

10

तरंग प्रकाशिकी

Wave Optics

प्रश्नावली

प्रश्न 1. 589 nm तरंगदैर्घ्य का एकवर्णीय प्रकाश वायु से जल की सतह पर आपतित होता है।

- (a) परावर्तित तथा (b) अपवर्तित प्रकाश की तरंगदैर्घ्य, आवृत्ति तथा चाल क्या होगी? जल का अपवर्तनांक 1.33 है।

हल प्रकाश की तरंगदैर्घ्य $\lambda = 589 \text{ nm} = 589 \times 10^{-9} \text{ m}$

जल का अपवर्तनांक $\mu_w = 1.33$

- (a) प्रकाश परावर्तन के लिए

(i) परावर्तित प्रकाश का तरंगदैर्घ्य $\lambda = 589 \times 10^{-9} \text{ मी}$

$$(ii) \text{परावर्तित प्रकाश की आवृत्ति } v = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{589 \times 10^{-9}}$$

जहाँ, c प्रकाश की चाल है

(∴ प्रकाश की चाल $c = 3 \times 10^8 \text{ मी/से}$)

$$v = 5.09 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

- (iii) (समान माध्यम में)

वायु में परावर्तित प्रकाश की चाल $c = 3 \times 10^8 \text{ मी/से}$

- (b) अपवर्तित प्रकाश हेतु (इस प्रक्रम में तरंगदैर्घ्य तथा प्रकाश की चाल परिवर्तित होती है किन्तु आवृत्ति नहीं बदलती है।)

$$\text{परावर्तित प्रकाश की तरंगदैर्घ्य } \lambda' = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{589 \times 10^{-9}}{1.33} = 4.42 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$\text{परावर्तित प्रकाश का वेग } v = \frac{c}{\mu} = \frac{3 \times 10^8}{1.33} = 2.25 \times 10^8 \text{ m/s}$$

प्रश्न 2. निम्नलिखित दशाओं में प्रत्येक तरंगाग्र की आकृति क्या है?

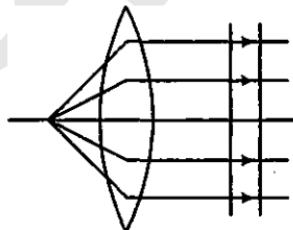
- (a) किसी बिन्दु स्रोत से अपसरित प्रकाश।
- (b) उत्तल लेंस से निर्गमित प्रकाश, जिसके फोकस बिन्दु पर कोई बिन्दु स्रोत रखा है।
- (c) किसी दूरस्थ तारे से आने वाले प्रकाश तरंगाग्र का पृथ्वी द्वारा अवरोधित (intercepted) भाग।

हल

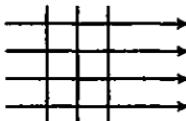
- (a) जब प्रकाश किसी बिन्दु स्रोत से अपसरित होता है तब तरंगाग्र की आकृति अपसरित गोलीय होगी जैसा कि चित्र में दर्शाया गया है



- (b) जब प्रकाश किरणों समान्तर हो जाती हैं [उत्तल लेंस से अपवर्तन के पश्चात] तब तरंगाग्र समतल होगा।



- (c) किसी दूरस्थ तारे से आने वाले प्रकाश तरंगाग्र लगभग एक-दूसरे के समान्तर है तथा समतल तरंगाग्र बनाते हैं।



प्रश्न 3. (a) काँच का अपवर्तनांक 1.5 है। काँच में प्रकाश की चाल क्या होगी? (निर्वात में प्रकाश की चाल $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ है।)

- (b) क्या काँच में प्रकाश की चाल, प्रकाश के रंग पर निर्भर करती है? यदि हाँ, तो लाल तथा बैंगनी रंग में से कौन-सा रंग काँच के प्रिज्म में धीमा चलता है?

हल

(a) काँच का अपवर्तनांक $\mu_{\text{glass}} = 1.5$

निर्वात् में प्रकाश की चाल $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

$$\text{काँच में प्रकाश की चाल } v = \frac{c}{\mu} = \frac{3 \times 10^8}{1.5}$$

$$v = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$$

(b) नहीं, प्रकाश की चाल रंगों के प्रभाव से प्रभावित होती है। हम जानते हैं कि बैंगनी रंग के प्रकाश का अपवर्तनांक, लाल रंग के प्रकाश के अपवर्तनांक से अधिक 253 होता है अतः बैंगनी रंग कम गति से चलता है तथा लाल रंग का प्रकाश तेज गति से चलता है।

$$\mu_V > \mu_R$$

प्रश्न 4. यंग के द्वितीय प्रयोग में, लिंगियों के बीच की दूरी 0.28 mm है तथा परदा 1.4 m की दूरी पर रखा गया है। केन्द्रीय दीप्त फ्रिन्ज एवं चतुर्थ दीप्त फ्रिन्ज के बीच की दूरी 1.2 cm मापी गई है। प्रयोग में उपयोग किए गए प्रकाश की तरंगदैर्घ्य ज्ञात कीजिए।

हल स्लिटों के बीच की दूरी $d = 0.28 \text{ mm} = 0.28 \times 10^{-3} \text{ m}$

पर्दे तथा स्लिट के बीच की दूरी $D = 1.4 \text{ m}$

केन्द्रीय चमकीली फ्रिन्ज तथा चौथी चमकीली फ्रिन्ज के बीच की दूरी

$$x = 1.2 \text{ cm} = 1.2 \times 10^{-2} \text{ m}$$

फ्रिन्जों की संख्या $n = 4$

$$\text{संपोषी व्यतिकरण हेतु, } x = n \frac{D\lambda}{d}$$

$$1.2 \times 10^{-2} = \frac{4 \times 1.4 \times \lambda}{0.28 \times 10^{-3}}$$

$$\text{तरंगदैर्घ्य, } \lambda = \frac{1.2 \times 10^{-2} \times 0.28 \times 10^{-3}}{4 \times 1.4}$$

$$\lambda = 6 \times 10^{-7} \text{ m} \quad \text{अथवा} \quad \lambda = 600 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$= 600 \text{ nm} \quad [\because 1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}]$$

अतः प्रकाश का तरंगदैर्घ्य $6 \times 10^{-7} \text{ m}$ है।

प्रश्न 5. यंग के द्वितीय प्रयोग में, λ तरंगदैर्घ्य का एकवर्णीय प्रकाश उपयोग करने पर, परदे के एक बिन्दु पर जहाँ पथान्तर λ है, प्रकाश की तीव्रता K इकाई है। उस बिन्दु पर प्रकाश की तीव्रता कितनी होगी जहाँ पथान्तर $\lambda/3$ है?

हल प्रकाश की तरंगदैर्घ्य $= \lambda$

जब पथान्तर λ तथा कलान्तर ϕ है

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \lambda/3 = 2\pi/3$$

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

$$I_R = I + I + 2 \sqrt{I^2} \cos 2\pi = 2I + 2I = 4I = K \quad (\text{दिया है}) \quad \dots(i)$$

$$(\because I_1 = I_2 = I)$$

जब पथान्तर $\lambda/3$ है, तब

$$\text{कलान्तर} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{3} = \frac{2\pi}{3}$$

परिणामी तीव्रता

$$I'_R = I + I + 2 \sqrt{I^2} \cos \frac{2\pi}{3} = 2I + 2I \left(-\frac{1}{2}\right) \quad \left[\because \cos \frac{2\pi}{3} = -\frac{1}{2}\right]$$

$$I'_R = I = \frac{K}{4} \quad [\text{समी (i) से}]$$

अतः प्रकाश की तीव्रता $\frac{K}{4}$ तथा पथान्तर $\frac{\lambda}{3}$ है।

प्रश्न 6. यंग के द्वितीयी प्रयोग में, व्यतिकरण फिल्जों को प्राप्त करने के लिए, 650 nm तथा 520 nm तरंगदैर्घ्यों के प्रकाश-पुंज का उपयोग किया गया।

- (a) 650 nm तरंगदैर्घ्य के लिए परदे पर तीसरे दीप्त फिल्ज की केन्द्रीय उच्चिष्ठ से दूर जात कीजिए।
- (b) केन्द्रीय उच्चिष्ठ से उस न्यूनतम दूरी को जात कीजिए जहाँ दोनों तरंगदैर्घ्यों के कारण दीप्त फिल्ज संपाती (coincide) होते हैं।

हल दिया है, तरंगदैर्घ्य $\lambda_1 = 650 \text{ nm} = 650 \times 10^{-9} \text{ m}$

तथा $\lambda_2 = 520 \text{ nm} = 520 \times 10^{-9} \text{ m}$

(a) तृतीय चमकीली फिल्ज $n = 3$

केन्द्रीय उच्चिष्ठ से तृतीय चमकीली फिल्ज की दूरी

$$\begin{aligned} x &= \frac{n\lambda D}{d} = 3 \times 650 \times 10^{-9} \times \frac{D}{d} \text{ m} \\ &= \frac{3 \times 650 \times 10^{-9} \times 1.2}{2 \times 10^{-3}} \\ &= 1.17 \times 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

(b) माना तरंगदैर्घ्य λ_2 के कारण चमकीली फिल्ज n है, जहाँ $\lambda_2 = 520 \text{ nm}$,

जो λ_1 तरंगदैर्घ्य के कारण $(n+1)$ की चमकीली फिल्ज के संगत है, जहाँ $\lambda_1 = 650 \text{ nm}$

$$\text{अर्थात्} \quad n\lambda_2 \frac{D}{d} = (n-1)\lambda_1 \frac{D}{d}$$

$$n \times 520 \times 10^{-9} = (n-1) 650 \times 10^{-9}$$

अथवा

$$4n = 5n - 5$$

अथवा

$$n = 5$$

अतः न्यूनतम् दूरी

$$x = n\lambda_2 \frac{D}{d} = 5 \times 520 \times 10^{-9} \frac{D}{d}$$

$$x = 2600 \frac{D}{d} \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$= 2600 \times \frac{1.2 \times 10^{-9}}{2 \times 10^{-3}} \text{ m}$$

$$= 1.56 \times 10^{-3} \text{ m} = 1.56 \text{ mm}$$