टिप्पणियाँ

21

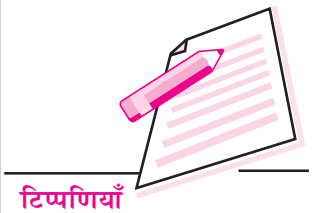
प्रकाश का विक्षेपण एवं प्रकीर्णन

पिछले पाठ में आप प्रकाश के परावर्तन, अपवर्तन तथा पूर्ण आतंरिक परावर्तन के बारे में अध्ययन कर चुके हैं। आप दर्पणों और लेंसों से प्रतिबिम्बों के बनने तथा दैनिक जीवन में उनके उपयोग के बारे में भी पढ़ चुके हैं। जब सामान्य प्रकाश के संकीर्ण किरण पुंज का किसी प्रिज्म से अपवर्तन होता है तो हमें रंगो की पट्टी दिखाई देती है। यह परिघटना प्रकाश के परावर्तन या अपवर्तन से भिन्न होनी चाहिए। श्वेत प्रकाश के अपने सात घटकों या तरंगदैर्घ्यों में विभक्त होने को **विक्षेपण** कहते हैं। इस पाठ में आप इस परिघटना के बारे में अध्ययन करेंगे। प्रकृति में इस परिघटना का एक सुन्दर उदाहरण इन्द्रधनुष के रूप में देखने को मिलता है। इस पाठ में आप प्रकाश के प्रकीर्णन की परिघटना का भी अध्ययन करेंगे, जिसके कारण आकाश का रंग नीला और उगता व डूबता हुआ सूर्य लाल दिखाई देता है। रमन प्रभाव के प्रारंभिक ज्ञान की चर्चा भी इस पाठ में की जाएगी।

उद्देश्य

इस पाठ को पढ़ने के पश्चात आप:

- प्रकाश के विक्षेपण की व्याख्या कर पाएंगे;
- प्रिज्म के कोण (A), विचलन कोण (δ), तथा प्रिज्म के पदार्थ के अपवर्तनांक के बीच संबंध स्थापित कर सकेंगे;
- अपवर्तनांक व तरंगदैर्घ्य के बीच संबंध स्थापित कर सकेंगे और प्रिज्म से विक्षेपण की व्याख्या कर पाएंगे;
- प्राथमिक व द्वितीयक इन्द्रधनुषों के बनने की व्याख्या कर सकेंगे;
- प्रकाश के प्रकीर्णन की व्याख्या कर सकेंगे और उसके अनुप्रयोगों को सूचीबद्ध कर सकेंगे; तथा
- रमण प्रभाव की व्याख्या कर सकेंगे।



21.1 प्रकाश का विक्षेपण

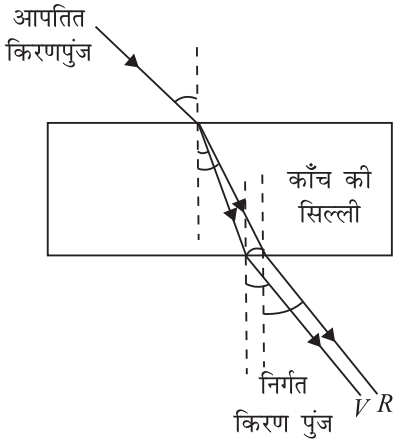
कुछ ग्रहों के चारों ओर के वलयों और इन्द्रधनुष जैसी प्राकृतिक परिघटनाओं की व्याख्या प्रकाश के सरल रेखीय परिगमन के आधार पर नहीं की जा सकती। ऐसी घटनाओं को समझने के लिए प्रकाश को तरंग प्रकृति का माना जाता है। इसके बारे में आप अगले पाठ में पढ़ेंगे। जैसा कि आप जानते हैं, प्रकाश तरंगें अनुप्रस्थ विद्युत-चुम्बकीय तरंगें हैं जो निर्वात में 3×10^8 m s^{-1} की चाल से संचरित होती है। विद्युत-चुम्बकीय स्पेक्ट्रम के विस्तृत परिसर में दृश्य प्रकाश केवल एक छोटा सा भाग है। सूर्य के प्रकाश में सात पृथक-पृथक रंगों के संगत सात तरंगदैर्घ्य होती हैं। इस प्रकार रंगों की पहचान उनकी तरंगदैर्घ्य से की जा सकती है। आप जान ही चुके हैं कि एक माध्यम से दूसरे माध्यम में जाने पर तरंगों की चाल तथा प्रकाश तरंगों की चाल व उनकी संगत तरंगदैर्घ्य में भी परिवर्तन हो जाता है। जब किसी निश्चित तरंगदैर्घ्य की तरंग मुक्त आकाश से किसी प्रकाशत: सघन माध्यम में प्रवेश करती है तो उसकी चाल कम हो जाती है।

किसी माध्यम के अपवर्तनाँक को निर्वात में प्रकाश के तथा उस माध्यम में उसके वेग के अनुपात से परिभाषित किया जाता है। इसका तात्पर्य यह है कि किसी माध्यम का अपवर्तनांक 3.8×10^{-7} m तथा 5.8×10^{-7} m तरंगदैर्घ्य तरंगों के लिए भिन्न-भिन्न होगा, क्योंकि ये दोनों तरंगे उसी माध्यम में भिन्न-भिन्न चाल से चलेंगीं।

किसी पदार्थ के अपवर्तनांक में तरंगदैर्घ्य के कारण परिवर्तन को वर्ण विक्षेपण कहते हैं। यह परिघटना अपवर्तन से भिन्न है। मुक्त आकाश में, यहां तक कि वायु में भी दृश्य प्रकाश की सभी तरंगो की चाल समान होती है। अत: वे पृथक (या अलग) नहीं होती। ऐसा माध्यम **अक्षेपणी माध्यम** कहलाता है। किन्तु प्रकाशत: सघन माध्यम में प्रकाश की घटक तरंगदैर्घ्य (या वर्ण) भिन्न-भिन्न चाल से चलती हैं, अत: पृथक हो जाती है। ऐसा माध्यम **परिक्षेपी माध्यम** कहलाता है। क्या इससे यह प्रकट होता है कि जब भी प्रकाश किसी सघनतर प्रकाशिक माध्यम से गुजरता है तो उसका वर्ण विक्षेपण हो जाता है? आइये, अब हम इसके बारे में अध्ययन करें।

21.1.1 प्रिज्म से विक्षेपण

प्रकाश के वर्ण विक्षेपण के प्रेक्षण के लिए किसी माध्यम द्वारा रंगो (वर्णों) का पृथक्करण ही पर्याप्त शर्त नहीं है। इन रंगों के बीच पर्याप्त पृथक्करण होना चाहिए और परिक्षेपी माध्यम से निर्गत होने के पश्चात् ये रंग फिर से मिलने नहीं चाहिए। विक्षेपण के प्रेक्षण के लिए कॉच की सिल्ली (चित्र 21.1) उपयुक्त नहीं है क्योंकि निर्गत किरण पुंज की किरणें बहुत पास-पास होती हैं और आपतित किरण पुंज के समांतर होती है।

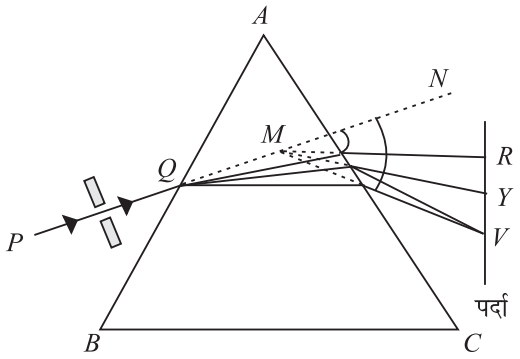


चित्र 21.1 : किसी काँच की सिल्ली से होकर प्रकाश का गमन

प्रकाश के वर्ण विक्षेपण के प्रदर्शन के लिए न्यूटन ने एक प्रिज्म का उपयोग किया। चित्र 21.2 को

देखिए। किसी संकीर्ण झिरी से श्वेत प्रकाश एक प्रिज्म के फलक AB पर पड़ता है और फलक AC से निर्गत प्रकाश विभिन्न रंगों में विभक्त दिखाई देता है। पर्दे पर रंगीन चित्तियाँ देखी जा सकती हैं। AC फलक, AB फलक से अपवर्तित होने वाली किरणों के बीच के प्रथक्करण को बढ़ा देता है। इस प्रकार, आपतित श्वेत प्रकाश PQ अपने सात घटक रंगों में विभक्त हो जाता है : बैंगनी, इंडिगो (आसमानी) नीला, हरा, पीला, नारंगी तथा लाल। रंगो के इस क्रम को VIBGYOR से व्यक्त किया जा सकता है। भिन्न-भिन्न चालों से गमन करती तरंगें भिन्न-भिन्न कोणों से अपवर्तित होती हैं और इस प्रकार पृथक हो जाती हैं। श्वेत प्रकाश का अपने घटक रंगों में विभक्त हो जाना **वर्ण विक्षेपण** कहलाता है। MR तथा MV किरणें क्रमशः लाल तथा बैंगनी रंगो के संगत हैं। ये रंग पर्दे पर **स्पेक्ट्रम** बनाते हैं।

आपतित किरण पुंज PQN का MR तथा MV के अनुदिश मुड़ जाना **विचलन** कहलाता है। निर्गत व आपतित किरणों के बीच का कोण **विचलन कोण** कहलाता है। इस प्रकार δ_v तथा δ_r क्रमशः लाल व बैंगनी प्रकाश के लिए विचलन कोणों को प्रकट करते हैं।



चित्र 21.2 : प्रिज्म से प्रकाश का वर्ण विक्षेपण

निम्नलिखित उदाहरण को ध्यान से पढ़िए जो तरंगदैर्घ्य के साथ अपवर्तनांक के परिवर्तन को स्पष्ट कर देगा।

उदाहरण 21.1: 600 nm औसत तरंगदैर्घ्य का एक प्रकाश पुंज काँच के प्रिज्म से अपवर्तन के पश्चात 384 nm, 589 nm तथा 760 nm तरंगदैर्घ्यों के रंगों के पुंजों में विभक्त हो जाती है। इन तरंगदैर्घ्यों के लिए प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक ज्ञात कीजिए।

हल : प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक

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

जहां c निर्वात में प्रकाश की चाल तथा v प्रिज्म के माध्यम में प्रकाश का वेग है। क्योंकि तरंग की चाल उसकी तरंगदैर्घ्य तथा आवृत्ति का गुणनफल है:

$$c = \nu\lambda_a \qquad \text{और} \qquad v = \nu\lambda_m$$

जहाँ λ_a और λ_m क्रमशः वायु तथा उस माध्यम में तरंगदैर्घ्य हैं और ν प्रकाश तरंगों की आवृत्ति है। इस प्रकार

$$\mu = \frac{v\lambda_a}{v\lambda_m} = \frac{\lambda_a}{\lambda_m}$$

384 nm तरंगदैर्घ्य के लिए अपवर्तनांक :

$$\mu_1 = \frac{600\times10^{-9}\,m}{384\times10^{-9}\,m} = 1.56$$

589 nm तरंगदैर्घ्य के लिए अपवर्तनांक :

$$\mu_2 = \frac{600\times10^{-9}\,m}{58.9\times10^{-9}\,m} = 1.02$$

और 760nm तरंगदैर्घ्य के लिए :

$$\mu_3 = \frac{600\times10^{-9}\,m}{760\times10^{-9}\,m} = 0.8$$

हमने देखा कि किसी पदार्थ का अपर्वनांक निर्भर करता है,

- पदार्थ की प्रकृति पर
- प्रकाश की तरंगदैर्घ्य पर

उपरोक्त उदाहरण का एक रोचक परिणाम यह है कि तरंगदैर्घ्य में परिवर्तन $(\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1)$ अपवर्तनांक में परिवर्तन $(\Delta\mu = \mu_2 - \mu_1)$ उत्पन्न करता है। अनुपात $\frac{\Delta\mu}{\Delta\lambda}$ को *प्रिज्म के पदार्थ की स्पेक्ट्रमी परिक्षेपण क्षमता कहते हैं।*

21.1.2 विचलन कोण

अब हम आयतन कोण i, विचलन कोण δ तथा प्रिज्म के कोण A के बीच संबंध स्थापित करेंगे।

मान लीजिए कि किसी प्रिज्म ABC के मुख्य परिच्छेद में फलक AB पर एकवर्णी प्रकाश पुंज PQ आपतित है (चित्र 21.3)। अपवर्तन पर यह प्रिज्म के अंदर QR के अनुदिश और प्रिज्म के फलक AC से बाहर निकलने पर RS के अनुदिश चलती है।

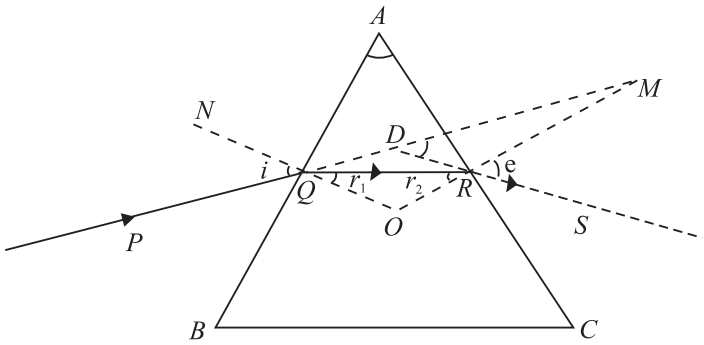
मान लिजिए $\angle A \equiv \angle BAC$ प्रिज्म का अपवर्तक कोण है। हम प्रिज्म के फलक AB तथा AC पर क्रमशः NQ तथा MR अभिलम्ब खींचते हैं और उन्हें पीछे की ओर बढ़ाते हैं ताकि वे O पर मिल जाएं। तब आप देख सकते हैं कि $\angle NQP = \angle i$, $\angle MRS = \angle e$, $\angle RQO = \angle r_1$, और $\angle QRO = \angle r_2$ क्रमशः आपतन कोण, निर्गत कोण तथा AB व AC फलकों पर अपवर्तन कोण हैं। निर्गत किरण RS तथा आपतित किरण PQ के बीच D बिन्दु पर कोण विचलन कोण (δ) कहलाता है।

क्योंकि $\angle MDR = \angle\delta$ त्रिभुज QDR का बहिष्कोण है, अतः

$$\angle\delta = \angle DQR + \angle DRQ$$
$$= (\angle i - \angle r_1) + (\angle e - \angle r_2)$$

अथवा

$$\angle\delta = (\angle i + \angle e) - (\angle r_1 + \angle r_2) \qquad (21.1)$$



चित्र 21.3 : प्रिज्म से अपवर्तन

आप जानते हैं कि किसी चतुर्भुज के आंतरिक कोणों का योग 360° होता है। चतुर्भुज $AQOR$ में $\angle AQO = \angle ARO = 90^0$, क्योंकि NQ तथा MR क्रमशः फलकों AB तथा AC पर अभिलम्ब हैं। अतः

$$\angle QAR + \angle QOR = 180^0$$

या
$$\angle A + \angle QOR = 180^0 \qquad (21.2)$$

किंतु ΔQOR में

$$\angle OQR + \angle QRO + \angle QOR = 180^0$$

या
$$\angle r_1 + \angle r_2 + \angle QOR = 180^0 \qquad (21.3)$$

समीकरणों (21.2) तथा (21.3) की तुलना करने पर, हमें प्राप्त होता है:

$$\angle r_1 + \angle r_2 = \angle A \qquad (21.4)$$

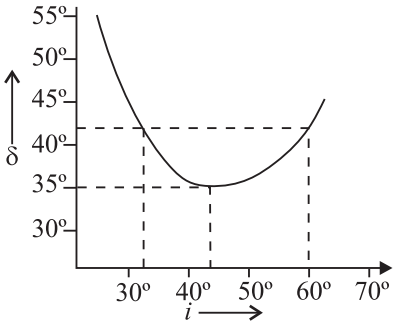
इस परिणाम को समीकरण (21.1) से मिलाने पर, हमें प्राप्त होता है:

$$\angle \delta = (\angle i + \angle e) - \angle A$$

या
$$\angle i + \angle e = \angle A + \angle \delta \quad (21.5)$$

न्यूनतम विचलन कोण

यदि आयतन कोण i में परिवर्तन किया जाए तो विचलन कोण δ में भी परिवर्तन होता है; $\angle i$ के एक निश्चित मान के लिए $\angle \delta$ का मान न्यूनतम हो जाता है, i का मान और अधिक बढ़ाने पर δ का मान बढ़ने लगता है (चित्र 21.4)। विचलन कोण के न्यूनतम मान को *न्यूनतम विचलन कोण* (δ_m) कहते हैं। यह प्रिज्म के पदार्थ तथा प्रकाश की तरंगदैर्घ्य पर निर्भर करता है। वास्तव में दो विभिन्न मान के आपतन कोणों के लिए विचलन कोण का मान एक ही हो सकता है। प्रकाश के उत्क्रमणीयता के नियम के अनुसार, हम पाते है कि



चित्र 21.4 : आपतन कोण और विचलन कोण के बीच ग्राफ

आपतन कोण का दूसरा मान निर्गत कोण (e) के संगत होता है। न्यूनतम विचलन की स्थिति में आपतन कोण का केवल एक मान होता है (अथवा विचलन की स्थिति में आपतन कोण का केवल एक मान होता है (अथवा न्यूनतम विचलन केवल एक विशेष आपतन कोण के लिए ही होता है)। अत: हमें प्राप्त होता है कि

$$\angle e = \angle i$$

इस सत्य का समीकरण (21.5) में उपयोग करने पर और δ के स्थान पर δ_m लिखने पर हमें प्राप्त होता है

$$\angle i = \frac{\angle A + \angle \delta_m}{2} \qquad (21.6)$$

प्रकाश किरणों के उत्क्रमणीयता के नियम तथा उपरोक्त परिणाम (अर्थात् $\angle e = \angle i$ से हमें प्राप्त होता है

$$\angle r_1 = \angle r_2 = \angle r$$

इस परिणाम को समीकरण (21.4) में प्रतिस्थपित करने पर, हम पाते हैं

$$\angle r = \frac{\angle A}{2} \qquad (21.7)$$

न्यूनतम विचलन की स्थिति में प्रकाश पुंज प्रिज्म के अंदर सममितत: तथा उसके आधार के समान्तर होकर गुजरता है। अत: प्रिज्म के पदार्थ के अपवर्तनांक को निम्नलिखित रूप से व्यक्त किया जा सकता है

$$\mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin \frac{A + \delta_m}{2}}{\sin \frac{A}{2}} \qquad (21.8)$$

एकवर्णी या बहुवर्णी प्रकाश के लिए प्रिज्म के पदार्थ के अपवर्तनांक μ का मान समीकरण (21.8) का उपयोग कर प्राप्त किया जा सकता है। विभिन्न रंगो (वर्णों) के लिए δ_m का मान भी भिन्न होता है। इससे आपतन कोण का एकमात्र मान प्राप्त होता है और इस मान पर निर्गत किरण सर्वाधिक दीप्त (चमकीली) होती है।

यदि किसी प्रिज्म का कोण A अल्प (कम) हो तो i तथा r का मान भी अल्प रखते हुए हम लिख सकते हैं

$$\sin i = i, \sin r = r, \text{ और } \sin e = e$$

अत:

$$\mu = \frac{\sin i}{\sin r_1} = \frac{i}{r_1} \text{ और } i = \mu r_1$$

साथ ही

$$\mu = \frac{\sin e}{\sin r_2} = \frac{e}{r_2} \quad \text{or} \quad e = \mu r_2$$

अत:

$$\angle i + \angle e = \mu (\angle r_1 + \angle r_2)$$

इस परिणाम को समीकरण (21.4) तथा (21.5), में रखने पर हमें प्राप्त होता है

$$\mu \angle A = \angle A + \angle \delta$$

अथवा
$$\angle \delta = (\mu - 1)\angle A \qquad (21.9)$$

हमें ज्ञात है कि μ का मान प्रकाश की तरंगदैर्घ्य पर निर्भर करता है। अत: विचलन भी तरंगदैर्घ्य पर निर्भर करेगा। यही कारण है कि δ_V से δ_R भिन्न होता है। क्योंकि काँच में लाल रंग के प्रकाश की चाल बैंगनी रंग के प्रकाश की चाल से अधिक होती है, लाल रंग के प्रकाश का विचलन बैगनी रंग के प्रकाश की तुलना में कम होगा,

$$\delta_V > \delta_R.$$

इसका तात्पर्य है कि $\mu_V > \mu_R$। प्रकाश की तरंगदैर्घ्य के साथ पदार्थ के अपवर्तनांक का यह परिवर्तन प्रकाश के वर्ण विक्षेपण के लिए उत्तरदायी होता है।

21.1.3 कोणीय विक्षेपण तथा परिक्षेपण क्षमता

किन्हीं दो तरंगदैर्ध्यों (रंगों) के विचलन कोणों के अंतर को इन तरंगदैर्घ्य के लिए कोणीय विचलन कहते हैं। लाल और बैगनी रंगों के बीच कोणीय विचलन $\delta_V - \delta_R$ है। स्पेक्ट्रम के दृश्य भाग में पीले रंग की तरंगदैर्घ्य पूरे स्पैक्ट्रम की लगभग औसत तरंगदैर्घ्य है। अत: इस रंग के लिए विचलन δ_Y को, सब विचलनों का औसत विचलन माना जा सकता है।

कोणीय विचलन तथा मध्यमान विचलन के अनुपात को प्रिज्म के पदार्थ की परिक्षेपण क्षमता (ω) कहा जाता है :

$$\omega = \frac{\delta_V - \delta_R}{\delta_Y}$$

समीकरण (21.9) का उपयोग करते हुए हम इस परिणाम को अपर्वतनांको के रूप में भी व्यक्त कर सकते हैं।

$$\omega = \frac{(\mu_V - 1)\angle A - (\mu_R - 1)\angle A}{(\mu_V - 1)\angle A}$$

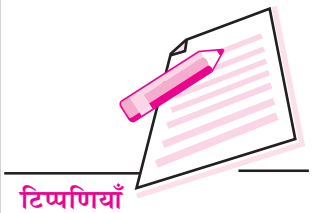
$$= \frac{\mu_V - \mu_R}{\mu_Y - 1} = \frac{\Delta\mu}{\mu - 1} \qquad (21.10)$$

उदाहरण 21.2 : किसी प्रिज्म का अपवर्तक कोण 30′ है और इसका अपर्वतनांक 1.6. है। प्रिज्म द्वारा उत्पन्न विचलन का परिकलन (गणना) कीजिए।

हल : हम जानते हैं कि, $\delta = (\mu - 1)\angle A$

दिए गए मानों का उपयोग करने पर, हमें प्राप्त होता है

$$\delta = (1.6 - 1) \times \frac{1^\circ}{2} = \frac{0.6}{2} = 0.3^\circ = 18'$$



उदाहरण 21.3 : किसी प्रिज्म का कोण A है और उसका न्यूनतम विचलन कोण $A/2$ है। एकवर्णीय प्रकाश के लिए प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक ज्ञात कीजिए। दिया है $A = 60^o$

हल :

$$\mu = \frac{\sin \frac{A+\delta_m}{2}}{\sin (A/2)}$$

दिया है $\delta_m = A/2$, अत:

$$\mu = \frac{\sin \frac{A+A/2}{2}}{\sin (A/2)} = \frac{\sin \frac{3}{4}A}{\sin \frac{A}{2}} = \frac{\sin \frac{3}{4}A}{\sin \frac{A}{2}} = \sqrt{2} = 1.4$$

पाठगत प्रश्न 21.1

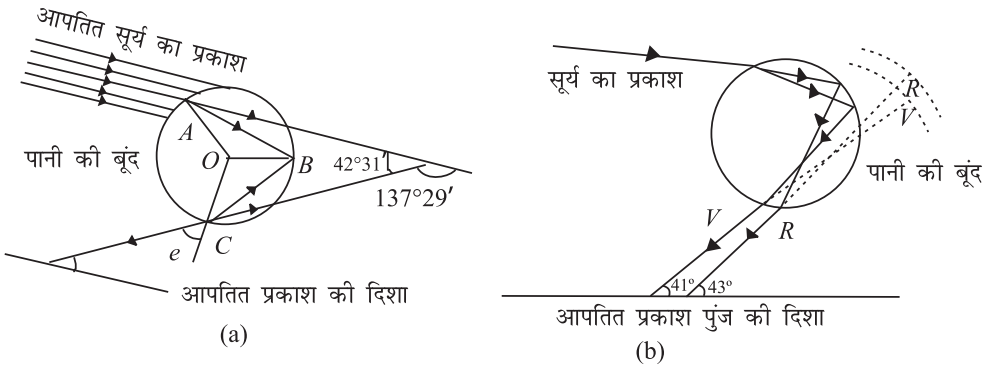
1. अधिकांश सामान्य गैसें दृश्य प्रकाश से वर्ण विक्षेपण क्यों नहीं दिखातीं?
2. श्वेत प्रकाश के घटक रंगों (वर्णों) के लिए μ के आपेक्षिक मान के विषय में अपने ज्ञान के आधार पर बताइए कि कौन का रंग अपने मूल मार्ग से सर्वाधिक विचलित होता है?
3. क्या वर्ण विक्षेपण प्रिज्म के साइज़ तथा उसके कोण पर निर्भर करता है?
4. किसी समबाहु प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक का परिकलन कीजिए यदि न्यूनतम विचलन कोण प्रिज्म के कोण के बराबर हो।

इन्द्रधनुष का निर्माण

बारिश के दिन वायु में लटकी हुई पानी की बूंदों द्वारा सूर्य के प्रकाश के वर्ण विक्षेपण से प्रकृति में एक भव्य प्रभाव उत्पन्न होता है। यदि सूर्य की ओर हमारी पीठ हो तो, हमें एक दीप्त (चमकीला) व एक धुधंला इन्द्रधनुष दिखाई दे सकता है। चमकीले इन्द्रधनुष को **प्राथमिक** तथा धुँधले को **द्वितीयक इंद्रधनुष** कहते हैं। कभी-कभी हमें केवल एक **इंद्रधनुष** दिखलाई देता है। ये इंद्रधनुष किसी वृत्त की रंगीन चाप के रूप में होते हैं और जिनका संयुक्त केन्द्र सूर्य को हमारी आंख से जोड़ने वाली सरल रेखा पर होता है। इन्द्रधनुष को प्रात: या सांयकाल में किसी फुहारे में भी देखा जा सकता है जब सूर्य की किरणों पानी की बूंदों पर किसी विशेष कोण पर पड़ रही होती हैं।

प्राथमिक इन्द्रधनुष

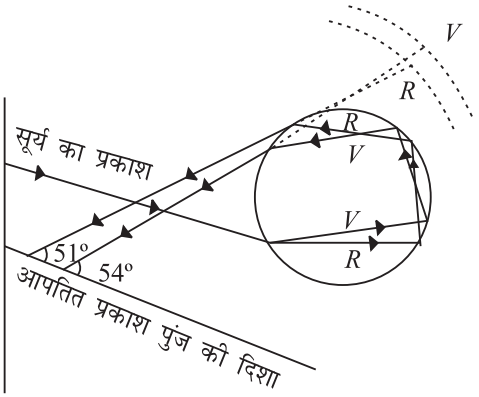
प्राथमिक इन्द्रधनुष पानी की बूंद द्वारा सूर्य के प्रकाश के दो अपवर्तनों तथा एक आतंरिक परावर्तन से बनता है (चित्र 21.5aदेखिए)। दकार्त ने स्पष्ट किया था कि इन्द्रधनुष उन किरणों के द्वारा दिखाई देता है जिनका न्यूनतम विचलन होता है। सूर्य के प्रकाश की वे समांतर किरणों जिनका विचलन 137°29′ होता है या जो आपतित किरण से हमारी आंख पर 42°31′ का कोण बनाती हैं, पानी की बूंद से बाहर निकलने के पश्चात् इन्द्रधनुष के चमकीले रंगों को उत्पन्न करती हैं। पानी के कारण वर्ण विक्षेपण के कारण भिन्न-भिन्न रंग (लाल से बैगनी तक) अपने-अपने चाप (या वृतांश) बनाते हैं, जो लाल रंग के लिए 43° और बैंगनी के लिए 41° के शंकुओं के अंदर होते हैं और इन्द्रधनुष का बाहरी व भीतरी भाग बनाते हैं (चित्र 21.5 b)।



चित्र. 21.5 : (a)प्रकाश की एक किरण जिसका पानी की बूंद से दो बार अपरावर्तन तथा एक बार आंतरिक परावर्तन होता है। मध्यमान न्यूनतम विचलन कोण 137°29′, और (b) पानी की बूंद द्वारा वर्ण विक्षेपण

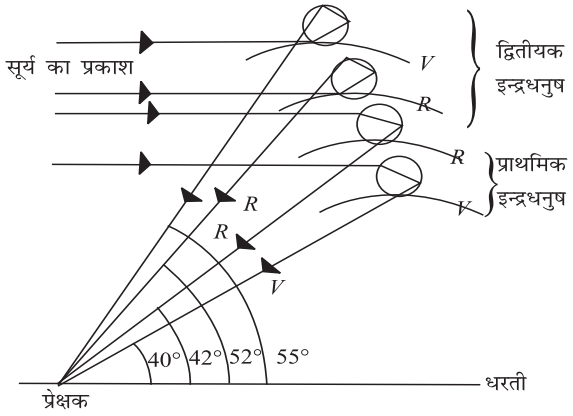
द्वितीयक इन्द्रधनुष

द्वितीयक इन्द्रधनुष पानी की बूंद से सूर्य के प्रकाश के दो बार अपवर्तन व दो बाद आंतरिक परावर्तन से बनता है। लाल व बैगनी रंगों के लिए न्यूनतम विचलन कोण क्रमशः 231° तथा 234° होते हैं। अतः ये लाल रंग के लिए 51° का तथा बैंगनी रंग के लिए 54° का शंकु बनाते हैं। चित्र 21. 6 से स्पष्ट है कि द्वितीयक इन्द्रधनुष में लाल रंग उसके भीतरी भाग तथा बैंगनी रंग उसके बाहरी भाग में होगा।



चित्र 21.6 : द्वितीयक इंद्रधनुष का बनना

चित्र 21.7 में प्राथमिक तथा द्वितीयक इन्द्रधनुषों का एक साथ बनना दिखाया गया है। दो प्रकार के इन्द्रधनुषों के बीच का स्थान अपेक्षाकृत धंधुला होता है। ध्यान दीजिए कि द्वितीयक इन्द्रधनुष प्राथमिक इन्द्रधनुष के ऊपर होता है।



चित्र 21.7 : प्राथमिक तथा द्वितीयक इन्द्रधनुषों का एक साथ बनना

21.2 वायुमंडल में प्रकाश का प्रकीर्णन

दिन में निर्मल आकाश हमें नीला दिखाई देता है। लेकिन बादल श्वेत दिखाई देते हैं। इसी प्रकार, सूर्य के प्रकाश में रत्नों व क्रिस्टलों से चमकीले रंगों का उत्पन्न होना हमारा ध्यान आकर्षित करता है। क्या आप जानना चाहेंगे यह क्यों और कैसे होता है? इन परिघटनाओं की प्रकाश के प्रकीर्णन के आधार पर व्याख्या की जा सकती है। यदि धूल व कणों से रहित बैंन्जीन द्रव को सूर्य के प्रकाश की उपस्थिति में पार्श्व से देखा जाए तो यह चटकीले नीले रंग का दिखाई देता है।

21.2.1 प्रकाश का प्रकीर्णन

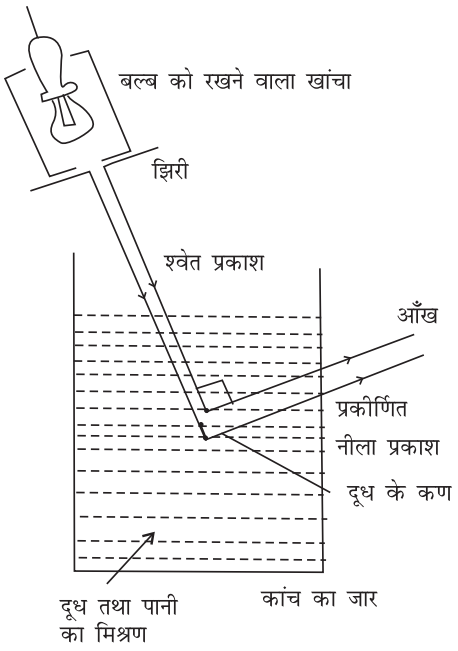
यह परिघटना विकिरणों की पदार्थ के साथ अन्योन्यक्रिया (पारस्परिक क्रिया) के कारण होती है। पृथ्वी के वायुमंडल में धूल के कण विद्यमान होते हैं। जब सूर्य का प्रकाश उन पर पड़ता है तो, वह सभी दिशाओं में विसरित हो जाता है। यही कारण है कि प्रकाश उन स्थानों व कोनों तक भी पहुंच जाता है जहां वह सामान्यत: स्रोत से सीधे नहीं पहुँच सकता।

आइए, हम एक सरल क्रियाकलाप करें।

क्रियाकलाप 21.1

एक काँच का जार या टब लेकर इसमें थोडा सा दूध मिलाकर पानी भर दें। एक दूधिया बल्ब से एक संकीर्ण प्रकाश पुंज को इस पर आपतित होने दें। प्रकाश को 90° पर देखें। आप पानी में से एक नीला किरण पुंज देखेंगे। यह प्रयोग दर्शाता है कि प्रकीर्णन के पश्चात् किसी निश्चित दिशा में प्रकाश की तरंगदैर्घ्य विलक्षण रूप से बदल जाती है (चित्र 21.14)।

प्रकीर्णन की परिघटना दो चरणों की प्रक्रिया है। प्रकीर्णक द्वारा प्रकाश का अवशोषण और फिर उसके द्वारा सभी संभव दिशाओं में प्रकाश का तत्काल पुनः उत्सर्जन। इस प्रकार यह परिघटना परावर्तन से भिन्न है। प्रकीर्णन प्रकाश परावर्तन के नियमों का पालन नहीं करता। यह ध्यान में रखना महत्वपूर्ण है कि कणों का साइज उस पर आपतित प्रकाश की तरंगदैर्घ्य से बड़ा होना चाहिए। बड़े साइज का कण सभी तरंगदैर्घ्यों का समान रूप से प्रकीर्णित करेगा। प्रकीर्णित प्रकाश की तीव्रता रेले के प्रकीर्णन के नियम द्वारा प्राप्त होती है। इस नियम के अनुसार प्रकीर्णित प्रकाश की तीव्रता उसकी तरंगदैर्घ्य के चतुर्थ घात की समानुपाती होती है :



चित्र 21.8 :दूध के कणों द्वारा प्रकाश का प्रकीर्णन

$$I \alpha \frac{1}{\lambda^4}$$

यहाँ I प्रकीर्णित प्रकाश की तीव्रता तथा λ उसकी तरंगदैर्घ्य है। अतः, जब प्रकीर्णक कण पर प्रकाश पड़ता है तो, नीले रंग के प्रकाश का प्रकीर्णन सर्वाधिक तथा लाल रंग का सबसे कम होता है।

उदाहरण 21.4 : जब सूर्य का प्रकाश किसी चिमनी के धुएँ पर पड़ता है तो प्रकीर्णित प्रकाश में 3934Å, 5890Å तथा 6867Å तरंगदैर्घ्य की तीन तरंगें पाई जाती हैं। इनमें से किस का प्रकीर्णन सबसे अधिक तीव्र होगा।

हल : प्रकीर्णित प्रकश की तीव्रता निम्नानुसार प्राप्त होती है :

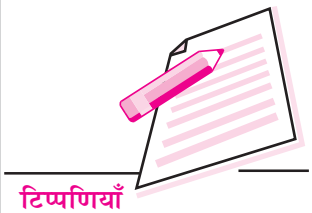
$$I \alpha \frac{1}{\lambda^4}$$

चूंकि 3934Å सबसे छोटी तरंगदैर्घ्य है, अतः इस का प्रकीर्णन सर्वाधिक तीव्र होगा।

प्रकाश के प्रकीर्णन के आधार पर, हम इनकी व्याख्या कर सकते हैं कि आकाश का रंग नीला क्यों लगता है, बादल क्यों श्वेत लगते हैं तथा उगता और अस्त होता सूर्य क्यों लाल लगता है।

सी.वी. रमन्
(1888 – 1970)

चन्द्रशेखर वेंकट रमन अभी तक भौतिकी में नोबेल पुरस्कार 1930 प्राप्त करने वाले एकमात्र भारतीय हैं। भौतिकी के प्रति उनका लगाव इतना तीव्र था कि उन्होंने भारतीय वित्त विभाग में एक अधिकारी के अपने पद से त्यागपत्र देकर कोलकाता विश्वविद्यालय के भौतिकी विभाग में भौतिकी के पालित प्रोफेसर का पद स्वीकार कर लिया उनके मुख्य



योगदान हैं: प्रकाश के प्रकीर्णन पर रामन् प्रभाव, प्रकाश का आण्विक विवर्तन, धर्नुरज्जुओं का यांत्रिक सिद्धांत, एक्स किरणों का विवर्तन, वाद्य यंत्रों का सिद्धांत तथा क्रिस्टलीय भौतिकी। भारतीय विज्ञान संस्थान, बंगलौर के निदेशक के रूप में और तत्पश्चात रमन् शोध संस्थान के संस्थापक के रूप में उन्होंने भारतीय विज्ञान की बहुत बड़ी सेवा की और स्वतंत्रता पूर्व के काल में उसे एक सुदृढ़ आधार प्रदान किया।

(A) आकाश का नीला रंग

हम जानते हैं कि वायुमंडल में उपस्थित वायु के अणुओं, पानी की बूंदों तथा धूल के कणों से प्रकाश के प्रकीर्णन की व्याख्या रेले के नियम से हो सकती है। छोटी तरंगदैर्घ्य की तरंगों का प्रकीर्णन बड़ी तरंगदैर्ध्य के तरंगों की तुलना में अधिक होता है। अत: नीले प्रकाश का लाल प्रकाश की अपेक्षा लगभग छह गुना अधिक तीव्रता से प्रकीर्णन होता है, क्योंकि नीले प्रकाश की तरंगदैर्घ्य लाल रंग की तरंगदैर्घ्य की लगभग 0.7 गुना होती है। इससे प्रकीर्णित प्रकाश में बैंगनी, नीले तथा हरे रंग प्रचुर मात्रा में हो जाते हैं, और अधिक प्रकीर्णन से बैंगनी प्रकाश प्रेक्षक की आँख तक नहीं पहुँचता क्योंकि आँख बैंगनी प्रकाश के लिए उसके आसपास के अन्य तरंगदैर्घ्यों (नीले) से कम सुग्राही है। अत: हम सूर्य से दूर आकाश को देखते हैं तो वह नीला दिखाई देता है।

उदाहरण 21.5 : किसी बहुत ऊँचाई पर उड़ते हुए अंतरिक्ष यान में स्थित अंतरिक्ष यात्री को आकाश किस रंग का दिखाई देगा?

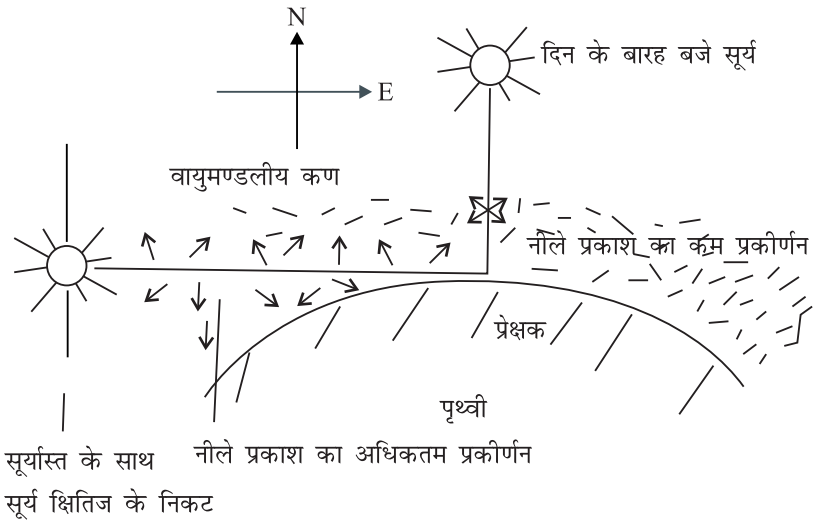
हल : अधिक ऊँचाई पर धूल-कणों तथा वायु के अणुओं की अनुपस्थिति के कारण सूर्य के प्रकाश का प्रकीर्णन नहीं होगा, अत: आकाश उसे काला दिखाई देगा।

(B) बादलों का श्वेत रंग

बादल पानी की छोटी-छोटी बूँदों के मिलने से बनते हैं, जिनका साइज़ दृश्य प्रकाश की औसत तरंगदैर्घ्य से बड़ा हो पाता है। ये बूँदें सभी तरंगदैर्घ्यों (5000Å) का लगभग समान तीव्रता से प्रकीर्णन कर देती हैं। अत: परिणामी प्रकीर्णित प्रकाश श्वेत होता है। इस प्रकार बादलों की पतली परत श्वेत प्रतीत होती है। घने बादलों के विषय में विचार कीजिए और बताइए कि इनका रंग कैसा होगा?

(C) सूर्योदय तथा सूर्यास्त के समय सूर्य का लाल रंग

अब हम सूर्योदाय तथा सूर्यास्त के समय सूर्य के लाल रंग का कारण समझ सकते है। प्रात: व सायंकाल के समय जब सूर्य क्षितिज पर होता है, तो प्रकाश को वायुमण्डल में लम्बी दूरी तय करनी पड़ती है। बैंगनी और नीली तरंगदैर्घ्य का धूल के कणों तथा वायु के अणुओं द्वारा लगभग 90^{o} पर प्रकीर्णन हो जाता है। इस प्रकार सूर्य के प्रकाश से छोटी तरंगदैर्घ्य लगभग हट जाती हैं और लाल रंग की लम्बी तरंगदैर्घ्य प्रेक्षक तक पहुँचती है (चित्र 21.9)। अत: सूर्य लाल दिखाई देता है।



चित्र 21.9 : सूर्योदय तथा सूर्यास्त पर सूर्य का लाल रंग (नीला-प्रकाश प्रकीर्णित हो पाता है)

दोपहर के समय, सूर्य शीर्ष पर होता है और प्रेक्षक से उसकी दूरी तुलनात्मक रूप से कम होती है। नीले रंग का भी प्रकीर्णन कम होता है। परिणाम स्वरूप सूर्य श्वेत, वास्तव में किरमिजी रंग का दिखाई देता है।

21.2.2 रमन प्रभाव

जब प्रकाश विकिरणें का किसी (ठोस, द्रव या गैसीय) पारदर्शी पदार्थ से प्रकीर्णन होता है तो प्रकीर्णित प्रकाश विकिरणों की आवृत्ति आपतित विकिरणों की अपेक्षा कम भी हो सकती हैं और अधिक भी। यह परिघटना रमन प्रभाव कहलाती है, क्योंकि इसका प्रेक्षण पहली बार, 1926 में, सी. वी. रमन द्वारा किया गया था। इस प्रकाशिक परिघटना के ही समान एक्स किरणों के प्रकीर्णन की घटना का प्रेक्षण इससे पहले ए एच. कॉम्पटन द्वारा किया जा चुका था। प्रकीर्णित विकिरणों का स्पेक्ट्रम रमन स्पेक्ट्रम कहलाता है। इसमें आपतित विकिरणों से अधिक आवृत्तियों की रेखाएं भी मौजूद हैं (जिन्हें प्रति-स्टॉक रेखाएं कहते है) और आपतित विकिरणों से कम आवृति की रेखाएं भी विद्यमान हैं (जिन्हें स्टॉक रेखाएं कहते हैं)।

रमन प्रभाव की एक सरल व्याख्या नीचे दिए अनुसार की जा सकती है। जब प्रकाश विकिरण किसी पदार्थ से अन्योन्य क्रिया करते हैं तो तीन संभावनाएं हो सकती हैं। पहली संभावना यह है कि पदार्थ से अन्योन्य क्रिया करने वाले विकिरणों की ऊर्जा में कोई परिवर्तन नहीं होता है। अत: इसकी आवृत्ति अपरिवर्तित रहती है। दूसरी संभावना यह है कि प्रकाश विकिरण अपनी कुछ ऊर्जा पदार्थ को दे दें। परिणामस्वरूप, प्रकाश विकिरणों की ऊर्जा कुछ कम हो जाएगी (स्टॉक रेखाओं के संगत)। तीसरी संभावना यह है कि आपतित विकिरण पदार्थ कणों से उस अवस्था में अन्योन्य क्रिया कर सकते हैं, जब वे पहले से ही उद्दीप्त हों। इस प्रक्रम में विकिरणों की ऊर्जा और आवृत्ति बढ़ जाएगी (प्रति स्टॉक रेखाओं के संगत)।

रमन प्रभाव के विभिन्न क्षेत्रों में अनेक अनुप्रयोग हैं। सी.वी. रमन को उनकी इस खोज के लिए 1930 में भौतिकी का नोबेल पुरस्कार प्रदान किया गया था।

पाठगत प्रश्न 21.2

1. घने बादल काले क्यों दिखाई देते हैं?
2. वर्षा होने के पश्चात् दिन में स्वच्छ आकाश गहरा नीला क्यों दिखाई देता है?
3. क्या आप सूर्योदय तथा सूर्यास्त के समय सूर्य के लाल रंग के प्रदर्शन के लिए किसी प्रयोग का सुझाव दे सकते हैं?
4. किसी कृत्रिम उपग्रह से लिए गए फोटोग्राफ में आकाश काला क्यों दिखाई देता है?
5. प्रतिस्टॉक रेखाएं क्या होती हैं?

आपने क्या सीखा

- केवल एक ही तरंगदैर्घ्य या रंग का प्रकाश एकवर्णीय कहलाता है, किंतु सूर्य का प्रकाश जिस में कई रंग या तरंगदैर्घ्य हैं बहुवर्णीय है।
- किसी प्रकाशत: सघन माध्यम में प्रवेश करने पर प्रकाश के अपने घटक तरंगदैर्घ्य में विभक्त होने को वर्ण विक्षेपण कहते हैं।
- प्रकाश के विक्षेपण के लिए प्रिज्म का उपयोग किया जाता है और जब विक्षेपण से प्राप्त प्रकाश को किसी पर्दे पर लिया जाता है तो स्पेक्ट्रम बनता है।
- यदि आपतन कोण और निर्गत कोण बराबर हों तो विचलन कोण न्यूनतम होता है। इस स्थिति में उस रंग के प्रकाश के लिए किरणपुंज तीव्रतम होगा।
- किसी छोटे कोण वाले प्रिज्म के लिए विचलन कोण δ तथा अपवर्तनांक μ के बीच का संबंध होता है : $\delta = (\mu - 1) A$
- प्रत्येक रंग के लिए किसी निश्चित कोण पर वर्षा की बूंदों से सूर्य के प्रकाश के वर्ण विक्षेपण से इन्द्रधनुष बनता है, जिससे न्यूनतम विचलन की शर्त की संतुष्टि होती है।
- इन्द्रधनुष दो प्रकार के होते हैं: प्राथमिक और द्वितीयक। प्राथमिक इन्द्रधनुष की बाहरी सतह लाल किन्तु भीतरी सतह बैंगनी होती है, शेष रंग इनके बीच में, (VIBGYOR) के क्रम में होते है। द्वितीयक इन्द्रधनुष में रंगों का विन्यास प्राथमिक के ठीक विपरीत होता है।
- आकाश का नीला रंग, बादलों का श्वेत रंग और सूर्योदय व सूर्यास्त के समय सूर्य का रक्ताभ रंग प्रकाश के प्रकीर्णन के कारण होता है। प्रकीर्णित प्रकाश की तीव्रता तरंगदैर्घ्य के चतुर्थ घात के प्रतिलोमानुपाती होती है $\left(I \alpha \frac{1}{\lambda^4}\right)$। इसे रेले का नियम कहते हैं। इस प्रकार नीले रंग का प्रकीर्णन लाल रंग से अधिक होता है।

- जब प्रकाश विकिरणों का किसी पारदर्शी पदार्थ से प्रकीर्णन होता है तो प्रकीर्णित विकिरणों की आवृत्ति आपतित विकिरणों से अधिक या कम हो सकती है। यह परिघटना रमन प्रभाव कहलाती है।

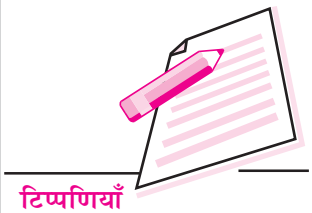
पाठांत प्रश्न

1. दर्शाइए कि किसी प्रिज्म के लिए $i + e = A + \delta$.
2. विक्षेपण उत्पन्न करने के लिए आप छोटे कोण का प्रिज्म लेंगे या बड़े कोण का ? क्यों?
3. किन प्रतिबंधों के अंतर्गत किसी प्रिज्म द्वारा विचलन उसके अपवर्तनांक का समानुपाती होता है?
4. गहरे सागरों में पानी का रंग नीला क्यों लगता है? व्याख्या कीजिए।
5. किसी 60^0 कोण वाले प्रिज्म के लिए न्यूनतम विचलन कोण 39^0 है। प्रिज्म के काँच का अपर्वतनांक ज्ञात कीजिए।
6. क्राउन कांच द्वारा उत्पन्न लाल, पीले तथा बैंगनी रंगो का विचलन क्रमशः 2.84^o, 3.28^o और 3.72^o है। इस काँच के पदार्थ की परिक्षेपण क्षमता का परिकलन कीजिए।
7. निम्नलिखित आंकड़ों से फ्लिन्ट काँच की परिक्षेपण क्षमता ज्ञात कीजिए: $\mu_C = 1.6444$, $\mu_D = 1.6520$ और $\mu_F = 1.6637$, जहाँ C, D & F फ्रॉनहॉफर-नामपद्धति के अनुसार है।
8. किसी लेन्स को उन दो प्रिज्मों से मिला मान सकते हैं जिनके आधार परस्पर जुड़े हैं। क्या किसी लेंस के उपयोग से हम वर्ण विक्षेपण का प्रेक्षण कर सकते है? अपने उत्तर के लिए उचित तर्क दीजिए।
9. मानव नेत्र में एक उत्तल लेंस होता है। क्या हम केवल अपनी आँख से वर्ण विक्षेपण का प्रेक्षण कर सकते हैं?

पाठ्यगत प्रश्नों के उत्तर

21.1

1. सभी साधारण गैसों में दृश्य प्रकाश की विभिन्न तरंगदैर्घ्यों के गमन का वेग लगभग एक समान होता है। अतः उनसे दृश्य प्रकाश का वर्ण विक्षेपण नहीं होता। उनका अपवर्तनांक भी 1 के बहुत निकट होता है।
2. बैंगनी, क्योंकि $\lambda_r > \lambda_v$ और किसी प्रकाशतः सघन माध्यम में लाल रंग के प्रकाश का वेग बैंगनी प्रकाश से अधिक होता है।
3. नहीं



टिप्पणियाँ

4. $\mu = \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = \sqrt{3} = 1.732$

21.2

1. यह सूर्य के प्रकाश का अवशोषण करता है।
2. इसमें धूल के कण और पानी के बड़े अणु नहीं रह जाते और अब प्रकीर्णन ठीक रेले के नियम के अनुसार ही होता है।
3. हम एक गोले पेंदी के फ्लास्क में सोडियम थायोसल्फेट लेकर उसमें थोड़ा सा सल्फ्यूरिक एसिड डालते हैं। किसी अधिक शक्ति के बल्ब से इसको प्रदीप्त करने पर हम सूर्योदय तथा सूर्यास्त के समय सूर्य के रंग के सदृश देख सकते हैं।
4. बहुत ऊँचाई पर सूर्य के प्रकाश का प्रकीर्णन करने के लिए कण नहीं होते। इससे आकाश काला दिखाई देता है।
5. जिन स्पेक्ट्रमी रेखाओं की आवृत्ति आपतित विकिरणों से अधिक होती है वे प्रतिस्टॉक रेखाएं कहलाती हैं।

पाठान्तर प्रश्नों के उत्तर

5. 1.5 6. 0.27
7. 0.03