312hi22

22

तरंग परिघटना एवं प्रकाश

इस मॉड्यूल के पिछले दो पाठों में आपने परावर्तन, अपवर्तन, विक्षेपण तथा प्रकाश के प्रकीर्णन के बारे में ज्ञान प्राप्त किया। इनको समझने के लिए हमने इस तथ्य का उपयोग किया था कि प्रकाश सरल रेखा में चलता है। किंतु यह धारणा कोनों पर प्रकाश के मुड़ने (विवर्तन) और प्रकाश तरंगों के अध्यारोपण से ऊर्जा के पुन: वितरण की व्याख्या करने में असफल रही। इन प्रेक्षित परिघटनाओं की व्याख्या केवल प्रकाश की तरंग प्रकृति के आधार पर की जा सकी। न्यूटन के समकालीन वैज्ञानिक क्रिस्चियन हाइगेन्स की अभिधारणा थी कि प्रकश तरंग रूप में होता है और प्रकाश का तरंग सिद्धांत व्यतिकरण तथा विवर्तन पर प्रयोगों के प्रेक्षणों से नि:संदेह रूप से स्थापित हो गया। इस पाठ में, आप प्रकाश के ध्रुवीकरण के बारे में भी पढ़ेंगे, जिसने निर्णायक रूप से सिद्ध कर दिया कि प्रकाश तरंग स्वरूप होता है और ये तरंगें अनुप्रस्थ होती हैं।

उद्देश्य

इस पाठ के अध्ययन के पश्चात आप

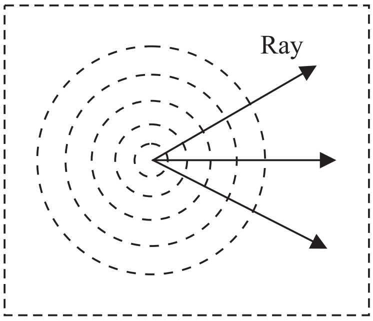
- हाइगेन्स के सिद्धांत के कथन को स्पष्ट कर सकेंगे और इसका तरंग गति की व्याख्या करने में उपयोग कर सकेंगे;
- प्रकाश के व्यतिकरण और विर्वतन की परिघटना की व्याख्या कर सकेंगे;
- किसी एकल-स्लिट से प्रकाश के विर्वतन की व्याख्या कर सकेंगे;
- यह प्रदर्शित कर सकेंगे कि प्रकाश का ध्रुवीकरण उसकी तरंग प्रकृति को स्थापित करता है; और
- ब्रूस्टर के नियम को व्युत्पन्न कर सकेंगे।

22.1 हाइगेन्स का सिद्धांत

हाइगेन्स ने माना कि प्रकाश एक तरंग है जो एक परिकल्पित माध्यम ईथर में गमन करती है। इस परिकल्पित माध्यम का विचित्र गुण है कि यह सर्वव्यापी संपूर्ण दिक्स्थान में, यहाँ तक कि निर्वात् में भी उपस्थित

रहता है। प्रकाश के स्रोत से कम्पन तरंगों के रूप में संचरित होते हैं और उनके द्वारा वाहित ऊर्जा का सभी दिशाओं में समान रूप से वितरण हो जाता है। **तरंगाग्र** की अभिधारणा हाइगेन्स के सिद्धांत का केन्द्र है। अब हम एक सरल क्रियाकलाप से यह समझें कि तरंगाग्र क्या होता है।

क्रियाकलाप 22.1

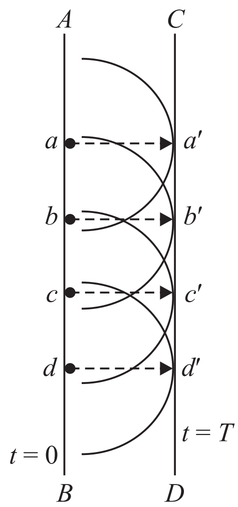


चित्र 22.1: पानी की सतह पर वृत्ताकार तरंगाग्र

एक चौड़ी पेंदी का पानी से भरा टब लीजिए और इसमें पत्थर का एक टुकड़ा डाल दीजिए। आप क्या देखते हैं? आप देखेंगे कि पानी के अणुओं के ऊपर और नीचे गति के कारण पानी की सतह पर बनती हुई उर्मिकाएं चारों ओर फैल जाती हैं। यदि इन उर्मिकाओं को ध्यान से देखे तो आप पाएंगे कि किसी भी उर्मिका की परिधि पर स्थित प्रत्येक बिन्दु समान गति की स्थिति में है। अर्थात् किसी उर्मिका की परिधि पर स्थित प्रत्येक बिन्दु समान आयाम तथा कला में दोलन करता है। दूसरे शब्दों में हम कह सकते हैं कि किसी उर्मिका की परिधि उन बिन्दुओं का बिन्दुपथ है जो किसी क्षण एक ही कला में कम्पन करते हैं और इसे **तरंगाग्र** कहते हैं। अतः पानी की सतह पर विक्षोभ के स्थान से पानी की सतह पर फैलती हुई वृत्ताकार उर्मियां एक वृत्ताकार तरंगाग्र को प्रदर्शित करती हैं। स्पष्टतः तरंगाग्र पर स्थित प्रत्येक बिन्दु की विक्षोभ बिन्दु अर्थात तरंगों के स्रोत से समान दूरी होती है। प्रकाश के किसी बिन्दु स्रोत के लिए किसी समदैशिक माध्यम में उन बिन्दुओं का बिन्दुपथ (लोकस), जहां सभी तरंगे एक ही कला में हैं, एक गोला होगा। इस प्रकार प्रकाश का बिन्दु स्रोत गोलाकार तरंगाग्र उत्सर्जित करता है। दो आयामों में जैसे कि पानी की सतह पर किसी बिन्दु स्रोत से उत्सर्जित तरंगाग्र वृत्ताकार प्रतीत होता है। इसी प्रकार का कोई सरलरेखीय स्रोत बेलनाकार तरंगाग्र उत्सर्जित करता है। तरंगाग के किसी बिन्दु पर लम्ब उस बिन्दु पर तरंगाग्र की गति की दिशा को प्रकट करता है। यह रेखा प्रकाश की **किरण** कहलाती है, और किरणों के समूह को प्रकाश पुंज कहा जाता है। जब प्रकाश स्रोत बहुत दूरी पर होता है तो तरंगाग्र के किसी छोटे भाग को **समतल तरंगाग्र** माना जा सकता है।

हाइगेन्स के सिद्धांत के अनुसार:

- किसी तरंगाग्र का प्रत्येक बिन्दु एक नये विक्षोभ का स्रोत बन जाता है जो माध्यम में नियत वेग से सब दिशाओं में प्रसारित हो जाते हैं।
- अगले किसी क्षण पर तरंगाग्र की स्थिति इन द्वितीयक तरंगिकाओं का अग्रवर्ती सर्वनिष्ट आवरण खींचकर प्राप्त की जा सकती है।
- किसी समदैशिक माध्यम में, तरंगों द्वारा वाहित ऊर्जा सभी दिशाओं में समान रूप से प्रसारित हो जाती है।
- यदि किसी तरंगाग्र की प्रारंभिक स्थिति, आकार, गति की दिशा तथा चाल ज्ञात हो तो बाद के किसी क्षण पर इसकी स्थिति ज्यामितीय रचना से निश्चित की जा सकती है। ध्यान दीजिए कि कोई तरंगाग्र पीछे की ओर गमन नहीं करता।

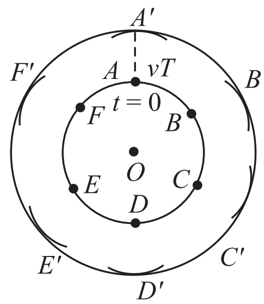


चित्र 22.2: समतल तरगाग्र की रचना

हाइगेन्स की रचना को समझने के लिए, आप किसी खोखले गोले के केन्द्र पर एक बिन्दु स्रोत की कल्पना कर सकते हैं। गोले की बाहरी सतह (पृष्ठ) प्राथमिक तरंगाग्र की भांति है। यदि इस खोखले गोले को एक अधिक त्रिज्या के खोखले गोले में बद कर दिया जाए तो, इस बाहरी गोले की बाहरी सतह द्वितीयक तरंगाग्र की भांति होगीं। (इस प्रकार की व्यवस्था का निकटतम यांत्रिक तुल्यरूप फुटबॉल है।) यदि एक दूसरे गोले को एक और अधिक त्रिज्या के गोले में बंद कर दिया जाए तो सबसे बाहरी (तीसरा) गोला द्वितीयक तरंगाग्र व मध्य का (दूसरा) गोला प्राथमिक तरंगाग्र बन जाएगा। दो विमाओं में प्राथमिक तथा द्वितीयक तरंगाग्र संकेन्द्रीय वृत्तों की भांति प्रतीत होते हैं (चित्र 22.3)।

22.1.1 तरंगों का संचरण

अब हम हाइगेन्स के सिद्धांत का उपयोग प्रकाश तरंगों के तरंगाग्रों के रूप में संचरण की व्याख्या करने के लिए करेंगे। चित्र 22.2 समय $t = 0$ (शून्य) पर एक समतल तरंगाग्र की अवस्थिति तथा आकार को प्रदर्शित करता है। ध्यान रखिए कि सरल रेखा *AB* पुस्तक के पृष्ठ के लम्बवत् समतल पर स्थित है। तरंगाग्र AB पर *a*, *b*, *c*, से दिखाए गए बिंदु द्वितीयक तरंगिकाओं के स्रोत हैं। ये सभी स्रोत एक ही समय पर द्वितीयक तरंगिकाओं का उत्सर्जन करते हैं, और ये सभी तरंगिकाएं एक ही चाल से तरंग्राग AB की गति की दिशा में गमन करती हैं। चित्र 22.2 में वृत्तकार चाप *a*, *b*, *c*, से उत्सर्जित तरंगिकाओं को प्रदर्शित करते हैं (इनके केन्द्र a, b, c, हैं)। ये तरंगिकाये $r = \upsilon t$, त्रिज्या लेकर खींचे गए हैं, जहां υ तरंगाग्र का वेग है और *t* वह समय है जिस पर हम तरंगाग्र प्राप्त करना चाहते हैं। इन सभी तरंगिकाओं की स्पर्श रेखा $t = T$ समय पर नए तरंगाग्र को निरुपित करती हैं। अब हम प्रसरणशील वृत्ताकार तरंगाग्र के लिए हाइगेन्स की संरचना का एक अन्य उदाहरण लेते हैं। चित्र 22.3 को देखिए जो $t = 0$ समय पर बिन्दु O पर केन्द्रित वृत्ताकार तरंगाग्र को इंगित करता है। अब कुछ समय पश्चात् $t = T$, पर तरंगाग्र प्राप्त करने के लिए आप क्या करते हैं? आप *A*, *B*, *C* ..., बिन्दुओं से प्रसरणशील तरंगाग्र का वेग υ और समय *T* के गुणनफल υT के बराबर त्रिज्या के चाप खींचते हैं। ये चाप द्वितीयक तरंगिकाओं को निरुपित करते हैं। इन चापों की स्पर्शरेखा समय t पर प्रसरणशील वृत्ताकार तरंगाग्र की स्थिति व आकार को निर्धारित करेगी। हम आशा करते हैं कि अब आप हाइगेन्स की संरचना की तकनीक को समझ चुके होंगे। आप आप हाइगेन्स संरचना का भौतिक महत्व जानना चाहेंगे। किसी पिछले क्षण पर किसी तरंगाग्र के आकार व अ वस्थिति को निर्धारित करने से हम तत्वत: तरंगाग्र संचरण का वर्णन कर रहे हैं। अत: हाइगेन्स-संरचना हमें तरंगगति का वर्णन करने में समर्थ बनाता है।



चित्र 22.3: हाइगेन्स के सिद्धांत के प्रयोग द्वारा वृत्ताकार तरंगाग्र की रचना

पाठगत प्रश्न 22.1

1. किसी तरंग के संचरण की दिशा में तथा तरंगाग्र के सापेक्षिक अभिविन्यास में क्या संबंध है?

2. किसी क्षण $t = 0$ s पर द्वितीयक विक्षोभ का एक स्रोत तरंगिकाओं को उत्सर्जित करता है। $t = 3$s तथा $t = 6$s पर तरंगिकाओं की त्रिज्याओं का अनुपात ज्ञात कीजिए।

22.2 प्रकाश का व्यतिकरण

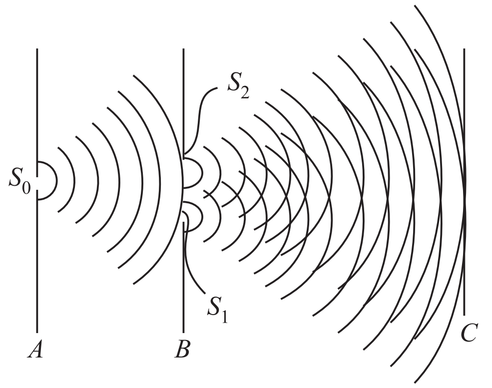
आइए पहले हम एक सरल क्रियाकलाप करें।

क्रियाकलाप 22.2

पानी में कुछ (डिटर्जेन्ट) अपमार्जक मिलाकर एक विलयन बनाइए। तार का एक लूप डुबाइए और इसे हिलाइए। जब आप लूप को बाहर निकालेंगे तो उस पर आपकों साबुन की एक पतली सी फिल्म दिखाई देगी। साबुन की इस फिल्म को एक विद्युत बल्ब के पास लाइए और ऐसी स्थिति में खड़े होइए कि आप फिल्म से परावर्तित प्रकाश को देख सकें। आपको सुन्दर रंग दिखाई देंगे। क्या आप इसका कारण जानते हैं? इसका उत्तर जानने के लिए हमें प्रकाश के **व्यतिकरण** की परिघटना को समझना होगा। सरल शब्दों में **प्रकाश का व्यतिकरण दो कला संबद्ध स्रोतों से उत्पन्न तरंगों के अध्यारोपण के कारण ऊर्जा का पुनर्वितरण है।** प्रकाश के व्यतिकरण की परिघटना का सर्वप्रथम टॉमस यंग ने सन् 1802 में अपने प्रसिद्ध द्वि झिरी प्रयोग द्वारा अवलोकन किया था। इस प्रायोगिक प्रेक्षण की प्रकाश के तरंग सिद्धान्त को प्रतिस्थापित करने में एक बड़ी भूमिका रही। प्रकाश के व्यतिकरण तथा विवर्तन की परिघटनाओं में सम्मिलित मूल सैद्धान्तिक आधार **अध्यारोपण का सिद्धांत** है।

22.2.1 यंग का द्वि-झिरी प्रयोग

यंग के प्रयोग की व्यवस्था को चित्र 22.4 में दिखाया गया है। उसके प्रयोग में सूर्य के प्रकाश को पहले एक सूची छिद्र से और फिर कुछ दूरी पर रखे दो सूची छिद्रों S_1 तथा S_2 से गुजारा गया। S_1 तथा S_2 एक दूसरे के बहुत पास और S से समान दूरी पर स्थित थे। हाइगेन्स के प्रकाश के तरंग सिद्धांत के अनुसार, सूचीछिद्र S से गोलाकार तरंगाग्र विस्तारित होंगे जो सूचीछिद्र S_1 तथा S_2 से दो तरंगाग्रों में विभाजित हो जाएंगे। यदि S किसी एकवर्णीय प्रकाश स्रोत, जैसे सोडियम लैम्प, से प्रदीप्त होता है तो ये (सूचीछिद्र S_1 और S_2) दो कला संबंध स्रोतों की भांति कार्य करेंगे और इन स्रोतों से एक ही कला में तथा समान आयाम की तरंगें निकलेंगी जो S_1 और S_2 से आगे जाकर अध्यारोपण करेंगी।



चित्र 22.4: यंग के द्वि-झिरी प्रयोग का व्यवस्थात्मक चित्र

इस अध्यारोपण के फलस्वरूप (S_1 और S_2 से निकलने वाली एक समान तरंगों के) ऊर्जा का पुर्नवितरण हो जाता है, और आगे रखे गए (जैसे पर) पर्दे पर एकान्तर रूप से दीप्त तथा अदीप्त फ्रिन्जों का पैटर्न बन जाता है। अब हम यंग के व्यतिकरण प्रयोग में प्रेक्षित फ्रिंज पैटर्न की व्याख्या के बारे में अध्ययन करेंगे।

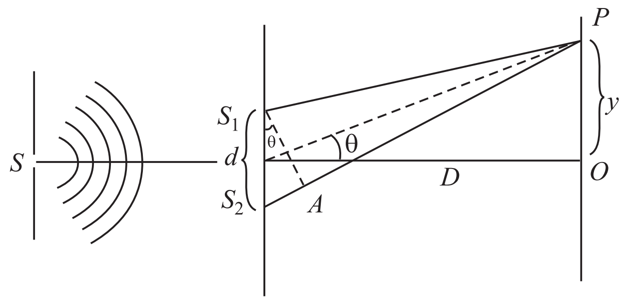
ई. टॉमस यंग
(1773-1829)

16 जून 1773 को जन्में टॉमस यंग को मानव-कर्ण, मानव-नेत्र, हमारे नेत्र कैसे फोकस करते हैं तथा अबिन्दुकता के अध्ययन के लिए सदैव याद किया जाएगा। उनके वर्णान्धता पर शोध ने वर्ण दर्शन के तीन घटकों के सिद्धांत को जन्म दिया। मानव कर्ण व नेत्रों पर कार्य करते हुए, उन्होंने ध्वनि और प्रकाश की चाल पर बहुत समय समर्पित किया। वह जानते थे कि यदि समान तीव्रता की दो ध्वनि तरंगे 180^o के कलान्तर पर कान में पड़ती हैं तो वे एक दूसरे के प्रभाव को नष्ट कर देती हैं और कोई ध्वनि नहीं सुनाई देती। उनके मन में यह विचार आया कि यदि प्रकाश तरंग रूप में है तो इसी प्रकार का व्यतिकरण प्रभाव प्रकाश की दो किरण पुंजों के साथ भी होना चाहिए। इस विचार से यंग ने एक प्रयोग की युक्ति निकाली। इस प्रयोग को सामान्यत: यंग का द्वि-झिरी प्रयोग कहा जाता है।

जीवन के बाद के वर्षों में उन्होंने अपना अधिकांश समय नील के डेल्टा में सन् 1799 में खोजे गए रोसेटा प्रस्तर पर पाई गई चित्रलिपि का अर्थ निकालने में लगाया।

(a) संपोषी व्यतिकरण: आपको स्मरण होगा कि अध्यारोपण के सिद्धांत से पर्दे C के कुछ बिन्दुओं पर विस्थापन या आयाम अधिकतम होता है क्योंकि तरंगों के एक समूह के कारण शृंग तरंगों के दूसरे समूह के शृंग के संपाती हो जाता है (अर्थात् दोनों के शृंग एक दूसरे के ऊपर पड़ते हैं)। दूसरे शब्दों में हम कहें तो इस बिन्दु पर तरंगे एक ही कला में पहुंचती है। अत: उनका कुल आयाम अलग-अलग तरंगों के आयाम से अधिक हो जाता है। यही उन बिन्दुओं पर भी होता है जहां दोनों समूहों की तरंगों के गर्त एक दूसरे के ऊपर पड़ते हैं। यदि ये तरंगें प्रकाश की हों तो ऐसे बिन्दु अधिक दीप्त (चमकीले) दिखाई देंगे क्योंकि प्रकाश तरंगों की तीव्रता उनके आयाम के वर्ग के समानुपाती होती है। ऐसे बिन्दुओं पर तरंगों के अध्यारोपण का जो परिणाम होता है उसे *संपोषी व्यतिकरण* कहते हैं।

(b) विनाशी व्यतिकरण: उन बिन्दुओं पर जहाँ एक समूह की तरंगों का शृंग दूसरे समूह की तरंगों के गर्त पर पडता है, या एक समूह की तरंगों का गर्त दूसरे समूह की तरंगों के शृंग पर पड़ता है, वहां पर कुल आयाम शून्य होता है क्योंकि तरंगें इन बिन्दुओं पर पूर्णत: विपरीत कला में पहुँचती हैं। पर्दे पर ऐसे बिन्दु अदीप्त (काले) दिखाई देते हैं। ये बिन्दु **विनाशी व्यतिकरण** को प्रदर्शित करते हैं।



चित्र 22.5: यंग के द्वि-झिरी प्रयोग की ज्यामिति

(c) फ्रिन्जों की तीव्रता: व्यतिकरण के पैटर्न के विश्लेषण के लिए हम आवर्त तरंगों के व्यतिकरण पैटर्न में दीप्त (चमकीली) तथा अदीप्त (काली) फ्रिन्जों की तीव्रता का परिकलन करते हैं। चित्र 22.5 को देखिए जो यंग के प्रयोग की व्यवस्था को निरूपित करता है। व्यतिकरण की परिघटना दो आवर्त तरंगों को अध्यारोपण से उत्पन्न होती है, जिनकी आवृत्ति तथा आयाम

समान होते हैं। किन्तु उनकी कलाओं में अंतर होता है। मान लीजिए दो तरंगों के बीच कलान्तर δ है। हम किसी बिन्दु P पर दोनों तरंगों के कारण विस्थापन y_1 और y_2, को निम्न प्रकार लिख सकते हैं:

$$y_1 = a \sin \omega t$$

और
$$y_2 = a \sin (\omega t + \delta)$$

जहां δ दोनों तरंगों के बीच कलान्तर है। ध्यान दीजिए कि हमने स्थानिक पदों को शामिल नहीं किया है क्योंकि हम दिक्स्थान में एक स्थिर बिन्दु पर विचार कर रहे हैं।

तरंगों के अध्यारोपण के सिद्धांत के अनुसार, परिणामी विस्थापन (y) होगा:

$$\begin{aligned} y &= y_1 + y_2 \\ &= a \sin \omega t + a \sin (\omega t + \delta) \\ &= a [\sin \omega t + \sin (\omega t + \delta)] \\ &= 2a \sin (\omega t + \frac{\delta}{2}) \cos -\frac{\delta}{2} \\ &= A \sin (\omega t + \frac{\delta}{2}) \end{aligned}$$

जहां परिणामी तरंग का आयाम

$$A = 2a \cos (\delta/2).$$

बिन्दु P पर परिणामी तरंग की तीव्रता

$$\begin{aligned} I &\propto A^2 \\ &\propto 4a^2 \cos^2 (\delta/2) \end{aligned} \qquad (22.1)$$

दो तरंगों के बीच कलान्तर पर तीव्रता की निर्भरता देखने के लिए हम निम्नलिखित दो स्थितियों पर विचार करते हैं।

स्थिति 1: जब कलान्तर, $\delta = 0, 2\pi, 4\pi, \ldots, 2n\pi$

$$\begin{aligned} I &= 4a^2 \cos^2 0 \\ &= 4a^2 \end{aligned}$$

स्थिति 2: जब कलान्तर, $\delta = \pi, 3\pi, 5\pi, \ldots\ldots, (2n+1)\pi$

$$\begin{aligned} I &= 4a^2 \cos^2 (\delta/2) \\ &= 0 \end{aligned}$$

इन परिणामों से हम इस निष्कर्ष पर पहुँचते हैं कि जब दो अध्यारोपित तरंगों के बीच कलान्तर 2π का पूर्ण गुणाँक होता है तो दोनो तरंगें पर्दे पर एक ही कला में पहुँचती हैं और उन बिन्दुओं पर तीव्रता तरंगों की अलग-अलग तीव्रता से अधिक होती है। दूसरी ओर जब दो तरंगों के बीच कलांतर π का विषम गुणांक होता हैं तो अध्यारोपित दो तरंगें पर्दे पर विपरीत कला में पहुँचती हैं। ऐसे बिन्दुओं पर तीव्रता शून्य होती है और ये पर्दे पर अदीप्त प्रतीत होते हैं।

(d) कलान्तर और पथान्तर

यह स्पष्ट है कि यह जानने के लिए कि पर्दे पर कोई बिन्दु दीप्त होगा या अदीप्त हमें यह ज्ञात होना चाहिए कि उस बिन्दु पर पहुँचने वाली तरंगों में कलान्तर कितना है। कलान्तर को दो तरंगों की स्रोत से पर्दे तक की यात्रा के दौरान चली गई दूरी या पथांतर के रूप में भी व्यक्त किया जा सकता है। आपको स्मरण होगा कि दोनों तरंगे S_1 और S_2 से समान कला में चली थीं। इस प्रकार बिन्दु P बिन्दु पर उन दोनों तरंगों के बीच जो भी कलान्तर है, वह उनके S_1 तथा S_2 से अवलोकन बिन्दु पहुँचने के लिए अपनाए गए मार्ग या पथान्तर के कारण है। चित्र 22.5 से, हम पथान्तर को इस प्रकार व्यक्त कर सकते हैं

$$\Delta = S_2P - S_1P$$

हम जानते हैं कि एक तरंगदैर्घ्य का पथान्तर 2π के कलान्तर के तुल्य होता है। इस प्रकार कलान्तर δ तथा पथान्तर Δ के बीच यह संबंध होगा

$$\Delta = \left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)\delta \qquad (22.2)$$

समीकरण (22.1) से हम जानते हैं कि दीप्त फ्रिन्जें संपोषी व्यतिकरण के संगत दो तरंगों के बीच $2n\pi$ कलान्तर होने पर दिखाई देती हैं। इसको समीकरण (22.2) में उपयोग करने पर, हम पाते हैं कि दीप्त फ्रिन्जें दिखाई देने के लिए पथान्तर है।

$$(\Delta)_{\text{bright}} = \left(\frac{\lambda}{2\pi}\right)2n\pi = n\lambda;\ n = 0, 1, 2, \ldots \qquad (22.3)$$

इसी प्रकार, अदीप्त फ्रिन्जों के लिए,

$$(\Delta)_{\text{dark}} = (\lambda/2\pi)\,(2n+1)\,\pi$$

$$= (2n+1)\frac{\pi}{2};\ n = 0, 1, 2, \ldots \qquad (22.4)$$

दीप्त तथा अदीप्त (काली) फ्रिन्जों के लिए व्यंजक, प्रयुक्त प्रकाश के पथान्तर तथा तरंगदैर्घ्य के पदों में प्राप्त करने के पश्चात् अब हम देखें कि पथान्तर तथा प्रयोग की ज्यामिति किस प्रकार संबद्ध हैं, अर्थात् देखें कि Δ, स्रोत व पर्दे के बीच की दूरी D, सूची छिद्रों के बीच के पृथक्कन (दूरी) तथा पर्दे पर बिन्दु P की अवस्थिति से किस प्रकार संबद्ध है। चित्र 22.5 से हम देखते हैं कि

$$\Delta = S_2P - S_1P = S_2A = d\sin\theta$$

कोण θ के मान को बहुत कम मानते हुए, हम लिख सकते हैं

$$\sin\theta \approx \tan\theta \approx \theta$$

और

$$\sin\theta = x / D$$

समीकरण (22.5) को समीकरणों (22.5) और (22.3) में प्रतिस्थापित करने पर, हम पाते हैं

$$\Delta = d\sin\theta = x\frac{d}{D} \qquad (22.5)$$

समीकरण (22.5) को समीकरणों (22.2) और (22.3) में प्रतिस्थापित करने पर, हम पाते हैं

$$\frac{d}{D}(x_n)_{\text{bright}} = n\lambda$$

या $$(x_n)_{\text{bright}} = \frac{n\lambda D}{d} \;;\; n = 0, 1, 2, \ldots \qquad (22.6)$$

और $$\frac{d}{D}(x_n)_{\text{dark}} = (n + \frac{1}{2})\lambda$$

या $$(x_n)_{\text{dark}} = (n + \frac{1}{2})\frac{\lambda D}{d} \;;\; n = 0, 1, 2, \ldots \qquad (22.7)$$

समीकरण (22.6) और (22.7) पर्दे पर दीप्त तथा अदीप्त फ्रिन्जों की स्थितियों का उल्लेख करते हैं।

(e) फ्रिंजों की चौड़ाई

अब आप पूछ सकते हैं कि दीप्त या अदीप्त फ्रिंज कितनी चौड़ी है? यह ज्ञात करने के लिए हम दो निकटतम दीप्त (या अदीप्त) फ्रिंजों की स्थिति प्राप्त करें। आइए पहले हम दीप्त फ्रिंजों के लिए यह गणना करें। समीकरण (22.6) से तीसरी व दूसरी दीप्त फ्रिंजों के लिए हम लिख सकते हैं

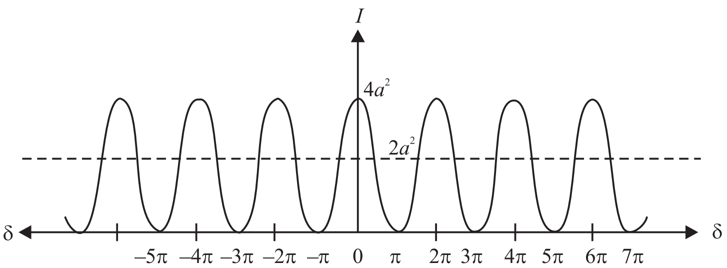
$$(x_3)_{\text{bright}} = 3\frac{\lambda D}{d}$$

और $$(x_2)_{\text{bright}} = 2\frac{\lambda D}{d}$$

अत: फ्रिंज चौड़ाई β के लिए व्यंजक होगा

$$\beta = (x_3)_{\text{bright}} - (x_2)_{\text{bright}} = \frac{\lambda D}{d} \qquad (22.8)$$

n के विभिन्न मान लेकर आप यह सुनिश्चित कर सकते हैं व्यतिकरण प्रतिरूप में सभी फ्रिंजों की चौड़ाई समान रहती है। ध्यान दीजिए कि फ्रिन्ज चौड़ाई प्रकाश की तरंगदैर्घ्य और स्रोत तथा पर्दे के बीच की दूरी के समानुपाती व स्लिटों के बीच की दूरी की व्युत्क्रमानुपाती होती है। यथार्थ में, फ्रिंज इतनी सूक्ष्म (पतली) होती हैं कि उन्हें देखने के लिए हमें आवर्धक लेंस का उपयोग करना पड़ता है।



चित्र 22.6: किसी व्यतिकरण प्रतिरूप (पैटर्न) में तीव्रता वितरण

इसके पश्चात आइए हम व्यतिकरण प्रतिरूप में दीप्त और अदीप्त फ्रिंजों की तीव्रता के बारे चर्चा करें। हम जानते हैं कि जब दो तरंगें पर्दे के किसी बिन्दु पर विपरीत कला में पहुंचती हैं तो हमें अदीप्त फ्रिन्जें प्राप्त होती हैं। आप पूछ सकते हैं कि क्या यहां ऊर्जा संरक्षण का नियम लागू नहीं होता, क्योंकि यहां दो तरंगों द्वारा वाहित ऊर्जा का क्षय होता हुआ लगता है। किन्तु ऐसा नहीं है; व्यतिकरण पैटर्न में ऊर्जा संरक्षण का उल्लंघन नहीं होता। वास्तव में अदीप्त फ्रिंजों में जितनी ऊर्जा की कमी होती है, दीप्त फ्रिंजों में उतनी ही ऊर्जा की वृद्धि हो जाती है। समीकरण (22.1)से आप देख सकते हैं कि दीप्त फ्रिंजों पर तीव्रता अकेली तरंग की तीव्रता से चार गुना होती है। अत: चित्र (22.6) में दिखाए गए व्यतिकरण फ्रिंज पैटर्न में **ऊर्जा का पुर्नवितरण हो जाता है, और ऊर्जा शून्य तथा $4a^2$ के बीच परिवर्तित होती**

रहती है। प्रत्येक किरण पुंज स्वतंत्र प्रभाव छोड़ते हुए a^2 का योगदान करेगा और व्यतिकरण की अनुपस्थिति में पर्दे पर समान प्रदीप्ति होगी जिसकी तीव्रता सर्वसम स्रोतों से आने वाले प्रकाश के कारण $2a^2$ होगी। यही वह औसत तीव्रंता है जिसे चित्र (22.6) में बिन्दुकित सरल रेखा से दिखाया गया है। आपने देख लिया है कि यंग के प्रयोग में प्रेक्षित व्यतिकरण पैटर्न की तरंग सिद्धांत के आधार पर गुणात्मक और मात्रात्मक (परिमाणात्मक) दोनों रूप में व्याख्या की जा सकती है। यह सुनिश्चित करने के लिए कि यह सब आपको भली भांति समझ में आ जाए निम्नलिखित पाठगत प्रश्नों के उत्तर दीजिए।

पाठगत प्रश्न 22.2

1. दो तरंगों के अध्यारोपण के क्षेत्र में किसी बिन्दु पर परिणामी विस्थापन किन कारकों पर निर्भर करता है।

2. यंग के प्रयोग में पर्दे पर संपोषी व्यतिकरण किस प्रकार होता है?

3. यदि हम यंग के प्रयोग में दो सूचीछिद्रों S_1 तथा S_2 के स्थान पर दो तापदीप्त प्रकाश के बल्ब ले लें तो क्या तब भी हमें पर्दे पर दीप्त और अदीप्त फ्रिंज दिखाई देंगी?

4. कलासंबंध स्रोतों से क्या तात्पर्य है? क्या हमारी आंखे दो कला संबद्ध स्रोतों की तरह काम नहीं कर सकतीं?

22.3 प्रकाश का विवर्तन

पिछले पाठों में आपकों बताया गया था कि सरल रेखीय संचरण प्रकाश का एक अभिलक्षणिक गुण है। प्रकाश के सरल रेखा में चलने का एक स्पष्ट प्रमाण छायाओं का बनना है। किंतु यदि आप छायाओं के बनने का सावधानी से अध्ययन करें तो आप पाएंगे कि उनके किनारे सुस्पष्ट नहीं होते। उदाहरण के लिए जब प्रकाश बहुत सूक्ष्म छिद्र से गुजरता है या किसी बहुत छोटे विस्तार के अवरोध पर पड़ता है तो प्रकाश के सरल रेखा में चलने के नियम का उल्लंघन हो जाता है। छिद्र या अवरोध के किनारे पर प्रकाश छाया के क्षेत्र में मुड जाता है और सरल रेखा में नहीं चलता। **किसी अवरोध के किनारों पर प्रकाश का मुड़ना विवर्तन कहलाता है।**

प्रकाश के विवर्तन की परिघटना का विस्तार के अध्ययन करने से पहले आप स्वंय प्रकाश का विवर्तन देखना चाहेंगे। एक सरल क्रिया द्वारा आप इसे देख सकते हैं। अपनी आँखों को लगभग बंद रखते हुए रात्रि में सड़क पर लगे बल्बों के प्रकाश को देखिए। आप क्या देखतें हैं? आपको बल्ब से प्रकश छितराता हुआ प्रतीत होगा। यह प्रकाश के विवर्तन (पलकों के किनारे मुड़ने) के कारण होता है।

अपने रूमाल के उपयोग से भी आप विवर्तन को देख सकते हैं। रूमाल को अपनी आंखों के पास लाकर सूर्य या जलते हुए बल्ब को देखिए। आपको वृत्ताकार फ्रिंजें दिखाई देंगी जो रूमाल के ताने बाने के धागों से बने सूक्ष्म छिद्रों के कारण विवर्तन होने से बनती हैं।

उपरोक्त परिस्थितियों में विवर्तन अवरोध/छिद्र बहुत सूक्ष्म हैं। विवर्तन के अवलोकन के लिए निम्नलिखित में एक शर्त का पूरा होना आवश्यक है:

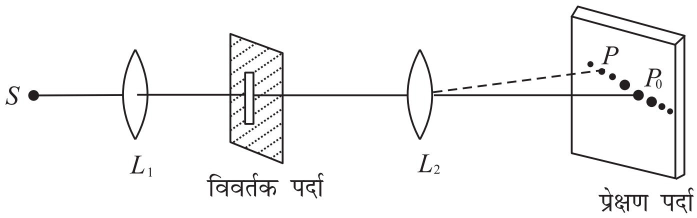
a) अवरोध का छिद्र का साइज आपतित प्रकाश की तरंगदैर्घ्य की कोटि का होना चाहिए।

b) *अवरोध या छिद्र तथा पर्दे के बीच की दूरी अवरोध या छिद्र के साइज की तुलना में यथेष्ट अधिक (कुछ हजार गुना) होनी चाहिए।*

उपरोक्त प्रेक्षणों के आधार पर, यह समझना आसान है कि हमें सामान्यत: प्रकाश का विवर्तन क्यों नहीं दिखाई देता और प्रकाश सरल रेखा में चलता हुआ क्यों प्रतीत होता है। आपको ज्ञात है कि प्रकाश की तरंग दैर्ध्य 10^{-6} m की कोटि की होती है। अत: प्रकाश के विवर्तन के अवलोकन के लिए, अवरोध या छिद्र का विस्तार इसी कोटि का होना चाहिए।

22.3.1 एकल झिरी पर प्रकाश का विवर्तन

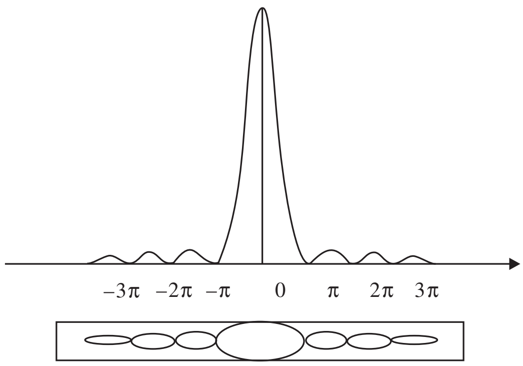
आइए अब हम देखें किसी एकल द्वारक जैसे एकल स्लिट (या झिरी) के लिए विवर्तन पैटर्न किस प्रकार दिखाई देते हैं। चित्र 22.7 को देखिए। यह विवर्तन पैटर्न उत्पन्न करने के लिए प्रयोग की व्यवस्था को प्रदर्शित करता है। S एकवर्णी प्रकाश का स्रोत है। इसे एक उत्तल लेंस के फोकस तल पर रखा गया है ताकि एक समतल तरंगाग्र पतली स्लिट पर पड़े। एक अन्य उत्तल लेंस स्लिट के विभिन्न भागों से प्रकाश को पर्दे पर फोकस करता है।



चित्र 22.7: एकल स्लिट विवर्तन का व्यवस्था-चित्र

एक एकल ऊर्ध्वाधर स्लिट द्वारा एक बिन्दु स्रोत से उत्पन्न वास्तविक विवर्तन पैटर्न) (प्रतिरूप) जैसा कि चित्र 22.8 में दिखाया गया है, के निम्नलिखित प्रमुख लक्षण हैं:

- स्लिट की लम्बाई के अभिलम्ब रेखा के अनुदिश प्रकाश की एक क्षैतिज वर्ण रेखा।
- क्षतिज पैटर्न दीप्त बिन्दुओं की एक श्रृंखला होती है।
- केन्द्र पर बिन्दु अधिकतम दीप्त होता है। इस बिन्दु के दोनों ओर सममितत: स्थित कुछ और दीप्त बिन्दु होते हैं जिनकी तीव्रता कम होती जाती है। केन्द्रीय बिन्दु मुख्य उच्चिष्ठ और अन्य बिन्दु द्वितीयक उच्चिष्ठ कहलाते हैं।
- केन्द्रीय बिन्दु की चौड़ाई अन्य बिन्दुओं की चौड़ाई से दुगुनी होती है।



चित्र 22.8 : एकल झिरी से प्राप्त विवर्तन पैटर्न

इन परिणामों के सैद्धान्तिक आधार को समझने के लिए हम ध्यान में रखते हैं कि हाइगेन्स के तरंग सिद्धांत के अनुसार जिस अवरोधक पर स्लिट बनी है उस पर समतल तरंगाग्र आपतित हैं। अवरोधक पर आपतित तरंगाग्रों में से उनका केवल वहीं भाग स्लिट से गुजरता है जो स्लिट पर आपतित होता है। तरंगाग्र का यह भाग अवरोधक की दाईं ओर को बढ़ता जाता है। किन्तु स्लिट से गुजरने के बाद तरंगाग्र समतल नहीं रहता। चित्र 22.9 को देखिए जो प्रदर्शित करता है कि द्वारक पर प्रत्येक बिन्दु जैसे QPR ... Q′ द्वितीयक तरंगिकाओं के लिए कला संबद्ध स्रोतों की श्रृखंला की भांति व्यवहार करते हैं। अवरोध के दाईं ओर तरंगाग्र के केन्द्रीय भाग में किसी बिन्दु जैसे P से, उत्सर्जित तरंगिका, इसके दोनों ओर स्थित बिन्दुओं जैसे Q और R से उत्सर्जित तरंगिकाओं की उपस्थिति के कारण प्रसारित होती है। क्योंकि तरंग्राग का आकार इन तरंगिकाओं की स्पर्श रेखाओं से निर्धारित होता है, तरंगाग्र का केन्द्रीय भाग संचरित होते हुए समतल बना रहता है। किन्तु स्लिट के किनारे के निकट के बिन्दुओं Q और Q' से उत्सर्जित तरंगिकाओं के लिए किनारों के परे उनसे अध्यारोपण के लिए तरंगिकाएं नहीं होती हैं क्योंकि अध्यारोपण तरंगाग्र के आकार को समतल बनाए रखने में सहायक होता है और किनारों के पास स्थित बिन्दुओं से उत्सर्जित तरंगिकाओं के लिए, अध्यारोपण करने वाली तरंगिकाएं अनुपस्थिति हैं, अत: तरंगिकाएं अपने समतल आकार से विचलित हो जाती हैं । दूसरे शब्दों में किनारों पर तरंगिकाएं फैलने को प्रवृत्त होती हैं। परिणामस्वरूप, किसी सीमित साइज के पतले द्वारक पर आपतित तरंगाग्र उससे गुजरने के पश्चात समतल नहीं रहता।

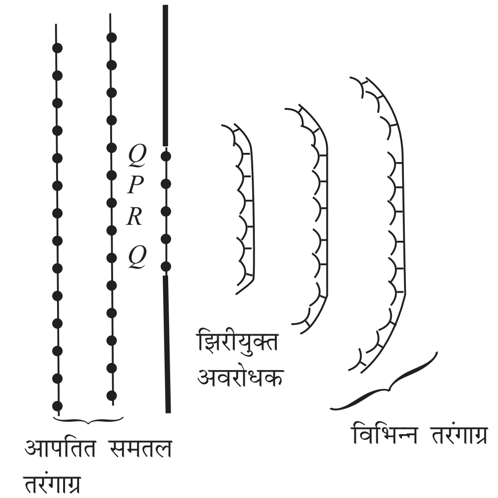
एकल स्लिट के विवर्तन पैटर्न के तीव्रता वितरण को समझने के लिए हम पर्दे पर पहुँचने वाली तरंगों के अध्यारोपण की प्रकृति को निर्धारित करते हैं। हाइगेन्स के सिद्धांत को लगाने के लिए हम स्लिट की चौड़ाई 'a' को कई बराबर भागों (माना 100 भागों) में विभाजित कर लें। इनमें से प्रत्येक भाग को अद्वितीयक तरंगिकाओं का स्रोत माना जा सकता है। इन बिन्दुओं से निकलने वाली तरंगिकाएं स्लिट के दाईं ओर के क्षेत्र में संचरित हो जाती हैं। क्योंकि स्लिट पर समतल तरंगाग्र आपतित है, इन सभी बिन्दुओं से उत्सर्जित होने वाली तरंगिकाएं स्लिट से निकलते समय, समान कला में होती हैं। आइए, अब हम पर्दे के बिन्दु O पर इन तरंगिकाओं के अध्यारोपण के प्रभाव पर विचार करें। चित्र 22.10 की सममिति संकेत करती है कि स्रोत 1 और 100 से उत्सर्जित तरंगिकाएं पर्दे पर एक ही कला में पहुंचेगीं। ऐसा इसलिए क्योंकि दोनों तरंगिकाएं बराबर मार्ग दूरी तय करती हैं। जब ये तरंगिकाएं अपने अपने स्रोतों से चली थीं, वे समान कला में थीं। अत: ये बिन्दु O पर समान कला में पहुँचती हैं और इस प्रकार अध्यारोपण करती हैं कि इनका परिणामी आयाम स्रोत 1 से 100 से एकल तरंगिकाओं के कारण आयाम से बहुत अधिक होगा। इसी प्रकार स्रोत 2 से 50 तक से उत्सर्जित प्रत्येक तरंगिकाओं के संगत स्रोत 99 से 51 तक से उत्सर्जित एक तरंगिका होगी, जिनमें संपोषी व्यतिकरण होगा, जिससे केन्द्र बिन्दु O पर तीव्रता में वृद्धि हो जाएगी।

अब हम पर्दे पर बिन्दु P पर विचार करें जो अन्तिम अक्ष से बाहर है। मान लीजिए बिन्दु P ऐसा है कि स्लिट के सिरों अर्थात स्रोत 1 और 100 के बीच पथान्तर λ है। इस प्रकार स्रोत 1 और 51 से उत्पन्न तरंगिकाओं के बीच पत्थान्तर लगभग $(\lambda/2)$ के बराबर होगा।

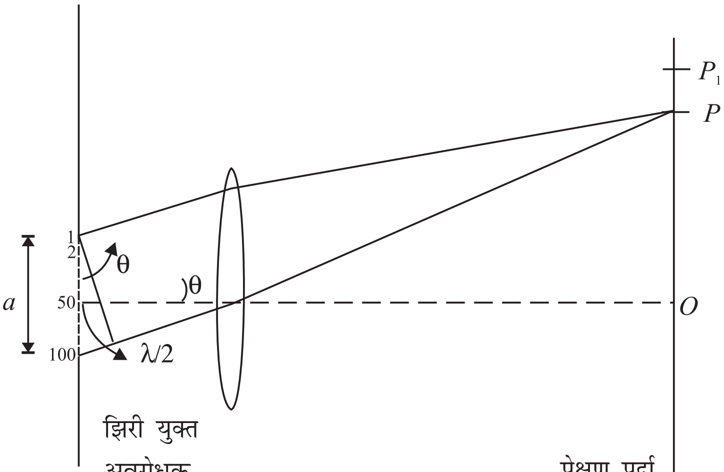
प्रकाश के व्यतिकरण से आपको याद होगा कि स्रोत 1 और 51 से आने वाली तरंगें P पर विपरीत कला में पहुँचती हैं और उनमें विनाशी व्यतिकरण होता है। इसी प्रकार स्रोत 2 से 52 से उत्सर्जित तरंगिकाएं और इसी प्रकार के अन्य युग्मों से उत्सर्जित तरंगिकाएं P बिन्दु पर विनाशी व्यतिकरण उत्पन्न करेंगी। इसलिए बिन्दु P पर हमें न्यूनतम तीव्रता प्राप्त होगी। इसी प्रकार अन्य बिंदुओं पर भी जहाँ तरंगिकाओं के बीच पथान्तर 2λ होगा वहां तीव्रता न्यूनतम होगी। हम कल्पना कर सकते हैं कि स्लिट चार बराबर भागों में विभाजित है और स्रोत 1 और 26, 2 और 27, ... के युग्म (जोड़े) बनाकर दिखा सकते हैं कि पहले और दूसरे चतुर्थांश के बीच पथान्तर $\lambda/2$ है और ये एक दूसरे को निरस्त कर देते है। इसी तर्क के अनुसार तीसरा व चौथा चतुर्थांश भी एक दूसरे को निरस्त कर देते हैं, जिससे तीव्रता न्यूनतम होगी। इ*सी प्रकार*

आगे भी होता रहेगा। अतः हम यह निष्कर्ष निकाल सकते हैं कि जब किसी दिशा में किसी स्लिट अवरोध के अन्तिम छोर के बिन्दुओं से विवर्तित तरंगों के बीच पथान्तर होती λ का पूर्णांक गुणांक होता है तो परिणामी विवर्तित तीव्रता शून्य होती है।

आइए अब हम P और P' बिन्दुओं के बीच स्थित बिन्दु P' पर तीव्रता ज्ञात करें, इसके लिए अन्तिम छोरों पर बिन्दुओं से विवर्तित तरंगों के बीच पथान्तर $3\lambda/2$ है। हम स्लिट पर तरंगाग्र को तीन समान भागों में विभाजित करते हैं। इस स्थिति में दो भागों से (उत्सर्जित) द्वितीयक तरंगिकाओं के बीच पथान्तर $\lambda/2$ है। ये बिन्दु P पर विपरीत कला में पहुँचकर विनाशी व्यतिकरण उत्पन्न करेगीं। तथापि तरंगाग्र के तीसरे



चित्र 22.9: एक पतली झिरी से प्रकाश के विवर्तन के लिए हाइगेन्स की रचना



चित्र 22.10: एकल झिरी विवर्तन का व्यवस्था चित्र

भाग से चलने वाली तरंगिकाएं संपोषी व्यतिकरण में योगदान करेंगी (यह मानते हुए कि इस भाग की तरंगकिओं के लिए पथान्तर शून्य है तथा P पर दीप्ति उत्पन्न करेंगी क्योंकि P' पर तीव्रता के लिए केवल एक तिहाई तरंगाग्र ही योगदान करती है, जबकि O पर तीव्रता के लिए सम्पूर्ण तरंगाग्र योगदान करती है। अतः P' पर तीव्रता O, पर तीव्रता की तुलना में बहुत कम होती है। बिन्दु P' तथा ऐसे ही अन्य बिन्दु द्वितीयक उच्चिष्ठ बनाते हैं।

टिप्पणियाँ

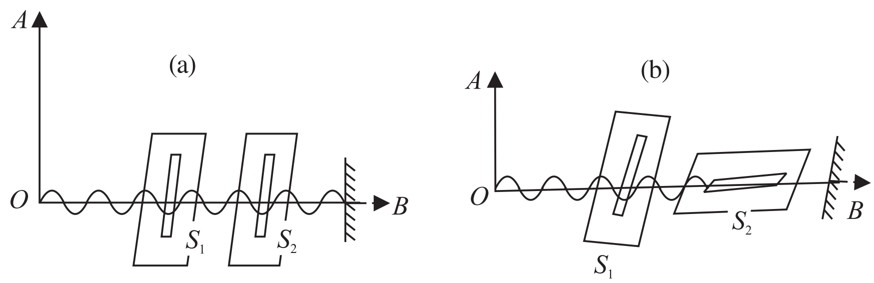
पाठगत प्रश्न 22.3

1. क्या विवर्तन की परिघटना यह दर्शाती है कि प्रकाश सरल रेखीय पथ पर नहीं चलता?
2. प्रकाश के व्यतिकरण व विवर्तन में अंतर लिखिए।
3. एकल झिरी विवर्तन में मुख्य उच्चिष्ठ तथा द्वितीयक उच्चिष्ठ की तीव्रता समान क्यों नहीं होती?

22.4 प्रकाश का ध्रुवीकरण

इस पाठ के पिछले दो भागों में आप प्रकाश के व्यतिकरण और विवर्तन की परिघटना के बारे में अध्ययन कर चुके हैं। व्यतिकरण और विवर्तन के अध्ययन में हमने यह जानने का प्रयत्न नहीं किया कि प्रकाश की तरंगों की प्रकृति कैसी होती है, ये अनुदैर्ध्य हैं या अनुप्रस्थ तथापि, प्रकाश का ध्रुवण निर्णायक रूप से स्थापित करता है कि प्रकाश की तरंगें अनुप्रस्थ होती हैं।

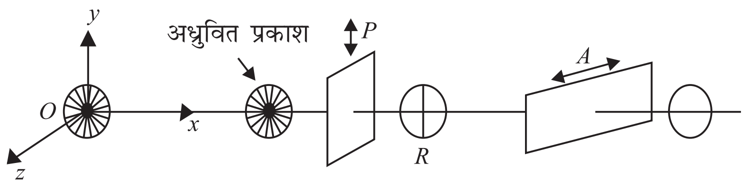
ध्रुवण की परिघटना को समझने के लिए आप एक सरल क्रियाकलाप कर सकते हैं।



चित्र 22.11 : किसी डोरी में उत्पन्न अनुप्रस्थ तरंग a) दो उर्ध्वाधर झिरियों से गुजरती हुई और b) एक ऊर्ध्वाधर और एक क्षैतिज झिरी से गुजरती हुई।

दो गत्ते के टुकड़े लीजिए जिनमें दो पतली झिरियां बनी हों और उन्हें एक दूसरे के समान्तर रखिए। एक लम्बी डोरी को दोनों स्लिटों से गुजरने दीजिए। इसके एक सिरे को स्थिर कर दीजिए और दूसरे सिरे को अपने हाथ में पकड़ कर ऊपर नीचे हिलाकर उसमें अनुप्रस्थ तरंगें उत्पन्न कीजिए। आप देखेंगे कि ऊर्ध्वाधर स्लिट S_1 से भी गुजर जाती है। अब स्लिट S_2 को क्षैतिज रख कर इस प्रयोग को दोहराइए। आप देखेंगे कि तरंग S_2 से आगे नहीं बढ़ पाती है। इसका तात्पर्य यह है कि S_1 से होकर जाने वाली तरंग क्षैतिज स्लिट S_2 से होकर नहीं जा सकती। इसका कारण यह है कि तरंग में कम्पन स्लिट S_2 के लम्बवत होते हैं, जैसा कि चित्र 22.11(b) में दिखाया गया है।

प्रकाश के लिए यह क्रियाकलाप किसी स्रोत को एक बिन्दु O पर रखकर और स्लिटों के स्थान पर दो पोलेरॉइडों को रखकर दोहराया जा सकता है। आप केवल *(a)* स्थिति में ही (जब दोनों पोलेरॉइड समान्तर हैं) प्रकाश देख पाएंगे। इससे यह प्रदर्शित होता है कि प्रकाश में कंपन केवल एक समतल पर सीमित होते हैं। पहले पोलेराइड से गुजरने के पश्चात प्रकाश रैखिकत: ध्रुवित अथवा समतल ध्रुवित कहलाता है चित्र (22.2)



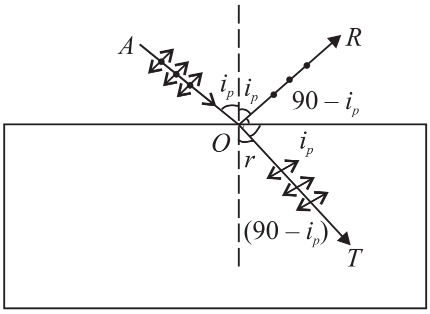
चित्र 22.12 : प्रकाश का ध्रुवण देखने के लिए उपकरण का व्यवस्था-चित्र

जब अध्रुवित प्रकश काँच या पानी जैसे किसी पारदर्शी पदार्थ पर आपतित होता है तो परावर्तित प्रकाश सामान्यत: आंशिक रूप से समतल ध्रुवित होता है। चित्र 22.13 में अध्रुवित प्रकाश की किरण AO काँच की एक प्लेट पर आपतित है। परावर्तित प्रकाश को OR और निर्गत प्रकाश को OT से दिखाया गया है। जब प्रकाश ध्रुवण कोण पर आपतित होता है तो ध्रुवण पूर्ण हो जाता है। इस कोण पर परावर्तित और निर्गत किरणें एक दूसरे के लम्बवत हो जाती हैं।

ध्रुवण कोण काँच की प्लेट या जिस पदार्थ पर प्रकाश आपतित होता है, के आवर्तनांक पर निर्भर करता है। अपवर्तन कोण (r) तथा ध्रुवण कोण i_p के बीच संबंध स्नैल के नियम से प्राप्त होता है। (देखिए चित्र 22.13)

$$\mu = \frac{\sin i_p}{\sin r} = \frac{\sin i_p}{\sin(90 - i_p)}$$

$$= \frac{\sin i_p}{\cos i_p} == \tan i_p.$$



चित्र 22.13 : परावर्तित और अपवर्तित प्रकाश का ध्रुवण

इसका आशय यह है कि ध्रुवण कोण i_p पदार्थ के अपवर्तनांक पर निर्भर करता है। वायु-जल अंतरापृष्ठ के लिए $i_p = 53°$। इसका तात्पर्य है कि जब सूर्य क्षितिज से 37° ऊपर होता है, तब किसी शांत तालाब या झील से परावर्तित प्रकाश पूर्णत: रैखिकत: ध्रुवित होगा। किसी चमकीली चिकनी सतह द्वारा परावित्तित प्रकाश के कारण उत्पन्न चकाचौंध को ध्रुवण उत्पन्न करने वाले पोलेरॉइड नमक पदार्थ के उपयोग से कम किया जा सकता है। इन्हें क्यूनाइन आइडोसल्फेट क्रिस्टलों को नाइट्रो सैलुलोज की शीट पर एक ही दिशा में पंक्तिबद्ध कर बनाया जाता है। इस प्रकार के क्रिस्टल (जिन्हें द्विवर्णी कहा जाता है) एक विशिष्ट तल में ही प्रकाश का पारगमन करते हैं और इसके लम्बवत तल पर प्रकाश का अवशोषण कर देते हैं। इस प्रकार धूप के चश्मों पर पोलेराइडों की परत धूप की चकाचौंध को, ध्रुवित प्रकाश के एक

टिप्पणियाँ

घटक का अवशोषण कर, कम कर देते हैं। पोलेरॉइड की डिस्कों का उपयोग फोटोग्राफी में उन्हें कैमरा के लैंसों के सामने लगाकर फिल्टर के रूप में किया जाता है। इससे फोटो में वह विस्तृत विवरण भी आ जाते हैं जो अन्यथा चकाचौंध के कारण छिप जाते। ध्रुवणमापियों का उपयोग चीनी उद्योग में गुणता नियंत्रण के लिए किया जाता है।

पाठगत प्रश्न 22.4

1. प्रकाश का ध्रुवण इसका निश्चित प्रमाण है कि प्रकाश की तरंगे अनुप्रस्थ होती है। इस कथन को उचित सिद्ध कीजिए।
2. क्या यह कहना सही है कि तरंग के गमन की दिशा ध्रुवण तल में हो भी सकती है और नहीं भी हो सकती?
3. मान लीजिए कि अध्रुवित प्रकाश का एक पुंज दो पोलेरॉइडों के समुच्चय पर पड़ता है। यदि इन पोलेराइडों की सहायता से आप प्रकाश को पूर्णत: रोक देना चाहें तो उनकी संरचरण अक्षों के बीच कितना कोण होना चाहिए?
4. क्या वायु में ध्वनि तरंगें ध्रुवण प्रदर्शित करती हैं?

आपने क्या सीखा

- हाइगेन्स के तरंग सिद्धांत के अनुसार, प्रकाश का तरंगाग्रों के रूप में संचरण होता है।
- यदि दो प्रकाश स्रोत, समान आवृत्ति तथा आयाम की तरंगें उत्सर्जित करते हैं और ये तरंगें एक ही मार्ग के अनुदिश गमन करती हैं और इनके बीच एक नियत कलान्तर बना रहता है तो ये दोनो स्रोत कला संबद्ध कहलाते हैं।
- जब दो कला संबद्ध प्रकाश स्रोतों से तरंगों में अध्यारोपण होता है तो भिन्न-भिन्न बिन्दुओं पर ऊर्जा का पुनर्वितरण होता है। इसे प्रकाश का व्यतिकरण कहते हैं।
- संपोषी व्यतिकरण के लिए कलन्तर $\Delta = 2n\,\pi$ और विनाशी व्यतिकरण के लिए $\Delta = (2n + 1)\pi$
- किसी अवरोध या द्वारक के किनारों पर प्रकाश के मुड़ने को प्रकाश का विवर्तन कहते हैं।
- प्रकाश के गमन की दिशा से समतल में प्रकाश के कम्पनों का सीमित हो जाना प्रकाश का ध्रुवण कहलाता है।

पाठांत प्रश्न

1. संक्षेप में प्रकाश की प्रकृति का वर्णन करने के लिए सिद्धांतो की व्याख्या कीजिए।
2. तरंगाग्र से क्या तात्पर्य है? प्रकाश के किरण पुंज की दिशा का संगत तरंग्राग से क्या संबंध होता है? हाइगेन्स के सिद्धांत का कथन कीजिए और प्रकाश तरंगों के संरचरण की व्याख्या कीजिए।

3. परावर्तन के नियमों को हाइगेन्स के तरंग सिद्धांत के आधार पर प्राप्त कीजिए।

4. तरंगों के अध्यारोपण का सिद्धांत क्या है? प्रकश के व्यतिकरण की व्याख्या कीजिए।

5. व्यतिकरण उत्पन्न करने के लिए यंग के द्वि-झिरी प्रयोग का वर्णन कीजिए।

6. यंग के द्वि-झिरी प्रयोग में प्राप्त व्यतिकरण पैटर्नों पर क्या प्रभाव पड़ेगा जब:
   (i) एक स्लिट को ढक दें;
   (ii) प्रयोग को वायु के स्थान पर पानी में किया जाए;
   (iii) हरे रंग के प्रकाश स्रोत के स्थान पर पीले रंग के प्रकाश स्रोत का उपयोग करें;
   (iv) दो स्लिटों के बीच की दूरी धीरे-धीरे बढ़ाई जाए;
   (v) एक वर्णी प्रकाश के स्थान पर श्वेत रंग के प्रकाश का उपयोग करें;
   (vi) एकवर्णी प्रकाश के स्थान पर श्वेत रंग के प्रकाश का उपयोग करें;
   (vii) दो स्लिटों को थोडा निकट खिसका दें; और
   (viii) प्रत्येक स्लिट की चौड़ाई बढ़ा दें.

7. यंग के प्रयोग में स्लिटों का पृथक्कन (दूरी) 2 mm और उनके तथा पर्दे के बीच की दूरी 100cm है। स्लिटों को विभाजित करने वाली सरल रेखा पर्दे से जहां पर मिलती है, वहां से 5cm दूरी पर स्थित एक बिन्दु पर पहुँचने वाली तरंगों के बीच पथान्तर ज्ञात कीजिए।

8. हाइगेन्स की संरचना के आधार पर, विवर्तन की परिघटना की व्याख्या कीजिए।

9. आप कैसे प्रदर्शित करेंगे कि प्रकाश की तरंगे अनुप्रस्थ होती हैं?

10. ध्रुवित व अध्रुवित प्रकाश में अंतर लिखिए।

11. ब्रूस्टर का नियम लिखिए और उसकी व्याख्या कीजिए।

12. किसी माध्यम के लिए ध्रुवण कोण 60^o है। उस माध्यम का अपवर्तनांक ज्ञात कीजिए।

13. किसी पदार्थ का अपवर्तनांक 1.42 है। इस पर आपतित एक अध्रुवित प्रकाश के किरणपुंज के लिए ध्रुवण कोण की गणना कीजिए।

पाठांत प्रश्नों के उत्तर

22.1

1. एक दूसरे के लम्बवत् $(\theta = \pi/2)$

2. ½

22.2

1. तरंगों के आयाम और उनके बीच कलान्तर पर।

2. जब दो अध्यारोपण करती तरंगों के बीच कलान्तर 2π का पूर्ण गुणांक होता है तो हमें संपोषी व्यतिकरण मिलता है।

3. नहीं। क्योंकि प्रकाश के दो स्वतंत्र स्रोत विभिन्न तरंगदैर्घ्य और आयाम की तरंगें उत्सर्जित करेंगे और इन दो तरंगों के बीच नियत कला संबंध नहीं होगा। इस प्रकार से स्रोतों को कला-असंबंध कहते है। व्यतिकरण के प्रेक्षण के लिए प्रकाश के स्रोतों का कला-संबद्ध होना आवश्यक है। जब प्रकाश की तरंगें दो कला-असंबंद्ध स्रोतों से आ रहीं हैं तो जिस बिन्दु पर किसी क्षण दोनों तरंगों के श्रृंग या गर्त अध्यारोपण कर दीप्ति उत्पन्न कर रहे हैं, वहीं पर अगले क्षण एक स्रोत का श्रृंग व दूसरे का गर्त मिलकर अंधकार उत्पन्न कर सकते हैं। अतः यदि सूची छिद्रों S_1 और S_2 दो स्थान पर दो तापदीप्त बल्बों का उपयोग किया जाए तो पर्दा समान रूप से प्रकाशित लगेगा।

4. कला संबंद्ध स्रोतों द्वारा उत्सर्जित तरंगे होनी चाहिए।

   (a) समान आवृत्ति और तरंगदैर्घ्य की,

   (b) एक ही कला में या नियत कलान्तर की,

   (c) समान आयाम तथा आवृत्ति काल की।

   साथ ही ये दोनों बहुत निकट होने चाहिएं। हमारी आँखें इन मापदंडों को पूरा नहीं कर सकतीं।

22.3

1. हाँ

2. व्यतिकरण दो विभिन्न द्वितीयक स्रोतों से निकलने वाली द्वितीयक तरंगों के अध्यारोपण के कारण होता है जबकि विवर्तन एक ही तरंगाग्र के विभिन्न भागों में आने वाली द्वितीयक तरंगों के अध्यारोपण के कारण होता है।

3. तरंगाग्रों के बीच बढ़ते हुए पथान्तर के कारण।

22.4

1. नहीं। क्योंकि अनुदैर्ध्य तरंगों में कम्पनों की दिशा नहीं होती है जो तरंग के गमन की दिशा है।

2. नहीं   3. 90° or 270°   4. नहीं

पाठांत प्रश्नों के उत्तर

7. 0.1 mm   12.   1.73   13.   54°