न्यूटन का कणिका सिद्धान्त

सर्वप्रथम न्यूटन ने कणिका सिद्धान्त प्रस्तुत किया। इनके अनुसार प्रकाश अति सूक्ष्म कणो के रूप में चलता है। इन कणों को कणिकाएँ कहते हैं। जब ये कणिकाएँ आँख की रेटिना पर पड़ती है। तो वस्तुएं दिखाई पड़ती है। इस सिद्धान्त की सहायता से प्रकाश के ऋजुरेखीय संचरण, परावर्तन, अपवर्तन इत्यादि को ही समझाया जा सकता जबकि व्यतिकरण, विवर्तन, ध्रुवण को समझाने मे यह सिद्धान्त असफल रहा।

हाइगेन्स का तरंग – सिद्धान्त

तरंगों के संचरण के लिए हाइगेन्स ने बताया कि हमारे ब्रह्माण्ड में प्रत्येक ओर लगभग भारहीन पदार्थ उपस्थित है। इस पदार्थ को ईथर कहते हैं। ईथर मे तरंगों के संचरण के लिए सारे गुण उपस्थित है। इसलिए हाइगेन्स ने माध्यम के रूप मे ईथर को चुना । हाइगेन्स ने तरंगो का संचरण निम्न परिकल्पनाओ के आधार पर समझाया ।

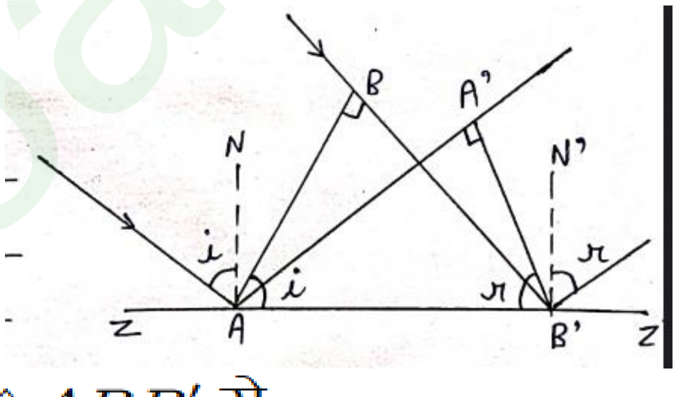
- जब कोई तरंग किसी माध्यम में संचरित होती है तो चारो ओर स्थित ईथर के कण कम्पन करने लगते है। कंपन करते हुए ईथर के वे कण जो कंपन की समान कला में होते हैं वे जिस काल्पनिक पृष्ठ पर स्थित होते हैं उसे तरंगाग्र कहते हैं।
- तरंगाग्र पर स्थित प्रत्येक कण एक नए तरंग स्त्रोत की भाँति व्यवहार करता है जिससे सभी दिशाओं में नयी गोलीय तरंगे

निकलती है। इन तरंगो को द्वितीयक तरंगिकाएँ कहते है। ये तरंगिकाएँ मूल तरंग की चाल से आगे बढ़ती है।

- किसी क्षण सभी द्वितीयक तरंगिकाओ का आवरण अर्थात उन्हें स्पर्श करते हुए खीचा गया पृष्ठ उस क्षण तरंगाग्र की नई स्थिति व्यक्त करता है। हाइगेन्स के अनुसार इसका पीछे वाला भाग अग्रसित होने वाले तरंगाग्र का भाग नहीं है।

हाइगेन्स के सिद्धांत से तरंगों के परावर्तन के नियमों की व्याख्या:-

माना एक समतल तरंगाग्र AB किसी अपारदर्शी तल ZZ′ पर आपतन कोण i पर आपतित हो रहा है। तरंगाग्र AB पर स्थित समस्त कण नये तरंग स्त्रोत का कार्य करते हैं जिससे द्वितीयक तरंगिकाओं का उत्सर्जन होता है। माना जितने समय में बिन्दु A से उत्सर्जित द्वितीयक तरंगिका बिन्दु A′ तक पहुँचती है। ठीक उतने समय बिन्दु B से उत्सर्जित द्वितीयक तरंगिका बिन्दु B′ तक पहुँच जाती है। इस प्रकार A′B′ परावर्तित तरंगाग्र के रूप में प्राप्त होता है। माना इसका परावर्तन कोण r है।



$\triangle AA'B'$ और $\triangle ABB'$ से

$$\sin i = \frac{BB'}{AB'} \quad \ldots (i)$$

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

BoardStudy

समीकरण (i) को (ii) से भाग करने पर

$$\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{BB'}{AB'}\times\frac{AB'}{AA'}$$

$$\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{BB'}{AA'}=\frac{BB'}{BB'}$$

दूरी = चाल × समय से

BB'=AA'

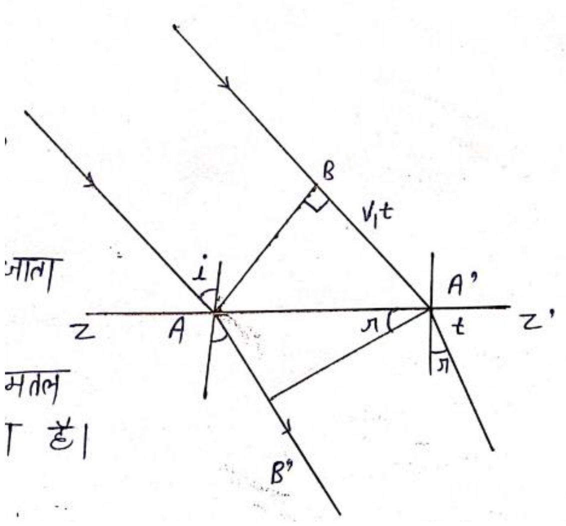
$$\frac{\sin i}{\sin r}=1 \Rightarrow \sin i=\sin r \Rightarrow i=r$$

यही परावर्तन का दूसरा नियम है।

∴ AB, A'B' तथा ZZ' एक ही तल में हैं तथा इस पर खींचे गए अभिलम्ब भी इसी तल में होंगे।
अतः आपतित किरण, अपवर्तित किरण तथा आपतन बिंदु पर अभिलम्ब तीनों एक ही तल में हैं। जो कि परावर्तन का प्रथम नियम है।

हाइगेन्स के सिद्धांत से तरंगों के अपवर्तन के नियमों की व्याख्या-

चित्रानुसार ZZ' एक अपवर्तक पृष्ठ है जो दो माध्यमों को विभक्त करता है। माना माध्यम (1) में तरंग की चाल v_1 जबकि माध्यम (2) में तरंग की चाल v_2 है। यहाँ $v_1>v_2$ होने के कारण अपवर्तित किरणे अभिलंब की ओर आती है। माना t=0 पर आपतित समतल तरंगाग्र का बिन्दु A अपवर्तक पृष्ठ ZZ' पर स्पर्श करता है। तत्पश्चात अपवर्तित हो जाता है। अपवर्तित समतल तरंगाग्र प्राप्त करने के लिए अपवर्तक पृष्ठ ZZ' के बिन्दु A से अपवर्तित तरंग पर v_2t दूरी का चाप काटा जाता है। इस चाप को बिन्दु A से मिलाने पर नया अपवर्तित समतल तरंगाग्र A'B' प्राप्त हो जाता है।



चित्र △BAA' से -

$$\sin i = \frac{v_1 t}{AA'} \quad \ldots(i)$$

△B'A'A से -

$$\sin r = \frac{V_2 t}{AA'} \quad \text{(ii)}$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V_1 t}{V_2 t}$$

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{V_1}{V_2} = \text{नियतांक (अपवर्तनांक)}$$

$$n = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

यही स्नेल का नियम है। अतः स्पष्ट है कि उपर्युक्त समीकरणों से अपवर्तन के नियमों की पुष्टि होती है।

अपवर्तनांक एवं तरंगदैर्ध्य में सम्बन्ध-

स्नेल के नियम से -

$$\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{n_2}{n_1} \quad \text{(i)}$$

हाइगेन्स के सिद्धांत से -

$$\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{V_1}{V_2} \quad \text{(ii)}$$

समीकरण (i) व (ii) से -

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{n_2}{n_1} \quad \text{(iii)}$$

$$\left(V \propto \frac{1}{\eta}\right)$$

अपवर्तन की घटना में आवृति अपरिवर्तित रहती है।

$$v=\nu\lambda$$

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad \text{(iv)}$$

समीकरण (iii) व (iv) से -

$$\frac{n_2}{n_1}=\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

$$\lambda \propto \frac{1}{\eta}$$

$$\left(\text{तरंगदैर्ध्य} \propto \frac{1}{\text{अपवर्तनांक}}\right)$$

दो तरंगों का व्यतिकरण

जब समान आवृत्ति की दो प्रगामी तरंगे एक ही दिशा में चल कर किसी बिन्दु पर अध्यारोपित होती हैं तो उस बिन्दु पर तरंगो के परिणामी तीव्रता समय के साथ स्थिर हो जाती है तथा अलग-अलग बिन्दुओं पर एकान्तर क्रम मे अधिकतम तथा न्यूनतम होती रहती है। इस घटना को तरंगों का व्यतिकरण कहते हैं।

व्यतिकरण दो प्रकार का होता है-

- **संपोषी व्यतिकरण-** वे बिन्दु जहाँ पर परिणामी तीव्रता अधिकतम होती है, वहाँ पर प्राप्त व्यतिकरण संपोषी व्यतिकरण कहलाता है।

- **विनाशी व्यतिकरण**- ऐसे बिन्दु जहाँ पर परिणामी तीव्रता न्यूनतम होती है, ऐसे बिन्दुओं पर प्राप्त व्यतिकरण विनाशी व्यतिकरण कहलाता है।

व्यतिकरण के फलस्वरूप तरंग की परिणामी तीव्रता का निगमनः-

माना समान आवृत्ति n तथा आयामो a1 व a2 की दो प्रगामी तरंगें एक ही दिशा में संचरित होती हैं। किसी क्षण t पर माध्यम के किसी बिन्दु पर इन तरंगों के कारण विस्थापन y1 & y2 हैं, तो -

$$y_1 = a_1 \sin \omega t$$

$$y_2 = a_2 \sin(\omega t + \phi)$$

अध्यारोपण के सिद्धांत से -

$$y = y_1 + y_2$$

$$y = a_1 \sin \omega t + a_2 \sin(\omega t + \phi) \quad \sin(A+B) = \sin A \cdot \cos B + \cos A \cdot \sin B)$$

$$y = a_1 \sin \omega t + a_2 \{\sin \omega t \cdot \cos \phi + \cos \omega t \cdot \sin \phi\}$$

$$y = a_1 \sin \omega t + a_2 \sin \omega t \cdot \cos \phi + a_2 \cos \omega t \cdot \sin \phi$$

$$y = (a_1 + a_2 \cos \phi) \sin \omega t + (a_2 \sin \phi) \cos \omega t$$

माना $a_1 + a_2 \cos \phi = A \cos \theta$ —— (i)

$$a_2 \sin \phi = A \sin \theta \quad \text{—— (ii)}$$

$$y = A \cos \theta \sin \omega t + A \sin \theta \cdot \cos \omega t$$

$$y = A (\sin \omega t \cdot \cos \theta + \cos \omega t \cdot \sin \theta)$$

$y = A \sin(\omega t + \theta)$ जो कि परिणामी तरंग का समीकरण है।

A - परिणामी आयाम

समी (i) & (ii) को वर्ग करके जोड़ने पर -

$$A^2\cos^2\theta + A^2\sin^2\theta = (a_1 + a_2\cos\phi)^2 + (a_2\sin\phi)^2$$

$$A^2(\sin^2\theta + \cos^2\theta) = a_1^2 + a_2^2\cos^2\phi + 2a_1a_2\cos\phi + a_2^2\sin^2\phi$$

$$A^2 = a_1^2 + a_2^2(\sin^2\phi + \cos^2\phi) + 2a_1a_2\cos\phi$$

$$A^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2\cos\phi$$

K से दोनों ओर गुणा करने पर –

$$kA^2 = ka_1^2 + ka^2 + 2ka_1a_2\cos\phi$$

$$kA^2 = ka_1^2 + ka_2^2 + 2\sqrt{ka_1^2}\sqrt{ka_2^2}\cos\phi$$

$$I \propto a^2$$

$$I = ka^2$$

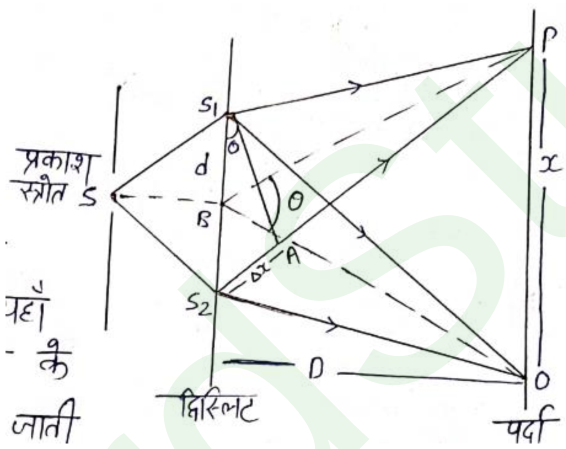
$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1}\sqrt{I_2}\cos\phi$$

$$\boxed{I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1I_2}\cos\phi}$$

जहा I – परिणामी तीव्रता है।

यंग के प्रयोग से फ्रिन्ज की चौड़ाई का निर्धारण

माना एक प्रकाश स्रोत (λ) तरंगदैर्ध्य की एक वर्णी प्रकाश से प्रकाशित है, इससे निश्चित दूरी पर एक द्विस्लिट रखी गई है, द्विस्लिट को इस प्रकार से रखा गया है कि S से S_1 तथा S_2 की दूरियाँ समान रहें। S_1 व S_2 जो है तरंगाग्र पर स्थित होते हैं। इसलिए ये नये तरंग स्रोत का कार्य करते हैं। जिनसे द्वितीयक तरंगिकाओं का उत्सर्जन होता है। ये द्वितीयक तरंगिकाएं समान दूरी तय करके बिन्दु O तक पहुँच जाती हैं। यहाँ पर इनका पथान्तर शून्य होने के कारण एक चमकीली फ्रिंज बन जाती है, जिसे शून्य क्रम फ्रिंज कहते हैं।



माना स्लिट की चौड़ाई d तथा द्विस्लिट से पर्दे की दूरी D है।

$$\triangle S_1AS_2 \sim \triangle BOP$$

$$\frac{S_2A}{OP} = \frac{S_1S_2}{BP}$$

यदि θ अत्यन्त अल्प हो तो बिन्दु P,O के अत्यन्त समीप होगा। अतः BP=BO

$$\frac{S_2A}{OP} = \frac{S_1S_2}{BO}$$

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{d}{D}$$

$$\left(\Delta x = x\frac{d}{D}\right)$$

Case 1: दीप्त फ्रिंज हेतुः- $\Delta x = m\lambda$

$$x\frac{d}{D} = m\lambda$$

$$x = m\frac{D\lambda}{d}$$ जहाँ m - फ्रिंज क्रमांक

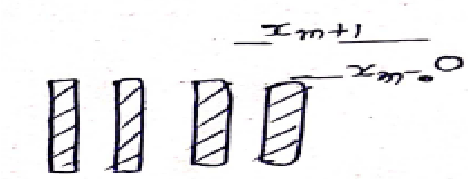
Case 2: अदीप्त फ्रिन्ज हेतुः-

$$\Delta x = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$x \cdot \frac{d}{D} = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda$$

$$\left(x = \left(m - \frac{1}{2}\right)\frac{D\lambda}{d}\right)$$

फ्रिन्ज चौडाई- किन्ही दो क्रमागत दीप्त अथवा क्रमागत अदीप्त फ्रिन्ज़ो के बीच की दूरी को फ्रिन्ज चौडाई कहते है। इसे W से प्रदर्शित करते है।



दीप्त फ्रिंज की चौड़ाई = दो क्रमागत अदीप्त फ्रिंजों के बीच की दूरी

$$W = x_{m+1} - x_m$$

BoardStudy

$$W = \left(m + 1 - \frac{1}{2}\right)\frac{D\lambda}{d} - \left(m - \frac{1}{2}\right)\frac{D\lambda}{d}$$

$$W = \left(m + \frac{1}{2}\right)\frac{D\lambda}{d} - \left(m - \frac{1}{2}\right)\frac{D\lambda}{d}$$

$$W = \frac{D\lambda}{d}\left(m + \frac{1}{2} - m + \frac{1}{2}\right) = \frac{D\lambda}{d} \quad (1)$$

$$\boxed{W = \frac{D\lambda}{d}}$$

या अदीप्त फ्रिंज की चौड़ाई = दो क्रमागत दीप्त फ्रिंजों के बीच की दूरी

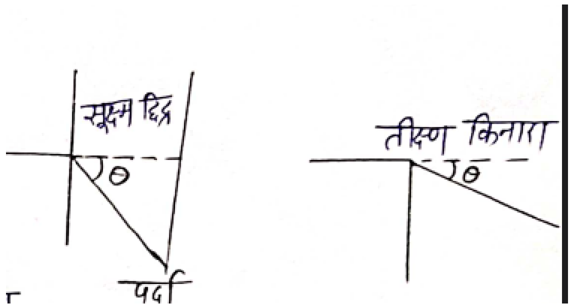
$$W' = x_{m+1} - x_m$$

$$W' = (m+1)\frac{D\lambda}{d} - m\frac{D\lambda}{d} = \frac{D\lambda}{d}(m + 1 - m) \Rightarrow \frac{D\lambda}{d}$$

अतः W=W'

तरंगों का विवर्तन

जब कोई तरंग किसी अत्यन्त सूक्ष्म छिद्र अथवा तीक्ष्ण किनारे से होकर गुजरती हैं तो वह अपने मूल पथ से आंशिक रूप से विचलित हो जाती हैं। इस घटना को तरंगों का विवर्तन कहते हैं।



Note-

- विवर्तन तरंगो का एक अभिलक्षण है।
- विवर्तन की घटना में पर्दा प्रयुक्त छिद्र का आकार तरंग की तरंगदैर्ध्य की कोटि का होना चाहिए इसे ग्रेटिग अन्तराल कहते हैं।

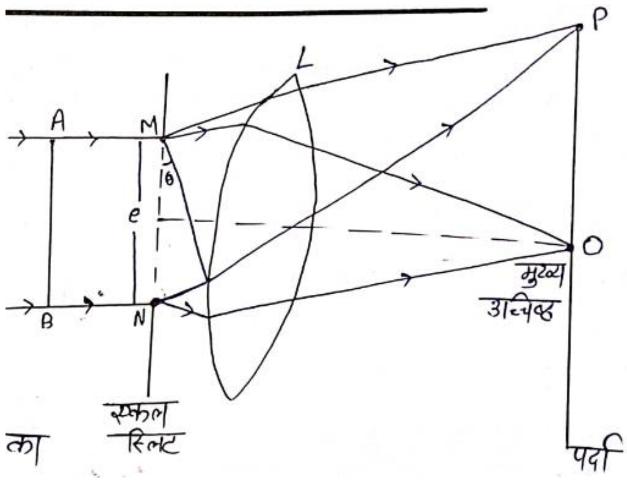
विवर्तन के प्रकार

विवर्तन दो प्रकार का होता है।

- **फ्रेनल विवर्तन-** जब तरंग स्त्रोत एवं पर्दा विवर्तक वस्तु से निश्चित दूरी पर होते हैं तो पर्दे पर प्राप्त विवर्तन को फ्रेनल विवर्तन कहते हैं। इस विवर्तन का उपयोग गोलीय एवं बेलनाकार तरंगाग्रो के अध्ययन में किया जाता है।
- **फ्रॉन हाफर विवर्तन-** जब तरंग स्त्रोत एवं पर्दा विवर्तक वस्तु से आभासी रूप से असीमित दूरी पर स्थित होते है तो पर्दे पर प्राप्त विवर्तन को फ्रॉन हाफर विवर्तन कहते है।

इस विवर्तन की सहायता से समतल तरगांग्र का अध्ययन किया जाता है।

एकल स्लिट (झिर्री) के कारण प्रकाश का विवर्तन-



माना एकवर्णी प्रकाश से प्रकाशित एक समतल तरंगाग्र AB एकल झिर्री MN पर आपतित होता है। इसकी तरंगदैर्ध्य (λ) है।
एकल झिर्री MN पर उपस्थित समस्त कण नये तरंग स्रोत का कार्य करते हैं, जहाँ से द्वितीयक तरंगिकाओं का उत्सर्जन होता है। ये द्वितीयक तरंगिकाएं सभी दिशाओं में फैल जाती हैं, विचलित नहीं होती। ये लेंस L द्वारा एक बिन्दु O पर फोकस हो जाती हैं। जहाँ पर एक दीप्त बैंड बनती है, जिसे मुख्य उच्चिष्ट कहते हैं। यदि पर्दे पर एक अन्य बिन्दु P पर बनने वाला विवर्तन प्रतिरूप, वहाँ पर पहुँचने वाली द्वितीयक तरंगिकाओं के बीच के पथांतर पर निर्भर करती है।

यदि एकल झिर्री की चौड़ाई e है और विवर्तन कोण θ है तो तरंगिकाओं पथांतर e sinθ होगा।

मुख्य उच्चिष्ट हेतु—

$$e \sin\theta = 0$$

प्रथम निम्निष्ट हेतु –

$$e \sin\theta = \pm m\lambda \quad \text{जहां } m = 1, 2, 3, 4, \ldots$$

यदि θ अत्यन्त अल्प हो तो-

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

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

$$\left(\theta = \pm\frac{m\lambda}{e}\right)$$

अतः कोणीय स्थितियां $\Rightarrow \theta_1 = \pm\frac{\lambda}{e}, \quad \theta_2 = \pm\frac{2\lambda}{e}, \quad \theta_3 = \pm\frac{3\lambda}{e}$

गौण उच्चिष्ट हेतु ⇒

$$e\sin\theta = \pm(2m+1)\ \frac{\lambda}{2}$$

$$m = 1, 2, 3, 4 \ldots$$

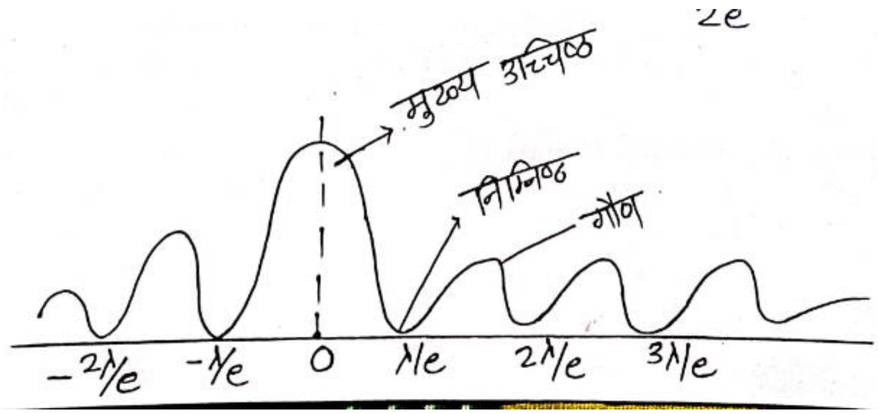
यदि θ अत्यन्त अल्प हो –

$$e\theta = \pm(2m+1)\frac{\lambda}{2}$$

$$\theta = \pm(2m+1)\frac{\lambda}{2e}$$

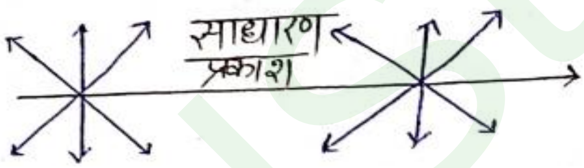
अतः कोणीय स्थितियां-

$$\theta_1 = \pm\frac{3\lambda}{2e}, \quad \theta_2 = \pm\frac{5\lambda}{2e}, \quad \theta_3 = \pm\frac{7\lambda}{2e} \ldots$$



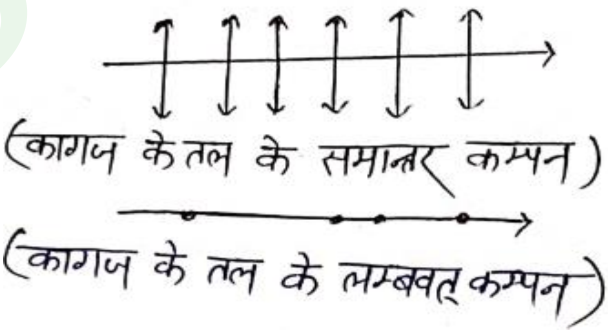
साधारण या अध्रुवित प्रकाश

जब वैद्युत वेक्टर के कम्पन की दिशा प्रकाश संचरण की दिशा के लम्बवत् सभी तलो मे होती है तो ऐसे प्रकाश को साधारण प्रकाश या अध्रुवित प्रकाश कहते हैं।



समतल ध्रुवित प्रकाश

जब वैद्युत वेक्टर के कम्पन प्रकाश संचरण की दिशा के लम्बवत् केवल एक ही तल मे होते हैं तो ऐसे प्रकाश को समतल ध्रुवित प्रकाश कहते हैं।



पोलरॉइड (Polaroid)

पोलरॉइड एक समतल ध्रुवित प्रकाश प्राप्त करने की सबसे सरल, सस्ती एवं व्यापारिक विधि है। इसे बनाने के लिए काँच की दो समान प्लेट लेते हैं, जिसमे एक प्लेट के ऊपर है नाइट्रोसेलुलोज की पतली परत बिछाकर उसके ऊपर हरपैथाइड अथवा आयडो सल्फेट आफ क्यूनाइन के क्रिस्टल इस प्रकार से बिछाते है कि उनकी प्रकाशिक अक्षे परस्पर समान्तर रहे। अब दूसरी प्लेट से पहली प्लेट को बंद कर देते हैं।

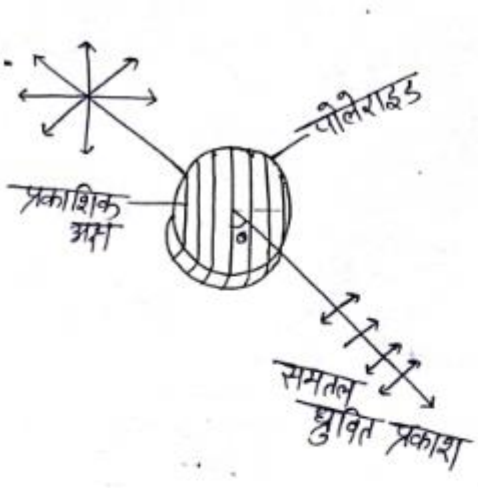
पोलेराइड के उपयोग –

- पोलेराइड का उपयोग मुख्यतः प्रकाश की चका-चौंध से बचने के लिए किया जाता है।
- पोलेराइडो का उपयोग धूप के चश्मो तथा खिड़की के काँच आदि मे तीव्रता को नियंत्रित करने में किया जाता है।
- पोलेराइडो का प्रयोग फोटोग्राफिक कैमरो तथा 3D चलचित्र चश्मो मे किया जाता है।
- पोलेराइडो का उपयोग कार की हेडलाइट में किया जाता है।

मैलस का नियम

जब साधारण प्रकाश किसी पोलेराइड द्वारा गुजरता है तो निर्गत प्रकाश समतल ध्रुवित हो जाता है एवं निर्गत प्रकाश की तीव्रता (I), प्रकाशिक

अक्ष तथा वैद्युत वेक्टर के बीच कोण (θ) की कोज्या के वर्ग के अनुक्रमानुपाती होता है।



$$[I \propto \cos^2 \theta]$$

उपपत्ति - आपतित प्रकाश की तीव्रता -

$$I = K(a\cos\theta)^2 = (Ka^2)\cos^2\theta$$

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

$$I \propto \cos^2\theta$$

Case 1: यदि प्रकाश पूर्णतः अध्रुवित हो

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

$$[I = \frac{I_0}{2}]$$

Case 2: यदि दो पोलराइड क्रासित स्थिति (θ=90) के हो

$$I = I_0\cos^2\theta \Rightarrow (I = 0)$$

BoardStudy