड़ती है, तो उसका क्या होता है।

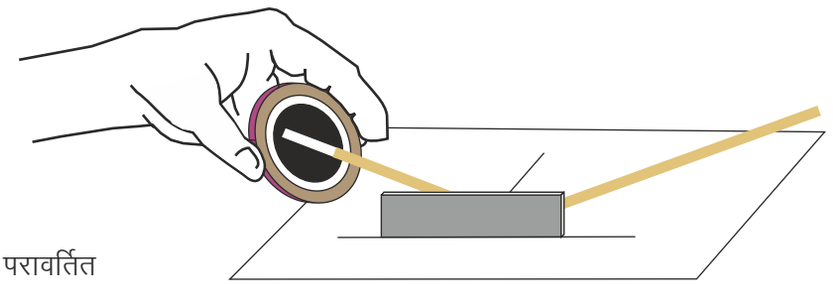
तुम्हें एक समतल दर्पण, ऊपर बनाए गए झिर्रीदार दर्पण, एक सादे कागज़, चाँदे, पेंसिल और स्केल की ज़रूरत होगी।



झिर्रीदार दर्पण को धूप में इस तरह पकड़ो कि परावर्तित प्रकाश की एक चमकीली रेखा बन जाए। इस प्रकाश किरण के रास्ते में एक सफेद कागज़ ज़मीन पर बिछा दो। अब एक समतल दर्पण को कागज़ पर इस तरह खड़ा रखो कि प्रकाश किरण उस पर गिरे। इस किरण को **आपतित किरण** कहते हैं। तुम देखोगे कि यह किरण परावर्तित होकर किसी अन्य दिशा में जा रही है। इसे **परावर्तित किरण** कहते हैं।

आपतित किरण जिस बिन्दु पर दर्पण पर पड़ती है, वहाँ यदि हम दर्पण के लम्बवत् एक रेखा खींचें तो उसे **अभिलम्ब** कहते हैं।

अब प्रयोग शुरू करते हैं। सफेद कागज़ पर एक सीधी रेखा खींच दो। हम समतल दर्पण को इस रेखा से सटाकर इस तरह रखेंगे कि वह कागज़ से लम्बवत् रहे। इस रेखा के लगभग बीच में एक बिन्दु O लगाओ और इस बिन्दु से एक लम्बवत् रेखा खींच दो। यह अभिलम्ब है। इस अभिलम्ब से 30 डिग्री का कोण बनाते हुए एक और रेखा खींचो। यह रेखा हमारी आपतित किरण का कोण दर्शाने के लिए है। अभिलम्ब और आपतित किरण के बीच के कोण को **आपतन कोण** कहते हैं।

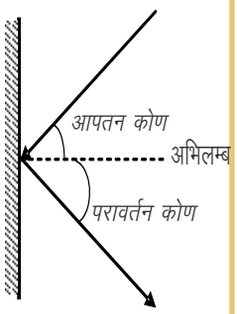


दर्पण को कागज़ पर इस तरह खड़ा रखो कि उसकी निचली किनोर कागज पर खींची रेखा से सटी हो। झिर्रीदार दर्पण को धूप में रखो और घुमा-फिराकर इस तरह जमाओ कि उससे निकलने वाली प्रकाश किरण अभिलम्ब से 30 डिग्री का कोण बनाती रेखा पर से होती हुई ठीक बिन्दु O पर पड़े।

यह पता करो कि परावर्तित किरण कहाँ जा रही है और उस किरण के रास्ते में कागज़ पर नुकीली पेंसिल से दो-तीन निशान लगा दो। इन बिन्दुओं को जोड़कर रेखा को आगे बढ़ाकर बिन्दु O तक खींचो। नापकर पता करो कि यह रेखा अभिलम्ब से कितना कोण बनाती है। इसे **परावर्तन कोण** कहते हैं। इस प्रयोग को अलग-अलग आपतन कोण के साथ करके देखो और अपने अवलोकन तालिका में लिखो।

आपतन कोण उसे कहते हैं जो आपतित किरण अभिलम्ब के साथ बनाती है। ध्यान रहे कि अभिलम्ब उसी बिन्दु पर खींचा जाना चाहिए जहाँ आपतित किरण दर्पण पर पड़ती है।

इसी प्रकार से **परावर्तन कोण** वह कोण होता है जो परावर्तित किरण अभिलम्ब के साथ बनाती है।



तालिका को देखकर तुम आपतन कोण और परावर्तन कोण के सम्बन्ध के बारे में क्या निष्कर्ष निकाल सकते हो?

तालिका

क्र.	आपतन कोण	परावर्तन कोण
1	30^0	
2	40^0	
3	50^0	
4	60^0	
5	70^0	
6	20^0	
7	10^0	
8	0^0	
9		

यह प्रयोग करते हुए काफी सावधानी रखनी होगी। अवलोकनों में कई त्रुटियाँ होने की सम्भावना है। सही अवलोकन लेने के लिए निम्नलिखित बातों का ध्यान रखना —

1) दर्पण कागज़ के ठीक लम्बवत् हो।
2) किरण जितनी पतली बने उतना अच्छा। यदि किरण मोटी हुई, तो कागज़ पर उसकी ठीक-ठीक स्थिति बनाने में कठिनाई होगी और कोण नापने में भी दिक्कत होगी। सारी रेखाएँ खींचने के लिए नुकीली पेंसिल का उपयोग करना।
3) यह ध्यान रखना कि आपतित किरण दर्पण पर ठीक उस जगह पड़े जहाँ हमने बिन्दु O बनाया है।
4) हो सकता है कि वह बिन्दु अंकित करने में गलती हो जाए, जहाँ किरण दर्पण पर पड़ रही है।
5) कोण नापते समय भी गलती हो सकती है।

उपरोक्त बातों को ध्यान में रखते हुए अवलोकन करो और निष्कर्ष निकालो। प्रयोग में इस बात का भी ध्यान रखना कि झिर्रीदार दर्पण तो धूप में हो मगर कागज़ और उस पर खड़ा समतल दर्पण छाया में हो ताकि आपतित व परावर्तित किरण अच्छी तरह दिखाई दें।

इस प्रयोग को थोड़ा आगे बढ़ा सकते हैं। इस बार हम झिर्रीदार दर्पण से आपतित किरण उस रेखा पर डालेंगे जिसे हमने परावर्तित किरण कहा है। क्या तुम बता सकते हो कि ऐसा करने पर परावर्तित किरण कहाँ जाएगी? करके देखो और अपने अनुमान की जाँच करो।

परावर्तन का पहला नियम

आपतन कोण और परावर्तन कोण बराबर होते हैं।

परावर्तन का दूसरा नियम

परावर्तन का दूसरा नियम

अभिलम्ब, आपतित किरण और परावर्तित किरण, तीनों एक ही तल में होते हैं।

इस नियम का अर्थ क्या है?

गतिविधि 8 में हमने समतल दर्पण को ज़मीन से लम्बवत् रखा था। आपतन बिन्दु कागज़ पर बनाया था।

अभिलम्ब दर्पण से लम्बवत् तल में होगा। अब कागज़ के लम्बवत् तो कई तल बनाए जा सकते हैं। हमें इनमें से वह तल देखना है जो दर्पण से लम्बवत् हो और आपतित किरण भी उसी तल में हो। हमारे इस प्रयोग में यह तल कागज़ ही होगा क्योंकि आपतित किरण को तो हमने जानबूझकर

तुम एक काम और करके देख सकते हो। परावर्तित किरण जिस रेखा पर पड़ती है, उस रेखा पर आपतित किरण को डालो और देखो कि क्या इस बार परावर्तित किरण आपतित किरण की रेखा पर पड़ती है। यदि ऐसा होता है तो हम कह सकते हैं कि परावर्तित किरण और आपतित किरण की अदला-बदली से कोई फर्क नहीं पड़ता।

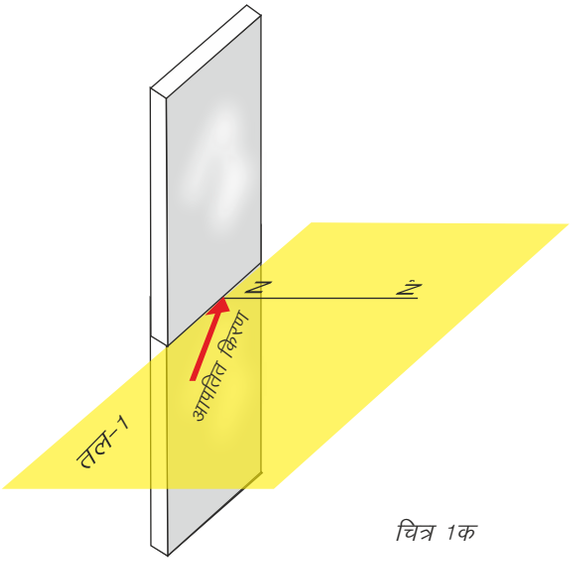
कागज़ पर ही डाला था। हमने देखा भी था कि आपतित किरण कागज़ पर दिखाई दे रही थी। यानी वह कागज़ के तल में है। तो अभिलम्ब भी कागज़ के तल में ही होगा।

अब आखिरी सवाल – क्या परावर्तित किरण भी उसी तल में है जिसमें आपतित किरण और अभिलम्ब हैं?

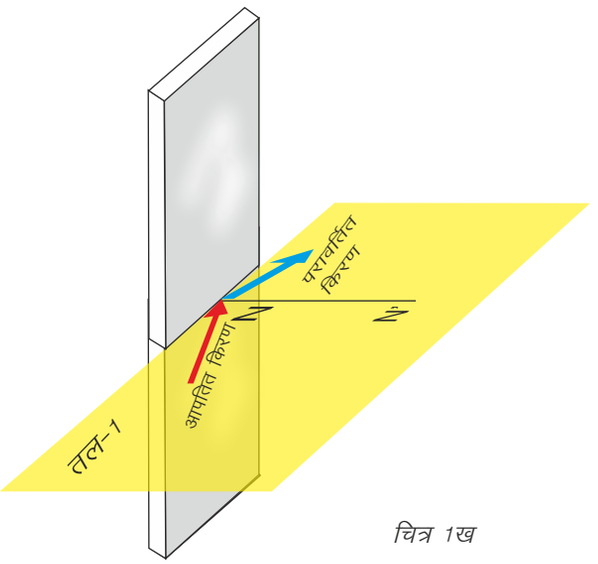
हमने देखा था कि परावर्तित किरण कागज़ पर दिखाई दे रही थी। यानी वह भी कागज़ के तल में ही थी।

अर्थात् अभिलम्ब, आपतित किरण और परावर्तित किरण तीनों एक ही तल (कागज़ के तल) में हैं।

नीचे चित्र 1क को देखो। दर्पण ज़मीन के लम्बवत् है। रेखा NN' अभिलम्ब है। चित्र 1क में आपतित किरण लाल रंग से दर्शाई गई है और अभिलम्ब काली रेखा है। आपतित किरण और अभिलम्ब से बना तल पीले रंग में दर्शाया गया है। परावर्तित किरण इसी तल में रहेगी (दूसरा नियम) और अभिलम्ब से उतना ही कोण बनाएगी जितना आपतित किरण अभिलम्ब के साथ बनाती है (पहला नियम)। देखो चित्र 1ख।



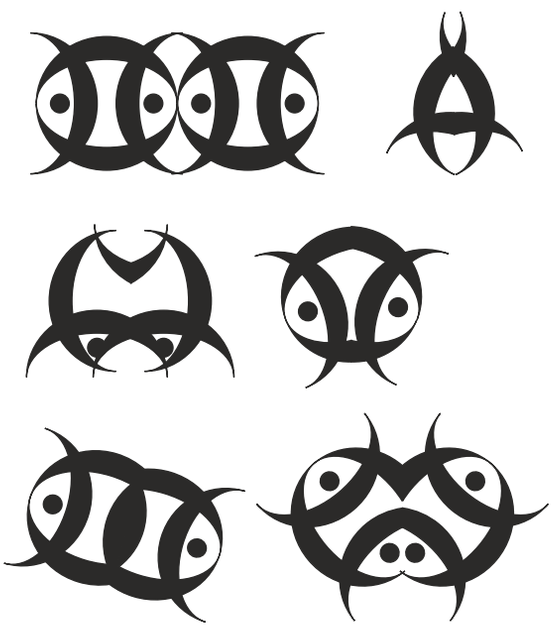
चित्र 1क

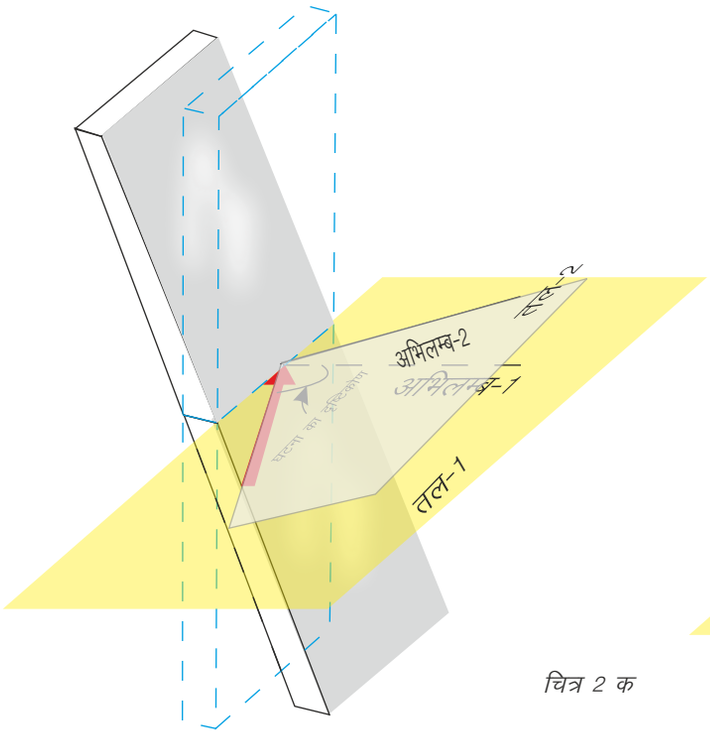


चित्र 1ख

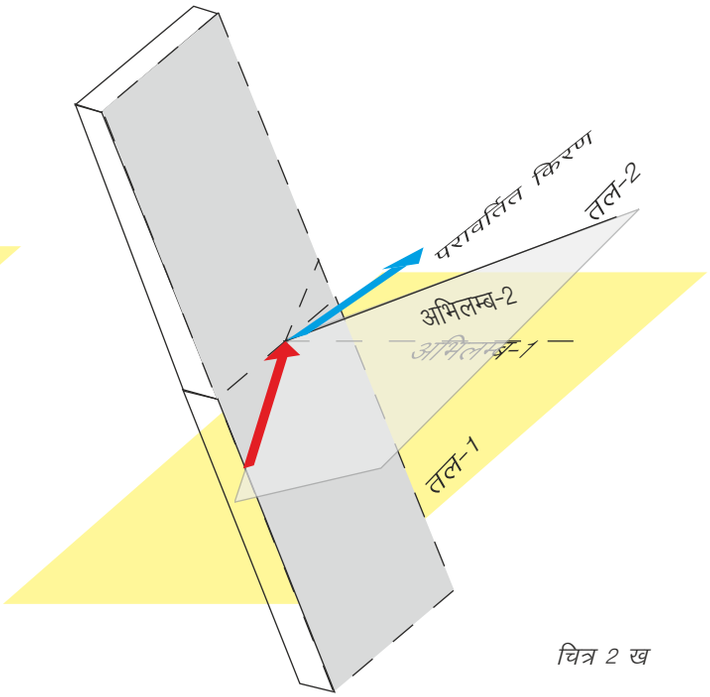
करने को कुछ मज़ेदार अभ्यास

ऊपर दिए गए चित्र को एक कागज़ पर उतार लो। चाहो तो बड़ा करके भी उतार सकते हो। समतल दर्पण की एक पट्टी लो। इस पट्टी को चित्र पर इस तरह रखना है कि चित्र और उसके प्रतिबिम्ब से मिलकर बना चित्र साथ में दिए गए चित्रों जैसा दिखे। इसमें से कुछ तो बहुत ही सरल लगते हैं मगर ज़रा कोशिश करके देखो। शायद थोड़ा सिर खुजलाना पड़े। तुमने जो कुछ अब तक सीखा है, उसका उपयोग करने से क्या यह आसान हो जाएगा?





चित्र 2 क



चित्र 2 ख

यदि हम दर्पण को थोड़ा झुका दें, तो अभिलम्ब का क्या होगा?

इसे समझने के लिए एक आसान तरीका यह है कि हम दर्पण पर एक माचिस की तीली लम्बवत् चिपका दें। यह तीली दर्पण के उस बिन्दु पर अभिलम्ब को दर्शाती है। अब दर्पण को अलग-अलग कोण पर झुकाकर देखो कि माचिस की तीली (यानी अभिलम्ब) को क्या होता है। ऐसी एक स्थिति चित्र 2क में दर्शाई गई है। अभिलम्ब-2 नया अभिलम्ब है।

आपतित किरण वही पुरानी वाली है।

अब अभिलम्ब-2 और आपतित किरण एक नए तल में होंगे – तल-2। यह चित्र 2ख में दर्शाया गया है।

परावर्तन के दूसरे नियम के हिसाब से परावर्तित किरण भी इसी तल-2 में होनी चाहिए। इसे चित्र 2ख में दर्शाया गया है।

दर्पण झूठ ना बोले

तुम्हें लगता है तुम लिखना जानते हो? तो क्यों न यह कोशिश करके देखो:

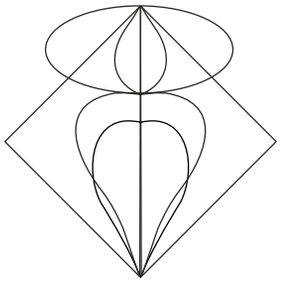
एक कागज़ लो और जाँच करो कि क्या तुम यहाँ दी गई कविता को उस पर लिख सकते हो।

एक कहानी कहनी है
वो जो आम की टहनी है
वहीं कहीं एक तोती रहती है
जो दिन भर बस सोती है

दिन में कभी जगा दो तो
बहुत देर तक रोती है
सभी परिन्दे कहते हैं
वो कुम्भकरण की पोती है

बाएँ हाथ का खेल है ना? मगर अगली शर्त सुनने के बाद ही कुछ कहना। तुम्हें कागज़ को सीधे देखने की मनाही है। लिखते समय तुम्हें कागज़ को सामने रखे दर्पण में ही देखना है।

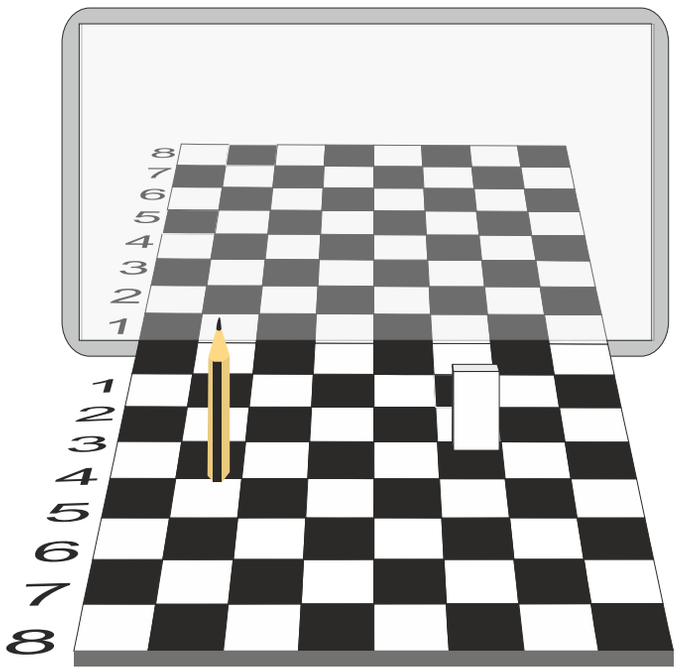
गतिविधि 9



थोड़ा कलात्मक रुझान रखने वालों के लिए एक चुनौती है।

एक बटर पेपर या ट्रेसिंग पेपर लो और उसे यहाँ दिए गए चित्र पर रख दो। तुम्हें इस चित्र को ट्रेस करना है मगर शर्त यही है कि तुम कागज़ को नहीं देख सकते। तुम्हें यह काम दर्पण में बने प्रतिबिम्ब को देखकर करना है।

किरण चित्र बनाते समय कई बार यह स्पष्ट नहीं होता कि दर्पण की परावर्तक सतह कौन-सी है। इसलिए हम एक परिपाटी बनाएँगे – अपरावर्ती सतह पर हम तिरछी रेखाएँ खींच देंगे ताकि पता चल जाए कि दूसरी सतह से परावर्तन हो रहा है।



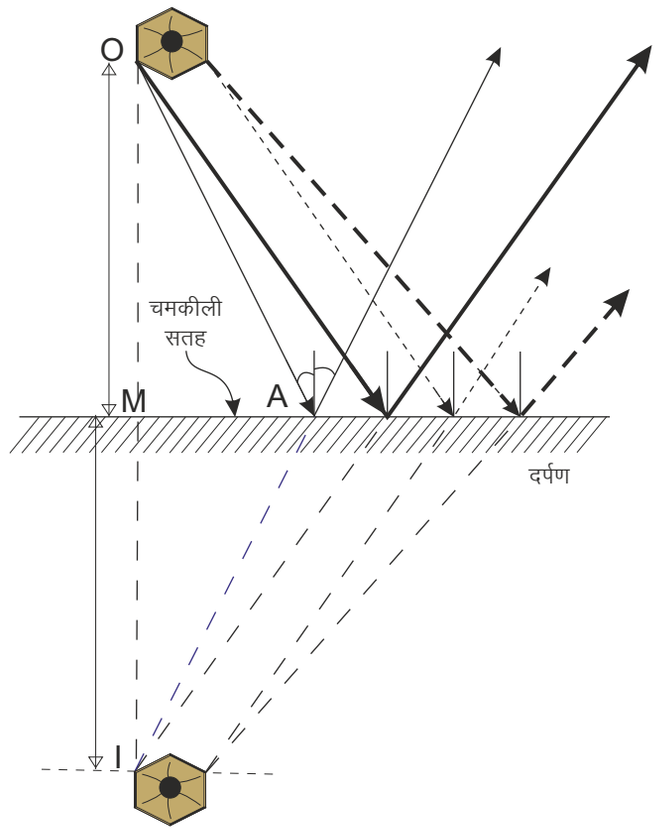
दर्पण व शतरंज की बिसात का उपयोग करके चित्र बनाओ

प्रतिबिम्ब दर्पण के कितना पीछे है?

चित्र में दिखाए अनुसार शतरंज की बिसात को दर्पण के सामने रखो। इस बिसात के अलग-अलग खानों पर कुछ चीज़ें रख दो। जैसे पेंसिल, रबर वगैरह।

मान लो तुमने दर्पण से तीसरी लाइन पर रबर रखा है। इसका प्रतिबिम्ब कहाँ दिख रहा है? क्या वह शतरंज की बिसात के प्रतिबिम्ब की भी तीसरी लाइन पर है? शतरंज की बिसात पर रखी अन्य वस्तुओं को देखकर बताओ कि क्या यही पैटर्न दिखता है। इसके आधार पर क्या हम कह सकते हैं कि वस्तु का प्रतिबिम्ब दर्पण के उतने ही पीछे की ओर बनता है, जितनी दूरी पर वस्तु दर्पण के सामने है?

चलो परावर्तन के नियम का उपयोग करके यह देखने की कोशिश करते हैं कि हो क्या रहा है? इसके लिए हम एक किरण चित्र बनाएँगे। नीचे के चित्र में 'वस्तु' (पेंसिल) के दो बिन्दुओं से निकलने वाली किरणें दर्शाई गई हैं। ये दर्पण की चमकीली सतह से परावर्तित होती हैं। परावर्तित किरण पता करने के लिए पहले प्रत्येक आपतन बिन्दु पर अभिलम्ब खींच लेते हैं। फिर आपतन कोण के बराबर परावर्तन कोण बनाकर परावर्तित किरण बना लेते हैं।

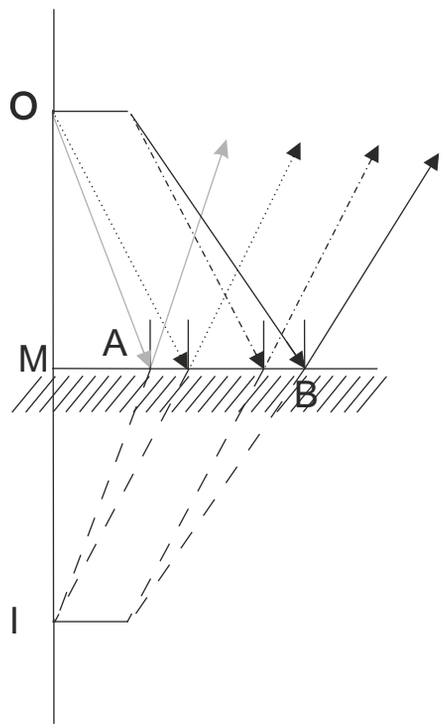


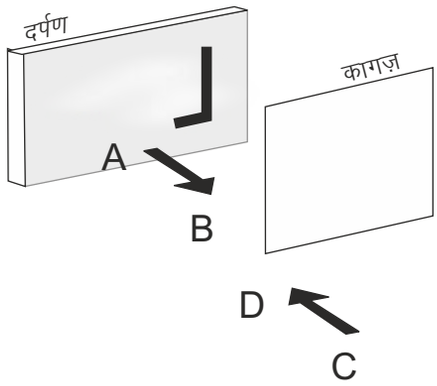
यदि हम परावर्तित किरणों को पीछे की ओर बढ़ाएँ तो देखेंगे कि वे किसी बिन्दु पर मिलती हैं। हमें लगता है कि किरणें इसी बिन्दु से आ रही हैं। यही वह बिन्दु है जहाँ हमें लगता है कि दर्पण में उस बिन्दु का प्रतिबिम्ब है।

नीचे दिए गए चित्र में OA वस्तु के किसी बिन्दु से निकलने वाली किरण है। AI वह रेखा है जो परावर्तित किरण को पीछे की ओर बढ़ाने से प्राप्त होती है। यह आसानी से देखा जा सकता है कि त्रिभुज OAM और IAM समरूप (सर्वांगसम) त्रिभुज हैं। अर्थात् लम्बाई OM और लम्बाई MI बराबर हैं। इसका अर्थ है कि हमें लगेगा कि प्रतिबिम्ब दर्पण के पीछे उतनी ही दूरी पर है, जितनी दूरी पर वस्तु दर्पण के सामने है।

दर्पण में बने इस प्रतिबिम्ब को आभासी प्रतिबिम्ब कहते हैं। इसे आभासी इसलिए कहते हैं क्योंकि वास्तव में प्रतिबिम्ब नहीं बनता, हमें सिर्फ आभास होता है कि प्रतिबिम्ब बना है। आगे चलकर यह बात और स्पष्ट होगी जब हम वास्तविक प्रतिबिम्ब देखेंगे।

ठीक है, यह तो पक्का हो गया कि प्रतिबिम्ब दर्पण के पीछे उतनी ही दूरी पर बनता है, जितनी दूरी पर वस्तु दर्पण के सामने है। अगली बात यह समझना है कि क्यों दर्पण में दाएँ-बाएँ बदल जाते हैं। यानी क्यों दायाँ बायाँ हो जाता है तथा बायाँ दायाँ हो जाता है।





पार्श्व परिवर्तन क्यों?

जब हम दर्पण के सामने खड़े होकर अपना दायाँ हाथ उठाते हैं तो लगता है कि हमारा प्रतिबिम्ब बायाँ हाथ उठा रहा है। वास्तव में वह प्रतिबिम्ब भी दायाँ हाथ (हमारा दायाँ हाथ) ही उठाता है मगर हम उसे उल्टी तरफ से देख रहे हैं, इसलिए भ्रमित हो जाते हैं। हम मानते हैं कि वह प्रतिबिम्ब नहीं है बल्कि हम ही जाकर दर्पण के पीछे खड़े हो गए हैं और मुँह हमारी तरफ किया हुआ है।

वास्तव में पार्श्व परिवर्तन जैसी कोई चीज़ नहीं होती है। यह मात्र हमारे देखने का नज़रिया है। उदाहरण के लिए यदि हम L को एक पारदर्शी चीज़ (जैसे प्लास्टिक) पर लिख लें और उसे दर्पण के सामने इस तरह रखें कि वह हमारे और दर्पण के बीच हो और हम दर्पण की ओर देखते हुए उसे सीधा पढ़ सकें, तो दर्पण में भी वह सीधा ही दिखाई देगा।

वास्तव में हम करते यह हैं कि कागज़ को घुमाकर लिखाई वाले हिस्से को दर्पण के सामने करते हैं। हमारा ध्यान इस बात की ओर नहीं जाता कि हम वैसे भी अब उसे नहीं पढ़ सकेंगे। उसे पढ़ने के लिए हमें दर्पण के पीछे से देखना पड़ेगा। यानी हम पहले कागज़ को घुमाते हैं और फिर खुद को घुमाते हैं। यह भ्रम हमने ही पैदा किया है।

यदि हम दाएँ-बाएँ की बजाय पूर्व-पश्चिम की भाषा में बात करें तो सब आसान हो जाएगा। जब आप अपना पूर्व वाला हाथ उठाएँगे तो प्रतिबिम्ब का भी पूर्व वाला हाथ ही उठेगा। यदि आप पश्चिम वाला हाथ उठाएँगे तो उसका भी पश्चिम वाला हाथ उठेगा।

मगर हम मानते हैं कि दर्पण में प्रतिबिम्ब नहीं है बल्कि हम स्वयं पलटकर खड़े हो गए हैं। यानी हमारे विचार में वह एक दूसरा व्यक्ति है। हम उम्मीद करते हैं कि हम यदि दायाँ हाथ आगे बढ़ाएँ तो उसे भी 'उसका' दायाँ हाथ आगे बढ़ाकर हमसे हाथ मिलाना चाहिए। हम भूल जाते हैं कि वह व्यक्ति नहीं, प्रतिबिम्ब है। इसलिए पार्श्व परिवर्तन का भ्रम होता है।

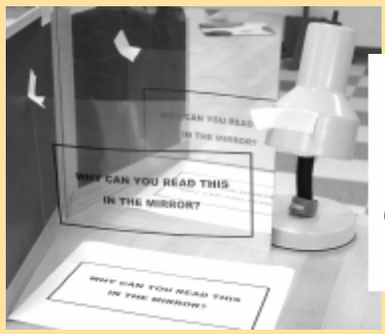
अपना पेरिस्कोप बनाओ

गतिविधि 10

सामग्रीः कार्डबोर्ड का एक लम्बा डिब्बा (अगरबत्ती के पैकेट जैसा), 2 समतल दर्पण की पट्टियाँ, ब्लेड, स्केल, गोंद, कागज़ की पट्टियाँ।

डिब्बे के दोनों मुँह चिपकाकर बन्द कर दो। चित्र में दिखाए अनुसार इस डिब्बे के चौड़े वाले हिस्से पर दो खाँचे बनाओ। खाँचे इतने बड़े हों कि दर्पण की पट्टियाँ इनमें फिट हो जाएँ। खाँचे डिब्बे की दीवार से 45 डिग्री के कोण पर होने चाहिए। दर्पण पट्टियों को इन खाँचों में इस तरह फँसा दो कि उनकी चमकीली सतहें एक-दूसरे के सामने रहें। इस बात का ध्यान रखना कि दर्पण पट्टियाँ एक-दूसरे के समान्तर हों। गोंद और कागज़ की पट्टियों की मदद से दर्पण पट्टियों को डिब्बे से चिपका दो।

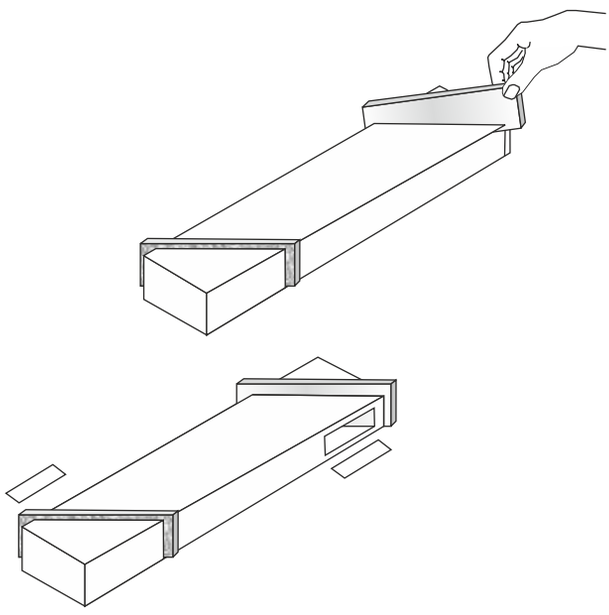
अगला कदम यह है कि चित्र में दिखाए अनुसार डिब्बे में दो खिड़कियाँ काटो। ये खिड़कियाँ डिब्बे के सँकरे वाले भाग में दर्पणों के ठीक सामने काटनी होंगी। तुम्हारा पेरिस्कोप तैयार है। यदि तुम इसकी एक खिड़की में से देखोगे तो दूसरी खिड़की के सामने का दृश्य दिखाई पड़ेगा।



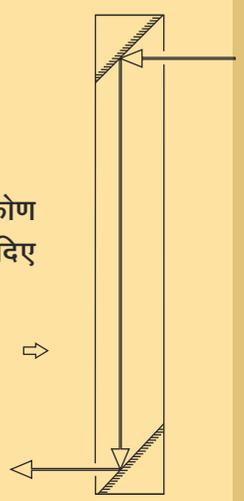
इसे करके देखो। एक कागज़ पर कुछ शब्द लिख लो और इसे एक दर्पण के सामने रखो। तुम्हें सारे अक्षरों के दर्पण प्रतिबिम्ब नज़र आएँगे और उन्हें पढ़ना मुश्किल होगा।

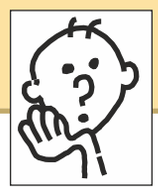
ऊपर का चित्र देखो। हमने कुछ अक्षर एक पारदर्शी सतह (प्लास्टिक की चादर) पर लिख दिए और इसे एक दर्पण के सामने रखा। ऐसा करने पर लगता है कि दर्पण अपना दायाँ-बायाँ उलटफेर करना भूल गया।

ऐसा क्यों हुआ?



दर्पणों को डिब्बे से 45 डिग्री के कोण पर क्यों लगाया गया है? यहाँ दिए गए चित्र की मदद से समझाओ।

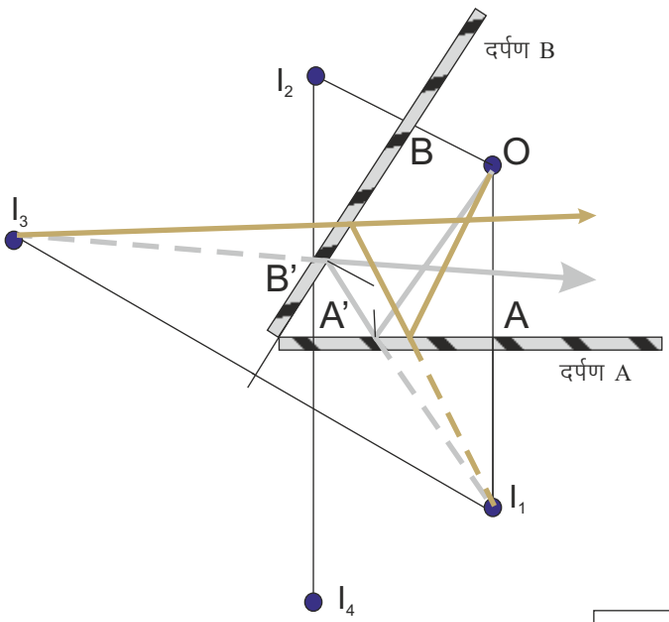




कई दर्पण, कई प्रतिबिम्ब

हमने देखा कि दर्पण में प्रतिबिम्ब कैसे बनता है। अब यह देखते हैं कि यदि एक से ज़्यादा दर्पण हों, तो क्या होगा। परावर्तन के नियमों की जानकारी के आधार पर पहले हम अनुमान लगाएँगे कि क्या होगा और फिर अपने अनुमान की जाँच प्रयोग से करेंगे।

नीचे का चित्र देखो। इसमें दो दर्पण एक-दूसरे से 60 डिग्री के कोण पर रखे हैं। एक वस्तु इन दो दर्पणों के बीच रखी है। वस्तु को O के द्वारा दिखाया गया है। सुविधा के लिए हम इस व्यवस्था का रेखाचित्र बनाएँगे — रेखाचित्र ऐसा बनाएँगे जैसा कि हमें ऊपर से देखने पर दिखता है। इससे रेखाचित्र सरल हो जाएगा और समझने में मदद मिलेगी।



हमने ऊपर देखा था कि वस्तु का प्रतिबिम्ब दर्पण A के पीछे उतनी ही दूर बनता है जितनी दूर वस्तु दर्पण के सामने रखी है। रेखाचित्र में दर्पण A की वजह से वस्तु O का प्रतिबिम्ब I_1 बनेगा। प्रतिबिम्ब दर्पण A के पीछे दर्पण से OA दूरी पर बनेगा। इसी प्रकार से दर्पण B की वजह से प्रतिबिम्ब I_2 उस दर्पण के पीछे OB दूरी पर बनेगा।

अब मज़ेदार बात यह है कि दर्पण B में बना प्रतिबिम्ब I_2 दर्पण A के लिए एक वस्तु है। इसका प्रतिबिम्ब I_4 दर्पण के पीछे I_2A' दूरी पर बनेगा जैसा कि चित्र में दिखाया गया है।

इसी प्रकार से दर्पण B के लिए I_1 एक वस्तु का काम करेगी। यह दर्पण B से I_1B' दूरी पर है और इसका प्रतिबिम्ब I_3 बनेगा।

यह प्रक्रिया तब तक चलती रह सकती है जब तक कि एक दर्पण से बना प्रतिबिम्ब दूसरे दर्पण के दायरे से बाहर न हो जाए।

इस प्रयोग को करो और अपने अवलोकन नीचे दी गई तालिका के टिप्पणी वाले स्तम्भ में लिखो।

क्या प्रतिबिम्बों की संख्या इस बात पर निर्भर करेगी कि तुमने वस्तु को कहाँ रखा है?

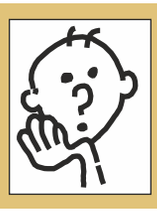
क्या यह इस बात पर निर्भर करेगा कि तुम प्रतिबिम्ब को कहाँ से देख रहे हो? थोड़ा एक तरफ हटकर देखो कि क्या तुम्हें कोई अतिरिक्त प्रतिबिम्ब दिखाई देता है।

क्या दर्पणों के बीच का कोण बदलने पर प्रतिबिम्बों की संख्या में कोई अन्तर पड़ता है?

तालिका

दर्पणों के बीच का कोण	प्रतिबिम्बों की संख्या	टिप्पणी
30^0		
60^0		
90^0		
समान्तर		

खुद का पूरा प्रतिबिम्ब देखने के लिए कितना बड़ा दर्पण चाहिए? एक बड़े दर्पण के सामने खड़े हो जाओ और देखो कि क्या तुम अपना पूरा प्रतिबिम्ब देख पा रहे हो? क्या दर्पण के नज़दीक आने या दूर जाने से कोई फर्क पड़ता है?

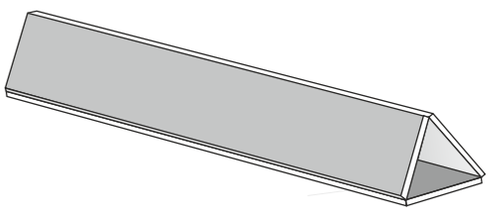


कैलीडोस्कोप बनाओ

गतिविधि 11

तुम्हें तीन लम्बी-लम्बी दर्पण पट्टियों, थोड़े अर्ध-पारदर्शी कागज़, पारदर्शी प्लास्टिक शीट, सादे कागज़, रबर बैंड्स, गोंद और चूड़ियों के छोटे-छोटे टुकड़ों की ज़रूरत पड़ेगी।

तीन लम्बी दर्पण पट्टियाँ लो। इन्हें रबर बैंड की मदद से जोड़कर एक तिकोनी नली बना लो, जैसा कि चित्र में दिखाया गया है। थोड़ी सावधानी रखना क्योंकि कभी-कभी दर्पण पट्टियों के किनारे नुकीले होते हैं और नुकसान पहुँचा सकते हैं। दर्पणों को जोड़कर रखने के लिए तुम चाहो तो उन्हें एक कागज़ पर चिपकाकर उसे मोड़कर तिकोनी नली बना सकते हो। यह शायद ज़्यादा सुरक्षित रहेगा।



नली के एक मुँह पर अर्ध-पारदर्शी कागज़ चिपका दो। अब इस नली में कुछ रंग-बिरंगी चूड़ियों के टुकड़े डालकर दूसरे सिरे को पारदर्शी प्लास्टिक शीट से बन्द कर दो। इस नली को इस तरह पकड़ो कि अर्ध-पारदर्शी कागज़ से बन्द सिरा प्रकाश की ओर रहे। अब पारदर्शी प्लास्टिक लगे सिरे से नली के अन्दर देखो। नली को थोड़ा घुमाओगे तो तुम्हें कई रोचक डिज़ाइनें देखने को मिलेंगी। क्या तुम बता सकते हो कि ऐसे सुडौल (सममित) पैटर्न क्यों दिखते हैं?

प्रोजेक्ट के लिए विचार

गतिविधि 11 में तुमने जो कैलीडोस्कोप बनाया है, उसे सबसे पहले डेविड ब्रूस्टर (1781-1868) ने 1816 में बनाया था। उन्होंने कैलीडोस्कोप पर एक ग्रन्थ लिखा था जिसमें उन्होंने विस्तार में विवरण दिए थे। इसमें सिर्फ तीन दर्पण वाले नहीं बल्कि कई दर्पणों को बराबर-बराबर कोणों पर जोड़कर बने कैलीडोस्कोप की बात बताई गई थी।

तुम चाहो तो तीन से अधिक दर्पण लेकर कैलीडोस्कोप बनाकर देख सकते हो कि उनमें किस तरह के पैटर्न बनते हैं। इसके अलावा तुम इन दर्पणों को बराबर-बराबर कोण की बजाय अलग-अलग कोणों पर जोड़ने की कोशिश भी कर सकते हो। जैसे तीन दर्पणों में से दो को समकोण पर जोड़ सकते हो। इसमें अन्य दर्पणों के बीच कोण न्यूनकोण होगा।

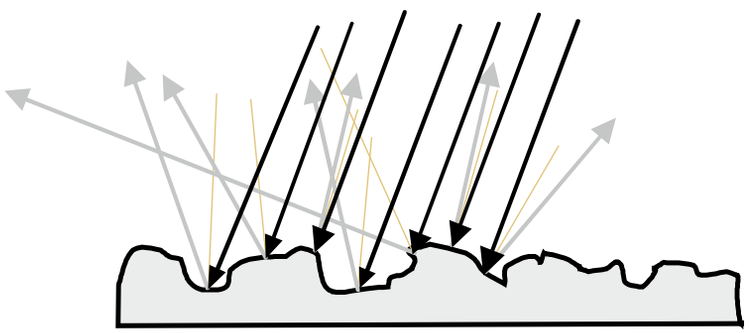
खुरदरी सतह से बढ़िया परावर्तन क्यों नहीं होता?

अब हम परावर्तन के नियमों को भलीभाँति जानते हैं। तो हम इस बात पर विचार कर सकते हैं कि क्यों कुछ सतहें चमकती हैं जबकि कुछ सतहें फीकी नज़र आती हैं और कुछ सतहों से परावर्तन बिलकुल भी नहीं होता। उदाहरण के लिए, जब हम स्टेनलेस स्टील की नई थालियाँ खरीदते हैं तो वे खूब चमकदार होती हैं। इनमें हम अपना चेहरा तक देख सकते हैं। मगर जब इनका बार-बार लम्बे समय तक उपयोग होता है, तो इनकी चमक फीकी पड़ जाती है, चाहे उन्हें खूब घिस-घिसकर साफ करें।

तुम्हारे खयाल में ऐसा क्यों होता है? हमने ऐसा क्या किया कि इनकी चमक धुँधली पड़ गई? जिन थालियों का उपयोग नहीं किया था, वे तो आज भी चमचमाती हैं। यानी चमक धुँधली पड़ने का समय के साथ कोई सम्बन्ध नहीं है। इसका सम्बन्ध लगातार उपयोग करने से लगता है।

हम करते क्या हैं? देखा जाए, तो हम कुछ खास नहीं करते हैं। थालियों में खाना परोसते हैं और खाने के बाद उन्हें माँज-धोकर वापस रख देते हैं। आम तौर पर हम बरतनों को साबुन के पाउडर से साफ करते हैं। इस पाउडर में बारीक कण होते हैं जो बरतनों को रगड़ने का काम करते हैं। इनकी उपस्थिति से बरतनों पर चिपके भोजन के कणों को हटाने में मदद मिलती है। मगर ये थाली की सतह पर खरोंचें भी पैदा करते हैं। सतह का चिकनापन धीरे-धीरे खत्म हो जाता है और साथ में चमक भी चली जाती है। मगर सवाल तो यह है कि ऐसी खुरदरी सतह प्रकाश को चिकनी सतह के समान परावर्तित क्यों नहीं करती? इस सवाल का जवाब पाने के लिए हमें खुरदरी और चिकनी सतहों को बड़ा करके देखना होगा।

ऊपर के चित्र में दो सतहों को बहुत बड़ा करके दिखाया गया है – एक सतह चिकनी है और दूसरी खुरदरी। और नीचे के चित्र में दिखाया गया है कि जब प्रकाश का कोई समान्तर पुंज खुरदरी सतह से टकराता है, तो क्या होता है।



परावर्तित किरण पता करने के लिए हमें हर आपतन बिन्दु पर एक अभिलम्ब खींचना होगा (अभिलम्ब को पीली रेखा से दर्शाया गया है)। इस चित्र को देखकर क्या तुम अन्दाज़ लगा सकते हो कि क्यों खुरदरी सतह से हमें साफ प्रतिबिम्ब नहीं मिलता?

कोई खुरदरी सतह हर बिन्दु से प्रकाश को अलग-अलग दिशाओं में परावर्तित करेगी। किसी वस्तु से आने वाली प्रकाश किरणें परावर्तन के बाद समान्तर नहीं रह पाएँगी। इसलिए हमें प्रतिबिम्ब नहीं दिखता।

दूसरी ओर, चिकनी सतह से प्रकाश का परावर्तन नियमित ढंग से होता है। अर्थात् यदि आपतित किरणें समान्तर हैं तो परावर्तित किरणें भी समान्तर रहेंगी। ऐसा परावर्तन हो तो हमें साफ प्रतिबिम्ब नज़र आता है। इस तरह के परावर्तन को नियमित (specular) परावर्तन कहते हैं।

कोई भी पॉलिश की हुई सतह प्रकाश को परावर्तित कर सकती है और एक दर्पण का काम कर सकती है।

मगर यदि तुम किसी चिकने फर्श को देखो जिस पर काली और सफेद टाइल्स लगी हों, तो तुम देखोगे कि काली टाइल्स बेहतर परावर्तन करती हैं। ऐसा क्यों होता है?

कोई सतह काली तब दिखती है जब वह उस पर पड़ने वाले अधिकांश प्रकाश को परावर्तित करने की बजाय सोख लेती है। जब कोई सतह उस पर पड़ने वाले अधिकांश प्रकाश को परावर्तित कर देती है तो वह सफेद नज़र आती है।

यह सही है कि सफेद टाइल चिकनी होती है मगर फिर भी वह किसी पॉलिश किए हुए दर्पण जितनी चिकनी तो नहीं होती। इसलिए उसकी सतह पर पड़ने वाला प्रकाश विभिन्न दिशाओं में परावर्तित होगा। कुछ परावर्तन नियमित होता है मगर उसकी तुलना में अनियमित परावर्तन भी बहुत अधिक होता है। जब हम सफेद टाइल को देखते हैं तो कुछ प्रकाश तो नियमित परावर्तन के ज़रिए प्रतिबिम्ब बनाता है। मगर उससे भी ज़्यादा प्रकाश अनियमित रूप से परावर्तित होकर इधर-उधर बिखरता है। इस बिखरे हुए प्रकाश की वजह से प्रतिबिम्ब धुँधला पड़ जाता है।

लगभग उतनी ही चिकनी काली सतह से लगभग उतना ही नियमित परावर्तन होगा जितना किसी भी चिकनी सतह से होता है मगर बिखरा हुआ परावर्तन कम होगा क्योंकि काली सतह अधिकतर प्रकाश को तो सोख लेती है। इसीलिए जो प्रतिबिम्ब बनता है वह बिखरे हुए परावर्तित प्रकाश की वजह से धुँधला नहीं पड़ता।

अपनी नोट बुक को दर्पण बनाओ!

तुम्हें यकीन नहीं होगा कि तुम्हारी सादी-सी नोटबुक एक दर्पण का काम कर सकती है। करके देखो।

अपनी नोटबुक के एक पन्ने को खिड़की के सामने आड़ा पकड़कर रखो। अब अपनी आँखों को कागज़ के तल से थोड़ा-सा ऊपर रखकर देखो। तुम्हें कागज़ में चमकीली वस्तुओं के प्रतिबिम्ब नज़र आएँगे। इसे अलग-अलग खुरदरे कागज़ों के साथ करके देखो।

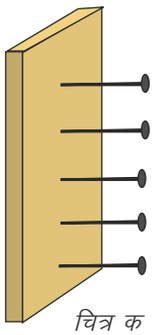
गतिविधि 12

गोलाई वाले दर्पण

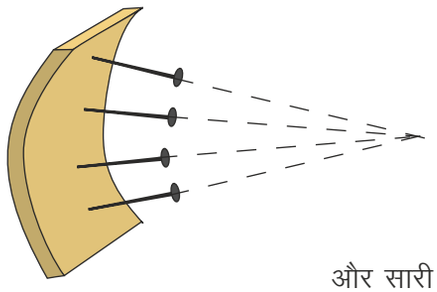
हमने देखा कि समतल सतह से प्रकाश का परावर्तन कैसे होता है। उसमें हमने जो कुछ सीखा है, उन बातों को हम गोलाई वाली सतहों पर परखेंगे। शुरू करने से पहले उन बातों को दोहरा लेते हैं।

परावर्तन का पहला नियम बताता है कि अभिलम्ब से एक कोण पर आने वाली आपतित किरण परावर्तन के बाद अभिलम्ब के दूसरी ओर उतने ही कोण से लौट जाती है।

यह नियम हरेक सतह के लिए सही है। चाहे वह सतह चमकीली समतल सतह हो या खुरदरी सतह हो या गोलाई वाली सतह हो। यहाँ निम्नलिखित शब्द महत्वपूर्ण हैं – 'आपतन बिन्दु पर अभिलम्ब से बना कोण'। यदि हमें किसी सतह के किसी बिन्दु पर अभिलम्ब पता हो और आपतन कोण पता कर लें तो परावर्तित किरण का रास्ता पता किया जा सकता है। समतल सतह पर किसी भी बिन्दु पर अभिलम्ब पता करना तो आसान था। किसी खुरदरी सतह के समान गोलाई वाली सतह पर भी अभिलम्ब पता करना आसान नहीं होता।



चित्र क

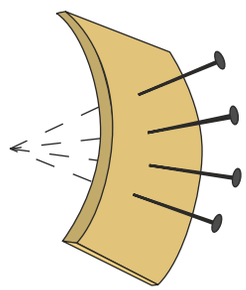


चित्र ख

मगर किसी गोलाई वाली सतह के किसी बिन्दु पर अभिलम्ब पता करने के लिए एक आसान-सा तरीका अपना सकते हैं। नरम फोम या रबर की चप्पल का पतला तलुआ लो। जैसा कि चित्र क में दिखाया गया है इस फोम या तलुए में एक सीधी रेखा में कुछ पिनें गाड़ दो। ये सारी पिनें फोम या तलुए के लम्बवत् होनी चाहिए। यदि इस फोम के टुकड़े को दर्पण मानें तो ये सारी पिनें अपनी-अपनी जगह पर अभिलम्ब हैं। इस बिन्दु पर कोई किरण आएगी तो इस अभिलम्ब से उतना ही कोण बनाते हुए परावर्तित हो जाएगी।

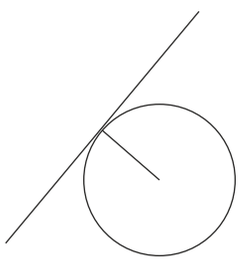
अब मान लो हम इस फोम के टुकड़े को अन्दर की ओर गोल कर देते हैं, जैसा कि चित्र ख में दिखाया गया है। ऐसा करने पर पिनों को क्या होगा? ये पिनें अभी भी विभिन्न बिन्दुओं पर अभिलम्ब की द्योतक हैं मगर तुम देख सकते हो कि ये सब एक बिन्दु पर मिल रही हैं। अर्थात् अवतल दर्पण के मामले में सारे अभिलम्ब किसी बिन्दु पर मिलेंगे। इस बिन्दु को दर्पण का वक्रता केन्द्र कहते हैं। सिर्फ एक अन्तर है – अवतल दर्पण वास्तव में किसी गोले का एक हिस्सा होता है जबकि तलुए की घूमी हुई सतह एक बेलन का हिस्सा है।

इसी प्रकार से किसी उत्तल दर्पण के लिए स्थिति चित्र ग के समान होगी। हमने तलुए को बाहर की ओर घुमाकर मोड़ा है

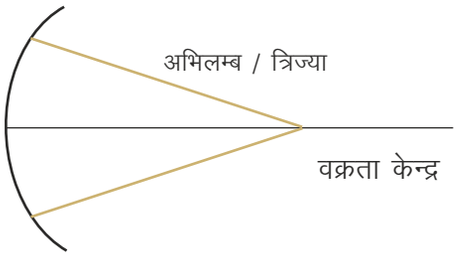


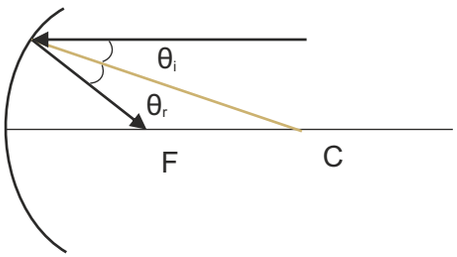
चित्र ग

और सारी पिनें एक-दूसरे से दूर जाती लगती हैं। चित्र में देखो कि यदि पिनों से बनी लाइनों को पीछे की ओर बढ़ाएँ तो क्या ये दर्पण के पीछे एक बिन्दु पर मिलती हैं।



अपनी ज्यामिति को थोड़ा याद करो। तुम्हें याद होगा कि किसी वृत्त के केन्द्र से परिधि को मिलाने वाली त्रिज्या परिधि के उस बिन्दु की स्पर्श रेखा पर लम्बवत् होती है।





अवतल दर्पण को एक बड़े गोले का एक हिस्सा माना जा सकता है। इससे हमें यह सुराग मिलता है कि किसी गोलीय दर्पण के किसी बिन्दु पर अभिलम्ब का पता कैसे लगाएँ। हमें बस इतना करना होगा कि दर्पण के उस बिन्दु से गोले के केन्द्र की ओर एक रेखा खींचें। अर्थात् दर्पण का वक्रता केन्द्र पता करने के लिए हमें यह सोचना होगा कि वह दर्पण किस गोले का हिस्सा है। इस बात की कल्पना दो आयाम में करना आसान है। इसलिए हम जो चित्र बनाएँगे वह किसी दर्पण की एक कटान का चित्र होगा। ऐसे चित्र में गोलीय दर्पण एक चाप के समान दिखता है (बाजू का चित्र देखो)।

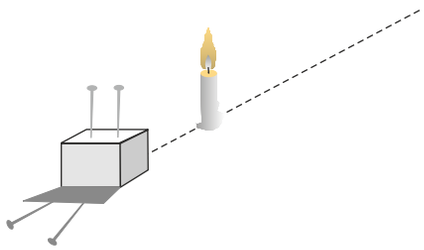
आपतित किरण A के लिए आपतन कोण वह है जो यह किरण त्रिज्या (अभिलम्ब) के साथ बनाती है। चित्र में इसे q_i के रूप में दिखाया गया है। परावर्तन कोण को q_r के रूप में दिखाया गया है। परावर्तन के पहले नियम से हम जानते हैं कि $q_i = q_r$। आपतन बिन्दु से शुरू होकर अभिलम्ब से q_r कोण बनाने वाली रेखा परावर्तित किरण है।

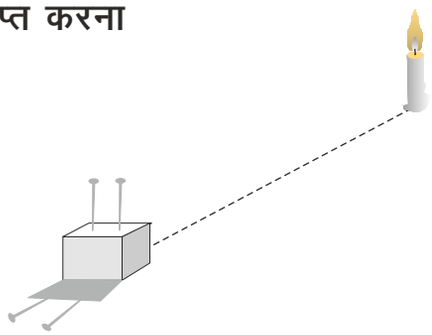
एक बात पर ध्यान दो। दर्पण की सतह के केन्द्र से दर्पण के केन्द्र को जोड़ने वाली त्रिज्या को दर्पण की मुख्य अक्ष कहते हैं। ऊपर हमने जो आपतित किरण A ली थी वह मुख्य अक्ष के समान्तर थी।

इस तरीके से मुख्य अक्ष के समान्तर आने वाली विभिन्न आपतित किरणों के लिए परावर्तित किरणें बनाओ। तुम्हारा निष्कर्ष क्या है?

क्या इस निष्कर्ष की पुष्टि प्रयोग से कर सकते हैं? इसके लिए पहले तो हमें कोई जुगाड़ जमाना होगा जिससे हमें समान्तर किरणों का एक पुंज मिल सके।

प्रकाश का एक समान्तर पुंज प्राप्त करना





ऊपर के चित्र में दिखाए अनुसार हमें दो पिनों को एक थर्मोकोल के टुकड़े में इस तरह सीधा गाड़ना होगा कि वे एक-दूसरे के समान्तर रहें। जैसा कि हम चित्र में देख सकते हैं, जब प्रकाश के स्रोत (मोमबत्ती) को पास में रखा जाता है तो पिनों की छायाएँ एक-दूसरे से दूर हटती हैं। जैसे-जैसे हम प्रकाश के स्रोत को दूर ले जाते हैं, दोनों पिनों की छायाओं के बीच कोण कम होता जाता है। यदि हम प्रकाश के स्रोत को बहुत दूर कर दें तो छायाएँ एक-दूसरे के समान्तर हो जाएँगी। मगर जैसे-जैसे हम मोमबत्ती को दूर ले जाते हैं, पिन पर प्रकाश की तीव्रता कम होती जाती है।

इसका मतलब यह हुआ कि हमें एक शक्तिशाली प्रकाश स्रोत की ज़रूरत है जो बहुत दूर हो ताकि हमें समान्तर किरणें मिल सकें। ऐसा स्रोत कहाँ मिलेगा? हाँ, ऐसा एक स्रोत उपलब्ध है और तुमने अन्दाज़ लगा ही लिया होगा कि वह स्रोत है सूरज।

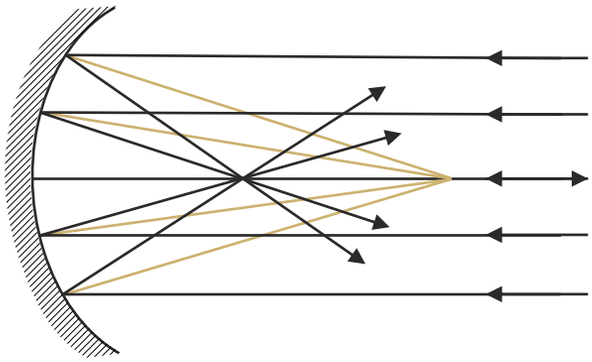
गोलीय दर्पणों के साथ प्रयोग

गतिविधि 13

अब हम अपनी इस भविष्यवाणी की जाँच करने को तैयार हैं कि प्रकाश का एक समान्तर पुंज (जो दर्पण की मुख्य अक्ष के समान्तर हो) अवतल दर्पण से परावर्तन के बाद एक बिन्दु पर केन्द्रित हो जाएगा।

इसके लिए तुम्हें एक अवतल दर्पण, कागज़, मापन फीते या स्केल की ज़रूरत होगी।

अपने अवतल दर्पण को सूरज की रोशनी के लम्बवत् पकड़ो। एक कागज़ का टुकड़ा लो और इसे दर्पण के सामने लाओ। इसे आगे-पीछे करके देखो कि तुम्हें सूरज का सबसे छोटा और चमकदार प्रतिबिम्ब कहाँ मिलता है। ध्यान रखना कि कागज़ का टुकड़ा छोटा-सा हो ताकि वह दर्पण तक सूरज के प्रकाश को पहुँचने से न रोके। ज़रूरी हो तो दर्पण को थोड़ा झुका लो।



सभी अभिलम्बों को **पीले** रंग से दिखाया गया है।

सावधानी: दर्पण में सीधे सूरज की ओर मत देखना। ऐसा करने से तुम्हारी आँखों को नुकसान हो सकता है।

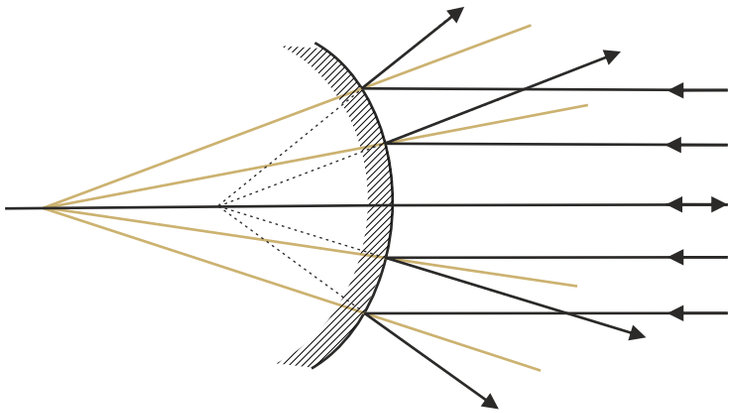
सूरज के प्रतिबिम्ब से दर्पण तक की दूरी नापो।

जहाँ सूरज का स्पष्ट प्रतिबिम्ब बनता है उसे दर्पण का **फोकस** या **फोकल बिन्दु** (F) कहते हैं। दर्पण के केन्द्र से फोकल बिन्दु की दूरी को दर्पण की फोकल लम्बाई कहते हैं। दर्पण का वक्रता केन्द्र (C) इससे दुगनी दूरी पर होगा।

दर्पण के केन्द्र और उसके फोकल और वक्रता केन्द्र को जोड़ने वाली काल्पनिक रेखा को दर्पण की मुख्य अक्ष कहते हैं। दर्पण के केन्द्र से वक्रता केन्द्र की दूरी को वक्रता त्रिज्या कहते हैं।

इस प्रयोग में हमने प्रकाश स्रोत के रूप में सूरज का उपयोग किया। अब हम ऐसी वस्तु का उपयोग करेंगे जो बहुत दूर नहीं है बल्कि मापन योग्य दूरी में है। ऐसी वस्तु के साथ प्रयोग करके हम देखेंगे कि प्रतिबिम्ब कैसा बनता है।

सभी अभिलम्बों को **पीले** रंग से दिखाया गया है।



उत्तल दर्पण का फोकल बिन्दु

एक चित्र बनाकर देखो कि जब समान्तर किरणों का कोई पुंज एक उत्तल दर्पण पर पड़ेगा तो क्या होगा। चित्र बनाने के बाद अपने उत्तर की पुष्टि प्रयोग की मदद से करो। ऊपर बने चित्र से मदद मिल सकती है।

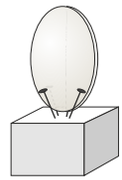
इसके आधार पर क्या निष्कर्ष निकालोगे? फोकल बिन्दु कहाँ है? यदि तुम इस फोकल बिन्दु पर एक पर्दा रखो, तो क्या तुम्हें एक बिन्दु के रूप में प्रतिबिम्ब मिलेगा?

गतिविधि 14

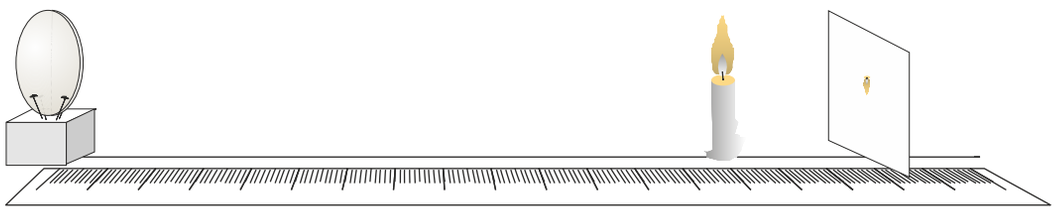
इसके लिए तुम्हें एक मोमबत्ती, कागज़, अवतल दर्पण, थर्मोकोल के टुकड़े, पिन, नापने के फीते या स्केल की ज़रूरत पड़ेगी।

दर्पण को स्टैंड पर लगा दो (बाजू का बॉक्स देखो)। नीचे के चित्र में दिखाए अनुसार एक मोमबत्ती और मीटर स्केल जमाओ। मोमबत्ती की लौ उसी ऊँचाई पर होनी चाहिए जितनी ऊँचाई पर दर्पण लगा है। मोमबत्ती को दर्पण से 40 सेमी की दूरी पर रखो और कागज़ को दर्पण की मुख्य अक्ष की ऊँचाई पर रखते हुए दर्पण से दूर या पास लाओ। यह कागज़ हमारा पर्दा है। वह बिन्दु पता करो जहाँ तुम्हें मोमबत्ती की लौ का बढ़िया प्रतिबिम्ब मिले। मोमबत्ती को दर्पण से अलग-अलग दूरी पर रखकर इस प्रयोग को दोहराओ और अपने अवलोकन तालिका में नोट करो।

दर्पण के लिए स्टैंड



रबर या थर्मोकोल का एक गुटका लो। दर्पण को अपने हाथ में पकड़कर चित्र में दिखाए अनुसार उसे इस गुटके पर चार पिनों की मदद से लगा दो। यह ध्यान रखना कि दर्पण ऊर्ध्वाधर (एकदम सीधा खड़ा) रहे और पिनों के बीच में कसकर फँसा हो।



क्रमांक	दर्पण से मोमबत्ती की दूरी	दर्पण से पर्दे की दूरी	प्रतिबिम्ब का प्रकार	
			लौ से छोटा या बड़ा	सीधा या उल्टा
1	40 सेमी			
2	50 सेमी			
3	60 सेमी			
4	30 सेमी			
5	20 सेमी			
6	10 सेमी			
7	>60 सेमी			

प्रतिबिम्ब के आधार पर अपने अवलोकनों के समूह बनाओ – जैसे क्या प्रतिबिम्ब वस्तु से बड़ा है या उल्टा है वगैरह। मोमबत्ती को दर्पण से दूर ले जाने पर प्रतिबिम्ब की स्थिति में क्या परिवर्तन होता है? क्या यह सम्भव है कि किसी जगह पर मोमबत्ती को रखने पर प्रतिबिम्ब न मिले? इस बात को भी नोट करो।

चूँकि हमें इस दर्पण की फोकस दूरी और वक्रता त्रिज्या पता है, इसलिए हम अपने अवलोकनों का समूहीकरण एक अन्य तरीके से भी कर सकते हैं। यह तरीका अगले पेज पर दी गई तालिका में बताया गया है। क्या तुम्हें इसमें कोई क्रम दिखाई पड़ता है।

यहाँ हमारा सुझाव है कि तुम एक अवलोकन और करो। तुम कोशिश कर रहे थे कि वस्तु को अलग-अलग दूरी पर रखकर उसका प्रतिबिम्ब पर्दे पर प्राप्त करो। इसके साथ ही दर्पण में देखो और पता करो कि मोमबत्ती का प्रतिबिम्ब सीधा बना है या उल्टा। क्या प्रतिबिम्ब बड़ा या छोटा है?

मोमबत्ती की स्थिति	दर्पण से मोमबत्ती की दूरी	दर्पण से पर्दे की दूरी	प्रतिबिम्ब का प्रकार	
			लौ से छोटा या बड़ा	सीधा या उल्टा
दर्पण और F के बीच				
फोकल बिन्दु पर				
F और C के बीच				
वक्रता केन्द्र पर				
वक्रता केन्द्र से बाहर				

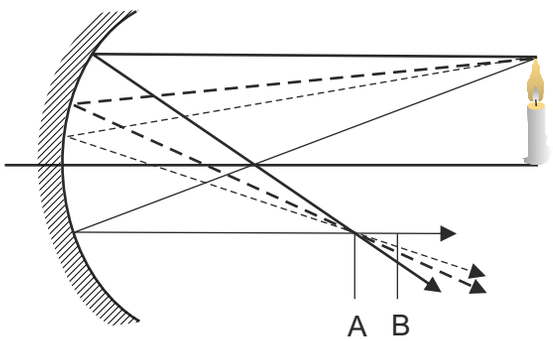
अवलोकनों को समझाने के लिए मॉडल

किरण पथ रेखाचित्र का उपयोग करके हम इस बात की सही भविष्यवाणी कर पाए थे कि अवतल दर्पण से हमें सूर्य का अत्यन्त छोटा प्रतिबिम्ब फोकल बिन्दु पर मिलेगा। अब हम ऐसी तरकीब विकसित करने की कोशिश करेंगे जिससे हम दर्पण के अक्ष पर कहीं भी रखी किसी वस्तु के लिए किरण पथ रेखाचित्र बना सकें और उपरोक्त अवलोकनों को एक आधार प्रदान कर सकें।

जैसा कि हमने समतल दर्पण के मामले में किया था, हम किसी वस्तु के एक ही बिन्दु से निकलने वाली मगर अलग-अलग दिशा में जाने वाली दो किरणें लेंगे और देखेंगे कि दर्पण से परावर्तन के बाद वे कहाँ जाती हैं। इन किरणों को देखकर हम यह पता करने की कोशिश करेंगे कि प्रतिबिम्ब कहाँ बनेगा। हम वस्तु के दो अलग-अलग बिन्दुओं से निकलने वाली दो-दो किरणें लेकर रेखाचित्र बनाएँगे।

एक उदाहरण लेते हैं।

नीचे के चित्र में दिखाए अनुसार मानो कि एक अवतल दर्पण है और उससे कुछ दूरी पर एक मोमबत्ती रखी हुई है।



चित्र में लौ (वस्तु) के ऊपरी सिरे से शुरू होने वाली कुछ किरणें दर्शाई गई हैं। हमने परावर्तन के जो नियम सीखे हैं, उनके आधार पर हम इन किरणों के लिए परावर्तित किरणें बनाएँगे और उन्हें तब तक आगे बढ़ाएँगे जब तक कि वे एक-दूसरे को काटती नहीं। कटान बिन्दु A पर हमें लौ के ऊपरी सिरे का साफ प्रतिबिम्ब प्राप्त होगा।

बिन्दु A पर ही क्यों?

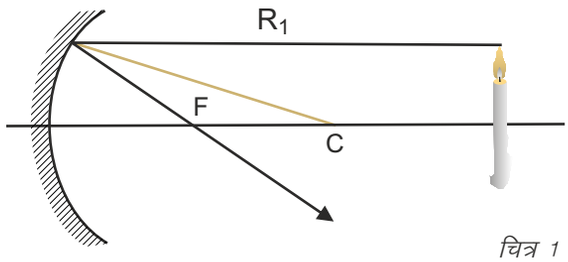
यदि हम कागज़ को बिन्दु A से दूर रखें (मान लो बिन्दु B पर रखें) तो हम देखते हैं कि अलग-अलग परावर्तित किरणें कागज़ पर अलग-अलग बिन्दुओं पर पहुँचती हैं। अर्थात् इन अलग-अलग किरणों के कारण लौ के सिरे के प्रतिबिम्ब कागज़ के अलग-अलग बिन्दुओं पर बनेंगे। यदि हम सिरे से निकलने वाली और किरणों को देखेंगे तो पाएँगे कि वे बिन्दु A पर मिलती हैं, बिन्दु B पर नहीं। इसलिए लौ के सिरे का प्रतिबिम्ब स्पष्ट तब बनेगा जब हम कागज़ को बिन्दु A पर रखेंगे। कागज़ को कहीं और रखने से प्रतिबिम्ब धुँधला बनेगा।

क्या यही बात तुमने प्रयोग में नहीं देखी थी? मगर सारी आपतित किरणों के लिए परावर्तित किरणें खींचना आसान नहीं होगा। हर बार हमें अभिलम्ब का पता करना होगा, आपतन कोण नापना होगा और फिर बराबर कोण बनाते हुए परावर्तित किरण खींचना होगा। यह काम कठिन होगा। तो क्या इसे करने का कोई आसान तरीका है?

हाँ, कुछ तरीके हैं। अब तक की चर्चा के आधार पर हम कुछ किरणें पहचान सकते हैं जिनकी मदद से हम बिन्दु A का पता लगा सकते हैं।

पहली किरणः आपतित किरण अक्ष के समान्तर

हमने देखा है कि अक्ष के समान्तर आने वाली सारी किरणें इस तरह परावर्तित होती हैं कि वे दर्पण के फोकल बिन्दु से होकर गुज़रती हैं। अर्थात् किरण रेखाचित्र बनाने में सबसे आसान किरण वह होगी जो वस्तु से निकलकर दर्पण की मुख्य अक्ष के समान्तर चलती है। बात को और आसान बनाने के लिए हम सदा वह किरण चुनेंगे जो वस्तु के ऊपरी सिरे से शुरू होती है। चित्र 1 में किरण R_1 को देखो।

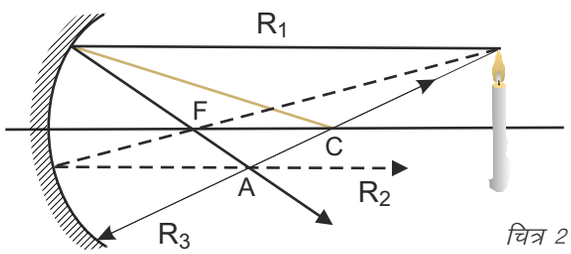


चित्र 1

दूसरी किरणः फोकल बिन्दु से गुज़रने वाली आपतित किरण

हम यह भी जानते हैं कि इसका उल्टा नियम भी सही है। अर्थात् दर्पण के फोकल बिन्दु से होकर आने वाली आपतित किरण परावर्तन के बाद मुख्य अक्ष के समान्तर हो जाती है।

इस आधार पर हमें दूसरी किरण प्राप्त हो जाती है। यह वह किरण होगी जो वस्तु (लौ के सिरे) से निकलकर फोकल बिन्दु से होती हुई दर्पण पर पहुँचती है। परावर्तन के बाद यह दर्पण के मुख्य अक्ष के समान्तर हो जाएगी (नीचे चित्र 2 में टूटी रेखा से बनी किरण R_2 को देखो)।



चित्र 2

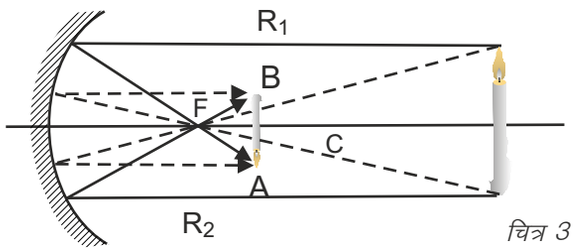
इन दो किरणों की मदद से हम पता कर सकते हैं कि लौ के सिरे का प्रतिबिम्ब कहाँ बनेगा। हमें यह देखना होगा कि ये दो किरणें किस बिन्दु पर एक-दूसरे को काटती हैं। हमारे चित्र में ये किरणें बिन्दु A पर एक-दूसरे को काटती हैं।

तीसरी किरणः वक्रता केन्द्र से गुज़रने वाली आपतित किरण

हमने देखा था कि जो किरण दर्पण पर लम्बवत् गिरती है, वह परावर्तन के बाद उसी रेखा पर लौट जाती है। किसी गोलीय दर्पण के लिए ऐसी किरण कौन-सी होगी?

हम जानते हैं कि दर्पण के वक्रता केन्द्र से खींची गई कोई भी रेखा दर्पण के जिस बिन्दु पर गिरती है, वह उस बिन्दु पर खींची गई स्पर्श रेखा के लम्बवत् होती है। अर्थात् यदि हम वस्तु के सिरे से निकलने वाली कोई ऐसी किरण खींचें जो दर्पण के वक्रता केन्द्र से होकर गुज़रती है तो वह उसी रेखा पर लौट जाएगी। चित्र 2 में इसे किरण R_3 के रूप में दर्शाया गया है।

यदि हमने वस्तु को नीचे चित्र 3 में दिखाए अनुसार रखा है, तो हम ऊपर बताए गए नियमों के अनुसार वही प्रक्रिया मोमबत्ती के आधार के साथ भी कर सकते हैं और बिन्दु B पता कर सकते हैं। हम पाते हैं कि बिन्दु B दर्पण से ठीक उतनी ही दूरी पर है जितनी दूरी पर बिन्दु A है। इसलिए प्रतिबिम्ब ऊर्ध्वाधर होगा।



चित्र 3

मामले को और सरल बनाने के लिए हम यह तय कर सकते हैं कि वस्तु को हमेशा दर्पण के मुख्य अक्ष पर रखेंगे। चूँकि अक्ष के किसी बिन्दु से निकलकर अक्ष पर चलने वाली किरण अक्ष के रास्ते ही वापस लौटेगी, इसलिए वस्तु के आधार का प्रतिबिम्ब अक्ष पर ही बनेगा। हमें यह भी पता है कि ऊर्ध्वाधर रखी वस्तु का प्रतिबिम्ब ऊर्ध्वाधर ही बनेगा। इसलिए हमें सिर्फ इतना करना होगा कि बिन्दु A से मुख्य अक्ष पर एक लम्बवत् रेखा खींचेंगे। जहाँ यह रेखा मुख्य अक्ष को काटेगी उसी बिन्दु पर मोमबत्ती के आधार का प्रतिबिम्ब बनेगा।

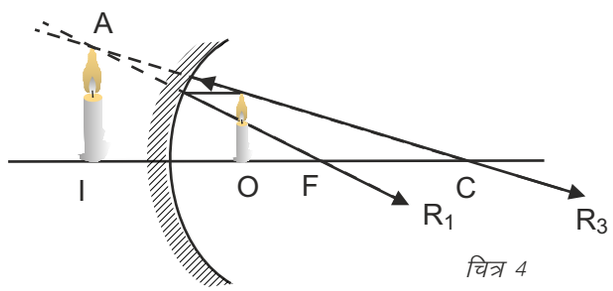
तो, चित्र 2 में दिखाए मामले में, जहाँ वस्तु को वक्रता केन्द्र के बाहर रखा गया है, प्रतिबिम्ब उल्टा बनेगा और वस्तु से छोटा बनेगा। क्या यह निष्कर्ष तुम्हारे अवलोकन से मेल खाता है?

यह प्रतिबिम्ब दर्पण के बाहर पर्दे पर बना है। ऐसे प्रतिबिम्ब को **वास्तविक प्रतिबिम्ब** कहते हैं।

विभिन्न स्थानों पर वस्तु को रखकर किरण रेखाचित्र बनाओ और देखो कि क्या ये तुम्हारे अवलोकनों से मेल खाते हैं।

प्रयोग के दौरान क्या तुम्हें कोई ऐसा स्थान मिला जहाँ वस्तु को रखने पर पर्दे पर प्रतिबिम्ब नहीं बनता?

नीचे चित्र 4 में दर्शाई गई स्थिति पर विचार करो। इसमें मोमबत्ती (O) को दर्पण की फोकस दूरी से कम दूरी पर रखा गया है।



चित्र 4

इस रेखाचित्र को बनाते समय हमने ऊपर बताई गई पहली व तीसरी किरण का उपयोग किया है। दूसरी किरण (सिरे से शुरू होकर फोकल बिन्दु से गुज़रने वाली किरण) तो दर्पण से टकराती ही नहीं है। और R_3 बनाते हुए हमने एक छोटा-सा परिवर्तन किया है। यह वह किरण है जो लौ के सिरे से निकलती है और दर्पण की ओर जाती है। मगर यदि हम इसे पीछे की ओर बढ़ाएँ तो यह वक्रता केन्द्र से आती प्रतीत होगी। यह किरण दर्पण की सतह के लम्बवत् आएगी और टकराकर उसी रास्ते वापस लौट जाएगी। हम देख सकते हैं कि ये दो परावर्तित किरणें एक-दूसरे से दूर होती जाती हैं और मिलती नहीं हैं।

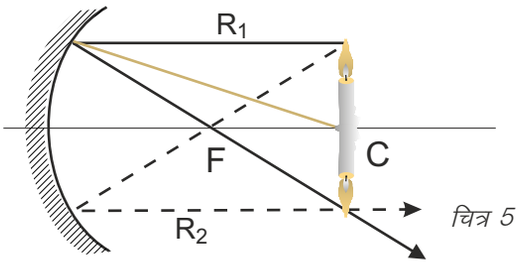
प्रयोग करते समय हमने देखा था कि इस मामले में हमें ऐसा कोई स्थान नहीं मिला था जहाँ पर्दे पर एक स्पष्ट प्रतिबिम्ब बनता हो। यह रेखाचित्र बताता है कि ये किरणें एक-दूसरे से दूर हट रही हैं, इसलिए हमें कहीं भी एक वास्तविक प्रतिबिम्ब नहीं मिलेगा। तो चाहे हम पर्दे को कमरे से बाहर भी लगा दें, तो भी प्रतिबिम्ब नहीं खोज पाएँगे। मगर यदि हम दर्पण में देखें तो इस स्थिति में भी प्रतिबिम्ब तो दिखता है। क्या इस प्रतिबिम्ब की व्याख्या किरण चित्र की मदद से कर सकते हैं? ज़रूर कर सकते हैं।

याद करो, हमने समतल दर्पण में प्रतिबिम्ब हासिल करने के लिए क्या किया था। हमने परावर्तित किरणों को पीछे की ओर बढ़ाया था और देखा था कि वे कहाँ मिलती हैं। वही प्रतिबिम्ब की स्थिति थी। वैसा ही हम यहाँ भी करेंगे। जब हम दर्पण में देखते हैं, तो एक-दूसरे से दूर जाती ये परावर्तित किरणें किसी एक बिन्दु से आती प्रतीत होती हैं। किरणों को पीछे की ओर बढ़ाकर हम इस बिन्दु का पता कर सकते हैं।

जैसा कि चित्र से पता चलता है, यह प्रतिबिम्ब सीधा है और बड़ा है। क्या यह तुम्हारे अवलोकन से मेल खाता है?

परावर्तित किरणों को पीछे की ओर बढ़ाकर जो प्रतिबिम्ब प्राप्त होता है, उसे **आभासी प्रतिबिम्ब** कहते हैं। इसे पर्दे पर प्राप्त नहीं किया जा सकता।

यदि वस्तु को वक्रता केन्द्र पर रखा जाए, तो एक और रोचक स्थिति पैदा होती है। अपने प्रायोगिक अवलोकनों का सत्यापन करने के लिए किरण चित्र बनाओ।



चित्र 5

हमें प्रतिबिम्ब ठीक उतनी ही दूरी पर कैसे मिलता है जितनी दूरी पर वस्तु रखी है। यदि तुम मोमबत्ती को एक गुटके पर रखो, तो देख पाओगे कि प्रतिबिम्ब गुटके पर ही बना है। यदि हम गुटके को हटाकर दर्पण में देखें तो हमें प्रतिबिम्ब दिखेगा। यदि यह पता करना है कि प्रतिबिम्ब ठीक उतनी ही दूरी पर बना है जहाँ वस्तु रखी है, तो हमें पैरेलेक्स (विस्थापनाभास) समाप्त करने की विधि का उपयोग करना पड़ेगा। करना यह होता है कि वस्तु और उसके प्रतिबिम्ब को एक साथ देखें। अब अपने सिर को आजू-बाजू सरकाने के बाद भी यदि वस्तु और प्रतिबिम्ब एक-दूसरे के साथ ही चलते नज़र आएँ, तो कहा जा सकता है कि प्रतिबिम्ब ठीक वस्तु के ऊपर है। ऐसी स्थिति में कहा जाता है कि उनके बीच कोई पैरेलेक्स या विस्थापनाभास नहीं है।

उपरोक्त चर्चा से तुम्हें अवतल दर्पण के अजीब गुणों का पता चला होगा। यदि वस्तु को दर्पण के काफी नज़दीक (फोकस दूरी से कम दूरी पर) रखा जाता है, तो अवतल दर्पण उसे आवर्धित करता है। यानी प्रतिबिम्ब वस्तु से बड़ा बनता है। इस स्थिति में प्रतिबिम्ब सीधा भी होता है। इस गुण का फायदा कई जगह उठाया जाता है। एक उदाहरण दाढ़ी बनाते समय इस्तेमाल किए जाने वाले दर्पण का है।

अवतल दर्पण का एक और गुण यह है कि यह किरणों को फोकल बिन्दु पर संकेन्द्रित कर सकता है। इस गुण का उपयोग भी कई जगहों पर होता है। अपने आसपास देखो कि गोलीय दर्पण कहाँ-कहाँ लगे हैं। रोज़मर्रा के जीवन में भी हम कई गोलाई वाली सतहें देखते हैं। ऐसी सतहें काफी रोचक प्रतिबिम्ब बनाती हैं। मगर ऐसी सारी सतहें अवतल नहीं होतीं। दरअसल, इनमें से कई तो उत्तल होती हैं (नीचे चित्र देखो)। अब देखते हैं कि उत्तल सतहों के लिए किरण चित्र कैसे बनाते हैं।

उत्तल दर्पण

उत्तल दर्पण के लिए किरण चित्र बनाने के लिए हम उन्हीं 'आसान' किरणों का उपयोग कर सकते हैं। बस थोड़ी फेरबदल करनी होगी। इन किरणों के लिए तीन नियम हैं। चित्र बनाने की प्रक्रिया तो वही है और उसे यहाँ फिर से नहीं बताया जा रहा है।

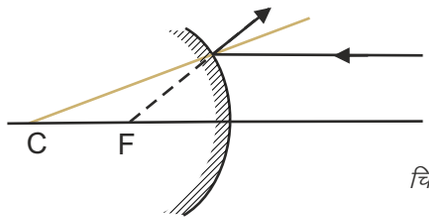
नियम 1: मुख्य अक्ष के समान्तर आ रही किरण उत्तल दर्पण से टकराकर इस तरह मुड़ती है कि लगता है कि वह दर्पण के फोकल बिन्दु से आ रही है। चित्र क।

नियम 2: यह नियम 1 का उल्टा है। फोकल बिन्दु की ओर जा रही किरण परावर्तन के बाद मुख्य अक्ष के समान्तर हो जाती है। चित्र ख।

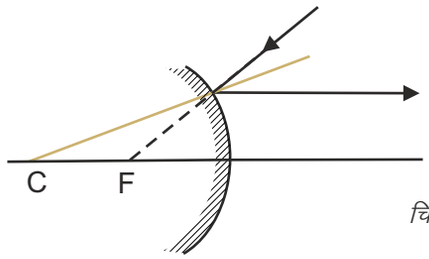
नियम 3: इन दो नियमों की मदद से हम सारे किरण चित्र बना सकते हैं। वैसे एक और नियम बनाया जा सकता है। यह नियम चित्र ग में दर्शाया गया है। इसे शब्दों में व्यक्त करने का काम तुम पर छोड़ते हैं।

इन नियमों का उपयोग करते हुए विभिन्न स्थानों पर वस्तु को रखकर किरण चित्र बनाकर बताओ कि प्रतिबिम्ब कहाँ व कैसा बनेगा। अपने निष्कर्षों की पुष्टि प्रयोग से करो।

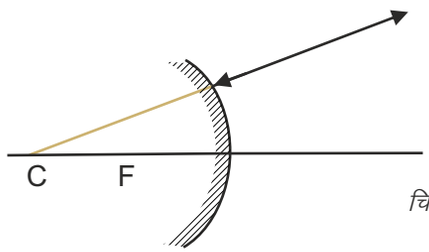
अब तक हमने दर्पणों से प्रतिबिम्ब बनाकर देखे और उनको समझने के लिए प्रकाश किरणों का मॉडल भी बनाया। इस मॉडल को थोड़ा और गणितीय रूप दें तो हम यह भी समझ सकते हैं कि प्रतिबिम्ब वस्तु से कितना छोटा या बड़ा बनेगा। मगर उसके लिए कुछ परिभाषाओं और समीकरणों की ज़रूरत पड़ेगी। ये परिशिष्ट 1 में बताई गई हैं।



चित्र क



चित्र ख



चित्र ग

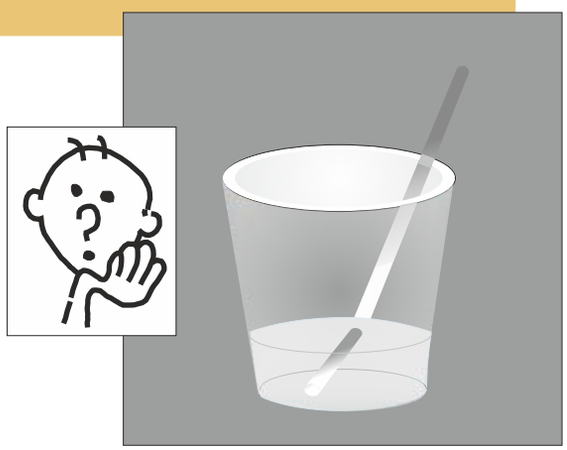
गिलास और बरतन रोचक गोलीय दर्पण बनाते हैं!

अरेबिया के अल खिंदी (801-873) ने प्रकाश के क्षेत्र में काफी अहम योगदान दिया था। उन्होंने किसी वस्तु से निकलने वाली प्रकाश किरणों का बिन्दु दर बिन्दु विश्लेषण करने का विचार दिया था। अल हसन (965-1040) वे पहले व्यक्ति थे जिन्होंने इन विचारों को यूक्लिड और टोलेमी की ज्यामिति के साथ जोड़ा था और यही आज के किरण चित्रों का आधार है। उनका सिद्धान्त अधूरा था क्योंकि उस समय कोई नहीं जानता था कि जब प्रकाश किरणें आँखों में प्रवेश करती हैं, तो आँखें किस तरह से उन्हें मोड़ती हैं। सम्भव है कि यदि अल हसन को आँख की अन्दरूनी रचना पता होती तो वे कहीं ज़्यादा आगे बढ़ पाते। बदकिस्मती से धार्मिक पाबन्दियों के चलते वे आँख का विच्छेदन करके उसकी रचना के बारे में ज़्यादा नहीं समझ पाए। उन्हें पुरानी गलत जानकारी पर ही भरोसा करना पड़ा।

हमें रोज़ाना कई चमकीली गोलीय सतहें देखने को मिलती हैं। उदाहरण के लिए कार की बाहरी सतह खूब चमकदार होती है और उसमें खिड़कियों के शीशे भी गोलाई लिए होते हैं। कार पर सड़क के जो प्रतिबिम्ब बनते हैं वे बहुत रोचक और कभी-कभी मज़ेदार भी होते हैं।

इन चित्रों को देखकर क्या तुम बता सकते हो कि दर्पण अवतल है या उत्तल और बच्चे फोकल बिन्दु से कितनी दूरी पर खड़े हैं?

अपवर्तन



यह तो तुमने देखा ही होगा कि पानी में पड़ा चम्मच या स्ट्रॉ मुड़े हुए नज़र आते हैं। ऐसा क्यों होता है?

इस सवाल का जवाब पाने के लिए हमें यह देखना होगा कि जब प्रकाश किरणें काँच या पानी जैसे पारदर्शी माध्यम में से गुज़रती हैं तो क्या होता है। एक प्रयोग से शुरू करते हैं।

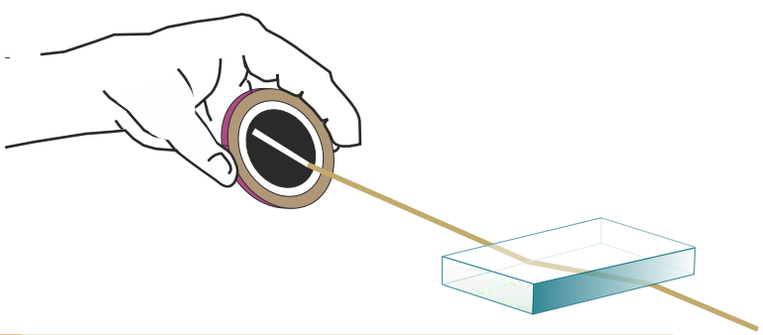
गतिविधि 15

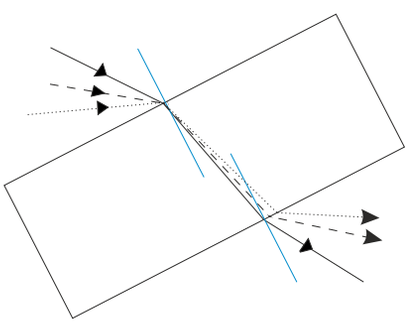
इसके लिए तुम्हें एक काले कागज़, प्रकाश की किरण बनाने के लिए एक समतल दर्पण, काँच के एक गुटके की ज़रूरत होगी। यदि काँच का गुटका न मिले तो प्लास्टिक या एक्रिलिक के पारदर्शी डिब्बे में पानी भरकर उसे पानी का गुटका मान सकते हैं। इसमें प्लास्टिक के डिब्बे की दीवार की मोटाई को नगण्य माना जा सकता है।

काँच के गुटके को चित्र में दिखाए अनुसार 'किरण दर्पण' से बनी प्रकाश किरण के रास्ते में रखो। यह प्रकाश किरण हमारी आपतित किरण है। जहाँ यह किरण काँच के गुटके की सतह से टकराती है, वहाँ तुम्हें क्या दिखता है? इसके बाद यह प्रकाश किरण काँच के गुटके में से होती हुई गुटके की दूसरी सतह पर पहुँचती है और गुटके से बाहर निकलती है, तब क्या होता है? वैसे जहाँ किरण काँच के गुटके से टकराती है वहाँ थोड़ा परावर्तन होता है और तुम्हें एक हल्की-सी परावर्तित किरण दिखाई देगी। इसी प्रकार से जहाँ प्रकाश किरण काँच की दूसरी सतह से टकराती है वहाँ भी एक परावर्तित किरण नज़र आएगी। मगर हमें उस किरण पर ध्यान देना है जो काँच के गुटके के दूसरी ओर से बाहर निकलती है। काँच के गुटके, आपतित किरण और बाहर निकलने वाली किरणों की स्थिति रेखाओं से दर्शाओ।

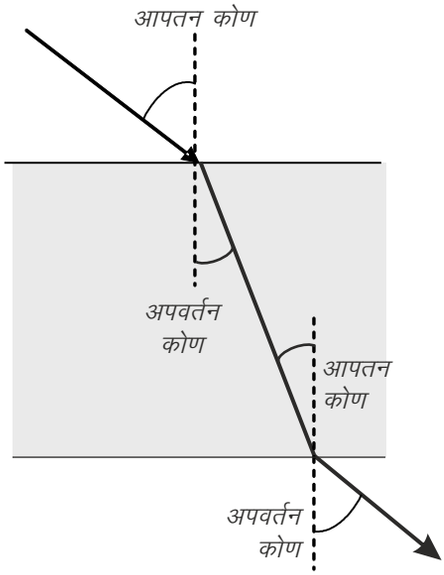
- हमने देखा कि काँच की सतह से थोड़ा परावर्तन होता है। हरेक वस्तु प्रकाश को परावर्तित करती है; कुछ वस्तुएँ कम तो कुछ ज़्यादा। काँच अधिकांश आपतित प्रकाश को आर-पार गुज़र जाने देता है, थोड़ा-सा प्रकाश ही सतह से परावर्तित होता है।

- हम देखते हैं कि आपतित किरण और गुटके से बाहर निकलने वाली किरण एक सीध में नहीं हैं। इससे लगता है कि शायद प्रकाश काँच की सतह से टकराने पर मुड़ जाता है। इसे प्रकाश का **अपवर्तन** कहते हैं।





किसी मोटरसाइकिल के रीयरव्यू दर्पण की फोकस दूरी पता करो। यह दर्पण अवतल है या उत्तल? ऐसे दर्पण का उपयोग क्यों किया गया है?



पहला आपतन कोण वह है जो आपतित किरण काँच के गुटके की सतह पर खींचे गए अभिलम्ब के साथ बनाती है। पहली अपवर्तित किरण वह है जो काँच के गुटके के अन्दर से गुज़रती है। पहला अपवर्तन कोण वह है जो पहली अपवर्तित किरण काँच के अन्दर आपतन बिन्दु पर खींचे गए अभिलम्ब के साथ बनाती है।

दूसरी बार अपवर्तन तब होता है जब काँच के गुटके में से किरण गुटके के बाहर हवा में निकलती है। यहाँ हम काँच के गुटके के अन्दर वाली किरण को आपतित किरण मान सकते हैं। आपतन कोण वह है जो यह किरण काँच की सतह के अन्दर की ओर आपतन बिन्दु पर खींचे गए अभिलम्ब के साथ बनाती है। इस दूसरे अपवर्तन में अपवर्तित किरण वह है जो काँच के गुटके में से हवा में निकलती है। इस मामले में अपवर्तन कोण वह कोण है जो यह अपवर्तित किरण काँच के गुटके के उस बिन्दु पर खींचे गए अभिलम्ब के साथ बनाती है।

तालिका

क्रमांक	पहली सतह हवा-काँच		दूसरी सतह काँच-हवा	
	आपतन कोण	अपवर्तन कोण	आपतन कोण	अपवर्तन कोण
1	30°			
2	40°			
3	50°			
4	60°			
5	70°			
6	20°			
7	10°			
8	0°			

इस प्रयोग को अलग-अलग आपतन कोण लेकर करो। बेहतर होगा यदि तुम पहले से कागज़ पर नाप-नापकर आपतन कोण की रेखाएँ बना लो और प्रकाश किरण को बारी-बारी से इन रेखाओं पर डालो और दूसरी ओर से प्रत्येक आपतन किरण के लिए निकलने वाली किरण को रिकॉर्ड करो। शुरुआत ऐसे आपतन कोण (जैसे 30 डिग्री) से करो जिसके मामले में बाहर निकलने वाली किरण (निर्गत किरण) को देखना आसान हो। इसके बाद आपतन कोण बढ़ाते जाओ और निर्गत किरण देखते जाओ। अन्त में छोटे आपतन कोण (20 डिग्री, 10 डिग्री, 0 डिग्री वगैरह) आज़माओ। अपने अवलोकन ऊपर दी गई तालिका में लिखो।

तुम यह भी देख सकते हो कि क्या प्रकाश की किरण का रास्ता पलटा जा सकता है – यानी यदि काँच के गुटके और कागज़ को इस तरह रखा जाए कि आपतित किरण पहली वाली निर्गत किरण पर पड़े तो क्या अब निर्गत किरण आपतित किरण की रेखा पर आती है?

क्या अपवर्तन का कोण हमेशा आपतन कोण से अधिक था? किस मामले में यह ज़्यादा था और किस मामले में कम था?

प्रोजेक्ट के लिए विचार

इसी प्रयोग को हवा और विभिन्न तरल पदार्थों के साथ करो। जैसे मिट्टी का तेल, खोपरे का तेल, विभिन्न खाद्य तेल, नमक का घोल, शक्कर का घोल, कॉपर सल्फेट का घोल वगैरह। अपनी विधि का विवरण दो और अपने परिणाम तालिका में लिखो।

काँच हवा की तुलना में प्रकाशीय रूप से अधिक घना माध्यम है। जब प्रकाश हवा में से काँच में प्रवेश करता है तो हम कहते हैं कि वह प्रकाशीय रूप से कम घने (विरल) माध्यम से प्रकाशीय रूप से अधिक घने (सघन) माध्यम में जा रहा है।

अपने अवलोकनों के आधार पर तुम एक माध्यम से दूसरे माध्यम (सघन से विरल और विरल से सघन) में अपवर्तन के बारे में क्या कह सकते हो?

लोगों ने यह प्रयोग बहुत परिष्कृत उपकरणों के साथ करके देखा है कि:

1. जब प्रकाश सघन माध्यम में प्रवेश करता है तो वह अभिलम्ब की ओर मुड़ जाता है।
2. जब प्रकाश विरल माध्यम में प्रवेश करता है तो वह अभिलम्ब से दूर जाता है।

अपने परिणामों के आधार पर अब तुम्हें आपतन कोण और अपवर्तन कोण के बीच सम्बन्ध निकालना है। इसके लिए ज़रूरी होगा कि सारे कोण बहुत सावधानी से नापे जाएँ। लोगों ने पदार्थों की अलग-अलग जोड़ियों के साथ प्रयोग किए हैं (जैसे काँच और हवा, हवा और पानी) और पाया है कि हरेक जोड़ी के लिए आपतन कोण और अपवर्तन कोण के बीच एक निश्चित सम्बन्ध होता है। यूनानी दार्शनिक टोलेमी ने अपने अवलोकनों के आधार पर 100-150 ईस्वीं में इनके बीच एक सम्बन्ध दर्शाया था। उन्होंने देखा था कि यह सही है कि आपतन कोण बढ़ने के साथ-साथ अपवर्तन कोण बढ़ता है मगर यह वृद्धि एकरूप नहीं होती। यहाँ हवा और पानी की सम्पर्क सतह पर किए गए प्रयोगों के परिणाम दिए गए हैं। तुमने प्रयोग करके जो मान निकाले हैं, उनकी तुलना इन मानों से करो।

आपतन कोण	अपवर्तन कोण
10°	8°
20°	15° 30’
30°	22° 30’
40°	29°
50°	35°
60°	40° 30’
70°	45° 30’
80°	50°

टोलेमी के परिणाम एक हद तक ही सही हैं क्योंकि वे कोण का एकदम सही मापन नहीं कर सके थे। वास्तव में 1621 में डच गणितज्ञ डब्लू स्नेल ने आपतन और अपवर्तन कोण के बीच सम्बन्ध का सूत्र प्रतिपादित किया था। स्नेल ने बताया था कि आपतन कोण और अपवर्तन कोण के साइन (ज्या) का अनुपात माध्यमों की किसी जोड़ी के लिए स्थिर रहता है। आगे चलकर यह स्पष्ट हुआ कि यह स्थिरांक दो माध्यमों में प्रकाश के वेगों का अनुपात है। इस स्थिरांक को **अपवर्तनांक** कहते हैं और इसे n# दर्शाया जाता है। सूत्र निम्नानुसार है:

$$n = \sin q_i / \sin q_r$$

इसमें q_i आपतन कोण और q_r अपवर्तन कोण है।

अपवर्तनांक ज्ञात करने के लिए एक उपकरण। कोणों को सही-सही नापने के लिए इसमें वर्नियर पैमाने की व्यवस्था की गई है।

अपने अवलोकनों के आधार पर हवा और काँच के बीच अपर्तनांक की गणना करने का प्रयास करो।

प्रयोग 15 में हम काँच से निकलती अपवर्तित किरण (निर्गत किरण) को देख पाए थे। उसे देखकर हमने निष्कर्ष निकाला था कि प्रकाश की किरण काँच में प्रवेश करते समय और काँच से फिर हवा में प्रवेश करते समय मुड़ी होगी। मगर हम यह नहीं देख पाए थे कि किरण को काँच के अन्दर क्या होता है। चलो देखते हैं कि क्या हम प्रकाश के पथ को देखने योग्य बना सकते हैं। इसके लिए हम काँच के स्थान पर पानी का उपयोग करके अपवर्तित किरण को देखने की कोशिश करेंगे।

गतिविधि 16

इसके लिए तुम्हें एक पारदर्शी एक्रिलिक या काँच के डिब्बे, पानी, दूध की कुछ बूँदों और लेसर पॉइंटर की ज़रूरत होगी।

पारदर्शी डिब्बे में पानी भरो और इस पानी में 2-4 बूँद दूध की डाल दो। इससे पानी थोड़ा दूधिया हो जाएगा और उसमें प्रकाश की किरण (लेसर पुंज) दिख सकेगी। अब इस डिब्बे की एक सतह पर थोड़ा कोण बनाते हुए प्रकाश की एक किरण डालो। क्या पानी में प्रवेश करने पर यह किरण अपने रास्ते से थोड़ी मुड़ जाती है?

क्या प्रकाश की किरण तब भी मुड़ती है जब वह पानी से निकलकर हवा में प्रवेश करती है?

यहाँ हम कहेंगे कि प्रकाश एक माध्यम (हवा) में से दूसरे माध्यम (पानी) में जा रहा है। माध्यम परिवर्तन पर प्रकाश की किरण के इस तरह मुड़ने को अपवर्तन कहते हैं।

हम यह जान गए हैं कि जब माध्यम बदलता है तो प्रकाश अपवर्तित होता है। तो हम अपने शुरू के सवाल पर विचार कर सकते हैं — पानी में खड़ा चम्मच क्यों मुड़ा हुआ दिखता है? सिर्फ इस बात पर ध्यान दो कि पानी और हवा की सम्पर्क सतह पर माध्यम बदल रहा है। तुमने जो नियम सीखे हैं, उन्हें लागू करके देखो कि क्या ऊपर बना रेखाचित्र सही है। चाहो तो प्रयोग करके जाँच कर सकते हो। अपने उत्तर का कारण भी बताना होगा।

अपवर्तन के नियम

1. आपतन कोण और अपवर्तन कोण की ज्या (साइन) का अनुपात माध्यमों की किसी भी जोड़ी के लिए स्थिरांक होता है। (स्नेल का नियम)
2. आपतन बिन्दु पर आपतित किरण और अपवर्तित किरण अभिलम्ब के विपरीत बाजू में होती हैं।
3. आपतित किरण, अभिलम्ब और अपवर्तित किरण एक ही तल में होते हैं।

क्या तुमने एक नीली चिड़िया देखी है जो अक्सर किसी जलाशय के नज़दीक पेड़ की शाखाओं या तारों पर बैठी रहती है? अगली बार जब जाओ तो इस चिड़िया को ज़रूर खोजना। इसका नाम किंगफिशर या किलकिला है। इसका मुख्य भोजन छोटी-छोटी मछलियाँ हैं। मछली पकड़ने के लिए यह थोड़ी ऊँचाई से पानी में तेज़ रफ्तार से गोता लगाती है। यह किसी शाखा पर बैठकर नीचे पानी को देखती रहती है। जैसे ही इसे कोई मछली नज़र आती है, यह उड़ती है और पानी में गोता लगाती है और चोंच में मछली पकड़े बाहर निकलती है। इसके लिए बहुत ज़रूरी है कि यह एकदम सही निशाना लगाए और सही समय पर गोता मारे। सेकंड के एक अंश की गलती हुई तो शिकार हाथ से निकल जाएगा। सवाल है कि किंगफिशर मछली पर सही निशाना कैसे लगाती है? इस सवाल का जवाब पाने के लिए तुम्हें इसकी गोता लगाने की तकनीक पर ध्यान देना होगा। इस पूरे मामले में प्रकाश के कौन-से सिद्धान्त लागू होते हैं?

किरण पुंज का मुड़ना यानी मरीचिका कैसे बनती है?

गरम चिलचिलाती दोपहरी में किसी सड़क पर चलते-चलते तुमने महसूस किया होगा कि आगे सड़क पर पानी फैला है। तुम्हें अचरज हुआ होगा कि इतनी गर्मी में सड़क पर पानी कहाँ से आया। तुमने यह भी ध्यान दिया होगा कि जब तुम उस स्थान पर पहुँचते हो, तो वहाँ पानी-वानी कुछ नहीं होता।

ऐसा इसलिए कि वहाँ वास्तव में पानी होता ही नहीं है। वह पानी एक दृष्टिभ्रम था जिसे मरीचिका कहते हैं।

तो मरीचिका क्यों नज़र आती है? इसे समझने के लिए पहले, हम मरीचिका के बारे में कुछ तथ्य लिख लेते हैं।

1. मरीचिका गरम दिनों में दिखती है, ठण्डे दिनों में नहीं।
2. मरीचिका सपाट सतहों पर दिखती है — आम तौर पर डामर की सड़कों पर या नंगी चट्टानों या रेत पर। मरीचिका पानी या हरी-भरी जगहों पर नज़र नहीं आती।

इन बातों को ध्यान में रखें तो लगता है कि मरीचिका का सम्बन्ध गरम सतहों से है।

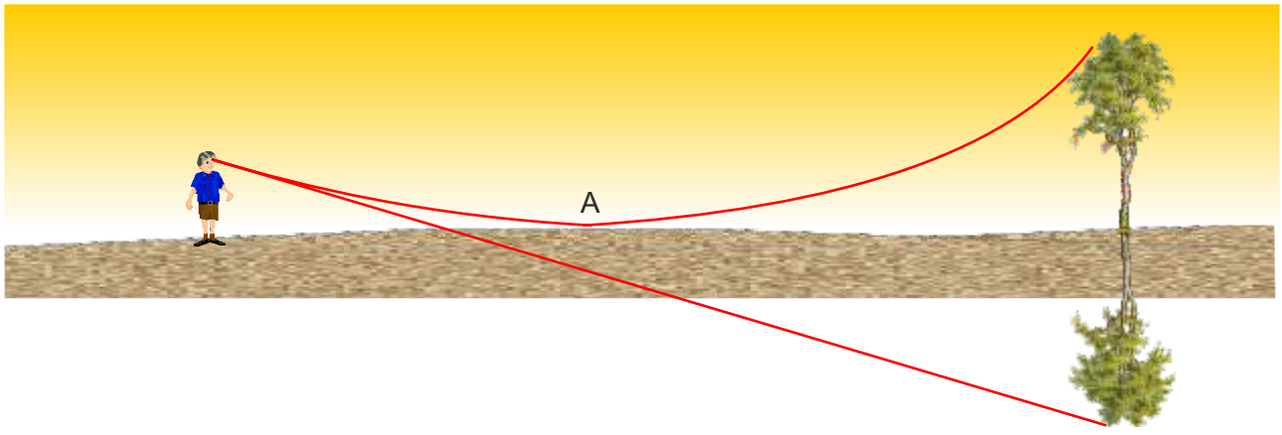
चलो एक अवलोकन और करते हैं। गैस या स्टोव जलाओ और लौ के पीछे और ऊपर की वस्तुओं को देखने की कोशिश करो। तुम देखोगे कि ये वस्तुएँ लहराती-सी दिखती हैं। ऐसा क्यों होता है?

लौ के आसपास की हवा गरम हो जाती है और गरम हवा हल्की होने के कारण ऊपर की ओर उठती है। यह हवा कम घनी होती है और इसका अपवर्तनांक आसपास की हवा से

कम होता है। जब हम इस गतिशील हवा में से चीज़ों को देखते हैं तो वे हमें टेढ़ी-मेढ़ी और हिलती-डुलती नज़र आती हैं। एक कारण यह भी है कि लौ के कारण उसके ऊपर की हवा का घनत्व लगातार बदलता रहता है। इस वजह से प्रकाश का अनियमित अपवर्तन होता है।

क्या मरीचिका के मामले में भी कुछ-कुछ ऐसा ही हो रहा है? जब डामर की सड़क या चट्टान गरम हो जाती है तो उसके सीधे सम्पर्क में जो हवा होती है वह गरम हो जाती है। मगर इससे ऊपर की हवा उतनी गरम नहीं होती। यानी सड़क से दूरी के साथ हवा का घनत्व बदलता जाता है। दूसरे शब्दों में सड़क की सतह से लेकर कुछ ऊँचाई तक घनत्व क्रमिक रूप से अधिक होता जाता है।

एक प्रयोग करके हम यह देख सकते हैं कि क्रमिक रूप से बदलते घनत्व वाले माध्यम में प्रकाश का अपवर्तन कैसे होता है। इसी से हम यह समझ पाएँगे कि मरीचिका कैसे बनती है।



गतिविधि 17*

यह प्रयोग एक छोटे फिश टैंक में अच्छे से होता है। वैसे तो इसे 250 मिली के एक जार में भी कर सकते हैं मगर बरतन बड़ा हो तो परिणाम बेहतर मिलते हैं। फिश टैंक में पानी भरो। इसमें एक-दो बूँद दूध डाल दो। इस घोल में लेसर पुंज चमकाओ। पानी में यह पुंज साफ दिखाई देना चाहिए। यदि पुंज एकदम साफ दिखाई नहीं दे रहा हो, तो दूध की मात्रा ज़्यादा हो गई है। इसे ठीक कर लो। अब इस दूधिया पानी को एक बरतन में निकाल लो।

फिश टैंक में 10-15 चम्मच शक्कर डालो ताकि पेंदे में शक्कर की एक परत बन जाए। शक्कर की मात्रा बरतन के आकार के अनुसार तय करनी होगी।

अब बहुत सावधानी से धीरे-धीरे दूधिया पानी को फिश टैंक में डालो। पानी इस तरह डालना कि शक्कर की परत न बिगड़े। इसे वैसे ही रखा रहने दो। हिलाकर शक्कर को घोलने की कोशिश मत करना।

इसे इसी तरह बगैर हिलाए-डुलाए एक-दो दिन रखा रहने दो ताकि शक्कर की सान्द्रता का एक ग्रेडिएंट (क्रमशः घटती सान्द्रता की परतें) बन जाए। अब लेसर पुंज को इस घोल पर बाजू से डालो। पुंज को थोड़ा झुकाकर डालना होता है। हमने देखा है कि टैंक की दीवार से 70-80 डिग्री के कोण पर पुंज डालने से परिणाम अच्छे आते हैं। तुम्हें भी सही कोण पता करने के लिए थोड़ी कोशिश करनी होगी।

लेसर पुंज के पथ का विवरण दो। क्या तुम बता सकते हो कि प्रकाश इस तरह क्यों मुड़ता है?

सुराग– घोल का अपवर्तनांक शक्कर की सान्द्रता के अनुसार बदलता है।

गरम सड़क के ऊपर भी हवा का घनत्व इसी तरह क्रमिक रूप से बदलता है। अन्तर सिर्फ इतना है कि जहाँ शक्कर के घोल की सान्द्रता ऊँचाई के साथ कम होती है वहीं हवा का घनत्व सड़क से दूरी के साथ बढ़ता है। पिछले पन्ने पर एक चित्र में दिखाया गया है कि इस तरह के घनत्व परिवर्तन के कारण किसी ऊँची वस्तु से आने वाली प्रकाश किरणों पर क्या प्रभाव पड़ता है। इससे यह तो पता चल जाता है कि पेड़ से आने वाली किरण बिन्दु A तक पहुँचने में मुड़ती क्यों है। मगर अभी भी यह सवाल अनुत्तरित है कि हमें ऐसा प्रतिबिम्ब क्यों दिखता है जैसे पानी से परावर्तन की वजह से बना हो। इसका जवाब पाने के लिए हमें विषय को थोड़ा बदलकर एक और चीज़ का अध्ययन करना पड़ेगा।

पूर्ण आन्तरिक परावर्तन

गतिविधि 18

सपाट दीवार वाली एक छोटी शीशी लो (ऊपर का चित्र देखो)। इसमें लगभग आधा पानी भरो और उसमें एक-दो बूँद दूध डालकर अच्छी तरह हिला लो। एक बाजू से लेसर पुंज चमकाओ। यदि पुंज पैना न दिखे तो दूधिया पानी को थोड़ा तनु कर लो। तुम्हें पानी में एक अपवर्तित किरण नज़र आएगी। धीरे-धीरे आपतन कोण बढ़ाओ। तुम देखोगे कि अपवर्तित किरण का कोण भी बदलता है। आपतन कोण बढ़ाते जाओ ताकि अपवर्तित किरण का कोण बढ़ता जाए। यह अपवर्तित किरण पानी की सतह से टकराएगी। वहाँ इसे आपतित किरण माना जा सकता है। इस तरह पानी और हवा की सतह पर आपतित किरण का कोण भी बढ़ता जाएगा। अपने अवलोकन नोट करो और व्याख्या करो।

* इस प्रयोग के एक बढ़िया प्रदर्शन के लिए देखो http://www.arvindguptatoys.com/films.html। इस पर जाकर Toys के अन्तर्गत पूर्व आन्तरिक परावर्तन (total internal reflection) देखो। या फिर यू-ट्यूब पर http://www.youtube.com/watch?v=axwDKA9Prgl

एक सैद्धान्तिक भविष्यवाणी

स्नेल के नियम के मुताबिक आपतन व अपवर्तन के कोणों की ज्या का अनुपात स्थिर रहता है और इसे अपवर्तनांक कहते हैं। हवा-पानी की सतह के लिए इसका मान 1.33 है। पानी-हवा की सतह के लिए इसका मान 1/1.33 होता है।

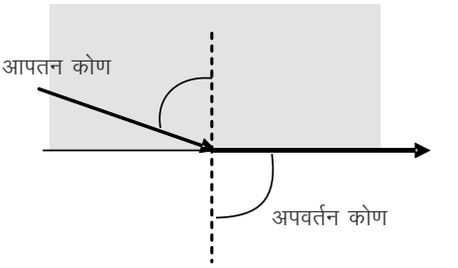
हम देखते हैं कि काँच-हवा और पानी-हवा की सम्पर्क सतह के लिए अपवर्तन कोण आपतन कोण से अधिक होता है और जब हम आपतन कोण बढ़ाते हैं तो अपवर्तन कोण भी बढ़ता है। यदि हम आपतन कोण को बढ़ाते जाएँ, तो क्या एक ऐसी स्थिति आएगी जब अपवर्तन कोण 90 डिग्री हो जाएगा?

यदि m= 1.33 है (हवा-पानी की सम्पर्क सतह के लिए) तो हम गणना कर सकते हैं कि यह स्थिति आपतन कोण 49 डिग्री होने पर आएगी (देखो बॉक्स)।

इसका आशय यह है कि यदि आपतन कोण 49 डिग्री हो, तो अपवर्तित किरण अभिलम्ब के साथ 90 डिग्री का कोण बनाएगी। अर्थात् यह किरण दूसरे माध्यम में प्रवेश ही नहीं करेगी बल्कि सम्पर्क सतह से ही चिपकी रहेगी। बाजू का बॉक्स व चित्र देखो।

अतः इस सिद्धान्त से हम उम्मीद करते हैं कि यदि पानी से हवा में प्रवेश कर रही किसी किरण का आपतन कोण 49 डिग्री से ज़्यादा है तो अपवर्तित किरण हमें हवा में निकलती हुई दिखेगी ही नहीं बल्कि हमें कुछ प्रकाश सतह से परावर्तित होता दिखेगा।

इसको **पूर्ण आन्तरिक परावर्तन** कहते हैं। जिस आपतन कोण के लिए अपवर्तन कोण 90 डिग्री हो उसे **क्रान्तिक कोण** कहते हैं।



हवा-पानी की सम्पर्क सतह के लिए m= 1.33
तो, पानी-हवा की सम्पर्क सतह के लिए

$$m = 1/m_{(\text{हवा-पानी})} = 1/1.33$$

पानी-हवा का $m = \sin(q_i)/\sin(q_r)$

$$1/1.33 = \sin(q_i)/\sin(q_r)$$

$$1/1.33 = \sin(q_i)/\sin(90^0)$$

मगर $\sin 90^0 = 1$ होता है।

इसलिए $1/1.33 = \sin(q_i)/1$

$$q_i = \sin^{-1}(1/1.33)$$

$$= \sin^{-1}(0.7518)$$

$\sin(49^0) = 0.7518$ होता है

इसलिए $q_i = 49^0$

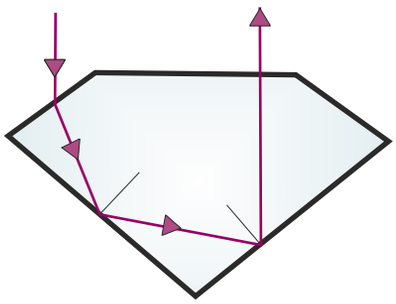
मरीचिका (बात को आगे बढ़ाएँ)

पूर्ण आन्तरिक परावर्तन की जानकारी से लैस होकर हम मरीचिका की बात को एक बार फिर देख सकते हैं।

पेज 43 पर मरीचिका के चित्र को फिर से देखो। यदि हवा में घनत्व का ग्रेडिएंट हो तो किसी ऊँची वस्तु से निकलने वाली किरणें क्रमशः मुड़ती जाती हैं। मुड़ते-मुड़ते वे एक ऐसे कोण तक मुड़ जाती हैं कि पूर्ण आन्तरिक परावर्तन होने लगता है। इस स्थिति में यह किरण परावर्तित हो जाती है और उल्टी दिशा में चलने लगती है। इस वजह से हमें आभास होता है जैसे पानी की सतह से परावर्तन हो रहा है।

हवा-काँच की सम्पर्क सतह का अपवर्तनांक 1.477 है। यह गणना करो कि किस कोण पर काँच-हवा की सतह पर पूर्ण आन्तरिक परावर्तन होगा।
क्या जब प्रकाश हवा से काँच में प्रवेश करेगा (यानी विरल माध्यम से सघन माध्यम में प्रवेश करेगा) तब भी पूर्ण आन्तरिक परावर्तन होगा? क्यों या क्यों नहीं?

हीरे की चमक पूर्ण आन्तरिक परावर्तन के दम पर ही होती है। बगैर तराशे हीरा नहीं चमकता। तराशने का कोण बहुत महत्वपूर्ण होता है क्योंकि इसी के कारण वह क्रान्तिक कोण बनता है जो पूर्ण आन्तरिक परावर्तन को सम्भव बनाता है।



हीरे का अपवर्तनांक 2.4 होता है और क्रान्तिक कोण 25 डिग्री होता है।

गतिविधि 19

तुम्हें काँच के एक लम्बे बेलनाकार बरतन, पानी और एक लेसर की ज़रूरत होगी।

काँच का एक लम्बा बेलनाकार पात्र (जैसे 500 मिली या 1 लीटर का नपनाघट) लो। इसमें पानी भरो। एक लेसर पुंज को इस पर डालो, जैसे कि चित्र में दिखाया गया है।

तुम देखोगे कि लेसर पुंज नपनाघट की सतह से चिपककर नीचे जाता है।

ऐसा क्यों होता है?

इस प्रयोग को विभिन्न साइज़ के बीकर व गिलास लेकर दोहराओ। यही प्रयोग एक्रिलिक की एक छड़ के साथ भी दोहराओ। तुम देखोगे कि यदि तुम छड़ को झुकाओगे तो लेसर किरण भी साथ-साथ झुकेगी। इस झुकाव को एक और प्रयोग की मदद से समझा जा सकता है।

गतिविधि 20**

पानी और प्रकाश का फव्वारा

तुम्हें प्लास्टिक की एक खाली बोतल, लेसर पॉइंटर, पानी की ज़रूरत होगी।

इस प्रयोग को एक अँधेरे कमरे में करो। यह भी ध्यान रखना कि प्रयोग के दौरान पानी यहाँ-वहाँ बिखरेगा। बेहतर होगा कि इस प्रयोग को किसी बेसिन में या बाथरूम में किया जाए।

बोतल का पेंदा काटकर अलग कर दो। इसके ढक्कन में एक छोटा-सा सुराख (करीब 1-2 मिमी व्यास का) कर दो। ध्यान रहे कि यह सुराख एकदम गोल हो वरना पानी अच्छे से नहीं बहेगा। इस सुराख को एक टेप से बन्द कर दो। बोतल को उल्टा करके पानी भरो।

सामने के पेज के चित्र में दिखाए अनुसार लेसर पुंज को पानी में चमकाओ। बोतल को किसी सिंक या बालटी के ऊपर पकड़कर रखो। टेप को हटा दो और पानी को बहने दो। तुम देखोगे कि प्रकाश का पुंज पानी का अनुसरण करता है।

** इस प्रयोग का एक अच्छा प्रदर्शन http://www.arvindguptatoys.com/films.html पर उपलब्ध है। इसमें Toys from Trash वाला खण्ड देखो और फाइबर ऑप्टिक्स (fiber optics) की तलाश करो। इसके अलावा यू-ट्यूब पर भी इसे देखा जा सकता है - http://www.youtube.com/watch?v=a65hsrx3cbA

थोड़ा बदलकरः यदि तुम्हारे पास अच्छा लेसर पुंज न हो, तो इसी प्रयोग को टॉर्च की मदद से भी कर सकते हो। एक छोटी अपारदर्शी प्लास्टिक बोतल लो। धातु का डिब्बा भी चलेगा। इसके लिए एक छेदवाला ढक्कन बनाओ जिसमें टॉर्च अच्छे से फिट हो सके। बोतल की दीवार पर दो छेद बनाओ। एक ऊपर की तरफ और दूसरा नीचे की तरफ। दो छेद इसलिए क्योंकि जब तक एक छेद से हवा अन्दर नहीं जाएगी तब तक दूसरे छेद से पानी बाहर नहीं आएगा। यह ध्यान रखना होगा कि छेदों के किनारे एकदम चिकने हों ताकि पानी की अच्छी धार बन सके। नीचे वाले छेद को टेप लगाकर बन्द कर दो और बोतल में पानी भरो। ढक्कन लगाकर टॉर्च फिट कर लो। कमरे में अँधेरा करके टॉर्च को चालू कर दो। बोतल को बालटी या सिंक के ऊपर पकड़ो और नीचे वाले छेद पर लगी टेप को हटा दो ताकि पानी बहने लगे। यदि तुम्हें प्रकाश की धार देखने में दिक्कत आ रही हो, तो बोतल को नीचे करो ताकि पानी की धार छोटी हो जाए और फिर धीरे-धीरे ऊपर उठाओ। या पानी की धार के रास्ते में अपनी हथेली लगा दो और फिर हथेली को धीरे-धीरे नीचे करो। प्रकाश का बिन्दु तुम्हें अपनी हथेली पर दिखेगा।

क्या तुम इस प्रयोग का कोई उपयोग सोच सकते हो?

प्रकाशीय तन्तु

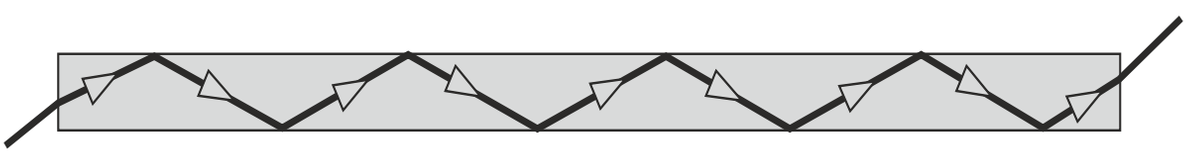
प्रकाशीय तन्तु ऐसे पदार्थों के बनाए जाते हैं जिनका अपवर्तनांक ऐसा होता है कि बहुत कम आपतन कोण पर भी उनमें पूर्ण आन्तरिक परावर्तन होता है। तन्तु को मोड़ने पर भी आपतन कोण क्रान्तिक कोण से अधिक ही रहता है। जब

पानी-प्रकाश फव्वारा

एक लेसर पुंज को इस तन्तु में प्रवेश कराया जाता है और वह तन्तु की सतह व हवा की सम्पर्क सतह पर पहुँचता है तो उसका पूर्ण आन्तरिक परावर्तन हो जाता है और वह तन्तु के अन्दर ही बना रहता है। प्रकाशीय तन्तु ऐसे पदार्थों से बनाए जाते हैं जिनमें प्रकाश का बिखराव कम से कम होता है ताकि प्रकाश काफी दूर तक बगैर किसी नुकसान के पहुँचे। यानी प्रकाशीय संकेत लम्बी दूरी तक पहुँचाए जा सकते हैं।

जेनेवा विश्वविद्यालय में भौतिकशास्त्र के प्रोफेसर डेनियल कोलाडेन ने यह सिद्धान्त सबसे पहले 1841 में प्रदर्शित किया था। इसके बाद 1899 में फ्राँसीसी इंजीनियर जी बेकमैन ने इस सिद्धान्त के आधार पर प्रकाशीय फव्वारे बनाए थे। ये इतने शानदार थे कि यह तकनीक मशहूर हो गई। इनमें से कुछ फव्वारे आज भी यूएस में शिकागो के संग्रहालय में देखे जा सकते हैं।

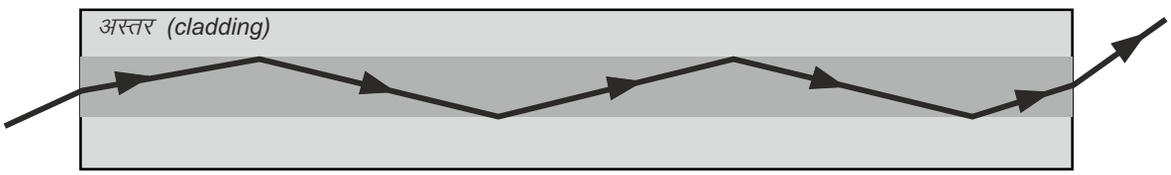
दिशा-निर्देशित प्रकाश का विचार काफी समय तक तो मात्र कौतूहल का विषय बना रहा। इसका व्यावहारिक उपयोग काफी समय बाद खोजा गया। 1930 में प्रकाश तन्तु की मदद से पहली तस्वीर एक स्थान से दूसरे स्थान तक भेजने का श्रेय हाइनरिश लैम को जाता है। यह तस्वीर अत्यन्त धुँधली थी और किसी काम की नहीं थी मगर इसने इतना तो बता ही दिया कि इस सिद्धान्त का व्यावहारिक उपयोग हो सकता है। बीसवीं सदी के उत्तरार्द्ध तक तन्तु-प्रकाश तकनीक में ज़बरदस्त तरक्की हुई।

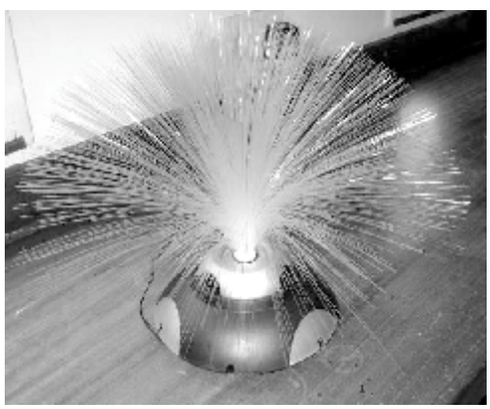


फाइबरस्कोप तस्वीरें भेजने का एक उपकरण होता है। पूर्णतः काँच से बने रेशों का यह पहला व्यावहारिक उपयोग था। इसे दो व्यक्तियों ने लगभग एक ही समय पर बनाया था — अमेरिकन ऑप्टिकल कम्पनी के ब्रायन ओब्रिएन तथा लंदन के इंपीरियल कॉलेज ऑफ साइंस एंड टेक्नॉलॉजी के नरिन्दर कापनी और उनके साथी ने। ऑप्टिकल फाइबर नाम सबसे पहले नरिन्दर कापनी ने ही दिया था।

शुरू-शुरू में जो काँच के तन्तु बनाए गए थे उनमें प्रकाश की हानि बहुत अधिक होती थी। इस वजह से इनमें प्रकाश संकेत को थोड़ी दूर तक ही भेजा सकता था। आज प्रकाशीय तन्तु काफी बढ़िया बनते हैं। इनका उपयोग कई जगहों पर हो रहा है। जैसे, चिकित्सा के क्षेत्र में एंडोस्कोप जैसे उपकरण बनाने में और मनोरंजन में। इनके अलावा, दूरसंचार में तो इनका उपयोग हो ही रहा है।

संचार में जिन प्रकाशीय तन्तुओं का उपयोग होता है वे दरअसल बहुत महीन रेशे होते हैं। इन्हें प्रकाश-नलिका भी कहते हैं। हर रेशा ठोस काँच का बना होता है। रेशे का व्यास 0.01 मिमी से लेकर 0.002 मिमी तक हो सकता है। इन्हें इस तरह जमाया जाता है कि रेशों के दोनों सिरे सीध में रहें ताकि एक स्पष्ट प्रतिबिम्ब बने। आधुनिक प्रकाशीय तन्तुओं में काँच की एक और परत चढ़ी होती है। इस काँच का अपवर्तनांक अन्दर वाले काँच से थोड़ा कम होता है। काँच के इस बाहरी आवरण को अस्तर (cladding) कहते हैं (नीचे दिया गया चित्र देखो)।





प्रकाशीय तन्तुओं के उपयोग

1. ऐसे स्थानों को प्रकाशित करने में जो प्रकाश स्रोत की सीध में नहीं हैं।
2. चिकित्सा विज्ञान में एंडोस्कोप का उपयोग शरीर के अन्दर के अंगों को देखने के लिए होता है।
3. संचार में — प्रकाश पुंज की मदद से सूचनाएँ भेजने में। ये टेलीफोन, टेलीविज़न, रेडियो, कम्प्यूटर नेटवर्क, स्टीरियो लिंक, हवाई जहाज़ों में नियंत्रण वगैरह में उपयोगी हैं।
4. फाइबर-ऑप्टिक लैम्प

प्रोजेक्ट के लिए विचार

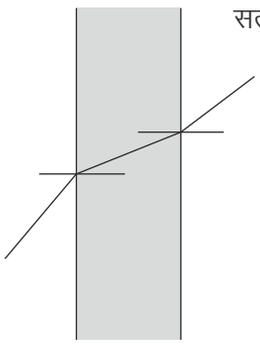
मेलों और प्रदर्शनियों में प्रकाशीय तन्तुओं से बने लैम्प मिल जाते हैं। ऐसे लैम्प को खोलकर इसकी बनावट का अध्ययन करो। यह देखो कि क्या तुम प्रकाश स्रोत के सामने एक स्लाइड रखकर तस्वीर को दूर रखे पर्दे पर 'भेज' सकते हो।

प्रिज़्म

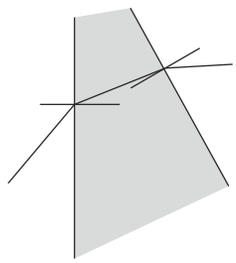
काँच के गुटके के साथ प्रयोग में हमने देखा था कि गुटके के दूसरी ओर निकलने वाली प्रकाश किरण की दिशा नहीं बदलती; वह तो बस थोड़ी-सी एक ओर सरककर उसी दिशा में चलती रहती है। वह अपनी मूल दिशा से कितनी सरकेगी यह काँच के गुटके की मोटाई पर निर्भर करता है।

चूँकि गुटके के दो किनारे एक-दूसरे के समान्तर हैं, इसलिए पहली सतह पर अपवर्तित किरण दूसरी सतह पर उल्टी दिशा में उतनी ही अपवर्तित होती है। मगर यदि ये दो सतहें समान्तर न हों तो क्या होगा?

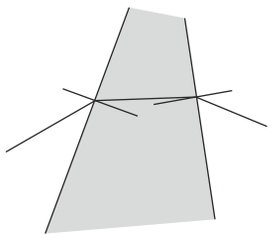
चित्र 2 देखो। इसमें दूसरी सतह पहली सतह की तुलना में 30 डिग्री झुकी हुई है। ध्यान दो कि पहली सतह से अपवर्तित होकर जो किरण दूसरी सतह पर पहुँचती है वह दूसरी सतह के लिए आपतित किरण



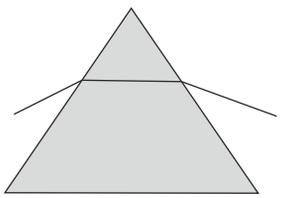
चित्र 1



चित्र 2



चित्र 3

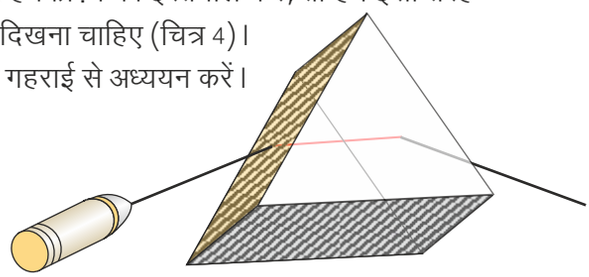


चित्र 4

होती है। यदि दोनों सतहें समान्तर होतीं तो दोनों अभिलम्ब भी समान्तर होते। ऐसी स्थिति में दूसरी सतह पर आपतन कोण पहली सतह के अपवर्तन कोण के बराबर होता। इसलिए निर्गत किरण अभिलम्ब से उतना ही कोण बनाती जितना कि पहली आपतित किरण अभिलम्ब के साथ बना रही है। अर्थात् पहली आपतित किरण और निर्गत किरण समान्तर होतीं।

मगर चूँकि दूसरी सतह झुकी हुई है इसलिए अभिलम्ब भी झुका हुआ है। इस स्थिति में दूसरी सतह पर आपतन कोण पहली स्थिति (जब सतहें समान्तर थीं) के मुकाबले कम होगा। इसलिए काँच के गुटके से बाहर निकलने वाली किरण (निर्गत किरण) पहली आपतित किरण के समान्तर नहीं रहती। जैसा कि चित्र में दिखाया गया है यह किरण गुटके के चौड़े वाले हिस्से की ओर मुड़ जाती है।

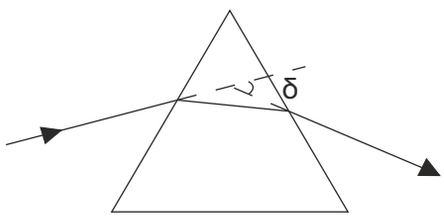
चित्र 3 वैसे तो चित्र 2 के ही समान है मगर इसे घुमा दिया गया है। यदि हम प्रिज़्म का इस्तेमाल करें, तो हमें इसी तरह का अपवर्तन दिखना चाहिए (चित्र 4)। आओ इसका गहराई से अध्ययन करें।



गतिविधि 21

इसके लिए तुम्हें एक समबाहु प्रिज़्म, एक सफेद कागज़ और एक लेसर पॉइंटर की ज़रूरत होगी।

समबाहु त्रिभुज वह होता है जिसके तीनों कोण 60-60 डिग्री के हों। ऐसा एक प्रिज़्म लेकर उसे सफेद कागज़ पर रख दो। ध्यान देना कि प्रिज़्म का तिकोना वाला हिस्सा कागज़ पर हो। एक पेंसिल से कागज़ पर प्रिज़्म की आकृति खींच लो। लेसर पुंज को प्रिज़्म पर इस तरह डालो कि वह उसकी किसी एक सतह पर करीब 30 डिग्री के कोण से गिरे (पास में दिया गया चित्र देखो)। ऊपर से देखो। तुम्हें दूसरी सतह से निकलती हुए एक किरण दिखाई देगी। आपतित व निर्गत किरण के रास्ते पेंसिल से अंकित करो। इसके लिए किरण के मार्ग पर कुछ बिन्दु अंकित कर लो। बाद में इन बिन्दुओं को जोड़ने से किरण का रास्ता बन जाएगा। यह पास में दिए गए चित्र जैसा दिखेगा।



यदि तुम आपतित किरण की लाइन को आगे व निर्गत किरण की लाइन को पीछे की ओर बढ़ाओगे तो तुम **विचलन कोण** (d)#निकाल सकते हो। इस कोण से पता चलता है कि आपतित किरण कितनी मुड़ी है।

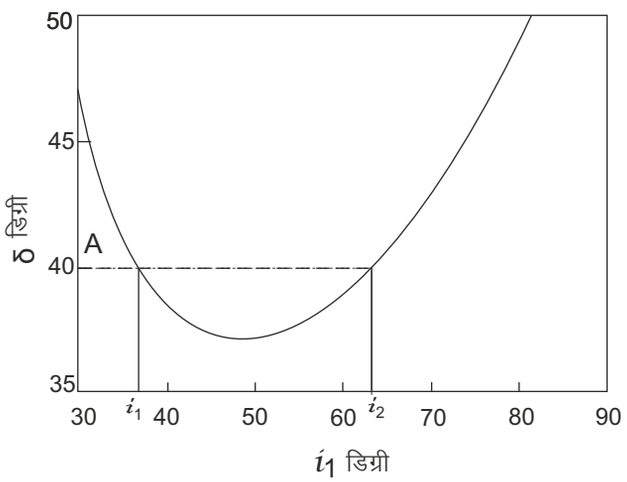
यही प्रयोग अलग-अलग आपतन कोण लेकर करो और अपने अवलोकन नीचे दी गई तालिका में लिखो।

तालिका

आपतन कोण	निर्गत कोण	विचलन कोण δ

आपतन कोण और विचलन कोण का एक ग्राफ भी बनाओ। इसमें आपतन कोण को क्ष-अक्ष पर और विचलन कोण को य-अक्ष पर दर्शाओ।

नीचे के चित्र में 60 डिग्री वाले प्रिज़्म (अपवर्तनांक 1.55) के लिए बनाया गया ग्राफ दिया गया है। अपने ग्राफ की तुलना इस ग्राफ से करो।

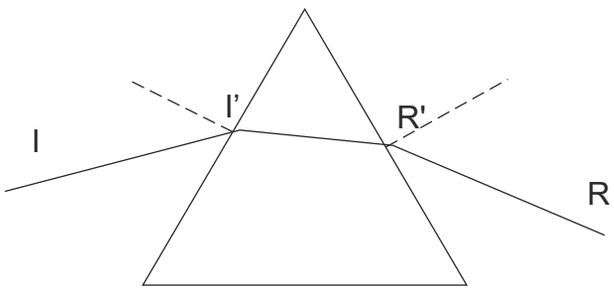


तुम दो चीज़ें देख पाओगे:

1. ग्राफ में एक न्यूनतम बिन्दु है। अर्थात् जैसे-जैसे आपतन कोण बढ़ता है, विचलन कोण घटते-घटते एक न्यूनतम मान तक पहुँचता है और फिर बढ़ने लगता है।
2. य-अक्ष पर बिन्दु A को देखो। इतने विचलन कोण के लिए आपतन कोण कितना होगा? ग्राफ में इस स्थिति के लिए आपतन कोण के दो मान हैं।

ग्राफ से देखा जा सकता है कि हरेक विचलन कोण के लिए आपतन कोण के दो मान सम्भव हैं। मगर एक विचलन कोण ऐसा है जिसके लिए एक ही आपतन कोण सम्भव है। यह विचलन कोण dmin कहलाता है।

क्या तुम सोच सकते हो कि इसका आशय क्या है?



ऊपर के चित्र को देखो। यदि हम लेसर पुंज को II' पर न डालकर RR' पर यानी उल्टी दिशा में डालें तो क्या होगा? क्या प्रकाश पुंज वही रास्ता अपनाएगा या अलग रास्ता अपनाएगा? क्यों?

तुम प्रयोग करके अपने अनुमान की जाँच कर सकते हो।

हम देखते हैं कि प्रकाश वही रास्ता अपनाता है चाहे किसी भी दिशा से डाला जाए। दोनों मामलों में (आपतित किरण चाहे II' हो या RR' हो) विचलन कोण उतना ही रहेगा।

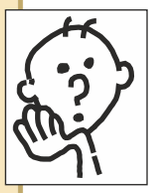
तुम्हें क्या लगता है, ज्यामिति का कौन-सा सिद्धान्त इस परिणाम को समझने में मददगार होगा?

यदि तुम्हें ग्राफ बनाने या समझने में दिक्कत हो, तो बाल वैज्ञानिक कक्षा-7 (प्रकाशक - एकलव्य) में ग्राफ अध्याय को देख सकते हो।

लेंस

प्रकाश के साथ प्रयोग

काँच की एक पतली पट्टी (स्लाइड) लो। वैसे कोई भी ऐसी पतली पारदर्शी चीज़ चलेगी जो पानी न सोखती हो। इसके नीचे एक अखबार रखो और ऊपर से देखो। अखबार जैसा था वैसा ही दिखेगा। अब इस पट्टी पर पानी की एक बूँद रख दो और बूँद में से अखबार को देखो।



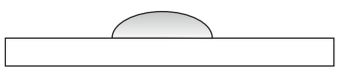
अब अखबार के अक्षर कैसे दिख रहे हैं?

पानी की बूँद ने नीचे के अक्षरों से आने वाले प्रकाश को कुछ कर दिया है। हम यह तो जान ही चुके हैं कि माध्यम बदलने पर प्रकाश का अपवर्तन होता है।

क्या हम अपवर्तन की अपनी जानकारी का उपयोग इस अवलोकन को समझने में कर सकते हैं?

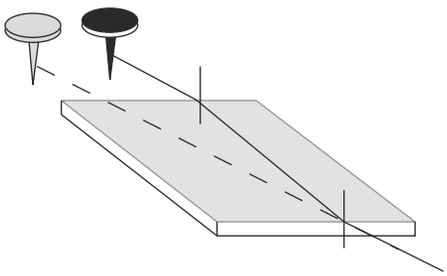
हम देख चुके हैं कि काँच के किसी गुटके पर थोड़ी तिरछी आने वाली प्रकाश किरण गुटके के दूसरी ओर निकलते समय थोड़ी सरक जाती है। यदि हम किसी वस्तु को काँच के गुटके में से देखेंगे तो वह थोड़ी हटी हुई नज़र आएगी मगर क्या उसका आकार बदला हुआ दिखेगा? इस बात की जाँच तो शायद प्रयोग को दोहराकर कर लेनी चाहिए।

ऊपर के उदाहरण में सिर्फ माध्यम परिवर्तन नहीं हो रहा है, कुछ और भी हो रहा है।

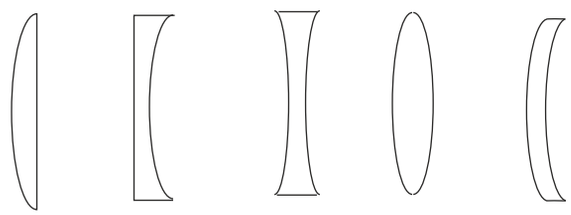


थोड़ा और बारीकी से देखते हैं। पानी की बूँद का आकार कैसा है? क्या पानी की बूँद काँच के गुटके जैसी है? हम देखते हैं कि पानी की बूँद समतल नहीं बल्कि गोलाई लिए है। अखबार के अक्षरों के आकार में जो परिवर्तन हुआ वह है तो अपवर्तन के कारण मगर यह अपवर्तन किसी समतल सतह से नहीं है बल्कि एक गोलाईदार सतह से है।

पानी की बूँद एक गोल सतह बनाती है और एक लेंस के समान काम करती है।

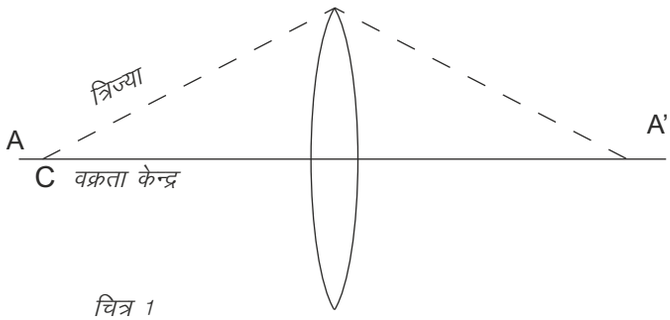


लेंस क्या होते हैं? लेंस की सतहें निम्नलिखित तीन तरह की सतहों में से कोई हो सकती हैः समतल, अवतल और उत्तल। इस तरह से कई किस्म के लेंस बन सकते हैंः समतल-उत्तल, समतल-अवतल, दोनों ओर से अवतल, दोनों ओर से उत्तल और उत्तल-अवतल।



हम सबका जाना-पहचाना लेंस उत्तल लेंस होता है। इसी लेंस का उपयोग हैंड लेंस के रूप में होता है। यही वह लेंस है जो तुम्हारे दादा-दादी, नाना-नानी चश्मे में इस्तेमाल करते हैं। इसे बिल्लौरी काँच या आतिशी शीशा भी कहते हैं।

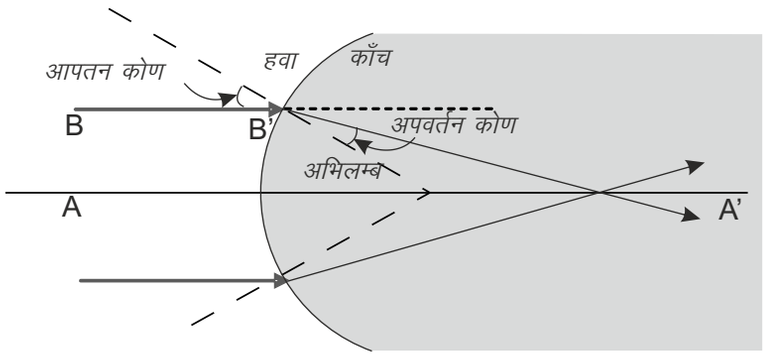
नीचे दिए गए चित्र में एक उत्तल लेंस का रेखाचित्र देखो। रेखा AA' लेंस के लम्बवत् है और उसके केन्द्र से गुज़रती है। इसे लेंस की अक्ष कहते हैं। प्रत्येक गोलीय सतह किसी गोले का हिस्सा है। कम से कम हम यहाँ जिन उदाहरणों की बात करेंगे उनके बारे में ऐसा मानना सही है। उस गोले का केन्द्र बिन्दु वक्रता केन्द्र कहलाता है। प्रत्येक सतह के लिए



चित्र 1

एक-एक वक्रता केन्द्र है। पानी के लेंस की आवर्धन (आकार को बड़ा करके दिखाने की) क्रिया को समझने के लिए सबसे पहले हमें यह देखना होगा कि किसी गोलीय सतह पर प्रकाश का अपवर्तन किस तरह होता है। इसके लिए हमें अपवर्तन के नियम लागू करने होंगे।

जब हमने गोलीय दर्पण का अध्ययन शुरू किया था, तब सबसे पहले हमने यह देखा था कि गोलीय सतह उन प्रकाश किरणों को कैसे प्रभावित करती है जो अक्ष के समान्तर हों। वही काम हम यहाँ भी करेंगे। इसके लिए पहले तो हमें आपतन बिन्दु पर अभिलम्ब का पता करना होगा। यहाँ भी हम वही नियम लागू करेंगे जिनका उपयोग हमने गोलीय दर्पणों के मामले में किया था।



चित्र 2: हवा-काँच की सम्पर्क सतह पर अपवर्तन

किसी भी गोलीय सतह पर अभिलम्ब उस बिन्दु पर त्रिज्या होगी। नीचे चित्र 2 में हवा-काँच सतह पर टूटी रेखाओं से अभिलम्ब दर्शाए गए हैं। ध्यान रखना कि यह चित्र बहुत बड़ा करके बनाया गया है। रोज़ाना या प्रयोगशाला में हम जिन लेंस का उपयोग करते हैं वे बहुत पतले होते हैं। उनकी वक्रता त्रिज्या उनकी मोटाई की तुलना में बहुत अधिक होती है। अक्ष के समान्तर आने वाली कोई आपतित किरण लेंस पर अधिक से अधिक 2 डिग्री का कोण बनाएगी। चित्र 3 में प्रयोगशाला में उपयोग किए जाने वाले लेंस को ज़्यादा सही अनुपात में दिखाया गया है। सैद्धान्तिक रूप से तो यह सम्भव है कि हम यह गणना कर लें कि अपवर्तित किरण किस कोण पर आगे बढ़ेगी। इसके लिए पेज 45 दिए गए सूत्र का सहारा लेना पड़ेगा।

चित्र 3: प्रयोगशाला में इस्तेमाल किए गए लेंस का सही आकार

$$m = \sin(i) / \sin(r)$$

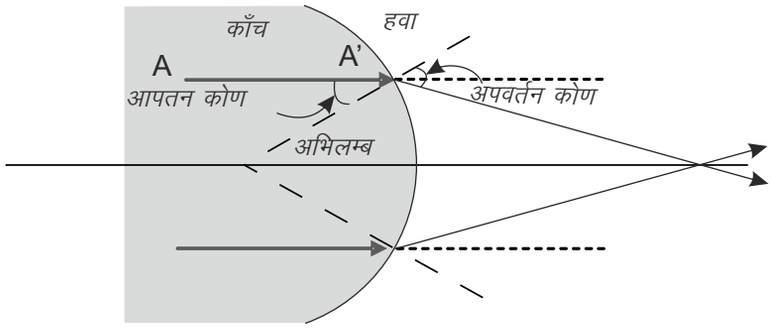
जहाँ i आपतन कोण और r अपवर्तन कोण है।

अपवर्तन कोण वह होगा जो अपवर्तित किरण अभिलम्ब (यानी त्रिज्या) के साथ बनाती है।

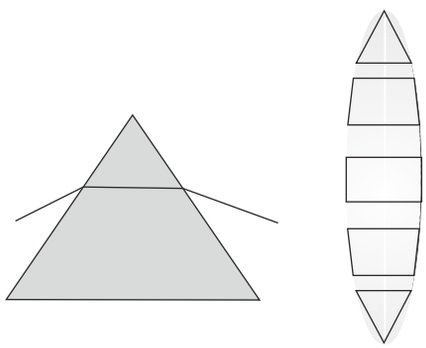
जैसा कि पेज 41 पर हमने देखा था, जब प्रकाश किरण विरल से सघन माध्यम में प्रवेश करती है, तो वह अभिलम्ब की ओर मुड़ जाती है। इसका मतलब है कि चित्र 2 में किरण BB' अक्ष की ओर मुड़ेगी चूँकि वह हवा (विरल) से काँच (सघन) में प्रवेश कर रही है।

इसके विपरीत जब किरण लेंस से बाहर निकलेगी तो वह काँच (सघन) से हवा (विरल) में प्रवेश करेगी और अभिलम्ब से दूर अक्ष की ओर मुड़ेगी।

उत्तल लेंस के मामले में कुल मिलाकर इसका परिणाम यह होता है कि मुख्य अक्ष के समान्तर लेंस पर आने वाली किरणें एक बिन्दु पर मिलती हैं। इस बिन्दु को लेंस का फोकल बिन्दु कहते हैं। लेंस के केन्द्र से इस बिन्दु की दूरी को आम तौर पर F संकेत से दर्शाया जाता है।



लेंस को देखने का एक और तरीका है। उत्तल लेंस को हम कई छोटे-छोटे प्रिज़्मों से बना हुआ मान सकते हैं। हम जानते हैं कि प्रिज़्म में से गुज़रने वाली किरणें उसके आधार की ओर मुड़ने की कोशिश करती हैं (पेज 49 का चित्र देखो)। इस आधार पर हम अनुमान लगा सकते हैं कि उत्तल लेंस किरणों को एकत्रित करने की कोशिश करेगा।

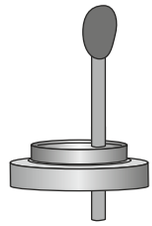


उत्तल लेंस से प्रतिबिम्ब

उपरोक्त चर्चा से यह समझ में आता है कि उत्तल लेंस समान्तर किरणों के एक पुंज को अपने फोकल बिन्दु पर केन्द्रित कर देगा। समान्तर किरणों का सबसे आसानी से उपलब्ध पुंज सूर्य का प्रकाश है। इस बात की जाँच के लिए एक 'ज्वलन्त' प्रयोग करो।

इसके लिए तुम्हें एक खाली इंजेक्शन की शीशी (रबर के ढक्कन समेत), माचिस की तीली और हैंड लेंस की ज़रूरत पड़ेगी।

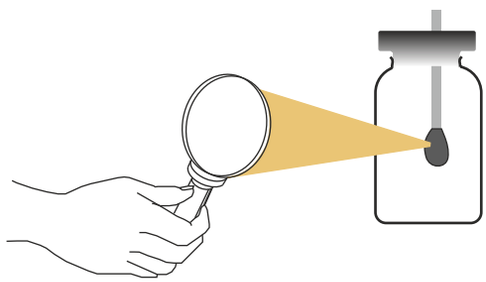
गतिविधि 22



चित्र में दिखाए अनुसार माचिस की तीली को ढक्कन में लगा लो। तीली को फँसाने के लिए शायद पहले एक कील से ढक्कन में छेद करने की ज़रूरत पड़ेगी। जब तीली ढक्कन में अच्छी तरह फिट हो जाए तो ढक्कन को शीशी पर लगा दो।

इस तीली वाली शीशी को बाहर किसी एक जगह पर रखो जहाँ काफी धूप हो। एक हैंड लेंस की मदद से धूप को तीली के मसाले वाले सिरे पर केन्द्रित करो। कुछ देर तक ऐसे ही पकड़े रहो। क्या हुआ? और क्यों?

सावधानी
यह एक विस्फोटक प्रयोग है। इसे करते समय किसी वयस्क का साथ होना ज़रूरी है।



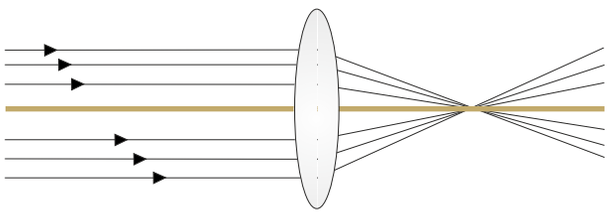
लेंस की फोकल दूरी का पता तुम उसे धूप में पकड़कर भी लगा सकते हो। यह देखो कि सूरज का सबसे स्पष्ट प्रतिबिम्ब लेंस से कम से कम कितनी दूरी पर बनता है। यह दूरी लेंस की फोकल दूरी है।

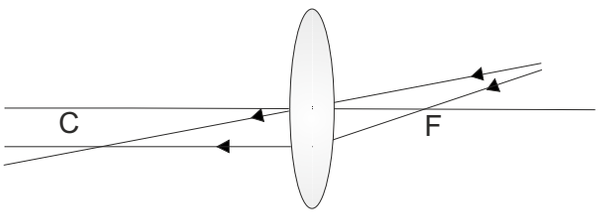
उत्तल लेंस के किरण चित्र

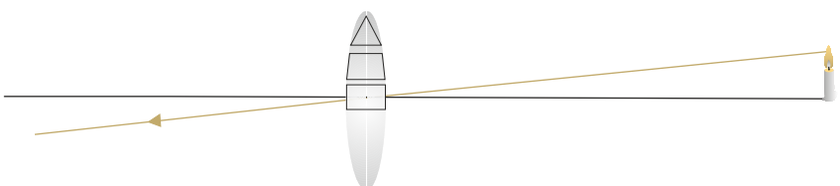
अब हम कुछ किरण चित्र बनाएँगे और प्रयोगों की मदद से उनकी पुष्टि करेंगे। जैसा कि हमने अवतल दर्पण के मामले में किया था, हम कुछ ऐसी किरणों की तलाश करेंगे जिनके लिए आपतित व अपवर्तित किरणें बनाना 'आसान' हो।

नीचे तीन ऐसी 'आसान' सम्भावित किरणें बनाने के नियम दिए गए हैं।

1. जैसा कि हम पहले ही देख चुके हैं, लेंस की अक्ष के समान्तर आने वाली किरण अपवर्तन के बाद मुड़कर लेंस के फोकस बिन्दु से गुज़रेगी।
2. इसका उलट भी सही है। लेंस के फोकस बिन्दु से आने वाली किरण अपवर्तन के बाद अक्ष के समान्तर हो जाएगी।
3. तीसरी किरण वह हो सकती है जो वस्तु से निकलकर लेंस के केन्द्र में से होकर गुज़रती है। यह किरण बगैर मुड़े लेंस के आर-पार निकल जाएगी।







अब तक हमने जिन किरणों पर विचार किया है, वे सब की सब लेंस की दो सतहों पर अलग-अलग कोण बनाती हैं। मगर लेंस सममित है, इसलिए लेंस के केन्द्र के आसपास दोनों सतहें लगभग समान्तर होती हैं। इसलिए इस किरण के मामले में लेंस काँच के किसी गुटके जैसा ही व्यवहार करता है।

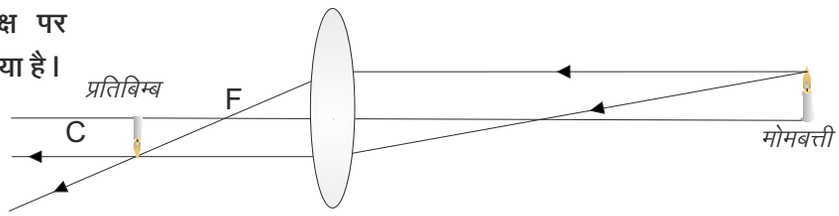
जैसा कि हम देख चुके हैं, काँच के गुटके पर आपतित कोई किरण दो सतहों पर अपवर्तित होती (मुड़ती) है (हाँ, पूर्ण आन्तरिक परावर्तन की स्थिति हो, तो बात अलग है)। मगर दो बार मुड़ने के बाद भी वह किरण थोड़ी सरककर उसी दिशा में आगे बढ़ती है। चूँकि लेंस की मोटाई बहुत कम है, इसलिए हम इस थोड़े-से सरकने को अनदेखा करके यह मान सकते हैं कि यह किरण लेंस में से बगैर मुड़े निकल जाती है।

जैसा कि हमने रेखाचित्र बनाते समय पहले भी किया था, हम यह मानकर चलेंगे कि वस्तु लेंस की मुख्य अक्ष पर रखी है। अब चूँकि अक्ष पर आने वाली किरणें नहीं मुड़तीं, इसलिए हम किसी भी वस्तु के ऊपरी सिरे से आने वाली दो अपवर्तित किरणों के कटान बिन्दु का पता करेंगे और वस्तु का प्रतिबिम्ब इस कटान बिन्दु और अक्ष के बीच बना देंगे।

किरण चित्र बनाते समय परिपाटी यह है कि किरणों को लेंस के मध्य में खींची गई एक रेखा से मुड़ते हुए दिखाया जाए (न कि दोनों सतहों से अलग-अलग)।

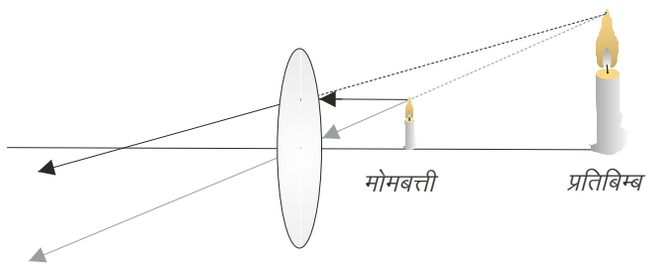
किरण चित्र बनाओ

उदाहरण 1: मोमबत्ती को लेंस की अक्ष पर वक्रता केन्द्र से बाहर रखा गया है।



ऊपर का चित्र देखो। हम पहले बताए गए प्रथम दो नियमों के अनुसार किन्हीं दो किरणों पर विचार करेंगे। इनकी मदद से हम मोमबत्ती का प्रतिबिम्ब उस बिन्दु पर बनाएँगे जहाँ दो अपवर्तित किरणें मिलती हैं। प्रतिबिम्ब F और C के बीच बनता है।

उदाहरण 2: मोमबत्ती को अक्ष पर लेंस व फोकल बिन्दु के बीच कहीं रखा गया है।



इस मामले में हम एक किरण तो पहले नियम के आधार पर बना सकते हैं। तो हमने पहली किरण अक्ष के समान्तर खींची है। यह अपवर्तित होकर दूसरी ओर फोकल बिन्दु से होकर गुज़रेगी। यहाँ हम दूसरे नियम को लागू नहीं कर सकते क्योंकि मोमबत्ती लेंस व फोकल बिन्दु के बीच रखी है। जो किरण मोमबत्ती के ऊपरी सिरे से निकलेगी और फोकल बिन्दु से गुज़रेगी, वह लेंस तक नहीं पहुँचेगी। इसलिए हम तीसरा विकल्प चुनेंगे। हम दूसरी किरण वह लेंगे जो मोमबत्ती के सिरे से निकलती है और लेंस के केन्द्र से गुज़रती है। यह दिशा में बगैर किसी परिवर्तन के दूसरी ओर निकलेगी।

मगर ये दो अपवर्तित किरणें एक-दूसरे से नहीं मिलतीं बल्कि एक-दूसरे से दूर जाती हैं। तो प्रतिबिम्ब प्राप्त करने के लिए क्या किया जाए? दोनों अपवर्तित किरणों को पीछे की ओर बढ़ाते हैं जब तक कि वे मिल नहीं जातीं। इस स्थिति में प्रतिबिम्ब वस्तु से बड़ा बनता है और सीधा बनता है। इस प्रतिबिम्ब को 'आभासी' प्रतिबिम्ब कहते हैं क्योंकि 'वास्तविक' प्रतिबिम्ब के समान इसे पर्दे पर प्राप्त नहीं किया जा सकता। क्या तुम्हें याद है कि दर्पणों से प्रयोग में भी हमें कभी-कभी आभासी प्रतिबिम्ब मिले थे?

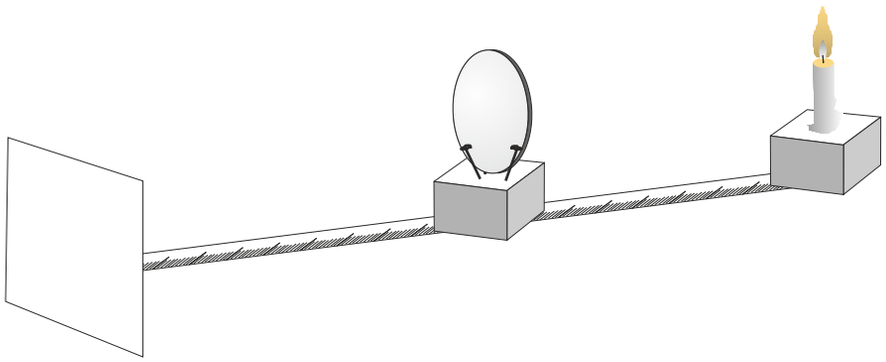
किरण चित्रों से मिले परिणामों की पुष्टि के लिए हम निम्नलिखित प्रयोग कर सकते हैं।

इसके लिए तुम्हें एक उत्तल लेंस, थर्मोकोल के गुटके, पिनों, मोमबत्ती, मीटर स्केल या टेप, कागज़ और माचिस की डिब्बी की ज़रूरत होगी।

अगले पन्ने पर दिए गए चित्र के अनुसार व्यवस्था जमाओ। मोमबत्ती की लौ लेंस के लगभग बीच तक पहुँचनी चाहिए। मोमबत्ती को लेंस से विभिन्न दूरियों पर रखो और देखो कि प्रतिबिम्ब कहाँ बनता है। इसके लिए तुम्हें पर्दे को आगे-पीछे सरकाकर देखना होगा कि सबसे स्पष्ट प्रतिबिम्ब कहाँ बनता है। इस दूरी को नोट कर लो। अपने अवलोकन एक तालिका बनाकर लिखो।

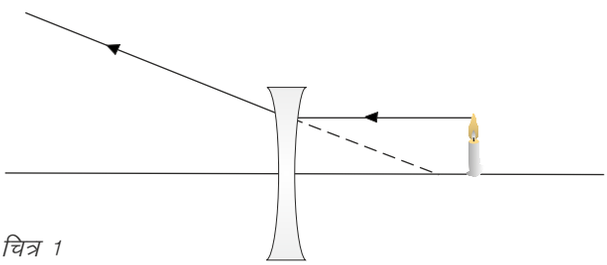
अपने अवलोकन नोट करते समय यह भी लिखना कि प्रतिबिम्ब वस्तु की तुलना में छोटा था या बड़ा।

अपने अवलोकनों से तुम देख पाओगे कि जैसे-जैसे मोमबत्ती को लेंस के नज़दीक लाया जाता है, प्रतिबिम्ब लेंस से दूर हटता जाता है। इसके आधार पर हम यह निष्कर्ष निकाल सकते हैं कि कोई एक बिन्दु होगा जहाँ ये दो दूरियाँ (यानी लेंस से मोमबत्ती की दूरी और लेंस से प्रतिबिम्ब की दूरी) बराबर होंगी। यह बिन्दु लेंस का वक्रता केन्द्र है। लेंस के केन्द्र बिन्दु से वक्रता केन्द्र की दूरी को वक्रता त्रिज्या कहते हैं। हम आम तौर पर जो लेंस उपयोग करते हैं वे सममित होते हैं यानी उनकी दोनों सतहों की गोलाई एक जैसी होती है। इसलिए दोनों तरफ की वक्रता त्रिज्या बराबर होती है। वैसे ऐसे लेंस बनाए जा सकते हैं जिनके दोनों तरफ की वक्रता त्रिज्या अलग-अलग हों।

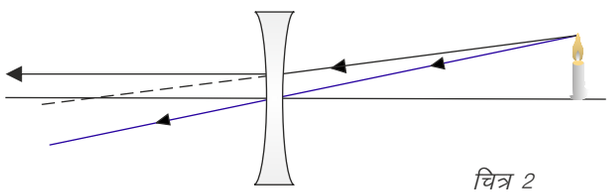


क्र.	लेंस से मोमबत्ती की दूरी	लेंस से प्रतिबिम्ब की दूरी	पर्दे पर प्रतिबिम्ब का प्रकार		लेंस में प्रतिबिम्ब का प्रकार
			सीधा/उल्टा	बड़ा/छोटा	
1	50 सेमी				
2	60 सेमी				
3	70 सेमी				
4	80 सेमी				
5	40 सेमी				
6	30 सेमी				
7	20 सेमी				
8	10 सेमी				

दर्पण के ही समान लेंस की फोकस दूरी वक्रता त्रिज्या की आधी होती है। एक बार मोमबत्ती को फोकस दूरी पर रखकर अवलोकन करो। जब मोमबत्ती को लेंस और फोकल बिन्दु के बीच रखा गया था, तब तुमने क्या देखा था? क्या उस स्थिति में तुम्हें कागज़ पर प्रतिबिम्ब प्राप्त हुआ था? मगर जब तुमने लेंस में देखा था, तब ज़रूर तुम्हें आवर्धित (वस्तु से बड़ा) प्रतिबिम्ब दिखा होगा। यही वह आभासी प्रतिबिम्ब है जिसकी भविष्यवाणी उदाहरण 2 में की गई थी।



चित्र 1



चित्र 2

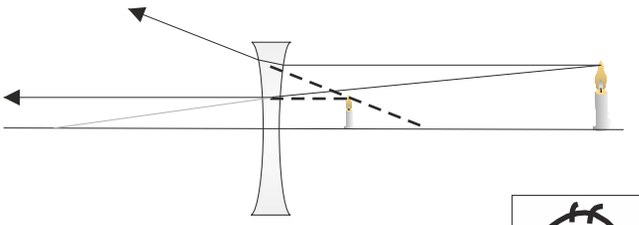
अवतल लेंस के किरण चित्र

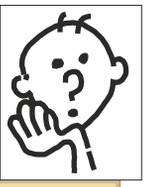
नियम 1: अक्ष के समान्तर आती किरण अपवर्तन के बाद कुछ इस तरह मुड़ेगी कि यदि उसे पीछे की ओर बढ़ाया जाए तो वह लेंस के फोकल बिन्दु से गुज़रेगी (चित्र 1)।

नियम 2: इस नियम का उलट भी सही है। फोकल बिन्दु की दिशा से आने वाली किरण इस तरह अपवर्तित होती है कि वह अक्ष के समान्तर हो जाती है (चित्र 2)।

नियम 3: लेंस के केन्द्र से गुज़रने वाली किरण बगैर मुड़े लेंस से निकलती है (चित्र 2)। इस किरण के बारे में जो तर्क हमने उत्तल लेंस के बारे में दिया था वही अवतल लेंस के मामले में भी लागू होता है।

इन नियमों से लैस होकर हम अवतल लेंस के मुख्य अक्ष पर वक्रता केन्द्र से बाहर रखी गई किसी वस्तु (मोमबत्ती) के लिए किरण चित्र बनाएँगे। यदि तुम अवतल लेंस में से देखो, तो क्या दिखेगा?





प्रकाश के साथ प्रयोग

अब वक्त आ गया है कि हम पानी की बूँद की पहेली पर विचार करें जिससे पूरी बात शुरू हुई थी।

पानी की बूँद एक समतल-उत्तल लेंस की तरह काम करती है। समतल-उत्तल लेंस ठीक उसी तरह काम करता है जैसे वह उत्तल लेंस जिसके साथ हमने प्रयोग किए हैं।

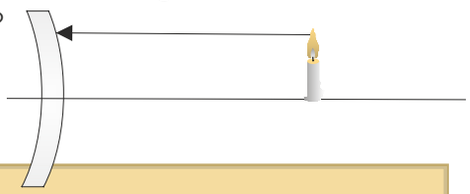
इसके आधार पर तुम बता सकते हो कि जब पानी की बूँद में से अखबार पढ़ने की कोशिश की थी तब क्या हुआ होगा और क्यों?

कैमरा और उत्तल लेंस

हमने एक पिन होल कैमरा बनाया था। तुम्हें याद होगा कि उसमें एक समस्या यह थी कि मोमबत्ती का प्रतिबिम्ब तो बन जाता था मगर वह बहुत स्पष्ट नहीं होता था। इसके अलावा, उसमें हम सिर्फ चमकीली वस्तुओं के ही प्रतिबिम्ब प्राप्त कर पाते थे। अब हमने जो कुछ सीखा है उसकी मदद से हम अपने पिन होल कैमरा को बेहतर बनाने पर विचार कर सकते हैं।

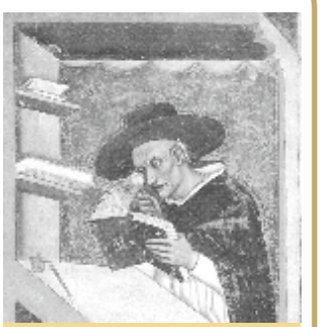
यदि हम कम चमकीली चीज़ों के प्रतिबिम्ब बनाना चाहें तो ज़रूरत इस बात की होगी कि उस वस्तु से निकलने वाला ज़्यादा प्रकाश पिन होल कैमरा में प्रवेश करे। इसके लिए हमें कैमरे का सुराख बड़ा करना होगा। मगर हम देख चुके हैं कि बड़ा सुराख होने पर प्रतिबिम्ब धुँधला हो जाता है। तो हमें ऐसी किसी चीज़ की ज़रूरत है जिसकी मदद से पिन होल कैमरा का सुराख बड़ा रखते हुए भी पर्दे पर स्पष्ट प्रतिबिम्ब बने।

इसका समाधान यह है कि पिन होल कैमरा के सुराख पर उत्तल लेंस लगा दिया जाए। क्या तुम सोच सकते हो कि इससे क्यों फायदा होगा?



हम जानते हैं कि यदि वस्तु फोकल दूरी के अन्दर रखी हो, तो उत्तल लेंस वस्तु से बड़ा प्रतिबिम्ब बनाएगा। ऊपर चित्र में दिखाए गए लेंस के बारे में क्या खयाल है?

इतिहास



टोमासी द मोडेना की 1352 में बनाई गई पेंटिंग में पढ़ने वाले चश्मों का प्रारम्भिक चित्रण

लेंस का इतिहास बहुत पुराना नहीं है। 1260 के आसपास बेकन ने अपनी पुस्तक *ओपस मेइयस* में उत्तल लेंस की मदद से वस्तुओं के बड़े प्रतिबिम्बों के अध्ययन के बारे में लिखा था। उन्होंने यह भी सुझाया था कि लेंसों का उपयोग नज़र की कमज़ोरी दूर करने में किया जा सकता है। शुरुआती चश्मों में उत्तल लेंस लगे होते थे जो निकट दृष्टि दोष को दूर कर पाते थे। यह दोष उम्र के साथ उभरता है। ऐसा माना जाता है कि कुसा के निकोलस ने यह खोज की थी कि दूर दृष्टि दोष के मामलों में अवतल लेंस के उपयोग से फायदा होता है। मगर लेंसों द्वारा इन दृष्टि दोषों को कैसे दुरुस्त किया जा सकता है इसकी व्याख्या तो 1604 में हुई जब केपलर ने प्रकाशिकी और खगोलशास्त्र पर अपना ग्रन्थ प्रकाशित किया।

सुराग: हम व्यक्तियों या प्रकृति के नज़ारों के चित्र खींचने के लिए कैमरे का उपयोग करते हैं। ये सारी वस्तुएँ लेंस के वक्रता केन्द्र से तो दूर ही होती हैं। यह स्थिति वैसी ही है जैसी मोमबत्ती को वक्रता केन्द्र से दूर रखने पर बनी थी। इस स्थिति में हमें प्रतिबिम्ब कैसा मिला था और कहाँ मिला था?

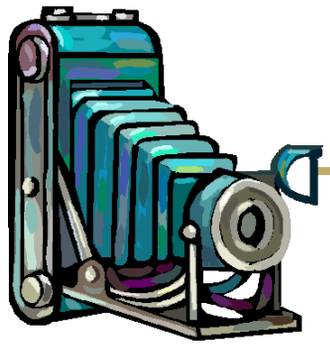
तो, हमें पर्दा कहाँ रखना होगा। तुम चाहो तो किरण चित्र बनाकर पता कर सकते हो।

क्या तुम अब समझ सकते हो कि पुराने कैमरों में फोल्डिंग दीवारों का उपयोग क्यों किया जाता था या किसी वस्तु को ‘फोकस’ करने के लिए हमें लेंस को आगे-पीछे क्यों खिसकाना पड़ता है?

करके देखो

पहले की तरह एक पिन होल कैमरा बनाओ। इस कैमरे से कुछ चीज़ों को देखो और ध्यान दो कि प्रतिबिम्ब कितने चमकदार या स्पष्ट हैं। अब एक की बजाय कई सारे बारीक-बारीक छेद कर दो और उन्हीं चीज़ों को देखो। क्या दिखा – क्या प्रतिबिम्ब ज़्यादा चमकदार और स्पष्ट हैं या धुँधले पड़ गए हैं?

इससे तुम क्या निष्कर्ष निकाल सकते हो?



कैमरे के लेंस प्रकाशीय लेंसों से विकसित हुए हैं मगर प्रकाशीय लेंसों का निर्माण किसी और मकसद से किया गया था। 1568 में वेनिस के एक सामन्त डेनियल बारबेरो ने कैमरे के डिब्बे के छेद पर एक लेंस रखा। इसके बाद उन्होंने प्रतिबिम्ब की स्पष्टता का अध्ययन किया और यह समझने की कोशिश की कि इसे फोकस कैसे किया जा सकता है। उन्होंने जो पहला लेंस उपयोग किया था वह किसी बुज़ुर्ग के चश्मे का लेंस था। खगोलशास्त्री जोहानास केपलर ने 1611 में बारबेरो के प्रयोगों को आगे बढ़ाया और इकहरे व संयुक्त लेंस के विवरण दिए। उन्होंने उल्टा प्रतिबिम्ब बनने की बात को भी समझाया और बताया कि कैसे उत्तल व अवतल लेंसों के मिले-जुले उपयोग से प्रतिबिम्बों को बड़ा किया जा सकता है। 1800 के दशक में जो पहले बॉक्स कैमरे बने उनमें बॉक्स में बने एक छेद में लेंस लगा होता था। यह लेंस प्रतिबिम्ब को बॉक्स में पीछे की ओर लगी एक प्रकाश संवेदी प्लेट पर फोकस करता था। इस कैमरे में कोई शटर नहीं था। इसकी बजाय लेंस पर एक ढक्कन लगा होता था जिसे हटाकर प्रकाश को अन्दर आने दिया जाता था। ढक्कन को कई बार कुछ सेकंड के लिए हटाया जाता था। उस ज़माने से लेकर आजकल के डिजिटल कैमरा की यात्रा बहुत लम्बी है मगर मूल सिद्धान्त वही रहा है।

जब वस्तु और लेंस के बीच की दूरी लेंस की फोकल दूरी से कम हो, तो उत्तल लेंस के मामले में हमें सीधा व बड़ा आभासी प्रतिबिम्ब मिलता है। इस गुण की वजह से यह लेंस किसी वस्तु को बड़ा करके देखने का बढ़िया साधन है। तुम्हारे दादा-दादी, नाना-नानी पढ़ने के लिए जिस काँच का उपयोग करते हैं वह उत्तल लेंस ही होता है। इसी प्रकार से सामान्य हैंड लेंस भी उत्तल लेंस ही है। इसे आम तौर पर आवर्धक शीशा कहते हैं।

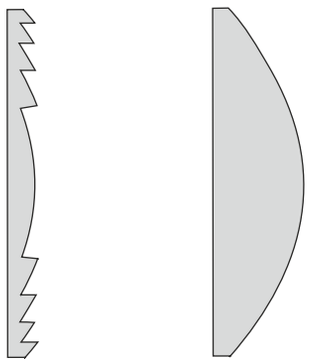
आम भाषा में उपयोग किए शब्दों से ऐसा लगता है कि लेंस प्रतिबिम्ब को आवर्धित करता है। यह सही है कि हमें बड़ा प्रतिबिम्ब नज़र आता है मगर प्रतिबिम्ब की तीव्रता कम हो जाती है। लेंस अपनी तरफ से प्रतिबिम्ब में कोई प्रकाश नहीं जोड़ता। आवर्धन होता है मगर चमक की कीमत पर।

फ्रेनेल लेंस

समुद्र तट पर चट्टानों की शृंखला आम तौर पर देखी जा सकती है। और तट पर उथले चट्टानी हिस्से भी हो सकते हैं। ये चट्टानें ज्वार के समय डूब जाती हैं और रात को तो नज़र भी नहीं आतीं। वहाँ से गुज़रते जहाज़ों के लिए यह काफी खतरनाक हो सकता है। ऐसी चट्टानों की वजह से जहाज़ों के डूबने की कई घटनाएँ सुनने को मिलती हैं। कई जगहों पर लोगों ने दीप स्तम्भ या लाइट हाउस बनाए हैं ताकि जहाज़ियों को चेतावनी मिल सके। जैसा कि नाम से ही ज़ाहिर है, दीप स्तम्भ या लाइट हाउस में प्रकाश का स्रोत होता है जिसे जहाज़ी दूर से ही देख सकते हैं। यदि प्रकाश स्रोत से निकलकर बिखरने वाली किरणों को समान्तर पुंज का रूप दिया जा सके तो जहाज़ों से यह प्रकाश और भी आसानी से दिख पाएगा। इसके लिए प्रायः उत्तल लेंसों का उपयोग किया जाता था। मगर प्रकाश इतना तेज़ होना चाहिए कि जहाज़ी इसे मीलों दूर से देख पाएँ। प्रकाश का इतना शक्तिशाली पुंज बनाने के लिए बहुत बड़ा लेंस लगता था। काँच के बड़े-बड़े लेंस बनाना मुश्किल होता है और ये बहुत भारी भी होते हैं।

फ्राँसीसी इंजीनियर ऑगस्टीन ज़्यां फ्रेनेल ने इस समस्या को सुलझाने के लिए 1822 में एक सरल डिज़ाइन बनाई। चित्र 1 में फ्रेनेल लेंस का मूल सिद्धान्त बताया गया है। विचार बहुत सरल था। चूँकि प्रकाश का अपवर्तन सिर्फ सतहों पर होता है इसलिए लेंस के अन्दर भरे काँच की ज़रूरत नहीं है। इसलिए उन्होंने सही गोलाई वाले ऐसे छल्ले बनाए जो एक के अन्दर एक फिट हो सकते थे (चित्र 1)।

फ्रेनेल लेंस इतने अच्छे से काम करता है कि दीप स्तम्भ के प्रकाश को 50 किलोमीटर दूर से भी देखा जा सकता है। फ्रेनेल के इस आविष्कार से पहले दीप स्तम्भों में प्रकाश को परावर्तित करने के लिए दर्पणों का उपयोग किया जाता था। इसके प्रकाश को बहुत कम दूरी पर ही देखा जा सकता था



फ्रेनेल लेंस सामान्य उत्तल लेंस

चित्र 1

और कोहरा हो या तूफान हो तो बिलकुल भी दिखाई नहीं पड़ता था। फ्रेनेल लेंस से सुसज्जित दीप स्तम्भों ने कई जहाज़ों को चट्टानों से टकराकर चकनाचूर होने से बचाया है। रेलवे सिग्नल और ट्रैफिक लाइटों में भी फ्रेनेल लेंस का उपयोग किया जाता है।

लेंस से प्रतिबिम्ब बनने को समझने के लिए हम समीकरणों का भी उपयोग कर सकते हैं – यह समीकरण परिशिष्ट 2 में बताई गई है।

उत्तल लेंस को अभिसारी लेंस भी कहते हैं क्योंकि यह समान्तर किरणों को एक जगह पर केन्द्रित कर देता है। इसके विपरीत अवतल लेंस अपसारी होता है। क्या यह बात तब भी सही होगी जब लेंस को पानी या केरोसीन या खोपरे के तेल में रखें? इसे करके देखो और अपने परिणाम नोट करो। प्रयोग की डिज़ाइन इस तरह से बनाओ कि लेंस को विभिन्न माध्यमों में डुबाकर रखा जा सके और अपवर्तन का अवलोकन किया जा सके।

विविध पहेलियाँ

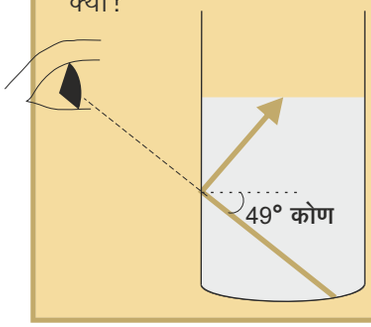
जादुई सिक्का

एक सिक्का और एक पारदर्शी गिलास या बोतल लो। गिलास को सिक्के पर रख दो। क्या बाजू से देखने पर तुम्हें सिक्का दिख रहा है? दिख रहा है, बढ़िया।

अब गिलास में पानी भरना शुरू करो।

जब पानी एक ऊँचाई तक पहुँचता है, तो सिक्का गायब हो जाता है।

क्यों?



सुरागः बाजू वाले चित्र को देखो। यह याद रखना कि पानी से हवा में पूर्ण आन्तरिक परावर्तन का कोण 49 डिग्री है।

एक रहस्मय बोतल

दीवार पर एक **आड़ा तीर** का निशान बनाओ।

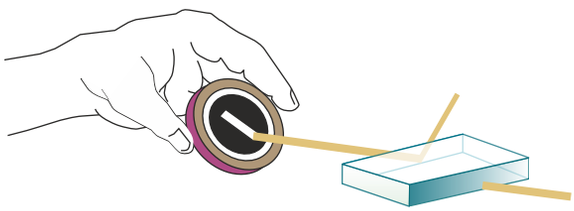
एक गोलाकार गिलास या बोतल में पानी भरो और तीर के निशान को बोतल में से देखो। निशान की दिशा बदल जाती है। क्यों?

प्रयोगशाला में हम जिन लेंसों का उपयोग करते हैं वे हमेशा वृत्ताकार होते हैं। यदि किसी उत्तल लेंस के टुकड़े हो जाएँ, तो क्या हरेक टुकड़े में प्रकाश को एक जगह केन्द्रित करने या प्रतिबिम्ब को आवर्धित करने की क्षमता रहेगी? क्यों?

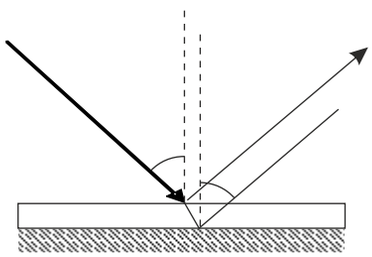
क्या ऐसा फ्रेनेल लेंस के मामले में भी होगा?

प्रकाशीय उपकरण

चलो देखते हैं कि थोड़े बहुत फेरबदल के बाद इन दर्पणों और लेंसों का उपयोग प्रकाशीय उपकरणों में किस तरह किया जाता है।



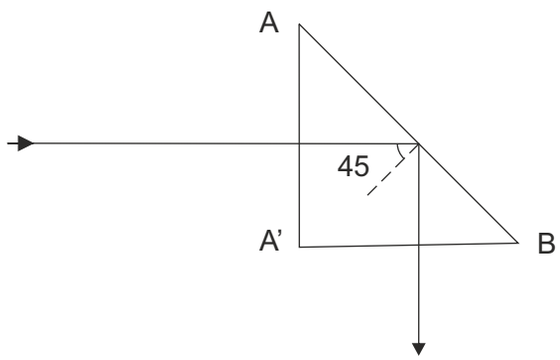
जब तुमने काँच के गुटके और 'प्रकाश किरण' के साथ प्रयोग किए थे, तो क्या तुमने इस बात पर ध्यान दिया था कि अपवर्तित किरण के अलावा हवा और काँच की सम्पर्क सतह पर एक और किरण दिखाई देती है? यह किरण हवा और काँच की सम्पर्क सतह पर प्रकाश के परावर्तन के कारण बनती है। यह सही है कि यह किरण बहुत चमकीली नहीं थी मगर इतनी चमकीली तो थी ही कि दिखाई पड़े।



काँच की सतह पर जितना प्रकाश पड़ता है, वह सारा का सारा उसमें से होकर निकलता नहीं। कुछ प्रकाश परावर्तित भी हो जाता है। काँच के दर्पण पर भी ऐसा ही कुछ होता है। ऊपर का चित्र देखो। दर्पण पर पड़ने वाला कुछ प्रकाश तो काँच की सतह से ही परावर्तित हो जाएगा जबकि शेष प्रकाश काँच के पीछे की चमकीली सतह पर पहुँचेगा और उसमें से अधिकांश का परावर्तन हो जाएगा। यानी दर्पण पर पड़ने वाले प्रकाश के कुछ हिस्से का परावर्तन काँच की बाहरी सतह से और कुछ हिस्से का परावर्तन अन्दर की चमकीली सतह से होता है। गतिविधि 8 को एक बार फिर करके तुम इस बात की जाँच कर सकते हो।

जब हम दर्पण का उपयोग करते हैं, तो यह दोहरा परावर्तन नज़र नहीं आता। मगर यदि इस तरह के दर्पण का उपयोग प्रकाशीय उपकरण (जैसे दूरबीन या बायनॉक्यूलर्स) में किया जाए तो दोहरे परावर्तन की वजह से प्रतिबिम्ब की गुणवत्ता काफी कम हो जाएगी। इस समस्या से छुटकारा पाने का एक तरीका तो यह है कि 'अगली सतह' से परावर्तन वाले दर्पण का उपयोग किया जाए। ऐसे दर्पण में परावर्तक चाँदी का अस्तर अगली सतह पर चढ़ाया जाता है जबकि सामान्य दर्पणों में चाँदी पिछली सतह पर चढ़ाई जाती है। मगर अगली सतह पर अस्तर हो तो उस पर खरोंचें पड़ सकती हैं और जंग भी लग सकती है।

तो विकल्प क्या है?

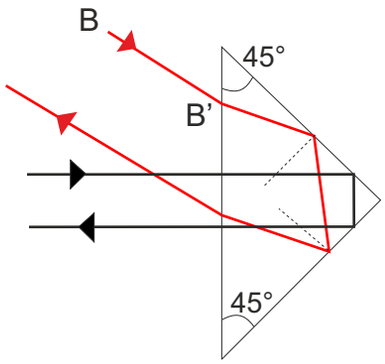


है एक विकल्प। एक और मामले में प्रकाश का परावर्तन होता है। क्या तुम्हें याद है कहाँ होता है? पूर्ण आन्तरिक परावर्तन।

ऊपर का चित्र देखो। यह एक प्रिज़्म है जिसका एक कोण 90 डिग्री का है। शेष दो कोण 45-45 डिग्री के हैं।

चूँकि काँच का अपवर्तनांक 1.5 है, इसलिए हवा और काँच की सम्पर्क सतह के लिए क्रान्तिक कोण लगभग 40 डिग्री होता है।

सतह AA' पर पड़ने वाली किरण लम्बवत् है, इसलिए यह बगैर मुड़े सतह AB पर पहुँचेगी। यहाँ आपतन कोण 45 डिग्री है जो क्रान्तिक कोण से ज़्यादा है। इसलिए किरण परावर्तित हो जाएगी। इसके बाद यह किरण काँच-हवा की सम्पर्क सतह पर पहुँचेगी। यहाँ भी यह लम्बवत् पहुँचेगी, इस वजह से बगैर मुड़े काँच से बाहर निकलेगी।



किरण BB' पर गौर करो। यह लम्बवत् नहीं है बल्कि सतह पर एक कोण से झुकी हुई है। इस पहली सतह पर यह थोड़ी अपवर्तित होगी मगर फिर भी प्रिज़्म की दूसरी सतह पर 40 डिग्री से ज़्यादा कोण पर ही पड़ेगी। यह भी परावर्तित हो जाएगी, जैसा कि चित्र में दिखाया गया है।

यानी इस प्रिज़्म में ऐसी व्यवस्था है कि जो भी प्रकाश इस पर गिरता है वह परावर्तित हो जाता है, चाहे वह पहली सतह पर लम्बवत् न गिर रहा हो।

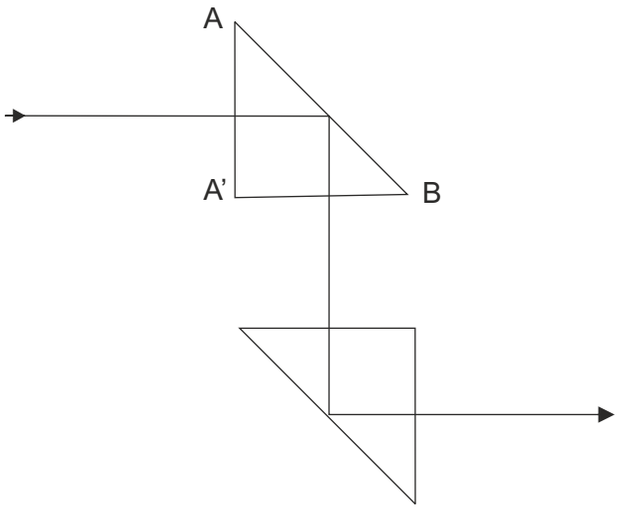
साइकिल में लगा रिफ्लेक्टर

साइकिल में लगा रिफ्लेक्टर कई सारे छोटे-छोटे प्रिज़्मों से मिलकर बना होता है। ये प्रिज़्म एक्रिलिक नामक पदार्थ के होते हैं। एक्रिलिक का अपवर्तनांक 1.49 होता है जो काँच के अपवर्तनांक 1.5 के बहुत नज़दीक है। एक्रिलिक का क्रान्तिक कोण 42 डिग्री होता है।

सड़कों पर जो चमकती 'कैट्स आई' लगी होती हैं वे भी उसी सिद्धान्त पर काम करती हैं जो साइकिल में लगे रिफ्लेटर में लागू होता है।

बायनॉक्यूलर्स

यदि हम 90 डिग्री वाले दो प्रिज़्म को नीचे दिए गए चित्र के अनुसार जमाएँ, तो आपतित किरण थोड़ी एक ओर सरकती है। प्रिज़्म ठीक उसी तरह काम करता है जैसे कि दो दर्पण 90 डिग्री के कोण पर रखे गए हों। और प्रिज़्म का उपयोग करने पर वे समस्याएँ भी नहीं होतीं जो दर्पण में होती हैं।



अगले पेज पर दिए गए चित्र में 90 डिग्री वाले दो प्रिज़्म की एक और व्यवस्था दर्शाई गई है। यह भी उसी तरह काम करती है जैसे दो दर्पण समकोण पर रखे हों।

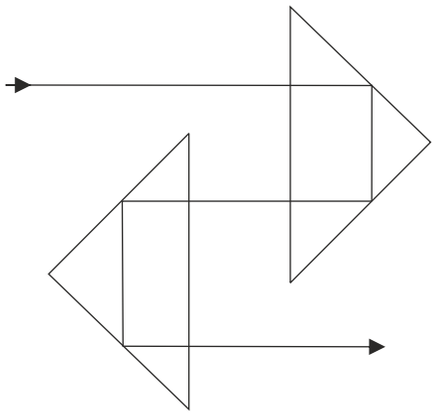
इस जमावट का उपयोग बायनॉक्यूलर्स में किया जाता है। इसका उपयोग सबसे पहले इग्नेज़ियो पोरो ने 1850 के आसपास किया था। इसलिए इस जमावट का उपयोग करके बनाए गए बायनॉक्यूलर्स को पोरो प्रिज़्म बायनॉक्यूलर्स कहते हैं।

तुम सोच रहे होगे कि बायनॉक्यूलर्स में प्रिज़्म की ज़रूरत ही क्यों पड़ती है?

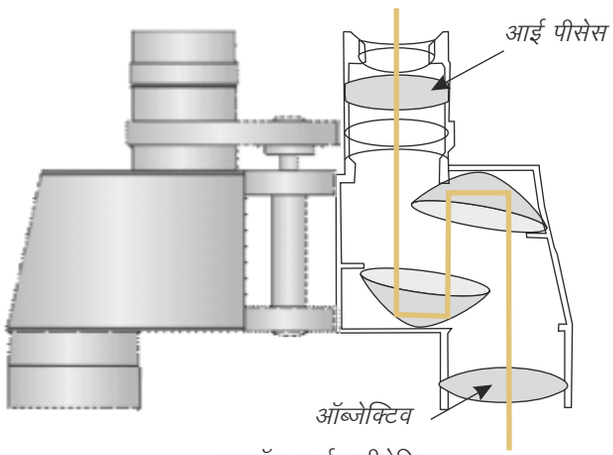
साइकिल के पिछले मडगार्ड पर एक लाल या नारंगी एक्रिलिक प्लेट लगी होती है। इसकी सतह की जाँच करो। यह बाहर से तो चिकनी है। मगर ज़रा अन्दर की सतह को ध्यान से देखो।

क्या तुम बता सकते हो कि जब इस रिफ्लेक्टर पर प्रकाश पड़ता है तो यह चमकता क्यों है?

क्या तुम बता सकते हो कि रिफ्लेक्टर में एक बड़े प्रिज़्म की बजाय कई सारे छोटे-छोटे प्रिज़्मों का उपयोग क्यों किया जाता है? और यह रिफ्लेक्टर साइकिल चालक को कैसे सुरक्षित रखता है?



बायनॉक्यूलर्स में सही आवर्धन हासिल करने के लिए दो-दो लेंसों का उपयोग किया जाता है। इनकी जमावट वैसी ही होती है जैसी संयुक्त सूक्ष्मदर्शी में होती है। संयुक्त सूक्ष्मदर्शी के बारे में हम अगले खण्ड में ज़्यादा गहराई से अध्ययन करेंगे। यहाँ ध्यान देने वाली बात यह है कि बायनॉक्यूलर्स को हम अपनी आँखों के सामने रखते हैं। इसलिए पहले दो लेंस (आई पीसेस) के बीच दूरी उतनी ही होनी चाहिए जितनी हमारी आँखों के बीच है। मगर बाहर वाले लेंस (ऑब्जेक्टिव) में दूर की वस्तुओं से प्रकाश आता है और लेंस जितने बड़े होंगे उतना अच्छा रहेगा क्योंकि बड़े होंगे तो वे



बायनॉक्यूलर्स स्कीमेटिक

अधिक से अधिक प्रकाश प्राप्त कर सकेंगे और हमें अच्छा चमकदार प्रतिबिम्ब मिलेगा। मगर यदि हमारे पास ऐसी कोई व्यवस्था नहीं है जिसकी मदद से ऑब्जेक्टिव लेंस से निकलने वाले प्रकाश को सरकाया जा सके, तो मजबूरन हमें ऑब्जेक्टिव लेंस की साइज़ उतनी ही रखनी होगी जितनी कि हमारी आँख और नाक के बीच की दूरी है। यहीं पर आपतित किरणों को थोड़ा सरकाने की व्यवस्था काम आती है।

सूक्ष्मदर्शी

लेंसों ने वैज्ञानिक प्रगति में बड़ा योगदान दिया है। वस्तुओं के आवर्धित प्रतिबिम्ब देख पाने की क्षमता ने यह खुलासा किया कि दुनिया में कई इतनी छोटी-छोटी चीज़ें हैं जो हमें अपनी आँखों से दिखाई नहीं देतीं। सूक्ष्मदर्शी के ज्ञान के आधार पर स्वास्थ्य व चिकित्सा के क्षेत्र में खूब तरक्की हुई।

शुरुआती सूक्ष्मदर्शियों में तो मात्र एक गोलाकार लेंस होता था।

तुम भी एक फ्यूज़ बल्ब से गोलाकार लेंस बना सकते हो। बल्ब को किसी मुलायम सतह पर रखो और उसकी धातु वाली टोपी को हल्के से ठोको ताकि उसके अन्दर की काली चपड़ी निकल जाए। अब बल्ब के अन्दर लगी काँच की नली को तोड़ दो। ध्यान रहे कि ऐसा करते वक्त बल्ब न टूटे। सारे टुकड़ों को इकट्ठा करके कचरे के डिब्बे में डाल दो।

अब तुम्हारे पास धातु की टोपी वाला खाली बल्ब होगा। इसमें थोड़ा पानी भर लो। यह है तुम्हारा बल्ब लेंस। इसमें से विभिन्न चीज़ों को देखो।

उत्तल लेंस के मामले में यदि वस्तु लेंस से फोकस दूरी से कम दूरी पर हो, तो उसका आवर्धित प्रतिबिम्ब बनता है। यदि हम कम फोकस दूरी वाला लेंस उपयोग करें, तो आवर्धन भी ज़्यादा होता है। पेज 55 पर दिए रेखाचित्र को थोड़ी कम फोकस दूरी वाले लेंस के लिए फिर से बनाकर तुम इस बात की जाँच कर सकते हो। कम फोकस दूरी का मतलब होता है कि लेंस की गोलाई (वक्रता) ज़्यादा होगी।

गोलाकार लेंस हैंड लेंस की तुलना में ज़्यादा आवर्धन क्यों देता है?

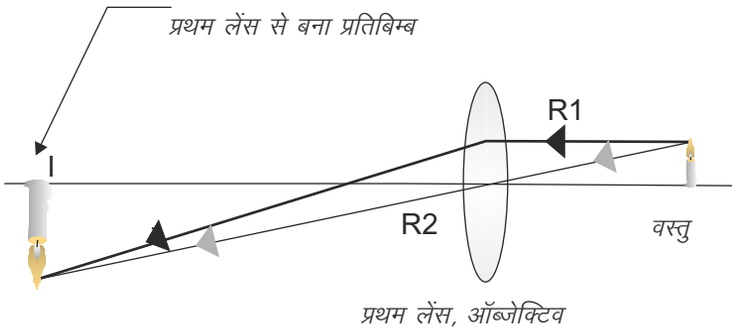
क्या लेंस की आवर्धन क्षमता और उसकी फोकस दूरी के बीच कुछ सम्बन्ध है?

क्या बल्ब लेंस से प्राप्त आवर्धित प्रतिबिम्ब स्पष्ट था?

बल्ब लेंस सूक्ष्मदर्शी में तुम्हें और कौन-सी समस्याएँ नज़र आईं?

मगर इसका मतलब यह भी होगा कि वस्तु को लेंस के बहुत नज़दीक रखना होगा। यदि हम किसी बड़ी वस्तु को बारीकी से देखना चाहें, तो हमें बहुत बड़े लेंस की ज़रूरत होगी। तो क्या इस समस्या से निपटने का कोई तरीका है?

संयुक्त सूक्ष्मदर्शी इस समस्या को सुलझा देता है। इसमें एक के बाद एक दो उत्तल लेंसों का उपयोग किया जाता है।



प्रथम लेंस, ऑब्जेक्टिव

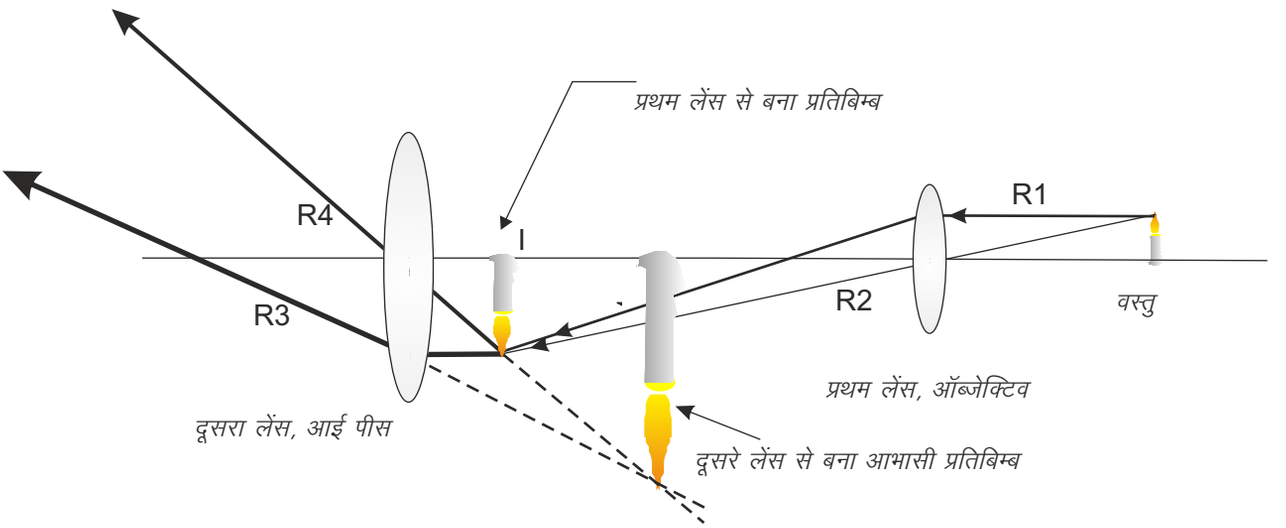
पहला उत्तल लेंस इस तरह रखा जाता है कि वस्तु उसके फोकल बिन्दु और वक्रता केन्द्र के बीच में रहे। जैसा कि हम पहले देख चुके हैं, ऐसी स्थिति में जो प्रतिबिम्ब बनेगा वह वास्तविक, आवर्धित (यानी बड़ा) और उल्टा होगा और लेंस के दूसरी ओर बनेगा (ऊपर बना चित्र देखो)। किरण R_1 अक्ष के समान्तर है और मुड़कर प्रथम लेंस के फोकल बिन्दु से होकर जाएगी। किरण R_2 लेंस के केन्द्र से होकर जा रही है। ये दोनों बिन्दु I पर वास्तविक प्रतिबिम्ब का निर्माण करेंगी।

अब दूसरा लेंस इस तरह रखेंगे कि पहले लेंस द्वारा बनाया गया प्रतिबिम्ब दूसरे लेंस और उसके फोकल बिन्दु के बीच रहे (नीचे दिया गया चित्र देखो)। निम्नलिखित तरीके से हमें पहले प्रतिबिम्ब का आभासी व आवर्धित प्रतिबिम्ब मिलेगा – प्रथम प्रतिबिम्ब (जो दूसरे लेंस के लिए वस्तु का काम कर रहा है) के सिरे से आने वाली किरण किरण R_3 दूसरे लेंस की वजह से मुड़कर उसके फोकल बिन्दु से होकर गुज़रेगी। प्रथम प्रतिबिम्ब के सिरे से आती दूसरी किरण R_4 लेंस के केन्द्र से बगैर मुड़े निकल जाएगी। इन दोनों किरणों को पीछे की ओर बढ़ाएँगे तो हमें एक आवर्धित आभासी प्रतिबिम्ब मिलेगा। इसका मतलब है कि हर बार प्रतिबिम्ब और ज़्यादा आवर्धित हो रहा है। इस तरह की सूक्ष्मदर्शी से हमें वस्तु की तुलना में 450 गुना तक आवर्धित प्रतिबिम्ब मिल सकता है।

तुम्हारे स्कूल की जीव विज्ञान प्रयोगशाला में इस्तेमाल होने वाली सूक्ष्मदर्शी लेंस की इसी तरह की जमावट से बनी है। संयुक्त सूक्ष्मदर्शी की मदद से कुछ छोटी-छोटी चीज़ों को देखने की कोशिश करो।

दो लेंसों की व्यवस्था से हमें जो आवर्धन प्राप्त हुआ वह एक-एक लेंस के आवर्धन से कहीं ज़्यादा होता है। मगर प्रतिबिम्ब को साफ-साफ देखने के लिए ज़रूरी होता है कि वस्तु अच्छी तरह प्रकाशित हो।

आम तौर पर संयुक्त सूक्ष्मदर्शी में तुम्हें प्लेटफॉर्म के नीचे एक दर्पण लगा हुआ दिखेगा। वस्तु को प्लेटफॉर्म पर रखा जाता है। सूक्ष्मदर्शी को इस तरह रखना होता है कि दर्पण



शुरुआती सूक्ष्मदर्शी

संयुक्त सूक्ष्मदर्शी

का रुख किसी प्रकाश स्रोत की ओर रहे। इस दर्पण से प्रकाश को वस्तु की ओर मोड़ने में मदद मिलती है।

सूक्ष्मदर्शी के आविष्कार ने चिकित्सा के क्षेत्र में प्रगति के रास्ते खोल दिए और हमें बीमारियों पर काबू करने की नई क्षमताएँ प्रदान कीं। सूक्ष्मदर्शी की बदौलत रोगों का निदान भी आसान हुआ है। आज हम शरीर के आन्तरिक अंगों और ऊतकों की रचना के बारे में काफी कुछ जानते हैं।

एक प्रयोग करके यह देखने की कोशिश करो कि दो उत्तल लेंसों के जोड़ से कितना आवर्धन हो सकता है।

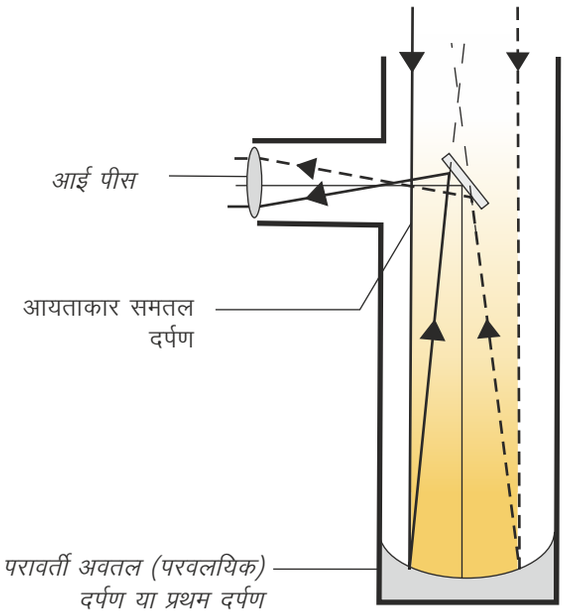
धागे का एक छोटा-सा टुकड़ा या मरी हुई चींटी को फर्श पर ऐसी जगह पर रखो जहाँ काफी रोशनी आ रही हो। एक हैंड लेंस को वस्तु के नज़दीक पकड़ो ताकि तुम्हें एक आवर्धित प्रतिबिम्ब दिखाई दे। धीरे-धीरे हैंड लेंस को वस्तु से दूर ले जाओ। लेंस को इतना दूर ले जाओ कि तुम्हें वस्तु दिखाई देना बन्द हो जाए। अब वह वस्तु लेंस के फोकल बिन्दु और वक्रता केन्द्र के बीच है। अब हैंड लेंस को उसी जगह रखते हुए एक और लेंस लेकर उसे हैंड लेंस और अपनी आँख के बीच में रखो। इस 'आई पीस' को आगे-पीछे खिसकाओ ताकि आवर्धित प्रतिबिम्ब दिखने लगे।

दूरबीन

दूर की वस्तुओं को देखने के लिए हम बायनॉक्यूलर्स का उपयोग कर सकते हैं मगर सितारों और दूर-दूर की आकाशीय वस्तुओं को देखने के लिए क्या करें? सितारों को देखें तो वे बहुत मद्धिम और छोटे-छोटे नज़र आते हैं। वैज्ञानिकों और खगोलशास्त्रियों को ऐसा उपकरण चाहिए जिसकी मदद से ये वस्तुएँ चमकीली नज़र आएँ।

अवतल दर्पण प्रकाश की समान्तर किरणों को एक बिन्दु पर केन्द्रित कर देता है। दर्पण का व्यास जितना अधिक होगा, उतना ही ज़्यादा प्रकाश वह अपने फोकल बिन्दु पर एकत्रित करेगा और उतना ही चमकदार प्रतिबिम्ब बनेगा। परावर्तक दूरबीन इसी सिद्धान्त पर बनी होती है। इस तरह की दूरबीन को न्यूटन दूरबीन कहते हैं।

हालाँकि एक अन्य अँग्रेज़ गणितज्ञ ने इसकी मूल अवधारणा का खाका तैयार किया था मगर इसका एक कामकाजी मॉडल बनाने का काम सर आइज़ेक न्यूटन ने 1668 में किया। उन्होंने 1671 में इस डिज़ाइन में और सुधार किए। इसमें एक प्राथमिक दर्पण होता है – इसी दर्पण के आधार पर दूरबीन का विवरण दिया जाता है: 10 इंच की दूरबीन के प्राथमिक दर्पण का व्यास 10 इंच (25 सेमी) होता है।



परावर्तक दूरबीन (स्कीमेटिक)

किसी दूरबीन का वर्णन तीन मापदण्डों के आधार पर किया जाता है। पहला, दर्पण का व्यास, जिससे यह पता चलता है कि वह कितना प्रकाश एकत्रित कर सकता है। यह धुँधली वस्तुओं को देखने की क्षमता दर्शाता है। दूसरा है दर्पण की फोकल दूरी, जिससे पता चलता है कि दूरबीन के लिए कितनी बड़ी नली की ज़रूरत होगी। तीसरा मापदण्ड है आई पीस की फोकल दूरी।

न्यूटन के बाद बड़ी से बड़ी दूरबीनें बनाई गई हैं। शौकिया खगोलशास्त्री जिस दूरबीन का उपयोग करते हैं उसका दर्पण आम तौर पर 3 इंच (7.5 सेमी) व्यास का होता है।

दुनिया की सबसे बड़ी परावर्तक दूरबीन 10 मीटर की है। केनेरी द्वीप पर लगी यह दूरबीन किसी इमारत के बराबर है।

यह तो पक्की बात है कि देखनेवाला दूरबीन की नली के अन्दर सिर घुसाकर तो देखेगा नहीं। इसलिए रास्ते में एक दर्पण पट्टी लगाई जाती है। जहाँ यह दर्पण पट्टी लगाई जाती है उस बिन्दु पर प्रतिबिम्ब का आकार काफी छोटा होता है, इसलिए दर्पण पट्टी छोटी-सी हो तो भी काम चल जाता है। यह छोटा-सा दर्पण आपतित प्रकाश के मार्ग में कोई बड़ी बाधा नहीं बनता।

फोकल बिन्दु पर आसमान का जो प्रतिबिम्ब बनता है वह 45 डिग्री पर लगे समतल दर्पण से परावर्तित होकर बाजू में बन जाता है। इसे देखने के लिए हम एक उत्तल लेंस का उपयोग करते हैं जिससे हमें आवर्धित प्रतिबिम्ब मिलता है। ऐसा इसलिए करना पड़ता है क्योंकि अवतल दर्पण तो हमें ज़्यादा चमकदार प्रतिबिम्ब देता है मगर वह प्रतिबिम्ब आवर्धित नहीं होता। हम तो चाहते हैं कि हमें चाँद-तारे चमकदार भी दिखें और बड़े भी। तभी तो हम बारीकी से उनका अध्ययन कर पाएँगे। जैसे चाँद के गड्ढे और शनि के छल्ले।

दूरबीन उत्तल व अवतल लेंस से भी बनाई जा सकती हैं। गैलीलियो गैलीली ने ऐसा पहला कामकाजी उपकरण 1609 में बनाया था। यह लिपरशे की मूल अवधारणा का ही परिष्कृत रूप था। गैलीलियो ने आवर्धन क्षमता को बढ़ाकर 30 गुना तक करने में सफलता प्राप्त की थी। उन्होंने इस दूरबीन का उपयोग खगोलीय अवलोकनों में किया था। इसकी मदद से उन्होंने बृहस्पति के चन्द्रमा देखे थे और यह निष्कर्ष निकाला था कि ये चन्द्रमा बृहस्पति के आसपास घूमते हैं। इस खगोलीय अवलोकन के आधार पर वे इस निष्कर्ष पर पहुँचे थे कि पृथ्वी ब्रह्माण्ड का केन्द्र नहीं है बल्कि सौर मण्डल के शेष ग्रहों के समान पृथ्वी भी सूर्य की परिक्रमा करती है।

कॉपरनिकस ने सैद्धान्तिक कार्य के आधार पर सूर्य केन्द्रित प्रणाली का प्रस्ताव रखा था। गैलीलियो ने इसके पक्ष में दूरबीन से किए गए अवलोकनों का ज़ोरदार प्रमाण प्रस्तुत किया था। इस तरह से विज्ञान के इतिहास का एक नया अध्याय शुरू हुआ।

प्रकाश की तीव्रता का मापन

हम तीव्रता शब्द का उपयोग कई बार करते हैं। इससे हम क्या समझते हैं?

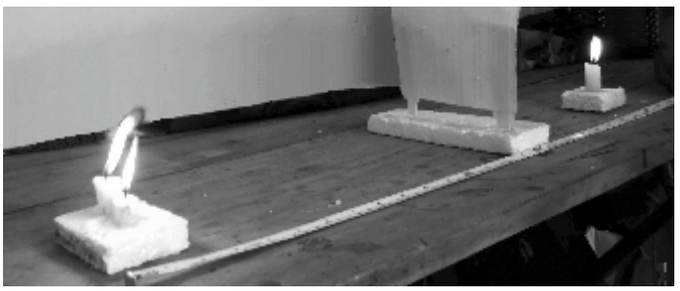
"लालटेन के प्रकाश में पढ़ना बहुत मुश्किल है, यह बहुत मद्धिम है।"

"जब हम बाहर निकले तब धूप बहुत तेज़ थी।"

क्या तीव्रता, मद्धिम, तेज़ जैसे शब्द एक ही बात को व्यक्त करते हैं?

जब हम कहते हैं कि "यह टॉर्च पर्याप्त रोशनी नहीं दे रही है, इसके सेल बदलना पड़ेंगे" तो हम अनजाने में ही 'तीव्रता' (यानी प्रकाश की तेज़ी) का सम्बन्ध स्रोत से जोड़ देते हैं। मगर तीव्रता का सम्बन्ध सिर्फ स्रोत से नहीं है। यह इस बात पर भी निर्भर करती है कि आप उस स्रोत से कितनी दूरी पर हैं।

कई बार हम किसी लैम्प को बहुत दूर से देखकर कह देते हैं कि वह उतना चमकदार नहीं है। वास्तव में हम कहना यह चाहते हैं कि दूर रखे उस लैम्प से हम तक आने वाले प्रकाश की तीव्रता कम है। तीव्रता को हमेशा किसी सतह पर पड़ने वाले प्रकाश की मात्रा के रूप में परिभाषित किया जाता है। यानी हम प्रकाश की तीव्रता का अन्दाज़ा इस बात से लगाते हैं कि किसी सतह पर कितना प्रकाश पड़ रहा है।



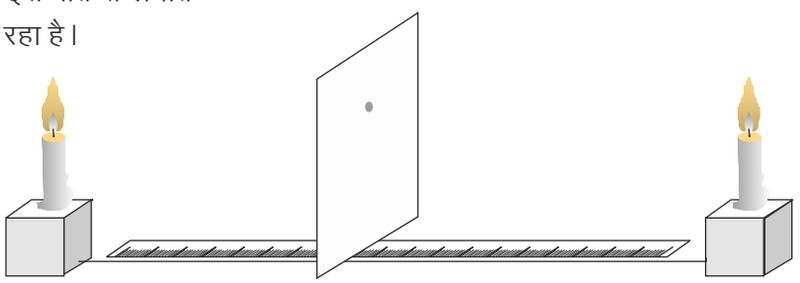
ग्रीस स्पॉट प्रकाशमापी

गतिविधि 24

प्रकाश की तीव्रता को नापने का एक तरीका यह है कि इसकी तुलना किसी मानक प्रकाश स्रोत से की जाए। इस मापन के सिद्धान्त को समझने के लिए एक छोटा-सा प्रयोग करते हैं। अपने प्रयोग के लिए हम एक मोमबत्ती को मानक स्रोत के रूप में उपयोग करेंगे और शेष स्रोतों से मिलने वाले प्रकाश की तुलना इस मोमबत्ती से करेंगे।

इसके लिए तुम्हें एक लम्बी वाली मोमबत्ती (जिसका उपयोग मानक के रूप में किया जाएगा), पैमाने, सफेद कागज़, मोमबत्ती या अन्य प्रकाश स्रोतों को खड़ा रखने के लिए स्टैंड और प्रकाश के अन्य स्रोतों की ज़रूरत होगी।

इस प्रयोग को किसी अँधेरे कमरे में करना बेहतर होगा। मेज़ पर एक मीटर पैमाना रख दो। 'मानक' मोमबत्ती को एक छोर पर तथा जिस प्रकाश स्रोत की तीव्रता पता करनी है उसे दूसरे छोर पर रख दो। अब एक सफेद कागज़ लो और उस पर बीचोंबीच तेल की एक छोटी-सी बूँद लगा दो। इससे कागज़ का वह हिस्सा अल्प-पारदर्शी हो जाएगा। कागज़ को मानक मोमबत्ती के पास रखो और दूसरी ओर से यानी जिस तरफ अँधेरा है उस ओर से देखो। तुम देखोगे कि तेल का



धब्बा बढ़िया चमक रहा है। अब कागज़ को धीरे-धीरे मानक मोमबत्ती से दूर, दूसरी वाली मोमबत्ती की ओर खिसकाते जाओ। उस जगह पर रुक जाओ जहाँ तेल का धब्बा दिखाई देना बन्द हो जाए। इसे हम 'उदासीन बिन्दु' कहते हैं। मीटर पैमाने की मदद से पता करो कि मानक मोमबत्ती और दूसरा स्रोत कागज़ से कितनी-कितनी दूरी पर हैं।

अब कागज़ को दूसरे छोर पर ले जाओ और इसे उल्टी दिशा में खिसकाना शुरू करो। इस बार तुम्हें तेल के धब्बे को

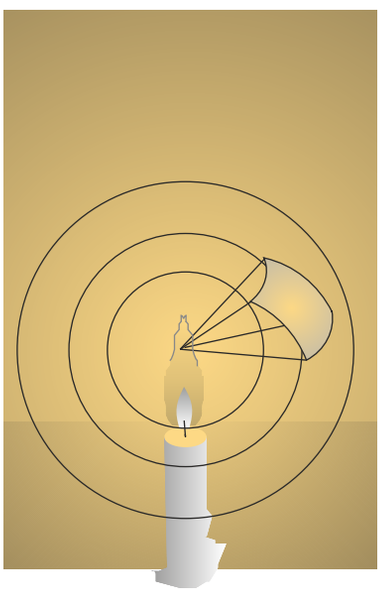
मानक मोमबत्ती की ओर से देखना है। एक बार फिर जब तेल का धब्बा दिखना बन्द हो जाए, तब मानक मोमबत्ती और दूसरे स्रोत की कागज़ से दूरी नोट करो। यह देख लो कि क्या दोनों पाठ्यांक एक-से हैं।

तालिका

क्रमांक	दूसरा प्रकाश स्रोत	उदासीन बिन्दु से दूरी	
		मानक प्रकाश स्रोत (R_1)	दूसरा प्रकाश स्रोत (R_2)
1	1 मोमबत्ती		
2	तेल की चिमनी		
3	टॉर्च		
4	2 मोमबत्तियाँ		
5			

हम मानक मोमबत्ती से उदासीन बिन्दु की दूरी को R_1 कहेंगे और उदासीन बिन्दु से दूसरे स्रोत की दूरी को R_2 कहेंगे। प्रयोग को दूसरी ओर अलग-अलग स्रोत रखकर और एक से अधिक मोमबत्तियाँ रखकर दोहराओ। अपने अवलोकन ऊपर जैसी तालिका में नोट करो।

तुम्हारे निष्कर्ष क्या हैं?



r त्रिज्या वाले गोले की सतह का क्षेत्रफल = $4\pi r^2$

क्या तेल की चिमनी मोमबत्ती के बराबर प्रकाश देती है?

क्या हम कह सकते हैं कि टॉर्च का प्रकाश मोमबत्ती के प्रकाश से ज़्यादा शक्तिशाली है?

इन सवालों के जवाब देने का आधार क्या हो सकता है?

पहले तो यह देखते हैं कि इस प्रयोग में उदासीन बिन्दु क्यों मिलता है।

हमारा अनुभव बताता है कि दूरी बढ़ने पर प्रकाश की तीव्रता घटती जाती है। किसी 'बिन्दु स्रोत' से निकलने वाला प्रकाश सारी दिशाओं में फैलेगा। बिन्दु स्रोत के आसपास एक ही दूरी पर स्थित सारे बिन्दुओं पर प्रकाश की तीव्रता एक जैसी होगी। अर्थात् यदि एक गोला हो जिसके केन्द्र बिन्दु पर हमारा बिन्दु स्रोत रखा हो तो गोले की सतह पर हर जगह प्रकाश की तीव्रता एक बराबर होगी। जब हम स्रोत से दूर जाएँगे, इस गोले की सतह का क्षेत्रफल बढ़ता जाएगा। तब प्रति इकाई क्षेत्रफल पर पड़ने वाले प्रकाश की मात्रा कम होती जाएगी। किसी गोले की सतह का क्षेत्रफल उसकी त्रिज्या के वर्ग के समानुपाती होता है। इसलिए जब हम कोई कागज़ मोमबत्ती (स्रोत) से दूर ले जाते हैं तो उसका क्षेत्रफल दूरी के वर्ग के अनुपात में बढ़ता है और उस पर गिरने वाले प्रकाश की मात्रा दूरी के वर्ग के अनुपात में घटती जाती है।

हमने कागज़ पर तेल का एक छोटा-सा धब्बा लगाया था। तेल की वजह से कागज़ थोड़ा अल्प-पारदर्शी हो जाता है। इसलिए जब हम कागज़ को एक तरफ (इसे बाजू A कहेंगे) से देखते हैं तो दूसरी तरफ (बाजू B की ओर) रखे प्रकाश स्रोत के कारण हमें वह तेल का धब्बा चमकता दिखाई देता है। धब्बे की चमक बाजू B से उस पर पड़ने वाले प्रकाश के समानुपाती होगी। अर्थात् यह चमक प्रकाश स्रोत से कागज़ की दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होगी।

धब्बे के आसपास का कागज़ बाजू A से पड़ने वाले प्रकाश के कारण चमक रहा है। यदि बाजू A में रखे प्रकाश स्रोत से पड़ने वाला प्रकाश बाजू B से पड़ने वाले प्रकाश से कम है, तो धब्बा चमकदार दिखेगा। जब हम कागज़ को प्रकाश स्रोत B से दूर ले जाते हैं तो प्रकाश स्रोत B से कागज़ पर पड़ने वाला प्रकाश कम होने लगता है। इसके साथ ही कागज़ प्रकाश स्रोत A के नज़दीक आता जा रहा है। इसलिए बाजू A से कागज़ पर पड़ने वाला प्रकाश बढ़ता जा रहा है। यदि धब्बे की चमक आसपास के कागज़ से कम हो जाएगी तो वह शेष कागज़ की अपेक्षा काला दिखेगा। जिस बिन्दु पर दोनों ओर से पड़ने वाले प्रकाश की मात्रा बराबर होगी वहाँ धब्बे की चमक और शेष कागज़ की चमक में कोई अन्तर नहीं रहेगा। इसलिए इस बिन्दु पर हमें धब्बा गायब होता दिखता है। यही उदासीन बिन्दु है।

जब हमने दो एक जैसे स्रोत (एक-एक मोमबत्ती) दोनों ओर रखे थे, तब उदासीन बिन्दु कहाँ मिला था? क्या तुम्हारे अवलोकन उपरोक्त व्याख्या से मेल खाते हैं?

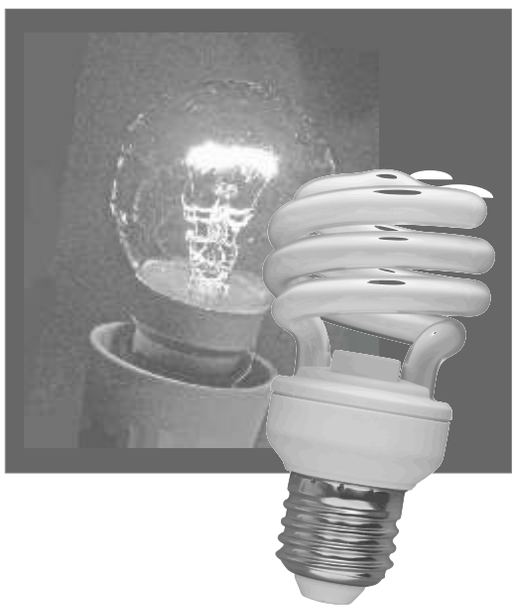
जब तुम एक तरफ दो मोमबत्तियों का उपयोग करोगे, तो प्रकाश भी ज़्यादा होगा। सैद्धान्तिक रूप से तो यह दुगना होना चाहिए। मगर वास्तविक प्रयोग में शायद ऐसा न हो क्योंकि दोनों मोमबत्तियाँ एक-सी नहीं जलतीं और दोनों के बीच थोड़ी दूरी तो होगी।

अब उदासीन बिन्दु अलग जगह पर होगा और दो स्रोतों से दूरियों के अनुपात से हम स्रोतों की तुलना कर पाएँगे। दूरियों के वर्ग का अनुपात कितना है? हमारी चर्चा के आधार पर तुम्हारी अपेक्षा क्या थी? यदि एक स्रोत की तीव्रता दूसरे स्रोत से ठीक दुगनी होती तो तुम्हें क्या अनुपात मिलने की उम्मीद होती?

इलेक्ट्रॉनिक प्रकाशमापी का आविष्कार होने से पहले प्रकाश की तीव्रता का मापन इसी तरह से किया जाता था और इस उपकरण को ग्रीस स्पॉट प्रकाशमापी कहते हैं।

किसी सतह पर पड़ने वाले प्रकाश की तीव्रता को ल्यूमेन प्रति वर्ग मीटर (lm/m^2) की इकाई में नापा जाता है। इसे **प्रकाश दीप्ति** भी कहते हैं। यह आपतित प्रकाश की तीव्रता का नाप है। इसे नापते हुए इस बात का ध्यान रखा जाता है कि मनुष्य की आँखों की संवेदनशीलता अलग-अलग तरंग लम्बाई के लिए अलग-अलग होती है।

हमारा बल्ब कितना प्रकाश देता है?



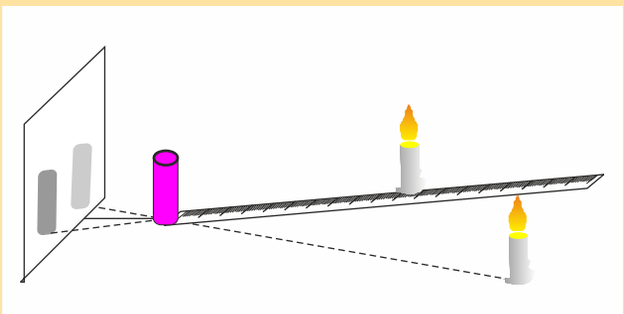
हम प्रकाश स्रोतों (जैसे बल्ब) की बात वॉट की इकाई में करते हैं। कमरे के लिए हम आम तौर पर 100 वॉट का बल्ब उपयोग करते हैं। यहाँ 100 वॉट से यह पता चलता है कि इस बल्ब में कितनी विद्युत शक्ति खर्च होती है। दूसरी ओर, बल्ब से निकलने वाली प्रकाश की मात्रा को ल्यूमेन में नापा जाता है। बाज़ार में मिलने वाले सीएफएल (कॉम्पैक्ट फ्लोरेसेंट लैम्प) पर तुम्हें ये दोनों माप लिखे मिलेंगे – वॉट और ल्यूमेन।

आम तौर पर 100 वॉट का ताप-दीप्ति (इंकेंडेसेंट) बल्ब 1200-1400 ल्यूमेन प्रकाश उत्सर्जित करता है। मगर 1200 ल्यूमेन के लिए मात्र 22 वॉट का सीएफएल ही पर्याप्त होता है। यदि तुम अपने साधारण बल्ब की जगह सीएफएल लगाओ तो 75 प्रतिशत विद्युत ऊर्जा की बचत होगी और रोशनी उतनी ही मिलेगी। इसका कारण यह है कि इंकेंडेसेंट बल्ब में सारी ऊर्जा प्रकाश में परिवर्तित नहीं होती है – अधिकांश ऊर्जा तो ऊष्मा में बदल जाती है जबकि सीएफएल में ऊष्मा बहुत कम पैदा होती है।

प्रोजेक्ट के विचार

क्या मैं परछाइयों की तुलना कर सकती हूँ?

हम एक ऐसा प्रकाशमापी बना सकते हैं जो प्रकाश स्रोतों के कारण बनने वाली एक ही वस्तु की परछाइयों की तुलना कर सकता है। इसे बनाकर जाँच करो कि क्या इसके परिणाम ग्रीस स्पॉट प्रकाशमापी के परिणामों से मेल खाते हैं।



तुम्हारे प्रकाश स्रोत कितने बढ़िया हैं?

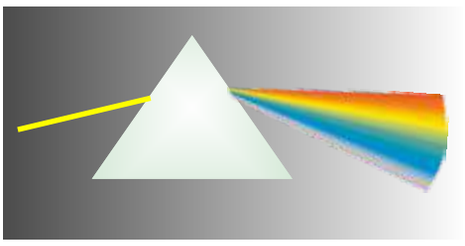
उपलब्ध सामग्री से एक फोटोमीटर बनाओ। इसकी मदद से विभिन्न प्रकाश स्रोतों की प्रकाश तीव्रता की तुलना करो। जैसे, अलग-अलग वॉट व अलग-अलग किस्म के बिजली के बल्ब (जैसे इंकेंडेसेंट बल्ब, सीएफएल, एलईडी)। सबसे ऊर्जा कुशल स्रोत पता करो। अपने घर/स्कूल में बल्बों की सूची बनाओ। यह पता करो कि यदि तुम पुराने बल्बों की जगह ज़्यादा ऊर्जा कुशल बल्ब लगाओ तो कितनी बचत होगी। यह भी बताओ कि इससे पर्यावरण कितना बेहतर होगा। इसके लिए शायद तुम्हें बल्ब की आयु और लागत वगैरह जैसी बातों पर भी ध्यान देना होगा।

रंग

हम अक्सर कहते हैं कि सफेद प्रकाश विभिन्न रंगों से मिलकर बना होता है। यह बात सबसे पहले न्यूटन ने दर्शाई थी। उन्होंने प्रिज़्म की मदद से सफेद प्रकाश को अलग-अलग रंगों में बाँटकर दिखाया था। प्रकाश के अलग-अलग रंगों में बँटने की घटना को वर्ण-विक्षेपण कहते हैं और रंगों में बँटे हुए प्रकाश को वर्णक्रम कहते हैं।

> प्रकाश का अपवर्तन इसलिए होता है क्योंकि अलग-अलग माध्यमों में प्रकाश का वेग अलग-अलग होता है। विभिन्न रंगों के प्रकाश (अर्थात् विभिन्न तरंग लम्बाइयों वाले प्रकाश तरंगों का वेग) हरेक माध्यम में थोड़ा अलग-अलग होता है। इसलिए जब प्रकाश एक माध्यम से दूसरे माध्यम में जाता है तो हर रंग अलग-अलग मात्रा में मुड़ता है। इसे प्रकाश का वर्ण-विक्षेपण कहते हैं।

हम भी प्रकाश का वर्ण-विक्षेपण उसी विधि से देख सकते हैं जिसका उपयोग न्यूटन ने किया था।



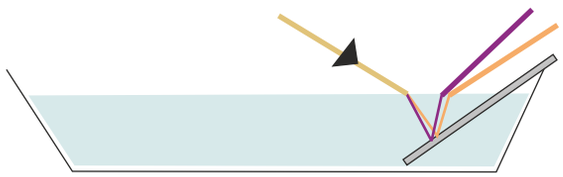
यह प्रयोग ऐसे कमरे में करना होगा जिसमें एक खिड़की हो मगर अँधेरा हो। खिड़की को इस तरह बन्द करो कि उसमें से धूप का सिर्फ एक पुंज अन्दर आए। शायद तुम्हें धूप के पुंज को परावर्तित करने के लिए दर्पण का उपयोग करना पड़े। इस पुंज को एक प्रिज़्म पर इस तरह डालो कि अपवर्तित पुंज कमरे की छत या दीवार पर पड़े। अब प्रिज़्म को इतना घुमाओ कि तुम्हें रंग-बिरंगा वर्णक्रम दिखने लगे।

प्रिज़्म के बगैर भी वर्णक्रम प्राप्त कर सकते हो। इसके लिए तुम्हें रसोईघर में थोड़ी ताक-झाँक करनी होगी। एक ऐसा पतीला हासिल करो जिसका पेंदा चपटा हो। इस पतीले को किसी ऐसी जगह रखो जहाँ सीधी धूप पड़ रही हो। एक समतल दर्पण को पतीले में इस तरह रखो कि तुम्हें उसका चिलका किसी सफेद दीवार या छत पर दिखे। अब पतीले में धीरे-धीरे पानी भरो। एक समय ऐसा आएगा कि तुम्हें दीवार पर एक खूबसूरत इन्द्रधनुष दिखाई देने लगेगा। इन्द्रधनुष एक वर्णक्रम ही तो होता है।

इसी प्रकार का वर्णक्रम एक कॉम्पैक्ट डिस्क (सीडी) से भी बना सकते हो। सीडी को धूप में इस तरह पकड़ो कि उससे परावर्तित होकर धूप किसी दीवार पर पड़े। रंगों के क्रम पर ध्यान दो। क्या दोनों मामलों में क्रम एक-सा है?

गतिविधि 25 की व्याख्या

हमने देखा था कि प्रिज़्म को प्रकाश के रास्ते में एक कोण पर रखने पर हमें वर्णक्रम प्राप्त हुआ था। प्रिज़्म हमें दो सम्पर्क सतह प्रदान करता है जो एक-दूसरे के समान्तर नहीं हैं।

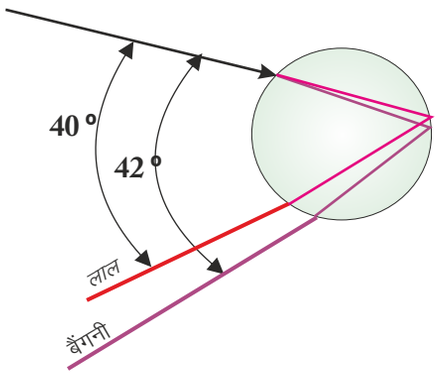


रोचक बात है कि अलग-अलग रंगों की किरणें अपवर्तन के बाद अलग-अलग मात्रा में मुड़ती हैं। इसलिए अपवर्तन के कारण रंग थोड़े अलग-अलग हो जाते हैं। पहली सतह पर अपवर्तन की वजह से रंगों के बीच जो दूरी बनी थी, दूसरी सतह पर होने वाला अपवर्तन उस दूरी को बढ़ा देता है। इसकी वजह से हमें अलग-अलग रंग अलग-अलग दिखने लगते हैं।

इन्द्रधनुष

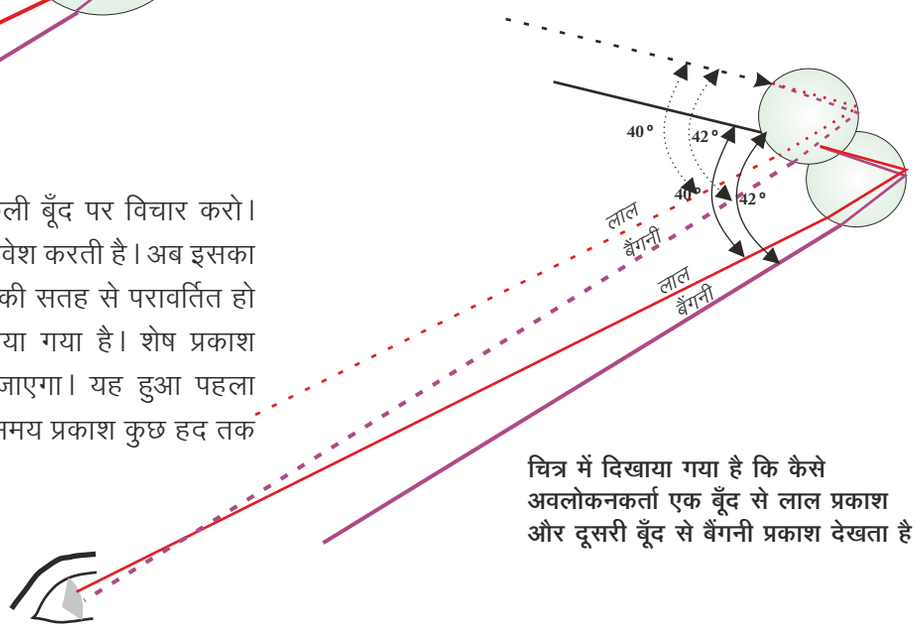
इन्द्रधनुष भी प्रकाश के वर्ण-विक्षेपण के कारण बनता है। सवाल यह है कि आसमान में वर्ण-विक्षेपण कौन करता है, प्रिज़्म कहाँ है और इन्द्रधनुष हमेशा एक चाप के रूप में ही क्यों बनता है?

यदि सूरज आकाश के एक हिस्से में चमक रहा है और बारिश भी हो रही है तो हमें इन्द्रधनुष सूरज से उल्टी दिशा में दिखाई देता है। यदि हवाई जहाज़ में बैठे हो, तो इन्द्रधनुष पूरा गोलाकार भी दिखता है। इन्द्रधनुष बारिश की सैकड़ों-हज़ारों बूँदों द्वारा प्रकाश के वर्ण-विक्षेपण के कारण बनता है। ये नन्ही-नन्ही बूँदें प्रिज़्म के समान काम करती हैं। आओ देखें कि कैसे?



चित्र में दिखाए अनुसार एक अकेली बूँद पर विचार करो। प्रकाश की किरण बूँद में ऊपर से प्रवेश करती है। अब इसका रास्ता देखो। कुछ प्रकाश तो बूँद की सतह से परावर्तित हो जाएगा। इसे चित्र में नहीं दिखाया गया है। शेष प्रकाश अपवर्तित होकर बूँद के अन्दर जाएगा। यह हुआ पहला अपवर्तन। इस प्रथम अपवर्तन के समय प्रकाश कुछ हद तक अपने रंगों में बँट जाता है। बैंगनी रंग सबसे अधिक मुड़ता है और लाल रंग सबसे कम। जब यह प्रकाश बूँद के दूसरी ओर पहुँचता है, तो हरेक रंग का कुछ अंश बूँद से बाहर अपवर्तित हो जाता है जबकि कुछ अंश वापस बूँद में ही परावर्तित हो जाता है। अब यह परावर्तित प्रकाश बूँद की निचली सतह पर पहुँचता है। यहाँ भी हरेक रंग का कुछ अंश अपवर्तित होकर बूँद से बाहर जाता है और कुछ अंश बूँद में परावर्तित हो जाता है। यह दूसरा अपवर्तन किसी प्रिज़्म में हुए अपवर्तन के समान होता है और रंगों की दूरी बढ़ जाती है।

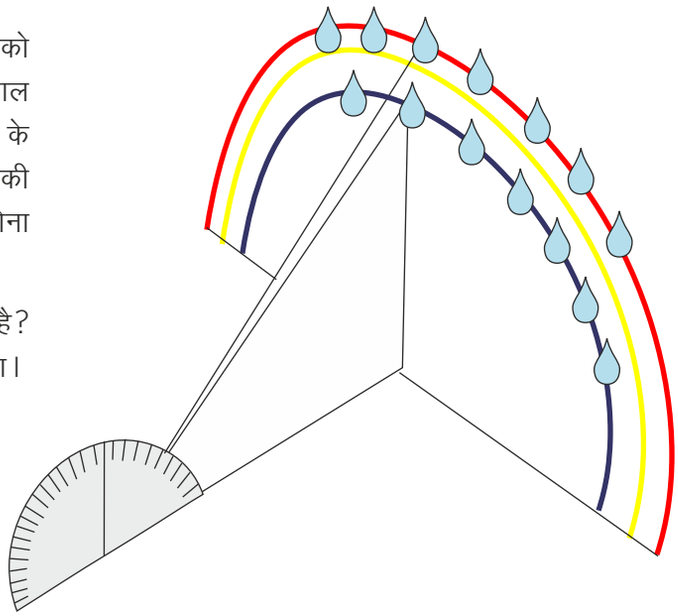
हालाँकि हर बूँद प्रकाश को विक्षेपित करके पूरा वर्णक्रम बनाती है मगर कोई भी प्रेक्षक किसी बूँद से निकलने वाला एक ही रंग देख पाता है (नीचे का चित्र देखो)। बूँद की ऊँचाई के अनुसार यदि किसी बूँद से निकलने वाला बैंगनी प्रकाश किसी प्रेक्षक की आँखों तक पहुँचता है तो उसी बूँद से निकलने वाला लाल रंग का प्रकाश कहीं और पहुँचेगा। लाल



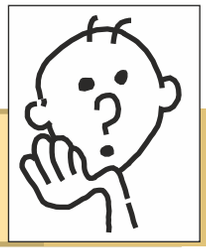
चित्र में दिखाया गया है कि कैसे अवलोकनकर्ता एक बूँद से लाल प्रकाश और दूसरी बूँद से बैंगनी प्रकाश देखता है।

रंग का प्रकाश देखने लिए उस प्रेक्षक को किसी और बूँद को देखना होगा, जो आकाश में थोड़ी और ऊँचाई पर हो। लाल रंग तभी दिखेगा जब प्रकाश पुंज और लाल रंग के प्रकाश के बीच कोण 42 डिग्री हो। बैंगनी रंग देखने के लिए धूप की किरण और विक्षेपित किरणों के बीच कोण 40 डिग्री होना चाहिए।

बारिश की बूँदों से विक्षेपित प्रकाश धनुष ही क्यों बनाता है? इसे समझने के लिए थोड़ी ज्यामिति का सहारा लेना पड़ेगा।



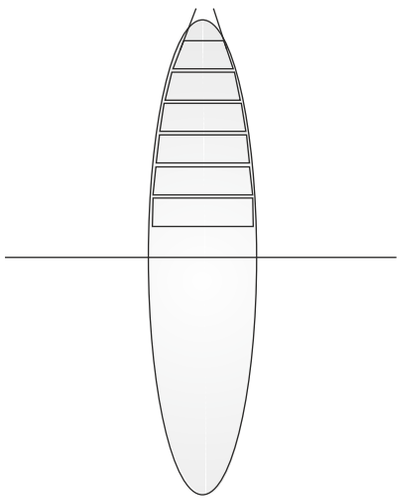
बात को सरल रखने के लिए हम सिर्फ लाल रंग के प्रकाश के विक्षेपण की बात करेंगे। कोई भी प्रेक्षक लाल रंग को तब देख सकता है जब सूरज से आ रहे प्रकाश पुंज और आँख तक पहुँचने वाली विक्षेपित किरणों के बीच 42 डिग्री का कोण हो। मगर तुम लाल रंग तब भी देख सकते हो जब तुम उसी कोण पर आजू-बाजू देखो। चित्र को देखकर हम समझ सकते हैं कि एक ही कोण पर प्रकाश का विक्षेपण करने वाली बूँदें एक धनुष के रूप में जमी हैं। बाकी बूँदें भी प्रकाश का विक्षेपण कर रही हैं मगर वह प्रकाश उस व्यक्ति की आँखों तक नहीं पहुँच रहा है। वह किसी और व्यक्ति का इन्द्रधनुष बना रहा है।



जब प्रकाश काँच के एक आयताकार गुटके में से होकर गुज़रेगा तो क्या प्रकाश का विक्षेपण होगा? होगा तो क्यों होगा और नहीं होगा तो क्यों नहीं होगा?

तुम्हारे दिमाग में यह सवाल ज़रूर कुलबुला रहा होगा कि जब प्रिज़्म में ऐसा विक्षेपण होता है तो लेंस में हमें क्यों नहीं दिखा।

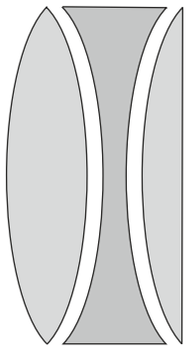
बाजू का चित्र देखो। हम लेंस को कई छोटे-छोटे प्रिज़्मों से बना मान सकते हैं। तुम देख सकते हो कि यदि दोनों कोनों को छोड़ दें तो बाकी जगह इनकी दो सतहें लगभग समान्तर हैं। इसलिए जो प्रकाश लेंस के लम्बवत् आपतित होगा उसका विक्षेपण होगा। मगर यह विक्षेपण इतना कम होता है कि हमें नज़र नहीं आता। वैसे कभी-कभी प्रतिबिम्बों के किनारों पर हल्की-सी लाल रंगत देखी जा सकती है।



इस तरह के विक्षेपण के कारण प्रतिबिम्ब थोड़ा धुँधला पड़ जाता है क्योंकि अलग-अलग रंग का प्रकाश अलग-अलग बिन्दुओं पर फोकस होता है। इसे क्रोमेटिक त्रुटि कहते हैं। साधारण प्रयोगों में तो क्रोमेटिक त्रुटि से कोई फर्क नहीं पड़ता मगर कैमरों, बायनॉक्यूलर्स और दूरबीन जैसे उपकरणों में इसकी वजह से प्रतिबिम्ब की गुणवत्ता पर काफी असर पड़ता है।

इस गड़बड़ी को दूर करने के लिए एक से अधिक लेंसों का उपयोग किया जाता है। एक तरीका तो यह है कि दो अलग-अलग किस्म के काँच से बने लेंसों का उपयोग किया जाए ताकि वे एक-दूसरे के प्रभाव को निरस्त कर दें। दूसरा तरीका है कि कई लेंसों का मिला-जुला उपयोग किया जाए। बाजू के चित्र में दर्शाई गई तीन लेंस की व्यवस्था सबसे लोकप्रिय है।

क्रोमेटिक गड़बड़ी को दूर करें



यहाँ एक लेंस संयोजन दिखाया गया है। इसमें दो उत्तल व एक अवतल लेंस का उपयोग करके वांछित फोकस दूरी हासिल की गई है। अवतल लेंस और उत्तल लेंस एक-दूसरे से उल्टा काम करते हैं। एक से होने वाले विक्षेपण को दूसरा समाप्त कर देगा।

रंगों का मिश्रण

अब हम जानते हैं कि सफेद प्रकाश विभिन्न रंगों से मिलकर बना होता है और हम इन रंगों को अलग-अलग कर सकते हैं। तो क्या इसका उल्टा करना भी सम्भव है? यदि हम सारे रंगों को मिला दें तो सफेद प्रकाश मिलेगा। करके देखो।

तुम्हें पेस्टल या अन्य रंगों और सफेद कागज़ की ज़रूरत पड़ेगी।

विभिन्न ऑइल पेस्टल रंग लो। उन रंगों को चुनो जो इन्द्रधनुष में सबसे ज़्यादा दिखाई पड़ते हैं। सफेद कागज़ पर इन रंगों को एक के ऊपर एक पोतो।

क्या सफेद रंग मिला?

क्या गड़बड़ हुई होगी?

गड़बड़ी को समझने के लिए हमें यह समझना होगा कि हमें रंग दिखते कैसे हैं। इसके लिए एक छोटा-सा प्रयोग करो।

तुम्हें पीले, लाल और नीले रंग के जिलेटिन कागज़ों की ज़रूरत पड़ेगी।

जिलेटिन कागज़ों को कम से कम तिहरा कर लो और तह किए हुए कागज़ में से विभिन्न चीज़ों को देखो। कुछ चीज़ों के नाम नीचे तालिका में दिए गए हैं। यह देखो कि जिलेटिन कागज़ में से देखने पर चीज़ किस रंग की दिखती है और अपने अवलोकन तालिका में लिखो।

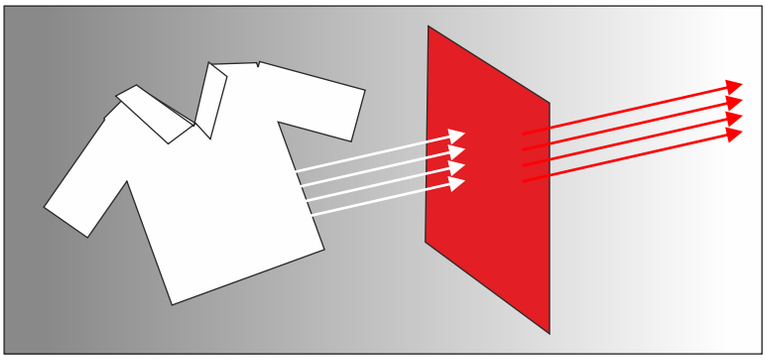
तालिका

वस्तु	मूल रंग	लाल जिलेटिन से देखने पर रंग	नीले जिलेटिन से देखने पर रंग	पीले जिलेटिन से देखने पर रंग
कमीज़	सफेद			
केला	पीला			
फूल	लाल			
आसमान	नीला			
पत्तियाँ	हरी			
पजामा	कत्थई			
साड़ी	नारंगी			
बाल	काले			
कोई अन्य				

गतिविधि 26

गतिविधि 27

चलो, अपने अवलोकनों का विश्लेषण करते हैं। पीले जिलेटिन से देखने पर सफेद कमीज़ पीली दिखती है। सफेद कमीज़ सफेद प्रकाश का परावर्तन करेगी और हम यह तो जानते ही हैं कि सफेद प्रकाश विभिन्न रंगों से मिलकर बना है। जब हम सफेद कमीज़ (या किसी भी सफेद वस्तु) को पीले जिलेटिन में से देखते हैं तो वह पीली नज़र आती है। अतः हम यह सोच सकते हैं कि पीला जिलेटिन पीले के अलावा किसी भी रंग को अपने में से गुज़रने नहीं देता। इसलिए, सफेद कमीज़ से परावर्तित प्रकाश में चाहे सारे रंग रहे होंगे मगर सिर्फ पीला रंग ही जिलेटिन में से पार हो पाया। क्या यही क्रिया लाल और नीले जिलेटिन में भी हुई होगी?



तो हम निष्कर्ष निकालते हैं कि पीला जिलेटिन सिर्फ पीले रंग को गुज़रने देता है, लाल जिलेटिन सिर्फ लाल रंग के प्रकाश को और नीला जिलेटिन सिर्फ नीले रंग के प्रकाश को गुज़रने देता है। अब हम अपने अगले अवलोकन को देखते हैं। सफेद कमीज़ सफेद प्रकाश परावर्तित कर रही थी। इस प्रकाश में विभिन्न रंग थे। मगर यदि वस्तु लाल हो तो? क्या हम कह सकते हैं कि लाल वस्तु सिर्फ लाल प्रकाश को परावर्तित करती है?

यदि ऐसा है, तो जब हम इस वस्तु को लाल जिलेटिन में से देखेंगे तो वह लाल रंग की नज़र आनी चाहिए। मगर यदि हम इसी लाल वस्तु को पीले या नीले जिलेटिन में से देखें तो क्या होगा? हमने ऊपर जो माना है, यदि वह बात सही है तो जब लाल वस्तु सिर्फ लाल रंग को परावर्तित करेगी और नीला जिलेटिन नीले के अलावा बाकी सारे रंगों को रोक लेगा तो होना यह चाहिए कि नीले जिलेटिन में से देखने पर लाल वस्तु काली नज़र आए। क्या यह निष्कर्ष तुम्हारे अवलोकन से मेल खाता है?

यह करके देखो – क्या सारी वस्तुएँ तब काली दिखाई पड़ती हैं जब उन्हें किसी और रंग के जिलेटिन कागज़ में से देखा जाए।

तो अपने अवलोकनों से हम निम्नलिखित निष्कर्ष निकाल सकते हैं:

1) प्रत्येक जिलेटिन कागज़ रंगों की एक चलनी की तरह काम करता है।
2) पीली वस्तु सिर्फ पीला प्रकाश परावर्तित करती है जबकि उस पर जो प्रकाश पड़ता है वह सारे रंगों से मिलकर बना होता है।

दूसरे निष्कर्ष की जाँच करने के लिए हम कुछ और प्रयोग करेंगे।

ऊपर के सारे प्रयोगों में हमने वस्तु को सफेद प्रकाश में देखा है। यदि लाल वस्तु सिर्फ लाल रंग का प्रकाश परावर्तित करती है, तो यदि उस पर लाल प्रकाश न पड़े तो क्या होगा? क्या ऐसी स्थिति में वह काली दिखेगी?

चलो, करके देखते हैं। इस प्रयोग को एक अँधेरे कमरे में करना पड़ेगा जहाँ मात्र एक बल्ब या कोई और प्रकाश स्रोत हो। बल्ब को लाल जिलेटिन से ढँक दो (जिलेटिन कागज़ की कम से कम चार तह करना)। हमारे निष्कर्ष के अनुसार लाल जिलेटिन कागज़ सिर्फ लाल प्रकाश को गुज़रने देगा। अब कमरे में लाल प्रकाश है।

यह देखो कि इस प्रकाश में विभिन्न रंगों की वस्तुएँ कैसी दिखती हैं। अपने अवलोकन नोट करो। यही प्रयोग नीले और पीले प्रकाश में भी करो।

इन प्रयोगों से तुमने जो कुछ सीखा, उसके आधार पर तुम समझ सकते हो कि ऑइल पेस्टल के रंगों को मिलाने से सफेद रंग क्यों नहीं मिला। इसके लिए हमें कोई दूसरा तरीका अपनाना होगा। उस तरीके के लिए हमें एक बार फिर न्यूटन की बात करनी होगी।

न्यूटन की चकरी

गतिविधि 28

न्यूटन ने विभिन्न रंगों को मिलाकर सफेद प्रकाश प्राप्त करने का एक तरीका सुझाया था। उनके तरीके में एक गोल चकरी पर सात अलग-अलग रंग फाँकों के रूप में पुते थे। इस चकरी को एक पहिए पर जड़कर घुमाते थे। चित्र 1 में यह व्यवस्था दर्शाई गई है। तुम भी न्यूटन चकरी बनाकर देख सकते हो कि उसे घुमाने पर कौन-सा रंग मिलता है।

इसके लिए तुम्हें कागज़, क्रेयॉन या और कोई मुलायम रंग, कार्ड बोर्ड और एक ऐसी चकरी की ज़रूरत पड़ेगी जो ऊपर से चपटी हो।

एक सफेद कागज़ पर 5-6 सेमी व्यास का एक गोला बनाओ। चित्र 2 में दिखाए अनुसार इस गोले को सात बराबर भागों में बाँट लो। हरेक फाँक में इन्द्रधनुष के सात रंगों (बैंगनी, जामुनी, नीला, हरा, पीला, नारंगी और लाल) में से कोई एक रंग भरो। इस रंगीन गोले के बराबर आकार का एक कार्ड बोर्ड काटो। रंगीन गोले को काटकर कार्ड बोर्ड पर चिपका दो। रंगीन गोले वाले इस कार्ड बोर्ड को एक फिरकनी पर चिपका दो। फिरकनी को तेज़ी से घुमाओ।

क्या दिखा? क्या तुम्हें सफेद रंग दिखता है? क्या तुम्हें लगता है कि रंगीन फाँकों की साइज़ में कुछ फेरबदल करना चाहिए?

क्या रंगों के क्रम से कोई फर्क पड़ता है? अलग-अलग क्रम में रंग भरकर देखो कि क्या परिणाम मिलते हैं। यह भी कर सकते हो कि 7 की बजाय 14 फाँक बनाओ और हर रंग को दो-दो फाँकों में भरो।

तुमने गतिविधि 25 में पानी और समतल दर्पण की मदद से जो इन्द्रधनुष बनाया था उसमें दिखने वाले रंगों (वर्णक्रम) को ध्यान से देखो। क्या सारे रंगों के पट्टे बराबर साइज़ के थे? क्या तुम्हें लगता है कि चकरी पर अलग-अलग रंगों की फाँकें वर्णक्रम के बराबर बनाने से सफेद रंग प्राप्त करने में आसानी होगी? करके देखो। अब कौन-सा रंग ज़्यादा नज़र आ रहा है? सफेद रंग क्यों नहीं मिला?

ज़रा यह समझने की कोशिश करते हैं कि फिरकी को घुमाने पर हमें सारे रंग अलग-अलग क्यों नहीं दिखते?

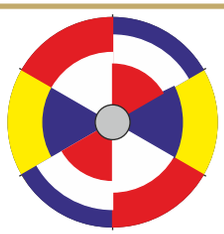
हमारी आँख के रेटिना पर कोई भी प्रतिबिम्ब लगभग सेकंड के दसवें भाग तक बना रहता है। यदि रेटिना पर अगला प्रतिबिम्ब इससे पहले बन जाए, तो दूसरा प्रतिबिम्ब पहले वाले के ऊपर बन जाता है। जब हम फिरकी को तेज़ी से घुमाते हैं, तो हरेक रंग का प्रकाश रेटिना पर सेकंड के दसवें भाग से कम समय के लिए ही गिरता है। ऐसा होने पर हमें सातों रंगों का प्रकाश एक साथ ही दिखता है।

सवाल यह है कि यदि हम विभिन्न रंगों की फाँकों की साइज़ को वर्णक्रम में उनकी साइज़ के अनुपात में बना दें, तो भी हमें एकदम सफेद रंग नहीं दिखता। उसमें किसी न किसी रंग की झलक दिखती रहती है।

वास्तव में हमारी आँखें सारे रंगों के प्रति बराबर संवेदनशील नहीं हैं, लाल और पीले के प्रति ज़्यादा संवेदनशील हैं। तो चाहे तुम्हारे रंग सही अनुपात में रहे हों, आँख पीले और लाल को थोड़ा ज़्यादा देखती है। आँखों के इस पूर्वाग्रह से बचने के लिए तुम्हें इन रंगों की फाँकों के आकार को थोड़ा कम करना पड़ेगा।

चित्र 1: रंगीन चकरी

चित्र 2



कम रंगों के साथ डिस्क बनाने की कोशिश करें और रंग की पट्टी की जगह सर्पिलाकार पैटर्न का इस्तेमाल करें। ऊपर दिए गए पैटर्न के साथ आपको कुछ रोचक परिणाम मिलेंगे।

परिशिष्ट 1

कुछ परिभाषाएँ और थोड़ा-सा गणित

हमने प्रतिबिम्ब को समझने के लिए चित्र बनाए हैं। क्या यह सम्भव है कि हम थोड़े और सटीक चित्र बनाएँ और यह भी देख सकें कि वस्तु के मुकाबले प्रतिबिम्ब कितना बड़ा बनेगा — दूसरे शब्दों में आवर्धन कितना होगा? हाँ, कर तो सकते हैं मगर उससे पहले हमें कुछ परिभाषाओं को दोहराना होगा।

दर्पण के ज्यामितीय केन्द्र को उसका **वर्टेक्स** (V) कहते हैं।

गोलीय परावर्तक सतह के केन्द्र को उसका **वक्रता केन्द्र** (C) कहते हैं।

मुख्य अक्ष किरण चित्र में खींची गई एक रेखा होती है जो वर्टेक्स और वक्रता केन्द्र से होकर जाती है।

दर्पण से वक्रता केन्द्र की दूरी को **वक्रता त्रिज्या** (R) कहते हैं।

मुख्य फोकस (F) और वर्टेक्स (V) के बीच की दूरी को **फोकस दूरी** (f) कहते हैं।

फोकस दूरी और वक्रता त्रिज्या के बीच निम्नलिखित सम्बन्ध होता है: $R = 2f$

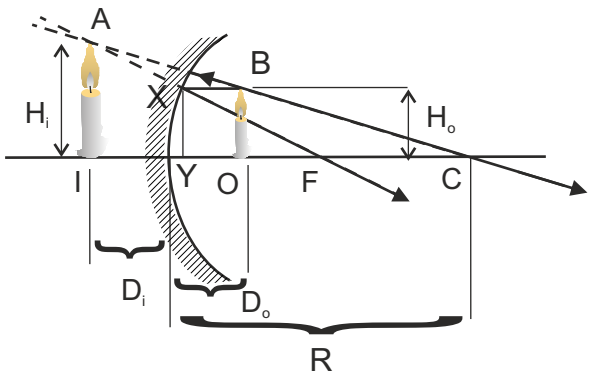
आवर्धन (m) का मतलब है प्रतिबिम्ब की साइज़ और वस्तु की साइज़ का अनुपात। पतले दर्पण और लेंसों के लिए

$$m = D_i / D_o$$

जिसमें

D_i = वर्टेक्स से प्रतिबिम्ब की दूरी तथा

D_o = वर्टेक्स से वस्तु की दूरी



दर्पण (और लेंस) के समीकरणों में चिह्न की परिपाटी निम्नानुसार होती है:

1. अभिसारी दर्पणों (यानी किरणों को एक बिन्दु पर केन्द्रित करने वाले दर्पण, जैसे अवतल दर्पण) के लिए फोकस दूरी (f) धनात्मक और अपसारी दर्पणों (यानी किरणों को बिखेरने वाले दर्पण, जैसे उत्तल दर्पण) के लिए ऋणात्मक होती है।
2. वस्तु की दूरी (Do) धनात्मक होती है।
3. प्रतिबिम्ब की दूरी (Di) सारे वास्तविक प्रतिबिम्बों के लिए धनात्मक और आभासी प्रतिबिम्बों के लिए ऋणात्मक होती हैं।
4. ऊँचाइयाँ (Ho, Hi) धनात्मक होती हैं यदि इन्हें मुख्य अक्ष से ऊपर की ओर नापा जाए और यदि मुख्य अक्ष से नीचे की ओर नापा जाए तो ऋणात्मक होती हैं।
5. आवर्धन (m) तब धनात्मक होता है जब प्रतिबिम्ब सीधा हो और तब ऋणात्मक होता है जब प्रतिबिम्ब उल्टा हो।

वस्तु की दूरी, प्रतिबिम्ब की दूरी और फोकस दूरी के बीच सम्बन्ध निम्नलिखित समीकरण से दर्शाया जा सकता है।

$$\frac{1}{D_i} + \frac{1}{D_o} = \frac{1}{f}$$

इस समीकरण को समरूप त्रिभुजों के गुणधर्मों के आधार पर प्रतिपादित किया जा सकता है। एक सुराग यह रहा...

ध्यान दो कि त्रिभुज AIC और BOC समरूप हैं। इसलिए

$H_i/H_o = (D_i + R)/(R - D_o)$

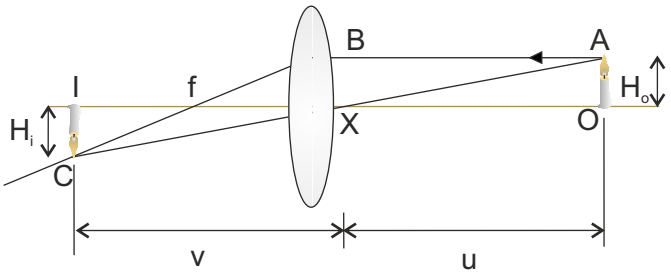
यदि हम यह मान लें कि दर्पण की गोलाई बहुत कम है तो हम बिन्दु Y को वर्टेक्स मान सकते हैं। ध्यान दो कि त्रिभुज AIF और XYF भी समरूप हैं। इसलिए $XY = H_o$ तो $H_i/H_o = (D_i + f)/f$

लेंस की समीकरण

वस्तु, प्रतिबिम्ब और फोकस दूरी के सम्बन्ध को निम्नलिखित समीकरण द्वारा दर्शाया जाता है:

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

यह समीकरण वैसी ही है जैसी हमने गोलीय दर्पणों के सन्दर्भ में देखी थी (परिशिष्ट 1)। D_i और D_o की जगह हमने u और v का उपयोग किया है। लेंस से वस्तु की दूरी (u) और प्रतिबिम्ब की दूरी (v) को दर्शाने के लिए यह एक परिपाटी है।



ऊपर के चित्र में त्रिभुज AOX और ICX समरूप हैं।

अतः $H_i/H_o = v/u$

त्रिभुज BXF और ICF भी समरूप हैं और BX=AO $=H_o$

अतः $H_i/H_o = (v-f)/f$

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

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

समीकरण के दोनों ओर v का भाग देने पर

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

इसी प्रकार से अन्य मामलों में भी सूत्र को सिद्ध किया जा सकता है। ऐसा करते हुए परिशिष्ट 1 में दी गई चिह्न परिपाटी का ध्यान रखना न भूलना।

गतिविधियों की सूची

गतिविधि संख्या	गतिविधि	पेज संख्या
1	छाया के खेल	08
2	छाया की आकृति	09
3	क्या हर चीज़ की छाया बनती है?	10
4	विभिन्न प्रकाश स्रोतों से बनी छायाएँ	13
5	प्रकाश हर दिशा में सीधी रेखा में चलता है	14
6	अपना पिन होल कैमरा बनाओ	15
7	अलग-अलग आकृति के छेदों से प्रकाश के धब्बों की आकृति पता करना	17
8	समतल दर्पण के द्वारा प्रकाश का परावर्तन/परावर्तन के नियम पता करो	20
9	दर्पण में देखकर किसी वस्तु को ट्रेस करना	24
10	अपना पेरिस्कोप बनाओ	26
11	कैलीडोस्कोप बनाओ	28
12	अपनी नोटबुक को दर्पण बनाओ	29
13	अवतल दर्पण का फोकल बिन्दु ज्ञात करना	32
14	अवतल दर्पण के लिए प्रतिबिम्ब की स्थिति ज्ञात करना	33
15	काँच के गुटके द्वारा अपवर्तन को समझना	39
16	काँच के गुटके के अन्दर प्रकाश किरण का मार्ग देखना	42
17	किरण पुंज का मुड़ना यानी मरीचिका कैसे बनती है	44
18	पूर्ण आन्तरिक परावर्तन	44
19	काँच के बेलनाकार बरतन से लेसर पुंज का मुड़ना	46
20	पानी-प्रकाश फव्वारा	46
21	समबाहु प्रिज़्म के द्वारा अपवर्तन	49
22	सूर्य के प्रकाश से माचिस की तीली जलाना	53
23	उत्तल लेंस के लिए प्रतिबिम्ब की स्थिति ज्ञात करना	55
24	प्रकाश की तीव्रता का मापन	67
25	पानी के एक बरतन से प्रकाश का वर्णक्रम प्राप्त करना	71
26	रंगों का मिश्रण	74
27	हम रंगों को कैसे देखते हैं को समझना	74
28	अपनी न्यूटन की चकरी बनाना	76

इंडेक्स

	पेज संख्या
अपवर्तन	39
गोल सतह से	51
नियम	42
समतल सतह से	39
अपवर्तनांक	41
परिभाषा	41
हवा-काँच	45
हवा-पानी	45
हीरा	46
अपारदर्शी	10
अबु अली अल हसन	17, 38
अभिलम्ब	20, 30
अल खिंदी	38
अल्प-पारदर्शी	10
अवतल दर्पण	30
किरण रेखाचित्र - कैसे बनाएँ	34
प्रतिबिम्ब ज्ञात करना (प्रयोग करके)	33
प्रतिबिम्ब ज्ञात करना (सैद्धान्तिक रूप से)	34
फोकल बिन्दु	32
फोकल बिन्दु पता करना	32
वक्रता केन्द्र	31
अवतल लेंस	51
किरण रेखाचित्र बनाना	54
आवर्धक शीशा	58
ऑगस्टीन ज़्यां फ्रेनेल	59
इन्द्रधनुष	72
उत्तल दर्पण	30, 37
किरण रेखाचित्र - कैसे बनाएं	37
उत्तल लेंस	51
किरण रेखाचित्र बनाना	54
प्रतिबिम्ब का बनना	53
फोकल दूरी ज्ञात करना	53
फोकल बिन्दु	52
वक्रता केन्द्र	52
कई प्रतिबिम्ब	27
किरण चित्र	34
अवतल दर्पण	34
अवतल लेंस	56
उत्तल दर्पण	37
उत्तल लेंस	54
समतल दर्पण	24

	पेज संख्या
केपलर	57
कैमरा	57
ऑब्सक्यूरा	17
पिन होल	15
कैलीडोस्कोप	28
क्रान्तिक कोण	45
क्रोमेटिक गड़बड़ी	74
गोलीय दर्पण	30
ग्रीस स्पॉट प्रकाशमापी	67
चिन्ह परिपाटी	77
छाया	8
छाया का रंग	13
छाया के खेल	8
छाया कैसे बनती है	11
जी बेकमैन	47
टोमासी द मोडेना	57
डब्लू स्नेल	41
तीव्रता	67
दर्पण	30
अवतल दर्पण	30
उत्तल दर्पण	30, 37
दूरबीन	65
नरिन्दर कापनी	48
न्यूटन	76
न्यूटन की चकरी	76
परावर्तन	19
अपने आसपास की आम सतहों से	38
खुरदरी सतह से	28
गोलीय दर्पण से	29
नियम पता करने के लिए गतिविधि	20
नियम, वक्तव्य, स्पष्टीकरण	21
नियमित	29
समतल दर्पण से	22
पारदर्शी	10
पूर्ण आन्तरिक परावर्तन	44
पेरिस्कोप	26
प्रकाश का वर्ण-विक्षेपण	71
प्रकाश किरण बनाओ	19
प्रकाश दीप्ति	69
प्रकाश स्रोत	13
बिन्दु	13
विस्तारित	13
प्रकाशीय तन्तु	47

	पेज संख्या
प्रतिबिम्ब	25
आभासी	25, 36, 55
उल्टा	15, 16, 36
बड़ा	36
वास्तविक	25, 36, 55
प्रिज़्म	49
परावर्तक सतह के रूप में उपयोग	62
प्रकाशीय उपकरणों में उपयोग	61
समकोण	61
समबाहु	49
साइकिल के रिफ्लेक्टर में उपयोग	62
फ्रेनेल लेंस	59
बायनॉक्यूलर्स	62
ब्रायन ओब्रिएन	48
ब्रूस्टर	28
मरीचिका	43
मुख्य अक्ष	77
रंग	71
लेंस	51
इतिहास	57
उत्तल-अवतल	51
प्रकाशीय उपकरणों में उपयोग	57, 63, 66
समतल-अवतल	51
समतल-उत्तल	51
समीकरण	78
सूक्ष्मदर्शी में उपयोग	63
वक्रता केन्द्र	52
वक्रता त्रिज्या	52
लेंस या दर्पण का आवर्धन	77
लेसर पॉइंटर्स का उपयोग करते समय सावधानी रखना	19
ल्यूमेन	69
वक्रता त्रिज्या	77
वर्टेक्स	77
वॉट	69
विचलन कोण (प्रिज़्म में)	50
समतल दर्पण	22, 23
एक कोण पर कई समतल दर्पण	27
किरण मॉडल का उपयोग	19
प्रतिबिम्ब की स्थिति	24
दायाँ-बायाँ बदल जाना	25
सूक्ष्मदर्शी	63
स्नेल के नियम	41

Cover_3

आभार

स्कूल में विज्ञान प्रयोगों के द्वारा पढ़ाया जा सकता है इस विचार से मेरा पहला सामना होशंगाबाद विज्ञान शिक्षण कार्यक्रम (HSTP) प्रशिक्षण के दौरान हुआ। यह मॉड्यूल उस सफर का नतीजा है जो कि वहाँ से शुरू हुआ था। इस किताब में दिए गए कई विचारों व प्रयोगों को इस प्रशिक्षण के दौरान करके देखा गया। मैं उन तमाम शिक्षक-शिक्षिकाओं व स्रोत व्यक्तियों का आभार प्रकट करना चाहता हूँ जिन्होंने इस कार्यक्रम में अपना महत्वपूर्ण योगदान दिया। इस मॉड्यूल में दिए गए प्रयोगों और गतिविधियों को इकट्ठा करने व उनका सत्यापन करने में मदद करने के लिए मैं प्रमोद मैथिल को भी शुक्रिया कहना चाहता हूँ। डॉ रमा चारी और डॉ भास बापट को विशेष धन्यवाद देना चाहता हूँ कि उन्होंने इस मॉड्यूल के विषयवस्तु की वैज्ञानिक सत्यता को सुनिश्चित करने के लिए मेरे कई मसौदों को पढ़ने की ज़हमत की। समालोचना करने व महत्वपूर्ण टिप्पणियाँ देने के लिए मैं एकलव्य के स्रोत समूह सदस्यों — डॉ उर्जित याज्ञनिक, डॉ अमिताभ मुखर्जी व अन्य — को धन्यवाद देता हूँ। एकलव्य टीम के अरविन्द सरदाना, हिमांशु श्रीवास्तव, प्रज्ञा श्रीवास्तव और डॉ उमा सुधीर को मॉड्यूल के विभिन्न पहलुओं पर मदद करने के लिए विशेष धन्यवाद। सम्पादकीय टिप्पणियों के लिए डॉ उमा सुधीर का शुक्रिया। आखिर में, अन्तिम स्तर के सम्पादन और ले-आउट व ग्राफिक्स में मदद करने के लिए पूरी एकलव्य प्रकाशन टीम का धन्यवाद।

आमोद कारखानीस

अलग-अलग परिस्थितियों में प्रकाश का व्यवहार कई रोचक घटनाओं को जन्म देता है। इन घटनाओं को कुछ आसान-से प्रयोगों के द्वारा समझा जा सकता है। इतना ही नहीं इन प्रयोगों के माध्यम से बुनियादी अवधारणाओं को भी गहराई से समझने में मदद मिल सकती है।

इस माड्यूल में प्रकाश से सम्बन्धित उन सारे विषयों का समावेश किया गया है जो मिडिल और हाई स्कूल की पाठ्यपुस्तकों में शामिल किए जाते हैं। बच्चों को गतिविधियों के ज़रिए कई अवधारणाओं के सवालों के जवाब खोजने में यह पुस्तिका मदद करेगी।

होशंगाबाद विज्ञान पाठ्यक्रम व पाठ्यसामग्री की परम्परा को आगे बढ़ाते हुए एकलव्य तथा उससे जुड़े शैक्षिक स्रोत समूह ने विज्ञान के कुछ प्रमुख क्षेत्रों से सम्बन्धित हाई स्कूल स्तर की सामग्री तैयार करना शुरू किया है। यह माड्यूल इसी क्रम की एक कड़ी है।

मूल्य: ₹ 185.00

एकलव्य

9 789385 236273

parag