

प्रकाश की प्रकृति

पाठ्य पुस्तक के प्रश्न एवं उत्तर

बहुचयनात्मक प्रश्न

प्रश्न 1. व्यतिकरण की घटना को दर्शाने के लिए दो स्रोतों की आवश्यकता होती है जो विकिरण उत्सर्जित करते हैं-

- (अ) समान आवृत्ति और निश्चित कलान्तर के
- (ब) लगभग समान आवृत्ति के
- (स) समान आवृत्ति के
- (द) भिन्न तरंगदैर्घ्य के।'

उत्तर: (अ) समान आवृत्ति और निश्चित कलान्तर के

प्रश्न 2. एक यंग के द्विस्लिट प्रयोग में एकवर्णी प्रकाश स्रोत प्रयुक्त किया जाता है। पर्दे पर प्राप्त व्यतिकरण फ्रिन्जों का आकार होगा ?

- (अ) सीधी रेखा
- (ब) परवलय
- (स) अतिपरवलय
- (द) वृत्त।

उत्तर: (ब) परवलय

प्रश्न 3. व्यतिकरण के किसी प्रयोग में पर्दे पर किसी बिन्दु पर 700nm के प्रकाश को प्रयुक्त करने पर तीसरी चमकीली फ्रिन्ज प्राप्त होती है। उसी बिन्दु पर 5वीं चमकीली फ्रिन्ज प्राप्त करने के लिए आवश्यक प्रकाश स्रोत की तरंगदैर्घ्य होगी-

- (अ) 210 nm
- (ब) 315 nm
- (स) 420 nm
- (द) 490 nm.

उत्तर: (स) 420 nm

$$\lambda_1 = 700 \text{ nm} = 700 \times 10^{-9} \text{ m} = 7 \times 10^{-7} \text{ m}; n_1 = 3 \text{ (चमकीली)}$$

$$\lambda_2 = ?, n_2 = 5 \text{ चमकीली}; y_3 = y_5$$

\therefore केन्द्रीय दीप्त फ्रिन्ज से n वीं दीप्त फ्रिन्ज की दूरी

$$y_n = \frac{Dn\lambda}{d}$$

जब y_n , D व d नियत रहे तब $\lambda \propto \frac{1}{n}$

$$\lambda_2 = \frac{n_1}{n_2} \lambda$$

$$\lambda_2 = \frac{3}{5} \times 700$$

प्रश्न के अनुसार, $y_2 = 420 \text{ nm}$

अतः विकल्प (स) सही है।

प्रश्न 4. यंग द्विस्लिट प्रयोग में यदि स्लिटों की चौड़ाइयों को अनुपात 4 : 9 है तो उच्चिष्ठ एवं निम्निष्ठ की तीव्रताओं को अनुपात होगा-

(अ) 196 : 25

(ब) 81 : 16

(स) 25 : 1

(द) 9 : 4.

उत्तर: (ब) 81 : 16

यदि स्लिटों की चौड़ाइयाँ W_1 व W_2 मान लें तो प्रश्न से—

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{4}{9}$$

$$\therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{4}{9}$$

$$\therefore \frac{I_{\max}}{I_{\min}} = \frac{\left(\sqrt{\frac{I_1}{I_2}} + 1\right)^2}{\left(\sqrt{\frac{I_1}{I_2}} - 1\right)^2} = \frac{\left(\sqrt{\frac{4}{9}} + 1\right)^2}{\left(\sqrt{\frac{4}{9}} - 1\right)^2}$$

$$= \left(\frac{\frac{2}{3} + 1}{\frac{2}{3} - 1} \right)^2 = \left(\frac{\frac{5}{3}}{\frac{1}{3}} \right)^2$$

या $I_{\max} : I_{\min} = 25 : 1$

अतः विकल्प (स) सही है।

प्रश्न 5. द्विस्लिट प्रयोग में दो भिन्न-भिन्न तरंगदैर्घ्यों का प्रकाश प्रयुक्त किया जाता है। पीले नारंगी ($\lambda = 600 \text{ nm}$) रंग के लिए तीसरे क्रम की चमकीली फ्रिन्ज की स्थिति दूसरे रंग के प्रकाश के चौथे क्रम की चमकीली फ्रिन्ज की स्थिति से सम्पाती होती है। दूसरे रंग की तरंगदैर्घ्य होगी-

(अ) 500 nm

(ब) 450 nm

(स) 225 nm

(द) 350 nm.

उत्तर: (ब) 450 nm

$$\lambda_1 = 600 \text{ nm}; \lambda_2 = ?; n_1 = 3; n_2 = 4$$

$$\therefore y = \frac{Dn_1\lambda_1}{d} = \frac{Dn_2\lambda_2}{d}$$

$$\therefore n_1\lambda_1 = n_2\lambda_2$$

$$\text{या } \lambda_2 = \frac{n_1\lambda_1}{n_2} = \frac{3 \times 600 \text{ nm}}{4} = 450 \text{ nm}$$

$$\text{या } \lambda_2 = 450 \text{ nm}$$

अतः विकल्प (ब) सही है।

प्रश्न 6. 'यंग के द्विस्लिट प्रयोग में प्रकाश की अधिकतम तीव्रता I_{\max} हो तो पथान्तर $\lambda/2$ पर तीव्रता होगी

(अ) I_{\max}

(ब) $I_{\max}/2$

(स) $I_{\max}/4$

(द) शून्य।

उत्तर: (द) शून्य।

पथान्तर $y/2$ पर विनाशी व्यतिकरण होगा अतः तीव्रता I_{\min} होगा।

माना $I_1 = I_2 = I_0$

तो $I_{\max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} = I_0 + I_0 + 2I_0 = 4I_0$

तथा $I_{\min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2} = I_0 + I_0 - 2I_0 = 0$ शून्य

अतः विकल्प (द) सही है।

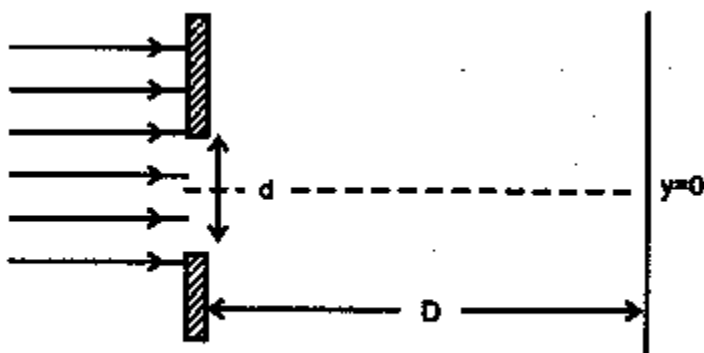
प्रश्न 7. निम्नलिखित में से कौन-सा कथन सबसे सही समझाता है कि अधिकांश परिस्थितियों में ध्वनि का विवर्तन प्रकाश के विवर्तन से ज्यादा संभाव्य होता है ?

- (अ) ध्वनि संचरण के लिए माध्यम की आवश्यकता होती है।
- (ब) ध्वनि तरंगें अनुदैर्घ्य होती हैं जबकि प्रकाश तरंगें अनुप्रस्थ होती हैं।
- (स) प्रकाश की तरंगदैर्घ्य ध्वनि की तुलना में बहुत कम है।
- (द) ध्वनि का वेग प्रकाश के वेग की तुलना में परिमाण की कोटि 6 से भी कम है।

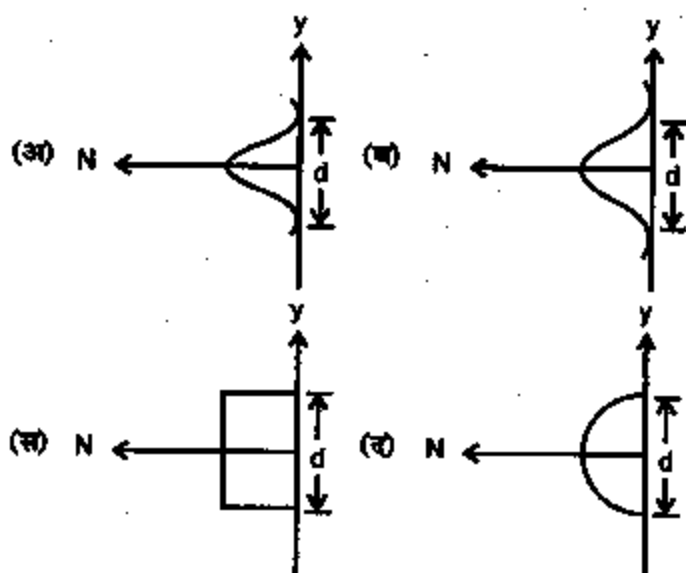
उत्तर: (स) प्रकाश की तरंगदैर्घ्य ध्वनि की तुलना में बहुत कम है।

विवर्तन के लिए आवश्यक है कि रुकावट का आकार तरंगदैर्घ्य के क्रम का होना चाहिए। चूंकि प्रकाश तरंगों की तरंगदैर्घ्य ध्वनि तरंगों की तुलना में बहुत छोटी होती है। इसलिए ध्वनि का विवर्तन प्रकाश विवर्तन की तुलना में अधिक सम्भाव्य होता है। इस प्रकार विकल्प (स) सही है।

प्रश्न 8. चित्र (A) के अनुसार एक प्रयोग में इलेक्ट्रॉनों को उनकी डी ब्रॉग्ली तरंगदैर्घ्य के तुलनात्मक चौड़ाई की एक पतली स्लिट से गुजारा जाता है। स्लिट से D दूरी पर पर्दा स्थित है जिस पर इन्हें संसूचित किया जाता है। पर्दे पर प्राप्त तीव्रता प्रतिरूप होगा।



चित्र—(A)



उत्तर: (ब) विवर्तन प्रतिरूप स्लिट की चौड़ाई से अधिक चौड़ा होना चाहिए। अतः विकल्प (ब) सही है।

प्रश्न 9. एक स्लिट द्वारा 5000\AA तरंगदैर्घ्य का प्रकाश विवर्तित होता है। विवर्तन प्रतिरूप में पाँचवाँ निम्नलिखित केन्द्रीय उच्चिष्ठ से 5mm दूरी पर बनता है। यदि पर्दे व स्लिट में बीच की दूरी 1m है तो स्लिट की चौड़ाई होगी-

- (अ) 0.1 mm
- (ब) 0.3 mm
- (स) 0.5 mm
- (द) 0.8 mm .

उत्तर: (स) 0.5 mm

$$\lambda = 5000\text{\AA} = 5 \times 10^{-7}\text{m}; y_5 = 5\text{mm} = 5 \times 10^{-3}\text{m}; D = 1\text{m}; e = ?$$

निम्नलिखित के लिए,

$$\sin \theta = \pm \frac{n\lambda}{e} \quad \text{तथा} \quad \sin \theta = \frac{yn}{D}$$

$$\therefore \frac{n\lambda}{e} = \frac{yn}{D} \Rightarrow e = \frac{Dn\lambda}{yn}$$

प्रश्न से $n = 5$

$$\therefore e = \frac{1 \times 5 \times 5 \times 10^{-7}}{5 \times 10^{-3}} = 5 \times 10^{-4}\text{m}$$

$$= 0.5 \times 10^{-3} \text{m}$$

या $e = 0.5 \text{mm}$

अतः विकल्प (स) सही है।

प्रश्न 10. सूक्ष्म तरंगों जिनकी तरंगदैर्घ्य 0.052 m है, का एक पुंज 0.35m चौड़ाई के एक आयताकार छिद्र की ओर आ रहा है। परिणामी विवर्तन प्रतिरूप, छिद्र से 8.0m दूर स्थित दीवार पर प्रेक्षित किया जा रहा है। प्रथम एवं द्वितीय कोटि की दीप्ति फ्रिन्जों के मध्य दूरी क्या है ?

(अ) 1.19 m

(ब) 1.8 m

(स) 2.1 m

(द) 2.5 m .

उत्तर: (अ) 1.19 m

$$\lambda = 0.052 \text{m}; e = 0.35 \text{m}; D = 8.0 \text{m}$$

केन्द्रीय उच्चिष्ठ प्रथम उच्चिष्ठ की दूरी यदि y_1 हो तो

$$\sin \theta = \frac{3\lambda}{2e} = \frac{y_1}{D} \Rightarrow y_1 = \frac{3\lambda D}{2e}$$

इसी प्रकार द्वितीय उच्चिष्ठ के लिए

$$y_2 = \frac{5\lambda D}{2e}$$

अतः प्रथम व द्वितीय उच्चिष्ठों के मध्य दूरी

$$\Delta y = y_2 - y_1 = \frac{5\lambda D}{2e} - \frac{3\lambda D}{2e} = \frac{2\lambda D}{2e}$$

$$\begin{aligned} \text{या } \Delta y &= \frac{\lambda D}{e} = \frac{0.052 \times 8}{0.35} \\ &= 1.1885 \text{m} \\ &\approx 1.19 \text{m} \end{aligned}$$

अतः विकल्प (अ) सही है।

प्रश्न 11. खगोलीय दूरदर्शी का द्वारक बड़ा होता है-

(अ) गोलीय विपथन का दोष दूर करने के लिए

(ब) उच्च विभेदन क्षमता के लिए।

(स) प्रेक्षण का दायरा बढ़ाने के लिए।

(द) कम विक्षेपण के लिए।

उत्तर: (ब) उच्च विभेदन क्षमता के लिए।

प्रश्न 12. एक काले कागज पर सफेद बिन्दु एक-दूसरे से 1mm दूरी पर रखे हैं। उन्हें लगभग 3mm व्यास वाली आँख की पुतली से देखा जाता है। उनके मध्य अधिकतम दूरी क्या होगी कि उन्हें आँख द्वारा ठीक विभेदित ही किया जा सके ? (प्रकाश की तरंगदैर्घ्य = 500 nm)

- (अ) 6m
- (ब) 3m
- (स) 5m
- (द) 1m.

उत्तर: (स) 5m

$$\theta_{\min} = \frac{l}{d_{\max}} = \frac{1.22\lambda}{D}$$

$$\therefore d_{\max} = \frac{lD}{1.22\lambda}$$

दिया है : $l = 1\text{mm} = 1 \times 10^{-3}\text{m}$; $D = 3\text{mm} = 3 \times 10^{-3}\text{m}$; $\lambda = 500\text{nm} = 5 \times 10^{-7}\text{m}$; $d_{\max} = ?$

$$\therefore d_{\max} = \frac{1 \times 10^{-3} \times 3 \times 10^{-3}}{1.22 \times 5 \times 10^{-7}} = \frac{30}{1.22 \times 5}$$
$$= \frac{6}{1.22}$$
$$= 4.918\text{m}$$
$$\approx 5\text{m.}$$

अतः विकल्प (स) सही है।

प्रश्न 13. विद्युत चुम्बकीय तरंगों की प्रकृति अनुप्रस्थ होती है। इसका प्रमाण है-

- (अ) ध्रुवण
- (ब) व्यतिकरण
- (स) परावर्तन ।
- (द) विवर्तन।

उत्तर: (अ) ध्रुवण

प्रश्न 14. हवा से काँच परावर्तन के लिए आपतन कोण का वह मान जिसके लिए परावर्तित प्रकाश पूर्णतः ध्रुवित होता है। (अपवर्तनांक = n)।

- (अ) $\tan^{-1}(\frac{1}{n})$
 (ब) $\sin^{-1}(\frac{1}{n})$
 (स) $\sin^{-1}(n)$
 (द) $\tan^{-1}(n)$.

उत्तर: (द) $\tan^{-1}(n)$.

∴ ब्रूस्टर के नियम से—

$$n = \tan i_p \Rightarrow i_p = \tan^{-1}(n)$$

अतः विकल्प (द) सही है।

प्रश्न 15. अधुवित प्रकाश का एक पुंज चार ध्रुवणकारी शीटों, जो इस प्रकार व्यवस्थित हैं कि प्रत्येक की अभिलाक्षणिक दिशा अपने पूर्ववर्ती से 30° कोण पर है, पर आपतित है तो शीट समूह से निर्गत प्रकाश की प्रतिशत तीव्रता होगी-

- (अ) 10%
 (ब) 20%
 (स) 50%
 (द) 21%.

उत्तर: (द) 21%.

प्रथम शीट से निर्गत तीव्रता,

$$I_1 = \frac{I_0}{2}$$

दूसरी शीट से निर्गत तीव्रता,

$$I_2 = I_1 \cos^2(30^\circ) = \frac{I_0}{2} \times \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2$$

या
$$I_2 = \frac{I_0}{2} \times \frac{3}{4}$$

या
$$I_2 = \frac{3}{8} I_0$$

इसी प्रकार
$$I_3 = I_2 \times \cos^2(30^\circ) = \frac{3}{8} I_0 \times \frac{3}{4} = \frac{9}{32} I_0$$

तथा
$$I_4 = I_3 \times \cos^2(30^\circ) = \frac{9I_0}{32} \times \frac{3}{4} = \frac{27}{128} I_0$$

या
$$\frac{I_4}{I_0} = \frac{27}{128}$$

या
$$\frac{I_4}{I_0} \times 100 = \frac{27}{128} \times 100 = 21.09\% \approx 21\%$$

या शीट संयोजन से निर्गत प्रकाश का अंश = 21%

अतः विकल्प (द) सही है।

प्रश्न 16. दो निकोल प्रिज्म इस प्रकार विन्यस्त हैं कि उनके मुख्य तलों के मध्य कोण 60° है तो निकाय से आपतित अनुचित प्रकाश का कितनी प्रतिशत गुजरेगा-

- (अ) 50%
- (ब) 100%
- (स) 12.5%
- (द) 37.5%.

उत्तर: (स) 12.5%

प्रथम निकोल प्रिज्म से निर्गत प्रकाश की तीव्रता

$$I_1 = \frac{I_0}{2}$$

अतः दूसरे निकोल प्रिज्म से निर्गत प्रकाश की तीव्रता

$$I_2 = I_1 \cos^2(60^\circ) = \frac{I_0}{2} \times \frac{1}{4} = \frac{I_0}{8}$$

या
$$\frac{I_2}{I_0} = \frac{1}{8}$$

या
$$\frac{I_2}{I_0} \times 100 = \frac{1}{8} \times 100 = 12.5\%$$

अतः विकल्प (स) सही है।

अति लघूत्तरात्मक प्रश्न

प्रश्न 1: तरंगाग्र के लम्बवत् रेखा किसकी दिशा को व्यक्त करती

उत्तर: तरंग संचरण की दिशा अर्थात् किरण की दिशा।

प्रश्न 2. यंग की फ्रिंजों की चौड़ाई पर किन-किन भौतिक राशियों , का प्रभाव पड़ता है ?

उत्तर: फ्रिंज की चौड़ाई

$$\beta = \frac{D\lambda}{d}$$

अतः फ्रिंज की चौड़ाई निम्न बातों पर निर्भर करती है

1. तरंगदैर्घ्य λ पर
2. स्लिटों से पर्दे की दूरी D पर,
3. स्लिटों के मध्य दूरी $2d$ पर।

प्रश्न 3. प्रकाश के विवर्तन के रूइगेन्स सिद्धान्त का कथन कीजिए।

उत्तर: फ्रेनल (Eresnel) ने हाइगेन्स के तरंग सिद्धान्त के आधार पर विवर्तन की व्याख्या करते हुए कहा, “विवर्तन उन द्वितीयक तरंगिकाओं के अधारोपण से होने वाले व्यतिकरण का परिणाम है जो एक ही तरंगाग्र के उस भाग से चलती है जो रुकावट द्वारा रोका नहीं जाता है।”

प्रश्न 4. किस प्रकार का तरंगाग्र निर्गत होगा

1. बिन्दु स्रोत से
2. सुदूर प्रकाश स्रोत से।

उत्तर:

1. गोलाकार तरंगाग्र
2. समतल तरंगाग्र।

प्रश्न 5. दो तरंगों के द्वारा व्यतिकरण प्राप्त होने की सबसे महत्वपूर्ण शर्त क्या है ?

उत्तर: दोनों स्रोत कला सम्बद्ध होने चाहिए।

प्रश्न 6. किसी एकल स्लिट विवर्तन प्रयोग में फ्रिंजों के मध्य कोणीय पार्थक्य किस प्रकार बदलता है ? जब स्लिट एवं पर्दे के मध्य दूरी दो गुनी कर दी जाती है।

उत्तर:

$$\therefore \text{कोणीय पार्थक्य } \theta \propto \frac{1}{D}$$

$\therefore D$ को दो गुना करने पर θ का मान आधा रह जायेगा।

प्रश्न 7. तरंगों के विवर्तन के लिए अवरोध अथवा छिद्र का आकार किस कोटि का होना चाहिए ?

उत्तर: तरंगदैर्घ्य की कोटि का।

प्रश्न 8. उन दो भौतिक घटनाओं का उल्लेख कीजिए जिनसे प्रकाश के तरंग स्वरूप की पुष्टि होती है ?

उत्तर: व्यतिकरण, ध्रुवण ।

प्रश्न 9. प्रकाश की तरंग प्रकृति होते हुए भी वह सीधी रेखा में गमन करता हुआ क्यों प्रतीत होता है ?

उत्तर: क्योंकि प्रकाश की तरंगदैर्घ्य बहुत कम होती है।

प्रश्न 10. एक छिद्र से होकर प्रकाश विवर्तन के प्रयोग में किन प्रकाश तरंगों के बीच अध्यारोपण होता है ?

उत्तर: एकल स्लिट विवर्तन में तरंगाग्र के उस भाग से जो छिद्र द्वारा पारंगत होता है, चलने वाली द्वितीयक तरंगिकाएँ अध्यारोपण करके विवर्तन प्रतिरूप प्रदान करती हैं।

प्रश्न 11. मैलस के नियम का गणितीय स्वरूप क्या होता है ?

उत्तर: ध्रुवक या विश्लेषक से निर्गत प्रकाश की तीव्रता

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

जब I_0 = ध्रुवक या विश्लेषक पर आपतित प्रकाश की तीव्रता

एवं θ = ध्रुवक की ध्रुवण दिशा एवं प्रकाश सदिश के मध्य कोण।

लघूत्तरात्मक प्रश्न

प्रश्न 1. प्रकाश तरंगों के लिए हाइगेन्स का सिद्धान्त बताइये।

उत्तर: हाइगेन्स का रंग मित तथा तरंगा (Huygens' wave Theory and Wave-front)]

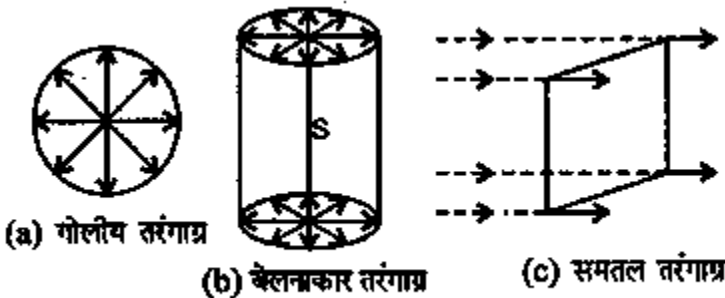
तरंगा (Wave-front)

“समान कला में दोलन करने वाले कणों की निधि तरंगाग्र कहलाती है अर्थात् वह तल जिसमें मौजूद प्रत्येक कण समान कला में दोलन करता है, तरंगाग्र कहलाता है।”

कोई प्रकाश-स्रोत माध्यम में सभी दिशाओं में विक्षोभ भेजता है जो तरंगों के रूप में आगे बढ़ते हैं। किसी समांग माध्यम (homogenous medium) में ये विक्षोभ समान वेग से सभी दिशाओं में आगे बढ़ते हैं। स्पष्ट है कि स्रोत से समान दूरी पर स्थित कणों तक ये विक्षोभ एक साथ पहुँचते हैं। स्वाभाविक है कि स्रोत से समान दूरी पर स्थित कण समान कला में दोलन करते हैं, जिसे तरंगाग्र कहते हैं।

प्रकाश-स्रोत की आकृति के आधार पर तरंगाग्र तीन प्रकार के होते हैं-

(i) **गोलाकार तरंगाग्र (Spherical Wave-front)** – जब प्रकाश-स्रोत एक बिन्दु प्रकाश-स्रोत की भाँति कार्य करे तो इससे चलने वाली तरंगों के तरंगाग्र गोलाकार होते हैं। [चित्र 12.1 (a)]।



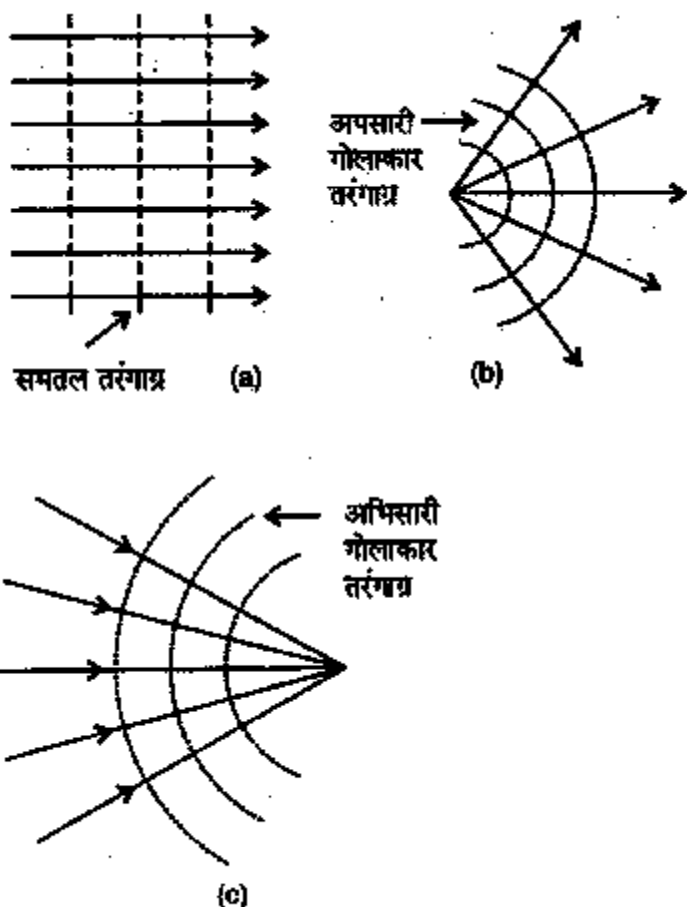
चित्र 12.1

(ii) **बेलनाकार तरंगाग्र (Cylindrical Wave-front)**- जब प्रकाश-स्रोत रेखीय होता है (जैसे-स्लिट) तो उससे चलने वाली तरंगें बेलनाकार तरंगाग्र बनाती हैं। [चित्र 12.1 (b)]

(iii) **समतल तरंगाग्र (Plane Wave-front)** – जब बिन्दु-स्रोत या रेखीय स्रोत अत्यधिक दूर होते हैं तो उनसे चलने वाले क्रमशः गोलाकार

या बेलनाकार तरंगाग्रों का एक छोटा भाग हमें समतल प्रतीत होता है। ऐसे तरंगाग्र को ही समतल तरंगाग्र कहते हैं। [चित्र 12.1 (c)]।

समांग माध्यम में किसी तरंग का तरंगाग्र सदैव तरंग संचरण की दिशा के लम्बवत् होता है। अतः तरंगाग्र पर खींची गई लम्बवत् रेखा तरंग



चित्र 12.2 तरंगाग्र की स्थिति

संचरण की दिशा व्यक्त करती है। हाइगेन्स ने इन लम्बवत् रेखाओं को प्रकाश-किरणों (Rays of light) कहा है। चित्र 12.2 (a), (b) व (c) में प्रकाश किरणों एवं तरंगाग्र की स्थितियों को प्रदर्शित किया गया है।

हाइगेन्स का सिद्धान्त (Huygens' Principle)

इस अध्याय के प्रारम्भ में अनु. 12.1 में हम चर्चा कर चुके हैं कि सन् 1678 में हालैण्ड के वैज्ञानिक हाइगेन्स ने प्रकाश के तरंग सिद्धान्त का प्रतिपादन किया। तरंग संचरण के लिए एक माध्यम की आवश्यकता होती है परन्तु प्रकाश का गमन निर्वात में भी होता है। अतः हाइगेन्स ने एक सर्वव्यापी एवं समांगी माध्यम ईथर की कल्पना की। यह माध्यम भारहीन, पूर्ण प्रत्यास्थ एवं अत्यल्प घनत्व वाले कणों से मिलकर बना हुआ माना गया और यह सभी पदार्थों में प्रवेश कर सकता है। इस माध्यम ईथर में प्रकाश तरंगों के संचरण के लिए आवश्यक सभी गुण होते हैं। इस माध्यम के अधिक प्रत्यास्थ एवं हल्का होने के कारण प्रकाश तरंगें ईथर में बहुत अधिक वेग से चलती हैं

$$\therefore \text{तरंग वेग} = \sqrt{\frac{\text{प्रत्यास्थता}}{\text{घनत्व}}}$$

भिन्न-भिन्न रंगों के प्रकाश के तरंगदैर्घ्य भिन्न-भिन्न होते हैं। जब ये तरंगें नेत्र के रेटिना पर गिरती हैं तो हमें वस्तु का आभास होता है।

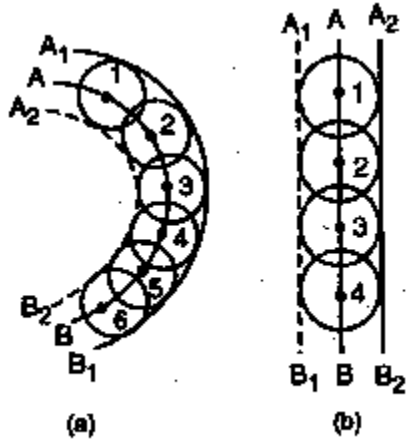
हाइगेन्स ने तरंग संरचरण को समझाने के लिए द्वितीयक तरंगिका सिद्धान्त (Theory of Secondary Wavelets) का प्रतिपादन किया। उन्होंने बताया कि तरंगाग्र पर खींची गई लम्बवत् रेखा तरंग संचरण की दिशा व्यक्त करती है। जिसे किरण कहते हैं और तरंगाग्र पर स्थित प्रत्येक ईथर कण एक नये प्रकाश-स्रोत का कार्य करता है जिससे नई तरंगें सभी दिशाओं में निकलती हैं। इन्हीं नवीन तरंगों को द्वितीयक तरंगिकाएँ (Secondary wavelets) कहते हैं। ये तरंगिकाएँ तरंग की चाल से ही आगे बढ़ती हैं और किसी क्षण इन पर खींचा गया स्पर्श तल उस समय तरंगाग्र की स्थिति को व्यक्त करता है।

हाइगेन्स ने द्वितीयक तरंगिका सिद्धान्त के आधार पर प्रकाश के परावर्तन एवं अपवर्तन की सफल व्याख्या की, लेकिन प्रकाश के ऋजुरेखीय गमन और ध्रुवण की व्याख्या करने में यह सिद्धान्त असफल रहा। बाद में वैज्ञानिक फ्रेस्नेल (Fresnel) ने तरंग सिद्धान्त के आधार पर व्यतिकरण तथा विवर्तन की घटनाओं को भली-भाँति समझाया तथा प्रकाश का ऋजुरेखीय गमन भी सिद्ध किया। हाइगेन्स ने प्रकाश तरंगों को अनुदैर्घ्य माना था लेकिन फ्रेस्नेल ने इन तरंगों को अनुप्रस्थ मानकर ध्रुवण की सफल व्याख्या की।

हाइगेन्स का द्वितीयक तरंगिका सिद्धान्त (Huygens' Principle of Secondary Wavelets)-इस सिद्धान्त के अनुसार,

- (1) जब किसी तरंग-स्रोत से तरंगें उत्पन्न होती हैं तो स्रोत के चारों ओर माध्यम के कण कम्पन करने लगते हैं। समाने कला में कम्पन करने वाले कणों की निधि तरंगाग्र कहलाती है।
- (2) तरंगाग्र पर खींची गई लम्बवत् रेखा तरंग संरचरण की दिशा व्यक्त करती है और इसे किरण कहते हैं।
- (3) तरंगाग्र पर स्थित प्रत्येक कण द्वितीयक तरंगिकाओं के स्रोत की भाँति कार्य करता है। ये द्वितीयक तरंगिकाएँ तरंग की चाल से ही आगे बढ़ती हैं और किसी समय पर इनका स्पर्श तल उस समय तरंगाग्र की स्थिति प्रदर्शित करता है।

चित्र 12.3 (a) में AB एक गोलाकार प्राथमिक तरंगाग्र प्रदर्शित किया गया है। इसी प्रकार चित्र 12.3 (b) में AB एक प्राथमिक समतल तरंगाग्र



चित्र 12.3

प्रदर्शित है। द्वितीयक तरंगाग्र की स्थिति ज्ञात करने के लिए प्राथमिक तरंगाग्र पर कुछ बिन्दु 1, 2, 3, 4, ले लेते हैं। t सेकण्ड बाद द्वितीयक तरंगाग्र की स्थिति ज्ञात करने के लिए त्रिज्या (r) = त्रिज्या (C) \times समय (t) या $r = ct$ एवं 1, 2, 3, 4, को केन्द्र मानकर गोले खींचते हैं। ये गोलीय पृष्ठ समय t सेकण्ड बाद द्वितीयक तरंगिकाओं की स्थितियाँ बताते हैं। इन सभी तरंगिकाओं को स्पर्श करता हुआ तल A_1B_1 द्वितीयक तरंगाग्र की स्थिति दर्शाता है। गोलों का दूसरा स्पर्श तल A_2B_2 पीछे की दिशा में है परन्तु हाइगेन्स का तरंग सिद्धान्त पीछे वाले स्पर्श तल को स्वीकार नहीं करता है। इसी प्रकार समतल तरंगाग्र के आगे बढ़ने की क्रिया समझायी जा सकती है।

प्रश्न 2. तरंगों के व्यतिकरण की परिभाषा दीजिए।

उत्तर: दो तरंगों का व्यतिकरण (Interference of Two Waves)

“जब समान आवृत्ति की दो तरंगें दो कला सम्बद्ध स्रोतों (Coherent sources) से एक ही माध्यम में एक ही दिशा में चलकर अध्यारोपण करती हैं तो अध्यारोपण के क्षेत्र में सामान्यतः परिणामी तरंग की तीव्रता दोनों तरंगों की अलग-अलग तीव्रताओं के योग से भिन्न होती है। कुछ स्थानों पर परिणामी तीव्रता दोनों तरंगों की अलग-अलग तीव्रताओं के योग से अधिक होती है और कुछ स्थानों पर कम होती है। अध्यारोपण के क्षेत्र में परिणामी तीव्रता में इस उतार-चढ़ाव उत्पन्न होने की घटना को व्याकरण कहते हैं।”

जिन स्थानों पर परिणामी तीव्रता दोनों तीव्रताओं के योग से अधिक होती है, वहाँ पर होने वाले व्यतिकरण को रचनात्मक या संपोषी व्यतिकरण (Constructive Interference) कहते हैं और जिन स्थानों पर परिणामी तीव्रता दोनों तरंगों की अलग-अलग तीव्रताओं के योग से कम होती है, वहाँ पर होने वाले व्यतिकरण को विनाशी व्यतिकरण (Destructive Interference) कहते हैं।

प्रश्न 3. कला सम्बद्ध स्रोत क्या होते हैं ?

उत्तर:

कला सम्बद्ध स्रोत (Coherent Sources)

“यदि दो प्रकाश-स्रोतों के मध्य कलान्तर समय के साथ नियत | रहता है तो दोनों स्रोत कला सम्बद्ध स्रोत कहलाते हैं। दूसरे शब्दों में | कह सकते हैं कि ऐसे स्रोत जिनके मध्य या तो कलान्तर होना नहीं चाहिए और यदि है तो उसे समय के साथ नियत रहना चाहिए, कला सम्बद्ध स्रोत कहलाते हैं। दो भिन्न स्रोतों का कला सम्बद्ध होना लगभग असम्भव है। एक ही स्रोत से उत्पन्न दो वास्तविक (Real) या काल्पनिक (Imaginary) स्रोत कला सम्बद्ध होते हैं। ऐसे स्रोतों से उत्सर्जित तरंगों अपने पथ में रखे पर्दे पर स्थायी व्यतिकरण प्रतिरूप बनाती हैं।

यदि किसी बिन्दु पर दो तरंगों के मध्य कलान्तर समय के साथ बदलता है तो इसका कारण केवल स्रोतों का कला सम्बद्ध न होना है क्योंकि किसी बिन्दु पर पथान्तर के कारण कलान्तर नियत रहता है। यदि स्रोत कला सम्बद्ध नहीं है तो व्यतिकरण प्रतिरूप स्थायी नहीं होगा अर्थात् किसी बिन्दु की परिणामी तीव्रता समय के साथ बदलती रहेगी। दो कला सम्बद्ध स्रोत प्राप्त करने के लिए शर्तें (Conditions for Obtaining two Coherent Sources)

1. किसी युक्ति द्वारा एक ही स्रोत से दो कला सम्बद्ध स्रोत प्राप्त करने चाहिए-इस विधि से कला सम्बद्ध स्रोत प्राप्त करने का लाभ यह है कि यदि किसी प्रकार मूल स्रोत की कला में कोई परिवर्तन होता है। तो यह परिवर्तन इससे प्राप्त दोनों स्रोतों में समान रूप से होगा और दोनों स्रोत कला सम्बद्ध बने रहेंगे।
2. दोनों स्रोतों को एकवर्णी प्रकाश देना चाहिए- यदि स्रोत श्वेत प्रकाश उत्सर्जित करता है तो इस प्रकाश में अनेक तरंगदैर्घ्यों का प्रकाश होगा और प्रत्येक तरंगदैर्घ्य का प्रकाश अपने सेट के साथ व्यतिकरण फ्रिजें उत्पन्न करेगा और ये फ्रिजें एक-दूसरे को अतिव्यापित करेंगी। फलस्वरूप व्यतिकरण प्रतिरूप में केन्द्रीय दीप्त फ्रिन्ज के दोनों ओर मात्र कुछ रंगीन फ्रिजें ही दिखाई देंगी।
3. दोनों स्रोतों से प्राप्त तरंगों में पथान्तर अल्प होना चाहिए-यदि व्यतिकारी तरंगों में पथान्तर अधिक होगा तो प्रत्येक बिन्दु पर तरंगों का आपस में मिलन (intermixing) होगा फलस्वरूप व्यतिकरण प्रतिरूप समाप्त होकर पर्दा समान रूप से दीप्त हो जायेगा।

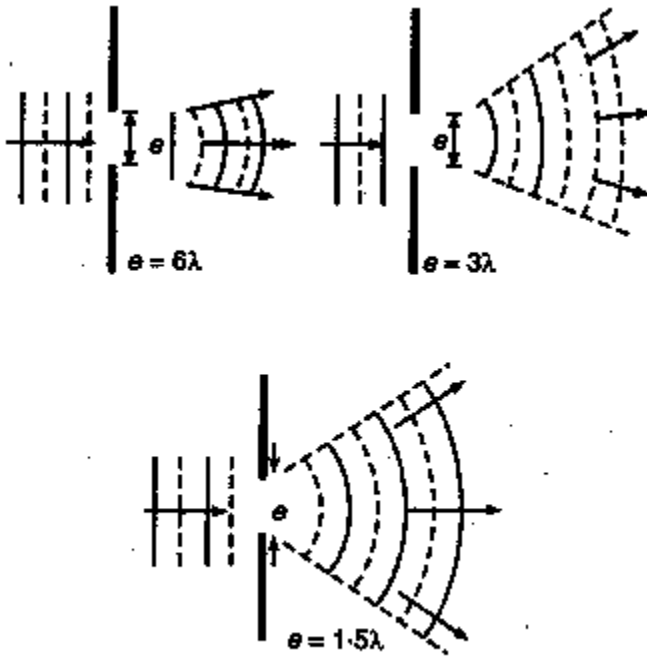
प्रश्न 4. प्रकाश के विवर्तन से आप क्या समझते हैं ? प्रकाश व ध्वनि के विवर्तन की तुलना कीजिए।

उत्तर:

विवर्तन (Diffraction)

प्रकाश का विवर्तन (Diffraction of Light) प्रकाश के मार्ग में मौजूद किसी रुकावट के किनारों से प्रकाश-तरंगों का रुकावट की ज्यामितीय छाया की ओर मुड़ जाना ही प्रकाश का विवर्तन कहलाता है।” इस प्रकार रुकावट के कारण प्रकाश अपने ऋजुरेखीय गमन से विचलित हो जाता है। विचलन बढ़ता जाता है जैसे-जैसे रुकावट का आकार छोटा होता जाता है। जिस समय रुकावट का आकार प्रकाश के तरंगदैर्घ्य के क्रम का होता है तो प्रकाश का विवर्तन सबसे अधिक होता है। चित्र (12.18) में प्रदर्शित विवर्तन की तीन स्थितियों में सबसे अच्छा विवर्तन अर्थात् सुपरिभाषित विवर्तन तब होता है जब स्लिट की चौड़ाई न्यूनतम ($a = 1.5\lambda$) होती है।

चित्र 12.18 से स्पष्ट है कि जैसे-जैसे स्लिट की चौड़ाई घटती जाती है, वैसे-वैसे विवर्तन को फैलाव बढ़ता जाता है।



चित्र 12.18

इस प्रकार निष्कर्ष यह निकलता है कि विवर्तन के लिए सबसे महत्वपूर्ण शर्त यह है कि रुकावट का आकार तरंगों के तरंगदैर्घ्य के क्रम का होना चाहिए।

चूँकि विवर्तन भी तरंग, गति को लक्षण है, अतः यह सभी प्रकार की तरंगों के साथ परिलक्षित होता है। ध्वनि-तरंगों की तरंगदैर्घ्य काफी बड़ी होती हैं। अतः इनका विवर्तन व्यावहारिक जीवन में आसानी से अनुभव किया जा सकता है। जैसे-दरवाजों, खिड़कियों आदि के किनारों से ध्वनि-तरंगों का विवर्तन हो जाता है लेकिन प्रकाश-तरंगों की तरंगदैर्घ्य बहुत छोटी होती है। अतः इनका विवर्तन देखने के लिए प्रयोगशाला में विशेष प्रबन्ध करना पड़ता है। प्रकाश का विवर्तन ब्लेड की तीक्ष्ण धार एवं सुई की नोक आदि से ही सम्भव है।

फ्रेनल (Fresnel) के अनुसार, “विवर्तन उन द्वितीयक तरंगिकाओं के अध्यारोपण से होने वाले व्यतिकरण का परिणाम है जो एक ही तरंगाग्र के उस भाग से चलती हैं जो रुकावट द्वारा रोका नहीं जाता है।

ध्वनि एवं प्रकाश के विवर्तन की तुलना (Comparison of Diffraction of Sound and Light)

विवर्तन तरंगगति का अभिलक्षण है, अतः यह प्रकाश तरंगों एवं ध्वनि तरंगों दोनों में परिलक्षित होता है। विवर्तन के लिए, “सबसे महत्वपूर्ण शर्त यह है कि रुकावट का आकार तरंगों के तरंगदैर्घ्य के क्रम का होना चाहिए।” चूँकि ध्वनि तरंगों की तरंगदैर्घ्य बड़ी होती है अतः ध्वनि तरंगों का विवर्तन व्यावहारिक जीवन में आसानी से परिलक्षित होता है जैसे दीवारों, दरवाजों, खिड़कियों आदि के किनारों से ध्वनि का विवर्तन हो

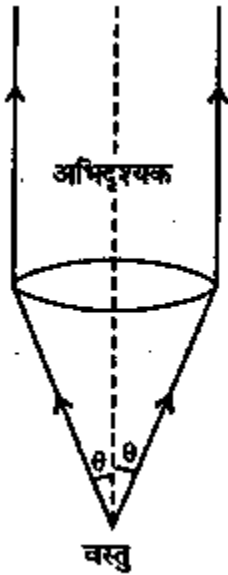
जाता है। इसीलिए किसी दीवार के पीछे बैठा व्यक्ति दूसरी ओर से उत्पन्न ध्वनि को सुन लेता है। इसके विपरीत प्रकाश की तरंगदैर्घ्य अत्यन्त छोटी होने के कारण प्रकाश का विवर्तन देखने के लिए प्रयोगशाला में विशेष प्रबन्ध करना पड़ता है। प्रकाश का विवर्तन ब्लेड की धार एवं सुई की नोक आदि से ही सम्भव है।

प्रश्न 5. सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता परिभाषित कीजिए। यह किस प्रकार प्रभावित होगी जब

- (i) प्रदीपन करने वाले विकिरणों की तरंगदैर्घ्य घटा दी जाती है।
- (ii) अभिदृश्यक लैन्स का व्यास घटा दिया जाता है तथा अपने उत्तर का औचित्य दीजिए।

उत्तर: सूक्ष्मदर्शी की विभेदने क्षमता (Resolving Power of Microscope) - "सूक्ष्मदर्शी की विभेदन सीमा की माप दो बिन्दुओं के मध्य उस न्यूनतम दूरी (d) से की जाती है, जिस पर स्थित होने पर सूक्ष्मदर्शी द्वारा वे विभेदित हो जाती हैं अर्थात् अलग-अलग देखी जा सकती हैं। सूक्ष्मदर्शी की विभेदन सीमा

- (i) प्रयुक्त प्रकाश की तरंगदैर्घ्य (λ) के अनुक्रमानुपाती होती है।



चित्र 12.27 (a)

- (ii) किसी एक वस्तु से अभिदृश्यक में पहुँचने वाले प्रकाश के शंकु कोण (cone angle) (2θ) के व्युत्क्रमानुपाती होती है अर्थात्

$$d \propto \frac{\lambda}{2\theta} \therefore \text{विभेदन क्षमता} \propto \frac{2\theta}{\lambda}$$

यह सिद्ध कर सकते हैं कि

$$d = \frac{1.22\lambda}{2\sin\theta} \quad \dots(3)$$

$$\therefore \text{सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता} = \frac{1}{d} = \frac{2\sin\theta}{1.22\lambda} \quad \dots(4)$$

यदि अभिवश्यक एवं वस्तु के मध्य वायु न होकर μ अपवर्तनांक का कोई अन्य माध्यम है तो

$$\text{विभेदन सीमा } d = \frac{1.22\lambda}{2\mu\sin\theta}$$

$$\text{और } \text{विभेदन क्षमता} = \frac{2\mu\sin\theta}{1.22\lambda}$$

इन सूत्रों में $\mu\sin\theta$ को सूक्ष्मदर्शी का 'आंकिक द्वारक' (numerical aperture) कहते हैं।

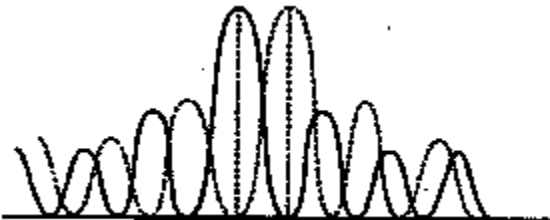
स्पष्ट है कि सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता बढ़ने के लिए

(i) या तो शंकु कोण बाया जाये या

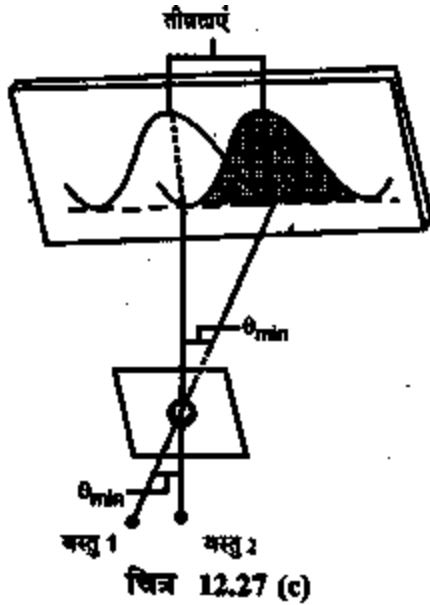
(ii) λ को घटाया जाये। चूँकि शंकु कोण बढ़ाने के लिए अभिवश्यक से वस्तु की दूरी को घटाना होगा जो कि एक सीमा तक ही घटा सकते हैं क्योंकि वस्तु को अभिवश्यक के फोकस तल के बाहर ही रहना चाहिए तभी उसका प्रतिबिम्ब अभिवश्यक द्वारा वास्तविक बनेगा। अतः अब केवल दूसरा विकल्प ही शेष बचता है और वह है λ को घटाकर। यह कार्य हम कर भी सकते हैं क्योंकि सूक्ष्मदर्शी का प्रयोग हम प्रयोगशाला में कृत्रिम प्रकाश में करते हैं। अतः छोटी तरंगदैर्घ्य का प्रकाश प्रयोग करके हम सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता को बढ़ सकते हैं।

विभेदन क्षमता के लिए रैले की कसौटी (Rayleigh's criterion of limiting resolution).

दो बिन्दु वस्तु आपस में तब विभेदित होंगी जब एक की तरंगदैर्घ्य के कारण केन्द्रीय उच्चिष्ठ पर दूसरी तरंगदैर्घ्य की प्रथम निम्निष्ठ आपस में आरोपित हों। यही विभेदन क्षमता के लिये रैले की कसौटी है।



चित्र 12.27 (b)



प्रश्न 6. दो पतली स्लिटों से आ रहे प्रकाश के व्यतिकरण से एक पर्दे पर फ्रिजें बन रही हैं। यदि स्लिटों के बीच की दूरी चार गुनी तथा स्लिटों से पर्दे की दूरी आधी कर दी जाये तब फ्रिज चौड़ाई कितने गुना हो जायेगी ?

उत्तर:

फ्रिज की चौड़ाई

$$\beta = \frac{D\lambda}{d} \quad \dots(1)$$

तथा
$$\beta' = \frac{D'\lambda}{(2d)'} = \frac{D/2\lambda}{4 \times 2d} = \frac{1}{8} \frac{D\lambda}{2d}$$

या
$$\beta' = \frac{1}{8} \beta$$

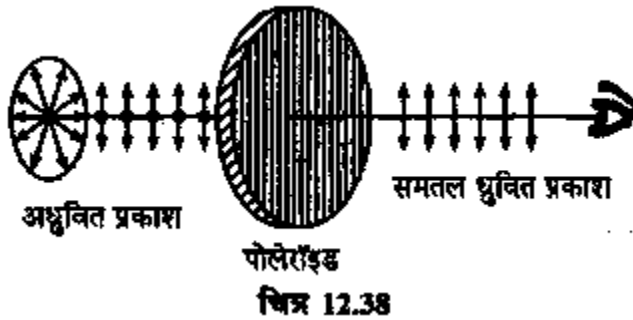
प्रश्न 7. पोलेरॉइड की बनावट समझाइये।

उत्तर:

पोलेरॉइड (Polaroid)

पोलेरॉइड समतल ध्रुवित प्रकाश उत्पन्न करने की एक सरल और सस्ती विधि है। यह एक बड़े आकार की फिल्म होती है जो दो काँच की प्लेटों के बीच रखी होती है। इस फिल्म को तैयार करने के लिए नाइट्रोसेलुलोज (Nitrocellulose) की एक पतली चादर (sheet) पर कुनैन आइडो-सल्फेट या हरपेथाइट के अति सूक्ष्म आकार के क्रिस्टल इस प्रकार बिठा दिये जाते हैं कि सभी क्रिस्टलों की प्रकाशिक अक्षें

समान्तर रहें। यह क्रिस्टल तीव्र द्विवर्णक होते हैं जो द्वि-अपवर्तित किरणों में से एक को पूर्णतः अवशोषित कर लेते हैं तथा एक को ध्रुवित प्रकाश के रूप में निर्गत कर देते हैं। प्रत्येक पोलैरॉइड फिल्म में एक अभिलाक्षणिक दिशा होती है, जिसे 'ध्रुवण दिशा' (Polarising direction) कहते हैं। चित्र (12.38) में पोलैरॉइड फिल्म की ध्रुवण दिशा समान्तर रेखाओं द्वारा प्रदर्शित की गई है।



जब साधारण प्रकाश की एक किरण पुंज पोलैरॉइड पर आपतित होती है तो ध्रुवण दिशा के लम्बवत् कम्पन अवशोषित हो जाते हैं तथा ध्रुवण दिशा के समान्तर कम्पन पारगत हो जाते हैं। इस प्रकार पोलैरॉइड से समतल ध्रुवित प्रकाश प्राप्त होता है। पोलैरॉइड से निर्गत प्रकाश समतल ध्रुवित है अथवा नहीं, इसकी जाँच एक-दूसरे पोलैरॉइड से की जाती है। जब दोनों पोलैरॉइडों की ध्रुवण दिशाएँ समान्तर होती हैं [चित्र (12.39) (a)] तो पहले पोलैरॉइड से निर्गत प्रकाश दूसरे पोलैरॉइड



से भी पारगत हो जाता है। इसके विपरीत, जब दोनों पोलैरॉइड एक दूसरे से क्रॉस स्थिति में होते हैं अर्थात् दोनों की ध्रुवण दिशाएँ लम्बवत् होती हैं [चित्र 12.39 (b)] तो पहले पोलैरॉइड से निर्गत प्रकाश दूसरे पोलैरॉइड द्वारा रोक दिया जाता है अर्थात् दूसरे पोलैरॉइड से निर्गत प्रकाश की तीव्रता शून्य होती है। स्पष्ट है कि पोलैरॉइड द्वारा निर्गत प्रकाश समतल ध्रुवित होता है।

पोलैरॉइड से निर्गत प्रकाश की तीव्रता-यदि किसी पोलैरॉइड पर आपतित प्रकाश की तीव्रता I_0 हो तो पोलैरॉइड से निर्गत प्रकाश की तीव्रता

$$I = I_0 \cos^2 \theta \dots (1)$$

जहाँ θ , पोलैरॉइड की ध्रुवण दिशा तथा आपतित प्रकाश के विद्युत वेक्टर के बीच का कोण है। इसे 'मैलस का नियम' (Malus's Law) कहते हैं।

अर्थात् ध्रुवण तक विश्लेषण से निर्गत ध्रुवित प्रकाश की तीव्रता उनकी प्रकाशिक अक्षों के मध्य बने कोण की कोज्या के वर्ग के अनुक्रमानुपाती होती है।

यदि पोलैरॉइड पर आपतित प्रकाश अध्रुवित है तो इसमें विद्युत वेक्टर अर्थात् प्रकाश वेक्टर के कम्पन प्रकाश संचरण की दिशा के लम्बवत् तल में सभी दिशाओं में समान रूप से होंगे। अतः समी. (1) में $\cos^2\theta$ का औसत मान रखना होगा जो कि $\frac{1}{2}$ होता है अर्थात्

$$\cos^2\theta \text{ का औसत मान} = \frac{1}{2}$$

$$\therefore I = \frac{1}{2} I_0 \quad \dots(2)$$

स्पष्ट है कि इस स्थिति में पोलैरॉइड से निर्गत प्रकाश की तीव्रता आपतित प्रकाश की तीव्रता की आधी हो जाती है।

यदि एक पोलैरॉइड से निर्गत प्रकाश (तीव्रता I_1) दूसरे पोलैरॉइड पर आपतित होता है तो दूसरे पोलैरॉइड से निर्गत प्रकाश की तीव्रता

$$I_2 = I_1 \cos^2 \theta \quad \dots(3)$$

जहाँ θ , दोनों पोलैरॉइडों की ध्रुवण दिशाओं के मध्य कोण है।

यदि दोनों पोलैरॉइड समान्तर स्थिति में हैं तो

$$\theta = 0^\circ \therefore \cos^2 \theta = 1$$

अतः
$$I_2 = I_1 = \frac{1}{2} I_0 \text{ (अधिकतम तीव्रता)}$$

और क्रांति स्थिति में $\theta = 90^\circ \therefore \cos^2 \theta = 0$

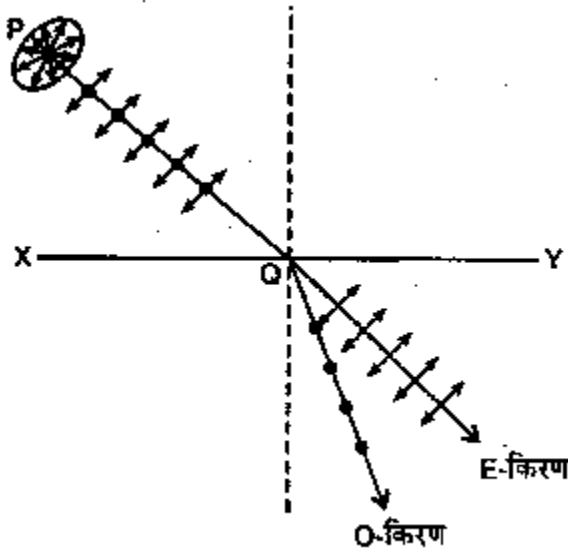
अतः
$$I_2 = 0 \text{ (न्यूनतम तीव्रता)}$$

पोलैरॉइड के उपयोग (Uses of Polaroid)

1. पोलैरॉइड की सहायता से त्रिविमीय (Three-dimensional) चित्रों को देखा जा सकता है।
2. इनका प्रमुख उपयोग प्रकाश की चकाचौंध से बचने के लिए मोटरगाड़ियों के सामने वाले काँच में किया जाता है।
3. पोलैरॉइड का उपयोग वायुयान तथा ट्रेन में प्रवेश करने वाले प्रकाश की तीव्रता को नियन्त्रित करने के लिए भी किया जाता है।
4. LCD (Liquid crystal display) भी पोलैरॉइड की क्रिया पर कार्य करता है।
5. पोलैरॉइड युक्त ध्रुवमापी से प्रकाशीय घूर्णक पदार्थ जैसे शक्कर के घोल की सान्द्रता ध्रुवण तल के घूर्णन के मापन से ज्ञात की जा सकती है।
6. इनका उपयोग धातुओं के प्रकाशिक गुणों का अध्ययन एवं प्रकाशकीय घूर्णक पदार्थों की संरचना ज्ञात करने में किया जाता है।

प्रश्न 8. द्वि-अपवर्तन से क्या तात्पर्य है ?

उत्तर: द्वि-अपवर्तन द्वारा ध्रुवण (Polarisation by Double Refraction)-कुछ क्रिस्टल; जैसे-कैल्साइट, क्वार्ट्ज ऐसे क्रिस्टल होते हैं कि जब उन पर कोई प्रकाश किरण आपतित होती है तो वह किरण क्रिस्टल में दो अपवर्तित किरणों में विभाजित हो जाती है (चित्र (12.36)) । इस घटना को द्वि-अपवर्तन कहते हैं। इनमें से एक किरण अपवर्तन के



चित्र 12.36

नियमों का पालन करती है। इसे साधारण किरण (Ordinary ray) या O-किरण कहते हैं। दूसरी अपवर्तित किरण अपवर्तन के नियमों का पालन नहीं करती है, इसे असाधारण किरण (extraordinary ray) या E-किरण कहते हैं। ये दोनों किरणें परस्पर लम्बवत् तलों में समतल ध्रुवित होती हैं। साधारण किरण में कम्पन, आपतन तल के लम्बवत् तल में और असाधारण किरण में कम्पन आपतन तल में होते हैं। व्यवहार में इन दोनों अपवर्तित समतल ध्रुवित किरणों में से एक को किसी विधि द्वारा अलग कर दिया जाता है जिससे कि क्रिस्टल में से समतल ध्रुवित प्रकाश निकल सके।

द्वि-वर्णता-टूर्मलीन क्रिस्टल पर आपतित साधारण प्रकाश की किरण क्रिस्टल के भीतर दो ध्रुवित अपवर्तित किरणों में बंट जाती है। इनमें से एक किरण क्रिस्टल द्वारा अवशोषित कर ली जाती है। टूर्मलीन क्रिस्टल द्वारा वरणात्मक अवशोषण की इस प्रक्रिया को द्वि-वर्णता कहते हैं।

प्रश्न 9. व्यतिकरण एवं विवर्तन में अन्तर स्पष्ट कीजिए।

उत्तर:

व्यतिकरण	विवर्तन
1. दो या दो से अधिक समान आवृत्ति की कला सम्बद्ध तरंगों के अध्यारोपण से व्यतिकरण की घटना घटित होती है।	1. एक ही तरंगाग्र से उत्सर्जित द्वितीयक तरंगिकाओं के अध्यारोपण से विवर्तन उत्पन्न होता है।
2. व्यतिकरण प्रतिरूप में सभी दीप्त फ्रिन्जों की तीव्रता समान होती है।	2. विवर्तन प्रतिरूप में केन्द्रीय दीप्त फ्रिन्ज की तीव्रता अधिकतम होती है और अन्य दीप्त फ्रिन्जों की तीव्रता क्रमशः घटती जाती है।
3. यदि व्यतिकरण उत्पन्न करने वाली तरंगों के आयाम समान हैं तो अदीप्त फ्रिन्ज की तीव्रता शून्य होगी।	3. विवर्तन प्रतिरूप में अदीप्त फ्रिन्जों की तीव्रता शून्य नहीं होती है।
4. व्यतिकरण फ्रिन्जों की चौड़ाई सामान्यतः समान होती है।	4. विवर्तन फ्रिन्जों की चौड़ाई असमान होती है।
5. व्यतिकरण में दीप्त व अदीप्त फ्रिन्जों के बीच उत्तम विपर्यास (contrast) मिलता है।	5. विवर्तन में दीप्त व अदीप्त फ्रिन्जों के बीच उत्तम विपर्यास नहीं मिलता है।

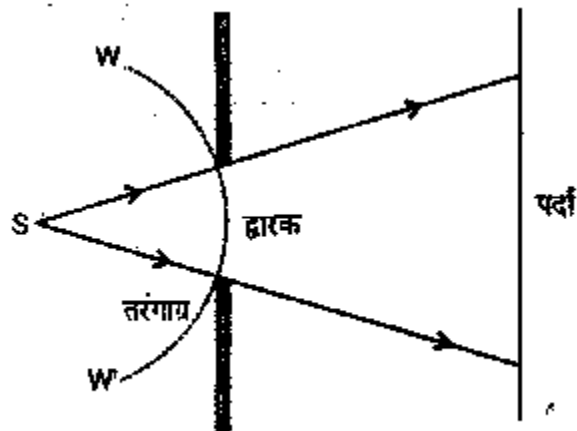
प्रश्न 10. फ्रेनल एवं फ्रॉनहॉफर विवर्तन में मुख्य अन्तर बताइये।

उत्तर: विवर्तन के प्रकार फ्रेनल तथा फ्रॉन हॉफर विवर्तन

(Types of Diffraction : Fresnel and Fraun hoffer Diffraction)

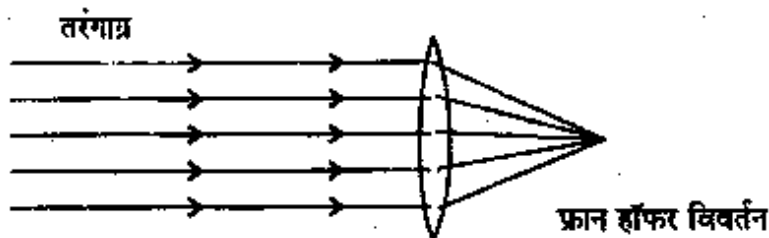
प्रकाश का विवर्तन दो वर्गों में विभक्त किया जा सकता है-

(a) फ्रेनल विवर्तन (Fresnel's Diffraction) – जब प्रकाश-स्रोत तथा प्रेक्षण बिन्दु दोनों विवर्तन उत्पन्न करने वाले द्वारक या अवरोध से सीमित दूरी पर स्थित होते हैं तो विवर्तन फ्रेनल विवर्तन कहलाता है। फ्रेनल विवर्तन में आपतित व विवर्तित तरंगाग्र गोलीय अथवा बेलनाकार होते हैं (चित्र (12.19))।



चित्र 12.19

(b) फ्रॉनहॉफर विवर्तन (Fraunhofer Diffraction) – जब प्रकाश स्रोत एवं प्रेक्षण बिन्दु दोनों की विवर्तन उत्पन्न करने वाले अवरोध या द्वारक से प्रभावी दूरी अनन्त हो अर्थात् आपतित तथा विवर्तित तरंगाग्र दोनों समतल तरंगाग्र हों तो इस प्रकार का विवर्तन फ्रॉनहॉफर विवर्तन कहलाता है (चित्र (12.20))।



चित्र 12.20

फ्रेनल तथा फ्रॉनहॉफर विवर्तनों की तुलना

(Comparison between Fresnel and Fraunhofer's Diffraction)

क्र.सं.	फ्रेनल विवर्तन	फ्रॉनहॉफर विवर्तन
1.	प्रकाश-स्रोत एवं पर्दा दोनों विवर्तक से सीमित दूरी पर होते हैं।	प्रकाश-स्रोत एवं पर्दा दोनों प्रभावी विवर्तक से अनन्त दूरी पर होते हैं।
2.	इसमें आपतित एवं विवर्तित तरंगाग्र गोलीय या बेलनाकार होते हैं।	इसमें आपतित एवं विवर्तित तरंगाग्र समतल होते हैं।
3.	इस विवर्तन में स्रोत एवं पर्दे की विवर्तक से दूरियाँ महत्वपूर्ण होती हैं।	इस विवर्तन में तरंगाग्रों का विवर्तक पर झुकाव महत्वपूर्ण होता है।
4.	इसमें प्रेक्षण लेन्स या दर्पण की सहायता के बिना लिये जाते हैं।	इसमें प्रेक्षण लेन्स (दूरदर्शक के लेन्स द्वारा) की सहायता से लिये जाते हैं।

5. इसमें केवल एक विवर्तक का विवर्तन प्रभाव होता है।

6. इसके विवर्तन प्रतिरूप का केन्द्र विवर्तक के आकार के अनुसार अदीप्त या प्रदीप्त होता है।

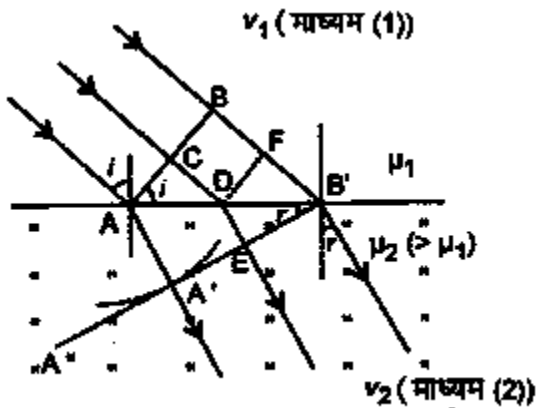
इसमें एक या एक से अधिक विवर्तकों के विवर्तन का सम्मिलित प्रभाव हो सकता है। इसके विवर्तन प्रतिरूप का केन्द्र सदैव प्रदीप्त होता है।

निबन्धात्मक प्रश्न

प्रश्न 1. हाइगेन्स के द्वितीयक तरंगिकाओं के सिद्धान्त के आधार पर प्रकाश के अपवर्तन की घटना समझाइये और स्नेल के नियम का निगमन कीजिए।

उत्तर: हाइगेन्स के द्वितीयक तरंगिका सिद्धान्त से अपवर्तन की व्याख्या (Explanation of Refraction on the basis of Huygens' Theory of Secondary Wavelets)

चित्र (12.5) में xx' दो माध्यमों की सीमा रेखा है। पहले माध्यम में तरंग की चाल v_1 है और दूसरे माध्यम में तरंग की चाल v_2 है। माना कोई समतल।



चित्र 12.5 समतल तल से अपवर्तन

तरंगाग्र AB पहले माध्यम में v_1 वेग से चलकर दूसरे माध्यम के पृष्ठ पर आपतन कोण i पर आपतित होता है। जैसे ही तरंगाग्र का बिन्दु A दूसरे माध्यम के पृष्ठ पर पहुँचता है, द्वितीयक तरंगिकाएँ बननी शुरू हो जाती हैं जो दूसरे माध्यम में v_2 वेग से आगे बढ़ती हैं। जैसे-जैसे तरंगाग्र के शेष बिन्दु दूसरे माध्यम के पृष्ठ पर टकराते जाते हैं, द्वितीयक तरंगिकाएँ बननी आरम्भ हो जाती हैं और जब B बिन्दु B' तक पहुँचता है तब तक A पर बनने वाली तरंगिकाएँ A' तक पहुँच जाती हैं। इस प्रकार A'B' अपवर्तित तरंगाग्र प्राप्त होता है। यदि B को B' तक या A को A' तक पहुँचने में लगा समय t हो तो

और
चित्र से,

$$BB' = v_1 t \quad [\because \text{दूरी} = \text{चाल} \times \text{समय}]$$

$$AA' = v_2 t$$

$\Delta ABB'$ में $\sin(i) = \frac{BB'}{AB'}$ तथा $\Delta AA'B'$ में

$$\sin(r) = \frac{AA'}{AB'}$$

$$\therefore \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\frac{BB'}{AB'}}{\frac{AA'}{AB'}} = \frac{BB'}{AA'} = \frac{v_1 t}{v_2 t} = \frac{v_1}{v_2}$$

या
$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \text{नियतांक}$$

इस प्रकार—

(1) आपतित किरण, अपवर्तित किरण एवं अभिलम्ब तीनों एक बिन्दुगामी होते हैं और एक ही तल में स्थित होते हैं।

(2) आपतन कोण की ज्या एवं अपवर्तन कोण की ज्या में एक निश्चित अनुपात है। यही स्नेल का नियम है।

स्नेल ने प्रकाश का प्रायोगिक अध्ययन करके यह बताया था कि

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

जहाँ ${}_1\mu_2$ = प्रथम माध्यम के सापेक्ष द्वितीय माध्यम का अपवर्तनांक

इस प्रकार यदि हाइगेन्स एवं स्नेल के नियमों को सम्बन्धित कर दें तो

$$\boxed{\frac{\sin i}{\sin r} = {}_1\mu_2 = \frac{v_1}{v_2}} \quad \dots(1)$$

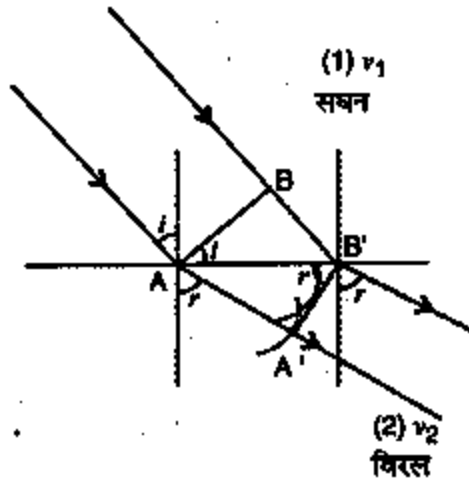
यदि प्रथम व द्वितीय माध्यमों के निरपेक्ष अपवर्तनांक क्रमशः μ_1 व μ_2 हों तो

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

अतः सभी (1) को निम्न प्रकार दिखा सकते हैं—

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\mu_2}{\mu_1} = \frac{v_1}{v_2} \quad \dots(2)$$

विरल माध्यम पर अपवर्तन—यदि प्रथम माध्यम सघन और द्वितीय माध्यम विरल है तो अपवर्तन की स्थिति चित्र (12.6) के अनुसार होगी। इस अवस्था में $i < r$ अर्थात्



चित्र 12.6 समतल तल से अपवर्तन

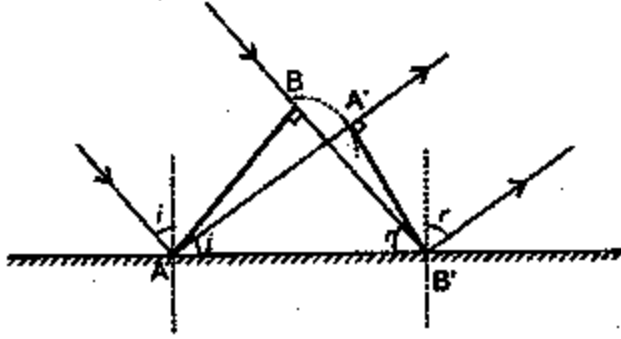
अपवर्तन कोण का मान आपतन कोण से अधिक होगा। यदि आपतन कोण को बढ़ाते जायें तो एक निश्चित आपतन कोण (i_c - क्रान्तिक कोण) के लिये $= 90^\circ$ हो जायेगा। इस आपतन कोण से अधिक आपतन कोण के लिए पूर्ण आन्तरिक परावर्तन (Total internal reflection) की स्थिति उत्पन्न हो जायेगी। इस स्थिति में

$$\sin i_c = \frac{\mu_2}{\mu_1} \quad \dots(3)$$

प्रश्न 2. हाइगेन्स के तरंग सिद्धान्त से प्रकाश के परावर्तन की व्याख्या कीजिए।

उत्तर: हाइगेन्स के द्वितीयक तरंगिका सिद्धान्त से तरंगों के परावर्तन की व्याख्या (Explanation of Reflection on the basis of Huygens' Theory of Secondary Wavelets)

माना AB एक समतल तरंगाग्र है जो आपतन कोण i से परावर्तक पृष्ठ पर आपतित होता है। तरंगाग्र की चाल v है। सबसे पहले तरंगाग्र का A बिन्दु परावर्तक तल पर पहुँचता है। जैसे ही A बिन्दु परावर्तक पर पहुँचता है, द्वितीयक तरंगिकाएँ बननी आरम्भ हो जाती हैं और तरंगाग्र उसी चाल (v) से ही आगे बढ़ती हैं। इसके बाद तरंगाग्र AB के शेष बिन्दु परावर्तक पर पहुँचते रहते हैं और द्वितीयक तरंगिकाएँ बनती रहती हैं। जब तरंगाग्र का बिन्दु B परावर्तक के B' तक पहुँचता है तब तक A पर बनने वाली तरंगिकाएँ A' तक पहुँच जाती हैं। इस प्रकार A'B' परावर्तित तरंगाग्र प्राप्त होता है।



चित्र 12.4—समतल सतह से परावर्तन

यदि B को B' या A को A' तक पहुँचने में लगा समय t हो तो

$$BB' = AA' = \text{चाल} \times \text{समय} = v \times t$$

अब $\triangle ABB'$ व $\triangle AA'B'$ से,

$$\angle ABB' = \angle AA'B' \text{ (प्रत्येक समकोण है)}$$

भुजा $BB' = AA'$ सिद्ध कर चुके हैं।

भुजा AB' दोनों में उभयनिष्ठ है।

$$\therefore \triangle ABB' \cong \triangle AA'B'$$

$$\therefore \angle BAB' = \angle A'B'A$$

$$\text{या } \angle i = \angle r$$

या आपतन कोण = परावर्तन कोण

इस प्रकार—

- (i) आपतित किरण, परावर्तित किरण एवं अभिलम्ब तीनों एक ही तल में हैं, क्योंकि तीनों कागज के तल में हैं।
- (ii) आपतन कोण परावर्तन कोण के बराबर होता है। यही परावर्तन के नियम हैं।

प्रश्न 3. प्रकाश के व्यतिकरण की विश्लेषणात्मक विवेचना करते हुए संपोषी एवं विनाशी व्यतिकरण की शर्तें बताइये।

उत्तर:

दो तरंगों का व्यतिकरण (Interference of Two Waves)

“जब समान आवृत्ति की दो तरंगें दो कला सम्बद्ध स्रोतों (Coherent sources) से एक ही माध्यम में एक ही दिशा में चलकर अध्यारोपण करती हैं तो अध्यारोपण के क्षेत्र में सामान्यतः परिणामी तरंग की तीव्रता दोनों तरंगों की अलग-अलग तीव्रताओं के योग से भिन्न होती है। कुछ स्थानों पर परिणामी तीव्रता दोनों तरंगों की अलग-अलग तीव्रताओं के योग से अधिक होती है और कुछ स्थानों पर कम होती है। अध्यारोपण के क्षेत्र में परिणामी तीव्रता में इस उतार-चढ़ाव उत्पन्न होने की घटना को व्याकरण कहते हैं।”

जिन स्थानों पर परिणामी तीव्रता दोनों तीव्रताओं के योग से अधिक होती है, वहाँ पर होने वाले व्यतिकरण को रचनात्मक या संपोषी व्यतिकरण (Constructive Interference) कहते हैं और जिन स्थानों पर

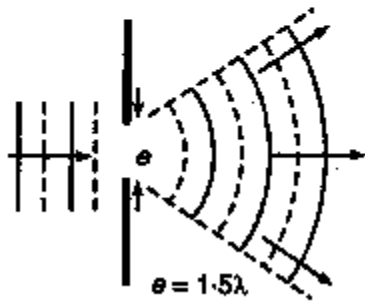
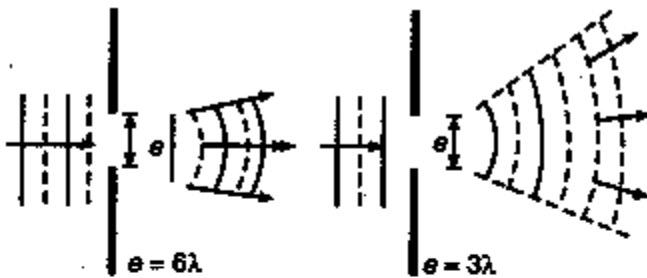
परिणामी तीव्रता दोनों तरंगों की अलग-अलग तीव्रताओं के योग से कम होती है, वहाँ पर होने वाले व्यतिकरण को विनाशी व्यतिकरण (Destructive Interference) कहते हैं।

प्रश्न 4. प्रकाश के विवर्तन से आप क्या समझते हैं ? प्रकाश तरंगों की अपेक्षा ध्वनि तरंगों में विवर्तन अधिक सरलता से क्यों देखा जा सकता है ? फ्रेनल विवर्तन एवं फॉनसैफर विवर्तन की तुलना कीजिए।

उत्तर: विवर्तन (Diffraction)

प्रकाश का विवर्तन (Diffraction of Light) प्रकाश के मार्ग में मौजूद किसी रुकावट के किनारों से प्रकाश-तरंगों का रुकावट की ज्यामितीय छाया की ओर मुड़ जाना ही प्रकाश का विवर्तन कहलाता है।" इस प्रकार रुकावट के कारण प्रकाश अपने ऋजुरेखीय गमन से विचलित हो जाता है। विचलन बढ़ता जाता है जैसे-जैसे रुकावट का आकार छोटा होता जाता है। जिस समय रुकावट का आकार प्रकाश के तरंगदैर्घ्य के क्रम का होता है तो प्रकाश का विवर्तन सबसे अधिक होता है। चित्र (12.18) में प्रदर्शित विवर्तन की तीन स्थितियों में सबसे अच्छा विवर्तन अर्थात् सुपरिभाषित विवर्तन तब होता है जब स्लिट की चौड़ाई न्यूनतम ($a = 1.5\lambda$) होती है।

चित्र 12.18 से स्पष्ट है कि जैसे-जैसे स्लिट की चौड़ाई घटती जाती है, वैसे-वैसे विवर्तन को फैलाव बढ़ता जाता है।



चित्र 12.18

इस प्रकार निष्कर्ष यह निकलता है कि विवर्तन के लिए सबसे महत्वपूर्ण शर्त यह है कि रुकावट का आकार तरंगों के तरंगदैर्घ्य के क्रम का होना चाहिए।

चूँकि विवर्तन भी तरंग, गति को लक्षण है, अतः यह सभी प्रकार की तरंगों के साथ परिलक्षित होता है। ध्वनि-तरंगों की तरंगदैर्घ्य काफी बड़ी होती हैं। अतः इनका विवर्तन व्यावहारिक जीवन में आसानी से अनुभव किया जा सकता है। जैसे-दरवाजों, खिड़कियों आदि के किनारों से ध्वनि-तरंगों का विवर्तन हो जाता है लेकिन प्रकाश-तरंगों की तरंगदैर्घ्य बहुत छोटी होती है। अतः इनका विवर्तन देखने के लिए प्रयोगशाला में विशेष प्रबन्ध करना पड़ता है। प्रकाश का विवर्तन ब्लेड की तीक्ष्ण धार एवं सुई की नोक आदि से ही सम्भव है।

फ्रेनल (Fresnel) के अनुसार, “विवर्तन उन द्वितीयक तरंगिकाओं के अध्यारोपण से होने वाले व्यतिकरण का परिणाम है जो एक ही तरंगाग्र के उस भाग से चलती हैं जो रुकावट द्वारा रोका नहीं जाता है।

ध्वनि एवं प्रकाश के विवर्तन की तुलना (Comparison of Diffraction of Sound and Light)

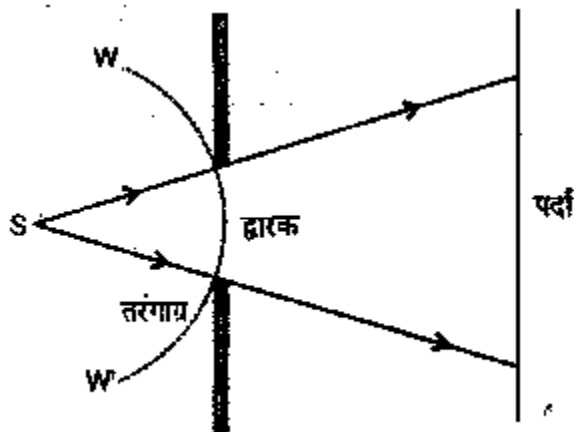
विवर्तन तरंगगति का अभिलक्षण है, अतः यह प्रकाश तरंगों एवं ध्वनि तरंगों दोनों में परिलक्षित होता है। विवर्तन के लिए, “सबसे महत्वपूर्ण शर्त यह है कि रुकावट का आकार तरंगों के तरंगदैर्घ्य के क्रम का होना चाहिए।” चूँकि ध्वनि तरंगों की तरंगदैर्घ्य बड़ी होती है अतः ध्वनि तरंगों का विवर्तन व्यावहारिक जीवन में आसानी से परिलक्षित होता है जैसे दीवारों, दरवाजों, खिड़कियों आदि के किनारों से ध्वनि का विवर्तन हो जाता है। इसीलिए किसी दीवार के पीछे बैठा व्यक्ति दूसरी ओर से उत्पन्न ध्वनि को सुन लेता है। इसके विपरीत प्रकाश की तरंगदैर्घ्य अत्यन्त छोटी होने के कारण प्रकाश का विवर्तन देखने के लिए प्रयोगशाला में विशेष प्रबन्ध करना पड़ता है। प्रकाश का विवर्तन ब्लेड की धार एवं सुई की नोक आदि से ही सम्भव है।

विवर्तन के प्रकार फ्रेनल तथा फ्रॉन हॉफर विवर्तन

(Types of Diffraction : Fresnel and Fraunhofer Diffraction)

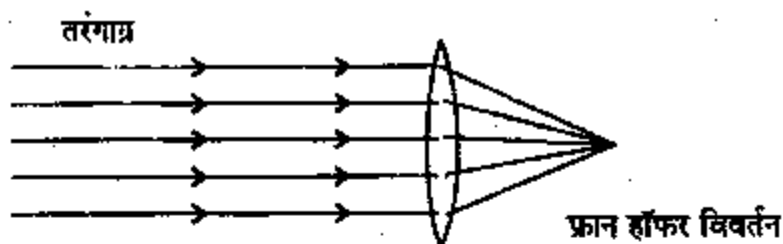
प्रकाश का विवर्तन दो वर्गों में विभक्त किया जा सकता है-

(a) फ्रेनल विवर्तन (Fresnel's Diffraction) – जब प्रकाश-स्रोत तथा प्रेक्षण बिन्दु दोनों विवर्तन उत्पन्न करने वाले द्वारक या अवरोध से सीमित दूरी पर स्थित होते हैं तो विवर्तन फ्रेनल विवर्तन कहलाता है। फ्रेनल विवर्तन में आपतित व विवर्तित तरंगाग्र गोलीय अथवा बेलनाकार होते हैं (चित्र (12.19))।



चित्र 12.19

(b) फ्रॉनहॉफर विवर्तन (Fraunhofer Diffraction) – जब प्रकाश स्रोत एवं प्रेक्षण बिन्दु दोनों की विवर्तन उत्पन्न करने वाले अवरोध या द्वारक से प्रभावी दूरी अनन्त हो अर्थात् आपतित तथा विवर्तित तरंगाग्र दोनों समतल तरंगाग्र हों तो इस प्रकार का विवर्तन फ्रॉनहॉफर विवर्तन कहलाता है (चित्र (12.20))।



चित्र 12.20

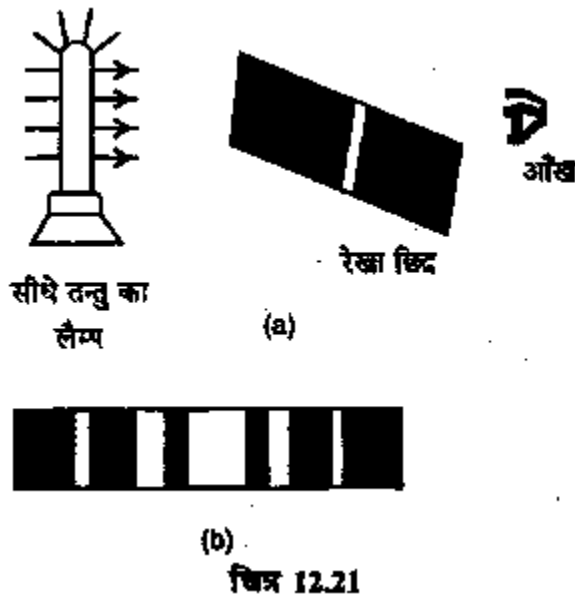
फ्रेनल तथा फ्रॉनहॉफर विवर्तनों की तुलना (Comparison between Fresnel and Fraunhofer's Diffraction)

क्र.सं.	फ्रेनल विवर्तन	फ्रॉनहॉफर विवर्तन
1.	प्रकाश-स्रोत एवं पर्दा दोनों विवर्तक से सीमित दूरी पर होते हैं।	प्रकाश-स्रोत एवं पर्दा दोनों प्रभावी विवर्तक से अनन्त दूरी पर होते हैं।
2.	इसमें आपतित एवं विवर्तित तरंगाग्र गोलीय या बेलनाकार होते हैं।	इसमें आपतित एवं विवर्तित तरंगाग्र समतल होते हैं।
3.	इस विवर्तन में स्रोत एवं पर्दे की विवर्तक से दूरियाँ महत्वपूर्ण होती हैं।	इस विवर्तन में तरंगाग्रों का विवर्तक पर झुकाव महत्वपूर्ण होता है।
4.	इसमें प्रेक्षण लेन्स या दर्पण की सहायता के बिना लिये जाते हैं।	इसमें प्रेक्षण लेन्स (दूरदर्शक के लेन्स द्वारा) की सहायता से लिये जाते हैं।
5.	इसमें केवल एक विवर्तक का विवर्तन प्रभाव होता है।	इसमें एक या एक से अधिक विवर्तकों के विवर्तन का सम्मिलित प्रभाव हो सकता है।
6.	इसके विवर्तन प्रतिरूप का केन्द्र विवर्तक के आकार के अनुसार अदीप्त या प्रदीप्त होता है।	इसके विवर्तन प्रतिरूप का केन्द्र सदैव प्रदीप्त होता है।

प्रश्न 5. एकल झिरी से फ्रॉनॉफर विवर्तन को समझाइये।

उत्तर: एकल झि के कारण फ्रॉनहॉफर विवर्तन
(Diffraction of Light at a Single Slit)

चित्र 12.21 (a) में एकल रेखा-छिद्र से विवर्तन प्रतिरूप देखने की। व्यवस्था एवं चित्र 12.21 (b) में दिखाई देने वाला विवर्तन प्रतिरूप दिखाया गया है। रेखा-छिद्र प्राप्त करने के लिए काले पेंट से रंगी हुई काँच की प्लेट पर ब्लेड की तीक्ष्ण धार से एक पतली रेखा खींच लेते हैं। यही रेखा, रेखा-छिद्र का कार्य करती है। इस स्लिट युक्त प्लेट को एक सीधे एवं ऊर्ध्वाधर तन्तु वाले लैम्प से कुछ मीटर की दूरी पर चित्र 12.21 (a) की भाँति रखते हैं। स्लिट से लैम्प की अधिक दूरी इसलिए रखी जाती है ताकि स्लिट पर समान्तर किरण पुंज आपतित हो। स्लिट के पीछे की तरफ से स्लिट को देखने पर हमें चित्र 12.21 (b) की भाँति 'विवर्तन प्रतिरूप' दिखाई देता है अर्थात् हमें एक तन्तु दिखाई न देकर बीच में एक श्वेत चौड़ी पट्टी दिखाई देती है जिसके दोनों ओर तीन-चार रंगीन परन्तु कम चौड़ी पट्टियाँ दिखाई देती हैं। इन पट्टियों की तीव्रताएँ क्रमशः

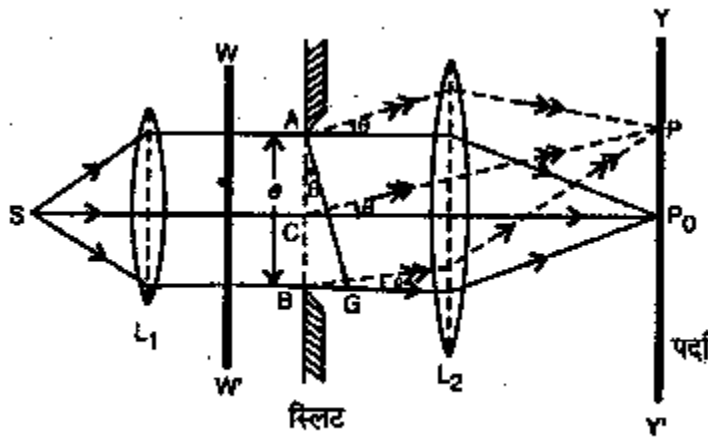


घटती जाती हैं। इन रंगीन पट्टियों के मध्य बढ़ती चौड़ाई की अदीप्त पट्टियाँ होती हैं। रेखा-छिद्र जितना बारीक होता है, 'विवर्तन प्रतिरूप' (Diffraction pattern) उतना ही अधिक फैला हुआ होता है तथा बीच की दीप्त पट्टी भी उतनी ही अधिक फैली होती है। विवर्तन प्रतिरूप के बनना यह प्रदर्शित करता है कि जब प्रकाश रेखा-छिद्र से होकर गुजरता है तो रेखा-छिद्र के किनारों पर थोड़ा-सा मुड़ जाता है।

यदि रेखा-छिद्र को चौड़ा करते जायें तो विवर्तन प्रतिरूप का फैलाव कम होता जाता है और धीरे-धीरे एक निश्चित स्लिट चौड़ाई के बाद रंगीन पट्टियों का दिखाई देना बन्द हो जाता है और एक पतली रेखा दिखाई देने लगती है अर्थात् स्लिट से होकर प्रकाश संचरण ऋजुरेखीय हो जाता है। स्पष्ट है कि विवर्तन का होना आपतित प्रकाश की तरंगदैर्घ्य के सापेक्ष रेखा-छिद्र की चौड़ाई पर निर्भर करता है। यदि रेखा-छिद्र की चौड़ाई आपतित प्रकाश की तरंगदैर्घ्य की कोटि की है तो विवर्तन होगा अन्यथा विवर्तन उपेक्षणीय होगा।

ज्यामितीय व्यवस्था (Geometrical Arrangement)

एकल रेखा-छिद्र द्वारा विवर्तन की प्रयोग व्यवस्था चित्र (12.22) में प्रदर्शित है। S एक एकवर्णी प्रकाश-स्रोत है जिसे एक उत्तल लेन्स L_1 के प्रथम फोकस पर रखा गया है ताकि लेन्स से समान्तर किरण पुंज निकल कर एक समतल तरंगाग्र WW' की रचना कर सके। यह समतल तरंगाग्र e चौड़ाई के एक स्लिट AB पर आपतित होता है। जैसे ही तरंगाग्र स्लिट पर आपतित होता है तो हाइगेन्स के तरंग सिद्धान्त के अनुसार तरंगाग्र का प्रत्येक बिन्दु द्वितीयक तरंगिकाओं के स्रोत की भाँति कार्य करने लगता है। और इनसे द्वितीयक तरंगिकाएँ निकलने लगती हैं। इन विवर्तित किरणों को लेन्स L_2 द्वारा पर्दे YY' पर फोकस कर लिया जाता है। स्लिट से एक निश्चित कोण पर विवर्तित सभी किरणें पर्दे के एक बिन्दु पर फोकस होती हैं। इस प्रकार पर्दे पर विवर्तन प्रतिरूप प्राप्त हो जाता है।

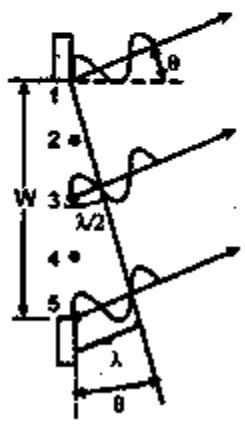
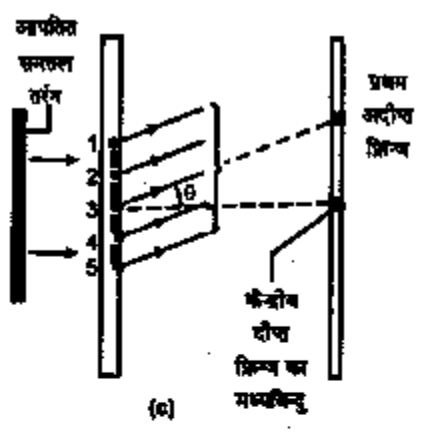
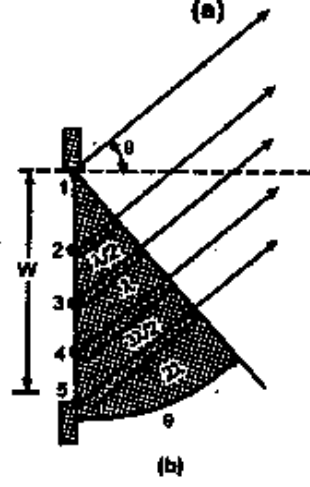
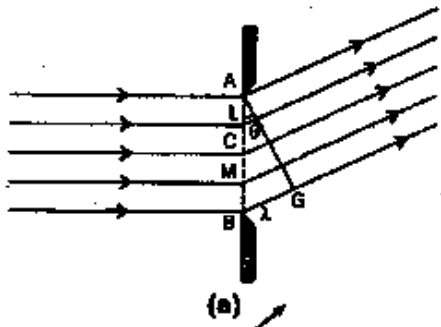


चित्र 12.22 विवर्तन प्रारूप

व्याख्या (Explanation)- $\theta = 0$ कोण पर विवर्तित होने वाली तरंगें पर्दे के केन्द्रीय बिन्दु P_0 पर फोकस होती हैं अर्थात् P_0 पर अध्यारोपित होती हैं। ये सभी समान कला में होती हैं, अतः P_0 पर दीप्त बैण्ड प्राप्त होता है। यह एक चौड़ी दीप्त पट्टी होती है। इसे केन्द्रीय दीप्त बैण्ड कहते हैं। इस बैण्ड के दोनों ओर घटती हुई तीव्रता के अदीप्त व दीप्त बैण्ड एकान्तर क्रम में प्राप्त होते हैं। रेखा-छिद्र की चौड़ाई e का मान जितना कम होता है, उसका विवर्तन प्रतिरूप उतना ही अधिक फैला होता है तथा केन्द्रीय बैण्ड उतना ही अधिक चौड़ा होता है।

P_0 पर बना दीप्त बैण्ड 'केन्द्रीय उच्चिष्ठ' अथवा 'मुख्य उच्चिष्ठ' या 'प्रधान उच्चिष्ठ' (Principal maxima) कहलाता है तथा इसके दोनों ओर घटती तीव्रता के दीप्त बैण्ड 'गौण उच्चिष्ठ' (Secondary maxima) कहलाते हैं। दो क्रमागत दीप्त बैण्डों के बीच स्थित अदीप्त बैण्डों को 'निम्निष्ठ' (minima) कहते हैं।

प्रकाश संचरण दिशा से θ कोण पर विवर्तित तरंगिकाएँ पर्दे पर केन्द्रीय बिन्दु P_0 से ऊपर बिन्दु P पर फोकस होती हैं। ये तरंगिकाएँ रेखा-छिद्र AB के विभिन्न भागों से एक ही कला में चलती हैं परन्तु P पर भिन्न-भिन्न कलाओं में (पथान्तर के अनुसार) पहुँचकर परस्पर अध्यारोपित होती हैं। चित्र (12.23) में AG किरण BG पर लम्ब डाला गया है। तल AG से पर्दे के P बिन्दु के लिए प्रकाशिकीय पथ समान है। अतः रेखाछिद्र के बिन्दु A तथा B से चलने वाली तरंगिकाओं के मध्य पथान्तर $BG = \lambda$ है। माना पथान्तर $BG = \lambda$, जहाँ λ प्रकाश की तरंगदैर्घ्य है और AB



चित्र 12.23

की चौड़ाई को n बराबर भागों में बाँट लिया जाता है। प्रत्येक अर्द्ध भाग के संगत बिन्दुओं से चलने वाली तरंगिकाओं के बीच पथान्तर $\lambda/2$ होगी। अतः वे P पर अदीप्त बैण्ड उत्पन्न करेंगी। यह प्रथम निम्निष्ठ होगा जिसके लिए $BG = \lambda$ । इस तथ्य को चित्र (12.23) की सहायता से आसानी से समझा जा सकता है। चूंकि A व B से उत्सर्जित तरंगिकाओं के मध्य पर्दे के P बिन्दु पर पहुँचने पर पथान्तर λ है तो A तथा C से चली द्वितीयक तरंगिकाओं के मध्य पथान्तर $\lambda/2$ होगा। इसी प्रकार C व B से चली तरंगिकाओं के मध्य पथान्तर $\lambda/2$ होगा।

स्पष्ट है कि तरंगाग्र के अर्द्धभाग AC के प्रत्येक बिन्दु के संगत निचले अर्द्धभाग CB में एक बिन्दु होगा जिसके लिए पथान्तर का मान $\lambda/2$ होगा। इसी प्रकार के बिन्दुओं का एक युग्म L व M दिखाया गया है। इस प्रकार P बिन्दु पर तरंगाग्र के भाग AC व CB से चलने वाली तरंगिकाएँ विपरीत कला में पहुँचती हैं और प्रथम निम्निष्ठ उत्पन्न करती हैं।

चित्र 12.23 से, ΔABG में—

$$\frac{BG}{AB} = \sin \theta$$

$$\therefore BG = AB \sin \theta$$

$$\text{या } BG = e \sin \theta,$$

जहाँ $e = AB =$ रेखा-छिद्र की चौड़ाई

अतः P पर प्रथम निम्निष्ठ की स्थिति के लिए

$$e \sin \theta = \lambda$$

अतः सभी निम्निष्ठों के लिए

$$e \sin \theta = \pm m\lambda \quad \dots(1)$$

जहाँ $m = 1, 2, 3, 4, \dots$

जबकि $m = 0$ मुख्य उच्चिष्ठ की स्थिति के संगत है।

यहाँ समीकरण (1) में \pm चिह्न यह दर्शाता है कि निम्निष्ठ P_0 के दोनों ओर बनते हैं।

दो क्रमागत निम्निष्ठों के बीच कम चमकीले उच्चिष्ठ प्राप्त होते हैं, जिन्हें गौण उच्चिष्ठ (Secondary maxima) कहते हैं। इनकी तीव्रता प्रधान उच्चिष्ठ के दोनों ओर चित्र 10.24 के अनुसार बदलती है। यदि θ बहुत छोटा है तो

$$\sin \theta = \theta$$

$$\therefore e \cdot \theta = \pm m\lambda$$

$$\text{या } \theta = \pm \frac{m\lambda}{e} \quad \dots(2)$$

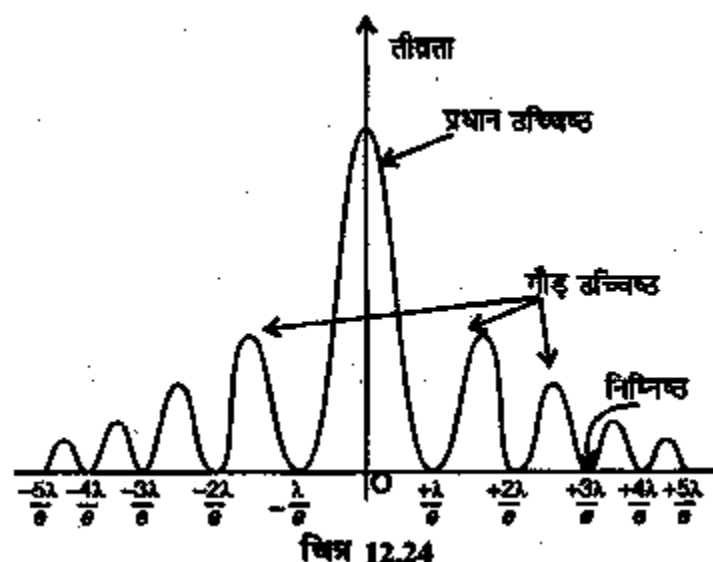
अतः $\theta = 0$ प्रधान उच्चिष्ठ की स्थिति

एवं
$$\theta = \pm \frac{\lambda}{e}; \pm \frac{2\lambda}{e}; \pm \frac{3\lambda}{e}, \dots$$

= क्रमागत निम्निष्ठों की कोणीय स्थितियाँ

गौण ठच्चिष्ठों की कोणीय स्थितियों के लिए

$$\theta = \pm \frac{3\lambda}{2e}; \pm \frac{5\lambda}{2e}; \pm \frac{7\lambda}{2e}, \dots$$



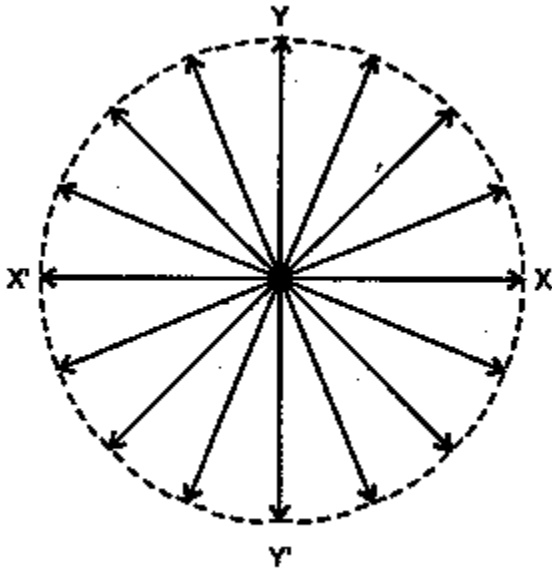
प्रश्न 6. ध्रुवण किसे कहते हैं ? विद्युत सदिश की सहायता से ध्रुवण को समझाइये। स्पष्ट कीजिए कि यह अनुप्रस्थ तरंगों का ही गुण क्यों है ?

उत्तर: ध्रुवण एवं प्रकाश का ध्रुवण (Polarisation and Polarisation of Light)

(a) अध्रुवित तथा ध्रुवित तरंग (Unpolarised and Polarised Waves)

तरंगों दो प्रकार की होती हैं-अनुदैर्घ्य तरंगों तथा अनुप्रस्थ तरंगों। अनुदैर्घ्य तरंग में माध्यम के कण तरंग संचरण की दिशा में कम्पन करते हैं। तात्पर्य यह है कि तरंग के चलने की दिशा में खींचे जा सकने वाले समस्त सम्भव तलों में कम्पन ठीक एक जैसे होते हैं। इस प्रकार भी कहा जा सकता है कि अनुदैर्घ्य तरंग संचरण-दिशा के चारों ओर पूर्णतः सममित (Symmetrical) होती है। इसके विपरीत, अनुप्रस्थ तरंग में माध्यम के कण तरंग-संचरण की दिशा के लम्बवत् कम्पन करते हैं। उदाहरण के लिए, मान लीजिए तरंग Z-अक्ष के अनुदिश (कागज के तल के लम्बवत्) चल रही है। ऐसी दशा में माध्यम के कण Z-अक्ष के लम्बवत् तल XY में सभी दिशाओं में कम्पन कर सकते हैं। ये कम्पन X-दिशा में या Y-दिशा में या X व Y

दिशा से किसी भी कोण पर हो सकते हैं (चित्र (12.28))। यदि तरंग

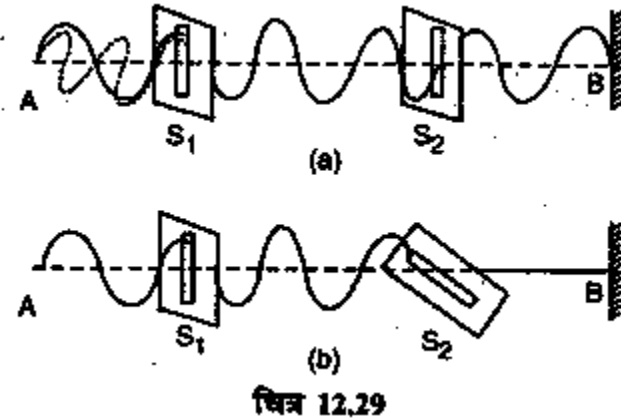


चित्र 12.28

ऐसी है जिसमें माध्यम के कणों के कम्पन तरंग संचरण की दिशा के लम्बवत् तल में सभी दिशाओं में समान रूप से होते हैं तो तरंग को अध्रुवित तरंग कहते हैं। परन्तु यदि ये कम्पन XY तल में सभी दिशाओं में समान रूप से न होकर किसी एक निश्चित दिशा में होते हैं तो तरंगों को ध्रुवित कहा जाता है। अतः यदि तरंग ऐसी है जिसमें माध्यम के कणों के कम्पन संचरण-दिशा के लम्बवत् तल में किसी एक निश्चित दिशा में होते हैं तो तरंग को ध्रुवित तरंग कहा जाता है। अतः जब कणों के कम्पन तरंग-संचरण की दिशा के लम्बवत् तल में केवल एक दिशा में होते हैं तब हम इसे इस प्रकार भी कह सकते हैं कि अनुप्रस्थ तरंग में कम्पन, तरंग के चलने की दिशा के चारों ओर असममित (asymmetrical) है। अनुप्रस्थ तरंग द्वारा तरंग के चलने की दिशा के चारों ओर दोलनों में सममिति (Symmetry) की कमी प्रदर्शित करना ध्रुवण कहलाता है। इस प्रकार हम देखते हैं कि अनुदैर्घ्य तरंगों में ध्रुवण सम्भव नहीं है, केवल अनुप्रस्थ तरंगों में ही ध्रुवण सम्भव है। इसे चित्र 12.29 में प्रदर्शित प्रयोग द्वारा भी देखा जा सकता है।

प्रयोग में S_1 व S_2 दो स्लिटों से होकर कोई डोरी गुजारी जाती है जो B सिरे पर बँधी है और A सिरे को हाथ से पकड़कर उसमें अनुप्रस्थ तरंगें उत्पन्न की जाती हैं। जब दोनों स्लिटें परस्पर समान्तर होती हैं [चित्र (12.29) (a)] तो A पर उत्पन्न अनुप्रस्थ कम्पन दोनों स्लिटों को पार करके B तक पहुँच जाते हैं। जब दोनों स्लिटें परस्पर लम्बवत् [चित्र (12.29) (b)] होती हैं। तो A पर उत्पन्न कम्पन S , को तो पार कर जाते हैं लेकिन S , को पार नहीं कर पाते हैं। यह व्यवहार अनुप्रस्थ कम्पनों के कारण होता है। स्लिट s , इस बात की परीक्षा करती है कि S , से निर्गत कम्पन ध्रुवित हैं अथवा नहीं, अतः S , को विश्लेषक (Analyser) कहते हैं और S , को ध्रुवक (Polariser) कहते हैं क्योंकि इससे केवल इसके अनुदिश होने वाले कम्पन ही आर-पार

निकल पाते हैं।



यदि डोरी में अनुदैर्घ्य तरंगें उत्पन्न की जाये तो S_1 व S_2 स्लिटें चाहे जिस स्थिति में रहें, अनुदैर्घ्य कम्पन उन्हें पार कर जायेंगे अर्थात् स्लिटों की स्थिति का अनुदैर्घ्य कम्पनों पर कोई प्रभाव नहीं पड़ेगा। इस प्रयोग से यह सिद्ध होता है कि केवल अनुप्रस्थ तरंगों में ही ध्रुवण सम्भव है, अनुदैर्घ्य तरंगों में नहीं।

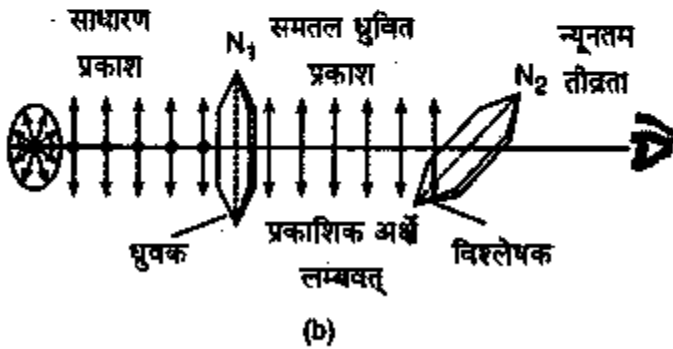
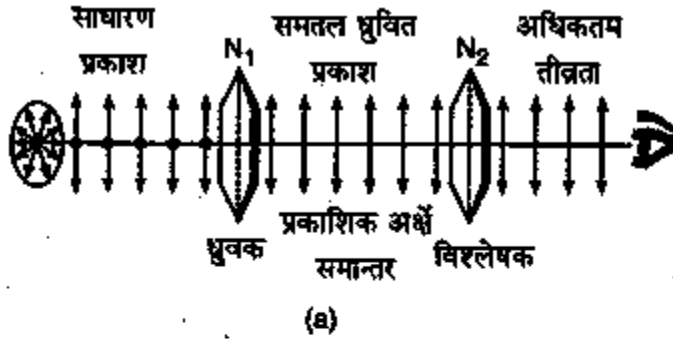
(b) प्रकाश का ध्रुवण (Polarisation of Light)

प्रकाश द्वारा व्यतिकरण एवं विवर्तन प्रदर्शित करना यह प्रमाणित करता है कि प्रकाश की प्रकृति, तरंग प्रकृति है लेकिन प्रकाश तरंग अनुदैर्घ्य हैं अथवा अनुप्रस्थ, यह जानकारी हमें ध्रुवण की घटना से ही मिलती है। ध्रुवण की घटना हमें बताती है कि प्रकाश-तरंगें अनुप्रस्थ होनी चाहिए क्योंकि ध्रुवण अनुदैर्घ्य तरंगों में सम्भव नहीं है। सन् 1690 में हाइगेन्स ने ध्रुवण की घटना की खोज की और प्रकाश-तरंगों को अनुदैर्घ्य मानने का अपना प्रारम्भिक विचार उन्हें त्यागना पड़ा क्योंकि तरंगों को अनुदैर्घ्य मानकर ध्रुवण की व्याख्या सम्भव नहीं है। सन् 1830 में फ्रेस्नेल (Fresnel) ने यह प्रमाणित किया कि प्रकाश तरंगें अनुप्रस्थ होती हैं।

प्रकाश-तरंगों की अनुप्रस्थ प्रकृति का प्रायोगिक प्रमाण- प्रकाश-तरंग की अनुप्रस्थ प्रकृति प्रमाणित करने के लिए हम टूर्मेलीन के दो क्रिस्टल N_1 व N_2 लेते हैं। टूर्मेलीन का रासायनिक नाम ऐलुमिनियम बोरोन सिलिकेट है और यह प्रकाश के लिए पारदर्शी होता है। इन क्रिस्टलों को इस प्रकार काटा जाता है कि उनकी असें उनके धरातल में होती हैं। साधारण प्रकाश जब एक क्रिस्टल N_1 पर अभिलम्बवत् डाला जाता है तो क्रिस्टल से निर्गत प्रकाश कुछ-कुछ हरे रंग का दिखाई पड़ता है। अब यदि क्रिस्टल N_1 को प्रकाश संचरण के परितः घुमाया जाय तो उससे निर्गत प्रकाश की तीव्रता में कोई अन्तर नहीं पड़ता है। इससे यह ज्ञात होता है कि प्रकाश किरण के चलने की दिशा के लम्बवत् तलों में प्रकाश तरंग के कम्पन सभी दिशाओं में सममित रूप से (Symmetrical) होते हैं।

अब क्रिस्टलों N_1 व N_2 को इस प्रकार रखा जाता है कि दोनों की प्रकाशिक असें परस्पर समान्तर हों (चित्र (12.30) (a))। जब साधारण प्रकाश को क्रिस्टल N_1 पर अभिलम्बवत् डाला जाता है तो N_2 से निर्गत प्रकाश की तीव्रता अधिकतम होती है। अब यदि क्रिस्टल N_2 को उसके ही तल में धीरे-धीरे घुमाया जाये तो

N_2 से निर्गत प्रकाश की तीव्रता लगातार कम होती जाती है और जब दोनों क्रिस्टलों की प्रकाशिक अक्षें



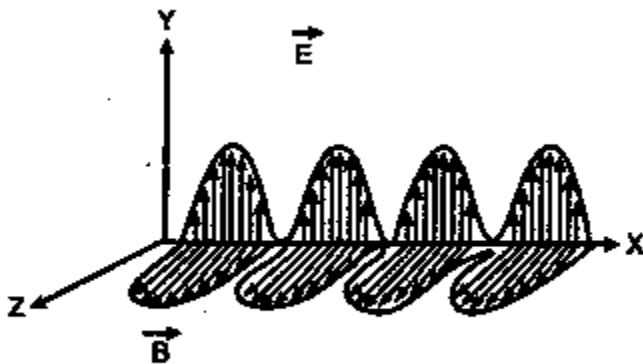
चित्र 12.30

परस्पर लम्बवत् हो जाती हैं तो N_2 से निर्गत प्रकाश की तीव्रता न्यूनतम (शून्य) हो जाती है एवं दृष्टि क्षेत्र में अंधेरा हो जाता है। चित्र (12.30) (b)]। अब यदि N_2 को उसी दिशा में घुमाते रहें तो उससे निर्गत प्रकाश की तीव्रता बढ़ने लगती है और दोनों क्रिस्टलों की अक्षें परस्पर समान्तर हो जाती हैं तो पुनः N_2 से निर्गत प्रकाश की तीव्रता अधिकतम हो जाती है। यदि N_2 को स्थिर रखकर N_1 को घुमाया जाये तो भी ये ही प्रेक्षण प्राप्त होते हैं। इस प्रकार इस प्रयोग से स्पष्ट है कि प्रकाश केवल अनुप्रस्थ तरंगों के रूप में चलता है अन्यथा यदि प्रकाश अनुदैर्घ्य तरंगों के रूप में चलता होता है तो क्रिस्टल N_2 से निर्गत प्रकाश की तीव्रता सदैव एकसमान रहती है। प्रकाश की इस तीव्रता पर N_1 व N_2 को एक-दूसरे के सापेक्ष घुमाने का कोई प्रभाव नहीं पड़ता।

पहले क्रिस्टल N_1 को 'ध्रुवक' (polariser) कहते हैं क्योंकि यह प्रकाश का ध्रुवण करता है और दूसरे क्रिस्टल N_2 को विश्लेषक (analyser) कहते हैं, क्योंकि यह क्रिस्टल ही वह परीक्षा करता है कि N_1 से निर्गत प्रकाश ध्रुवित है या नहीं।

टूर्मेलीन प्रयोग की व्याख्या-मैक्सवेल के विद्युत चुम्बकीय तरंग। सिद्धान्त के अनुसार प्रकाश तरंगें यान्त्रिक तरंगें न होकर विद्युत-चुम्बकीय तरंगें होती हैं जिनके संचरण के लिए काल्पनिक माध्यम ईथर की आवश्यकता पड़ती है। इन तरंगों में विद्युत क्षेत्र वेक्टर एवं चुम्बकीय क्षेत्र वेक्टर दोनों परस्पर लम्बवत् होते हैं तथा दोनों तरंग संचरण की दिशा के लम्बवत् तल में कम्पन करते हैं (चित्र (12.31))। प्रकाश-तरंगों का प्रकाशीय प्रभाव वैद्युत क्षेत्र वेक्टर के कम्पनों के कारण होता है। चूंकि वैद्युत क्षेत्र एवं चुम्बकीय क्षेत्र

वेक्टर के कम्पन तरंग संचरण दिशा के लम्बवत् तल में होते हैं, अतः विद्युत चुम्बकीय तरंगों की प्रकृति अनुप्रस्थ होती है।



चित्र 12.31 विद्युत चुम्बकीय तरंगों का प्रदर्शन

अब हम टूर्मलीन क्रिस्टल के साथ किये गये प्रयोग की व्याख्या विद्युत-चुम्बकीय तरंग सिद्धान्त के आधार पर करेंगे। चूंकि प्रकाश तरंगें अनुप्रस्थ होती हैं, अतः साधारण प्रकाश में विद्युत क्षेत्र वेक्टर (जिसे हम प्रकाश वेक्टर भी कहते हैं) के कम्पन तरंग संचरण की दिशा के परितः सभी दिशाओं में समान रूप से उपस्थित रहते हैं अर्थात् प्रकाश वेक्टर के दोलन सममिति (symmetry) में होते हैं। जब साधारण प्रकाश अर्थात् अधुवित प्रकाश एक टूर्मलीन क्रिस्टल से गुजारा जाता है तो क्रिस्टल के घूमने पर निर्गत प्रकाश की तीव्रता में कोई परिवर्तन नहीं होता क्योंकि क्रिस्टल की सभी स्थितियों में उसकी अक्ष के समान्तर प्रकाश वेक्टर उपलब्ध रहता है। यहाँ स्मरणीय तथ्य यह है कि क्रिस्टल द्वारा उसके अक्ष के अनुदिश कम्पन ही पारगत होते हैं, शेष रुक जाते हैं। इस प्रकार क्रिस्टल से निर्गत प्रकाश में कम्पन केवल एक ही तल में होते हैं, अतः इसे समतल ध्रुवित प्रकाश (plane polarised light) कहते हैं। स्पष्ट है कि क्रिस्टल द्वारा निर्गत प्रकाश में प्रकाश वेक्टर के दोलनों की सममिति में कमी उत्पन्न हो जाती है। इस घटना को प्रकाश का ध्रुवण कहते हैं।

जब क्रिस्टल N_1 से निर्गत प्रकाश (अर्थात् समतल ध्रुवित प्रकाश) क्रिस्टल N_2 पर आपतित होता है तो N_2 द्वारा प्रकाश वेक्टर के दोलन तभी पारगत होते हैं जब N_1 व N_2 दोनों क्रिस्टलों की प्रकाशिक अक्षें परस्पर समान्तर होती हैं। इसी स्थिति में N_2 से निर्गत प्रकाश की तीव्रता अधिकतम होती है। क्रिस्टल N_2 को उसके ही तल में धीरे-धीरे घुमाने पर N_1 से निर्गत कम्पनों के वे ही घटक (components) N_2 से पारगत होते हैं जो N_2 की प्रकाश अक्ष के अनुदिश होते हैं। इसीलिए N_2 से निर्गत प्रकाश की तीव्रता N_2 को घुमाने पर कम होने लगती है और जब N_1 व N_2 की अक्षें परस्पर लम्बवत् हो जाते हैं तो N_2 से निर्गत प्रकाश की तीव्रता शून्य हो जाती है। इस स्थिति में दोनों क्रिस्टल परस्पर 'क्रॉसित' (crossed) कहलाते हैं। इस प्रकार हम देखते हैं कि निर्गत प्रकाश की तीव्रता दोनों क्रिस्टल के अक्षों के झुकाव कोण पर निर्भर करती है।

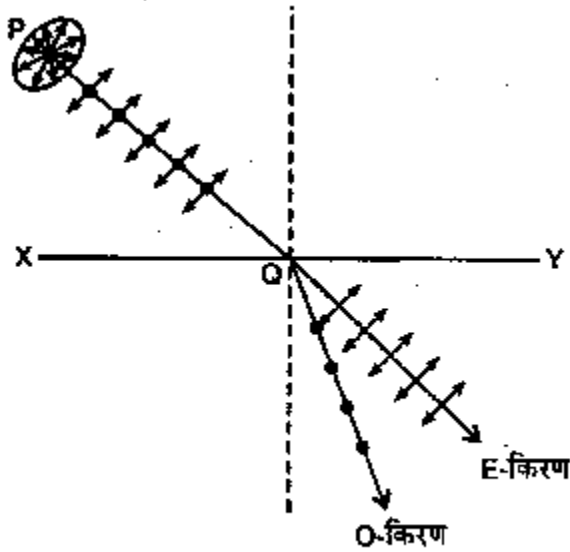
प्रश्न 7. ध्रुवित प्रकाश उत्पन्न करने की चार विधियों के नाम लिखिए। द्वि-अपवर्तन को परिभाषित कीजिए एवं इसकी व्याख्या कीजिए।

उत्तर: ध्रुवित प्रकाश उत्पन्न करने की विधियाँ-

- (i) परावर्तन द्वारा
- (ii) अपवर्तन द्वारा
- (iii) द्वि-अपवर्तन द्वारा
- (iv) द्वि-वर्णता द्वारा।

द्वि-अपवर्तन द्वारा ध्रुवण (Polarisation by Double Refraction)

कुछ क्रिस्टल; जैसे-कैल्साइट, कार्टज़ ऐसे क्रिस्टल होते हैं कि जब उन पर कोई प्रकाश किरण आपतित होती है तो वह किरण क्रिस्टल में दो अपवर्तित किरणों में विभाजित हो जाती है (चित्र (12.36))। इस घटना को द्वि-अपवर्तन कहते हैं। इनमें से एक किरण अपवर्तन के



चित्र 12.36

नियमों का पालन करती है। इसे साधारण किरण (Ordinary ray) या O-किरण कहते हैं। दूसरी अपवर्तित किरण अपवर्तन के नियमों का पालन नहीं करती है, इसे असाधारण किरण (extraordinary ray) या E-किरण कहते हैं। ये दोनों किरणें परस्पर लम्बवत् तलों में समतल ध्रुवित होती हैं। साधारण किरण में कम्पन, आपतन तल के लम्बवत् तल में और असाधारण किरण में कम्पन आपतन तल में होते हैं। व्यवहार में इन दोनों अपवर्तित समतल ध्रुवित किरणों में से एक को किसी विधि द्वारा अलग कर दिया जाता है जिससे कि क्रिस्टल में से समतल ध्रुवित प्रकाश निकल सके।

द्वि-वर्णता-टूर्मेलीन क्रिस्टल पर आपतित साधारण प्रकाश की किरण क्रिस्टल के भीतर दो ध्रुवित अपवर्तित किरणों में बँट जाती है। इनमें से एक किरण क्रिस्टल द्वारा अवशोषित कर ली जाती है। टूर्मेलीन क्रिस्टल द्वारा वरणात्मक अवशोषण की इस प्रक्रिया को द्वि-वर्णता कहते हैं।

प्रश्न 8. परावर्तन द्वारा समतल ध्रुवित प्रकाश किस प्रकार प्राप्त किया जा सकता है ? बूस्टर को नियम क्या है ? सिद्ध कीजिए कि जब एक समतल पारदर्शी पट्टिका पर प्रकाश ध्रुवण कोण पर आपतित होता है तो परावर्तित और अपवर्तित किरणें परस्पर लम्बवत् होती है।

उत्तर: परावर्तन द्वारा (Polarisation by Reflection) – सन् 1808 में फ्रांसीसी इंजीनियर 'मैलस' (Malus) ने यह ज्ञात किया कि जब साधारण प्रकाश किसी पारदर्शी माध्यम (जैसे-काँच) के पृष्ठ से परावर्तित होता है, तो वह आंशिक रूप से समतल ध्रुवित हो जाता है। सन् 1811 में 'ब्रूस्टर' (Brewster) ने इसका विस्तार से अध्ययन किया और यह बताया कि परावर्तित प्रकाश में ध्रुवित प्रकाश की मात्रा आपतन कोण पर निर्भर करती है। आपतन कोण बदलने पर एक ऐसा विशेष आपतन कोण आता है जिस पर परावर्तित प्रकाश पूर्णतः समतल ध्रुवित होता है तथा इसके कम्पन आपतन तल के लम्बवत् होते हैं। आपतन कोण के इस विशेष मान को ब्रूस्टर कोण' (Brewster's angle) अथवा 'ध्रुवण कोण' (Angle of polarisation) कहते हैं और इसे प्रायः i_p से प्रदर्शित करते हैं। पानी के लिए इसका मान लगभग 53° और काँच के लिए 57° होता है। यदि पारदर्शी माध्यम का अपवर्तनांक μ हो तो ब्रूस्टर के अनुसार μ एवं i_p in में निम्नलिखित सम्बन्ध होता है-

$$\mu = \tan i_p \dots (1)$$

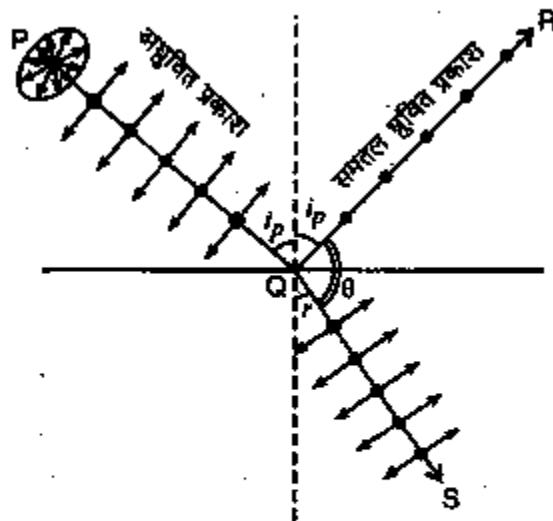
इस सूत्र को ब्रूस्टर का नियम' कहते हैं।

ध्रुवण कोण पर परावर्तित तथा अपवर्तित किरणें QR व QS परस्पर लम्बवत् होती हैं (चित्र 12.34)। इस तथ्य को निम्न प्रकार सिद्ध किया जा सकता है-

माना अपवर्तन कोण r है।

तब स्नेल के नियम से,

$$\mu = \tan i_p = \frac{\sin i_p}{\cos i_p} \dots (3)$$



चित्र 12.34

समी. (2) व (3) से

$$\frac{\sin i_p}{\sin r} = \frac{\sin i_p}{\cos i_p}$$

या

$$\sin r = \cos i_p$$

या $\cos (90^\circ - r) = \cos i_p$

या $90^\circ - r = i_p$

या $i_p + r = 90^\circ$... (4)

अब चित्र 12.34 से,

$$i_p + \theta + r = 180^\circ$$

या $\theta + 90^\circ = 180^\circ$ [समी. (4) से]

या $\theta = 180^\circ - 90^\circ = 90^\circ$

या $\theta = 90^\circ$... (5)

अर्थात् परावर्तित एवं अपवर्तित किरणें परस्पर लम्बवत् होती हैं।

यदि यह दिया गया हो कि

$$i_p + r = 90^\circ$$

तो i_p व μ में सम्बन्ध निम्न प्रकार स्थापित होगा,

$$\therefore \mu = \frac{\sin i_p}{\sin r}$$

और $r = 90^\circ - i_p$

$$\therefore \mu = \frac{\sin i_p}{\sin (90^\circ - i_p)}$$

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

या

$$\mu = \tan i_p$$

यही ब्रूस्टर का नियम है।

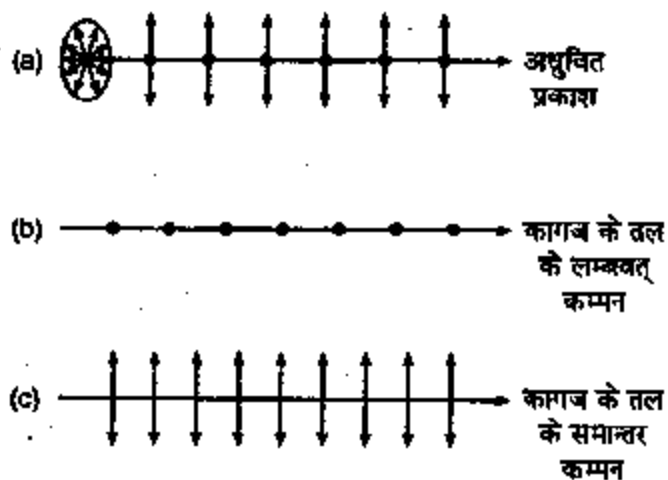
प्रश्न 9.

कम्पन तल एवं ध्रुवण तल की परिभाषा दीजिए। मैलस के नियम का उल्लेख कीजिए तथा समान्तर व क्रासित व्यवस्थाओं की व्याख्या कीजिए।

उत्तर:

प्रकाश का चित्रमय निरूपण (Pictorial Representation of Light)

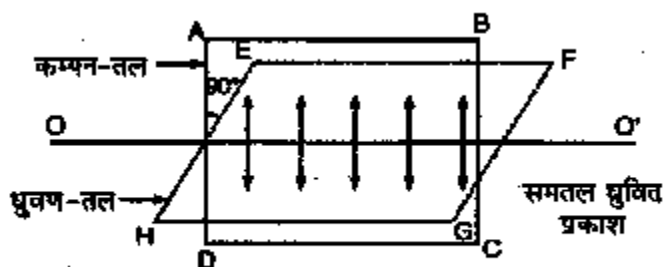
साधारण अथवा अनुवित प्रकाश में विद्युत क्षेत्र वेक्टर के कम्पन तरंग संचरण की दिशा के लम्बवत् तल में प्रत्येक दिशा में समान रूप से होते हैं।



चित्र 12.32 प्रकाश का चित्रमय निरूपण

सुविधा की दृष्टि से इन कम्पनों को दो लम्बवन्त दिशाओं में विघटित कर लेते हैं-एक तो कागज के तल (या आपतन तल) में तथा दूसरे कागज के तल के लम्बवत् तल में। अधुवित प्रकाश को चित्र 12.32 (a) की भाँति बिन्दुओं (dots) तथा तीर युक्त डैशों (dashes) दोनों की सहायता से दिखाते हैं। समतल ध्रुवित प्रकाश में कम्पन केवल एक ही तल में होते हैं। यदि कम्पन कागज के तल के लम्बवत् हैं तो ध्रुवित प्रकाश को चित्र 12.32 (b) की भाँति केवल बिन्दुओं की सहायता से दिखाते हैं और यदि कम्पन कागज के तल में हैं तो चित्र 12.32 (c) की भाँति तीरयुक्त डैशों से दिखाते हैं।

कम्पन तल (Plane of Vibration) – समतल ध्रुवित प्रकाश में जिस तल में कम्पन होते हैं, उसे कम्पन तल कहते हैं। चित्र 12.33 में OO' प्रकाश के गमन की दिशा है और ABCD कम्पन तल है। इस तल में प्रकाश के चलने की दिशा तथा वैद्युत वेक्टर के कम्पन की दिशा दोनों ही स्थित होते हैं।

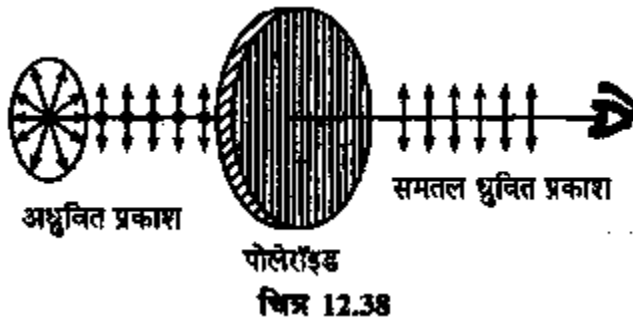


चित्र 12.33

ध्रुवण को तल (Plane of Polarisation) – वह तल जिसमें प्रकाश संचरण की दिशा स्थित हो और जिसमें कोई कम्पन नहीं होता, ध्रुवण तल कहलाता है। स्पष्ट है कि ध्रुवण तल को कम्पन तल के लम्बवत् होना चाहिए तभी कम्पनों का कोई घटक इस तल में नहीं होगा। चित्र 12.33 में EFGH ध्रुवण तल है।

पोलेरॉइड (Polaroid)

पोलेरॉइड समतल ध्रुवित प्रकाश उत्पन्न करने की एक सरल और सस्ती विधि है। यह एक बड़े आकार की फिल्म होती है जो दो काँच की प्लेटों के बीच रखी होती है। इस फिल्म को तैयार करने के लिए नाइट्रोसेलुलोज (Nitrocellulose) की एक पतली चादर (sheet) पर कुनैन आइडो-सल्फेट या हरपेथाइट के अति सूक्ष्म आकार के क्रिस्टल इस प्रकार बिठा दिये जाते हैं कि सभी क्रिस्टलों की प्रकाशिक अक्षें समान्तर रहें। यह क्रिस्टल तीव्र द्विवर्णक होते हैं जो द्वि-अपवर्तित किरणों में से एक को पूर्णतः अवशोषित कर लेते हैं तथा एक को ध्रुवित प्रकाश के रूप में निर्गत कर देते हैं। प्रत्येक पोलेरॉइड फिल्म में एक अभिलाक्षणिक दिशा होती है, जिसे 'ध्रुवण दिशा' (Polarising direction) कहते हैं। चित्र (12.38) में पोलेरॉइड फिल्म की ध्रुवण दिशा समान्तर रेखाओं द्वारा प्रदर्शित की गई है।



जब साधारण प्रकाश की एक किरण पुंज पोलेरॉइड पर आपतित होती है तो ध्रुवण दिशा के लम्बवत् कम्पन अवशोषित हो जाते हैं तथा ध्रुवण दिशा के समान्तर कम्पन पारगत हो जाते हैं। इस प्रकार पोलेरॉइड से समतल ध्रुवित प्रकाश प्राप्त होता है। पोलेरॉइड से निर्गत प्रकाश समतल ध्रुवित है अथवा नहीं, इसकी जाँच एक-दूसरे पोलेरॉइड से की जाती है। जब दोनों पोलेरॉइडों की ध्रुवण दिशाएँ समान्तर होती हैं [चित्र (12.39) (a)] तो पहले पोलेरॉइड से निर्गत प्रकाश दूसरे पोलेरॉइड



से भी पारगत हो जाता है। इसके विपरीत, जब दोनों पोलेरॉइड एक दूसरे से क्रॉस स्थिति में होते हैं अर्थात् दोनों की ध्रुवण दिशाएँ लम्बवत् होती हैं [चित्र 12.39 (b)] तो पहले पोलेरॉइड से निर्गत प्रकाश दूसरे पोलेरॉइड द्वारा रोक दिया जाता है अर्थात् दूसरे पोलेरॉइड से निर्गत प्रकाश की तीव्रता शून्य होती है। स्पष्ट है कि पोलेरॉइड द्वारा निर्गत प्रकाश समतल ध्रुवित होता है।

पोलेरॉइड से निर्गत प्रकाश की तीव्रता-यदि किसी पोलेरॉइड पर आपतित प्रकाश की तीव्रता I_0 हो तो पोलेरॉइड से निर्गत प्रकाश की तीव्रता

$$I = I_0 \cos^2 \theta \dots (1)$$

जहाँ θ , पोलैरॉइड की ध्रुवण दिशा तथा आपतित प्रकाश के विद्युत वेक्टर के बीच का कोण है। इसे 'मैलस का नियम' (Malus's Law) कहते हैं।

अर्थात् ध्रुवण तक विश्लेषण से निर्गत ध्रुवित प्रकाश की तीव्रता उनकी प्रकाशिक अक्षों के मध्य बने कोण की कोज्या के वर्ग के अनुक्रमानुपाती होती है।

यदि पोलैरॉइड पर आपतित प्रकाश अध्रुवित है तो इसमें विद्युत वेक्टर अर्थात् प्रकाश वेक्टर के कम्पन प्रकाश संचरण की दिशा के लम्बवत् तल में सभी दिशाओं में समान रूप से होंगे। अतः समी. (1) में $\cos^2 \theta$ का औसत मान रखना होगा जो कि $\frac{1}{2}$ होता है अर्थात्

$$\cos^2 \theta \text{ का औसत मान} = \frac{1}{2}$$

$$\therefore I = \frac{1}{2} I_0 \dots (2)$$

स्पष्ट है कि इस स्थिति में पोलैरॉइड से निर्गत प्रकाश की तीव्रता आपतित प्रकाश की तीव्रता की आधी हो जाती है।

यदि एक पोलैरॉइड से निर्गत प्रकाश (तीव्रता I_1) दूसरे पोलैरॉइड पर आपतित होता है तो दूसरे पोलैरॉइड से निर्गत प्रकाश की तीव्रता

$$I_2 = I_1 \cos^2 \theta \dots (3)$$

जहाँ θ , दोनों पोलैरॉइडों की ध्रुवण दिशाओं के मध्य कोण है।

यदि दोनों पोलैरॉइड समान्तर स्थिति में हैं तो

$$\theta = 0^\circ \therefore \cos^2 \theta = 1$$

$$\text{अतः} \quad I_2 = I_1 = \frac{1}{2} I_0 \text{ (अधिकतम तीव्रता)}$$

$$\text{और क्रांति स्थिति में } \theta = 90^\circ \therefore \cos^2 \theta = 0$$

$$\text{अतः} \quad I_2 = 0 \text{ (न्यूनतम तीव्रता)}$$

पोलैरॉइड के उपयोग (Uses of Polaroid)

1. पोलैरॉइड की सहायता से त्रिविमीय (Three-dimensional) चित्रों को देखा जा सकता है।
2. इनका प्रमुख उपयोग प्रकाश की चकाचौंध से बचने के लिए मोटरगाड़ियों के सामने वाले काँच में किया जाता है।
3. पोलैरॉइड का उपयोग वायुयान तथा ट्रेन में प्रवेश करने वाले प्रकाश की तीव्रता को नियन्त्रित करने के लिए भी किया जाता है।

4. LCD (Liquid crystal display) भी पोलैरोइड की क्रिया पर कार्य करता है।
5. पोलैरोइड युक्त ध्रुवमापी से प्रकाशीय घूर्णक पदार्थ जैसे शक्कर के घोल की सान्द्रता ध्रुवण तल के घूर्णन के मापन से ज्ञात की जा सकती है।
6. इनका उपयोग धातुओं के प्रकाशिक गुणों का अध्ययन एवं प्रकाशकीय घूर्णक पदार्थों की संरचना ज्ञात करने में किया जाता है।

आंकिक प्रश्न

प्रश्न 1. एक ही आकृति की दो तरंगों के आयाम 2 : 1 अनुपात में है। व्यतिकरण क्षेत्र में कम्पनों के महत्तम व न्यूनतम आयामों तथा तीव्रताओं का अनुपात ज्ञात कीजिए।

हल :

$$\text{दिया है : } a_1 : a_2 = 2 : 1; \frac{A_{\max}}{A_{\min}} = ?; \frac{I_{\max}}{I_{\min}} = ?$$

$$\therefore \frac{a_1}{a_2} = \frac{2}{1} \Rightarrow a_1 = 2a_2$$

$$\therefore \frac{A_{\max}}{A_{\min}} = \frac{(a_1 + a_2)}{(a_1 - a_2)} = \frac{\frac{a_1}{a_2} + 1}{\frac{a_1}{a_2} - 1} = \frac{\frac{2}{1} + 1}{\frac{2}{1} - 1} = \left(\frac{3}{1}\right)^2$$

$$\therefore A_{\max} : A_{\min} = 3 : 1$$

$$\therefore \text{तीव्रता} \propto (\text{आयाम})^2$$

$$\therefore \frac{I_{\max}}{I_{\min}} = \left(\frac{A_{\max}}{A_{\min}}\right)^2 = \left(\frac{3}{1}\right)^2 = \frac{9}{1}$$

$$\text{या } I_{\max} : I_{\min} = 9 : 1.$$

प्रश्न 2. किसी व्यतिकरण प्रयोग में व 4। तीव्रताओं के दो स्रोतों का उपयोग किया जाता है। उन बिन्दुओं पर तीव्रता ज्ञात कीजिए। जहाँ अध्यारोपण करती हुई दोनों स्रोतों से तरंगों के मध्य कलान्तर (अ) शून्य (ब) $\pi/2$ (स) π है।

हल :

दिया है : $I_1 = I$; $I_2 = 4I$; $I_R = ?$

(अ) जब $\phi = 0$ तो $I_R = 0$

\therefore परिणामी तीव्रता,

$$I_R = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \phi$$

$$\begin{aligned} \therefore I_R &= I + 4I + 2\sqrt{I \times 4I} \times \cos 0 \\ &= I + 4I + 4I \end{aligned}$$

या $I_R = 9I$

(ब) जब $\phi = \pi/2$ तो $\cos \phi = 0$

$$\therefore I_R = I + 4I + 0 = 5I$$

या $I_R = 5I$

(स) जब $\phi = \pi$ तो $\cos \phi = -1$

$$\begin{aligned} \therefore I_R &= I + 4I + 2\sqrt{I \times 4I} \times (-1) \\ &= I + 4I - 4I \end{aligned}$$

या $I_R = I$

प्रश्न 3. दो छिद्रों के मध्य दूरी ज्ञात कीजिए जो 1m दूरी पर रखे। पर्दे पर 1mm चौड़ाई की फ्रिंज बनाते हैं जबकि प्रकाश की तरंगदैर्घ्य 5000Å है।

हल :

दिया है : $d = ?$; $D = 1\text{m}$; $\beta = 1\text{mm} = 1 \times 10^{-3}\text{m}$; $\lambda = 5000\text{\AA}$
 $= 5 \times 10^{-7}\text{m}$

\therefore फ्रिंज की चौड़ाई,

$$\beta = \frac{D\lambda}{d} \Rightarrow d = \frac{D\lambda}{\beta}$$

$$\therefore d = \frac{1 \times 5 \times 10^{-7}}{1 \times 10^{-3}} = 5 \times 10^{-4}\text{m} = 0.5 \times 10^{-3}\text{m}$$

या $2d = 0.5\text{mm}$.

प्रश्न 4. 5500Å तरंगदैर्घ्य का प्रकाश $22 \times 10^{-5}\text{cm}$ चौड़े रेखा छिद्र पर अभिलम्बवत् आपतित है। केन्द्रीय अच्चिष्ठ के दोनों ओर प्रथम दो मिनिष्ठों की कोणीय स्थिति ज्ञात कीजिए।

हल :

दिया है : $\lambda = 5500 \text{ \AA} = 5500 \times 10^{-10} \text{ m} = 55 \times 10^{-8} \text{ m}$; $e = 22 \times 10^{-5} \text{ cm} = 22 \times 10^{-7} \text{ m}$; $\theta_1 = ?$; $\theta_2 = ?$

\therefore निम्निष्ठों की कोणीय स्थितियाँ,

$$\theta_n = \pm \frac{n\lambda}{e}$$

$$\therefore \theta_1 = \pm \frac{\lambda}{e}$$

अतः केन्द्रीय उष्णिष्ठ के एक ओर,

$$\theta_1 = \frac{\lambda}{e} = \frac{55 \times 10^{-8}}{22 \times 10^{-7}} = \frac{5}{2} \times 10^{-1} = 2.5 \times 10^{-1}$$

या $\theta_1 = 0.25 \text{ rad.}$

इसी प्रकार,

$$\theta_2 = \frac{2\lambda}{e} = 2 \times 0.25 = 0.50 \text{ rad}$$

या $\theta_2 = 0.50 \text{ rad.}$

प्रश्न 5. दो पोलैरॉइड इस प्रकार रखे हैं कि उनसे निर्गत प्रकाश की तीव्रता महत्तम है। यदि एक पोलैरॉइड को दूसरे के सापेक्ष 30° , 90° से घुमा दिया जाये तो नवीन स्थितियों में निर्गत प्रकाश की तीव्रता अधिकतम तीव्रता का कौन-सा भाग होगी ?

हल : पहले दोनों पोलैरॉइड समान्तर स्थिति में विन्यस्त हैं अतः दूसरे पोलैरॉइड से निर्गत अधिकतम तीव्रता वही होगी जो प्रथम पोलैरॉइड से निर्गत होगी।

अतः जब $\theta = 30^\circ$ तो

निर्गत तीव्रता

पहले दोनों पोलैरॉइड समान्तर स्थिति में विन्यस्त हैं अतः दूसरे पोलैरॉइड से निर्गत अधिकतम तीव्रता वही होगी जो प्रथम पोलैरॉइड से निर्गत होगी।

अतः जब $\theta = 30^\circ$ तो

निर्गत तीव्रता

$$I = I_{\max} \cos^2 (30)^\circ = I_{\max} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2 = I_{\max} \times \frac{3}{4}$$

या $\frac{I}{I_{\max}} = \frac{3}{4}$

जब $\theta = 90^\circ$ तो

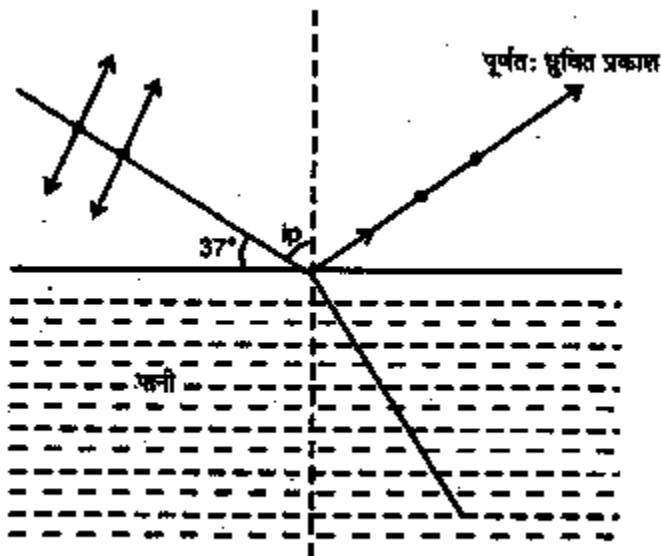
$$I = I_{\max} \cos^2 (90^\circ) = I_{\max} \times 0$$

या $I = 0.$

प्रश्न 6. जब सूर्य क्षितिज से 37° कोण पर होता है तो पानी की सतह से परावर्तित प्रकाश पूर्णतः ध्रुवित होता है। पानी का अपवर्तनांक ज्ञात कीजिए।

हल :

\therefore पानी से परावर्तित प्रकाश पूर्णतः ध्रुवित है। अतः आपतन कोण ध्रुवण कोण होगा।



$$\therefore i_p = 90 - 37^\circ = 53^\circ$$

अतः ब्रूस्टर के नियम से—

जल का अपवर्तनांक

$$\mu = \tan i_p = \tan 53^\circ = \frac{4}{3}$$

या $\mu = 1.33.$

प्रश्न 7. दो ध्रुवक प्लेटों की ध्रुवण दिशाएँ समान्तर हैं जिससे निर्गत प्रकाश की तीव्रता अधिकतम है। इनमें से एक प्लेट को कम से कम कितना घुमाया जाये कि निर्गत प्रकाश की तीव्रता अधिकतम की चौथाई रह जाये ?

हल :

$$\text{दिया है : } I = \frac{I_{\max}}{4}; \theta = ?$$

∴ मैलस के नियम से—

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

$$\therefore I = I_{\max} \cos^2 \theta$$

$$\text{या } \frac{I_{\max}}{4} = I_{\max} \cos^2 \theta$$

$$\text{या } \cos^2 \theta = \frac{1}{4}$$

$$\text{या } \cos \theta = \pm \frac{1}{2}$$

$$\therefore \theta = \pm 60^\circ.$$