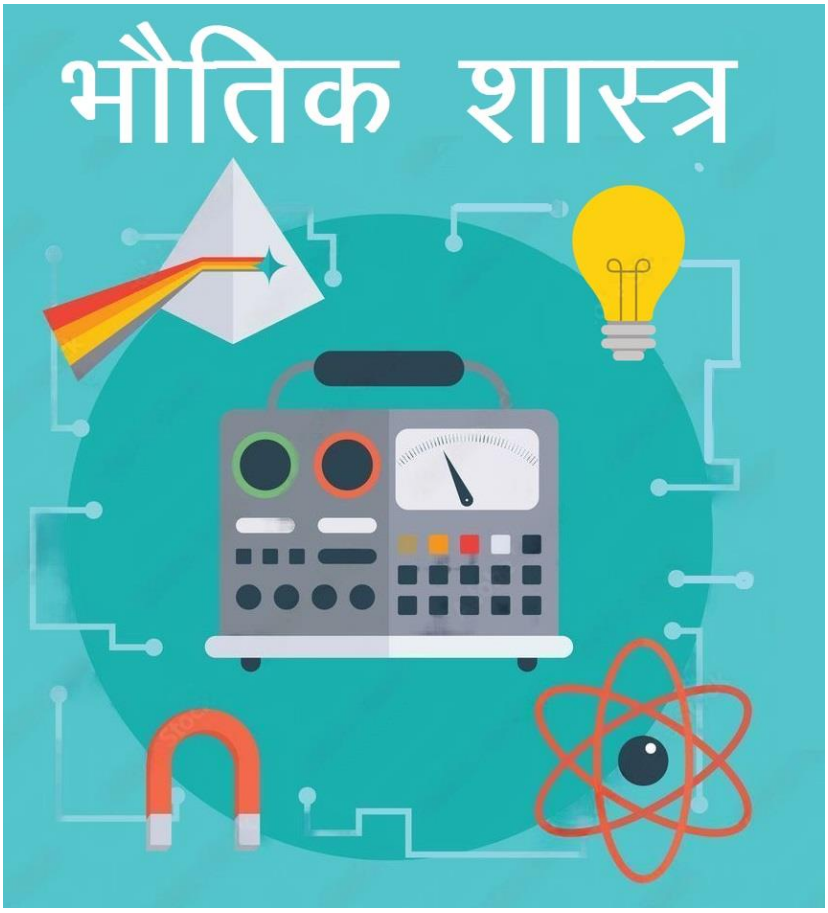
भौतिकी

अध्याय-10: स्थिर वैद्युत विभव तथा धारिता



तरंग प्रकाशिकी

तरंग प्रकाशिकी (Wave Optics) विज्ञान की वह शाखा (Branch) होती है जिसमे प्रकाश का तरंगों के रूप में अध्ययन किया जाता है| प्रकाश, Energy का ही एक Form है तथा जब प्रकाश किसी वस्तु से परावर्तित होकर हमारी आँखों में जाता है तो इस प्रकाश के परावर्तन की घटना के कारण ही वह वस्तु हमें दिखाई देने लगती है|

तरंग प्रकाशिकी के महत्वपूर्ण बिंदु निम्न प्रकार से हैं-

1. प्रकाश सीधी सरल रेखा में चलता है।
2. प्रकाश तरंगें ईथर में अधिक वेग से चलती है क्योंकि ईथर भारहीन है। इसका घनत्व बहुत ही कम तथा प्रत्यास्थता बहुत अधिक होती है।
3. हाइगेंस के द्वितीयक तरंगिकाओं के सिद्धांत से प्रकाश के परावर्तन, अपवर्तन के नियमों की तथा प्रकाश के व्यतिकरण और विवर्तन की व्याख्या की जा सकती है। एवं इस सिद्धांत से प्रकाश विद्युत प्रभाव की व्याख्या नहीं की जा सकती है।
4. अपवर्तन की घटना में तरंग की चाल तथा तरंगदैर्ध्य का मान बदल जाता है जबकि तरंग की आवृत्ति नहीं बदलती है।
5. पानी में प्रकाश की चाल हवा में प्रकाश की चाल से कम होती है। क्योंकि पानी का अपवर्तनांक, हवा के अपवर्तनांक से अधिक होता है।
6. व्यतिकरण फ्रिजों की आकृति अतिपरवलयकार होती है।
7. व्यतिकरण फ्रिजों की चौड़ाई समान भी हो सकती है अथवा नहीं भी हो सकती है। लेकिन विवर्तन फ्रिजों की चौड़ाई कभी भी समान नहीं हो सकती है।
8. ध्रुवण की घटना केवल प्रकाश में ही होती है ध्वनि में ध्रुवण की परिघटना नहीं होती है।
9. पोलेराइड द्वारा अध्रुवित प्रकाश को ध्रुवित प्रकाश में परिवर्तित किया जाता है।

हाइगेंस का तरंग सिद्धांत (huygens wave theory)

इस सिद्धांत के अनुसार, प्रकाश तरंगों के रूप में गमन करता है प्रकाश स्रोत से निकलकर ये तरंगे चारों (सभी) दिशाओं में निर्वात में प्रकाश की चाल से चलती है। चूंकि प्रकाश तरंगों का संचरण होने के लिए माध्यम की आवश्यकता होती है। इसलिए वैज्ञानिक हाइगेंस ने एक ऐसे सभी गुण वाले माध्यम ' ईथर (ether) ' की कल्पना की। क्योंकि इसमें प्रकाश तरंग के संचरण होने के सभी गुण होते हैं तथा ईथर लगभग भारहीन होता है।

निर्वात में प्रकाश की चाल 3×10^8 मीटर/सेकंड होती है। अतः ईथर का घनत्व बहुत कम होता है। एवं प्रत्यास्थता का गुण बहुत अधिक होता है तथा यह किसी भी माध्यम में प्रवेश कर सकता है। इस प्रकार के माध्यम में प्रकाश तरंगें अधिक से चलती हैं। जब यह तरंगे हमारी आंख के रेटिना पर गिरती है तो हमें वस्तु दिखाई देने लगती है।

हाइगेंस का द्वितीयक तरंगिकाओं का सिद्धांत

वैज्ञानिक हाइगेंस ने अपने सिद्धांत की परिकल्पना दी। जो निम्न है -

1. किसी माध्यम में स्थित प्रकाश स्रोत से जब तरंगे निकलती है तो स्रोत के सभी दिशाओं में स्थित माध्यम के कण गति (कंपन) करने लगते हैं। माध्यम का वह पृष्ठ जिसमें स्थित सभी कण समान कला में कंपन करते हैं तो उस पृष्ठ को तरंगाग्र कहते हैं। जब तरंग स्रोत से तरंग की दूरी बहुत अधिक हो जाती है तब तरंगाग्र समतल हो जाता है।
2. तरंगाग्र पर जितने भी माध्यम के कण उपस्थित होते हैं वह सभी कण एक नवीन (नए) तरंग स्रोत का कार्य करते हैं। इन नए तरंग स्रोत से सभी दिशाओं में तरंगे गमन करती हैं इन तरंगों को द्वितीयक तरंगिकाएं (huygens theory of secondary waves) कहते हैं। माध्यम में द्वितीयक तरंगिकाओं की चाल प्राथमिक तरंगों की चाल के बराबर ही होती है अर्थात् ये दोनों तरंगे समान चाल से चलती हैं।
3. यदि किसी समय गमन करती हुई द्वितीयक तरंगिकाओं का आवरण (envelope) या उन्हें स्पर्श करता हुआ पृष्ठ अगर खींचते हैं। तो यह आवरण उस समय तरंगाग्र की नई स्थिति प्रदर्शित करता है।

हाइगेंस के सिद्धांत की सफलताएं

1. इस सिद्धांत द्वारा प्रकाश के अपवर्तन तथा परावर्तन के नियमों की व्याख्या की जा सकती है।
2. इस सिद्धांत द्वारा प्रकाश के व्यतिकरण तथा विवर्तन की व्याख्या भी की जा सकती है।

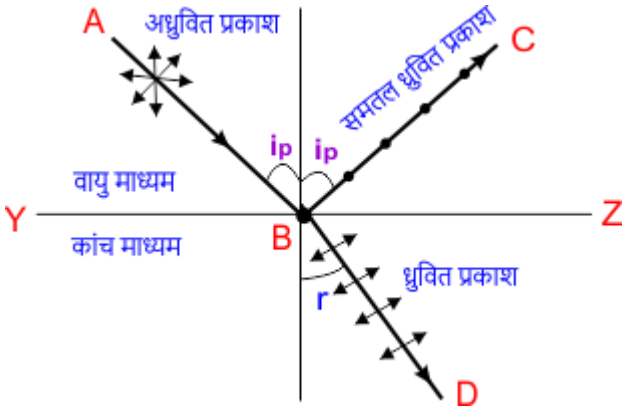
हाइगेंस के सिद्धांत की असफलताएं

1. इस सिद्धांत में प्रकाश को अनुदैर्ध्य माना गया, जिस कारण यह सिद्धांत प्रकाश के ध्रुवण की व्याख्या नहीं कर सका।
2. इस सिद्धांत द्वारा प्रकाश विद्युत प्रभाव की व्याख्या नहीं की जा सकी।

ब्रूस्टर का नियम

जब अध्रुवित प्रकाश किसी पारदर्शी माध्यम (जैसे कांच) के पृष्ठ पर परावर्तित होता है तो यह आज ध्रुवित प्रकाश संपूर्ण रूप से समतल ध्रुवित हो जाता है। वैज्ञानिक ब्रूस्टर ने मत दिया कि परावर्तित प्रकाश में ध्रुवित प्रकाश की मात्रा आपतन कोण पर निर्भर करती है। तथा एक विशेष आपतन कोण के लिए परावर्तित प्रकाश पूर्ण रूप से समतल ध्रुवित हो जाता है। इस आपतन कोण को ध्रुवण कोण कहते हैं। इसे i_p से प्रदर्शित करते हैं एवं इसके कंपन आपतन तल के लंबवत होते हैं।

ब्रूस्टर ने बताया कि पारदर्शी माध्यम के अपवर्तनांक तथा ध्रुवण कोण में निम्न संबंध होता है।



ब्रूस्टर का नियम

माना कांच का एक पृष्ठ है जिस पर AB आपतित किरण तथा BC परावर्तित किरण और BD अपवर्तित किरण है। इस पृष्ठ पर i_p आपतन कोण तथा r अपवर्तन कोण है तो स्नेल के नियम से

$$n = \frac{\sin i_p}{\sin r} \text{ समी.①}$$

चित्र द्वारा ∠PBC + ∠CBD + ∠QBD = 180°

तो $\angle i_p + \angle CBD + \angle r = 180°$ समी.②

चूंकि BC तथा BD परस्पर एक दूसरे के लंबवत है तो

$\angle CBD = 90°$

तथा $i_p + r = 90°$

या $r = 90° - i_p$

समी.① में r तथा ∠CBD का मान रखने पर

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

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

$$\boxed{n = tani}$$

इस संबंध को ही ब्रूस्टर का नियम कहते हैं।

आपतन कोण तथा अपवर्तन कोण के बीच संबंध

समी. से

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

अब ब्रूस्टर के नियम से

$$n = \tan i_p$$

दोनों समीकरणों की तुलना करने पर

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

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

$$\sin r = \cos i_p$$

$$\sin r = \sin(90 - i_p)$$

$$r = 90 - i_p$$

$$\boxed{r + i_p = 90^\circ}$$

इस समीकरण से स्पष्ट है कि परावर्तित तथा अपवर्तित प्रकाश की किरणें परस्पर लंबवत होती हैं।

व्यतिकरण

व्यतिकरण किन्हीं दो तरंगों के बीच होने वाली घटना है। जब किसी माध्यम में समान आवृत्ति की दो तरंगे एक साथ समान (एक ही) दिशा में चलती हैं तो इनके अध्यारोपण से माध्यम के कुछ बिंदुओं पर परिणामी तीव्रता बहुत अधिक होती है। तथा इसके विपरीत माध्यम के कुछ बिंदुओं पर परिणामी तीव्रता बहुत कम होती है। तरंगों की इस घटना को व्यतिकरण interference कहते हैं।

व्यतिकरण का व्यंजक

माना किसी माध्यम में एक ही आवृत्ति की दो सरल आवर्त प्रगामी तरंगे हैं। जो समान दिशा में गति कर रही है जिनके आयाम क्रमशः a_1, a_2 हैं। एवं इनके बीच कलांतर ϕ है तथा इनकी तीव्रता I_1 व I_2 हैं तो परिणामी तीव्रता

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

इस प्रकार स्पष्ट है कि किसी बिंदु पर परिणाम तीव्रता उस बिंदु पर मिलने वाली दोनों तरंगों के बीच कलांतर पर निर्भर करती है।

संपोषी व्यतिकरण

व्यतिकरण के जिन बिंदुओं पर तीव्रता अधिकतम होती है उन बिंदुओं पर हुए व्यतिकरण को संपोषी व्यतिकरण (constructive interference) कहते हैं।

संपोषी व्यतिकरण के लिए $\cos\phi = +1$

चूंकि तीव्रता आयाम, के वर्ग के अनुक्रमानुपाती होती है इसलिए

$$I \propto a^2 \text{ या } I = ka^2$$

तब परिणामी तीव्रता

$$I_{max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \times 1$$

$$I_{max} = \left(\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2}\right)^2 \{(a+b)^2 \text{ के सूत्र से}\}$$

$$I_{max} = k(a_1 + a_2)^2$$

जिन बिंदुओं पर व्यतिकरण करने वाली तरंगें एक ही कला में मिलती है। इन बिंदुओं पर परिणामी तीव्रता अधिकतम होती है।

विनाशी व्यतिकरण

व्यतिकरण में जिन बिंदुओं पर तीव्रता न्यूनतम होती है उन बिंदुओं पर हुए व्यतिकरण को विनाशी व्यतिकरण (destructive interference) कहते हैं।

संपोषी व्यतिकरण के लिए $\cos\phi = -1$

चूंकि $I \propto a^2$ तथा $I = ka^2$

तब परिणामी तीव्रता

$$I_{min} = I1 + I2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \times -1$$

$$I_{min} = \left(\sqrt{I_1} - \sqrt{I_2}\right)^2$$ {$(a-b)^2$ के सूत्र से}

$$I_{min} = k(a_1 - a_2)^2$$

जिन बिंदुओं पर व्यतिकरण करने वाली तरंगें विपरीत कला में मिलती है। तो उन बिंदुओं पर परिणामी तीव्रता न्यूनतम होती है।

विवर्तन

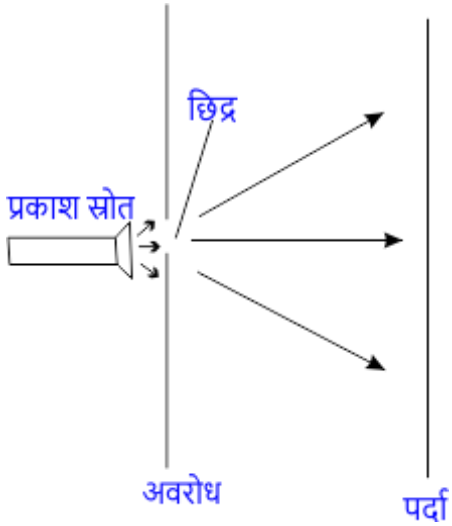
जब किसी प्रकाश स्रोत तथा जिस पर प्रकाश गिर रहा है उस पर्दे के बीच में एक अपारदर्शी रोधक एवं इसमें एक छिद्र करके रख दिया जाता है। तो जब प्रकाश स्रोत से प्रकाश गिराया जाता है तो अपारदर्शी अवरोधक की छाया पर्दे पर बनती है। एवं अवरोधक पर छिद्र के कारण प्रकाश का प्रदीप्त क्षेत्र पर्दे पर प्राप्त होता है।
इस प्रकार हमें ज्ञात होता है कि प्रकाश ऋजुरेखीय पथ पर चलता है।

परंतु यदि अवरोधक तथा छिद्र का आकार छोटा कर दिया जाता है तो प्रकाश छिद्र के किनारों पर ऋजुरेखीय पथ से विचलित हो जाता है। एवं छिद्र के किनारों पर प्रकाश संपूर्ण रूप से मुड़ जाता है।
अतः प्रकाश का इस प्रकार छिद्र के किनारों से मोड़ने की प्रक्रिया को प्रकाश का विवर्तन (diffraction) कहते हैं।

विवर्तन की परिभाषा
जब प्रकाश की किरणें किसी अवरोध अथवा छोटा छिद्र (झिर्री) पर पड़ती हैं। तो प्रकाश की किरणें छिद्र तथा अवरोध के किनारों की ओर आंशिक रूप से मुड़ जाती हैं। प्रकाश की किरणों का इस प्रकार मुड़ने की घटना को प्रकाश का विवर्तन कहते हैं।

प्रकाश के विवर्तन की घटना तभी घटित होती है जब छिद्र तथा अवरोध का आकार, प्रकाश की तरंगदैर्ध्य की कोटि का होना चाहिए।

अतः यह विवर्तन की एक आवश्यक शर्त है चित्र द्वारा स्पष्ट है।



प्रकाश का विवर्तन

फ्रेनल विवर्तन

फ्रेनल विवर्तन में प्रकाश स्रोत तथा वह पर्दा, जिस पर अवरोध की प्रतिछाया बनती है वह अवरोध अथवा द्वारक से कम दूरी पर स्थित होता है। इस प्रकार के विवर्तन में लेंसों की आवश्यकता नहीं होती है तथा इसमें आपाती तरंगाग्र (अवरोध से निकला हुआ प्रकाश) गोलाकार एवं बेलनाकार होता है।

फ्राउनहोफर विवर्तन

फ्राउनहोफर विवर्तन में प्रकाश स्रोत तथा वह पर्दा, जिस पर अवरोध की प्रतिछाया बनती है वह अवरोध अथवा द्वारक से अधिक दूरी पर स्थित होता है। इस प्रकार के विवर्तन में स्रोत तथा पर्दे को दो लेंसों के फोकस तलों में रखते है। तथा इसमें आपाती तरंगाग्र समतल होता है।

तरंगों में विवर्तन

तरंगों के लिए भी यही परिभाषा होगी -

विवर्तन तरंगों का एक महत्वपूर्ण गुण है। यह केवल तरंगों में ही दिखाई देता है कणों में नहीं।

"तरंगों का अपने मार्ग से आने वाले अवरोध के किनारों पर आंशिक रूप से मुड़ना विवर्तन कहलाता है।"

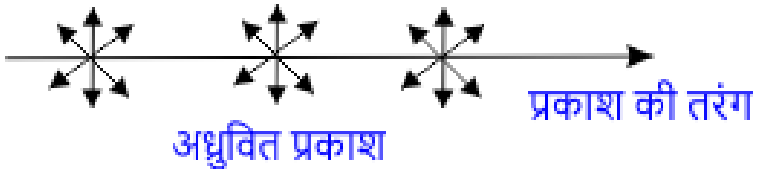
प्रकाश का ध्रुवण

जब कोई प्रकाश की तरंग किसी टूरमैलीन क्रिस्टल पर गिरती है तो क्रिस्टल से तरंग के वे कंपन ही बाहर निकलते हैं जो क्रिस्टल की अक्ष के समांतर होते हैं। एवं बाकी कंपन क्रिस्टल के कारण बाहर नहीं निकल पाते हैं वह रुक जाते हैं। तथा क्रिस्टल प्रकाश की तरंग के बाहर निकलने के बाद कंपन तरंग की चलने की लम्बवत् तल में सभी दिशाओं में समान रूप से न होकर केवल एक ही दिशा में होते हैं। इस प्रकार की तरंग को समतल ध्रुवित तरंग एवं घटना को प्रकाश का ध्रुवण (Polarisation of light) कहते हैं।

ध्रुवण की परिघटना केवल प्रकाश में ही होती है ध्वनि में यह घटना नहीं पाई जाती है। इसका कारण है कि प्रकाश की तरंगे अनुप्रस्थ तथा ध्वनि तरंगे अनुदैर्ध्य होती हैं।

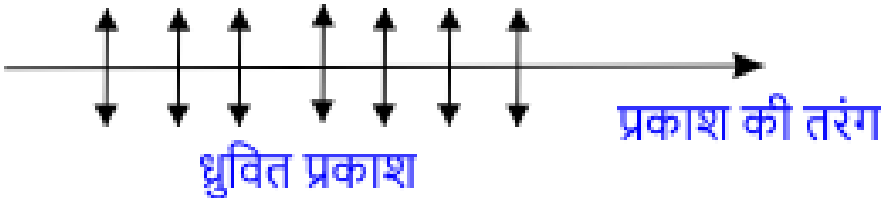
अध्रुवित प्रकाश

वह प्रकाश जिसमें विद्युत वेक्टर के कंपन प्रकाश की तरंग के चलने की दिशा के लम्बवत् तल में, सभी दिशाओं में समान रूप से होते हैं। इस प्रकार के प्रकाश को अध्रुवित प्रकाश कहते हैं।



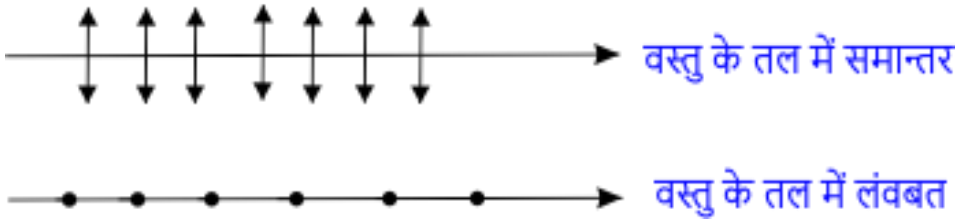
ध्रुवित प्रकाश

वह प्रकाश जिसमें विद्युत वेक्टर के कंपन प्रकाश की तरंग के चलने की दिशा के लम्बवत् तल में, सभी दिशाओं में समान रूप से न होकर केवल एक ही दिशा में होते हैं। इस प्रकार के प्रकाश को ध्रुवित प्रकाश कहते हैं।



समतल ध्रुवित प्रकाश

यह ध्रुवित प्रकाश के जैसा ही होता है।
समतल ध्रुवित प्रकाश में कंपन केवल एक ही सीधी रेखा के अनुदेश होते हैं। जब कंपन वस्तु के तल के समांतर होते हैं तब समतल ध्रुवित प्रकाश को तीर द्वारा दर्शाया जाता हैं। तथा जब कंपन वस्तु के तल के लम्बवत् होते हैं तब समतल ध्रुवित प्रकाश को बिन्दुओं द्वारा दर्शाया जाता हैं।



समतल ध्रुवित प्रकाश तथा अध्रुवित प्रकाश में अन्तर

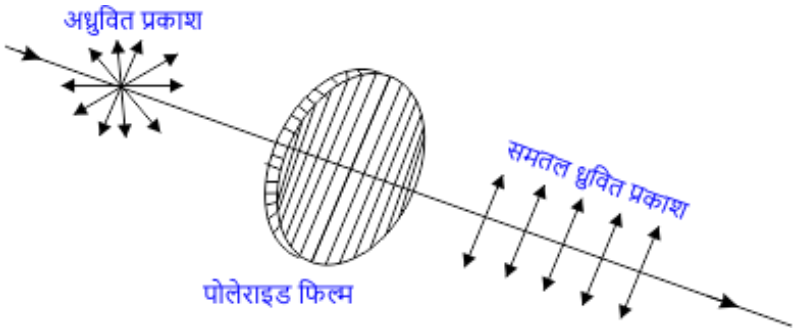
समतल ध्रुवित प्रकाश	अध्रुवित प्रकाश
इसमें विद्युत वेक्टर के कंपन प्रकाश के संचरण की दिशा के लम्बवत् तल में सभी दिशाओं में सममित रूप से न होकर केवल एक ही दिशा में होते हैं।	इसमें विद्युत वेक्टर के कंपन प्रकाश के संचरण की दिशा के लम्बवत् तल में सभी दिशाओं में सममित (समान) रूप से होते हैं।

पोलेराइड

कार्बनिक यौगिक हारपेथाइट या आयोडो सल्फेट का क्यूनाइन के अति सूक्ष्म क्रिस्टल का नाइट्रो सेलुलोस की पतली चादर पर एक विशेष प्रकार की विधि द्वारा एक बड़े आकार की फिल्म बनाई जाती है। यह बड़े आकार की फिल्म ही पोलेराइड फिल्म होती है। इस पोलेराइड फिल्म को कांच की दो प्लेटों के बीच रखा जाता है। पोलेराइड, अध्रुवित प्रकाश को समतल ध्रुवित प्रकाश में परिवर्तित करने की एक विधि है।

पोलेराइड की कार्यविधि

जब अध्रुवित प्रकाश की एक किरण पुंज को पोलेराइड की फिल्म में से गुजारा जाता है तो पोलेराइड फिल्म केवल प्रकाश के उन घटकों को पार जाने देती है। जिनके विद्युत वेक्टर पोलेराइड फिल्म की ध्रुवण दिशा के समांतर कंपन करते हैं। इस प्रकार पोलेराइड फिल्म से बाहर निकले हुए प्रकाश के विद्युत वेक्टर एक ही दिशा में कंपन करते हैं।



पोलेराइड

अतः यह प्रकाश पूर्ण रूप से समतल ध्रुवित प्रकाश होता है।
इस प्रकार पोलेराइड द्वारा अध्रुवित प्रकाश को समतल ध्रुवित प्रकाश में परिवर्तित किया जाता है।

पोलेराइड द्वारा समतल ध्रुवित प्रकाश की पहचान करना

पोलेराइड द्वारा अध्रुवित प्रकाश को आंशिक रूप से ध्रुवित प्रकाश होने का पता लगाया जाता है।

1. किसी पोलेराइड को आपतित प्रकाश के परितः एक पूरा चक्कर घुमाने में यदि निर्गत प्रकाश की तीव्रता में कोई अंतर नहीं पड़ता है। तो आपतित प्रकाश अध्रुवित होता है।
2. यदि निर्गत प्रकाश की तीव्रता में कोई परिवर्तन होता है लेकिन किसी भी स्थिति में तीव्रता शून्य नहीं होती है। तो आपतित प्रकाश ध्रुवित होता है।
3. यदि निर्गत प्रकाश की तीव्रता में अंतर होता है तथा एक चक्कर में दो बार तीव्रता अधिकतम तथा दो बार तीव्रता शून्य हो जाती है। तो आपतित प्रकाश पूर्ण रूप से समतल ध्रुवित प्रकाश होता है।

पोलेराइड के उपयोग

1. पोलेराइड का सबसे महत्वपूर्ण उपयोग फोटो कैमरो में किया जाता है। इससे तस्वीरें स्पष्ट दिखाई देती है जिससे फोटो साफ खींचे जाते हैं।
2. पोलेराइड का उपयोग मोटर कारों की हेडलाइट में किया जाता है। इससे रात के समय सामने से आने वाले वाहन की लाइट से आंखों पर चकाचौंध नहीं पड़ती है।
3. जब सूक्ष्मदर्शी द्वारा अति सूक्ष्म जीव देखा जाता है तो वह स्पष्ट नहीं दिखता है। तथा यहां सूक्ष्मदर्शी में पोलेराइड का उपयोग करके जीव स्पष्ट दिखाई देता है।

मेलस का नियम

जब किसी स्रोत से आने वाला पूर्ण रूप से ध्रुवित प्रकाश को किसी विश्लेषक पर गिराया जाता है तो विश्लेषक से बाहर निकलने वाले प्रकाश की तीव्रता, विश्लेषक की ध्रुवण दिशा तथा विश्लेषक पर आपतित प्रकाश की तीव्रता के बीच बने कोण की कोज्या (cosine) के वर्ग के अनुक्रमानुपाती होता है।

माना विश्लेषक से बाहर निकलने वाले प्रकाश की तीव्रता I तथा विश्लेषक व ध्रुवण दिशा के बीच बना कोण θ हो तो

मेलस के नियमानुसार

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

$$\boxed{I = I_0\cos^2\theta}$$

जहां I_0 विश्लेषक पर आपतित, ध्रुवित प्रकाश की तीव्रता है। इसे ही मेलस का नियम (malus law) कहते हैं।

मेलस नियम की उत्पत्ति

माना किसी विश्लेषक पर आपतित ध्रुवित प्रकाश की तीव्रता I_0 तथा इसमें विद्युत वेक्टर के कंपन का आयाम a है। एवं इसकी दिशा तथा विश्लेषक की ध्रुवण दिशा के बीच का कोण θ

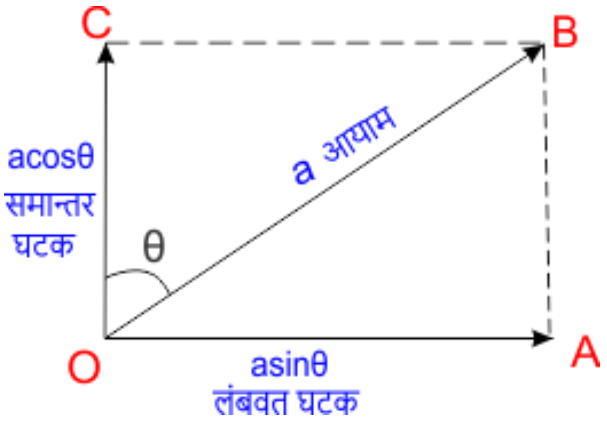
है।

आयाम a को विश्लेषक की ध्रुवण दिशा के समांतर तथा लंबवत घटकों में वियोजित करने पर

समांतर घटक = $a\cos\theta$

लंबवत घटक = $a\sin\theta$

विश्लेषक में से केवल समांतर घटक $a\cos\theta$ ही गुजर सकता है लंबवत घटक $a\sin\theta$ विश्लेषक से नहीं गुजर सकता है।



मेलस का नियम

अतः विश्लेषक से निर्गत प्रकाश की तीव्रता

$$I \propto (a\cos\theta)^2$$

$$I = ka^2\cos^2\theta \qquad \text{समी.}①$$

मेलस के नियम के सूत्र से

$$I = I_0\cos^2\theta \qquad \text{समी.}②$$

अब समी.① व समी.② की तुलना करने पर

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

$$I_0 = ka^2 \qquad \text{समी.}③$$

समी.① से प्रकाश की तीव्रता

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

अब समी.③ से ka^2 का मान रखने पर प्रकाश की तीव्रता

$$\boxed{I = I_0\cos^2\theta}$$

यही मेलस का नियम है।