
प्रयोग 1

स्पेक्ट्रममापी का उपयोग कर प्रिज्म पदार्थ के अपवर्तनांक का निर्धारण	5
---	---

प्रयोग 2

ध्रुवित प्रकाश पर ध्रुवणमापी द्वारा कुछ अन्वेषण	21
---	----

प्रयोग 3

मरकरी प्रकाश का उपयोग कर प्रिज्म के पदार्थ के कौशी नियतांकों का निर्धारण	37
--	----

प्रयोग 4

फ्रेनल द्विक प्रिज्म का उपयोग कर सोडियम प्रकाश का तरंगदैर्घ्य निर्धारण	45
--	----

प्रयोग 5

न्यूटनी वलयों का उपयोग कर सोडियम प्रकाश का तरंगदैर्घ्य का निर्धारण	59
--	----

प्रयोग 6

समतल विवर्तन ग्रेटिंग का उपयोग कर सोडियम/पारा प्रकाश का तरंगदैर्घ्य निर्धारण	71
--	----

प्रयोग 7

प्रिज्म की परिक्षेपण क्षमता	79
-----------------------------	----

प्रयोग 8

प्रिज्म की विभेदन क्षमता	89
--------------------------	----

प्रयोग 9

पतले तार का विवर्तन पैटर्न	99
----------------------------	----

प्रयोग 10

प्रकाश-संवेदक का प्रयोग करके एक लेसर के एकल रेखाच्छिद्र विवर्तन पैटर्न का अध्ययन	109
--	-----

पाठ्यक्रम अभिकल्प समिति

प्रो. ए.के. घटक (सेवानिवृत्त) आई. आई. टी., दिल्ली दिल्ली	डॉ. अशोक गोयल (सेवानिवृत्त) भौतिकी विभाग, हंसराज कॉलेज दिल्ली विश्वविद्यालय, दिल्ली	प्रो. सुदीप रंजन झा विज्ञान विद्यापीठ इं.गां.रा.मु.वि., नई दिल्ली
प्रो. एस.सी. गर्ग (सेवानिवृत्त) विज्ञान विद्यापीठ इं.गां.रा.मु.वि., नई दिल्ली कुलपति, ऊषा मार्टिन विश्वविद्यालय	डॉ. पार्थसारथी भौतिकी विभाग, महाराजा अग्रसेन कॉलेज दिल्ली विश्वविद्यालय, दिल्ली	प्रो. शुभा गोखले विज्ञान विद्यापीठ इं.गां.रा.मु.वि., नई दिल्ली
प्रो. आर.एम. मेहरा (सेवानिवृत्त) इलेक्ट्रॉनिकी विभाग, दक्षिण परिसर दिल्ली विश्वविद्यालय, दिल्ली	प्रो. एम.एस. नाथावत भूतपूर्व निदेशक, विज्ञान विद्यापीठ, इं.गां.रा.मु.वि., नई दिल्ली	प्रो. संजय गुप्ता विज्ञान विद्यापीठ इं.गां.रा.मु.वि., नई दिल्ली
	प्रो. विजयश्री विज्ञान विद्यापीठ इं.गां.रा.मु.वि., नई दिल्ली	डॉ. शुभलक्ष्मी लांबा विज्ञान विद्यापीठ इं.गां.रा.मु.वि., नई दिल्ली

खंड निर्माण दल

प्रो. सुदीप रंजन झा (प्रयोग 1,2,4,6-9) विज्ञान विद्यापीठ इं.गां.रा.मु.वि., नई दिल्ली	प्रो. संजय गुप्ता (प्रयोग 5) विज्ञान विद्यापीठ इं.गां.रा.मु.वि., नई दिल्ली	डॉ. शुभलक्ष्मी लांबा (प्रयोग 3,10) विज्ञान विद्यापीठ इं.गां.रा.मु.वि., नई दिल्ली
--	--	--

इस पाठ्यक्रम के प्रयोग 2, 5, 6 और 8 इग्नू के पुराने विज्ञान स्नातक कार्यक्रम के भौतिकी प्रयोगशाला पाठ्यक्रम पी.एच.ई. 8(L) और 12(L) पर आधारित हैं।

पाठ्यक्रम समन्वयक : प्रो. सुदीप रंजन झा, डॉ. शुभलक्ष्मी लांबा

खंड मुद्रण

श्री. सुनील कुमार
सहायक कुल सचिव (प्रकाशन), इग्नू

आभार : श्री गोपाल कृष्ण अरोड़ा, ई.डी.पी., विज्ञान विद्यापीठ, इग्नू को सीआरसी बनाने के लिए।

अक्टूबर, 2021

© इंदिरा गांधी राष्ट्रीय मुक्त विश्वविद्यालय, 2021

ISBN:

अस्वीकरण : इस पाठ्यक्रम में इंटरनेट से ली गई सामग्री का उपयोग केवल शैक्षणिक उद्देश्य के लिए किया गया है, व्यावसायिक उद्देश्य के लिए नहीं।

सर्वाधिकार सुरक्षित। इस कार्य का कोई भी अंश इंदिरा गांधी राष्ट्रीय मुक्त विश्वविद्यालय की लिखित अनुमति लिए बिना मिमियोग्राफ अथवा किसी अन्य साधन से पुनः प्रस्तुत करने की अनुमति नहीं है।

इंदिरा गांधी राष्ट्रीय मुक्त विश्वविद्यालय के पाठ्यक्रमों के विषय में और अधिक जानकारी विश्वविद्यालय के कार्यालय मैदान गढ़ी, नई दिल्ली-110 068 और इग्नू की वेबसाइट www.ignou.ac.in से प्राप्त की जा सकती है।

इंदिरा गांधी राष्ट्रीय मुक्त विश्वविद्यालय की ओर से प्रो. सुजाता वर्मा, निदेशक, विज्ञान विद्यापीठ द्वारा मुद्रित एवं प्रकाशित।

तरंगें और प्रकाशिकी: प्रयोगशाला – पाठ्यक्रम परिचय

जैसाकि आप जानते हैं, भौतिकी एक प्रायोगिक विज्ञान है जो वैज्ञानिक जांच पद्धति के आधार पर प्राकृतिक घटनाओं की व्याख्या करना चाहता है। भौतिक संसार के बारे में हमारे पास जो विशाल ज्ञान और जानकारी है, वह प्रयोगों द्वारा समर्थित है। किसी भी वैज्ञानिक सिध्दांत का प्रायोगिक सत्यापन आवश्यक होता है। इसीलिए प्रयोग, विज्ञान शिक्षा का एक अभिन्न अंग है।

तरंगें और प्रकाशिकी पर इस प्रयोगशाला पाठ्यक्रम में आप तरंगें और प्रकाशिकी (BPHCT 137) पर सैद्धांतिक पाठ्यक्रम में पढ़े बुनियादी भौतिकी अवधारणाओं से संबंधित विभिन्न प्रयोग करेंगे। हमने इस पाठ्यक्रम में उन प्रयोगों को शामिल किया है ताकि आपको विभिन्न प्रकार के प्रकाशिक घटकों जैसेकि प्रिज्म और विवर्तन ग्रेटिंग और कुछ सामान्य उपकरण जैसे स्पेक्ट्रोमामी (spectrometer), दूरदर्शी (telescope) और चल सूक्ष्मदर्शी (travelling microscope) के साथ काम करने का अनुभव मिल सके। इसके अलावा, आप सावधानीपूर्वक मापन कर प्रकाश की तरंग प्रकृति से संबंधित कुछ अवधारणाओं को प्रयोगात्मक रूप से सत्यापित करना भी सीखेंगे।

जब आप किसी प्रयोग को करने के लिए प्रयोगशाला में जाते हैं, तो आपको इस बारे में स्पष्ट जानकारी होना चाहिए कि आपको क्या करना है और कैसे करना है। इसलिए, हमारी आपको सलाह है कि इस पाठ्यक्रम में दिए गए प्रत्येक प्रयोग के लेखन को ध्यान से पढ़ें। प्रयोग करने से पहले आपको उपकरण से पूरी तरह परिचित हो जाना चाहिए।

पाठ्यक्रम के अध्ययन सामग्री में हमने प्रत्येक प्रयोग के लिए प्रस्तावना, सीखने के अपेक्षित कौशल, बुनियादी सिद्धांत और प्रक्रिया दी है। प्रत्येक प्रयोग के लिए आपको अपने किये गए काम को लिखित रूप में प्रस्तुत करने के लिए निम्नलिखित रूप-रेखा का पालन करें : लक्ष्य, रेखा या किरण आरेख, कार्य सूत्र, अवलोकन तालिका, गणना, परिणाम और विश्लेषण/निष्कर्ष। आपको अपने परिणामों/निष्कर्षों को जहां कहीं भी आवश्यक हो, मानक मूल्यों के साथ सहसंबंधित करना चाहिए।

इस पाठ्यक्रम के अधिकांश प्रयोग प्रकाशीय परिघटनाओं जैसे अपवर्तन, ध्रुवण, व्यतिकरण और विवर्तन से संबंधित हैं। आपने प्रकाश के तरंग सिद्धांत के आधार पर इन परिघटनाओं की सैद्धांतिक व्याख्याएं सीखी हैं। इन सैद्धांतिक विश्लेषणों ने वैज्ञानिकों को विभिन्न भौतिक मात्राओं के लिए बहुत सटीक माप तकनीकों के विकास करने में सक्षम बनाया है।

प्रयोग 1 में आप प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक ज्ञात करने के लिए प्रकाश के अपवर्तन की सरल परिघटना का उपयोग करना सीखेंगे। ध्रुवणमापी एक उपकरण है जिसका उपयोग विलेय की सांद्रता के सटीक निर्धारण के लिए दवा और रासायनिक उद्योग में व्यापक रूप से किया जाता है। प्रयोग 2 में आप सीखेंगे कि यह उपकरण प्रकाश के ध्रुवण की परिघटना के आधार पर किस प्रकार कार्य करता है। प्रयोग 3 किसी पदार्थ के अपवर्तनांक की उससे गुजरने वाले प्रकाश की तरंगदैर्घ्य पर निर्भरता से संबंधित है। यह निर्भरता कॉची के सूत्र द्वारा व्यक्त की जाती है जो कहता है कि प्रत्येक पदार्थ के लिए स्थिरांक का एक अनुठा सेट होता है जिसे कॉची के स्थिरांक कहा जाता है। आप प्रिज्म की पदार्थ के लिए इन स्थिरांकों को निर्धारित करना सीखेंगे।

प्रयोग 4 और 5 प्रकाश के व्यतिकरण की परिघटना से संबंधित हैं। जबकि पहला तरंगाग्र विभाजन के कारण उत्पन्न व्यतिकरण से संबंधित है, दूसरा आयाम विभाजन के कारण उत्पन्न व्यतिकरण से। प्रयोग 4 में आप सीखेंगे कि फ्रेनल द्विक प्रिज्म का उपयोग करके प्रकाश के दो कला संबद्ध स्रोत कैसे प्राप्त किए जाते हैं। आप एक प्रकाशिक बेंच पर प्रयोग व्यवस्था स्थापित करना और माइक्रोमीटर नेत्रिका का उपयोग करके माप लेना भी

सीखेंगे। प्रयोग 5 में आप न्यूटन वलय नामक वलयों के रूप में व्यतिकरण फ्रिंज पैटर्न प्राप्त करना सीखेंगे और फ्रिंज की चौड़ाई का मापन कर उपयोग किए गए प्रकाश की तरंगदैर्घ्य निर्धारित करेंगे।

प्रकाश का विवर्तन एक ऐसी परिघटना है जिसने कई मापन तकनीकों/उपकरणों को विकसित करने में मदद की है। इसकी बहुमुखी उपयोगिता को देखते हुए आप इस परिघटना से संबंधित कुछ प्रयोग (प्रयोग 6, 9 और 10) करेंगे। विवर्तन ग्रेटिंग एक ऐसा प्रकाशिक घटक है जो विवर्तन के सिद्धांत पर काम करता है और इसका व्यापक रूप से वर्णक्रमीय विश्लेषण के क्षेत्र में उपयोग किया जाता है। प्रयोग 6 में आप प्रकाश की तरंगदैर्घ्य निर्धारित करने के लिए विवर्तन ग्रेटिंग का उपयोग करना सीखेंगे। प्रयोग 9 और 10 में आप कुछ आधुनिक प्रकाशिक उपकरणों जैसे कि लेसर और प्रकाश संवेदक का उपयोग क्रमशः एक बाधा (तार) और एक द्वारक (रेखाछिद्र) द्वारा विवर्तन की घटना का अध्ययन करने के लिए करेंगे। इन प्रयोगों का उद्देश्य आपको आधुनिक प्रकाशिक तकनीकों से परिचित कराना है जो सटीक मापन के लिए लेसर और प्रकाश संवेदक का उपयोग करती हैं। आपको लेसरों का उपयोग करते समय बरती जाने वाली सावधानियों के प्रति सावधान रहना चाहिए।

प्रयोग 7 और 8 क्रमशः प्रकाश के परिक्षेपण और प्रतिबिम्ब निर्मित वाले उपकरणों की विभेदन क्षमता से संबंधित हैं। आप कुछ भौतिक राशियों का मापन कर इन प्राचलों का मान परिकलित करना सीखेंगे।

जहाँ तक संभव हो, आपको स्वतंत्र रूप से कार्य करना चाहिए क्योंकि आपके प्रयोगशाला कार्य का मूल्यांकन आपके अकादमिक परामर्शदाता द्वारा निरंतर किया जाएगा।

हम आशा करते हैं कि इस पाठ्यक्रम के लिए आपको प्रयोगशाला में काम करने का सुखद अनुभव होगा।

हम आपकी सफलता की कामना करते हैं।

THE PEOPLE'S
UNIVERSITY

स्पेक्ट्रममापी का उपयोग कर प्रिज्म पदार्थ के अपवर्तनांक का निर्धारण

इकाई की रूपरेखा

- | | |
|--|--|
| <p>1.1 प्रस्तावना
अपेक्षित कौशल</p> <p>1.2 अपवर्तनांक
प्रकाश का अपवर्तन
प्रिज्म द्वारा प्रकाश का अपवर्तन</p> <p>1.3 स्पेक्ट्रममापी
स्पेक्ट्रममापी के घटक
स्पेक्ट्रममापी का समायोजन</p> | <p>1.4 प्रयोगिक कार्यविधि
स्पेक्ट्रममापी का वर्णियर स्थिरांक
प्रिज्म कोण का मापन
प्रिज्म के न्यूनतम विचलन कोण का मापन
परिकलन और परिणाम</p> |
|--|--|

1.1 प्रस्तावना

आपने अपने विद्यालय भौतिकी में प्रकाश के परावर्तन और अपवर्तन का अध्ययन किया है। जब प्रकाश की किरण प्रकाशिक रूप से भिन्न दो माध्यमों को अलग करने वाली सीमा पर आपतित होती है, तो इसका एक भाग सीमा पर परावर्तित हो जाता है और शेष भाग दूसरे माध्यम में प्रवेश करते ही अपने मूल पथ से मुड़ जाता है। इस परिघटना को प्रकाश का परावर्तन कहते हैं। किसी माध्यम में प्रकाश कितना परावर्तित होता है यह स्नेल के नियम द्वारा निर्धारित होता है और यह माध्यम के अपवर्तनांक नामक एक प्राचल द्वारा अभिलक्षित होता है। अपवर्तनांक जितना अधिक होगा, प्रकाश का विचलन उतना ही अधिक होगा।

अपनी +2 कक्षा के भौतिकी में आपने दैनिक जीवन में प्रकाश के अपवर्तन से संबंधित अनेक परिघटनाओं का अध्ययन किया होगा। आकाश में इंद्रधनुष प्रकृति में अपवर्तन का सबसे ज्वलंत उदाहरण है। इसी तरह, गर्मी के दिन रेगिस्तान में एक शाद्वल (oasis) और एक कोलटार सड़क पर पानी की उपस्थिति का आभास अपवर्तन के अन्य परिचित उदाहरण हैं। आपको अपवर्तन के कुछ और उदाहरणों को सूचीबद्ध करना चाहिए और अपने परामर्शदाता से चर्चा करनी चाहिए।

प्रिज्म एक बहुत ही उपयोगी और बहुमुखी प्रकाशिक घटक है जिसका उपयोग विभिन्न प्रकार के प्रकाशिक उपकरणों जैसे दूरबीन, कैमरा और पनडुब्बी पेरिस्कोप में किया जाता है। एक प्रिज्म त्रिविम (3D) आकार का होता है जिसमें दो समान फलक होते हैं जिन्हें आधार कहा जाता है। भौतिकी प्रयोगशाला में समबाहु त्रिभुजाकार आधारों वाला प्रिज्म का अनुप्रयोग करते हैं हालांकि बाजार में बहुभुज आधार वाले प्रिज्म भी उपलब्ध हैं। प्रिज्म के अन्य फलक आयताकार होते हैं। प्रिज्म के आधार से गुजरने वाले प्रकाश का कोई फैलाव या अपवर्तन नहीं होता है क्योंकि ये घर्षित होते हैं।

प्रिज्म पदार्थ का अपवर्तनांक प्रकाशिक उपकरणों के डिजाइन और निर्माण में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। न्यूटन ने दिखाया कि एक प्रिज्म श्वेत प्रकाश को उसके सात घटक रंगों में विभाजित कर देता है। क्या आप इन रंगों के नाम बता सकते हैं? (याद करें, विबग्योर (बैंगनी, नील, नीला, हरा, पीला, नारंगी और लाल)) प्रिज्म के कारण प्रकाश का फैलाव अपवर्तन की कोटि पर निर्भर करता है, जो सफेद प्रकाश बनाने वाले विभिन्न रंगों की तरंगदैर्घ्य पर निर्भर करता है। इसका अर्थ है कि यदि हम श्वेत प्रकाश का उपयोग करते हैं, तो प्रिज्म से निकलने वाला प्रकाश सात रंग (तरंगदैर्घ्य) दिखाएगा। हालांकि, इस प्रयोग में हम एक सोडियम लैंप का उपयोग करेंगे जिससे निर्गत प्रकाश को एकवर्णी मान कर (परन्तु, वास्तव में इससे निर्गत प्रकाश में दो तरंगदैर्घ्य, 5890 Å और 5896 Å होते हैं) एक प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक निर्धारित करना सीखेंगे।

अपवर्तनांक निर्धारित करने के लिए एक स्पेक्ट्रममापी का उपयोग कर हम प्रकाश किरण के फैलाव के कोण, अपवर्तित किरणों के न्यूनतम विचलन के कोण और प्रिज्म के कोण का मापन करते हैं। स्पेक्ट्रममापी एक प्रकाशिक उपकरण है जो हमें प्रकाश के स्रोत से निर्गत प्रकाश के स्पेक्ट्रम का निरीक्षण करने में सहायक होता है। हालांकि, वर्तमान प्रयोग में हम स्पेक्ट्रममापी का उपयोग उच्च स्तर की सटीकता के साथ कोणों को मापने के लिए करेंगे।

अपेक्षित कौशल

यह प्रयोग करने के बाद, आप :

- ❖ प्रिज्म के अपवर्तक फलकों की पहचान कर सकेंगे;
- ❖ स्पेक्ट्रममापी के मुख्य घटकों की पहचान कर सकेंगे;
- ❖ प्रयोग के लिए स्पेक्ट्रममापी को समायोजित कर सकेंगे;
- ❖ प्रिज्म के कोण और न्यूनतम विचलन कोण निर्धारित कर सकेंगे; तथा
- ❖ प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक परिकलित कर सकेंगे।

इस प्रयोग के लिए आपको निम्नलिखित उपकरण की आवश्यकता होगी।

आवश्यक उपकरण

स्पेक्ट्रममापी, प्रिज्म, स्पिरिट लेवल, सोडियम लैम्प, एक आवर्धक लेन्स।

1.2 अपवर्तनांक

अपवर्तनांक पदार्थ का एक गुण है जो इससे गुजरने वाली प्रकाश की किरण के अपवर्तन/झुकने की सीमा को निर्धारित करता है। यह प्राचल प्रकाशिक उपकरणों द्वारा प्रतिबिंब निर्माण में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। आप अपने विद्यालय के भौतिक विज्ञान

से प्रकाश के अपवर्तन की परिघटना और अपवर्तनांक की अवधारणा से परिचित हैं। लेकिन, इससे पहले कि आप अपवर्तनांक निर्धारण करने के लिए प्रयोग करना सीखें, पूर्णता के लिए हम निम्नलिखित में प्रकाश के अपवर्तन से संबंधित बुनियादी अवधारणाओं को संक्षेप में दोहराते हैं।

1.2.1 प्रकाश का अपवर्तन

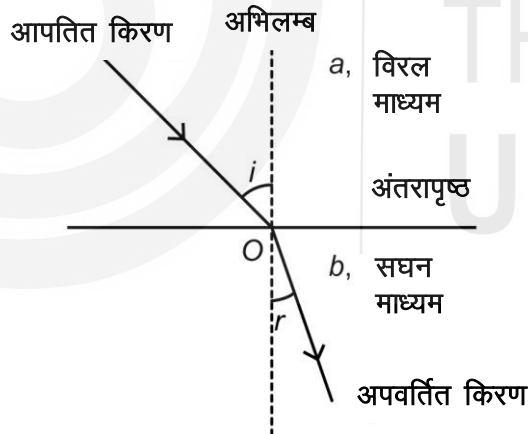
एक प्रकाशिक माध्यम से दूसरे प्रकाशिक माध्यम में जाने में प्रकाश की अपने सरल रेखीय पथ से विचलन की परिघटना प्रकाश का अपवर्तन कहलाती है। आप याद करें कि जब प्रकाश किसी विरल माध्यम से अपेक्षाकृत सघन माध्यम में प्रवेश करता है तो प्रकाश का यह विचलन अभिलम्ब की ओर होता है जबकि सघन से विरल माध्यम में प्रवेश करने पर यह अभिलम्ब से दूर की ओर हटता है।

प्रकाश का अपवर्तन से संबंधित दो नियम हैं :

- आपतित किरण, अपवर्तित किरण तथा आपतन बिन्दु पर अभिलम्ब एक ही समतल में अवस्थित होते हैं।
- दिए गए किन्हीं दो माध्यमों के युग्म के लिए आपतन कोण की ज्या (sine) एवं अपवर्तन कोण की ज्या (sine) का अनुपात एक नियतांक होता है। इसे **स्नेल का नियम** कहते हैं।

मान लें कि कोई प्रकाश किरण किसी माध्यम (a) से माध्यम (b) में प्रवेश करती है तथा i एवं r क्रमशः आपतन कोण एवं अपवर्तन कोण हैं (चित्र 1.1)। स्नेल नियम के अनुसार

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{नियतांक} \quad (1.1)$$



चित्र 1.1: प्रकाश की किरण का अपवर्तन।

समीकरण (1.1) में नियतांक को माध्यम a के सापेक्ष माध्यम b का अपवर्तनांक कहा जाता है और इसे ${}_a\mu_b$ से निरूपित करते हैं :

$${}_a\mu_b = \frac{\sin i}{\sin r} \quad (1.2)$$

यदि पहला माध्यम वायु हो तो माध्यम के अपवर्तनांक को सीधे μ से निर्दिष्ट करते हैं। इस स्थिति में समीकरण (1.2) को निम्नवत लिखते हैं :

$$\mu = \frac{\sin i}{\sin r} \quad (1.3)$$

वायु के लिए μ का मान 1 ले लिया जाता है।

स्नेल का नियम प्रेक्षणों पर आधारित एक आनुभविक नियम है। अपवर्तनांक की अवधारणा को मैक्सवेल द्वारा एक सुदृढ़ सैद्धांतिक आधार प्रदान किया जब उन्होंने विद्युत-चुंबकीय तरंग सिद्धांत प्रस्तावित किया। इस सिद्धांत के अनुसार किसी माध्यम का अपवर्तनांक निर्वात में प्रकाश के वेग और उस माध्यम में प्रकाश के वेग के अनुपात के रूप में दिया जाता है। गणितीय रूप से, हम इसे निम्नवत लिख सकते हैं :

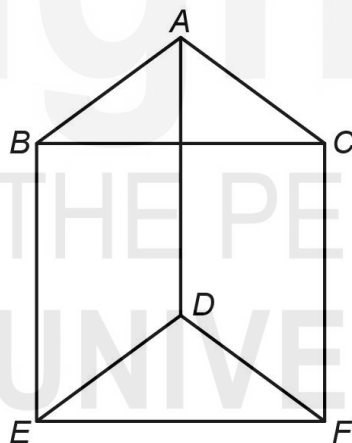
$$\mu = \frac{\text{निर्वात में प्रकाश का वेग}}{\text{माध्यम में प्रकाश का वेग}} \quad (1.4)$$

स्नेल का नियम मैक्सवेल के विद्युत-चुंबकीय सिद्धांत का एक स्वाभाविक परिणाम है। हालाँकि, वर्तमान प्रयोग में हम समीकरण (1.1) में दिए गए अपवर्तनांक की परिभाषा का उपयोग करेंगे क्योंकि अपवर्तनांक निर्धारित करने के लिए आवश्यक आपतन और अपवर्तन कोणों को मापना आसान होता है।

1.2.2 प्रिज्म द्वारा प्रकाश का अपवर्तन

प्रिज्म किसी भी ऐसे पदार्थ का बनाया जा सकता है जो उस प्रकाश के लिए पारदर्शी है जिसके लिए इसे डिजाइन किया गया है। प्रिज्म बनाने के लिए कांच के अलावा अन्य पदार्थ प्लास्टिक और फ्लोराइट हैं।

प्रिज्म (आमतौर पर) काँच की बनी एक वेजरूपी पारदर्शी संरचना होती है जिसके तीन पृष्ठ आयताकार और दो पृष्ठ त्रिभुजाकार होते हैं। त्रिभुजाकार फलक समबाहु त्रिभुज होते हैं और आयताकार फलकों में से एक को घिसकर पारभासक बना दिया जाता है।



चित्र 1.2: प्रिज्म।

प्रिज्म के विशेष ज्यामितीय आकर को समझने के लिए चित्र 1.2 देखें। त्रिभुज ABC और DEF समबाहु त्रिभुज के आकार के हैं जो एक दूसरे के समांतर हैं। इन समांतर फलकों को प्रिज्म का आधार कहते हैं। प्रिज्म के किनारों के फलक ABED, ACFD और BCFE समान्तर चतुर्भुज के आकार के हैं जिन्हें किनारा/कोर कहते हैं।

अब आप चित्र 1.3 देखें जिसमें प्रिज्म ABC का शीर्ष दृश्य दिखाया गया है। कोण $\angle A$ को प्रिज्म कोण कहते हैं। प्रकाश की कोई आपतित किरण PQ इसके पार्श्व AB पर आपतित होती है और प्रिज्म के भीतर अपवर्तित होकर QR के अनुदिश गमन करती है। पार्श्व AC के R बिन्दु पर इसमें एक बार फिर अपवर्तन होता है और अंततः यह RS के अनुदिश निर्गत होती है।

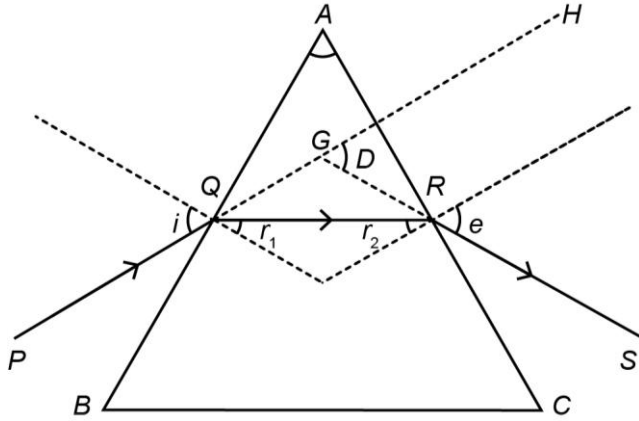
माना i एवं e क्रमशः आपतन कोण एवं निर्गत कोण हैं। बिन्दु Q एवं R पर संगत अपवर्तन कोण क्रमशः r_1 एवं r_2 हैं।

यद्यपि भौतिकी प्रयोगशाला में सबसे अधिक उपयोग किए जाने वाले प्रिज्म आकार में त्रिकोणीय होते हैं, लेकिन यह कई प्रकार के आकार वाले हो सकते हैं जैसे समकोण प्रिज्म (चिकित्सा उपकरण, एंडोस्कोप में प्रयुक्त), पेंटा प्रिज्म (प्रदर्शन युक्तियों में प्रयुक्त), वेजरूपी प्रिज्म (लेसर में प्रयुक्त)। प्रिज्म के आकर का चयन आवश्यकताओं के आधार पर करते हैं।

प्रयोग 1

स्पेक्ट्रममापी का उपयोग कर प्रिज्म पदार्थ के अपवर्तनांक का निर्धारण

यदि PQ और SR को प्रिज्म के भीतर की ओर बढ़ाया जाए तो ये एक दूसरे को बिन्दु G पर काटते हैं (चित्र 1.3)। यहाँ कोण $\angle HGS$ विचलन कोण कहलाता है जिसे δ द्वारा निरूपित करते हैं। विचलन कोण वह कोण है जिस पर PQ के अनुदिश आने वाली आपतित किरण प्रिज्म द्वारा इसके मूल पथ $PQGH$ से विचलित कर दी गई है।



चित्र 1.3: प्रिज्म द्वारा प्रकाश का अपवर्तन।

स्नेल नियम [समीकरण (1.3)] का उपयोग कर किसी भी विधि द्वारा प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक ज्ञात करने के लिए, हमें i एवं r के मान ज्ञात करने की आवश्यकता होगी। क्योंकि अपवर्तन कोण r का मान ज्ञात करने में व्यावहारिक कठिनाइयाँ हैं इसलिए हमें वैकल्पिक तरीके अपनाने पड़ते हैं; ऐसा एक तरीका **न्यूनतम विचलन कोण** ज्ञात करने का है। आईए अब जानें की न्यूनतम विचलन कोण क्या होता है और यह किस प्रकार प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक निर्धारित करने में सहायक है।

न्यूनतम विचलन

मोटे प्रिज्म अर्थात् वैसे प्रिज्म जिनका प्रिज्म कोण अपेक्षाकृत रूप से अधिक (~ 60 डिग्री) होता है, के लिए जब आपतन कोण (i) कम होता है तो विचलन कोण (δ) अधिक होता है। जैसे-जैसे i का मान धीरे-धीरे बढ़ाया जाता है, δ का मान लगातार घटता जाता है। i के एक विशिष्ट मान के लिए विचलन कोण एक न्यूनतम मान प्राप्त कर लेता है। यदि i का मान इस विशिष्ट मान से अधिक बढ़ाया जाता है तो विचलन कोण का मान बढ़ने लगता है। विचलन कोण का यह मान जिस पर आपतित किरण का विचलन न्यूनतम होता है उसे प्रिज्म के लिए न्यूनतम विचलन कोण (δ_m) कहते हैं।

प्रिज्म की इस स्थिति में प्रिज्म से होकर गुजरने वाली किरण सममित होती है अर्थात् अपवर्तित किरण QR प्रिज्म के आधार BC के समांतर होती है तथा $i = e$ होता है।

आगे बढ़ने से पहले आपको एक बोध प्रश्न हल करना चाहिए।

बोध प्रश्न 1 - प्रिज्म का आपतन और निर्गत कोण

सिद्ध करें की जब विचलन कोण का मान न्यूनतम होता है तो प्रिज्म में आपतन और निर्गत कोणों का मान बराबर होता है।

अपवर्तनांक, प्रिज्म कोण और न्यूनतम विचलन कोण में संबंध

अपवर्तनांक, प्रिज्म के कोण और न्यूनतम विचलन कोण में संबंध प्राप्त करने के लिए हम चित्र 1.3 से लिख सकते हैं :

$$i + e = A + \delta_m \quad (1.5)$$

तथा $A = r_1 + r_2 \quad (1.6)$

बोध प्रश्न 2 - प्रिज्म का न्यूनतम विचलन कोण

चित्र 1.3 के आधार पर सिद्ध करें की समीकरण (1.5) और (1.6) सही हैं।

न्यूनतम विचलन की स्थिति में, अपवर्तित किरण सममित होती है और हम चित्र 1.3 से लिख सकते हैं :

$$i = e = i \quad (1.7)$$

तथा $r_1 = r_2 = r \quad (1.8)$

समीकरण (1.7) का समीकरण (1.5) में उपयोग कर हम लिख सकते हैं :

$$\begin{aligned} 2i &= A + \delta_m \\ \therefore i &= \frac{A + \delta_m}{2} \end{aligned} \quad (1.9)$$

आगे, समीकरण (1.8) का समीकरण (1.6) में उपयोग कर हम लिख सकते हैं :

$$\begin{aligned} A &= r_1 + r_2 = 2r \\ \text{अथवा} \quad r &= \frac{A}{2} \end{aligned} \quad (1.10)$$

समीकरण (1.3) से

$$\mu = \frac{\sin i}{\sin r}$$

समीकरण (1.9) का समीकरण (1.10) से i एवं r के मान प्रतिस्थापित करने पर हमें हमें अपवर्तनांक का व्यंजक आसानी से मापन किये जा सकने वाली राशियों (प्रिज्म कोण और न्यूनतम विचलन कोण) के पदों में प्राप्त होता है :

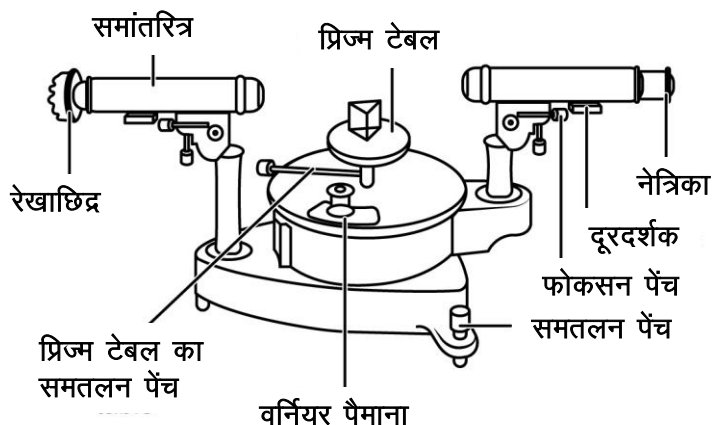
$$\mu = \frac{\sin \frac{A + \delta_m}{2}}{\sin(A/2)} \quad (1.11)$$

समीकरण (1.11) से स्पष्ट है कि प्रिज्म कोण A और न्यूनतम विचलन कोण δ_m का मापन कर प्रिज्म के पदार्थ के अपवर्तनांक μ का मान निर्धारित किया जा सकता है।

A और δ_m के मान ज्ञात करने के लिए हम प्रिज्म स्पेक्ट्रममापी का उपयोग करेंगे। अतः आइए अब एक सरल प्रयोगशाला स्पेक्ट्रममापी की संरचना और उसकी कार्य प्रणाली की चर्चा करें।

1.3 स्पेक्ट्रममापी

स्पेक्ट्रममापी एक प्रकाशिक उपकरण है जिसका उपयोग प्रकाश के विभिन्न स्रोतों के स्पेक्ट्रा का अध्ययन करने और पदार्थ के अपवर्तनांक को निर्धारित करने के लिए किया जाता है। एक प्ररूपी प्रयोगशाला स्पेक्ट्रममापी चित्र 1.4 में दिखाया गया है।



चित्र 1.4: एक सरल प्रयोगशाला स्पेक्ट्रममापी।

1.3.1 स्पेक्ट्रममापी के घटक

एक स्पेक्ट्रममापी में तीन मुख्य भाग होते हैं: i) समांतरित्र, ii) दूरदर्शक और iii) प्रिज्म टेबल। आईए अब हम इन घटकों के निर्माण और कार्य को समझें।

i) समांतरित्र

समांतरित्र का उपयोग समांतर प्रकाश किरण पुंज प्राप्त करने के लिए किया जाता है। इसमें समंजनीय लम्बाई वाली धातु की एक नलिका होती है जिसके एक सिरे पर एक ऊर्ध्वाधर रेखाछिद्र लगी होती है जिसकी लम्बाई और चौड़ाई को समंजित किया जा सकता है और दूसरे सिरे पर एक उत्तल लेंस लगा होता है। नलिका की लम्बाई को पेंच की सहायता से इस प्रकार समंजित किया जाता है कि यह लेंस की फोकस दूरी के बराबर हो जाए। ऐसी स्थिति में नलिका की लम्बाई समांतरित्र के लेंस की फोकस दूरी के बराबर होती है। रेखाछिद्र को इस प्रकार रखा जाता है कि वह प्रकाश के स्रोत की ओर हो। समांतरित्र स्पेक्ट्रममापी के आधार के साथ जुड़ा रहता है।

ii) दूरदर्शक

यह एक साधारण खगोलीय टेलीस्कोप होता है जिसके एक सिरे पर रेम्सडन प्रकार का नेत्रिका तथा क्रॉस तार लगे होते हैं और दूसरे सिरे पर अभिदृश्यक लेंस लगा होता है। जब समांतरित्र से निर्गत समांतर किरण पुंज दूरदर्शक के अभिदृश्यक पर आपतित होता है तो अभिदृश्यक लेंस और नेत्रिका के बीच की दूरी को पेंच की सहायता से समंजित कर क्रॉस तार पर स्पष्ट प्रतिबिंब क्रॉस तार पर प्राप्त किया जा सकता है। टेलीस्कोप को उस उभयनिष्ठ ऊर्ध्वाधर अक्ष के परितः घुमाया जा सकता है जिसके पारितः प्रिज्म टेबल को घुमाया जा सकता है। दूरदर्शक में एक त्रिज्य पेंच भी होता है जिसकी सहायता से इसे वांछित स्थिति में स्थिर किया जा सकता है।

दूरदर्शक के आधार में दो वर्नियर पैमाने लगे होते हैं जो एक अंशाकित वृत्ताकार मुख्य पैमाने के अनुदिश घुमाए जा सकते हैं। इस व्यवस्था से हम दूरदर्शक के घूर्णन कोण का सटीक मापन कर सकते हैं।

iii) प्रिज्म टेबल

यह एक वृत्ताकार टेबल है जिसकी ऊंचाई को समंजित किया जा सकता है और इसको उभयनिष्ठ अक्ष के परितः घुमाया जा सकता है। टेबल को दिए गए तीन पेचों की सहायता से समतल में लाया जा सकता है। प्रिज्म को टेबल पर इस प्रकार रखा जाता है कि इसका अपवर्तक पृष्ठ टेबल के ऊपर अभिलम्बवत् रहे।

संक्षेप में, प्रकाश एक समंजनीय रेखाछिद्र से समांतरित्र में प्रवेश करता है और समांतरित्र का लेंस प्रकाश का एक समांतर किरण पुंज उत्पन्न करता है जो प्रिज्म टेबल पर स्थित एक प्रिज्म (अथवा ग्रैटिंग) पर आपतित होता है। प्रिज्म (अथवा ग्रैटिंग) से गुजरने के कारण प्रकाश किरण पुंज अपने पथ से विचलित हो जाता है जिसे ददोरदर्शक द्वारा प्रेक्षित करते हैं। प्रकाश अपने पथ से कितने कोण से विचलित होता है उसका सटीक मापन दूरदर्शक में लगे वर्नियर पैमाने की सहायता से किया जा सकता है।

मापन के लिए उपयोग में लाने से पहले स्पेक्ट्रोमीटर में कुछ समंजन करने की आवश्यकता होती है। किसी प्रयोग में स्पेक्ट्रममापी की सहायता से सटीक मापन करने के लिए स्पेक्ट्रममापी का समुचित समायोजन एक महत्वपूर्ण आवश्यकता है। अतः आपको यह अच्छी तरह जानना चाहिए। आइए अब स्पेक्ट्रममापी के समायोजन की चर्चा करें।

1.3.2 स्पेक्ट्रममापी का समायोजन

प्रयोग के लिए स्पेक्ट्रममापी को समायोजित करने का मूल उद्देश्य इसके विभिन्न घटकों को एक दूसरे के साथ संरेखित करना है। प्रिज्म से निकलने वाला प्रकाश किरण पुंज दूरबीन के अभिदृश्यक पर एस प्रकार आपतित होना चाहिए ताकि दूरबीन के क्रॉस तार पर एक स्पष्ट प्रतिबिंब बने। स्पेक्ट्रममापी का उपयोग करने से पहले निम्नलिखित समायोजन आवश्यक हैं:

- स्पेक्ट्रममापी के अक्ष का लंबवत होना ताकि यह प्रिज्म टेबल के ऊर्ध्वाधर घूर्णन अक्ष के साथ मेल खाता हो
- समांतरित्र और दूरदर्शक के अक्ष क्षैतिज होनी चाहिए ताकि वे प्रिज्म टेबल के अक्ष के लंबवत हों;
- प्रिज्म के अपवर्तक फलक लंबवत होने चाहिए ताकि ये दूरबीन के घूर्णन अक्ष के समांतर हों; और
- समांतर किरणों के लिए समांतरित्र और दूरदर्शक को समायोजित किया जाना चाहिए।

स्पेक्ट्रममापी का उपयोग करते समय आपको यह ध्यान रखना चाहिए कि इसके सभी घटकों को बहुत सावधानीपूर्वक प्रयोग करें। स्पेक्ट्रममापी के किसी भी भाग का प्रयोग करते समय अधिक बल न लगाएँ; ऐसा करने पर वह भाग विकृत हो सकता है या टूट भी सकता है। कुछ भाग आपको काफी दृढ़ लग सकते हैं क्योंकि उन्हें पेंच की सहायता से क्लैप किया जा सकता है। ऐसी स्थिति में, इसे जांचें और इसे ढीला करने के लिए उपयुक्त पेंच का पता लगाएं।

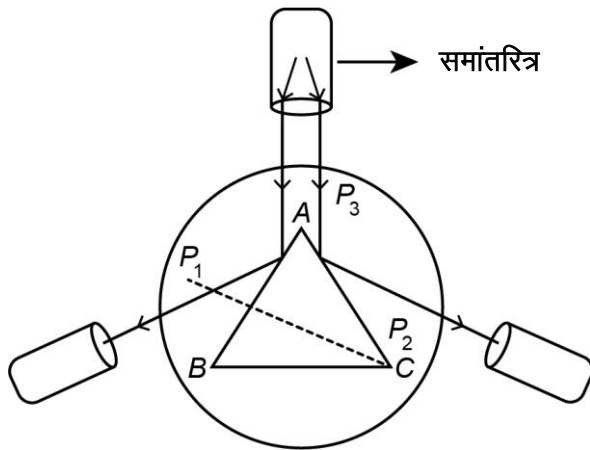
स्पेक्ट्रममापी के विभिन्न घटकों को समायोजित करने की विधि निम्नलिखित है :

i) **समतलन** : दूरदर्शक को समतलित करने के लिए स्पिरिट लेवल लें और इसे दूरदर्शक नलिका पर इसकी लंबाई के अनुदिश रखें। स्पिरिट लेवल के बुलबुले को केंद्र में लाने के लिए स्पेक्ट्रममापी के आधार पर दिए गए पेंच का उपयोग करें। दूरदर्शक नलिका को 180 डिग्री घुमाएँ और बुलबुले को केंद्र में लाने के लिए फिर से आधार पर दिए गए पेंच का उपयोग करें। इस प्रक्रिया को तब तक दोहराएं जब तक कि दूरदर्शक की विभिन्न स्थितियों के लिए स्पिरिट लेवल के बुलबुले केंद्र में न रह जाए। यह समतलन सुनिश्चित करता है कि दूरदर्शक प्रिज्म टेबल के ऊर्ध्वाधर अक्ष के लंबवत है। इसी तरह, आप स्पिरिट लेवल और समांतरित्र नलिका के साथ दिए गए पेंच का उपयोग करके समांतरित्र नलिका को समतल कर सकते हैं। इसके अलावा, प्रिज्म टेबल को समतल करने के लिए, आप निम्न दो विधियों में से एक का उपयोग कर सकते हैं :

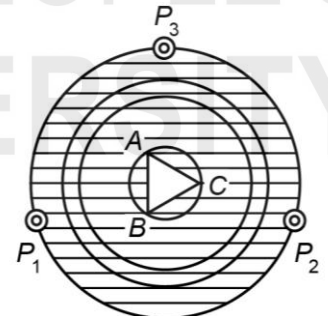
क) स्पिरिट लेवल का उपयोग करके प्रिज्म टेबल को समतल किया जा सकता है। स्पिरिट लेवल को प्रिज्म टेबल के बीच में रखें और प्रिज्म टेबल के नीचे दिए गए पेंच को समंजित करके स्पिरिट लेवल के बुलबुले को बीच में लाएं। प्रिज्म टेबल पर स्पिरिट लेवल की स्थिति बदलें और फिर से, बुलबुले को केंद्र में लाने के लिए प्रिज्म टेबल पेंच का उपयोग करें। प्रिज्म टेबल पर स्पिरिट लेवल की विभिन्न स्थितियों के लिए इस प्रक्रिया को दोहराएं। इस समायोजन से आपने प्रिज्म टेबल को क्षैतिज बना दिया है। इस प्रकार, जब आप प्रिज्म को इस मेज पर रखते हैं, तो इसकी अपवर्तक सतहें पूरी तरह से लंबवत होंगी, यानी वे समांतरित्र और दूरदर्शक अक्षों के लंबवत होंगी।

ख) कभी-कभी, प्रिज्म टेबल को स्पिरिट लेवल से समतल करना पर्याप्त नहीं होता है। ऐसे में प्रिज्म टेबल को प्रकाशिक रूप से समतलित किया जाना चाहिए। इसमें निम्नलिखित चरण होते हैं:

- सोडियम प्रकाश द्वारा समांतरित्र रेखाछिद्र को प्रकाशित करें। (क्या आप सोडियम लैंप द्वारा प्रकाश के उत्सर्जन की प्रक्रिया जानते हैं? यदि आप नहीं जानते तो साथी छात्रों के साथ-साथ अपने अकादमिक परामर्शदाता के साथ चर्चा करें।) प्रिज्म को प्रिज्म टेबल के केंद्र में इस तरह रखें कि इसका एक फलक AB दो पेंच P_1 और P_2 (चित्र 1.5) को मिलाने वाली रेखा के लंबवत हो।



चित्र 1.6: प्रिज्म टेबल का प्रकाशिक समतलन ।



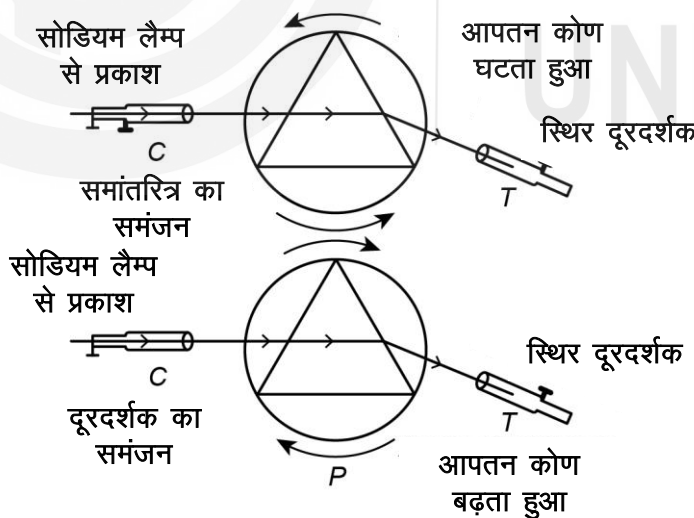
चित्र 1.5: प्रिज्म टेबल पर प्रिज्म।

- प्रिज्म टेबल को इस प्रकार घुमाएं कि अपवर्तक किनारा समांतरित्र की ओर इंगित करें और प्रकाश प्रिज्म की दोनों अपवर्तक सतहों पर पड़े, जैसा कि चित्र 1.6 में दिखाया गया है।
- दूरबीन को तब तक घुमाएं जब तक आपको प्रिज्म की AB की ओर से परावर्तित प्रकाश के कारण रेखाछिद्र का प्रतिबिंब दिखाई न दे। क्या दूरदर्शक के क्षैतिज क्रॉस तार के सापेक्ष प्रतिबिंब सममित है? यदि नहीं, तो पेंच P_1 और P_2 को समायोजित करें और उन्हें विपरीत दिशाओं में घुमाएँ ताकि प्रतिबिंब दूरदर्शक के दृश्य क्षेत्र के बिल्कुल केंद्र में हो।
- इसके बाद, AC की ओर से परावर्तित प्रकाश के कारण रेखाछिद्र का प्रतिबिम्ब देखने के लिए दूरदर्शक को घुमाएँ (चित्र 1.6)। फिर से सुनिश्चित करें कि दूरदर्शक के क्षैतिज क्रॉस तार के सापेक्ष प्रतिबिंब सममित है। यदि नहीं, तो पेंच P_3 को समायोजित करें, दूरदर्शक को वापस AB की ओर मोड़ें और पहले की प्रक्रिया को दोहराएं।
- दूरदर्शक की दोनों स्थितियों में क्षैतिज क्रॉस तार के सापेक्ष रेखाछिद्र प्रतिबिंब सममित होने तक प्रक्रिया को दोहराएं।

इन समायोजनों के साथ, आपने समांतरित्र, दूरदर्शक और प्रिज्म टेबल को क्षैतिज और प्रिज्म टेबल के ऊर्ध्वाधर अक्ष के लंबवत कर लिया है।

- ii) **क्रॉस तार का फोकसन** : दूरदर्शक के अभिदृश्यक को एक दीप्त पृष्ठभूमि की ओर रखा जाता है और नेत्रिका को अन्दर बाहर करके इस प्रकार समंजित किया जाता है कि क्रॉस तार स्पष्ट दिखाई दें।
- iii) **रेखाछिद्र का समंजन** : प्रिज्म को प्रिज्म टेबल से हटाएं और दूरदर्शक को समांतरित्र के साथ संरेखित करें और नेत्रिका से होकर देखें। रेखाछिद्र के प्रतिबिम्ब को यथासंभव पतला और चमकीला बनाएं। इसके लिए दूरदर्शक और समांतरित्र के फोकसनकारी पेंचों का उपयोग करें। रेखाछिद्र को इसके तल में घुमाकर ऊर्ध्वाधर बनाया जा सकता है और इसकी चौड़ाई को साथ लगे पेंचों की सहायता से लगभग 1 mm का बनाया जा सकता है। (रेखाछिद्र की चौड़ाई काम होनी चाहिए।)
- iv) **समांतर किरणों के लिए दूरदर्शक और समांतरित्र का समंजन** : यह कार्य दो तरीकों से किया जा सकता है :
 - क) दूरदर्शक को वृक्ष या सड़क के लैम्प जैसी किसी दूरस्थ वस्तु पर फोकस कीजिए और समंजक पेंच की सहायता से इसका स्पष्ट विविक्त प्रतिबिम्ब क्रॉस तार पर प्राप्त कीजिए।
 - ख) शस्टर विधि द्वारा : यह दूरदर्शक और समांतरित्र दोनों को समांतर किरणों के लिए समंजित करने की एक बेहतर तथा अधिक वैज्ञानिक विधि है। इसमें निम्न चरणों का अनुसरण करना होता है :
 - स्पेक्ट्रममापी को इस प्रकार रखिए कि समांतरित्र रेखाछिद्र एक एकवर्णी प्रकाश स्रोत (सोडियम लैम्प) की ओर रहे। दूरदर्शक को समांतरित्र के साथ संरेखित कीजिए, रेखाछिद्र और उपकरण के समतलीकरण संबंधी समंजन कीजिए। रेखाछिद्र का प्रतिबिम्ब दूरदर्शक के दृश्य क्षेत्र के केन्द्र पर बनना चाहिए।

- दूरदर्शक को घुमाकर इस प्रकार रखिए कि ऊर्ध्वाधर क्रॉस तार रेखाछिद्र के साथ संपाती हो। नेत्रिका को समंजित कीजिए ताकि क्रॉस तार स्पष्ट दिखाई पड़े।
- प्रिज्म को टेबल पर रखिए और इसकी ऊँचाई समंजित कीजिए ताकि यह समांतरित प्रकाश किरण पुंज ग्रहण कर सके। अब यदि आप प्रिज्म के दूसरे अपवर्तक सतह कि ओर से देखें और प्रिज्म के आधार कि ओर बढ़ें तो आपको रेखाछिद्र का प्रतिबिम्ब दिखनी चाहिए।
- अब प्रिज्म टेबल को इस प्रकार घुमायें कि रेखाछिद्र का प्रतिबिम्ब समांतरित से आने वाली सीधी किरण कि ओर अग्रसर हो
- दूरदर्शक को प्रतिबिम्ब के इस स्थान के संगत लायें। यह प्रिज्म के न्यूनतम विचलन की सन्निकट स्थिति है जो इस तथ्य से स्पष्ट है कि इस स्थिति में रेखाछिद्र का प्रतिबिम्ब दोनों स्थितियों - प्रिज्म टेबल को दक्षिणावर्त और वामावर्त दिशा में घूर्णन - प्रतिबिम्ब दूरदर्शक के दृश्य क्षेत्र में एक ही ओर विस्थापित होता है। दूरदर्शक को इस स्थिति में स्थिर कर दीजिए (चित्र 1.7)।
- अब प्रिज्म टेबल को इस प्रकार घुमायें कि प्रिज्म के अपवर्तक सतह पर आपतित किरण पुंज का आपतन कोण न्यूनतम विचलन के संगत कोण से अधिक हो (चित्र 1.7)। रेखाछिद्र का स्पष्ट, चमकदार प्रतिबिम्ब प्राप्त करने के लिए दूरदर्शक को समंजित कीजिए।
- अब प्रिज्म को विपरीत दिशा में इतना घुमाईए कि यह न्यूनतम विचलन के संगत स्थिति से थोड़ा कम कोण बनाता हुआ हो। अब रेखाछिद्र का स्पष्ट, चमकदार प्रतिबिम्ब प्राप्त करने के लिए समांतरित को समंजित कीजिए।



चित्र 1.7: शस्टर विधि द्वारा दूरदर्शक और समांतरित का समांतर किरणों के लिए फोकसन।

- अब प्रिज्म को वापस घुमाईए और प्रारंभिक स्थिति में लौट लाईए (अर्थात, आपतन कोण, न्यूनतम विचलन कोण से अधिक हो)। रेखाछिद्र का प्रतिबिम्ब धुंधला दिखाई देगा। टेलीस्कोप का पेंच S_2 घुमाकर स्पष्ट प्रतिबिम्ब बनाईए।

- इन दो चरणों को बारम्बार दोहरा कर प्रिज्म की दोनों स्थितियों में रेखाछिद्र का स्पष्ट प्रतिबिम्ब प्राप्त कीजिए। इससे यह सुनिश्चित हो जाता है कि समांतरित्र और दूरदर्शक समांतर किरणों के लिए व्यवस्थित हो गए हैं।
- इस समंजन में आपको ध्यान रखना चाहिये कि जब प्रिज्म का अपवर्तक सतह आप की ओर हो तो प्रतिबिम्ब का फोकसन दूरदर्शक को समंजित कर के करें और जब प्रिज्म का अपवर्तक सतह आप से दूर हो तो प्रतिबिम्ब का फोकसन समांतरित्र (जो आपसे दूर है) को समंजित कर के करें।
- यदि इन चरणों को दिए गए क्रम में अनुसरण नहीं किया जाता है तो प्रतिबिम्ब में सुधार आने के बजाए यह और बिगड़ जाएगा।

प्रकाश का स्रोत

किसी प्रयोग में प्रयुक्त प्रकाश के स्रोत का निर्धारण प्रयोग के उद्देश्य से होता है। उदाहरण के लिए, यदि हमें विसरण के कारण प्राप्त प्रकाश के विभिन्न रंगों की तरंगदैर्घ्य निर्धारित करनी है, तो हम एक पारा लैंप का उपयोग करते हैं। हालांकि, एक स्पेक्ट्रममापी का उपयोग करके प्रिज्म की पदार्थ के अपवर्तनांक को निर्धारित करने के लिए, हमें प्रकाश के एक एकवर्णी स्रोत की आवश्यकता होती है। सोडियम वाष्प लैंप आमतौर पर एक एकवर्णी प्रकाश स्रोत के रूप में उपयोग किया जाता है। हालांकि, तथ्य यह है कि यह स्रोत 589.0 nm और 589.6 nm तरंगदैर्घ्य के दो प्रकाश का उत्सर्जन करता है। चूंकि तरंगदैर्घ्य में अंतर बहुत छोटा है, इसलिए इसे सभी व्यावहारिक उद्देश्यों के लिए एक एकवर्णी स्रोत के रूप में लिया जाता है और उत्सर्जित प्रकाश की तरंगदैर्घ्य को 589.3 nm (दोनों तरंगदैर्घ्य का औसत) लिया जाता है।

1.4 प्रायोगिक कार्यविधि

सबसे पहले, आपको पिछले भाग में वर्णित विधि के अनुसार स्पेक्ट्रममापी को समायोजित करना चाहिए। स्पेक्ट्रममापी का उपयोग कर कोई भी मापन करने के लिए यह एक अनिवार्य आवश्यकता है।

1.4.1 स्पेक्ट्रममापी का वर्णियर स्थिरांक (अल्पतमांक) ज्ञात करना

जैसा कि पहले उल्लेख किया गया है, एक स्पेक्ट्रममापी में इसके आधार से जुड़े दो गोलाकार वर्णियर पैमाने होते हैं जो हमें उस कोण को निर्धारित करने में सक्षम बनाता है जिससे दूरदर्शक को घुमाया गया है। आप अपने स्कूल के भौतिकी से वर्णियर पैमाना और वर्णियर स्थिरांक या अल्पतमांक की अवधारणा से परिचित हैं। आपको 'यांत्रिकी : प्रयोगशाला' (BPHCL-132) नामक प्रथम सेमेस्टर प्रयोगशाला पाठ्यक्रम में एक वर्णियर की अल्पतमांक की गणना करने का अवसर भी मिला। किसी मापक यंत्र का वर्णियर नियतांक अथवा अल्पतमांक इसके मुख्य स्केल के 1 भाग (MSD) एवं वर्णियर स्केल के एक भाग (VSD) के अन्तर के रूप में परिभाषित किया जाता है और इससे उस न्यूनतम मान, अल्पतमांक (LC) का पता चलता है जो उस यंत्र द्वारा शुद्धता से मापा जा सकता है।

प्रयोग 1

स्पेक्ट्रममापी का उपयोग कर प्रिज्म पदार्थ के अपवर्तनांक का निर्धारण

स्पेक्ट्रममापी के प्रकरण में 1 मिनट यथार्थता तक कोणों के मापन के लिए वृत्ताकार वर्नियरों का उपयोग किया जाता है। सामान्य स्पेक्ट्रममापी में प्रत्येक मुख्य स्केल विभाजन आधी डिग्री के बराबर होता है तथा वर्नियर स्केल के 30 भाग (VSD) मुख्य स्केल के 29 भागों (MSD) से संपाती होते हैं। अतः

$$1 \text{ VSD} = \frac{29}{30} \text{ MSD}$$

अतः

$$\text{अल्पतमांक (LC)} = 1 \text{ MSD} - 1 \text{ VSD}$$

$$= 1 \text{ MSD} - \frac{29}{30} \text{ MSD} = \left(1 - \frac{29}{30}\right) \text{ MSD} = \frac{1}{30} \text{ MSD}$$

अब

$$1 \text{ MSD} = \frac{1}{2}^\circ = 30'$$

$$\therefore \text{LC} = \frac{1}{30} \times \left(\frac{1}{2}\right)^\circ = \left(\frac{1}{60}\right)^\circ = 1'$$

कुछ स्पेक्ट्रममापियों में 40 VSD, 39 MSD से संपाती होते हैं और तदनुसार ही उनका LC बदल जाता है। अतः अल्पतमांक परिकलित करने से पहले आपको दिए गए स्पेक्ट्रममापी के वर्नियर पैमाने को जांच लेना चाहिए।

प्रयुक्त सूत्र

दिए गए प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक निर्धारित करने के लिए आप समीकरण (1.11) का उपयोग करेंगे :

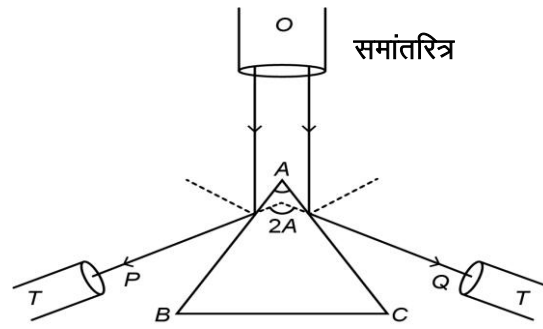
$$\mu = \frac{\sin \frac{A + \delta_m}{2}}{\sin A/2}$$

जहाँ A प्रिज्म का कोण है और δ_m न्यूनतम विचलन कोण है।

अतः हमें A और δ_m का मापन करना है। इन मापनों की कार्यविधि निम्नलिखित है।

1.4.2 प्रिज्म कोण का मापन

- सोडियम वाष्प लैंप चालू करें।
- भाग 1.3.2 में बताई गई प्रक्रिया का पालन करते हुए स्पेक्ट्रममापी को समायोजित करें।
- Place प्रिज्म को प्रिज्म टेबल पर इस प्रकार रखें कि उसके अपवर्तक सतह AB और AC समांतरित्र के सामने हों जैसा कि चित्र 1.8 में दिखाया गया है। इस स्थिति में, समांतरित्र से आने वाला प्रकाश की समांतर किरण पुंज प्रिज्म की अपवर्तक सतहों पर आपतित होगा। आपको ध्यान देना चाहिए कि बिना सहायता की आंखों से दोनों सतहों से रेखाछिद्र दिखाई देता है।



चित्र 1.8: प्रिज्म कोण मापन के लिए प्रायोगिक व्यवस्था।

- iv) नेत्रिका के ऊर्ध्वाधर क्रॉस तार को समायोजित करें ताकि यह रेखाछिद्र के प्रतिबिम्ब के साथ मेल खाता हो।
- v) मुख्य पैमाना और दोनों वर्नियर पैमानों V_1 और V_2 के पाठ्यांक को प्रेक्षण तालिका 1.1 में लिखें।
- vi) अब, दूरदर्शक को स्थानांतरित करें और इसे Q (चित्र 1.8) की स्थिति में लाएं ताकि प्रिज्म के फलक AC से परावर्तन के बाद प्रकाश प्राप्त हो और आप रेखाछिद्र का प्रतिबिम्ब देख सकें।
- vii) इस स्थिति के लिए भी मुख्य पैमाना और दोनों वर्नियर पैमानों के पाठ्यांक को प्रेक्षण तालिका 1.1 में लिखें।
- viii) दूरबीन की स्थिति P और Q प्रत्येक के लिए के तीन स्वतंत्र पठन लें।
- ix) इन दोनों स्थितियों के बीच का कोण $2A$ का मान देता है, जो प्रिज्म के कोण का दोगुना है। प्रिज्म कोण A के माध्य मान की गणना करें।

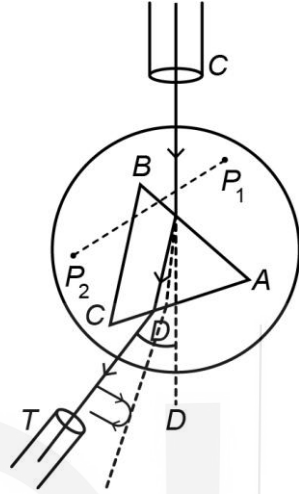
प्रिज्म के कोण के मापने के लिए प्रिज्म टेबल को ऐसी स्थिति में समंजित किया जाना चाहिए ताकि वर्नियर पैमाना V_1 पाठ्यांक का प्रारंभिक मान 0° और 30° के बीच हो। ऐसा करने से, आप यह सुनिश्चित करते हैं कि दूरबीन को दूसरे फलक की ओर मोड़ने के बाद, 120° (आमतौर पर $A \sim 60^\circ$) का जोड़ 150° से अधिक नहीं होगा और तदनुसार वर्नियर पैमाना V_1 का पाठ्यांक 360° से अधिक नहीं होगा। ऐसा करने से आपको दो पाठ्यांकों का अंतर लेते समय कोई भ्रम नहीं होगा।

1.4.3 न्यूनतम विचलन कोण का मापन

न्यूनतम विचलन के कोण को मापने के लिए प्रायोगिक व्यवस्था को समंजित करने के चरण नीचे दिए गए हैं:

- i) प्रिज्म को प्रिज्म टेबल पर इस प्रकार रखें कि इसका एक अपवर्तक सतह AB समांतरित्र की ओर हो और प्रिज्म का केंद्र प्रिज्म टेबल के केंद्र के साथ मेल खाता हो जैसा कि चित्र 1.9 में दिखाया गया है।
- ii) प्रकाश के अपवर्तन के कारण बनी रेखाछिद्र के प्रतिबिम्ब को बिना सहायता प्राप्त आँख से प्रिज्म के अन्य अपवर्तक पृष्ठ AC की ओर से देखें।

- iii) प्रिज्म टेबल को धीरे-धीरे उस दिशा में घुमाएं जिससे कि बिना सहायता वाली आंख द्वारा देखा गया रेखाछिद्र का प्रतिबिंब समांतरित्र से निर्गत सीधी किरण के जितना संभव हो उतना करीब आ जाए (चित्र 1.9 में बिंदीदार रेखा CD द्वारा दिखाया गया है)। यदि आप प्रिज्म टेबल को उसी दिशा में धीरे-धीरे घुमाते रहें तो आप देखेंगे कि, किसी बिंदु पर, प्रतिबिंब समांतरित्र से निर्गत सीधी किरण की दिशा से दूर जाने लगेगी। प्रिज्म की वह स्थिति जहाँ प्रतिबिम्ब सीधी किरण से दूर जाने लगता है, न्यूनतम विचलन के लिए प्रिज्म की अनुमानित स्थिति है।



चित्र 1.9: न्यूनतम विचलन के कोण को मापने के लिए प्रायोगिक व्यवस्था।

- iv) दूरदर्शक को स्थिति P पर लाएँ (जैसा कि चित्र 1.9 में दिखाया गया है)। नेत्रिका के ऊर्ध्वाधर क्रॉस तार को समायोजित करें ताकि वह रेखाछिद्र के प्रतिबिंब के साथ मेल खा सके।
- v) न्यूनतम विचलन की स्थिति के सटीक निर्धारण के लिए, प्रिज्म टेबल को पेंच की मदद से थोड़ा घुमाएँ ताकि प्रतिबिम्ब घटते विचलन की दिशा में (अर्थात् सीधी किरण के करीब) गति करे।
- vi) पेंच का उपयोग करके दूरदर्शक को घुमाएँ ताकि इसके क्रॉस तार को रेखाछिद्र के प्रतिबिंब की नई स्थिति के साथ संरेखित किया जा सके। यह न्यूनतम विचलन के लिए प्रिज्म की सटीक स्थिति है।
- vii) प्रिज्म टेबल और दूरदर्शक के इन धीमे समायोजनों को तब तक जारी रखें जब तक कि रेखाछिद्र प्रतिबिंब विपरीत दिशा में गति करना शुरू न कर दे (अर्थात् बढ़ते विचलन की दिशा में गति करता है)।
- viii) प्रेक्षण सारणी 1.2 में दोनों वर्नियर पाठ्यांकों को नोट कर लें।
- ix) अब प्रिज्म को प्रिज्म टेबल से हटा दें। रेखाछिद्र प्रतिबिंब देखने के लिए समांतरित्र से सीधी किरण के साथ दूरबीन को संरेखित करें। रेखाछिद्र प्रतिबिंब के साथ नेत्रिका के ऊर्ध्वाधर क्रॉस तार को समंजित करें।
- x) प्रेक्षण सारणी 1.2 में दूरबीन की इस स्थिति के लिए वर्नियर पाठ्यांक नोट करें। यह **सीधी किरण पाठ्यांक** है।
- xi) न्यूनतम विचलित किरण और सीधी किरण के माध्य पाठ्यांकों के बीच का अंतर प्रिज्म के न्यूनतम विचलन का कोण देता है।

xii) δ_m के लिए पाठ्यांक के दो सेट लें और δ_m के माध्य मान की गणना करें।

उचित पाठ्यांक के लिए दूरबीन या प्रिज्म टेबल को समायोजित करते समय दूसरे को स्थिर रखें।

प्रेक्षण :

स्पेक्ट्रममापी के वर्नियर का अल्पतमांक (LC) = ...

प्रयुक्त प्रकाश (सोडियम (Na) प्रकाश) का तरंगदैर्घ्य = 589.3 nm

प्रेक्षण सारणी 1.1: प्रिज्म कोण, A

क्रम सं.	वर्नियर	दूरदर्शक की प्रथम स्थिति (X)			दूरदर्शक की द्वितीय स्थिति (Y)			अंतर (Y - X) (=2A)	प्रिज्म का कोण A
		MSR	VSR	योग	MSR	VSR	योग		
1	I V ₁								
	II V ₂								
2	I V ₁								
	II V ₂								

ध्यान दें कि योग (X या Y) प्राप्त करने के लिए आपको वर्नियर पैमाना पाठ्यांक (VSR) को मुख्य पैमाना पाठ्यांक में जोड़ने से पहले उसे अल्पतमांक (या वर्नियर स्थिरांक) (LC) से गुणा करना होगा।

माध्य A = ...

प्रेक्षण सारणी 1.2 : न्यूनतम विचलन कोण δ_m

क्रम सं.	वर्नियर	न्यूनतम विचलन किरण (X)			सीधी किरण (Y)			अंतर, (Y - X) = δ_m
		MSR	VSR	योग	MSR	VSR	योग	
1	I V ₁							
	II V ₂							
2	I V ₁							
	II V ₂							

माध्य δ_m = ...

1.4.4 परिकलन और परिणाम

आप प्रिज्म पदार्थ का अपवर्तनांक समीकरण (1.11) में A और δ_m मान रख कर परिकलित कर सकते हैं :

$$\mu = \frac{\sin\left(\frac{A + \delta_m}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}$$

सोडियम (Na) प्रकाश के लिए प्रिज्म पदार्थ का अपवर्तनांक = ...

आप अपने परिणाम कि चर्चा अपने अकादमिक परामर्शदाता से करें।

$$\text{त्रुटि प्रतिशत} = \frac{\text{प्रायोगिक मान} - \text{मानक मान}}{\text{मानक मान}} \times 100$$

= %

ध्रुवित प्रकाश पर ध्रुवणमापी द्वारा कुछ अन्वेषण

इकाई की रूपरेखा

- | | |
|---|---|
| 2.1 प्रस्तावना
अपेक्षित कौशल | 2.4 कार्यविधि
प्रकाश के ध्रुवणतल के घूर्णन-कोण
और विलयन की सान्द्रता के परस्पर
संबंध |
| 2.2 ध्रुवण और ध्रुवण घूर्णकता | |
| 2.3 उपकरण का विवरण
ध्रुवणमापी
अर्ध आवरण पट्टिका
द्विस्फटिक | अज्ञात सान्द्रता वाले विलयन की
सान्द्रता ज्ञात करना |

2.1 प्रस्तावना

आप विभिन्न प्रकार के घूर्णनों (rotations) से परिचित हैं। पृथ्वी अपने अक्ष पर घूर्णन करती है। आपने गोल घूमते लट्ठू घूर्णन करते पंखे के ब्लेडों, और गतिशील मेरी-गो-राउन्ड को देखा ही होगा। आपने यह भी सुना होगा कि कृत्रिम उपग्रह पृथ्वी के चारों ओर चक्कर लगाते समय अपने अक्ष पर भी घूर्णन करते हैं जिससे वे स्थिर बने रहें। ये उदाहरण ऐसे हैं जिनमें कुछ खास वस्तुएँ घूर्णन कर रही हैं। भौतिकी में हमें अन्य प्रकार के घूर्णनों की भी संकल्पना करनी होती है जिससे हम कुछ महत्वपूर्ण अवधारणाओं और परिघटनाओं को समझ सकें। तरंगों और प्रकाशिकी (BPHCT-137) पाठ्यक्रम की इकाई 5 में हमने आपको ध्रुवक और विश्लेषक तथा ध्रुवक के सापेक्ष विश्लेषक के घूर्णन की सहायता से ध्रुवण परिघटना समझाया था।

स्कूली भौतिकी पाठ्यक्रम में आपने समझा होगा कि ध्रुवण केवल अनुप्रस्थ तरंगों में पाया जाता है। आपने में पढ़ा कि रैखिक ध्रुवित प्रकाश के संगत विद्युत (अथवा, चुंबकीय) क्षेत्र सदिश एक ऐसे ताल में कंपन करते हैं जो प्रकाश के संचरण दिशा के लंबवत है।

प्रकाश के ध्रुवण का अध्ययन, अनेक वैज्ञानिक अन्वेषणों के लिए उपयोगी साधन हो सकता है। उदाहरण के लिए, ध्रुवित प्रकाश की भौतिक पदार्थों के साथ क्रिया से उनके प्रकाशिक गुणधर्मों के बारे में महत्वपूर्ण सूचना प्राप्त होती है। कुछ ऐसे पदार्थ होते हैं जिनसे गुजरने पर रैखिकतः ध्रुवित प्रकाश का ध्रुवण तल परिवर्तित हो जाता है।

ऐसे पदार्थों को **ध्रुवण घूर्णक** पदार्थ कहा जाता है। कुछ ध्रुवण घूर्णक पदार्थ ध्रुवण तल को दक्षिणावर्त दिशा में घूर्णित करते हैं जबकि कुछ अन्य वामवर्त दिशा में। ध्रुवण तल के घूर्णन की सीमा और घूर्णन की दिशा हमें पदार्थ की पहचान करने और किसी विलयन में पदार्थ की सांद्रता का निर्धारण करने में सक्षम बनाती है।

इस प्रयोग में आप उस कोण का निर्धारण करना सीखेंगे जिससे एक रैखिकतः ध्रुवित प्रकाश का ध्रुवण तल किसी ध्रुवण घूर्णक पदार्थ के विलयन से गुजरने पर घूर्णित हो जाता है। आप यह भी सीखेंगे कि घूर्णन कोण का उपयोग करके विलयन में विलेय की सांद्रता की गणना कैसे की जाती है।

प्रकाश के ध्रुवण के तल के घूर्णन को मापने के लिए हम **ध्रुवणमापी** का उपयोग करते हैं। इसका उपयोग दवाओं के विभिन्न घटकों की एकाग्रता को निर्धारित करने के लिए दवा विश्लेषण के लिए भी किया जा सकता है। लेकिन एक भौतिकी प्रयोगशाला में, हम इसका उपयोग प्रकाश के ध्रुवण तल के घूर्णन का अध्ययन करके एक विलयन में चीनी की सांद्रता को निर्धारित करने के लिए करेंगे। इस विधि को **ध्रुवणमिति** के रूप में जाना जाता है।

अपेक्षित कौशल

इस प्रयोग को करने के बाद, आप :

- ❖ एक ध्रुवणमापी के विभिन्न घटकों की पहचान कर सकेंगे;
- ❖ प्रकाश के क्रांतिक वर्ण की पहचान कर सकेंगे;
- ❖ विलयन की सांद्रता और ध्रुवण तल के घूर्णन कोण के बीच संबंध स्थापित कर सकेंगे;
- ❖ ध्रुवण तल के घूर्णन को माप सकेंगे; और
- ❖ दिए गए विलयन की सांद्रता निर्धारित कर सकेंगे।

इस प्रयोग के लिए आपको निम्नलिखित उपकरण की आवश्यकता होगी।

आवश्यक उपकरण

ध्रुवणमापी, मापन प्लास्क, भौतिक तुला, चीनी, आसुत जल

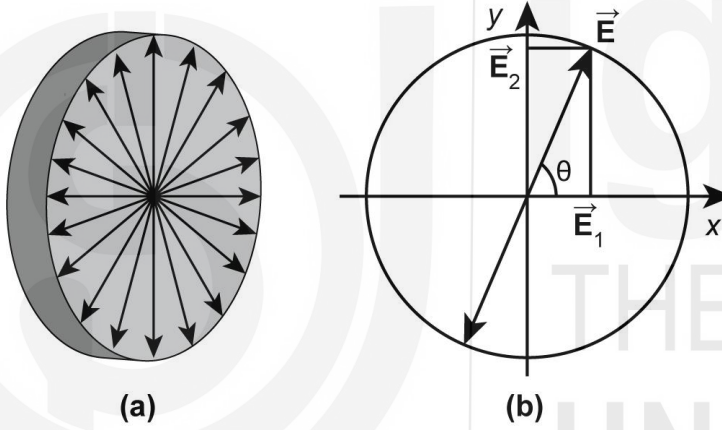
2.2 ध्रुवण और ध्रुवण घूर्णकता

तरंगें और प्रकाशिकी (BPHCT-137) नामक पाठ्यक्रम की इकाई 4 और 5 में आपने क्रमशः विद्युत-चुंबकीय तरंगों और प्रकाश के ध्रुवण के बारे में पढ़ा है। आप जानते हैं कि विद्युत-चुंबकीय तरंगें अनुप्रस्थ प्रकृति की होती हैं। वास्तव में, प्रकाश (और विद्युत-चुंबकीय तरंगों) का ध्रुवण प्रकाश की अनुप्रस्थ प्रकृति के संदर्भ में एक महत्वपूर्ण प्रयोगात्मक सबूत है।

BPHCT-137 की इकाई 5 से आपको याद होगा कि जेड-दिशा में संचरित एक अध्रुवित प्रकाश तरंग से संलग्न विद्युत (साथ ही चुंबकीय) क्षेत्र सदिश को xy -तल में

सदिश द्वारा दर्शाया जा सकता है (चित्र 2-1क)। ध्यान दें कि एक अध्रुवित प्रकाश के विद्युत (साथ ही चुंबकीय) क्षेत्र सदिश xy -तल में सभी संभावित दिशा में अभिविन्यस्त हो सकते हैं।

अध्रुवित प्रकाश के इस निरूपण को सरल बनाने के लिए, हम विद्युत क्षेत्र $\vec{E}$ सदिश को इसके घटकों, मान लीजिए $\vec{E}_1$ और $\vec{E}_2$, में क्रमशः x - और y -अक्ष के अनुदिश वियोजित करते हैं, जैसा कि चित्र 2.1ख में दिखाया गया है। ध्यान दें कि जब xy -तल में विद्युत क्षेत्र सदिश के लिए सभी अभिविन्यास संभव हैं तो उनमें से प्रत्येक को x - और y -अक्षों के अनुदिश वियोजित करते हैं जिसके कारण हम $\vec{E}_1$ और $\vec{E}_2$ में अध्रुवित प्रकाश के सभी विद्युत क्षेत्र सदिशों के योगदान को शामिल करते हैं। अतः कुल परिणाम यह होता है कि हम दो परस्पर लंबवत विद्युत क्षेत्र सदिश घटकों $\vec{E}_1$ और $\vec{E}_2$ के पदों में अध्रुवित प्रकाश को निरूपित कर सकते हैं। ध्यान दें कि $\vec{E}_1$ और $\vec{E}_2$ वास्तव में अध्रुवित प्रकाश को निरूपित करने वाले व्यक्ति विद्युत क्षेत्र सदिशों के संगत घटकों की एक बड़ी संख्या के परिणाम हैं (चित्र 2.1क)। यह भी ध्यान दें कि इनमें से प्रत्येक घटक समतल (या, रेखिक रूप से) ध्रुवित है क्योंकि इनमें से प्रत्येक एक तल तक सीमित है जिसमें z -अक्ष भी है और उस तल का अभिविन्यास निश्चित है।



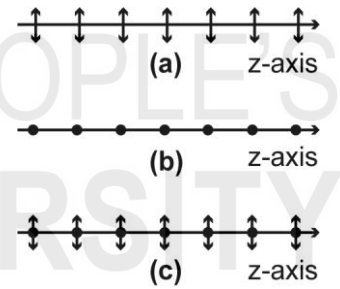
चित्र 2.1: क) z -दिशा के अनुदिश संचरित एक अध्रुवित प्रकाश से संलग्न विद्युत क्षेत्र सदिश; ख) अध्रुवित प्रकाश के विद्युत क्षेत्र सदिश का उसके घटकों में वियोजन।

अध्रुवित प्रकाश के निरूपण के लिए ऊपर बताए गए योजना के अनुरूप इसका सचित्र निरूपण चित्र 2.2 में दिखाया गया है। चित्र 2.2 क और 2.2ख ज z -दिशा में संचरित अध्रुवित प्रकाश के संगत दो समतल (या, रेखिक रूप से) ध्रुवीकृत घटकों $\vec{E}_1$ और $\vec{E}_2$ (एक x -अक्ष के अनुदिश और दूसरा y -अक्ष के अनुदिश) को दिखाते हैं। चित्र 2.2ग दो लंबवत कंपनों को एक साथ दिखाता है : तीर कागज के तल में कंपन को निरूपित करता है और बिंदु कागज के तल के लंबवत कंपन को निरूपित करता है।

धनात्मक z -दिशा में संचरण कर रही एकवर्णी तरंग, जिसकी कोणीय आवृत्ति ω है, के लिए $\vec{E}$ के घटक इस प्रकार होंगे :

$$\vec{E}_1(z, t) = E_{10} \hat{i} \sin(kz - \omega t) \quad (2.1)$$

$$\vec{E}_2(z, t) = E_{20} \hat{j} \sin(kz - \omega t + \phi) \quad (2.2)$$



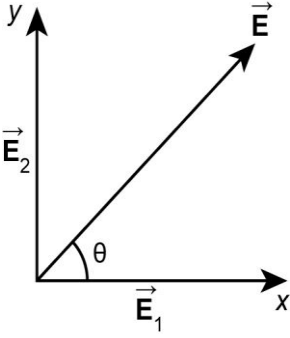
चित्र 2.2: विद्युत क्षेत्र कंपन

क) कागज के तल में; ख) कागज के तल के लंबवत; ग) दो परस्पर लंबवत विद्युत कंपन, जो प्रकाश की एक अध्रुवित किरण को निरूपित करते हैं, एक साथ दिखाए गए हैं।

जिसमें $k = 2\pi/\lambda$ तरंग संख्या है, $\omega = 2\pi f$, कोणीय आवृत्ति है, $\hat{i}$ और $\hat{j}$ क्रमशः x और y अक्षों के अनुदिश मापक सदिश है और ϕ कला अंतर है।

जैसा कि चित्र 2.1क से स्पष्ट है, ज-दिशा में संचरित अध्रुवित प्रकाश (जैसे कि सूर्य या तापदीप्त लैंप से) से संलग्न विद्युत क्षेत्र सदिशों का अभिविन्यास यादृच्छिक

हो सकता है। इसका अर्थ है कि अध्रुवित प्रकाश के किरण पुंजों में कला कोण (phase angle) यादृच्छिक (randomly) रूप से घटता बढ़ता है। लेकिन ध्रुवित प्रकाश का कला-कोण स्थिर होता है। इस कला-कोण के मान तथा $\vec{E}_1$ और $\vec{E}_2$ के आयामों के बीच संबंध के अनुसार इनके अध्यारोपण के कारण प्रकाश की निम्नलिखित ध्रुवण स्थितियां संभव हैं :



चित्र 2.2: रैखिकतः

(linearly) अथवा समतल (plane) ध्रुवित प्रकाश।

क) यदि कला-कोण ϕ शून्य हो तो $\vec{E}_1$ और $\vec{E}_2$ समान कला में होते हैं तथा $\vec{E}$ क्षेत्र सदिश उस रेखा के अनुदिश दोलन करता है जो x -अक्ष के साथ θ कोण बनाती हो, जैसा कि चित्र 2.3 में दिखाया गया है। इस प्रकार के प्रकाश किरण पुंज को समतल या रैखिकतः ध्रुवित प्रकाश कहते हैं।

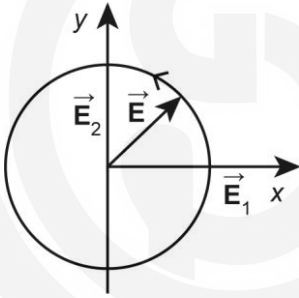
θ कोण इस प्रकार प्राप्त होता है,

$$\theta = \tan^{-1} \frac{E_{20}}{E_{10}} \quad (2.3)$$

ख) जब कला अंतर $\phi = \pi/2$ और $E_{10} = E_{20}$, तो समीकरण (2.1) और (2.2) निम्नवत परिवर्तित हो जाता है :

$$\vec{E}_1(z, t) = E_{10} \hat{i} \sin(kz - \omega t) \quad (2.4)$$

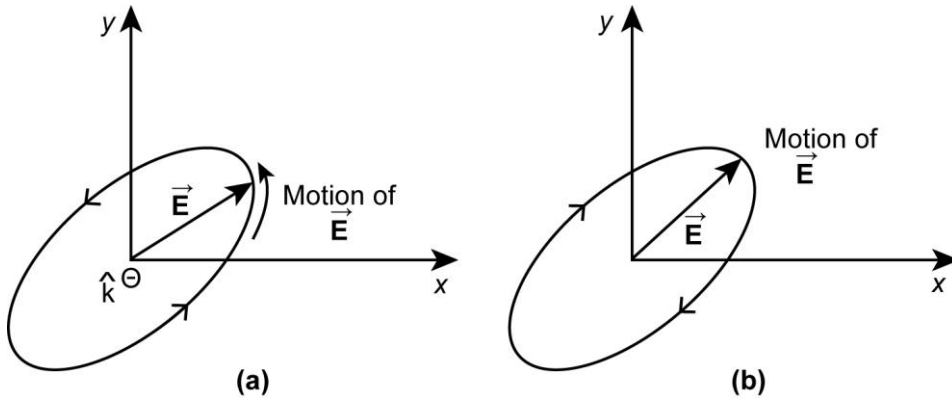
$$\vec{E}_2(z, t) = E_{10} \hat{j} \cos(kz - \omega t) \quad (2.5)$$



चित्र 2.4: वृत्तीय (circularly) ध्रुवित प्रकाश।

इस स्थिति में परिणामी विद्युत क्षेत्र $\vec{E}$ की नोक (सिरा) पृष्ठ के तल में एक वृत्त के अनुदिश चलती है जैसा कि चित्र 2.4 में दिखाया गया है। ऐसे ध्रुवित प्रकाश को वृत्तीय ध्रुवित प्रकाश कहते हैं। चूँकि विद्युत क्षेत्र सदिश की नोक के घूमने की दो दिशाएँ (दक्षिणावर्त और वामवर्त) हो सकती हैं, वृत्तीय ध्रुवण की दो अलग-अलग अवस्थाएँ होती हैं। परंपरा के अनुसार, यदि हम कागज के तल से निकलने वाली किरण के संचरण की दिशा में देखते हैं और पाते हैं कि विद्युत क्षेत्र $\vec{E}$ की नोक वामावर्त दिशा में घूमती है, तो प्रकाश को वामवर्त वृत्तीय ध्रुवित प्रकाश कहा जाता है। और, यदि सिरा घड़ी की दिशा (दक्षिणावर्त) में घूमता है, तो प्रकाश को दक्षिणावर्त वृत्तीय ध्रुवित प्रकाश कहा जाता है।

ग) जब कला अंतर, $\phi \neq m\pi/2$ ($m = 0, 1, 2, 3, \dots$) और $E_{10} \neq E_{20}$, तो परिणामी विद्युत क्षेत्र सदिश की नोक एक दीर्घवृत्त की परिधि के अनुदिश चलती है जैसा कि चित्र 2.5 में दिखाया गया है। फिर से, जैसा कि वृत्तीय ध्रुवण के मामले में, दीर्घवृत्तीय ध्रुवित प्रकाश के लिए घूर्णन की दो दिशाएँ संभव हैं। इस प्रकार, हमें दक्षिणावर्त दीर्घवृत्तीय ध्रुवित प्रकाश और वामवर्त दीर्घवृत्तीय ध्रुवित प्रकाश प्राप्त होता है (चित्र 2.5)।



चित्र 2.5: क) दक्षिणावर्त दीर्घवृत्तीय ध्रुवित प्रकाश; ख) और वामवर्त दीर्घवृत्तीय ध्रुवित प्रकाश।

आपको BPHCT-137 की इकाई 5 से याद होगा कि रैखिक और वृत्तीय ध्रुवण दीर्घवृत्तीय ध्रुवण की विशेष परस्थितियाँ हैं; जब m का मान $\pi/2$ का सम और विषम गुणज होता है, तो दीर्घवृत्तीय रूप से ध्रुवित प्रकाश क्रमशः रैखिकतः और वृत्तीय ध्रुवित प्रकाश में परिवर्तित हो जाता है।

ध्रुवण और उसकी अवस्थाओं के बारे में कुछ जानकारी पाने के बाद आइए अब यह मालूम करें कि ध्रुवण घूर्णकता (optical activity) किसे कहते हैं।

ध्रुवण घूर्णकता

ऐसे अनेक ठोस, द्रव और उनके विलयन हैं जो उनमें से गुजरने वाले रैखिकतः ध्रुवित प्रकाश के ध्रुवण-तल का घूर्णन कर देते हैं। ऐसे पदार्थों को ध्रुवण घूर्णक कहा जाता है। इस परिघटना का अविष्कार सर्वप्रथम डोमिनिक एफ० जे० एरैगो नामक फ्रांसीसी भौतिकविद् ने किया जब उन्होंने देखा कि यदि रैखिकतः ध्रुवित प्रकाश, स्फटिक पट्टिका के प्रकाशिक अक्ष के अनुदिश संचरण करता है तो उसका ध्रुवण तल लगातार बदलता रहता है। इसे चित्र 2.6 में दिखाया गया है। (लगभग उसी समय ज्या० बी० बायो ने भी तारपीन के वाष्प और द्रव रूपों का उपयोग करके यही परिघटना देखी।)

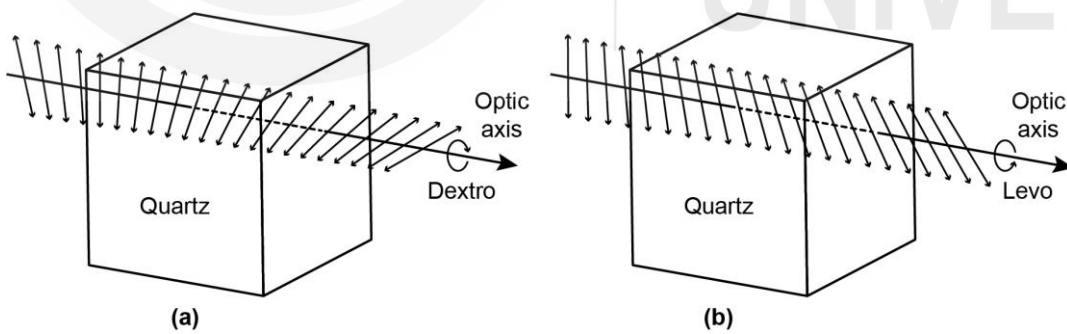


Fig. 2.6: Rotation of the plane of polarisation of a linearly polarised light in an optically active medium: a) dextrorotatory medium; b) levorotatory medium.

इसके अलावा यह भी देखा गया है कि ध्रुवण तल का घूर्णन दक्षिणावर्ती और वामावर्ती दोनों हो सकता है। यदि प्रकाश स्रोत की दिशा में देखते हुए ऐसा लगे कि विद्युत् क्षेत्र सदिश का कंपन तल दक्षिणावर्ती परिक्रमण कर रहा है तो पदार्थ को **दक्षिण ध्रुवण घूर्णक** अथवा **d-घूर्णक** कहते हैं। दूसरी ओर यदि ऐसा लगे कि कंपन तल वामावर्त विस्थापित हो रहा है तो पदार्थ को **वाम ध्रुवण घूर्णक** अथवा **l-घूर्णक** कहते हैं।

यह भी पाया गया कि स्फटिक का d घूर्णी और l घूर्णी व्यवहार वास्तव में उसकी दो भिन्न संरचनाओं के कारण होता है। हालांकि स्फटिक के सभी अणु (SiO_2) एक समान होते हैं किन्तु इन अणुओं के विन्यास अलग होने की वजह से स्फटिक क्रिस्टल वामावर्ती अथवा दक्षिणावर्ती हो सकता है। इसलिए किसी क्रिस्टलीय पदार्थ द्वारा उत्पन्न घूर्णन के प्रकार का उसकी अणु-संरचना से घनिष्ट संबंध होता है। (गलित (molten) स्फटिक और संगलित (fused) स्फटिक ध्रुवण घूर्णक नहीं होते। क्या आप बता सकते हैं ऐसा क्यों है? उसका कारण यह है कि वे अक्रिस्टलीय होते हैं।)

बेन्जिल और NaBrO_3 के समान अनेक ऐसे कार्बनिक और अकार्बनिक पदार्थ हैं जो अपने क्रिस्टलीय रूप में स्फटिक के ही जैसी ध्रुवण घूर्णकता दिखाते हैं। इसके विपरीत, शर्करा (sugar), टार्टरिक अम्ल, तारपीन आदि प्रकृति में पाए जाने वाले यौगिक, विलयन अथवा द्रव अवस्था में ध्रुवण घूर्णक होते हैं। घूर्णन-क्षमता, किसी अणु की अपनी विशेषता होती है। अन्वेषणों से यह भी पता चला है कि प्रकाश के ध्रुवण तल का घूर्णन-कोण, विलयन में ध्रुवण घूर्णक पदार्थ की सान्द्रता (concentration) पर निर्भर करता है।

आइए अब यह समझें कि सान्द्रता के साथ ध्रुवण तल का घूर्णन कोण किस तरह बदलता है। इसके लिए आइए एक l cm (अथवा $l/10$ डेसीमीटर) लंबा विलयन स्तंभ लें जिसमें $t^\circ\text{C}$ तापमान पर विलयन के एक घन सेन्टीमीटर में ध्रुवण घूर्णक पदार्थ का m g डाला गया है। मान लीजिए कि यह विलयन स्तंभ रैखिकतः ध्रुवित प्रकाश के ध्रुवण तल का θ कोण के बराबर घूर्णन करता है। घूर्णन कोण का मान

$$\theta = slm/10 \quad (2.6)$$

होता है जहां s पदार्थ का **विशिष्ट घूर्णन** है। विशिष्ट घूर्णन 1 डेसीमीटर लंबे विलयन स्तंभ द्वारा उत्पन्न घूर्णन होता है जब कि विलयन के प्रतिघन सेन्टीमीटर में सक्रिय 1 g पदार्थ डाला हो। समीकरण (2.6) दिखाता है कि ध्रुवण तल का घूर्णन कोण विलयन में ध्रुवण घूर्णक पदार्थ की मात्रा पर निर्भर करता है।

यदि विलयन की सान्द्रता $c\%$ हो अर्थात् 100 cm^3 में सक्रिय पदार्थ के c ग्राम हो तो

$$m = c/100 \text{ g} \quad (2.7)$$

m के इस मान को समीकरण (2.6) में रखने पर, हम पाते हैं कि

$$\theta = slc/1000 \quad (2.8)$$

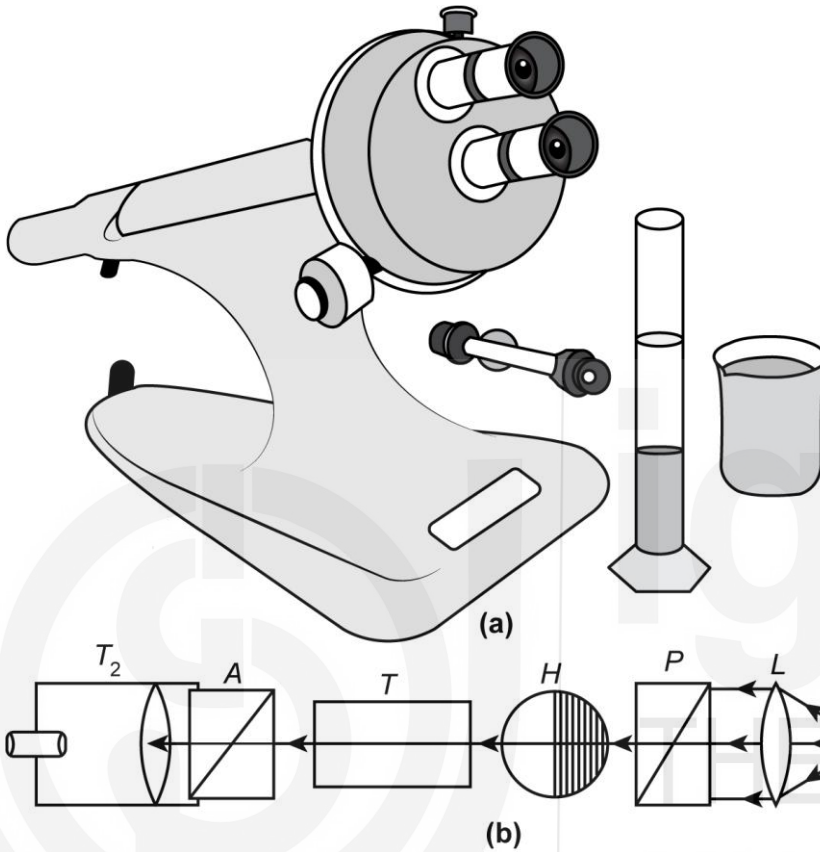
समीकरण (2.8) यह बतलाता है कि ध्रुवण तल के घूर्णन कोण का ध्रुवण घूर्णन पदार्थ युक्त विलयन की सान्द्रता से क्या संबंध है। आप प्रयोग द्वारा इस संबंध को स्थापित कर सकते हैं। इस प्रयोग के लिए आपको ध्रुवणमापी की आवश्यकता होगी। अतः पहले हम आपको इससे और अन्य आवश्यक उपकरणों से परिचय कराएंगे।

2.3 उपकरण का विवरण

इस प्रयोग में प्रयुक्त सर्वाधिक महत्वपूर्ण युक्ति ध्रुवणमापी (polarimeter) है। जब प्रकाश किसी ध्रुवण घूर्णक विलयन से गुजरता है तो इस यंत्र द्वारा उसके ध्रुवण-तल का घूर्णन मापा जाता है। ध्रुवणमापी का संचालन बहुत सरल है। आइए अब इसके बारे में जानें।

2.3.1 ध्रुवणमापी

सरलतम ध्रुवणमापी में एक ध्रुवक (Polariser) और एक विश्लेषक (Analyser) होता है। किन्तु भौतिकी प्रयोगशाला में इस सामान्य व्यवस्था का संशोधित रूप काम में लाया जाता है। उसे चित्र 2.7क में दिखाया गया है।



चित्र 2.7: क) ध्रुवणमापी; ख) ध्रुवणमापी का व्यवस्था आरेख।

चित्र 2.7ख को देखें जिसमें एक ध्रुवणमापी का व्यवस्था आलेख दिखाया गया है। T_1 नली में S रेखाछिद्र है जिसकी चौड़ाई और स्थिति को बदला जा सकता है। रेखाछिद्र, समांतरकारी लेन्स के फोकस तल पर स्थित है। इसलिए माना जा सकता है कि इस रेखाछिद्र S से आने वाला प्रकाश समतल तरंगों के रूप में होता है। ये तरंगे निकल प्रिज्म (P) पर पड़ती है जो समतल ध्रुवित प्रकाश उत्पन्न करता है। ध्रुवित प्रकाश अर्ध आवरण पट्टिका अथवा द्विस्फटिक H से होकर बाहर निकलता है। (आप अर्ध आवरण पट्टिका अथवा द्विस्फटिक की आवश्यकता और कार्य प्रणाली के बारे में आगे पढ़ेंगे।) मुख्य ढांचे पर T नली को थामने के लिए स्थान है जिसमें आसुत जल अथवा वह ध्रुवण घूर्णक विलयन भरा होता है जिसकी जांच करनी हो। इस नली के दोनों सिरों को धातु की टोपियों वाली प्रकाशतः समतल कांच की प्लेटों से बंद करने की व्यवस्था होती है।

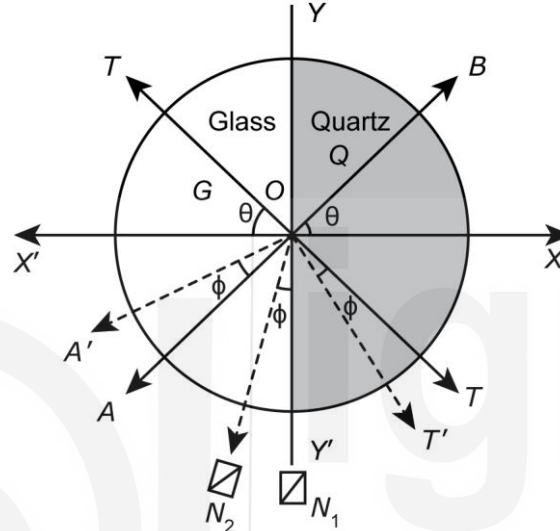
एक विश्लेषक (A) निकल प्रिज्म को कम क्षमता वाले टेलीस्कोप के सामने दूसरी नली T_2 में रखा जाता है। जब T_2 नली को घुमाया जाता है तो उससे संलग्न वर्नियर भी घूमता है। नलियों T_1 , T और T_2 के अक्ष एक ही क्षैतिज ऋजु रेखा में होते हैं।

साधारण ध्रुवक विश्लेषक तंत्र में, विलोपन (extinction) की स्थिति से विश्लेषक के छोटे घूर्णनों के लिए दीप्ति की त्वरता में होने वाले परिवर्तनों को देखना कठिन होता है। इस

कमी को दूर करने और अधिक यथार्थता प्राप्त करने के लिए ध्रुवणमापी में अर्ध आवरण पट्टिका (half-shade plate) अथवा द्विस्फटिक (biquartz) जैसी युक्तियों का उपयोग करते हैं। आइये इन युक्तियों की संक्षेप में चर्चा करें।

2.3.2 अर्ध आवरण पट्टिका

यह एक गोल पट्टिका होती है जिसका आधा भाग (G) कांच का और आधा भाग (Q) स्फटिक का बना होता है जैसा कि चित्र 2.8 में दिखाया गया है। इसमें YY' दो आधे भागों की संघि रेखा है। दोनों आधे भागों की मोटाई समान है तथा स्फटिक भाग का प्रकाशिक अक्ष (optic axis) YY' के समांतर है।



चित्र 2.8: अर्ध आवरण पट्टिका।

BPHCT-137 की इकाई 5 से याद करें कि एक द्विअपवर्तक क्रिस्टल में प्रकाशिक अक्ष एक दिशा को इस प्रकार संदर्भित करता है कि, यदि प्रकाश की कोई किरण प्रकाशिक अक्ष के अनुदिश संचरित होती है, तो यह द्विअपवर्तन (अर्थात्, दोहरा अपवर्तन) नहीं प्रदर्शित करता है। प्रकाशिक अक्ष क्रिस्टल में एक (निश्चित) रेखा को संदर्भित नहीं करता है; यह एक दिशा को संदर्भित करता है। इसका तात्पर्य यह है कि क्रिस्टल के प्रकाशिक अक्ष के समांतर दिशा में क्रिस्टल से संचरित सभी किरणें द्विअपवर्तन के बिना क्रिस्टल से होकर गुजरेंगी।

अर्ध आवरण पट्टिका कि कार्य प्रणाली समझने के लिए मान लीजिए कि जो रैखिकतः ध्रुवित प्रकाश अर्ध आवरण पट्टिका पर आपतित होता है उसके $\vec{E}$ क्षेत्र का कंपन AB के समांतर है (चित्र 2.8)। यह भी मान लीजिए कि $\vec{E}$ क्षेत्र का कंपन XX' के साथ θ कोण बनाता है। XX' रेखा, स्फटिक के YY' प्रकाशिक अक्ष पर लंब है। कांच के आध्र भाग (G) पर पड़ने वाले आपतित प्रकाश के कंपनों में कोई परिवर्तन नहीं होने के कारण इस भाग से निकलने पर प्रकाश किरण पुंज OA के समांतर रहते हैं। किन्तु जैसा कि आप जानते हैं, स्फटिक द्विअपवर्तन (birefringence) प्रदर्शित करता है। इसलिए स्फटिक अर्ध भाग पर (OB के अनुदिश) आपतित ध्रुवित प्रकाश के कंपन दो भागों में बंट जाएंगे। पहला भाग प्रकाशिक अक्ष YY' के समांतर होता है (और e -किरण के संगत होता है) जबकि दूसरा प्रकाशिक अक्ष पर लंब होता है (और o -किरण के संगत होता है)। स्फटिक पट्टिका की मोटाई इतनी ली जाती है कि निर्गत e - और o -किरणों के बीच π कला अंतर (अथवा $\lambda/2$ पथांतर) उत्पन्न हो। आप BPHCT- 137 पाठ्यक्रम कि इकाई 5 से याद करें कि अर्ध तरंग पट्टिका रैखिकतः ध्रुवित प्रकाश के ध्रुवण तल को 90° से घूर्णित करता है। इसलिए स्फटिक अर्ध भाग से निर्गत e - और o -किरणों के संगत कंपन संयुक्त होकर एक रैखिकतः ध्रुवित प्रकाश उत्पन्न करते हैं जिसका विद्युत क्षेत्र कंपन TOT बनाते हैं के अनुदिश होता है जो OX' के साथ θ कोण बनाता है।

अब अगर निकल प्रिज्म को N_1 स्थिति पर इस तरह रखें कि उसका मुख्य परिच्छेद, YY' के समांतर हो और $\angle AOT$ का द्विभाजन करे तो निकल में प्रविष्ट होने वाले OA (कांच से) और OT (स्फटिक से) के घटक समान होंगे। इसलिए पट्टिका के दोनों अर्ध भाग समान रूप से दीप्त लगते हैं।

यदि OA और OT दोनों कंपनों के एक ही दिशा में समान कोण, ϕ , से घुमा दिए जाए (OA' और OT' स्थिति) तो निकल में N_1 स्थिति में प्रविष्ट करने वाले OT' के घटक का आयाम OA' के घटक से अधिक होगा। इसलिए कांच अर्ध भाग की अपेक्षा स्फटिक अर्ध भाग अधिक दीप्त दिखाई देता है। यदि निकल को ϕ कोण के बराबर घुमाकर N_2 स्थिति पर ले आएँ ताकि N_2 पर निकल का मुख्य परिच्छेद पुनः $\angle A'OT'$ का समद्विभाजन करे, तो निकल में प्रवेश करने वाले OT' और OA' के घटक समान होंगे। इस प्रकार कांच अर्धभाग और स्फटिक अर्धभाग फिर से समान दीप्त दिखाई देते हैं। वास्तविक प्रयोग में कांच और स्फटिक से निकलने वाले कंपनों में घूर्णन, ϕ , ध्रुवण घूर्णक पदार्थ द्वारा उत्पन्न होता है। उसे ध्रुवणमापी में लगी T_2 नली में स्थित विश्लेषक के घूर्णन-कोण के रूप में मापा जाता है। अतः आपने देखा कि विश्लेषक का घूर्णन-कोण, ध्रुवण-तल के घूर्णन-कोण के बराबर होता है।

निकल की दो स्थितियाँ N_1 और N_2 ध्रुवणमापी में लगी T_2 नली में फिट किए गए विश्लेषक की दो स्थितियों से संपाती होती है।

अनेक ध्रुवणमापियों में ध्रुवण-तल के घूर्णन की पहचान करने के लिए अर्ध आवरण पट्टिका के स्थान पर द्विस्फटिक का उपयोग किया जाता है। आप जिस ध्रुवणमापी का उपयोग कर रहे हैं उसमें कौन सी युक्ति प्रयुक्त की गयी है? इसकी जानकारी के लिए अपने परामर्शदाता से संपर्क करें। आइये अब यह समझें कि द्विस्फटिक किस प्रकार कार्य करता है।

2.3.3 द्विस्फटिक

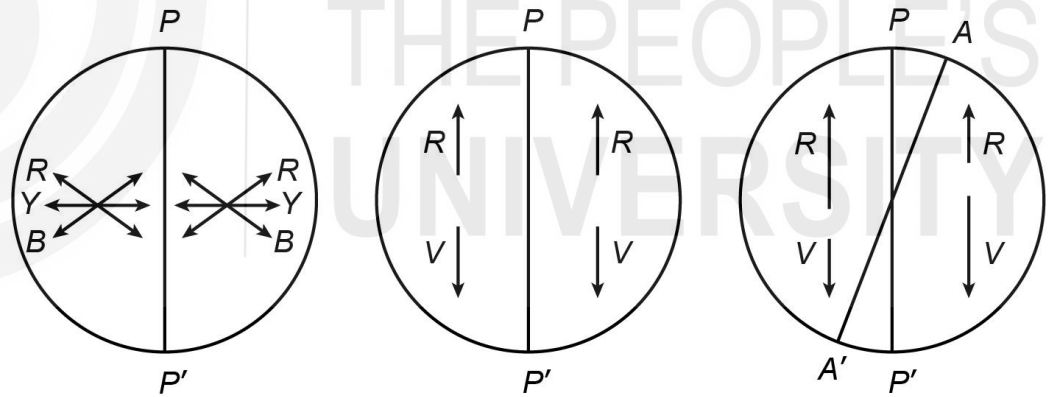
BPHCT-137 की इकाई 5 से आप जानते हैं कि स्फटिक एक-अक्षीय क्रिस्टल और एक ध्रुवण घूर्णक पदार्थ है। अपनी एक-अक्षीय प्रकृति के कारण, स्फटिक क्रिस्टल से गुजरने वाली प्रकाश की किरण दो रैखिकतः ध्रुवित किरण पुंजों में विभाजित हो जाती है जिसमें विद्युत क्षेत्र सदिश एक दूसरे के लंबवत होते हैं। क्या आप जानते हैं कि विशेष स्थिति में जब एक-अक्षीय क्रिस्टल (जैसे स्फटिक) को उसके प्रकाशिक अक्ष के लंबवत काट दिया जाता है, तो इससे गुजरने वाले प्रकाश की किरण के ध्रुवण की स्थिति नहीं बदलती है? इसके अलावा, इसकी क्रिस्टल संरचना के आधार पर, स्फटिक d –रोटेटरी के साथ-साथ l –रोटेटरी व्यवहार प्रदर्शित कर सकता है। इसके अलावा, घूर्णन की सीमा स्फटिक क्रिस्टल से गुजरने वाले प्रकाश की तरंगदैर्घ्य पर निर्भर करती है। स्फटिक की इन विशेषताओं का उपयोग ध्रुवणमापी प्रयोगों में ध्रुवण के तल के घूर्णन को सटीक रूप से मापने के लिए द्विस्फटिक को डिजाइन करने के लिए किया जाता है।

ध्रुवणमापी प्रयोगों में प्रयुक्त द्विस्फटिक, एक स्फटिक-डिस्क होता है। डिस्क का एक अर्ध भाग वाम ध्रुवण घूर्णक स्फटिक का बना होता है और दूसरा अर्धभाग दक्षिण ध्रुवण घूर्णक पदार्थ का। डिस्क की मोटाई (3.75 mm) इतनी रखी जाती है कि, अधिकतम दीप्ति के क्षेत्र में, सामान्य श्वेत स्रोत से प्राप्त औसत पीले प्रकाश के लिए ध्रुवण-तल का

$\pi/2$ से घूर्णन हो सके। यह घूर्णन, डिस्क के एक अर्धभाग में दक्षिणावर्ती और दूसरे अर्धभाग में वामावर्ती होता है।

द्विस्फटिक को ध्रुवणमापी में इस प्रकार रखा जाता है कि ध्रुवक का मुख्य परिच्छेद (PP') डिस्क के दो अर्धभागों को पृथक करने वाले व्यास के समांतर हो (चित्र 2.9क)। जब स्फटिक पर श्वेत प्रकाश आपतित होता है तो वह नीले, पीले और लाल प्रकाशों का परिक्षेपण (dispersion) करता है। जब विश्लेषक का मुख्य परिच्छेद (AA') ध्रुवक के समांतर होता है तो पीला प्रकाश लुप्त हो जाता है। इसका कारण यह है कि स्फटिक में पीले प्रकाश के संगत कंपना का $\pi/2$ से घूर्णन हो जाता है। टेलीस्कोप द्वारक के प्रत्येक अर्धभाग में कुछ लाल और कुछ नीला प्रकाश पारगत (transmit) हो जाता है (चित्र 2.9ख)। दोनों अर्धभागों की मुख्यतः समान लाल-बैंगनी आभा (tint) होती है। इस अवस्था में, जबकि ध्रुवक और विश्लेषक के मुख्य अक्ष समांतर होते हैं, जरा सा भी बदलाव हाने पर आभा में भी तुरन्त बदलाव होता है। इसलिए इसे सुग्राही आभा अथवा संक्रमण आभा अथवा **क्रांतिक-आभा** (tint of passage) कहते हैं।

विश्लेषक के जरा से ही ($\sim 1^\circ$) घूर्णन से आभा क्षेत्र स्पष्ट रूप से लाल और बाकी आधा क्षेत्र नीला हो जाता है (चित्र 2.9ग)। प्रयोग करते समय आपको विश्लेषक को तब तक घुमाना है जब तक द्विस्फटिक के दोनों अर्धभागों का समान रंग न हो जाए। क्रांतिक-आभा, वर्नियर के दो विन्यासों के लिए प्राप्त होती है। आप एक सा रंग पाने के लिए विश्लेषक को ठीक-ठीक सेट कर सकते हैं। अब पहले की तरह (एक सा रंग मिलने के बाद) विश्लेषक के घूर्णन कोण से ध्रुवण-तल का घूर्णन कोण प्राप्त होता है।



चित्र 2.9: क) द्विस्फटिक; ख) द्विस्फटिक, जब ध्रुवक और विश्लेषक के मुख्य अक्ष समांतर होते हैं ग) द्विस्फटिक, जब विश्लेषक का घूर्णन किया जाता है।

प्रकाश के ध्रुवण, ध्रुवणमापी की कार्यप्रणाली और अर्ध-आवरण पट्टिका और द्विस्फटिक के कार्यों के बारे में उपरोक्त जानकारी के साथ, आप प्रयोग करने के लिए पूरी तरह से तैयार हैं। लेकिन इससे पहले, हम चाहेंगे कि आप एक बोध प्रश्न का उत्तर दें!

बोध प्रश्न 1 अर्ध-आवरण पट्टिका और द्विस्फटिक

आपको भौतिकी प्रयोगशाला में कौन सा विन्यास प्राप्त हुआ, अर्ध-आवरण पट्टिका या द्विस्फटिक? उसकी मोटाई मापकर यह ज्ञात करें कि क्या वह उस प्रकाश तरंगदैर्घ्य के लिए उपयुक्त है जो आप प्रयोग में व्यवहार करेंगे?

2.4 कार्यविधि

प्रयोग करने से पहले आपको कुछ प्रारंभिक तैयारियां करनी होंगी। आइये पहले उनके बारे में जानें।

निश्चित सान्द्रता का संभार विलयन (stock solution) तैयार करना

इस प्रयोग में, आपको ध्रुवण तल के घूर्णन कोण और विलयन में पदार्थ की सांद्रता के बीच संबंध निर्धारित करने के लिए विभिन्न सांद्रता के विलयनों के साथ काम करना होगा। इसलिए, आपको पहले आयतन के संदर्भ में अधिकतम सांद्रता (मान लीजिए, 20%) का घोल तैयार करना चाहिए। ऐसा करने के लिए, नीचे दिए गए चरणों का पालन करें:

1. चीनी के 20% सांद्रता (ध्रुवण घूर्णक पदार्थ) का स्टॉक घोल तैयार करने के लिए, साफ और सूखे बीकर/फ्लास्क में 20 g चीनी डालें।
 2. सबसे पहले 50 ml पानी डालें और चीनी घुलने तक चलाएं। इस घोल में और पानी मिलाएं ताकि कुल आयतन 100 ml (c.c.) हो जाए। घोल को साफ बीकर में छान लें। यह 20% सांद्रता का चीनी का घोल है। यह आपका **स्टॉक विलयन** है।
 3. अब, आपको नीचे बताए अनुसार कम सांद्रता वाले विलयन प्राप्त करने के लिए 20% सांद्रता वाले स्टॉक घोल के दिए गए आयतन में केवल उचित मात्रा में आसुत जल मिलाना होगा।
 4. एक बीकर में 20% सान्द्रता के उपरोक्त स्टॉक घोल का 50 ml लें और इसमें 50 ml पानी मिलाएं। अच्छी तरह मिलाएं। इससे चीनी का घोल 10% सान्द्रता का हो जाता है।
 5. 10% सान्द्रता का 50 ml चीनी का घोल लें और उसमें 50 ml पानी मिलाएं ताकि घोल का आयतन 100 उस हो जाए। अच्छी तरह मिलाएं। इससे चीनी का घोल 5% सान्द्रता का हो जाता है।
 6. 2.5% सांद्रता और 1.25% सांद्रता वाले चीनी के घोल प्राप्त करने के लिए उपरोक्त चरण को दोहराएं।
 7. विभिन्न सांद्रता के इन विलयनों को ठीक से लेबल करके रखें।
- अब निम्नलिखित प्रयोग करें।

2.4.1 प्रकाश के ध्रुवण तल के घूर्णन-कोण और विलयन की सान्द्रता के परस्पर संबंध

1. पैमाने की मदद से T नली (चित्र 2.7ख) को छोर पर लगी पट्टिकाओं के दो भीतरी पृष्ठों के बीच की लंबाई l का माप करें।
2. T_2 नली से संलग्न वर्नियर का वर्नियर स्थिरांक निर्धारण करें।
3. रेखाचित्र को सोडियम प्रकाश (यदि आपके ध्रुवणमापी में अर्ध आवरण पट्टिका लगा है) या श्वेत प्रकाश (यदि आपके ध्रुवणमापी में द्विस्फटिक लगा है) से प्रकाशित करें। आपको अपने अकादमिक परामर्शदाता से जानकारी लेनी चाहिए और यह जानना चाहिए कि आपके ध्रुवणमापी में क्या लगा है – अर्ध आवरण पट्टिका या द्विस्फटिक।
4. T नली में पूर्णतया आसुत जल भर दें। इस बात का ध्यान रखें कि नली के अंदर हवा के बुलबुले न रहने पाएं। अगर नली में हवा के बुलबुले रह गए तो आपको घूर्णन कोण का सही मान नहीं मिलेगा। ऐसा क्यों है? अपने परामर्शदाता से चर्चा करें।

बोध प्रश्न 2 - ध्रुवणमापी नली

नली की टोपी कांच की बनी होती है। मान लीजिए कि नली को भरने के बाद टोपी को ज्यादा मजबूती से कस देते हैं। क्या इसका मापों पर असर पड़ेगा? कैसे और क्यों?

5. T नली को ध्रुवणमापी में उपयुक्त स्थान पर रखिए।
6. T_2 नली को तब तक घुमाते जाएं जब तक अर्ध आवरण पट्टिका के दो अर्धभाग समान रूप से दीप्त न हो जाएं अथवा द्विस्फटिक के दो अर्धभागों का रंग समान न हो जाए। दो वर्नियरों (V_1 और V_2) की स्थितियों की रीडिंगों को प्रेक्षण सारणी 2.1 में लिखें।
7. इसे तीन अथवा चार बार दोहराएं तथा वर्नियर की पहली स्थिति (V_1) के लिए औसत मान X_0 तथा दूसरी स्थिति (V_2) के लिए औसत मान Y_0 ज्ञात करें।

ध्रुवक के सापेक्ष विश्लेषक को ठीक स्थिति में रखने के बाद प्रेक्षण के पूरे सेट के दौरान ध्रुवक को न छुएं। क्यों? उसका कारण यह है कि उससे आपतित प्रकाश के ध्रुवण तल में परिवर्तन हो सकता है।

प्रेक्षण सारणी 2.1: वर्नियर रीडिंग जब नली में शुद्ध जल हो

- i. दो अन्त्य बिन्दुओं के भीतरी पृष्ठों के बीच नली T की लंबाई (l) = ... dm
- ii. नली T_2 का अल्पतमांक (LC) = ...

क्र. म. सं.	वर्णियर की पहली स्थिति की रीडिंग (V_1)				वर्णियर की दूसरी स्थिति की रीडिंग (V_2)			
	गोल पैमाना S_1	वर्णियर पैमाना ($V = (V_1 \times LC)$)	कुल ($S_1 + V$)	माध्य (X_0)	गोल पैमाना S_2	वर्णियर पैमाना ($V = (V_2 \times LC)$)	कुल ($S_2 + V$)	माध्य (Y_0)
1.								
2.								
3.								

X_0 का माध्य = ...

Y_0 का माध्य = ...

8. यदि ध्रुवणमापी में द्विस्फटिक लगा है तथा क्रांतिक वर्ण यदि θ_P पर उत्पन्न हो तो $\theta_P - 2$, $\theta_P - 1$, $\theta_P + 1$, $\theta_P + 2$ पर उत्पन्न दीप्त रंग को प्रेक्षण सारणी 2.2 में रिकार्ड करें। यह सारणी आपको स्वयं बनानी होगी।

प्रेक्षण सारणी 2.1: वर्णियर रीडिंग जब नली में शुद्ध जल हो

9. T नली से जल निकाल कर उसे एक अथवा दो बार दिए गए सान्द्रता के स्टॉक विलयन से खंगाल लें और फिर उसे भर लें।

10. T_2 नली के बीच से देखें। आप क्या देखते हैं? यदि ध्रुवणमापी से अर्धआवरण पट्टिका हो तो आप देखेंगे कि उसके दो अर्धभाग असमान रूप से दीप्त हैं। यदि ध्रुवणमापी में द्विस्फटिक हो तो उसके दो अर्धभाग भिन्न रंगों के हो सकते हैं। जैसा कि आप जानते हैं यह रैखिकतः ध्रुवित प्रकाश किरणपुंज के विलयन में से गुजरने पर ध्रुवण-तल के घूर्णन के कारण होता है।

11. T_2 नली को तब तक घुमाएं जब तक अर्धआवरण पट्टिका के दो अर्धभाग समान रूप से दीप्त न हो जाएं अथवा द्विस्फटिक के दो अर्धभागों का समान रंग न हो जाए। अपनी वर्णियर रीडिंगों का प्रेक्षण सारणी 2.3 में रिकार्ड करें।

12. अन्य सान्द्रता वाले विलयनों के लिए चरण 9, 10 और 11 को दोहराएं।

बोध प्रश्न 3 - वर्नियर रीडिंग

V_1 और V_2 के बीच अंतर को रिकार्ड करें और प्राप्त प्रेक्षण पर टिप्पणी कीजिए।

प्रेक्षण सारणी 2.3 : नली में भिन्न सान्द्रताओं के विलयन होने पर वर्नियर रीडिंग

क्रम सं.	विलयन की सान्द्रता (%)	पहले वर्नियर की रीडिंग (V_1)			दूसरे वर्नियर की रीडिंग (V_2)		
		गोल पैमाना (S)	वर्नियर पैमाना ($V = (V_1 \times LC)$)	$X = (S + V)$	गोल पैमाना (S')	वर्नियर पैमाना ($V' = (V_2 \times LC)$)	$Y = (S' + V')$
1.							
2.							
3.							
4.							

X_0 और Y_0 के मान सारणी 2.1 से लेकर दो वर्नियर रीडिंगों के लिए आप घूर्णन-कोण इस प्रकार ज्ञात कर सकते हैं :

$$\theta_1 = X - X_0$$

$$\theta_2 = Y - Y_0$$

माध्य घूर्णन-कोण

$$\theta = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$$

माध्य घूर्णन-कोण को सान्द्रता के फलन के रूप में सारणी 2.4 में रिकार्ड करें। आप इस सारणी को सारणी 2.1 और सारणी 2.3 की मदद से बनायें।

प्रेक्षण सारणी 2.4 : सान्द्रता के फलन के रूप में घूर्णन कोण

क्रम सं.	विलयन की सान्द्रता (%)	पहले वर्नियर के लिए घूर्णन कोण $\theta_1 = X - X_0$ (deg)	दूसरे वर्नियर के लिए घूर्णन कोण $\theta_2 = Y - Y_0$ (deg)	माध्य घूर्णन कोण $\theta = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$ (deg)

अब सारणी 2.4 से प्राप्त c (x -अक्ष) और θ (y -अक्ष) के बीच ग्राफ आलेखित करें। ग्राफ में ऋजु रेखा प्राप्त होनी चाहिए जो मूल बिन्दु से गुजरती है। इस ग्राफ की प्रवणता (θ/c) का समीकरण (2.8) में उपयोग कर आप, उत्पन्न विशिष्ट घूर्णन परिकलित कर सकते हैं। परिणाम को नीचे लिखें।

परिणाम: दिए विलयन का विशिष्ट घूर्णन = ...

2.4.2 अज्ञात सान्द्रता के विलयन की सान्द्रता ज्ञात करना

1. T नली का अज्ञात सान्द्रता, माना c , के संभार विलयन से धो लें। विलेय वही होता है जो भाग 2.4.1 में था किन्तु विलयन में उसकी मात्रा अज्ञात है।
2. T नली में अज्ञात सान्द्रता का विलयन भर लें और उसे समुचित स्थिति में रखें।
3. ऊपर भाग 2.4.1 के चरणों 9, 10 और 11 को दोहराएं और वर्नियर रीडिंगों को सारणी 2.5 में लिखें। सारणी 2.1 से X_0 और Y_0 मान लेकर पिछले उदाहरण की भांति माध्य घूर्णन (θ) ज्ञात करें। आपको एक से ज्यादा रीडिंग लेनी है और X और Y का माध्य मान निकालना है।

प्रेक्षण सारणी 2.5 : विलयन की सान्द्रता ज्ञात करना

वर्नियर की स्थिति	वर्नियर की रीडिंग				वर्नियर का घूर्णन	माध्य घूर्णन $\theta = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$	विलयन की प्रतिशत सान्द्रता c (%)
	गोल पैमाना (S)	वर्नियर पैमाना (V)	कुल ($S + V \times LC$)	माध्य			
1 st				$X =$	$\theta_1 = (X - X_0)$ =		
2 nd				$Y =$	$\theta_2 = (Y - Y_0)$ =		

उपर्युक्त सारणी में c परिकलित करने के लिए भाग 2.4.1 में माप के लिए आलेखित ग्राफ द्वारा प्राप्त s के मान तथा समीकरण (2.8) का उपयोग करें।

परिणाम : अज्ञात विलयन की सान्द्रता = ... %

इस परिणाम को प्रेक्षण सारणी 2.5 में लिखें ।

अब आप परिणामों का विश्लेषण करना चाहेंगे।



मरकरी प्रकाश का उपयोग करते हुए एक प्रिज़्म के पदार्थ के कौशी नियतांकों का निर्धारण

इकाई की रूपरेखा

- | | |
|--|--|
| <p>3.1 प्रस्तावना
अपेक्षित कौशल</p> <p>3.2 सैद्धांतिक पृष्ठभूमि</p> <p>3.3 प्रिज़्म के कोण और अल्पतम विचलन
कोण का मापन
प्रिज़्म का कोण
विभिन्न रंगों के लिए
अल्पतम विचलन कोण</p> | <p>3.4 परिकलन
प्रकाश के विभिन्न रंगों के लिए अपवर्तनांक
कौशी नियतांक का परिकलन</p> |
|--|--|

3.1 प्रस्तावना

परावर्तन और अपवर्तन प्रकाश के मूल गुणधर्म हैं। आपने अपने स्कूली भौतिकी पाठ्यक्रमों में इन परिघटनाओं का विस्तार से अध्ययन किया है। अपवर्तन की परिघटना का एक संक्षिप्त परिचय पहले ही प्रयोग 1 में दिया जा चुका है जहाँ आपने सीखा है कि सोडियम प्रकाश का उपयोग करके प्रिज़्म के पदार्थ का अपवर्तनांक कैसे प्राप्त किया जाता है। यह पता लगाना दिलचस्प है कि क्या होता है जब समग्र प्रकाश, जैसे कि मरकरी लैंप से उत्सर्जित प्रकाश, एक प्रिज़्म पर गिरता है। इस प्रयोग में, आप प्रयोग 1 में सीखे गए कौशल, स्पेक्ट्रोमीटर स्थापित करने और प्रिज़्म का कोण और अल्पतम विचलन कोण निर्धारित करने के लिए लागू करेंगे। इन प्रेक्षणों से आप प्रत्येक तरंगदैर्घ्य के लिए अपवर्तनांक निर्धारित कर सकते हैं। इस डेटा का उपयोग प्रिज़्म के पदार्थ के कौशी नियतांकों का परिकलन करने के लिए किया जाएगा।

अपेक्षित कौशल

यह प्रयोग करने के बाद आप इस योग्य होंगे कि :

- ❖ किसी तरंगदैर्घ्य के संगत स्पेक्ट्रोमीटर को स्थापित कर सकें और तरंग दैर्घ्य के संगत प्रकाश के किसी तरंगदैर्घ्य (रंग) के लिए प्रिज़्म का कोण और अल्पतम विचलन कोण निर्धारित के संगत अपवर्तनांक के ग्राफ़ को $\frac{1}{\lambda^2}$ के फलन के रूप में आरेखित कर पाएंगे; और
- ❖ प्रिज़्म के पदार्थ के कौशी नियतांकों का परिकलन कर सकेंगे।

आइये हम इस प्रयोग में प्रयुक्त होने वाली सामग्री की सूची बनाते हैं।

आवश्यक उपकरण

मरकरी (Hg) लैम्प, प्रिज़्म, स्पेक्ट्रोमीटर (समांतरित्र, प्रिज़्म टेबल, दूरबीन), आवर्धक लेन्स, स्पिरिट लेवल, टॉर्च, स्केल, सफाई के लिए कपड़ा।

3.2 सैद्धांतिक पृष्ठभूमि

जैसा कि आप पहले ही प्रयोग 1 का भाग 1.2.2 में पढ़ चुके, एक विशेष तरंगदैर्घ्य पर एक प्रिज़्म का अपवर्तनांक है (समीकरण 1.11)।

$$\mu = \frac{\sin \frac{A + D_m}{2}}{\sin(A/2)} \quad (3.1)$$

यहां A प्रिज़्म का कोण है और D_m अल्पतम विचलन कोण है।

आपको याद होगा कि विचलन कोण एक निश्चित आपतन कोण पर न्यूनतम होता है, जिसके लिए प्रिज़्म के अंदर की किरण प्रिज़्म के आधार के समानांतर होती है। विचलन के इस कोण के लिए, वस्तु और उसका प्रतिबिंब प्रिज़्म से समान दूरी पर होते हैं, और प्रतिबिंब की द्युति सबसे अधिक होगी। प्रयोग 1 के भाग 1.4 में, सोडियम प्रकाश का उपयोग करके प्रिज़्म के कोण और अल्पतम विचलन कोण के मापन के लिए आपने प्रयोग को जिस तरह संयोजित किया था, उसे दोहरा लें।

निम्नलिखित कौशी समीकरण प्रकाश के तरंगदैर्घ्य और किसी पदार्थ के अपवर्तनांक के बीच का एक आनुभविक संबंध है:

$$\mu_\lambda = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + \dots \quad (3.2)$$

जहां A , B , C अचर हैं और कौशी नियतांक कहलाते हैं। जैसा कि आप इस समीकरण में देख सकते हैं, प्रकाश की तरंगदैर्घ्य का मान बढ़ने से, अपवर्तनांक का मान कम हो जाता है। आम तौर पर, इस समीकरण के केवल पहले दो पदों का उपयोग करना ही पर्याप्त होता है:

$$\mu_\lambda = A + \frac{B}{\lambda^2} \quad (3.3)$$

प्रयोग 3

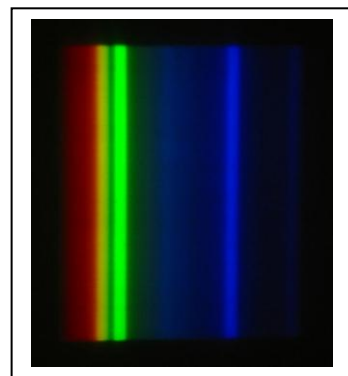
मरकरी प्रकाश का उपयोग करते हुए एक प्रिज्म के पदार्थ के कौशी नियतांक का निर्धारण

इस प्रयोग में आप समीकरण 3.3 में व्यक्त कौशी समीकरण के रूप का उपयोग करके कौशी नियतांक A और B , निर्धारित करेंगे।

प्रकाश के विभिन्न तरंगदैर्घ्यों के लिए (रंगों के लिए) अपवर्तनांक के मान निर्धारित करने के बाद, आप μ_λ बनाम $\frac{1}{\lambda^2}$ का ग्राफ बनाकर, उससे कौशी नियतांक प्राप्त करेंगे।

प्रयोग 1 में आपने सोडियम वाष्प लैम्प के साथ काम किया है जो पीले रंग का एक द्विक उत्सर्जित करता है, जिनके तरंगदैर्घ्य क्रमशः 589.0 nm और 589.6 nm हैं अतः सोडियम वाष्प लैम्प का उपयोग केवल दो तरंगदैर्घ्यों पर प्रिज्म का अपवर्तनांक निर्धारित करने के लिए किया जा सकता है। सोडियम द्विक के तरंगदैर्घ्यों के बीच का अंतर बहुत कम है, इसलिए हमने सोडियम स्रोत से उत्सर्जित प्रकाश को एक ही तरंगदैर्घ्य मानकर परिकलन किये) लेकिन मरकरी वाष्प लैम्प के स्पेक्ट्रम में कई अलग-अलग (स्रोत) तरंगदैर्घ्य होते हैं और इसका उपयोग तरंगदैर्घ्यों के साथ अपवर्तनांक के परिवर्तन का अध्ययन करने के लिए किया जा सकता है। मरकरी वाष्प लैम्प का निरूपक उत्सर्जन स्पेक्ट्रम चित्र 3.1 में दिखाया गया है।

आप जानना चाहेंगे कि जब कोई **समग्र प्रकाश**, जैसे कि मरकरी लैम्प से उत्सर्जित प्रकाश, किसी एक प्रिज्म में प्रवेश करता है तब क्या होता है। प्रकीर्णन की एक दिलचस्प परिघटना देखी जाती है, जो प्रकाश को विभिन्न तरंगदैर्घ्य वाले उसके घटक रंगों में विभाजित करती है, जैसा कि चित्र 3.2 में दिखाया गया है। ऐसा इसलिए होता है क्योंकि प्रिज्म के **पदार्थ** का अपवर्तनांक प्रकाश के तरंगदैर्घ्य के साथ बदलता है। प्रकाश के स्पेक्ट्रम में लाल से बैंगनी तक अपवर्तनांक का मान बढ़ता है, इसलिए विचलन कोण का मान लाल की तुलना में बैंगनी के लिए अधिक होगा, जैसा कि आप समीकरण 3.2 से समझ सकते हैं।



चित्र 3.1: मरकरी वाष्प लैम्प से निरूपक उत्सर्जन स्पेक्ट्रम।

चित्र क्रेडिट:

[D-Kuru, CC BY-SA 2.0 AT <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/at/deed.en>>, via Wikimedia Commons]

3.3 प्रिज्म के कोण और अल्पतम विचलन कोण का मापन

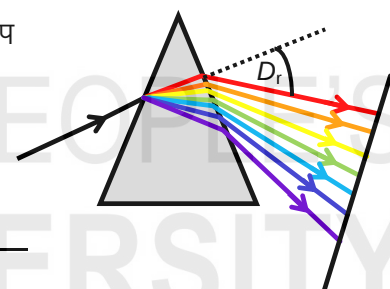
पहले आपको स्पेक्ट्रोमीटर को स्थापित करने और समांतरित को **समान्तर प्रकाश** के लिए **फोकसित** करने के लिए प्रयोग 1 के भाग 1.4 में वर्णित चरणों का अनुपालन करना चाहिए। फिर प्रिज्म के कौशी नियतांक का परिकलन करने के लिए आवश्यक मापन करने के निर्देशों का पालन करें।

3.3.1 प्रिज्म का कोण

प्रिज्म का कोण निर्धारित करने के लिए आप मरकरी वाष्प लैम्प द्वारा उत्सर्जित किसी एक तरंगदैर्घ्य का प्रयोग करते हुए, प्रयोग 1 के भाग 1.4.2 में वर्णित चरणों का पालन कीजिए। प्रेक्षण सारणी 3.1 में अपने पाठ्यांकों को रिकॉर्ड कीजिए। रीडिंग के कम से कम दो सेट लें।

स्पेक्ट्रोमीटर का वर्नियर का अल्पतमांक ((LC) =

प्रयुक्त प्रकाश का तरंगदैर्घ्य ($\lambda_{\text{Na}} - \text{प्रकाश}$) = 589 nm



चित्र 3.2: प्रिज्म से प्रकाश का विक्षेपण। लाल रंग के लिए विचलन-कोण D_r है।

प्रेक्षण सारणी 3.1: प्रिज़्म का कोण (A)

प्रेक्षण सं.	वर्नियर	दूरबीन की पहली स्थिति			दूरबीन की दूसरी स्थिति			अंतर =2A	A
		MSR	VSR	जोड़ योग	MSR	VSR	जोड़ योग		
1	I V ₁								A ₁ =
	II V ₂								A ₂ =
2	I V ₁								A ₃ =
	II V ₂								A ₄ =

प्रिज़्म का कोण $A = \frac{A_1 + A_2 + A_3 + A_4}{4} = \dots\dots\dots^\circ$

3.3.2 विभिन्न रंगों के लिए अल्पतम विचलन कोण

प्रिज़्म का कोण ज्ञात करने के बाद, अब आप मरकरी प्रकाश के स्पेक्ट्रम में प्रमुख रंगों के लिए अल्पतम विचलन कोण C निर्धारित करेंगे, अर्थात् बैंगनी, इंडिगो, नीला, हरा, पीला, नारंगी और लाल के लिए। इसके लिए आप प्रयोग 1 के भाग 1.4.3 में बताये गए विधि का उपयोग करेंगे और प्रेक्षण सारणी 3.2 में रीडिंग दर्ज करेंगे। प्रत्येक रंग के लिए कम से कम सेंट रीडिंग लेंगे और प्रत्येक रंग के लिए अल्पतम विचलन कोण का औसत मान परिकलित करेंगे।

प्रेक्षण सारणी 3.2: विभिन्न रंगों के लिए अल्पतम विचलन कोण

क्रम सं.	प्रकाश का रंग	प्रेक्षण सं.	वर्नियर	अल्पतम विचलन किरण			प्रत्यक्ष किरण			अंतर =D _m
				MSR	VSR	योग	MSR	VSR	योग	
1.	बैंगनी	1	I V ₁							D _{m1} =
			II V ₂							D _{m2} =
		2	I V ₁							D _{m3} =

प्रयोग 3

सरकरी प्रकाश का उपयोग करते हुए एक प्रिज्म के पदार्थ के कौशी नियतांकों का निर्धारण

			II V_2							$D_{m4} =$	
--	--	--	----------	--	--	--	--	--	--	------------	--

2.	इंडिगो	1	I V_1							$D_{m1} =$	
			II V_2							$D_{m2} =$	
		2	I V_1							$D_{m3} =$	
			II V_2							$D_{m4} =$	
3.	नीला	1	I V_1							$D_{m1} =$	
			II V_2							$D_{m2} =$	
		2	I V_1							$D_{m3} =$	
			II V_2							$D_{m4} =$	
4.	हरा	1	I V_1							$D_{m1} =$	
			II V_2							$D_{m2} =$	
		2	I V_1							$D_{m3} =$	
			II V_2							$D_{m4} =$	
5.	पीला	1	I V_1							$D_{m1} =$	
			II V_2							$D_{m2} =$	
		2	I V_1							$D_{m3} =$	
			II V_2							$D_{m4} =$	
6.	नारंगी	1	I V_1							$D_{m1} =$	
			II V_2							$D_{m2} =$	
		2	I V_1							$D_{m3} =$	
			II V_2							$D_{m4} =$	
7.	लाल	1	I V_1							$D_{m1} =$	
			II V_2							$D_{m2} =$	

		2	I V ₁							D _{m3} =	
			II V ₂							D _{m4} =	

* अल्पतम विचलन कोण का माध्य

$$D_m = \frac{D_{m1} + D_{m2} + D_{m3} + D_{m4}}{4} = \dots\dots\dots^\circ$$

इन प्रेक्षणों के आधार पर अब आप प्रकाश के प्रत्येक रंग के लिए अपवर्तनांक की गणना कर सकते हैं और इन मानों का उपयोग कौशी नियतांकों के परिकलन के लिए करेंगे।

3.4 गणनाएँ

3.4.1 मरकरी प्रकाश के विभिन्न रंगों के लिए अपवर्तनांक

आप अपवर्तनांक की गणना कर सकते हैं। प्रकाश के विभिन्न रंगों के लिए समीकरण 3.1 का उपयोग करके कर सकते हैं। विभिन्न रंगों के अनुरूप तरंगदैर्घ्य मार्जिन में सूचीबद्ध हैं। गणना के परिणाम प्रेक्षण सारणी 3.3 में लिखें।

प्रेक्षण सारणी 3.3 : विभिन्न रंगों के लिए अपवर्तनांक

□□

क्रम सं.	प्रकाश का रंग	तरंगदैर्घ्य λ	अल्पतम विचलन कोण	अपवर्तनांक μ_λ
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				

विभिन्न रंगों के तरंगदैर्घ्यों के मानक मान:

बैंगनी: 400 nm

इंडिगो: 420 nm

नीला: 450 nm

हरा: 550 nm

पीला: 580 nm

नारंगी: 600 nm

लाल: 650 nm

स्रोत:

brittanica.com/science/color/The-visible-spectrum

3.4.2 कौशी नियतांकों की गणना

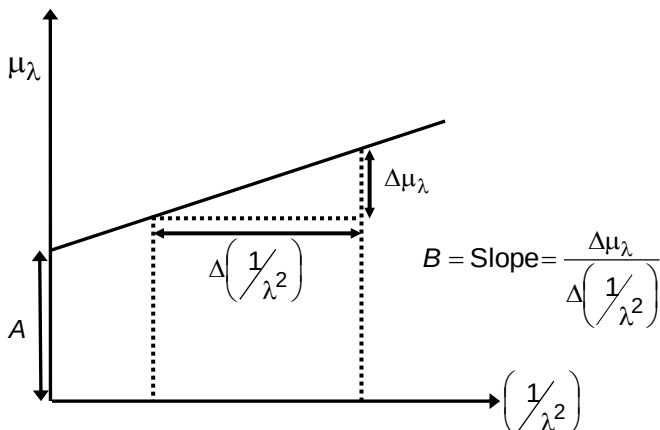
अब हम समीकरण 3.3 का प्रयोग करके कौशी नियतांकों की गणना करेंगे।

ऐसा करने के लिए हम प्रत्येक तरंगदैर्घ्य पर, तरंगदैर्घ्य के वर्ग के प्रतिलोम को x -अक्ष के अनुदिश और उस तरंगदैर्घ्य के संगत अपवर्तनांक को y -अक्ष के अनुदिश प्लॉट करेंगे। इस ग्राफ को आलेखित करने के लिए आवश्यक आंकड़ों को सबसे पहले नीचे प्रेक्षण सारणी 3.4 में लिखें। और के मान प्रेक्षण सारणी 3.3 से लें।

प्रेक्षण सारणी 3.4 : μ_λ और $\frac{1}{\lambda^2}$ के मान

क्रम सं.	तरंगदैर्घ्य λ	$\frac{1}{\lambda^2}$	अपवर्तनांक μ_λ
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			

एक प्रतिनिधि ग्राफ नीचे चित्र 3.4 में दिखाया गया है। ग्राफ को बनाते समय ध्यान रखें कि ग्राफ की पूरी विसृति का प्रयोग किया जाए। इससे परिकलन में त्रुटि न्यूनतम होगी।



चित्र 3.4: μ_λ का $\frac{1}{\lambda^2}$ के साथ प्लॉट

समीकरण 3.3 से आप देख सकते हैं कि A और B के मान क्रमशः y – अक्ष पर अंतःखंड और ग्राफ की प्रवणता से परिकलित हैं। प्रवणता का मान परिकलित करने के लिए आप सरल रेखा का अधिकतम संभव अंतःखंड लें।

परिणाम:

प्रिज़्म की पदार्थ के लिए कौशी नियतांक A और B के मान हैं

$A = \dots\dots\dots$

$B = \dots\dots\dots$



फ्रेनल द्विक प्रिज्म का उपयोग कर सोडियम प्रकाश का तरंगदैर्घ्य निर्धारण

इकाई की रूपरेखा

- | | |
|---|---|
| <p>4.1 प्रस्तावना
अपेक्षित कौशल</p> <p>4.2 प्रकाश का व्यतिकरण</p> <p>4.3 फ्रेनल द्विक प्रिज्म और कला संबद्ध स्रोत</p> | <p>4.4 प्रकाश के तरंगदैर्घ्य का निर्धारण
उपकरण का समायोजन
फ्रिन्ज चौड़ाई की माप</p> |
|---|---|

4.1 प्रस्तावना

आपने बचपन में साबुन के बुलबुले फुलाए होंगे और देखा होगा कि वे किस प्रकार इन्द्रधनुष के चटकीले रंगों का परावर्तन करते हैं। आपने बरसात के दिनों में गीली सड़क के ऊपर किसी मोटर वाहन द्वारा बिखरे तेल की परत के कारण बने, चटकीले किन्तु अनियमित रंगों के पैटर्न भी देखे होंगे। शायद आपने यह भी अनुभव किया हो कि भिन्न-भिन्न कोणों से देखने पर रंगों के पैटर्न बदल जाते हैं। क्या आपने कभी दूर से रेशम या पॉलिएस्टर के लगभग पारदर्शी टुकड़े को देखा है? अगर आप ऐसा करें तो आपको दीप्त और अदीप्त पट्टियों के पैटर्न दिखाई देंगे। ये पैटर्न, प्रकाश तरंगों के व्यतिकरण (interference) के कारण उत्पन्न होते हैं। इस प्रकार उत्पन्न दीप्त और अदीप्त पट्टियों को व्यतिकरण फ्रिन्ज कहते हैं। आपने प्रकाश के व्यतिकरण का अध्ययन तरंगों और प्रकाशिकी (BPHCT-137) पाठ्यक्रम कि इकाई 6 में किया है।

प्रकाश तरंगों के व्यतिकरण को दिखाने का सरलतम तरीका टॉमस यंग ने निकाला था। आपने यंग द्वि रेखाछिद्र प्रयोग के बारे में BPHCT-137 की इकाई 6 में पढ़ा है। आपको याद होगा कि इस व्यवस्था में किसी बिन्दु स्रोत से प्राप्त एकवर्णी प्रकाश के पथ में दो समीपस्थ संकीर्ण रेखाछिद्रों को रखकर दो कला संबद्ध स्रोत उत्पन्न किए गए थे। इन दो कला संबद्ध स्रोतों से प्राप्त तरंगों के अध्यारोपण से कुछ दूरी पर स्थित परदे पर स्पष्ट

प्रकाश के दो स्रोत **कला संबद्ध** कहलाते हैं यदि उनके द्वारा उत्सर्जित प्रकाश तरंगों की समान आवृत्तियां हो और उनके बीच में कला अंतर नियत हो।

व्यतिकरण पैटर्न उत्पन्न होता है। क्या आप जानते हैं कि व्यतिकरण पैटर्न प्रेक्षित करने के लिए हमें कला संबद्ध स्रोतों की आवश्यकता क्यों होती है?

विभिन्न प्रकार के प्रायोगिक व्यवस्थाओं द्वारा कला संबद्ध स्रोत प्राप्त किए जा सकते हैं। BPHCT-137 पाठ्यक्रम में आपने पढ़ा कि कला संबद्ध स्रोत उत्पन्न करने के लिए फ्रेनल ने द्वि-रेखाछिद्र व्यवस्था के स्थान पर द्विक प्रिज्म (biprism) का उपयोग किया। यहां प्रयोग द्वारा आप द्विक प्रिज्म द्वारा व्यतिकरण फ्रिन्जों को बनाना सीखेंगे; फिर आप दो दीप्त अथवा दो अदीप्त बैंडों के बीच की दूरी मापेंगे। इससे आप आपतित एकवर्णी प्रकाश की तरंगदैर्घ्य प्राप्त कर सकेंगे।

अपेक्षित कौशल

यह प्रयोग करने के बाद आप :

- ❖ व्यतिकरण पैटर्न प्रेक्षित करने के लिए प्रकाशिक बेंच को व्यवस्थित कर सकेंगे;
- ❖ द्विक प्रिज्म द्वारा व्यतिकरण फ्रिन्ज प्राप्त कर सकेंगे;
- ❖ दो आभासी कला संबद्ध स्रोतों के बीच की दूरी निर्धारित कर सकेंगे;
- ❖ उन कारकों को निर्धारित कर सकेंगे जिन पर फ्रिन्ज चौड़ाई निर्भर करती है; और
- ❖ सोडियम प्रकाश का तरंगदैर्घ्य निर्धारित कर सकेंगे।

इस प्रयोग के लिए आपको निम्नलिखित उपकरणों की आवश्यकता होगी :

आवश्यक उपकरण

द्विप्रिज्म, स्टैंडों वाला प्रकाशिक बेन्च, सोडियम वाष्प लैम्प, रेखाछिद्र, माइक्रोमीटर नेत्रिका और अल्प फोकस दूरी का उत्तल लेन्स।

4.2 प्रकाश का व्यतिकरण

व्यतिकरण एक ऐसी परिघटना है जिसमें तरंगें, कुछ परिस्थितियों में, एक दूसरे को सुदृढ़ (तीव्र या कमजोर) करती हैं। इस परिघटना को तरंगों के अध्यारोपण के सिद्धांत के आधार पर समझा जाता है। आपने इस सिद्धांत का अध्ययन अपने स्कूल भौतिकी पाठ्यक्रम के साथ-साथ BPHCT-137 पाठ्यक्रम की इकाई 6 में भी किया है। आपने पढ़ा है कि किसी वाद्ययंत्र के तार में, विपरीत दिशाओं में गमन कर रही सर्वसम प्रगामी तरंगें (progressive waves) से अप्रगामी तरंग (stationary waves) उत्पन्न होती हैं। इन तरंगों की विशेषता है कि इनमें क्रमशः निस्पंद (node) और प्रस्पंद (anti node) होते हैं। निस्पंद न्यूनतम तीव्रता की स्थितियां होती हैं जबकि प्रस्पंद अधिकतम तीव्रता की। दूसरे शब्दों में हम कह सकते हैं कि ऊर्जा का पुनर्वितरण होता है। ऊर्जा का यह पुनर्वितरण व्यतिकरण परिघटना का एक महत्वपूर्ण अभिलक्षण है।

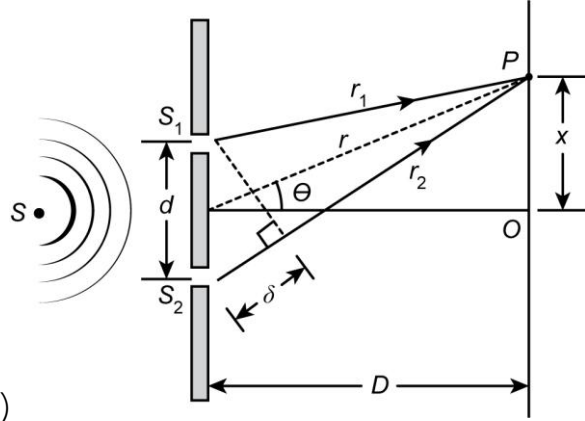
BPHCT-137 पाठ्यक्रम की इकाई 6 में आपने पढ़ा है कि जब समान आवृत्ति की ओर परस्पर सुनिश्चित कला संबंधों वाली दो अथवा अधिक प्रकाश-तरंगों का एक दूसरे के ऊपर अध्यारोपण किया जाता है तो परिणामी तरंग की तीव्रता में परिवर्तन हो जाता है। कुछ बिंदुओं पर, तीव्रता व्युत्क्रमित तरंगों की तीव्रता के योग के बराबर होती है जबकि कुछ अन्य बिंदुओं पर यह लगभग शून्य होती है। (इन्हें क्रमशः उच्चिष्ठ और निम्निष्ठ के बिंदु के रूप में जाना जाता है।) यही **व्यतिकरण** परिघटना है। व्यतिकरण-पैटर्न में समान दूरी पर उच्चिष्ठ (maxima) और अल्पिष्ठ (minima) स्थित रहते हैं। यदि परिणामी तीव्रता शून्य हो अथवा पृथक् तरंगों की अनुमानित तीव्रता से कम हो तो विनाशी व्यतिकरण (destructive interference) प्राप्त होता है जो अदीप्त बँडों के रूप में दिखाई देता है। दूसरी ओर यदि परिणामी तीव्रता, पृथक् तरंगों की अनुमानित तीव्रताओं से अधिक हो तो रचनात्मक व्यतिकरण (constructive interference) प्राप्त होता है। जो पैटर्न में दीप्त बँडों के रूप में दिखाई देता है।

वर्तमान प्रयोग में, आप दो कला संबंध स्रोतों से निर्गत प्रकाश द्वारा निर्मित व्यतिकरण पैटर्न प्राप्त करेंगे और उपयोग किए गए प्रकाश की तरंगदैर्घ्य को निर्धारित करने के लिए कुछ माप करेंगे। इस प्रयोजन के लिए, आपके पास एक व्यंजक होना चाहिए जो प्रयोगात्मक रूप से मापी गई राशियों (तत्काल मामले में फ्रिज चौड़ाई) को उपयोग किए गए प्रकाश की तरंगदैर्घ्य से संबंधित करता है। आइए अब हम व्यतिकरण पैटर्न प्राप्त करने के लिए प्रयुक्त प्रकाश की फ्रिज चौड़ाई और तरंगदैर्घ्य से संबंधित व्यंजक प्राप्त करें। (आपने यह व्यंजक BPHCT-137 की इकाई 6 में प्राप्त किया है लेकिन, हम इसे यहां पूर्णता के लिए दे रहे हैं।)

इसके लिए एक संकीर्ण-रेखाछिद्र S को एकवर्णी प्रकाश स्रोत से प्रदीप्त किया जाता है जिसके द्वारा समान दूरी पर स्थित दो अन्य संकीर्ण रेखाछिद्र S_1 और S_2 प्रदीप्त होते हैं। माना कि S_1 और S_2 के बीच की दूरी d है। व्यतिकरण-पैटर्न द्वि-रेखाछिद्र से दूरी D पर स्थित परदे पर प्राप्त किया जाता है। यह परदा उस समतल के समांतर होता है जिसमें ये रेखाछिद्र होते हैं जैसाकि चित्र 4.1 में दिखाया गया है।

वर्तमान प्रयोग में, आप दो कला संबंध स्रोतों से निर्गत प्रकाश द्वारा निर्मित व्यतिकरण पैटर्न प्राप्त करेंगे और उपयोग किए गए प्रकाश की तरंगदैर्घ्य को निर्धारित करने के लिए कुछ माप करेंगे। इस प्रयोजन के लिए, आपके पास एक व्यंजक होना चाहिए जो प्रयोगात्मक रूप से मापी गई राशियों (तत्काल मामले में फ्रिज चौड़ाई) को उपयोग किए गए प्रकाश की तरंगदैर्घ्य से संबंधित करता है। आइए अब हम व्यतिकरण पैटर्न प्राप्त करने के लिए प्रयुक्त प्रकाश की फ्रिज चौड़ाई और तरंगदैर्घ्य से संबंधित व्यंजक प्राप्त

करें। (आपने यह व्यंजक की इकाई 6 में प्राप्त किया है बीपीएचसीटी-137. लेकिन, हम



पूर्णता के लिए दे रहे हैं।)

चित्र 4.1: प्रकाश तरंगों का व्यतिकरण देखने के लिए द्वि-रेखाछिद्र व्यवस्था का अनुप्रस्थ-काट दृश्य।

आइए परदे पर एक बिन्दु P लें जो मूल स्रोत से सबसे निकटस्थ उच्चिष्ठ या अल्पिष्ठ है। माना बिन्दु P पर दो व्यतिकारी तरंगों के विद्युत-क्षेत्र इस प्रकार हैं:

$$E_1 = E_0 \sin \omega t \quad (4.1क)$$

$$E_2 = E_0 \sin(\omega t + \phi) \quad (4.1ख)$$

जिसमें ϕ दोनों तरंगों के बीच कला-अंतर है और यह स्थिर होता है। यह ϕ कला-अंतर, पथांतर के कारण उत्पन्न होता है। क्योंकि एक तरंगदैर्घ्य के पथांतर से 2π रेडियन कला-अंतर उत्पन्न होता है, अतः हम लिख सकते हैं कि

$$\phi_1 = \frac{2\pi}{\lambda} \times (\text{पथांतर}) \quad (4.2)$$

S_1P और S_2P के बीच पथांतर इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है :

$$S_2P - S_1P = d \sin \theta \quad (4.3)$$

इस प्रकार हम पाते हैं कि

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta \quad (4.4)$$

बिन्दु P पर विद्युत् क्षेत्र का परिणामी होगा,

$$E = E_1 + E_2 = 2E_0 \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \sin \omega t \quad (4.5)$$

और तीव्रता होगी,

$$I = 4E_0^2 \cos^2\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad (4.6)$$

इस प्रकार हमें अधिकतम तीव्रता अथवा $(= 4E_0^2)$ किसी एक एक तरंग की तीव्रता का चार गुना) तब प्राप्त होगी, जबकि

$$\frac{\phi}{2} = n\pi \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (4.7क)$$

और न्यूनतम तीव्रता (वास्तव में शून्य) तब प्राप्त होगी, जबकि

$$\frac{\phi}{2} = \left(n + \frac{1}{2}\right)\pi \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (4.7ख)$$

इस प्रकार समीकरण (4.4) का उपयोग कर हम रचनात्मक व्यतिकरण की स्थिति व्यक्त कर सकते हैं जो इस प्रकार होगी,

$$\sin \theta_n = \frac{n\lambda}{d} \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (4.8क)$$

और विनाशी व्यतिकरण की स्थिति इस प्रकार व्यक्त की जा सकती है,

$$\sin \theta_n = \left(n + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{d} \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (4.8ख)$$

चित्र (4.1) से, $OP = y$ मानते हुए, हम लिख सकते हैं कि,

$$y = D \tan \theta \quad (4.9क)$$

इस प्रकार एकान्तर उच्चिष्ठ और अल्पिष्ठ की स्थितियां इस प्रकार व्यक्त की जा सकती हैं,

$$y_n = D \tan \theta_n \quad (4.9ख)$$

जिसमें θ_n का मान समीकरणों (4.8क) और (4.8ख) से प्राप्त हो सकता है।

अंत में, यदि रेखाछिद्रों की दूरी, प्रकाश के तरंगदैर्घ्य की अपेक्षा बहुत अधिक हो $(d \gg \lambda)$ तो शून्येतर n के लिए $\frac{n\lambda}{d}$ का मान बहुत कम होगा। अतः समीकरण (4.8क) से यह परिणाम निकलता है कि θ_n बहुत कम होगा। इस प्रकार छोटे कोण का सन्निकटन करके हम लिख सकते हैं कि,

$$\sin \theta_n \approx \tan \theta_n \approx \theta_n$$

इस प्रकार,

$$y_n = D \theta_n \quad (4.10)$$

और

$$\theta_n = \frac{n\lambda}{d} = \frac{y_n}{D} \quad (4.11)$$

अर्थात् n वां दीप्त फ्रिन्ज,

$$y_n = \frac{n\lambda D}{d} \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (4.12क)$$

पर स्थित होगा। और

n वां अदीप्त फ्रिन्ज,

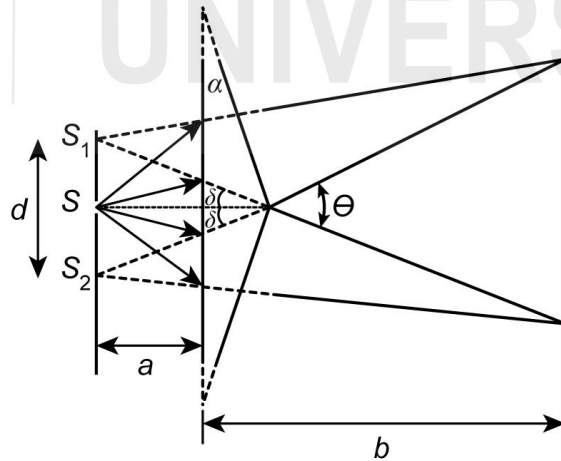
$$y_n = \frac{\left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda D}{d} \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (4.12ख)$$

पर स्थित होगा।

4.3 फ्रेनेल का द्विप्रिज्म

चित्र 4.1 को पुनः देखें। यदि रेखाछिद्र S_1 और S_2 बहुत संकीर्ण हों तो फ्रिन्जों को बनाने के लिए उपलब्ध प्रकाश की मात्रा बहुत कम होगी और फलस्वरूप फ्रिन्जों की तीव्रता भी कम होगी। साथ ही आप यह भी कह सकते हैं कि ये रेखाछिद्र प्रकाश का विवर्तन (diffraction) करते हैं और प्रेक्षित पैटर्न में व्यतिकरण और विवर्तन दोनों के प्रभाव दिखते हैं। ऐसी स्थिति से बचने के लिए द्विरेखाछिद्र के स्थान पर द्विप्रिज्म का उपयोग किया जा सकता है।

अब चित्र 4.2 को देखें। S एकवर्णी प्रकाश द्वारा प्रदीप्त एक संकीर्ण ऊर्ध्वाधर रेखाछिद्र है। S से आने वाला प्रकाश द्विप्रिज्म पर सममिततः पड़ता है। द्विप्रिज्म के अपवर्तक किनारे रेखाछिद्र के समांतर होते हैं। यह माना जा सकता है कि द्विप्रिज्म, दो सर्वसम प्रिज्मों का बना होता है जिनके आधार एक दूसरे के संपर्क में रहते हैं। प्रिज्म के प्रत्येक अर्धभाग में आपतित प्रकाश संगत अपवर्तक किनारे द्वारा विचलित हो जाता है। इससे उसके दोनों ओर रेखाछिद्र का आभासी प्रतिबिम्ब बन जाता है। ये दो आभासी स्रोत S_1 और S_2 दो कला-संबद्ध स्रोतों की भांति कार्य करते हैं।



चित्र 4.2: द्विप्रिज्म द्वारा S_1 और S_2 आभासी प्रतिबिम्बों का बनना।

S_1 और S_2 स्रोत के बहुत समीप हैं क्योंकि विचलन कोण छोटे हैं (S_1, S और S_2 एक ही समतल पर स्थित हैं) चित्र 4.2 से आप प्रमाणित कर सकते हैं कि $SS_1 = SS_2 = a\delta$, इसमें a स्रोत S और द्विप्रिज्म के बीच की दूरी है तथा δ प्रिज्म का विचलन-कोण है। हम जानते हैं कि प्रिज्म के लिए

$$\delta = (n - 1)\alpha \quad (4.13)$$

जिसमें n पदार्थ का अपवर्तनांक है और α अपवर्तन कोण है। इस प्रकार

$$S_1S_2 = S_1S + SS_2 = d = 2a(n-1)\alpha \quad (4.14)$$

यदि नेत्रिका, दो अपरिवर्तित किरण-पुंजों के अतिव्याप्त क्षेत्र में द्विप्रिज्म से b दूरी पर स्थित हो तो व्यतिकरण समतल से स्रोत-युग्म की दूरी होगी,

$$D = (a + b) \quad (4.15)$$

आपको याद होगा कि फ्रिन्ज चौड़ाई β होती है।

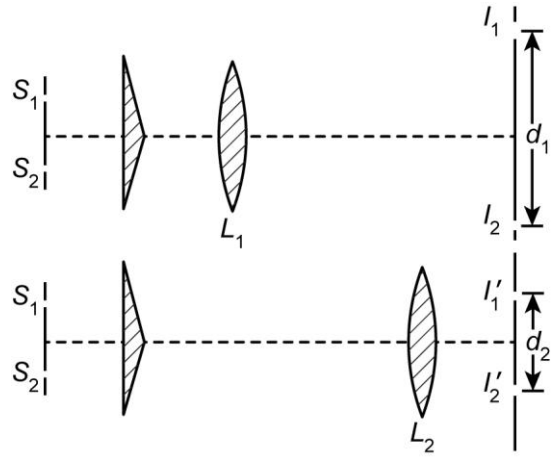
$$\beta = \frac{D\lambda}{d}$$

समीकरणों (2.14) और (2.15) से क्रमशः d और D के मान प्रतिस्थापित करने पर, हम पाते हैं कि,

$$\beta = \frac{(a+b)\lambda}{2a(n-1)\alpha} \quad (4.16)$$

इस परिणाम से मालूम होता है कि किसी द्विप्रिज्म का अपवर्तनांक पता हो तो a, b, α और β को माप लेने के बाद हम प्रकाश का तरंगदैर्घ्य परिकलित कर सकते हैं। वैकल्पिक रूप से, ज्ञात तरंगदैर्घ्य के प्रकाश-स्रोत का उपयोग कर इन मापों द्वारा n का मान जाना जा सकता है। द्विप्रिज्म बहुत पतला होता है इसलिए α कोण बहुत छोटा ($= 6 \times 10^{-3} \text{ rad}$) होता है और उसे मापना आसान नहीं होता है। इसलिए हम वैकल्पिक विधि अपनाते हैं जिसमें d का संबंध α से न होकर आभासी स्रोतों की दूरी से होता है। इन दूरियों का मापने के लिए द्विप्रिज्म और नेत्रिका के बीच अल्प फोकस दूरी ($f = 15 \text{ cm} - 20 \text{ cm}$) का उत्तल लैन्स रखा जाता है। नेत्रिका को रेखाच्छिद्र से पर्याप्त दूरी पर रखा जाता है ($5f > D > 4f$)। D के मान में इस प्रतिबंध से d के माप में त्रुटि कम हो जाती है।

उत्तल लेन्स, दो अपरिवर्तित किरण-पुंजों का अभिसरण (converge) कर देता है। उसकी स्थिति इस प्रकार समंजित की जा सकती है कि नेत्रिका में क्रॉस-तारों के समतल में स्वच्छ और सुस्पष्ट प्रतिबिम्ब प्राप्त हो सकें। वास्तव में प्रयोग करते समय आप देखेंगे कि रेखाच्छिद्र, द्विप्रिज्म और नेत्रिका की एक दी गई स्थिति के लिए लेन्स की दो स्थितियां होती हैं, जिन्हें चित्र 4.3 में L_1 और L_2 के रूप में दिखाया गया है जिन पर नेत्रिका में S_1 और S_2 के स्पष्ट प्रतिबिम्ब प्राप्त होते हैं। एक स्थिति (L_1) में स्रोतों का आवर्धित प्रतिबिम्ब प्राप्त होता है जबकि दूसरी स्थिति (L_2) में न्यूनीकृत प्रतिबिम्ब प्राप्त होता है।



चित्र 4.3: द्विप्रिज्म और नेत्रिका के बीच लेन्स की दो स्थितियां जिन पर S_1 और S_2 स्रोतों के आवर्धित प्रतिबिंब I_1 और I_2 तथा न्यूनीकृत प्रतिबिंब I'_1 और I'_2 प्राप्त होते हैं।

माना दो आवर्धित प्रतिबिंबों के बीच की दूरी d_1 है। यदि आभासी स्रोतों S_1 और S_2 के बीच की वास्तविक दूरी d हो तो लेन्स द्वारा आवर्धन इस प्रकार होगा,

$$m_1 = \frac{d_1}{d} \quad (4.17क)$$

यदि न्यूनीकृत प्रतिबिंबों के बीच की दूरी d_2 हो तो आवर्धन इस प्रकार होगा,

$$m_2 = \frac{d_2}{d} \quad (4.17 ख)$$

प्रतिबिंब की दो संयुग्मी स्थितियों के लिए हम पाते हैं कि $m_1 = 1/m_2$ । आपने प्रकाशिकी (PHE-09) के पाठ्यक्रम के अंतर्गत खंड 2 में इस परिणाम को प्रमाणित किया होगा। फिर भी पूर्णता की दृष्टि से हम उसे यहां फिर से दे रहे हैं। इस समता द्वारा हम फ्रिन्ज चौड़ाई और उन प्राचलों के बीच संबंध स्थापित कर सकते हैं जिन्हें मापा जा सकता है। हम लिख सकते हैं कि

$$u + v = D$$

जिससे

$$u = D - v$$

लेन्स सूत्र से हम जानते हैं कि

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

u का मान प्रतिस्थापित करने पर,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{D - v} = \frac{1}{f}$$

अथवा

$$\frac{D - v + v}{v(D - v)} = \frac{1}{f}$$

अथवा

$$\frac{D}{v(D-v)} = \frac{1}{f}$$

जिसे इस प्रकार लिखा जा सकता है,

$$v^2 - Dv + fD = 0$$

वास्तविक मूलों के लिए

$$D^2 - 4fD > 0$$

अथवा $D > 4f$

और मूलों का योग

$$v_1 + v_2 = D$$

किन्तु

$$u_1 + v_1 = u_2 + v_2 = D$$

इसलिए $v_1 = D - v_2$ मान प्रतिस्थापित करने पर उपर्युक्त व्यंजक को इस प्रकार लिख सकते हैं :

$$u_1 + D - v_2 = D$$

अथवा $u_1 = v_2$ इसी प्रकार हम सिद्ध कर सकते हैं कि $u_2 = v_1$

चूँकि

$$m_1 = \frac{v_1}{u_1}$$

अतः

$$m_1 = \frac{v_1}{v_2}$$

इसी प्रकार हम प्राप्त कर सकते हैं कि

$$m_2 = \frac{v_2}{u_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

इसलिए $m_1 \times m_2 = 1$ अथवा $m_1 = \frac{1}{m_2}$

द्विघात समीकरण
 $ax^2 + bx + c = 0$ के मूलों
 का योग $-b/a$ होता है।
 यहां $b = D$ और $a = 1$ ।
 इसलिए मूलों का योग
 $v_1 + v_2 = D$ ।

d, d_1 और d_2 के पदों में इस समता को दुबारा इस प्रकार लिख सकते हैं,

$$d = \sqrt{d_1 d_2}$$

जिससे फ्रिन्ज चौड़ाई का व्यंजक हो जाता है

$$\beta = \frac{D\lambda}{d} = \frac{(a+b)\lambda}{\sqrt{d_1 d_2}}$$

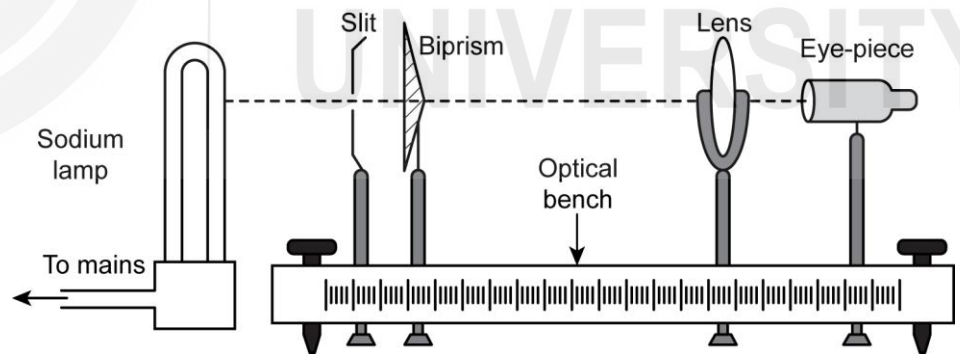
इस परिणाम से स्पष्ट है कि a, b, d, d_1, d_2 और β मापने के बाद λ को आसानी से परिकलित किया जा सकता है। आशा है कि अब आप आभासी स्रोतों को उत्पन्न करने के लिए उत्तल लेन्स के उपयोग की आवश्यकता को समझे होंगे।

4.4 प्रकाश के तरंगदैर्घ्य का निर्धारण

इस प्रयोग में सबसे पहले द्विप्रिज्म द्वारा कला-संबद्ध स्रोत प्राप्त करने होते हैं। इसके लिए आपको व्यतिकरण फ्रिन्जों को प्राप्त करने, फ्रिन्ज-चौड़ाई को मापने और कला-संबद्ध स्रोतों के बीच की दूरी को मापने के लिए उपकरण को समंजित करना होगा। अब हम आपको बताएंगे कि व्यतिकरण फ्रिन्जों को प्राप्त करने के लिए उपकरण को कैसे समंजित करना होता है।

4.4.1 उपकरण का समंजन

1. चित्र 4.4 को देखें। उसमें एक सोडियम लैम्प, एक प्रकाशिक बेन्च जिसमें तीन स्टैंड हैं और एक नेत्रिका दिखाए गए हैं।



चित्र 4.4: प्रायोगिक व्यवस्था।

2. सोडियम लैम्प को प्रकाशिक बेन्च के एक सिरे पर व्यवस्थित करें। प्रायः सोडियम लैम्प एक आयताकार पेटी में रखा जाता है जिसके एक पार्श्व में प्रकाश के जाने के लिए एक छोटा आयताकार छिद्र होता है।
3. स्टैंडों को प्रकाशिक बेन्च में इस प्रकार रखें कि वे सब एक ही ऊंचाई पर हों।
4. पहले स्टैंड में समंजनीय चौड़ाई का रेखाछिद्र, दूसरे स्टैंड में द्विप्रिज्म और तीसरे स्टैंड में सूक्ष्मदर्शी नेत्रिका रखें। आप देखेंगे कि रेखाछिद्र में एक पेंच लगा है जिसकी मदद से रेखाछिद्र को अपने ही समतल में घुमाया जा सकता है। इस पेंच

की मदद से रेखाछिद्र को ऊर्ध्व स्थिति में रख लें। रेखाछिद्र की चौड़ाई कम से कम रखें। रेखाछिद्र को उसके ही समतल में घुमा सकते हैं। उसी तरह द्विप्रिज्म वाले फ्रेम को भी उसके ही समतल में घुमाया जा सकता है। यह भी सुनिश्चित कर लें कि द्विप्रिज्म का कोर रेखाछिद्र के समान्तर हो।

5. अब रेखाछिद्र को सोडियम प्रकाश द्वारा प्रदीप्त कर द्विप्रिज्म से देखें। अपनी आंख को तिरछे घुमाएं। आप क्या देखते हैं? क्या कोई दीप्त ऊर्ध्व रेखा एकाएक प्रकट होकर गायब हो जाती है? अगर ऐसा होता है तो आप समझ लें कि द्विप्रिज्म का किनारा, रेखाछिद्र के समांतर है। अगर दीप्त रेखा ऊपर से नीचे को धीरे-धीरे प्रकट या गायब होती है तो द्विप्रिज्म का किनारा रेखाछिद्र के समांतर नहीं है। द्विप्रिज्म को अपने ही समतल में तब तक घुमाएं जब तक वह रेखाछिद्र के समांतर न हो जाए। ऐसा करते समय याद रखें कि रेखाछिद्र और द्विप्रिज्म एक दूसरे के यथासंभव निकट हों।
6. इसके बाद सूक्ष्ममापी नेत्रिका को द्विप्रिज्म से लगभग 15 cm – 20 cm दूर रखें। अपने नेत्र को नेत्रिका के ठीक ऊपर रखें और यह सुनिश्चित कर लें कि आप रेखाछिद्र के दो प्रतिबिम्ब देख रहे हैं। अगर न देख रहे हों तो द्विप्रिज्म अथवा नेत्रिका को तिरछा खिसकाएं। ऐसा करते समय ऊर्ध्वाधर संरेखण में गड़बड़ न होने दें। उसके बाद नेत्रिका के बीच से देखें। आपको उनके ऊर्ध्व दीप्त और अदीप्त फ्रिन्ज दिखाई देने चाहिए। वे केवल तब दिखाई देंगे जब रेखाछिद्र और द्विप्रिज्म का किनारा, एक दूसरे के समांतर हों। यदि दृश्य-क्षेत्र में स्पष्ट फ्रिन्ज न दिखाई दें तो रेखाछिद्र को संकीर्ण करें तथा द्विप्रिज्म को उसके ही समतल में थोड़ा सा घुमाएं। इन दो समंजनों से आपको दृश्य-क्षेत्र में सुस्पष्ट फ्रिन्ज दिखाई देंगे।
7. अगले चरण में द्विप्रिज्म और नेत्रिका का संरेखण करना है। इसके लिए आप प्रकाशिक बेन्च में नेत्रिका को द्विप्रिज्म से दूर खिसकाएं। इस बात की जांच कर लें कि संपूर्ण रूप से एक ओर विस्थापित हुए बिना ही पहले कहीं फ्रिन्जों की चौड़ाई बढ़ती तो नहीं है। अगर पैटर्न का पार्श्व विस्थापन दिखाई दे तो स्टैंड के पार्श्व में लगे पेंच का उपयोग करें और द्विप्रिज्म को अनुप्रस्थ गति दें। इससे दृष्टि-क्षेत्र में दिखाई देने वाला संपूर्ण फ्रिन्ज पैटर्न पार्श्वतः विस्थापित हो जाएगा।
8. अब नेत्रिका को आगे की ओर खिसकाएं और देखें कि क्या पार्श्वतः विस्थापित हुए बिना, फ्रिन्ज संकीर्ण हो जाते हैं। उपर्युक्त समंजनों को बारी-बारी से तब तक करते रहना चाहिए जब तक प्रकाशिक बेन्च में नेत्रिका की अनुदैर्घ्य गति से संपूर्ण फ्रिन्ज पैटर्न का पार्श्व विस्थापन न हो जाए।

अब आपका उपकरण मापने के लिए तैयार है।

4.4.2 फ्रिन्ज चौड़ाई की माप

1. सूक्ष्ममापी का पिच नोट करें और उसका अल्पतमांक परिकलित करें। इसे प्रेक्षण सारणी 4.1 में रिकार्ड कर लें। पिच पैमाने पर बाईं ओर की अंतिम रेखा को शून्य मान लें। जैसे ही शीर्ष को घुमाया जाता है, मुख्य पैमाने और पिच पैमाने दोनों की रीडिंग में वृद्धि होनी चाहिए।

2. अब आप फ्रिन्ज चौड़ाई माप सकते हैं। नेत्रिका को द्विप्रिज्म से लगभग 20 cm दूर रखकर सूक्ष्ममापी पेंच को तब तक घुमाएं जब तक क्रॉस तारों का प्रतिच्छेद किसी एक दीप्त रेखा पर न गिरे। पिच पैमाने और मुख्य पैमान की रीडिंगों को नोट करके प्रेक्षण सारणी में रिकार्ड कर लें।
3. सूक्ष्ममापी के शीर्ष को घुमाकर क्रॉस तारों को 10 फ्रिन्जों तक विस्थापित करें और रीडिंग को रिकार्ड कर लें। अन्तर से 10 फ्रिन्ज की चौड़ाई प्राप्त होती है।
4. ध्यान देने की बात है कि 10 संख्या की कोई विशेषता नहीं है। वह 8 या 12 भी हो सकती है। अंतर जितना अधिक होगा माप की यथार्थता उतनी ही अधिक होगी और त्रुटि उतनी ही कम होगी।
5. पैटर्न में भिन्न फ्रिन्जों से आरंभ कर चरण 3 को कम से कम पांच बार दोहराएं। माध्य फ्रिन्ज-चौड़ाई β_1 परिकलित करें।
5. रेखाछिद्र S और द्विप्रिज्म को उसी स्थिति में रखते हुए नेत्रिका को, द्विप्रिज्म से 40 cm दूर ले जाएं। चरण दो से चार को दोहराते हुए औसत β_2 ज्ञात करें। अतः

$$\frac{\beta}{D} = \frac{(\beta_2 - \beta_1)}{(D_2 - D_1)}$$

β/D ज्ञात करने के लिए आपको कहा गया था कि नेत्रिका को D_1 और D_2 दो भिन्न दूरियों पर रखकर फ्रिन्ज-चौड़ाईयों β_1 और β_2 को मापें। (β/D) को निर्धारित करने की बेहतर विधि यह होगी कि D में क्रमशः 5 cm का अंतर किया जाए और β के संगत मान ज्ञात किए जाएं। फिर β और D के बीच ग्राफ खींचकर उसकी प्रवणता से β/D का मान निकालें। क्या आप बता सकते हैं कि ग्राफीय विधि अधिक उत्तम क्यों होती है?

6. दूर रखी वस्तु को परदे पर फोकस कर उत्तल लेन्स की लगभग फोकस दूरी ज्ञात करें।
7. सूक्ष्ममापी नेत्रिका को स्रोत रेखाछिद्र S से काफी अधिक दूरी ($4f$ से अधिक) पर रखें। फिर द्विप्रिज्म और नेत्रिका के बीच उत्तल लेन्स इस तरह रखें कि लेन्स का केन्द्र रेखाछिद्र और नेत्रिका की सीध में हो। लेन्स को बेन्च में तब तक खिसकाएं जब तक क्रॉस तारों के समतल में दो आभासी स्रोतों के स्पष्ट विवर्धित प्रतिबिम्ब न दिखाई दें। प्रतिबिम्बों के बीच की दूरी, d_1 , माप लें। लेन्स को नेत्रिका की ओर ले जाएं जब तक क्रॉस तारों के समतल में दो आभासी स्रोतों के स्पष्ट न्यूनीकृत प्रतिबिम्ब न दिखाई दें। प्रतिबिम्बों के बीच की दूरी d_2 को माप लें। प्राप्त रीडिंगों को प्रेक्षण सारणी 4.2 में रिकार्ड करें।

अब स्रोत दूरी d निम्नलिखित सूत्र द्वारा परिकलित करें,

$$d = \sqrt{d_1 d_2}$$

फिर निम्नलिखित सूत्र द्वारा सोडियम प्रकाश का तरंगदैर्घ्य परिकलित करें :

$$\lambda = d \left(\frac{\beta}{D} \right)$$

प्रेक्षण सारणी 4.1: फ्रिन्ज चौड़ाई की माप

क) सूक्ष्ममापी का अल्पतमांक = ... cm

ख) प्रकाशिक बेन्च में स्रोत रेखाछिद्र की स्थिति = ... cm

ग) प्रकाशिक बेन्च में द्विप्रिज्म की स्थिति = ... cm

नेत्रिका की स्थिति	फ्रिन्ज की रीडिंग		विस्थापन	माध्य	माध्य
	कोटि n	कोटि $(n + 10)$	10β	10β	β

प्रेक्षण सारणी 4.2: कला-संबद्ध स्रोतों के बीच दूरी की माप

क्रम सं.	नेत्रिका की स्थिति (cm)	विवर्धित प्रतिबिम्ब (cm)			न्यूनीकृत प्रतिबिम्ब (cm)			$d = \sqrt{d_1 d_2}$ (cm)
		S_1	S_2	$d_1 = S_2 - S_1$	S'_1	S'_2	$d_2 = S'_2 - S'_1$	
1.								
2.								

3.								
4.								
5.								

परिणाम : सोडियम लैम्प द्वारा उत्सर्जित प्रकाश का तरंगदैर्घ्य = ... nm.

सोडियम वाष्प लैम्प, दो तरंगदैर्घ्य देता है, जो एक दूसरे के बहुत समीप होते हैं। ये तरंगदैर्घ्य 589.0 nm और 589.6 nm है। इसलिए, सच तो यह है कि सोडियम लैम्प क्लासिकल तरंगों उत्सर्जित नहीं करता है। आपके द्वारा मापे गए तरंगदैर्घ्य का मान वास्तविक मान से कितना भिन्न है?

आप स्रोत रेखाछिद्रों और द्विप्रिज्म के बीच की दूरी में परिवर्तन कर सकते हैं। ऐसा करने पर फ्रिन्ज पैटर्न में किस प्रकार का परिवर्तन होता है? जब दूरी बहुत अधिक होती है तो आप देखेंगे कि फ्रिन्ज एक दूसरे के बहुत निकट हो जाते हैं। β और D के पारस्परिक संबंध पर टिप्पणी कीजिए।

यदि समय हो तो आप परामर्शदाता से α का मान ज्ञात कर अपवर्तनांक n_1 का मान परिकलित करें और द्विप्रिज्म के पदार्थ पर टिप्पणी करें।

न्यूटनी वलयों का उपयोग कर सोडियम प्रकाश का तरंगदैर्घ्य का निर्धारण

इकाई की रूपरेखा

5.1	प्रस्तावना अपेक्षित कौशल	5.3	न्यूटनी वलयों का प्रेक्षण सिद्धांत प्रक्रिया
5.2	उपकरण	5.4	गणनाएँ

5.1 प्रस्तावना

अपने +2 स्कूल भौतिकी पाठ्यक्रम से, आप तरंग भौतिकी सम्बन्धी व्यतिकरण, विवर्तन, ध्रुवीकरण आदि परिघटनाओं से परिचित हैं। प्रयोग 4 में, आपने फ्रेनेल द्विकप्रिज्म का उपयोग करके प्रकाश का तरंगदैर्घ्य निर्धारित करना सीखा है। यह तरंगाग्र के विभाजन पर आधारित है। इस प्रयोग में, आप न्यूटन के वलयों की विधि का उपयोग करके सोडियम प्रकाश का तरंगदैर्घ्य निर्धारित करना सीखेंगे जो आयाम के विभाजन पर आधारित है। आपको याद होगा कि प्रकाश के व्यतिकरण के लिए, प्रकाश तरंगों को कलासंबद्ध (यानी, एक अचर कला- अंतर युक्त) स्रोतों द्वारा उत्सर्जित, एकवर्णी (एक ही तरंगदैर्घ्य का) और लगभग समान आयाम (तीव्रता) का होना चाहिए।

व्यतिकरण सामान्यतः (i) तरंगाग्र के विभाजन (यंग का द्वि-रेखाछिद्र प्रयोग, फ्रेनेल द्विकप्रिज्म, लॉयड-दर्पण), अथवा (ii) आयाम का विभाजन (न्यूटनी वलयों) द्वारा प्रेक्षित किया जाता है। तरंगाग्र-विभाजन द्वारा निर्मित व्यतिकरण प्रतिरूप के मामले में, एक ही स्रोत का उपयोग दो कलासंबद्ध स्रोतों को उत्पन्न करने के लिए किया जाता है हालाँकि, इस प्रयोग में भी, दो प्रकाश तरंगें एक ही तरंग से व्युत्पन्न की जाती हैं। न्यूटनी वलय प्रयोग में प्रकाश की आपतित तरंग अंशतः एक कांच के लेंस के वक्रित पृष्ठ से परावर्तित होती है और अंशतः लेंस तथा इसके नीचे रखी समतल कांच की प्लेट के बीच बनी वायु की फिल्म से होकर संचरित होती है, जिससे आंशिक परावर्तन होता है (इस आंशिक परावर्तन का मतलब है कि आपतित तरंग के आयाम को विभाजित किया गया है)। ये दो परावर्तित तरंगें व्यतिकरण करके संकेंद्रित वलयों के रूप में दीप्त और अदीप्त फ्रिंज उत्पन्न करती हैं। इन वलयों को **न्यूटनी वलय** कहा

जाता है। इस प्रयोग में, आप समतलोत्तल लेन्स की वक्रता त्रिज्या के मापन के लिए गोलाईमापी (spherometer) तथा न्यूटनी वलयों के व्यास को मापने के लिए चल-सूक्ष्मदर्शी (travelling microscope) का उपयोग करना सीखेंगे। आप देखेंगे कि केंद्रीय वलय अदीप्त है, क्योंकि, कांच की प्लेट एक सघन माध्यम होने के कारण इससे परावर्तन होने पर वायु फिल्म के ऊपर और नीचे से परावर्तित तरंगों में π का कला-अंतर आ जाता है।

न्यूटनी वलय प्रयोग के सिद्धांत और कार्य-विधि पर चर्चा करने से पहले, हम उन कौशलों का उल्लेख करेंगे, जो इस प्रयोग को करने के बाद आपको प्राप्त होने की आशा है।

अपेक्षित कौशल

यह प्रयोग करने के पश्चात् आप इस योग्य होंगे कि आप :

- ❖ चल-सूक्ष्मदर्शी का उपयोग कर सकेंगे;
- ❖ स्फेरोमीटर का उपयोग कर लेन्स की वक्रता त्रिज्या का मापन कर सकेंगे;
- ❖ दिए गए प्रकाश के लिए प्राप्त वलयाकार न्यूटनी फ्रिंजों की संख्या n और उसके व्यास के वर्ग D_n^2 के बीच वक्र आलेखित कर सकेंगे और उनकी व्याख्या कर सकेंगे; और
- ❖ सोडियम प्रकाश की तरंगदैर्घ्य का निर्धारण कर सकेंगे।

इस प्रयोग के लिए आप निम्नलिखित नीचे सूचीबद्ध उपकरणों का उपयोग करेंगे।

आवश्यक उपकरण

सोडियम वाष्प लैंप (प्रकाश का एकवर्णी स्रोत), एक चल-सूक्ष्मदर्शी, 1 से 2 mm मोटाई की समतल कांच की प्लेटें, 5 से 6 cm व्यास और वक्रता त्रिज्या (100 cm) का समतल उत्तल लेंस, गोलाईमापी, आवर्धक लेंस और टेबल लैंप।



चित्र 5.1: चल-सूक्ष्मदर्शी।

प्रयोग की शुरुआत करने से पहले आपको इस प्रयोग में प्रयुक्त उपकरणों से ठीक से परिचित होना चाहिए।

5.2 उपकरण

चल-सूक्ष्मदर्शी

चित्र 5.1 देखें जिसमें एक चल-सूक्ष्मदर्शी दिखाया गया है। यह मूल रूप से एक यौगिक सूक्ष्मदर्शी है जिसे क्षैतिज और लंबवत रूप से चलाया जा सकता है। इसमें दो लेंस हैं: एक नेत्रक तथा दूसरा अभिदृश्यक जिन्हें एक बेलनाकार ट्यूब के दो सिरों पर लगाया जाता है। नेत्रक में एक क्रॉस वायर होता है जिसे आप अंदर या बाहर खिसका कर फोकस कर सकते हैं। इसमें स्टील/कच्चे लोहे का बना आधार होता है जिसे समतल करने के लिए इसके नीचे समतलकारी पेंच लगे होते हैं। संलग्न वर्नियर युक्त धातु का एक चल-मंच एक मजबूत छड पर लगा होता है जिसे इधर उधर खिसकाया जा सकता है।

मंच से संलग्न वर्नियर माप की सटीकता (accuracy) को बढ़ाने में मदद करता है। इसकी यथार्थता का आकलन हम इसके अल्पतमांक की गणना करके कर सकते हैं। आप पहले के प्रयोगशाला पाठ्यक्रमों में वर्नियर कैलिपर्स के अल्पतमांक की गणना करना सीख चुके हैं। फिर भी पूर्णता और आपकी सुविधा के लिए हम इस प्रक्रम के चरणों को फिर से दोहरा रहे हैं। मान लीजिए कि मुख्य पैमाने का अल्पतमांक (इसके द्वारा मापी जा सकने वाली न्यूनतम लंबाई) 0.5 mm है। इसका अर्थ है कि इसका उपयोग 0.5 mm से अधिक या उसके बराबर लंबाई मापने के लिए किया जा सकता है। तथापि, यदि इसके साथ एक वर्नियर स्केल, जिसके 50 भाग मुख्य स्केल के 49 भागों के साथ सम्पाती होते हैं, तो –

वर्नियर स्केल के एक भाग की लंबाई (1 VSD) = $\left(\frac{49}{50}\right)$ मेन स्केल भाग (MSD) की लंबाई

इसलिए, दिए गए यंत्र में लगे वर्नियर युक्त स्केल के अल्पतमांक के मान के लिए हम लिख सकते हैं:

अल्पतमांक का मान = (1 MSD – 1 VSD),

$$= \left[1 - \left(\frac{49}{50} \right) \right] \times \text{मुख्य स्केल के एक भाग की लंबाई का मान}$$

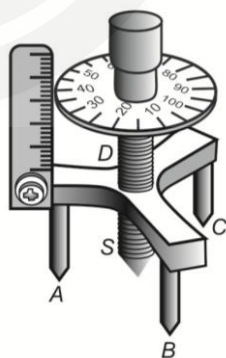
$$= \left(\frac{1}{50} \right) \times 0.5 \text{ mm} = 0.01 \text{ mm or } 0.001 \text{ cm}$$

इस तरह के उपकरण द्वारा मापी गई लंबाई के लिए हम लिख सकते हैं:

लम्बाई = मुख्य स्केल का पाठ्यांक + वर्नियर स्केल का पाठ्यांक $\times$ अल्पतमांक

यह सुनिश्चित करने के लिए कि आपने अल्पतमांक परिकलन की प्रक्रिया को समझ लिया है, हम चाहेंगे कि आप उपरोक्त अभ्यास को एक ऐसे वर्नियर कैलिपर्स के लिए दोहराएं जिसमें 9 MSD, 10 VSD के साथ सम्पाती होते हैं।

गोलाईमापी



चित्र 5.2: गोलाईमापी।

चित्र 5.2 को देखिए। यह एक गोलाईमापी दर्शाता है। गोलाईमापी एक यांत्रिक उपकरण है जिसका उपयोग छोटी मोटाईयों और घुमावदार सतहों, जैसे कि गोलाकार दर्पण और लेंसों, की वक्रता त्रिज्याओं को मापने के लिए किया जाता है। आपने इसका इस्तेमाल अपनी स्कूल भौतिकी प्रयोगशाला में किया होगा। गोलाईमापी में एक ही आकार के तीन नियत पैरों (चित्र 5.2 में A, B और C) पर जड़ा धातु का तिपाईनुमा फ्रेम होता है। तिपाई फ्रेम के केंद्र से तीन पैरों के समानांतर एक पेंच S गुजरता है जिसे D पर बने एक छेद में घुमाकर ऊपर और नीचे उठाया या उतारा जा सकता है। जब पेंच को घुमाकर नीचे उतारा जाता है और यह उस सतह को छूता है जिस पर

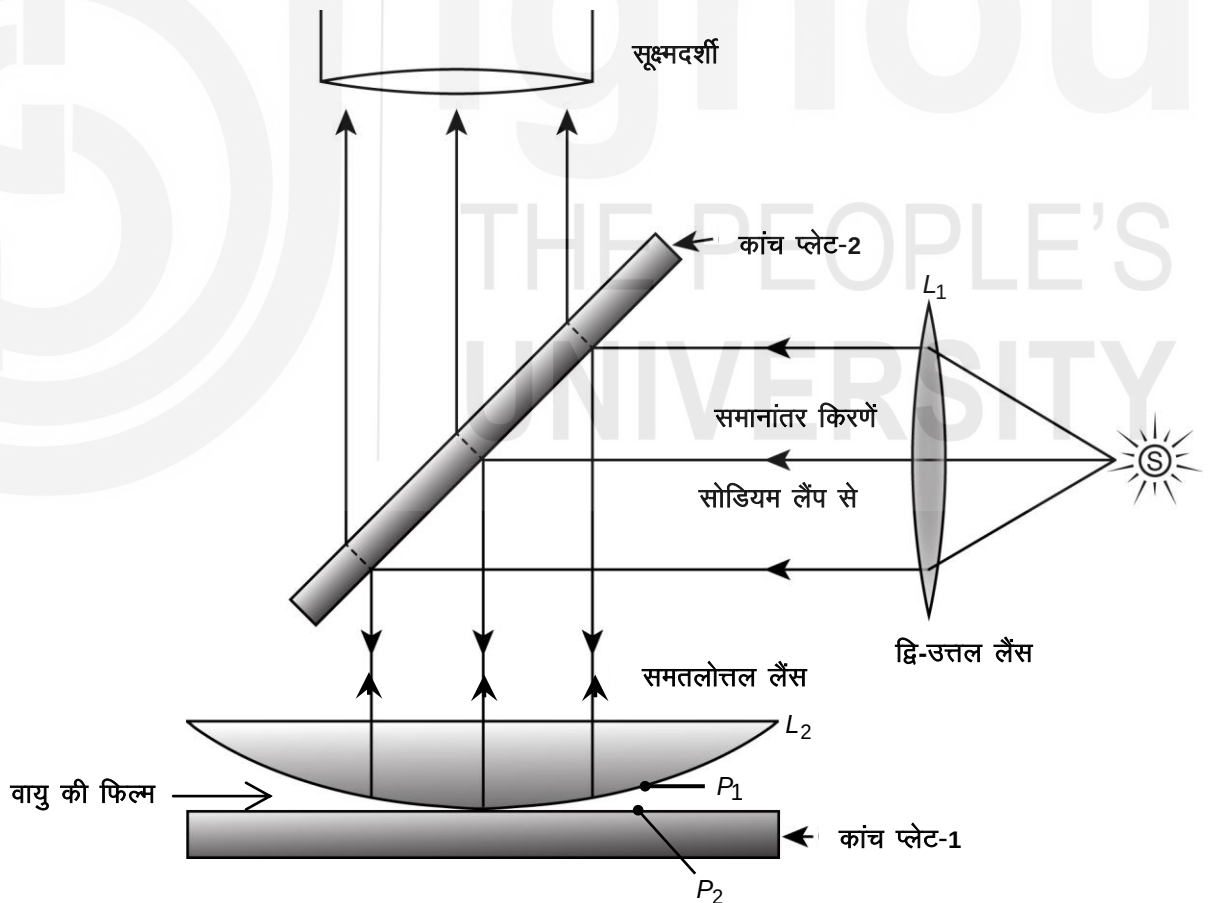
शेष तीन पैर टिके होते हैं तो वह बिंदु जहां पैर S इस सतह को छूता है वह तीन पैरों द्वारा गठित समबाहु त्रिभुज का केंद्र होता है। यह बिंदु गोलाईमापी के पैरों द्वारा अंकित तीन बिंदुओं से गुजरने वाले एक वृत्त का केंद्र भी है। आमतौर पर 100 बराबर भागों में विभाजित एक अंशांकित चकती पैर S के शीर्ष पर जड़ी होती है। तिपाई के एक शीर्ष पर, मिलीमीटरों में अंशांकित एक छोटा, ऊर्ध्वाधर स्केल लगा होता है। इसे पिच स्केल के रूप में जाना जाता है।

गोलाईमापी के अल्पतमांक का परिकलन वृत्ताकार स्केल को एक बार पूरा घुमाने पर मुख्य पैमाने पर विस्थापित अंशों की संख्या को नोट करके किया जाता है। यदि वृत्ताकार पैमाने पर 50 अंकन हैं, और इसे एक बार पूरा घुमाने पर मुख्य पैमाने पर 0.05 cm का विस्थापन होता है, तो

$$\text{गोलाईमापी का अल्पतमांक} = \left(\frac{0.05}{50} \right) = 0.001 \text{ cm}।$$

यदि गोलाकार पैमाने पर 100 भाग अंशांकित हों और एक पूर्ण चक्र घुमाने पर मुख्य पैमाने पर 0.05 cm का विस्थापन देखा जाता हो तो आप सहमत होंगे कि तब इसका अल्पतमांक 0.0005 cm होगा।

5.3 न्यूटनी वलयों का प्रेक्षण



चित्र 5.3: न्यूटनी वलयों के प्रेक्षण हेतु प्रयोग की जाने वाली प्रायोगिक व्यवस्था का योजनाबद्ध निरूपण।

चित्र 5.3 को देखें। यह न्यूटनी वलयों के प्रेक्षण की प्रायोगिक व्यवस्था को दर्शाता है। एकवर्णी प्रकाश का एक विस्तारित स्रोत जैसे कि सोडियम लैंप को एक द्वि-उत्तल लेंस (L_1) के मुख्य फोकस पर रखा गया है ताकि प्रकाश का एक समानांतर किरण-पुंज

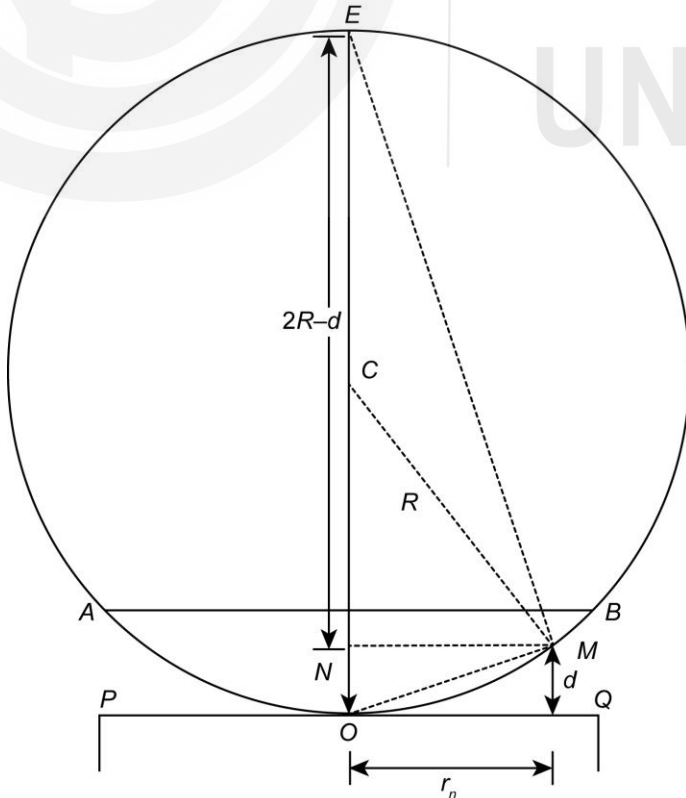
कांच की प्लेट 2 तक पहुंच जाए, जो क्षैतिज से 45 डिग्री पर झुका कर रखी गई है। कांच की प्लेट 2 पर पड़ने वाले प्रकाश को, आंशिक रूप से परावर्तित करके समानांतर किरण पुंज के रूप में, समतलोत्तल लेंस एवं समतल कांच की प्लेट 1 के उपरी पृष्ठ के बीच बनी वायु की फिल्म की ओर भेज देती है। यह प्रकाश समतलोत्तल लेंस के नीचे के पृष्ठ (बिंदु P_1) से और ग्लास प्लेट 1 के ऊपर के पृष्ठ (बिंदु P_2) से परावर्तित होता है। बिन्दुओं P_1 और P_2 के बीच हवा की फिल्म की मोटाई के कारण इन दो प्रकाश तरंगों के बीच एक पथ-अंतर निर्मित हो जाता है। वे परस्पर व्यतिकरण करके न्यूटनी वलयों का निर्माण करती हैं, जो वृत्ताकार होते हैं और केवल आंखों से देखे जा सकते हैं। तथापि, मापन हेतु, हमें एक चल-सूक्ष्मदर्शी का उपयोग करना होता है।

5.3.1 सिद्धांत

न्यूटनी वलयों की त्रिज्याओं का व्यंजक प्राप्त करने के लिए और प्रयुक्त प्रकाश की तरंगदैर्घ्य से इनको संबद्ध करने के लिए, ध्यान दें कि जैसे-जैसे हम संपर्क बिंदु O से दूर जाते हैं, (चित्र 5.4) लेंस और कांच की प्लेट के बीच परिबद्ध वायु फिल्म की मोटाई बढ़ती जाती है। हालांकि, समतलोत्तल लेंस एक बड़ी वक्रता-त्रिज्या, माना R , की गोलाकार कांच की गेंद का एक हिस्सा होता है, संपर्क बिंदु से ' r_n ' दूरी पर स्थित सभी बिंदुओं के लिए वायु की फिल्म की मोटाई बराबर होगी। अब मान लीजिए कि वायु फिल्म की वह मोटाई, जहां n वां अदीप्त वलय बनता है, इसके संगत बिंदु M है और इस अदीप्त वलय की त्रिज्या को r_n द्वारा निरूपित किया जाता है।

लेंस के वक्रित पृष्ठ की वक्रता त्रिज्या R है। वृत्त के गुणधर्म का उपयोग करके, हम कह सकते हैं कि $\angle OME = 90^\circ$ है। चित्र 5.4 में, N , समकोण त्रिभुज OME के 90° कोण वाले शीर्ष से इसके कर्ण पर खींचे गए लंब का मिलन बिंदु है। त्रिभुजों EMN और EMO की समानता के गुणधर्म का उपयोग करके, हम लिख सकते हैं:

$$(MN)^2 = EN \times ON \quad (5.1क)$$



चित्र 5.4: न्यूटनी वलय प्रयोग की ज्यामिति।

यहाँ हम देखते हैं कि $EN = (2R - ON)$ है। इसलिए, हम लिख सकते हैं कि :

$$(MN)^2 = (2R - ON) \times ON \quad (5.1ख)$$

समी. (5.1ख) में $MN = r_n$ और $ON = d$ प्रतिस्थापित करने पर हमें निम्नलिखित प्राप्त होता है :

$$r_n^2 = (2R - d)d \quad (5.1ग)$$

न्यूटनी वलय प्राप्त करने के लिए उपयोग की जाने वाली प्रारूपिक व्यवस्था में लेंस की वक्रता त्रिज्या R , फिल्म की मोटाई d से काफी अधिक है ($R \gg d$), क्योंकि $R = 1.0 \text{ m}$ और $d \leq 10^{-5} \text{ m}$ है। भौतिक रूप से कहें तो लेंस की वक्रता त्रिज्या दो कांच की सतहों के बीच हवा की मोटाई से कहीं अधिक है। इस सन्निकटन से समी. (5.1ग) का सरलीकृत रूप हो जाएगा :

$$r_n^2 = 2Rd \quad (5.2क)$$

यहाँ r के साथ सबस्क्रिप्ट ' n ' को इस अर्थ में जोड़ा गया है कि हम n th फ्रिंज के व्यास के बारे में बात कर रहे हैं।

हम समी. (5.2क) को पुनर्व्यवस्थित करके लिख सकते हैं:

$$2d = \frac{r_n^2}{R} \quad (5.2ख)$$

ध्यान दें कि परावर्तित तरंगों के बीच व्यतिकरण होता है और जब पथांतर तरंगदैर्घ्य का पूर्णगुणांक (अथवा $\lambda/2$ का सम संख्यात्मक गुणांक) होता है तो अदीप्त फ्रिंज बनते हैं। गणितीय रूप से, हम इसे निम्नवत व्यक्त करते हैं : $2\mu d \cos \theta = n\lambda$ । वायु के लिए, $\mu = 1$ और चूंकि प्रकाश लेंस पर अभिलम्बवत (normally) आपतित होता है, $\theta = 0$ । इसलिए, यह संबंध सरल होकर निम्न रूप ग्रहण कर लेता है :

$$2d = n\lambda$$

इस परिणाम को समी. (5.2ख) के साथ मिलाने पर, हमें निम्नलिखित प्राप्त होता है :

$$r_n = \sqrt{n\lambda R} \quad (5.3)$$

ध्यान दें कि $n = 0$ के लिए $r_n = 0$, यानी, केंद्रीय फ्रिंज अदीप्त होगा। किन्तु, केंद्रीय फ्रिंज वृत्ताकार होता है। इससे केंद्र का सटीक निर्णय करना और फ्रिंज की त्रिज्या को मापना असंभव हो जाता है। इसलिए, व्यावहारिक दृष्टिकोण से, आपको अदीप्त फ्रिंज के व्यास को मापना चाहिए। इसका तरंगदैर्घ्य से निम्नलिखित संबंध है :

$$D_n = 2\sqrt{n\lambda R}$$

गणना में सुविधा के लिए, हम वर्गमूल के रूप में नहीं लिखते हैं। अदीप्त फ्रिंज के व्यास और तरंगदैर्घ्य के बीच के संबंध को फिर से निम्नवत रूप में लिखते हैं :

$$D_n^2 = 4n\lambda R \quad (5.4)$$

जहां पादांक (subscript) ' n ' का तात्पर्य है कि हम n वें फ्रिंज के व्यास पर विचार कर रहे हैं।

आगे बढ़ने से पहले आपको निम्नलिखित बोध प्रश्न को हल करना चाहिए।

बोध प्रश्न 1 – तरल का अपवर्तनांक

क्या न्यूटनी वलय प्रयोग का उपयोग किसी द्रव के अपवर्तनांक का मान ज्ञात करने के लिए किया जा सकता है? यदि हाँ, तो उपकरण में आवश्यक संशोधन का सुझाव दें।

.....

.....

.....

.....

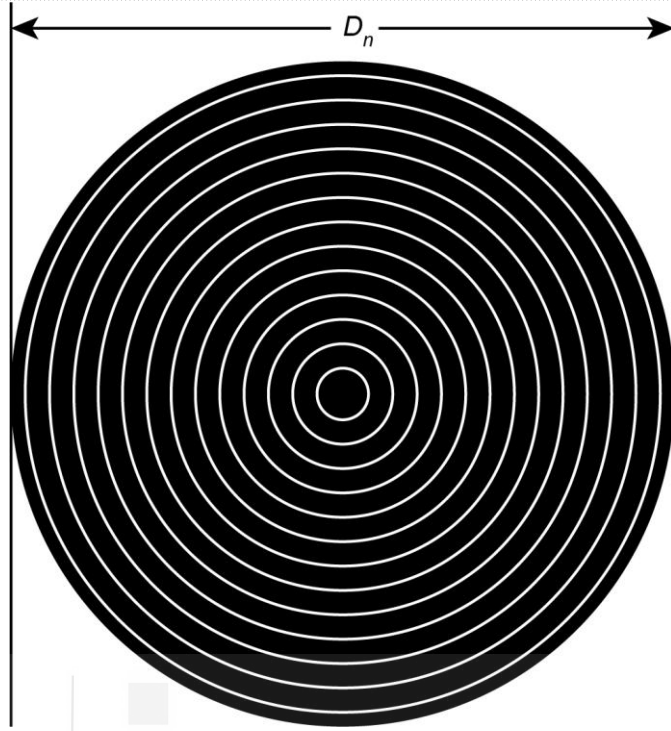
.....

.....

अब आप प्रयोग करने के लिए तैयार हैं।

5.3.2 कार्यविधि

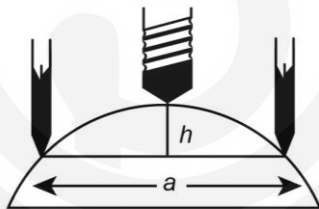
1. चल-सूक्ष्मदर्शी एवं गोलाईमापी स्पेक्ट्रोमीटर के अल्पतमांक परिकलित करें और इन्हें प्रेक्षण सारणी 5.1 और 5.2 में लिखें।
2. लेंस की सतहों तथा काँच की प्लेटों के पृष्ठों को पट्टी रहित कपड़ा (lint free cloth) या टिशू पेपर का उपयोग करके अच्छी तरह से साफ करें। काँच की प्लेट और लेंस की सतहों को कभी भी हाथ से न छुएं। हमेशा उन्हें उनके कोरों / किनारों से पकड़ें। सुनिश्चित करें कि ग्लास प्लेट चिकनी और खरोंच से मुक्त हैं। आपको यह भी सुनिश्चित करना चाहिए कि ग्लास की प्लेट की सतहों पर कोई उँगलियों की छाप तो दिखाई नहीं दे रही है। ग्लास प्लेट पर समतलोत्तल लेंस रखें। दूसरी काँच की प्लेट को (प्लेट 2) क्षैतिज से 45° के कोण पर झुका कर लगाएँ जैसा चित्र 5.3 में दिखाया गया है।
3. इस व्यवस्था को सोडियम वाष्प लैंप के सामने रखें। अब सुनिश्चित करें कि लैंप से सोडियम लाइट की समानांतर किरणों का एक पुंज प्लेट-2 पर पड़ रहा है। इसे न्यूटन की रिंग व्यवस्था को विस्तारित स्रोत से 20-30 cm दूर रखकर आसानी से प्राप्त किया जा सकता है। ध्यान दें कि आपको एक विस्तारित स्रोत प्राप्त करना है न कि बिंदु स्रोत या रेखाछिद्र। प्लेट-2 को क्षैतिज से 45° के कोण पर झुका होना चाहिए ताकि प्रकाश का एक छोटा सा अंश लेंस-प्लेट-1 व्यवस्था पर अभिलम्ब के अनुदिश परावर्तित हो।
4. अपने आप को चित्र 5.3 में दिखाए गए “सूक्ष्मदर्शी” के स्थान के पास रखें ताकि आप न्यूटनी वलयों की दृश्यता की जांच कर सकें। सुनिश्चित करें कि ये स्पष्ट रूप से दिखाई दे रहे हैं। यदि आप फ्रिंजों को स्पष्ट रूप से देखने में असमर्थ हैं, तो अपनी व्यवस्था की फिर से जांच करें। यदि लेंस-प्लेट-1 व्यवस्था ठीक है, तो यह सुनिश्चित करने के लिए कि प्लेट-2 ठीक 45° पर झुकी है इसका झुकाव धीरे-धीरे समंजित करें।



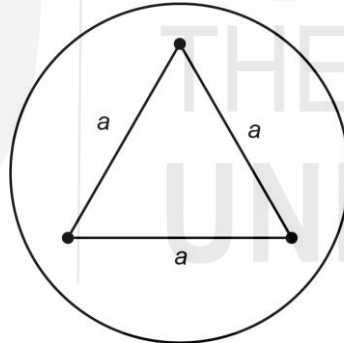
चित्र 5.5: न्यूटनी-वलय प्रयोग में अपेक्षित वलयाकार फ्रिंज।

5. सूक्ष्मदर्शी को व्यवस्थित करें और इसे वलयों की स्पष्ट छवि प्राप्त करने के लिए फोकस करें। यदि आपको वलयों को फोकस करने में कठिनाई आ रही है तो लेंस के ऊपर कागज के बहुत छोटे टुकड़े को रखें और कागज पर सूक्ष्मदर्शी को फोकस करें। धीरे से कागज को दूर करें और धीरे-धीरे वलयों की स्पष्ट छवि प्राप्त करने के लिए फोकस को समायोजित करें। (यदि वलय अभी भी स्पष्ट दिखाई नहीं दे रहे हैं, तो आप अपने सलाहकार (counsellor) की मदद ले सकते हैं।)
6. सूक्ष्मदर्शी को इस प्रकार समंजित करें कि जब क्रॉस-वायर को बाँई (जैसे बाएं हाथ की ओर) या दाहिनी तरफ ले जाया जाए, तो यह वलय के व्यास के अनुदिश (केंद्र से होकर) गुजरे न कि वृत्त की किसी जीवा (chord) के अनुदिश।
7. अब, रिंग पैटर्न के केन्द्रीय अदीप्त बिंदु से शुरू करते हुए, दीप्त या अदीप्त फ्रिंजो 1, 2, 3, ... 11वीं फ्रिंज की मदद से बाँई या दाँई ओर गिनना शुरू करें।
8. अब चल सूक्ष्मदर्शी के साइड स्क्यू को घुमाकर वापस लौटे। क्रॉसवायर को बायीं ओर 10वीं फ्रिंज पर सेट करें। बायीं ओर के दसवें फ्रिंज के मुख्य और वर्नियर स्केल के पाठ्यांकों को नोट करें
9. सूक्ष्मदर्शी के साइड स्क्यू को घुमाये और क्रॉसवायर को 9वीं फ्रिंज पर सेट करें और पाठ्यांकों को नोट करें। इसी प्रकार, बायीं हाथ की ओर 8वीं, 7वीं, ... पहली फ्रिंज तक पाठ्यांकों को लें।
10. अब उसी दिशा की ओर बढ़ें और क्रॉसवायर को दायीं हाथ की ओर पहली फ्रिंज पर सेट करें। पाठ्यांकों को नोट करें। दाएं हाथ की ओर दूसरी, तीसरी ... दसवीं फ्रिंज तक इस प्रक्रिया को दोहराएं। इन सभी पाठ्यांकों को प्रेक्षण सारणी 5.1 में रिकार्ड करें। दाईं ओर बाईं हाथ की ओर के पाठ्यांकों का अंतर प्रेक्षण के तरह 10वीं, 9वीं, 8वीं ... पहली फ्रिंजों का व्यास देगा।

11. यह ध्यान रखना महत्वपूर्ण है कि सभी प्रेक्षणों को केवल एक ही दिशा में गति के साथ लिया जाना चाहिए अर्थात् बाएं से दाएं या दाएं से बाएं।
12. समतलोत्तल लेंस को हटा दें और इसे एक स्वच्छ समतल सतह पर लेंस की समतल सतह को नीचे की ओर करके रखें (चित्र 5.6क)। गोलाईमापी की मदद से, अब आपको लेंस की वक्रता की त्रिज्या को मापने की जरूरत है। ऐसा करने के लिए, पहले गोलाईमापी की चारों टांगों की नोकों को एक समतल में लाईए। अर्थात्, इसे एक समतल काँच की प्लेट पर रखिए और गोलाईमापी को इतना घुमाइए कि इसके पेंच की नोक और तीन तिपाई पैरों की नोक कांच की सतह को स्पर्श करें। यह एक तरह से जीरो लेवल रीडिंग है। इसे प्रेक्षण सारणी 5.2 में रिकॉर्ड करें।
13. अब गोलाईमापी के केन्द्रीय पेंच को वामावर्त घुमाएं और इसे लगभग एक सेंटीमीटर ऊपर लाएं।
14. फिर गोलाईमापी को लेंस के वक्रित पृष्ठ पर रखें। केन्द्रीय पेंच को दक्षिणावर्त घुमाएं ताकि ट्रिप नीचे की ओर जाए। जैसे ही यह तीन त्रिपाद पैरों के साथ वक्रित पृष्ठ को छूता है (चित्र 5.6क देखें) इसे घुमाना बंद कर दे। अपने प्रेक्षणों को सारणी 5.2 में रिकॉर्ड करें।
15. इन पाठ्यांकों के बीच का अंतर (चरण 12 से 14) तीन नोकों से गुजरने वाले समतल द्वारा काटे गए गोले के हिस्से की मोटाई (h) बताता है।
16. पिच्छट त्रुटि (backlash error) से बचने के लिए आपको हमेशा चल-सूक्ष्मदर्शी तथा गोलाईमापी के माइक्रोमीटर स्कू को धीरे-धीरे और एक ही दिशा में चलाना चाहिए।



(क)



(ख)

चित्र 5.6: गोलाईमापी का उपयोग करके लेंस की वक्रता-त्रिज्या का निर्धारण।

17. त्रिपाद की तीन नोकें एक समबाहु त्रिभुज बनाती हैं और इस प्रकार बने त्रिभुज के शीर्षों के बीच की दूरी a के मापन के लिए, एक कागज पर गोलाईमापी को दबाएं और त्रिपाद की नोकों (चित्र 5.6ख) के द्वारा छोड़े गए सूक्ष्म छिद्रों के बीच की दूरी को मापें। लेंस की वक्रता-त्रिज्या की गणना नीचे दिए गए संबंध का उपयोग करके आसानी से की जा सकती है :

$$R = \left(\frac{a^2 + 3h^2}{6h} \right) \quad (5.6)$$

18. वलयों की संख्या (n) और संगत व्यास के वर्ग (D_n^2) (चित्र 5.7) के बीच एक ग्राफ आलेखित करें जो कि मूल (origin) से गुजरने वाली एक सीधी रेखा है। इस

रेखा की प्रवणता परिकलित करें और समीकरण 5.4 का उपयोग कर और सोडियम प्रकाश के तरंगदैर्घ्य की गणना करें।

अब आपको एक बोध प्रश्न का जवाब देना चाहिए :

बोध प्रश्न 2 – द्वि-उत्तल लेंस

क्या यह प्रयोग द्वि-उत्तल लेंस का उपयोग करके किया जा सकता है?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

प्रेक्षण सारणी 5.1: एक चल-सूक्ष्मदर्शी का उपयोग करके फ्रिंज के व्यास का निर्धारण ।

वलय का क्रम	बाएँ सिरे का पाठ्यांक			दाएँ सिरे का पाठ्यांक			$D_n = (a) - (b)$ (m)	D_n^2 (m)
	मुख्य स्केल	वर्नियर स्केल	कुल (a) (m)	मुख्य स्केल	वर्नियर स्केल	कुल (b) (m)		
20.								
18.								
16.								
14.								
12.								
10.								
8.								
6.								
4.								
2.								

प्रेक्षण सारणी 5.2: गोलाईमापी का उपयोग करके h का निर्धारण।

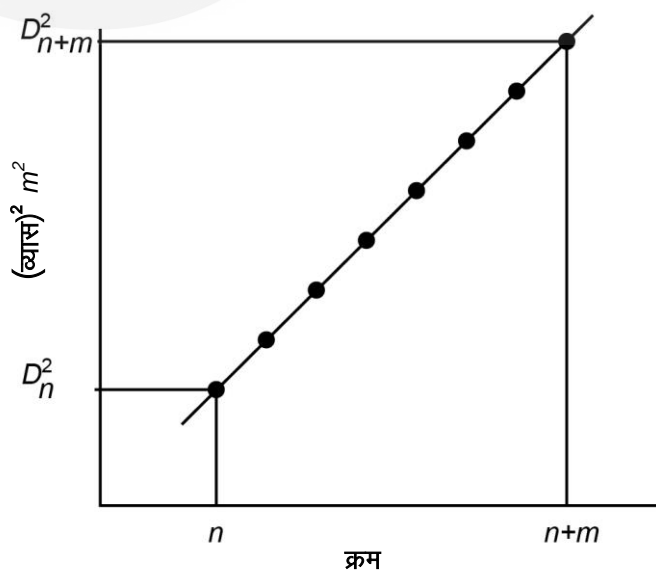
क्रम संख्या	काँच की प्लेट पर (शून्य स्तर)			लेंस के विक्रित पृष्ठ पर			h $= (b) - (a)$
	मुख्य स्केल	वर्नियर स्केल	कुल (a) (m)	मुख्य स्केल	वर्नियर स्केल	कुल (b) (m)	
1.							
2.							
3.							

औसत $h = \dots\dots\dots$ cm

$h = \dots\dots\dots$ m

5.4 गणनाएँ

- समी. 5.6 में प्रेक्षण सारणी 5.2 में दर्ज आंकड़ों का उपयोग करके समतलोत्तल लेंस की वक्रता-त्रिज्या R की गणना करें।
- y -अक्ष के अनुदिश n वें वलय के व्यास के वर्ग (D_n^2) और x -अक्ष के अनुदिश संगत वलय के क्रम n के बीच ग्राफ मूल (origin) से गुजरती हुई एक सीधी रेखा (चित्र 5.7) होनी चाहिए। R के साथ सीधी रेखा की प्रवणता निम्नलिखित संबंध का उपयोग कर सोडियम प्रकाश की तरंगदैर्घ्य देता है :



चित्र 5.7: n वें वलय के व्यास के वर्ग (D_n^2) और संगत वलय के क्रम n के बीच अपेक्षित ग्राफ।

अर्थात्,

$$\lambda = \left(\frac{\text{प्रवणता}}{4R} \right)$$

जहाँ 'R' 'लेंस की वक्रता-त्रिज्या है।

परिणाम: R का मान = ...m

प्रकाश का तरंगदैर्घ्य = ...nm है।



ignou
THE PEOPLE'S
UNIVERSITY

समतल विवर्तन ग्रेटिंग का उपयोग कर सोडियम/पारा प्रकाश का तरंगदैर्घ्य निर्धारण

इकाई की रूपरेखा

- 6.1 प्रस्तावना
अपेक्षित कौशल
- 6.2 प्रकाश का विवर्तन
विवर्तन ग्रेटिंग

- 6.3 प्रयोग कार्यविधि
स्पेक्ट्रोमीटर
ग्रेटिंग का समायोजन
विवर्तन कोण का मापन

6.1 प्रस्तावना

इस प्रयोगशाला पाठ्यक्रम में, आपने अब तक प्रकाश के अपवर्तन, प्रकाश के व्यतिकरण और प्रकाश के ध्रुवण से संबंधित स्थितियों में काम किया है। अब आप प्रकाश की तरंग प्रकृति से जुड़ी एक अन्य घटना की जांच करेंगे: विवर्तन। अपने दैनिक जीवन में हम देखते हैं कि प्रकाश वस्तुओं की छाया बनाता है। इसका तात्पर्य है कि प्रकाश किरणें सीधी रेखा में गमन करती हैं। हालांकि, यह भी देखा गया है कि प्रकाश के मार्ग में रखी गई बाधा या छिद्र का आकार प्रकाश की तरंग दैर्घ्य के साथ तुलनीय होने पर प्रकाश कोनों के चारों ओर झुक जाता है। प्रकाश के सीधी रेखा पथ से इस मोड़ को विवर्तन कहते हैं। प्रकाश के तरंग सिद्धांत के आधार पर विवर्तन की घटना को फ्रौनहोफर और फ्रेस्नेल द्वारा समझाया गया था।

आपने वेक्स एंड ऑप्टिक्स (BPHCT-137) नामक चौथे सेमेस्टर के पाठ्यक्रम में प्रकाश के विवर्तन का अध्ययन किया है। आपको याद होगा कि विवर्तन की सीमा, अर्थात् विवर्तन कोण, प्रयुक्त प्रकाश की तरंग दैर्घ्य पर निर्भर करता है। इस प्रयोग में, आप इस तथ्य का उपयोग सोडियम और/या पारा प्रकाश की तरंग दैर्घ्य को निर्धारित करने के लिए करेंगे। इस प्रयोग को करने के लिए, आप एक स्पेक्ट्रोमीटर और एक विवर्तन झंझरी का उपयोग करेंगे। आपने इस पाठ्यक्रम के प्रयोग 1 में स्पेक्ट्रोमीटर और इसका उपयोग करने के बारे में सीखा है। हमें उम्मीद है कि आप इसके साथ काम करने में सहज होंगे

अभी। इसके अलावा, आपने BPHCT-137 में यह भी सीखा कि विवर्तन झंझरी बड़ी संख्या में समान दूरी वाले समानांतर झिल्लियों के संग्रह के रूप में कार्य करता है। यह प्रकाशिक उपकरण किसी पदार्थ/स्रोत द्वारा उत्सर्जित वर्णक्रमीय रेखाओं की तरंगदैर्घ्य को निर्धारित करने के लिए बहुत उपयोगी है।

वर्तमान प्रयोग में, आप सोडियम या पारा प्रकाश की तरंग दैर्घ्य निर्धारित करने के लिए स्पेक्ट्रोमीटर और एक विवर्तन झंझरी का उपयोग करना सीखेंगे।

अपेक्षित कौशल

यह प्रयोग करने के पश्चात् आपको इस योग्य हो जाना चाहिए कि आप :

- ❖ स्पेक्ट्रम का अवलोकन करने और मापन करने के लिए स्पेक्ट्रोमीटर स्थापित करना;
- ❖ प्रकाश की आपतित किरण के संबंध में सामान्य घटना के लिए सेट-अप झंझरी;
- ❖ विवर्तन कोण को मापें; और
- ❖ सोडियम/पारा प्रकाश की तरंगदैर्घ्य ज्ञात कीजिए।

आवश्यक उपकरण

स्पेक्ट्रममापी, समतल विवर्तन ग्रेटिंग, स्पिरिट समतलक, सोडियम लैम्प (अथवा मर्करी लैम्प जो भी दिया हो)।

6.2 प्रकाश का विवर्तन

प्रकाश के पथ में आने वाले अवरोधों या द्वारकों के कोनों पर प्रकाश के मुड़ने की परिघटना प्रकाश का विवर्तन कहलाती है।

प्रकाश के इस वंकन के कारण प्रकाश ज्यामितीय छाया क्षेत्र में भी प्रवेश कर जाता है। प्रकाश विवर्तन के प्रेक्षण के लिए आवश्यक शर्त यह है कि अवरोधक द्वारक का साइज प्रकाश के तरंगदैर्घ्य के साथ तुलनीय होना चाहिए। विवर्तन की परिघटना प्रकाश के तरंग अभिलक्षणों द्वारा नियंत्रित होती है।

विवर्तन परिघटनाओं को सुविधा हेतु दो वर्गों में विभाजित किया जाता है।

i) फ्रेनेल विवर्तन

इस प्रकार के विवर्तन में, प्रकाश स्रोत अथवा वह पर्दा जिस पर विवर्तन पैटर्न प्राप्त किया जाता है या दोनों, विवर्तनकारी अवरोधक से किसी परिमित दूरी पर होते हैं।

यहाँ किरणों को समान्तर करने के लिए किसी लेन्स का उपयोग नहीं किया जाता। तरंगाग्र या तो गोलाकार होते हैं या फिर बेलनाकार।

ii) फ्राउनहोफर विवर्तन

इस प्रकार के विवर्तन में, प्रकाश स्रोत एवं पर्दा/टेलीस्कोप (प्रतिबिम्ब देखने के लिए) अवरोधक से अनन्त दूरी पर रखे जाते हैं।

ऐसा लेन्सों का उपयोग करके किया जाता है।

व्यतिकरण बैंड दो संसक्त स्रोतों से उत्पन्न होने वाले अलग-अलग तरंगाग्रों के अध्यारोपण का परिणाम होते हैं जबकि विवर्तन बैंड एक ही तरंगाग्र के दो अलग-अलग भागों से प्रवर्तित होने वाली द्वितीयक तरंगोर्मियों के अध्यारोपण से प्राप्त होते हैं।

6.2.1 विवर्तन ग्रेटिंग

बहुत बड़ी संख्या में एक दूसरे के पास-पास एक ही समान दूरी पर रखी, बराबर चौड़ाई की, संकीर्ण आयताकार झिरियों की व्यवस्था ग्रेटिंग कहलाती है।

व्यावहारिक ग्रेटिंग एक अच्छी तरह पॉलिश की हुई काँच या धातु की सतह होती है जिसके प्रत्येक इन्च पर हीरे की कनी या इसी तरह की अन्य युक्ति द्वारा, बड़ी संख्या में, 7500 से लेकर 15000 के बीच, सूक्ष्म, बराबर दूरी पर समान्तर रेखाएँ खींची जाती हैं। खींची गई ये रेखाएँ तो प्रकाश के लिए अपार्य होती हैं जबकि इनके बीच के स्थान से प्रकाश गुजर सकता है।

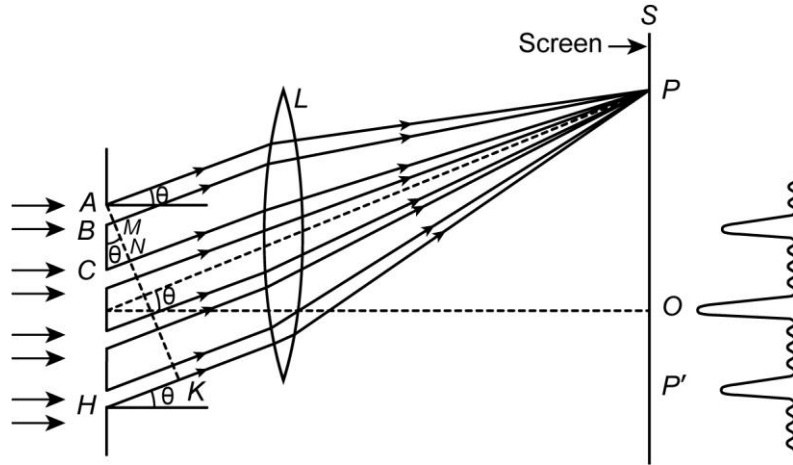
मूल रूप से रेखांकन द्वारा बनाए गए ग्रेटिंग तो बहुत मंहगे होते हैं, इसलिए सेल्युलॉयड में ढाल कर बनाई गई इनकी सस्ती, पारदर्शक प्रतियाँ बनाई जाती हैं जिन्हें 'रेप्लिका' कहते हैं। आमतौर पर प्रयोगशालाओं में इन रेप्लिका ग्रेटिंग्स का ही उपयोग होता है इसलिए इन्हें स्टुडेंट्स ग्रेटिंग भी कहते हैं।

ग्रेटिंग्स के दो मुख्य प्रकार होते हैं :

- i) संचारण प्रकार के ग्रेटिंग — जिनमें काँच की समतल पारदर्शी प्लेट पर समांतर रेखाएँ खिंची होती हैं, उदाहरण: समतल संचारण ग्रेटिंग।
- ii) परावर्तन प्रकार के ग्रेटिंग — जिनमें धातु के पृष्ठ पर रेखाएँ होती हैं, उदाहरण: अवतल ग्रेटिंग।

समतल संचारण ग्रेटिंग का सिद्धान्त

समतल संचारण ग्रेटिंग को पास-पास रखी N -झिरियों का समुच्चय माना जा सकता है। ग्रेटिंग की प्रत्येक झिरी एक-एक विवर्तित किरण पुंज भेजती है और ये विवर्तित किरण पुंज फिर एक दूसरे के साथ व्यतिकरण करते हैं और एक परिणामी पैटर्न निर्मित करते हैं। चित्र 6.1 किसी संचारण ग्रेटिंग की अनुप्रस्थ काट दर्शाता है जिसमें N -स्पष्ट रिक्तियाँ हैं और जो कागज के तल के लम्बवत् रखा है। जब ग्रेटिंग पर, λ तरंगदैर्घ्य का एकवर्णी प्रकाश, अभिलम्बवत् आपतित कराया जाता है तो अधिकांश प्रकाश तो सीधा बिना मुड़े रिक्तियों से होकर निकल जाता है लेकिन इसका एक अंश विभिन्न दिशाओं में विवर्तित हो जाता है। अध्यारोपण के बाद, उन्हें एक उत्तल लेन्स L के द्वारा, पर्दे पर फोकसित किया जाता है जहाँ वे केन्द्रीय दीप्त बैंड के दोनों ओर अदीप्त और दीप्त बैंड बनाते हैं। दीप्त और अदीप्त बैंड/फ्रिंजें तीव्रता के उच्चिष्ठ और निम्निष्ठ होते हैं जिनकी स्थिति दो अध्यारोपणकारी तरंगों के बीच पथ-अन्तर पर निर्भर करती है।



चित्र 6.1: किसी संचारण ग्रेटिंग के कारण विवर्तन।

हम उन किरणों पर विचार करें जो ग्रेटिंग से विवर्तित होकर इस पर अभिलम्ब से θ कोण बनाते हुए बिन्दु P पर पहुँचती हैं। विवर्तित किरणों के संगत अभिलम्ब AK खींचिए। यहाँ दो बिन्दुओं A और C के संगत विवर्तित किरणों के बीच पथ-अन्तर CN हैं और ये किरणें θ कोण पर विवर्तित होती हैं। यदि 'a' प्रत्येक पारदर्शी रिक्तियों की चौड़ाई हो और 'b' अपारदर्शी भागों में से प्रत्येक की चौड़ाई हो, तो पथ-अन्तर

$$CN = AC \sin \theta = (a + b) \sin \theta \quad (6.1)$$

यहाँ $(a + b)$ को ग्रेटिंग अण्वंश या ग्रेटिंग नियतांक कहा जाता है और इसका मान होता है :

$$(a + b) = 1/N. \quad (6.2)$$

यदि N प्रत्येक इन्च में रेखाओं की संख्या हो तो

$$\text{ग्रेटिंग अण्वंश } (a + b) = \left(\frac{2.54}{N} \right) \text{ cm.} \quad (6.3)$$

यदि पथ-अन्तर $\lambda/2$ का सम-गुणांक हो तो बिन्दु P पर दीप्त फ्रिंज बनेगा और यदि यह $\lambda/2$ का विषम-गुणांक हो तो वहाँ अदीप्त फ्रिंज बनेगा।

अतः,

$$(a + b) \sin \theta = \pm n\lambda \text{ उच्चिष्ठ का अनुबंध है} \quad (6.4)$$

तथा

$$(a + b) \sin \theta = \pm (2n + 1) \text{ निम्निष्ठ का अनुबंध है} \quad (6.5)$$

जहाँ $n = 0, 1, 2, 3, \dots$, विवर्तन की कोटि निरूपित करता है। जब पथ-अन्तर शून्य होता है, अर्थात्, जब सभी किरणें बिन्दु 'O' पर समान कला में पहुँचती हैं तो हमें केन्द्रीय दीप्त फ्रिंज प्राप्त होती हैं।

ग्रेटिंग से प्राप्त होने वाली फ्रिंजों की अधिकतम कोटियों का परिकलन निम्नवत् किया जा सकता है :

$$(a + b) \sin \theta = n\lambda$$

$$\therefore n = \frac{(a + b) \sin \theta}{\lambda} \quad (6.6)$$

अधिकतम संभव विवर्तन कोण का मान 90° हो सकता है, इसलिए अधिकतम कोटि होगी –

$$n_{\max} = \frac{(a + b) \sin 90^\circ}{\lambda} = \frac{(a + b)}{\lambda} \quad (6.7)$$

प्रयुक्त प्रकाश के तरंगदैर्घ्य के लिए सूत्र है :

$$(a + b) \sin \theta_n = n\lambda$$

$$\therefore \lambda = \frac{(a + b) \sin \theta_n}{n}$$

जहाँ $(a + b) =$ ग्रेटिंग नियतांक $= \frac{1}{N}$

$\theta_n = n$ वीं कोटि विवर्तन के संगत कोण, $n = 1, 2, 3, \dots$

तथा $n =$ विवर्तन की कोटि

6.3 कार्यविधि

सम्पूर्ण कार्यविधि में मोटे तौर पर तीन चरण शामिल होते हैं :

1. स्पेक्ट्रममापी का समंजन।
2. ग्रेटिंग का अभिलम्बवत् आपतन के लिए समंजन।
3. विवर्तन कोण के मापन के लिए प्रयोग।

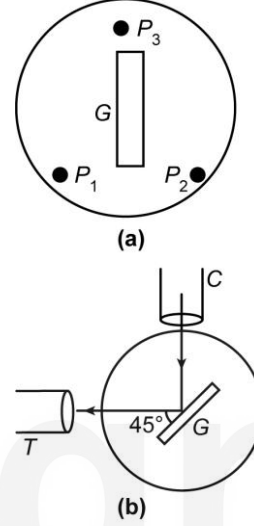
6.3.1 स्पेक्ट्रममापी का समंजन

स्पेक्ट्रममापी के समंजन में शामिल होते हैं : इसका समतलीकरण, झिरी का समंजन तथा शस्टर विधि का उपयोग करके समांतरित्र और टेलीस्कोप का समांतर किरणों के लिए समंजन जैसा कि पूर्ववर्ती प्रयोगों में किया गया है।

6.3.2 ग्रेटिंग का अभिलम्बवत् आपतन के लिए समंजन

1. ग्रेटिंग को इसका तल ऊर्ध्वाधर तथा आपतित किरणों के लम्बवत् रखते हुए माउन्ट करने के लिए पहले टेलीस्कोप (T) को समांतरित्र (C) के साथ संरेखित करते हैं जिससे कि ग्रेटिंग को प्रिज्म टेबल पर लगाने से पहले झिरी का तीक्ष्ण प्रतिबिम्ब ऊर्ध्वाधर क्रॉस वायर के साथ संपाती हो सके। किसी एक वर्नियर का पाठ लीजिए।
2. (इस प्रकार प्राप्त पाठ्यांक में 90° जोड़ या घटाकर) गणना करके टेलीस्कोप को 90° पर घुमाकर स्थिर कर दीजिए।

3. ग्रेटिंग (G) को इसके होल्डर में लगा कर प्रिज्म टेबल पर इस प्रकार स्थिर कीजिए कि यह लगभग प्रिज्म टेबल के बीचोबीच रहे और इसका तल टेबल के पेंचों P_1 एवं P_2 को मिलाने वाली रेखा के लम्बवत् रहे।
4. प्रिज्म टेबल को धीरे-धीरे तब तक घुमाईए जब तक कि ग्रेटिंग के आरेखित पृष्ठ से परावर्तन द्वारा निर्मित झिरी का प्रतिबिम्ब टेलीस्कोप के क्रॉस वायर पर नहीं बन जाता। (चित्र 6.2).



चित्र 6.2: अभिलम्बवत् आपतन के लिए ग्रेटिंग का समंजन।

टिप्पणी: आमतौर पर ग्रेटिंग का विवरण इसके रेखित पृष्ठ पर अंकित होता है, इससे आपको ग्रेटिंग के रेखित और अरेखित पृष्ठों को पहचानने में सहायता प्राप्त होगी। इसके अतिरिक्त, रेखित पृष्ठ पर परावर्तन से बने प्रतिबिम्ब की तुलना में अरेखित पृष्ठ पर परावर्तन से बना प्रतिबिम्ब अधिक चमकदार होता है।

5. पेंचों P_1 एवं P_2 में से किसी एक को तब तक घुमाईए जब तक प्रतिबिम्ब का केन्द्र क्रॉस वायरों की संधि के साथ संपाती न हो जाए। इससे यह सुनिश्चित हो जाता है कि ग्रेटिंग ऊर्ध्वाधर है। यदि झिरी की पूरी लम्बाई ऊर्ध्वाधर क्रॉस वायर के साथ संपाती न हो तो इसे तीसरे पेंच P_3 की सहायता से समंजित कीजिए, ऐसा करते समय शेष दोनों पेंचों को नहीं छुआ जाना चाहिए। ग्रेटिंग आपाती किरण के सांपेक्ष 45° पर है। प्रिज्म टेबल की स्थिति का पाठ्यांक नोट कीजिए।
6. प्रिज्म टेबल को 45° के कोण पर इस प्रकार घुमाईए कि इसका रेखित पृष्ठ टेलीस्कोप की ओर हो जाए। इस स्थिति में ग्रेटिंग का तल समांतरित्र से आने वाले आपतित प्रकाश के पूर्णतः अभिलम्बवत् है। इस स्थिति में टेबल को क्लैम्प कर दीजिए। यदि टेलीस्कोप से होकर देखेंगे झिरी का सीधी किरण द्वारा निर्मित प्रतिबिम्ब क्रॉस वायर पर संपाती पाया जाएगा।

6.3.3 विवर्तन कोण का मापन

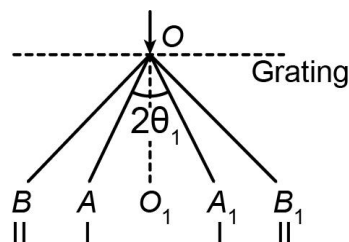
1. विवर्तन कोण के मापन के लिए अब टेलीस्कोप को धीरे-धीरे किसी एक ओर ले जाईए और झिरी का प्रतिबिम्ब प्राप्त कीजिए। यह प्रथम कोटि का स्पेक्ट्रम है (OA स्थिति)। यदि ग्रेटिंग की विभेदन क्षमता पर्याप्त उच्च है तो तरंगदैर्घ्य $5890 \text{ \AA}$ एवं

प्रयोग 6

समतल विवर्तन ग्रेटिंग का उपयोग कर सोडियम/पारा प्रकाश का तरंगदैर्घ्य निर्धारण

5896 Å के संगत दो पीली रेखाएँ D_1 एवं D_2 देखी जा सकेंगी। ऊर्ध्वाधर क्रॉस वायर को इन दोनों के बीच में लाईए और दोनों वर्नियरों V_1 एवं V_2 पर पाठ्यांक लीजिए। यदि दो अलग-अलग लाइनें दिखाई न दें तो ऊर्ध्वाधर क्रॉस वायर को रेखा के बीच में लाईए और पाठ्यांक नोट कीजिए।

- टेलीस्कोप को घुमाकर दूसरी ओर ले जाईए और क्रॉस वायर को प्रथम कोटि स्पेक्ट्रम पर स्थिर कीजिए (OA_1 स्थिति), जैसा पहले किया था। पाठ्यांक नोट कीजिए। संगत पाठ्यांकों के अन्तर से हमें $2\theta_1$ प्राप्त हो जाता है जो प्रथम कोटि स्पेक्ट्रम के लिए विवर्तन कोण का दोगुना है।



चित्र 6.3: विवर्तन कोण का मापन।

- टेलीस्कोप को दोनों में से किसी एक और आगे धीरे-धीरे घुमाईए और द्वितीय कोटि का स्पेक्ट्रम प्राप्त कीजिए जो कि अपेक्षाकृत कम तीव्र होता है। पाठ्यांक नोट कीजिए और ऐसा ही टेलीस्कोप को दूसरी ओर घुमाकर कीजिए। संगत पाठ्यांकों का अन्तर ज्ञात करके द्वितीय कोटि स्पेक्ट्रम के लिए $2\theta_2$ ज्ञात कीजिए।
- चरण 1 से 3 दो और बार दोहराईए और कोणों θ के माध्य मान ज्ञात कीजिए।

प्रेक्षण

स्पेक्ट्रममापी का अल्पतमांक = ...

ग्रेटिंग पर प्रति इन्च लाइनों की संख्या = ... रेखाएं प्रति इंच

ग्रेटिंग अण्वांश $(a + b) = \frac{2.54}{N} = \dots\dots\dots \text{cm.}$

प्रेक्षण सं.	स्पेक्ट्रम की कोटि	वर्नियर	टेलीस्कोप की प्रथम स्थिति			टेलीस्कोप की द्वितीय स्थिति			अन्तर $= 2\theta$	θ	माध्य θ
			ms	vs	योग	ms	vs	योग			
1	प्रथम कोटि	V_1									$\theta_1 =$
2		V_2									
3		...									
1	द्वितीय	V_1									$\theta_2 =$

2	कोटि	V_2									
3		...									

टिप्पणी : समय का अभाव हो तो केवल प्रेक्षणों के दो समुच्चय लेकर काम चलाया जा सकता है।

गणनाएँ

प्रथम कोटि के स्पेक्ट्रम के लिए,

$$(a + b) \sin \theta_n = n\lambda$$

$$n = 1, \quad \theta_1 = \dots\dots\dots^\circ$$

$$\lambda = \dots\dots\dots \text{m.}$$

द्वितीय कोटि के स्पेक्ट्रम के लिए,

$$n = 2, \quad \theta_2 = \dots\dots\dots^\circ$$

$$\lambda = \dots\dots\dots \text{m}$$

$$\lambda = \dots\dots\dots \text{m}$$

$$\text{माध्य} = \dots\dots\dots \text{m.}$$

परिणाम

$$\text{सोडियम प्रकाश का ज्ञात किया गया तरंगदैर्घ्य} = \dots\dots\dots \text{m}$$

$$\text{मानक मान} = \dots\dots\dots \text{m}$$

$$\text{प्रतिशत त्रुटि} = \dots\dots\dots \text{m}$$

टिप्पणी : जब मर्करी वाष्प लैम्प के स्पेक्ट्रम की किसी एक रेखा या अनेक रेखाओं का तरंगदैर्घ्य ज्ञात करना हो तो सोडियम लैम्प के स्थान पर हम मर्करी लैम्प का उपयोग करते हैं। जब मर्करी लैम्प का श्वेत प्रकाश किसी ग्रेटिंग पर पड़ता है तो इसमें विवर्तन होता है। विभिन्न विवर्तन कोटि के उच्चिष्ठों को संबंध $(a + b) \sin \theta = \pm n\lambda$ को संतुष्ट करने वाली दिशाओं (θ) में प्राप्त किया जा सकता है। उच्चिष्ठ की दिशा प्रयुक्त प्रकाश के तरंगदैर्घ्य पर निर्भर करता है। मर्करी प्रकाश प्रयोग में लाते हैं तो प्रत्येक स्पेक्ट्रम कोटि में मर्करी का उत्सर्जन रेखाओं के संगत कई रंगों की रेखाएँ दिखाई पड़ती हैं। प्रयोग के उद्देश्य के अनुसार किसी विशिष्ट रेखा (रंग) अथवा कई रेखाओं के संगत विवर्तनकोण पूर्व वर्णित प्रयोग की विधि का अनुसरण करके ज्ञात किया/किए जा सकते हैं और प्रत्येक के लिए λ के मान का परिकलन किया जा सकता है।

प्रिज्म की परिक्षेपण क्षमता

इकाई की रूपरेखा

7.1 प्रस्तावना अपेक्षित कौशल	7.3 कार्यविधि स्पेक्ट्रममापी का समायोजन सोडियम प्रकाश का उपयोग कर प्रिज्म कोण
7.2 प्रकाश का परिक्षेपण प्रिज्म की परिक्षेपण क्षमता	लाल, पीले और बैंगनी प्रकाश के लिए न्यूनतम विचलन कोण
	7.4 परिकलन और परिणाम

7.1 प्रस्तावना

आपने अपने विद्यालय के भौतिकी में प्रकाश के परिक्षेपण का अध्ययन किया है। याद रखें कि प्रकाश का परिक्षेपण एक ऐसी घटना है जिसमें सफेद प्रकाश (जैसे, सूर्य या पारा लैम्प से), एक प्रिज्म की अपवर्तक सतह पर आपतित होती है जो इस प्रकाश को उसके घटक रंगों में विभाजित कर देता है। प्रिज्म में विभिन्न तरंगदैर्घ्य का विभिन्न कोणों पर अपवर्तन के कारण सफेद प्रकाश का फैलाव होता है। अर्थात्, विभिन्न रंगों का प्रकाश, जिसमें प्रत्येक की एक विशिष्ट तरंग दैर्घ्य होती है, विभिन्न कोणों पर अपवर्तित हो जाती है जिससे श्वेत प्रकाश सात रंगों में विभाजित हो जाता है। बरसात के मौसम में हम जो इंद्रधनुष देखते हैं, वह प्रकृति में प्रकाश के परिक्षेपण का एक उदाहरण है। इंद्रधनुष तब उत्पन्न होता है जब वर्षा के मौसम में वातावरण में निलंबित पानी की छोटी-छोटी बूंदों से सूर्य का प्रकाश अपवर्तित हो जाता है।

आपके +2 भौतिकी में, आपने सीखा है कि परिक्षेपण को सामान्य कहा जाता है, यदि

1. प्रमुख रंगों का क्रम दृश्य क्षेत्र में विबग्योर (बैंगनी, इंडिगो, नीला, हरा, पीला, नारंगी, लाल) शब्द का अनुसरण करता है; और
2. बैंगनी प्रकाश में अधिकतम विचलन होता है और लाल प्रकाश न्यूनतम विचलन से गुजरता है।

हम परिक्षेपण के बारे में देखे गए इन तथ्यों को यह देखकर समझ सकते हैं कि विभिन्न पदार्थों के अलग-अलग अपवर्तनांक होते हैं। और अपवर्तनांक को भौतिक माध्यम में मुक्त स्थान में प्रकाश की गति के अनुपात के रूप में परिभाषित किया गया है। इसका

मतलब है कि परिक्षेपण एक भौतिक माध्यम में प्रकाश की गति और तरंग दैर्ध्य के साथ इसकी भिन्नता के साथ घनिष्ठ रूप से जुड़ा हुआ है।

प्रयोग 1 में आपने सोडियम प्रकाश का उपयोग करके प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक ज्ञात करना सीखा। अपवर्तनांक ज्ञात करने के लिए, आपने प्रिज्म पर आपतित एकवर्णी प्रकाश के लिए न्यूनतम विचलन कोण को मापा। वर्तमान प्रयोग में, आप एक प्रिज्म सामग्री की फैलाव शक्ति का निर्धारण करना सीखेंगे। प्रिज्म की फैलाव शक्ति विभिन्न तरंग दैर्ध्य की दो रोशनी को अलग करने की क्षमता को संदर्भित करती है। इस प्रयोजन के लिए, आपको दिए गए प्रिज्म के कोण और प्रिज्म पर आपतित विभिन्न तरंग दैर्ध्य की रोशनी के लिए न्यूनतम विचलन के कोणों को मापने के लिए एक स्पेक्ट्रोमीटर का उपयोग करने की आवश्यकता होगी। इसलिए, आप विभिन्न तरंग दैर्ध्य (रंगों) के लिए प्रयोग 1 का प्रदर्शन करेंगे।

अपेक्षित कौशल

यह प्रयोग को करने के बाद, आप :

- ❖ प्रिज्म के कोण को निर्धारित करने के लिए स्पेक्ट्रोमीटर स्थापित करें;
- ❖ विभिन्न तरंग दैर्ध्य की रोशनी के लिए प्रिज्म के न्यूनतम विचलन के कोण निर्धारित करें;
- ❖ लाल, पीली और बैंगनी रोशनी के लिए प्रिज्म की सामग्री के अपवर्तनांक की गणना करें; और
- ❖ प्रिज्म की सामग्री की फैलाव शक्ति की गणना करें।

इस प्रयोग के लिए आपको निम्नलिखित उपकरण की आवश्यकता होगी।

आवश्यक उपकरण

स्पेक्ट्रममापी, प्रिज्म, स्पिरिट लेवल, सोडियम लैम्प, एक आवर्धक लेन्स।

7.2 प्रकाश का परिक्षेपण

आप स्कूली भौतिकी से जानते हैं कि जब प्रकाश की किरण एक माध्यम से दूसरे माध्यम में जाती है, तो वह अपने सीधे पथ से विचलित हो जाती है। इस घटना को अपवर्तन कहा जाता है। प्रकाश का अपवर्तन प्रकाश की गति और तरंग दैर्ध्य में परिवर्तन से जुड़ा होता है क्योंकि यह एक माध्यम से दूसरे माध्यम में जाता है। चूंकि प्रकाश की आवृत्ति एक माध्यम से दूसरे माध्यम में जाने पर अपरिवर्तित रहती है, गति में परिवर्तन से तरंग दैर्ध्य में परिवर्तन होता है। आप जानते हैं कि निर्वात में प्रकाश की गति अधिकतम होती है और हवा से किसी भी भौतिक माध्यम में प्रवेश करने पर इसकी गति कम हो जाती है। (हवा में प्रकाश की गति निर्वात में उसकी गति के बराबर ली जाती है।) उदाहरण के लिए, कांच में प्रकाश की गति लगभग 25 प्रतिशत कम हो जाती है। प्रकाश की गति में यह कमी जब भी हवा से भौतिक माध्यम में या एक

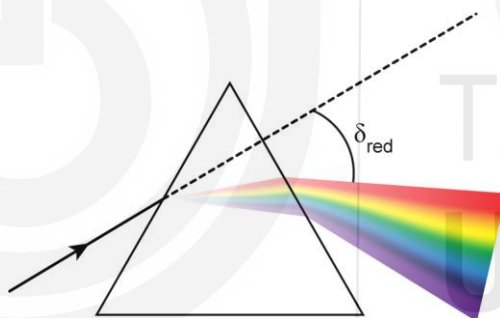
भौतिक माध्यम (जैसे, पानी) से दूसरे (जैसे, कांच) में प्रवेश करती है, तो प्रकाश का अपवर्तन होता है।

अब आप पूछ सकते हैं: दी गई आवृत्ति का प्रकाश पुंज पारदर्शी माध्यम में प्रवेश करने के बाद अपने सीधे पथ से कितना विचलित होता है? किसी माध्यम में प्रकाश के अपवर्तन की सीमा विचाराधीन माध्यम की विशेषता है। माध्यम की इस विशेषता को इसके अपवर्तनांक द्वारा दर्शाया जाता है। जैसा कि आपने प्रयोग 1 में सीखा है, किसी माध्यम के अपवर्तनांक μ को इस प्रकार परिभाषित किया जाता है :

$$\mu = \frac{c}{v}$$

ध्यान दें कि एक माध्यम का अपवर्तनांक हमेशा दूसरे माध्यम के संबंध में परिभाषित किया जाता है जिससे प्रकाश प्रवेश करता है। वर्तमान मामले में, हमने हवा (घटना का माध्यम) के संबंध में एक पारदर्शी माध्यम (जैसे कांच या प्लास्टिक) के अपवर्तनांक को परिभाषित किया है।

आगे बढ़ते हुए, याद रखें कि सूर्य से सफेद प्रकाश में सात रंग होते हैं, जिनमें से प्रत्येक की एक विशिष्ट आवृत्ति (या तरंग दैर्ध्य) होती है। जब सूर्य के प्रकाश की किरण प्रिज्म पर आपतित होती है, तो यह विभिन्न तरंग दैर्ध्य के घटक रंगों में विभाजित हो जाती है। इस घटना को प्रकाश का परिक्षेपण कहते हैं। एक प्रिज्म द्वारा श्वेत प्रकाश का परिक्षेपण चित्र 7.1 में दिखाया गया है।



चित्र 7.1: प्रिज्म द्वारा प्रकाश का परिक्षेपण.

मिश्रित प्रकाश के फैलाव को इस तथ्य के लिए जिम्मेदार ठहराया जाता है कि प्रिज्म की सामग्री का अपवर्तनांक अलग-अलग रंगों के लिए भिन्न होता है। आप चित्र 7.1 से देख सकते हैं कि प्रकाश के अपवर्तन की सीमा लाल से बैंगनी तक बढ़ जाती है; यानी तरंगदैर्ध्य जितना अधिक होगा, अपवर्तन उतना ही छोटा होगा। दूसरे शब्दों में, तरंगदैर्ध्य जितना अधिक होगा, अपवर्तनांक छोटा होगा। इसका अर्थ है कि प्रिज्म के माध्यम से अपवर्तन में, लाल प्रकाश के लिए विचलन कोण बैंगनी प्रकाश के विचलन कोण से छोटा होता है।

7.2.1 प्रिज्म की परिक्षेपण क्षमता

भौतिकी प्रयोगशाला में आमतौर पर इस्तेमाल होने वाले प्रिज्म या तो चकमक पत्थर या क्राउन ग्लास से बने होते हैं। किसी दिए गए तरंगदैर्ध्य के लिए इनमें अलग-अलग अपवर्तनांक होते हैं। इससे आप क्या समझते हैं? इसका मतलब है कि चकमक पत्थर

और क्राउन ग्लास से बने प्रिज्मों द्वारा सफेद प्रकाश के फैलाव की सीमा अलग-अलग होगी। इसके अलावा, तालिका 7.1 से आप देख सकते हैं कि फिल्ट ग्लास के अपवर्तनांक विभिन्न रंगों (तरंग दैर्घ्य) की रोशनी के लिए क्राउन ग्लास के अपवर्तनांक से अधिक होते हैं। इसका तात्पर्य यह है कि सभी रंगों का प्रकाश क्राउन ग्लास की तुलना में फिल्ट ग्लास द्वारा अधिक अपवर्तित किया जाएगा।

प्रेक्षण सारणी 7.1: कुछ तरंगदैर्घ्यों के लिए अपवर्तनांक

प्रकाश का रंग	तरंगदैर्घ्य (nm)	क्राउन ग्लास	फिल्ट ग्लास
लाल	656.3	1.515	1.622
पीला	589.3	1.517	1.627
नीला	486.1	1.523	1.639
बैंगनी	396.9	1.533	1.663

प्रिज्म के पदार्थ पर प्रकाश के फैलाव की निर्भरता को परिक्षेपण क्षमता नामक राशि द्वारा दर्शाया जाता है। इसे अपवर्तन के कारण प्रकाश के विभिन्न रंगों को अलग करने के लिए एक पारदर्शी माध्यम की शक्ति के रूप में परिभाषित किया गया है। गणितीय रूप से, फैलाव शक्ति को दो व्यापक रूप से भिन्न तरंग दैर्घ्य के अपवर्तक सूचकांकों और एक मध्यवर्ती तरंग दैर्घ्य के अपवर्तक सूचकांक के बीच अंतर के अनुपात के रूप में दर्शाया जाता है। सफेद प्रकाश के लिए, लाल और बैंगनी रोशनी को दो व्यापक रूप से भिन्न तरंग दैर्घ्य के रूप में लिया जाता है और पीली रोशनी को मध्यवर्ती तरंग दैर्घ्य के रूप में लिया जाता है। वैकल्पिक रूप से, हम मध्यवर्ती तरंग दैर्घ्य के अपवर्तनांक के रूप में लाल और बैंगनी रोशनी से संबंधित अपवर्तक सूचकांकों का औसत भी ले सकते हैं।

फैलाव शक्ति के लिए गणितीय अभिव्यक्ति प्राप्त करने के लिए, हम प्रयोग 1 से याद करते हैं कि प्रिज्म की सामग्री का अपवर्तनांक इस प्रकार दिया जाता है [समीकरण (1.11)]

$$\mu = \frac{\sin\left(\frac{A + \delta_m}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)} \quad (7.1)$$

लघु कोण सन्निकटन में $\sin\theta \approx \theta$.

$$\mu = \frac{\frac{A + \delta_m}{2}}{\frac{A}{2}} = \frac{A + \delta_m}{A} \quad (7.2)$$

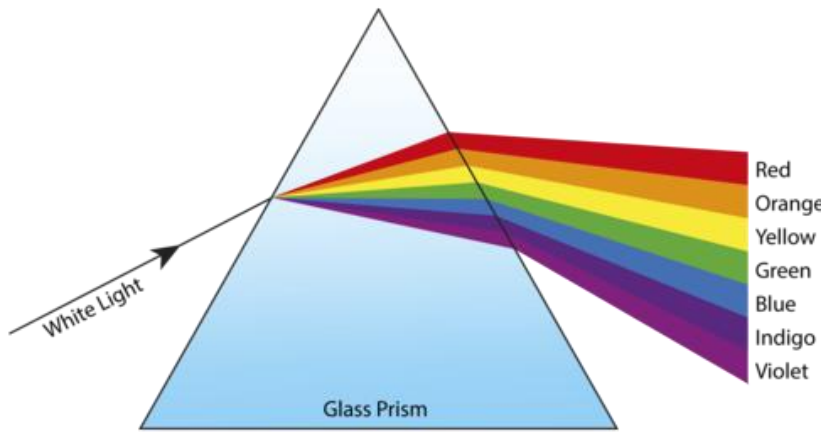
समीकरण (7.2) को सरल करने पर हम पाते हैं

$$A(\mu - 1) = \delta_m \quad (7.3)$$

अतः

$$A(\mu_{\text{violet}} - 1) = \delta_m(\text{violet}) \quad (7.4)$$

$$A(\mu_{\text{red}} - 1) = \delta_m(\text{red}) \quad (7.5)$$



चित्र 7.2: प्रिज्म द्वारा कोणीय परिक्षेपण. (Source: Jibin 1840404, CC BY-SA 4.0; <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Dispersions.png>)

इन दो रंगों के लिए न्यूनतम विचलन के कोणों के बीच के अंतर को परिक्षेपण कोण (या कोणीय परिक्षेपण) कहा जाता है। चूंकि बैंगनी प्रकाश लाल प्रकाश से अधिक अपवर्तित होता है, परिक्षेपण के कोण के लिए अभिव्यक्ति समीकरण (7.5) को समीकरण (7.4.) घटाकर प्राप्त की जाती है।

$$\text{Angle of Dispersion} = \delta n_{\text{violet}} - \delta n_{\text{red}} = A(\mu_{\text{violet}} - \mu_{\text{red}}) \quad (7.6)$$

सफेद प्रकाश के औसत अपवर्तन के लिए हम पीले रंग के लिए न्यूनतम विचलन कोण का मान लेते हैं। अतः समीकरण (7.3) निम्नवत हो जाता है:

$$A(\mu_{\text{yellow}} - 1) = \delta m_{\text{(yellow)}} \quad (7.7)$$

परिक्षेपण क्षमता ω के उपरोक्त परिभाषा के आधार हम इसे निम्नवत लिख सकते हैं:

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{A(\mu_{\text{violet}} - \mu_{\text{red}})}{A(\mu_{\text{yellow}} - 1)} \\ \omega &= \frac{(\mu_{\text{violet}} - \mu_{\text{red}})}{(\mu_{\text{yellow}} - 1)} \end{aligned} \quad (7.8)$$

समीकरण (7.8) इस प्रयोग का कार्य सूत्र है।

7.3 कार्यविधि

इस प्रयोग को करने के लिए, आपको (i) स्पेक्ट्रोमीटर समायोजित करना होगा, (ii) प्रिज्म के कोण को मापना होगा, और (iii) बैंगनी, लाल और पीले रंग की रोशनी के लिए न्यूनतम विचलन कोण को मापना होगा। स्पेक्ट्रोमीटर समायोजित करने और इन मापों को लेने के चरण नीचे दिए गए हैं।

7.3.1 स्पेक्ट्रोमीटर का समायोजन

प्रयोग 1 से आपको याद होगा कि स्पेक्ट्रोमीटर का उपयोग करके कोई भी माप लेने के लिए, पहले हमें आधार पर दिए गए पेंच का उपयोग करके इसे समतलित करना होगा, स्प्रिट स्तर का उपयोग करके प्रिज्म तालिका को समतल करना होगा, और समांतरित्र और टेलीस्कोप को संरेखित करना होगा।

अब आप जानते हैं कि स्पेक्ट्रोमीटर में तीन मुख्य घटक होते हैं: एक समांतरित्र, प्रिज्म टेबल और एक टेलीस्कोप। इस पाठ्यक्रम के प्रयोग 1 में, आपने इन घटकों में से

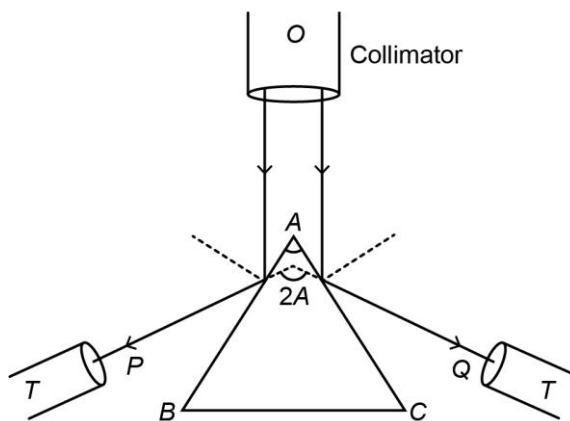
प्रत्येक के कार्य और प्रिज्म का उपयोग करके प्रयोग करने के लिए इसे कैसे स्थापित किया जाए, इसके बारे में सीखा। पूर्णता के लिए हम कुछ प्रमुख चरणों को दोहराते हैं। सबसे पहले आपको इसके आधार पर दिए गए स्क्रू का उपयोग करके स्पेक्ट्रोमीटर को समतल करना होगा। इसके बाद, हम स्पिरिट लेवल का उपयोग करके प्रिज्म टेबल को समतल करते हैं और फिर समानांतर किरणों के लिए समांतरित्र और टेलीस्कोप को संरेखित करते हैं।

इसके साथ काम करने से पहले एक स्पेक्ट्रोमीटर को स्थापित करने के लिए आवश्यक समायोजन हैं: (i) स्पेक्ट्रोमीटर की धुरी को लंबवत बनाया जाना है ताकि यह प्रिज्म टेबल के घूर्णन के ऊर्ध्वाधर अक्ष के साथ मेल खाता हो; (ii) समांतरित्र और दूरबीन की अक्षों को क्षैतिज बनाया जाना चाहिए ताकि वे प्रिज्म टेबल/स्पेक्ट्रोमीटर की धुरी के लंबवत हों; (iii) प्रिज्म के अपवर्तक फलक लंबवत होने चाहिए ताकि यह दूरबीन के घूर्णन अक्ष के समानांतर हो; और (iv) समांतर किरणों के लिए समांतरित्र और टेलीस्कोप को समायोजित किया जाना चाहिए। इन समायोजनों को प्राप्त करने की प्रक्रिया प्रयोग 1 के भाग 1.3.1 में दी गई है। आपको वहां बताई गई प्रक्रिया का पालन करना चाहिए और मापन के लिए स्पेक्ट्रोमीटर सेट करना चाहिए।

एक बार जब आप स्पेक्ट्रोमीटर सेट कर लेते हैं, तो आप प्रिज्म के कोण और बेंगनी, पीले और लाल रंगों के लिए न्यूनतम विचलन के कोण को मापने के लिए तैयार होते हैं।

7.3.2 सोडियम प्रकाश का उपयोग कर प्रिज्म कोण मापन

1. पिछले खंड में बताए अनुसार स्पेक्ट्रोमीटर सेट करें।
2. प्रयोग 1 के भाग 1.4.1 में वर्णित स्पेक्ट्रोमीटर के वर्नियर पैमानों की अल्पतमांक ज्ञात कीजिए।
3. सोडियम वाष्प लैंप चालू करें। (सोडियम वेपर लैंप को प्रयोग की शुरुआत में चालू किया जा सकता है क्योंकि पीली रोशनी को पूरी तरह से विकीर्ण करने में कुछ समय लगता है।)
4. प्रिज्म को प्रिज्म टेबल पर इस प्रकार रखें कि उसका अपवर्तक किनारा AB और AC समांतरित्र की ओर हो जैसा कि चित्र 7.3 में दिखाया गया है। इस स्थिति में, समांतरित्र से आने वाली प्रकाश की समानांतर किरण प्रिज्म की दोनों अपवर्तक सतहों पर पड़ती है। देखें कि दोनों सतहों से रेखाछिद्र का प्रतिबिंब दिखता है कि नहीं।



चित्र 7.3: प्रिज्म कोण का मापन.

1. दूरदर्शी को उस स्थिति में ले जाएँ, मान लीजिए α , ताकि θ फलक से परावर्तन के बाद प्रकाश प्राप्त हो सके और आप झिरी का प्रतिबिम्ब देख सकें।
2. नेत्रिका के ऊर्ध्वाधर क्रॉस तार को समायोजित करें ताकि यह रेखाछिद्र की प्रतिबिम्ब के साथ मेल खाता हो।
3. मुख्य पैमाने के साथ-साथ वर्नियर स्केल के पठन को प्रेक्षण तालिका 7.2 में लिखें।
4. अब, दूरबीन को घुमाएं और इसे एक स्थिति में लाएं, जैसे कि ϕ ताकि सतह θ से परावर्तन के बाद प्रकाश प्राप्त हो सके। सुनिश्चित करें कि आप एक बार फिर से रेखाछिद्र की स्पष्ट प्रतिबिम्ब देख सकते हैं।
5. मुख्य स्केल और वर्नियर स्केल के पठन प्रेक्षण तालिका 7.2 में लिखें।
6. दूरबीन की स्थिति के लिए α और ϕ प्रत्येक पर दो स्वतंत्र रीडिंग सेट लें।
7. इन दोनों स्थितियों के बीच का कोण 2θ के बराबर है। आप आसानी से प्रिज्म के कोण A के मान की गणना कर सकते हैं।

प्रेक्षण सारणी 7.2: प्रिज्म का कोण

मुख्य पैमाने का अल्पतमांक = ...

वर्नियर पैमाने का अल्पतमांक = ...

क्र.सं.	वर्नियर	स्थान पर दूरबीन P			स्थान पर दूरबीन Q			अंतर (2A)(°)	A(°) का मान
		मुख्य पैमाना	वर्नियर पैमाना	कुल 1 = [MSR + (VSR × LC)]	मुख्य पैमाना	वर्नियर पैमाना	कुल 2 = [MSR + (VSR × LC)]		
1	वर्नियर 1								
	वर्नियर 2								
2	वर्नियर 1								
	वर्नियर 2								

प्रिज्म कोण का माध्य मान, A = ...

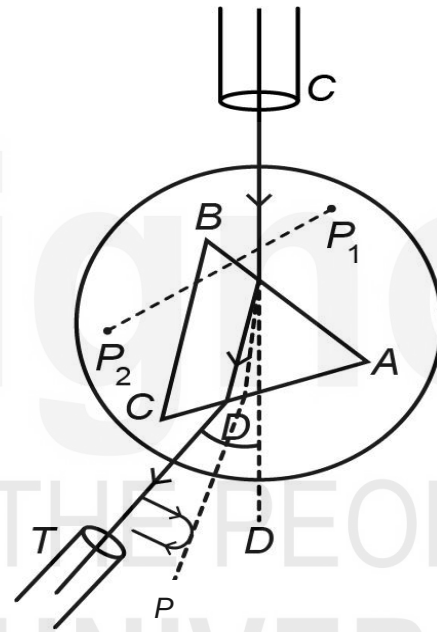
7.3.3 लाल, पीले और बैंगनी प्रकाश के लिए न्यूनतम विचलन कोण

जैसा कि आपने भाग 7.1 में सीखा है, किसी पारदर्शी पदार्थ का अपवर्तनांक प्रकाश की तरंगदैर्घ्य पर निर्भर करता है। आप यह भी जानते हैं कि हमें प्रिज्म की परिक्षेपण क्षमता निर्धारित करने के लिए दिए गए प्रिज्म के तीन अलग-अलग रंगों की रोशनी के

लिए अपवर्तनांक निर्धारित करने की आवश्यकता है। इसके लिए आपको इन तीनों रंगों में से प्रत्येक के लिए न्यूनतम विचलन कोणों को मापना होगा।

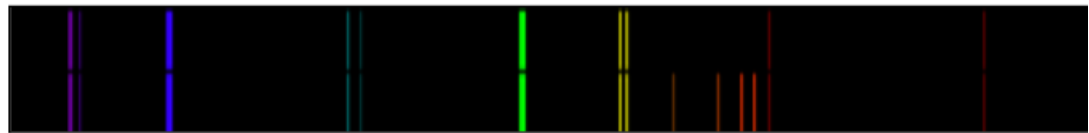
बैंगनी, पीले और लाल रंग की रोशनी प्राप्त करने के लिए, आप प्रयोग के इस भाग के लिए पारा वाष्प लैंप का उपयोग करेंगे। न्यूनतम विचलन के कोण को निर्धारित करने के लिए निम्नलिखित चरणों का पालन करें। हम इसे पहले लाल रंग के प्रकाश के संदर्भ में समझाते हैं:

1. प्रिज्म को प्रिज्म टेबल पर रखें, जिसका एक फलक AB समांतरित्री की ओर हो और प्रिज्म का केंद्र टेबल के केंद्र के साथ मेल खाता हो जैसा कि चित्र 7.4 में दिखाया गया है।
2. पारा वाष्प लैंप चालू करें।



चित्र 7.4 : न्यूनतम विचलन कोण का मापन

3. प्रिज्म के दूसरे फलक AC की तरफ से बिना सहायता वाली आंख से देखें। आप अपवर्तित किरणों के कारण बने झिरी के चमकीले रंग के चित्रों की एक श्रृंखला देखेंगे (चित्र 7.5 देखें जो पारे के स्पेक्ट्रम को दर्शाता है)।



चित्र 7.4 : पारा प्रकाश का स्पेक्ट्रम

4. अब, किसी भी प्रमुख रंग, जैसे लाल रंग पर ध्यान केंद्रित करें, और प्रिज्म टेबल को धीरे-धीरे उस दिशा में घुमाएं कि आंख द्वारा देखा जाने वाला प्रतिबिम्ब समांतरित्री से सीधी किरण के जितना संभव हो उतना करीब आ जाए (चित्र 7.4 में D द्वारा दिखाया गया है)। ऐसा करते समय, आप देखेंगे कि एक विशेष स्थिति में, प्रतिबिम्ब सीधी किरण से दूर जाने लगेगी। दूसरे शब्दों में, प्रतिबिम्ब बस पीछे की

दिशा में बढ़ना शुरू कर देगी। प्रिज्म की यह स्थिति लाल रंग के लिए न्यूनतम विचलन की स्थिति से मेल खाती है।

5. दूरबीन को इस स्थिति में लाएँ (चित्र 7.4 में स्थिति P)। रेखाछिद्र प्रतिबिंब के साथ नेत्रिका के ऊर्ध्वाधर क्रॉस तार को समंजित करें।
6. प्रिज्म टेबल को स्क्रू की सहायता से थोड़ा घुमाएं ताकि प्रतिबिम्ब घटते विचलन की दिशा में गति करे।
7. स्क्रू का उपयोग करके टेलिस्कोप को घुमाएँ ताकि इसके क्रॉस तार को रेखाछिद्र प्रतिबिंब के साथ संरेखित किया जा सके। यह न्यूनतम विचलन के लिए प्रिज्म की सटीक स्थिति है।
8. प्रेक्षण सारणी 7.3 में दोनों वर्नियर पाठ्यांकों को नोट कीजिए।
9. न्यूनतम विचलन किरण और सीधी किरण (चित्र 7.4 में स्थिति D) के लिए माध्य रीडिंग के बीच का अंतर लाल रंग के लिए प्रिज्म के न्यूनतम विचलन का कोण देता है।

प्रेक्षण सारणी 7.3 : न्यूनतम विचलन कोण(δ_m)

वर्नियर पैमाने का अल्पतमांक = ...

रेखा	वर्नियर	दूरबीन स्थान P (न्यूनतम विचलन किरण के लिए)			दूरबीन स्थान D (सीधी किरण के लिए)			अंतर, $(a-b)$ $(\delta_m) (^{\circ})$	माध्य $(\delta_m) (^{\circ})$
		मुख्य पैमाना	वर्नियर पैमाना	कुल $(a) = [MSR + (VSR \times LC)]$	मुख्य पैमाना	वर्नियर पैमाना	कुल $(b) = [MSR + (VSR \times LC)]$		
लाल	वर्नियर 1								
	वर्नियर 2								
पीला	वर्नियर 1								
	वर्नियर 2								

बैंगनी	वर्नियर 1								
	वर्नियर 2								

10. अब दूरबीन को धीरे से चलाएँ और पीली रेखा पर सेट करें। स्क्रू की मदद से पीली लाइन पर ऊर्ध्वाधर क्रॉस तार को समंजित करें। दोनों वर्नियरों की रीडिंग लें और प्रेक्षण तालिका 7.3 में नोट करें।
11. वायलेट लाइन के लिए भी यही प्रक्रिया दोहराएं और प्रेक्षण तालिका 7.3 में रीडिंग को नोट करें।
12. अब प्रिज्म को प्रिज्म टेबल से हटा दें। टेलिस्कोप को समांतरित से सीधी किरण के साथ संरेखित करें ताकि रेखाचित्र की लाल रंग की प्रतिबिंब दिखाई दे। दूरबीन के स्पर्शरेखा पेंच का उपयोग करके, आँख के टुकड़े के ऊर्ध्वाधर क्रॉस तार को बारीक रेखाचित्र प्रतिबिंब के साथ समायोजित करें।
13. दूरबीन की इस स्थिति के लिए दोनों वर्नियरों की रीडिंग नोट करें और प्रेक्षण तालिका 7.3 में रिकॉर्ड करें। यह सीधी किरण रीडिंग है। (दोनों वर्नियर (वर्नियर 1 और वर्नियर 2) के रीडिंग का यह एक सेट सभी लाइनों/रंगों के लिए उपयोग किया जा सकता है।)

7.4 परिकलन और परिणाम

प्रिज्म के कोण की माप और विभिन्न रंगों की प्रकाश के लिए न्यूनतम विचलन के कोणों के आधार पर, आप समीकरण (7.1) का उपयोग करके इनमें से प्रत्येक रंग के लिए प्रिज्म के अपवर्तनांक की गणना आसानी से कर सकते हैं। और, इन अपवर्तनांक के मान का उपयोग करके, आप समीकरण (7.8) का उपयोग करके प्रिज्म की पदार्थ की परिक्षेपण क्षमता निर्धारित कर सकते हैं।

लाल रंग के लिए अपवर्तनांक, $\mu_{\text{red}} = \dots\dots\dots$

पीले रंग के लिए अपवर्तनांक, $\mu_{\text{yellow}} = \dots\dots\dots$

बैंगनी रंग के लिए अपवर्तनांक, $\mu_{\text{violet}} = \dots\dots\dots$

प्रिज्म की पदार्थ की परिक्षेपण क्षमता, $\omega = \dots\dots\dots$

अपने प्रिज्म की पदार्थ जानने के लिए एकेडमिक काउंसलर के पास जाएं। सैद्धांतिक मान के साथ प्रिज्म की पदार्थ की परिक्षेपण क्षमता के प्रयोगात्मक रूप से निर्धारित मान की तुलना करें।

प्रिज्म की विभेदन क्षमता |

इकाई की रूपरेखा

8.1	प्रस्तावना अपेक्षित कौशल	8.3	कार्यविधि प्रिज्म का कोण न्यूनतम विचलन का कोण रेखाचित्र का द्वारक
8.2	विवर्तन और विभेदन क्षमता	8.4	परिकलन और परिणाम

8.1 प्रस्तावना

जैसा कि आप जानते हैं, स्पेक्ट्रोमीटर एक ऑप्टिकल उपकरण है जिसका उपयोग पॉलीक्रोमैटिक प्रकाश जैसे सफेद प्रकाश (सूर्य से) और विभिन्न तत्वों द्वारा उत्सर्जित प्रकाश के वर्णक्रमीय विश्लेषण के लिए किया जाता है। इसका उपयोग इन स्रोतों द्वारा उत्सर्जित रंगों की तरंग दैर्ध्य को निर्धारित करने के लिए किया जाता है। इस प्रयोजन के लिए, हम या तो प्रिज्म या झंझरी का उपयोग करते हैं। अब आप जानते हैं कि एक प्रिज्म के साथ-साथ एक झंझरी में बहुवर्णी आपतित प्रकाश में विभिन्न तरंगदैर्ध्य को अलग करने का गुण होता है। प्रिज्म में प्रकाश के घटक रंगों में अलग होने की प्रक्रिया अपवर्तन है, एक झंझरी विवर्तन के कारण ऐसा करती है।

आपको पिछले प्रयोग से याद होगा कि श्वेत प्रकाश के विभिन्न रंगों (तरंगदैर्ध्य) को प्रिज्म द्वारा अलग करने/विभाजित करने की घटना को परिक्षेपण कहते हैं। (ध्यान दें कि प्रकाश का रंग प्रकाश की तरंग दैर्ध्य की दृश्य अभिव्यक्ति है)। विभिन्न तरंग दैर्ध्य के बीच (कोणीय) पृथक्करण प्रिज्म की फैलाव शक्ति पर निर्भर करता है जिसे आपने प्रयोग 7 में निर्धारित करना सीखा। याद रखें कि प्रिज्म की फैलाव शक्ति विभिन्न तरंग दैर्ध्य के लिए प्रिज्म के अपवर्तक सूचकांक पर निर्भर करती है। इसका मतलब है कि प्रिज्म की फैलाव शक्ति इसके आंतरिक गुणों में से एक है।

प्रिज्म स्पेक्ट्रोमीटर का उपयोग करके किसी भी ऑप्टिकल माप के लिए, हम प्रिज्म के माध्यम से प्रकाश के स्रोत की छवि देखते हैं। इसलिए, यह आवश्यक है कि दो आसन्न तरंगदैर्ध्य स्पष्ट रूप से देखे जाने के लिए एक दूसरे से पर्याप्त रूप से अलग हों। अब आप पूछ सकते हैं: क्या हम एक पैरामीटर को परिभाषित कर सकते हैं जो यह

निर्धारित करता है कि दो आसन्न छवियों या निकट दूरी वाली वस्तुओं के बीच अलगाव 'पर्याप्त' है?

इस प्रश्न का उत्तर सकारात्मक है; इस तरह के एक पैरामीटर को संकल्प शक्ति कहा जाता है। इस प्रयोग में, आप एक स्पेक्ट्रोमीटर का उपयोग करके प्रिज्म की विभेदन शक्ति का निर्धारण करना सीखेंगे।

अपेक्षित कौशल

यह प्रयोग करने के पश्चात् आपको इस योग्य हो जाना चाहिए कि आप :

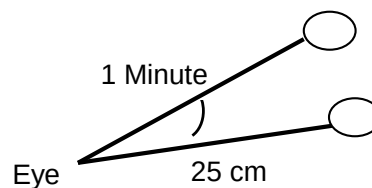
- ❖ माप लेने के लिए स्पेक्ट्रोमीटर की स्थापना;
- ❖ एक प्रिज्म का उपयोग करके एक बहुवर्णी स्रोत द्वारा उत्सर्जित विभिन्न तरंग दैर्घ्य का निरीक्षण करें;
- ❖ एक रैखिक स्रोत की छवियों के प्रसार का निरीक्षण करें;
- ❖ स्पेक्ट्रोमीटर का उपयोग करके छोटे कोणीय पृथक्करण को मापें; और
- ❖ एक प्रिज्म की संकल्प शक्ति की गणना करें।

आवश्यक उपकरण

स्पेक्ट्रममापी, प्रिज्म, स्पिरिट समतलकारी, रीडिंग लेन्स (आवर्धक ग्लास), मर्करी वाष्प लैम्प, एवं समंजनीय माइक्रामीटर झिरी।

8.2 विवर्तन और विभेदन

किसी प्रकाशिक यंत्र की विभेदन क्षमता, दो बहुत पास-पास रखे पिंडों के अलग-अलग पहचाने योग्य प्रतिबिम्ब बनाने की उसकी क्षमता की सूचक संख्या है। बिना यंत्र की सहायता के ये दोनों पिंड मिल कर एक दिखाई दे सकते हैं।

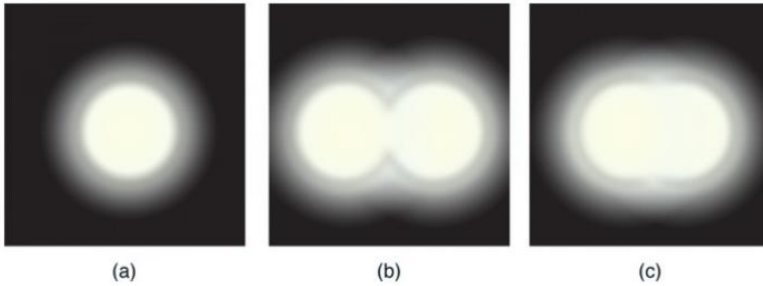


चित्र 8.1: किसी वस्तु पर दो बिंदु जो आँख पर कोण अंतरित करते हैं।

25 cm दूरी पर अवस्थित, एक दूसरे से लगभग 1.5×10^{-2} cm दूरी द्वारा पृथक्कृत दो बिन्दु रूप पिंडों द्वारा नेत्र पर बनाया जाता है। इस न्यूनतम कोणीय पृथक्करण का व्युत्क्रम जिसके लिए दो बिन्दु रूप बिम्बों को स्थिति यंत्र द्वारा पृथक्-पृथक् देखा जा सकता है उस यंत्र की विभेदन क्षमता कहलाता है।

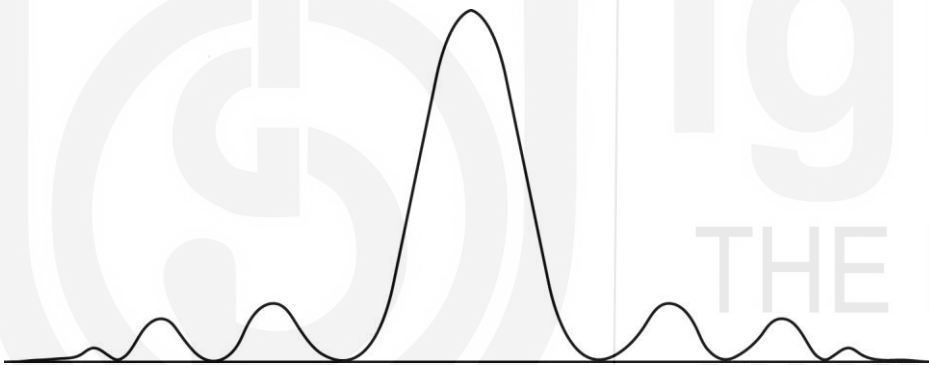
दो निकटवर्ती बिंबों (बिन्दुओं अथवा स्रोतों) के विभेदन के संबंध में रैले ने निम्नलिखित सुझाव दिया :

किन्हीं दो पास-पास अवस्थित बिन्दु स्रोतों को किसी प्रकाशिक यंत्र द्वारा ठीक-ठीक विभेदित तब कहा जाएगा जब एक स्रोत के विवर्तन पैटर्न का मुख्य उच्चिष्ठ दूसरे स्रोत के विवर्तन पैटर्न के प्रथम निम्निष्ठ के ऊपर संपाती होता है और दूसरे का मुख्य उच्चिष्ठ पहले के प्रथम निम्निष्ठ पर संपाती होता है।



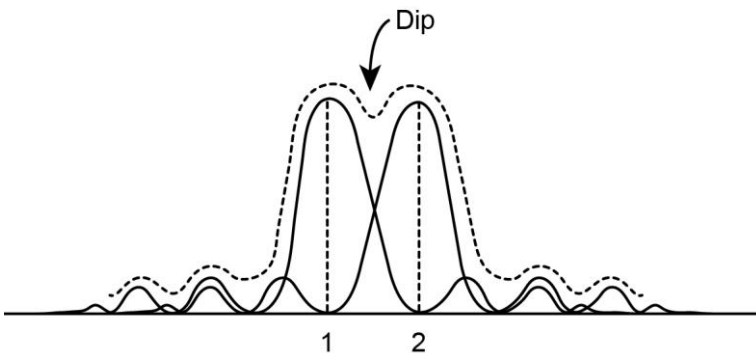
चित्र 8.2 : किसी एकल स्रोत तथा पास-पास रखे दो बिन्दु स्रोत का प्रतिबिंब।

किसी द्वारा द्वारा निर्मित विवर्तन पैटर्न (तीव्रता वक्र) में एक केन्द्रीय उच्चिष्ठ होता है जिसके परितः क्रमशः घटती तीव्रता के कुछ उच्चिष्ठ निम्निष्ठ होते हैं जैसा चित्र 8.3 में दर्शाया गया है।



चित्र 8.3 : किसी एकल स्रोत के विवर्तन पैटर्न के तीव्रता वक्र।

यदि एक दूसरे के पास-पास रखे दो स्रोत हों तो प्रकाशिक यंत्र द्वारा निर्मित इनके विवर्तन पैटर्न चित्र 8.4 में दर्शाए अनुसार होंगे।



चित्र 8.4 : दो स्रोतों के विवर्तन पैटर्नों के तीव्रता वक्र।

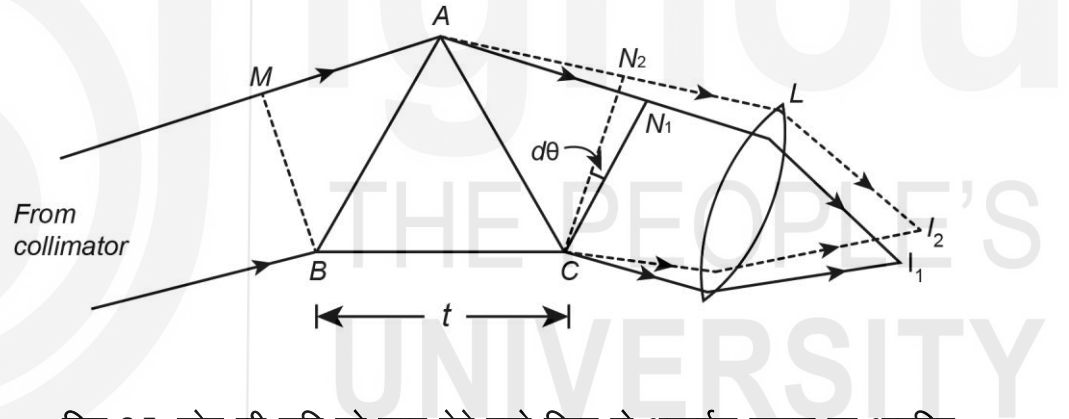
परिणामी तीव्रता बिन्दुविकृत रेखा द्वारा दर्शाई गई है। यहाँ हम देखते हैं कि एक स्रोत का उच्चिष्ठ दूसरे के निम्निष्ठ पर और दूसरे का उच्चिष्ठ पहले के निम्निष्ठ पर संपाती होता है। यही वह दशा है जिसमें दो पिंड ठीक-ठीक विभेदित होते हैं। अन्यथा ये स्रोत दर्शाएंगे मानों दोनों मिल कर एक हो गए हैं।

यदि कोई प्रकाशिक यंत्र दो अत्यधिक निकट तरंगदैर्घ्य मानो क्रमशः λ एवं $\lambda + d\lambda$ को ठीक-ठीक विभेदित करता है तो सिद्धान्ततः इसकी विभेदन क्षमता $\lambda/d\lambda$ होती है। यह वर्णक विभेदन क्षमता कहलाती है।

8.2.1 प्रिज्म की विभेदन क्षमता

जब मर्करी लैम्प से उत्सर्जित होने वाला श्वेत प्रकाश किसी प्रिज्म पर आपतित होता है तो प्रत्येक तरंगदैर्घ्य के संगत झिरी का प्रिज्म द्वारा बना प्रतिबिम्ब एक सुस्पष्ट रंगीन रेखा के रूप में स्पेक्ट्रममापी के टेलीस्कोप में प्राप्त होता है। यदि λ एवं $\lambda + d\lambda$ दो झिरी निकटवर्ती रेखाओं के तरंगदैर्घ्य हों जो ठीक-ठीक विभेदित होती हों तो $\lambda/d\lambda$ स्पेक्ट्रममापी यंत्र की विभेदन क्षमता का माप होगा।

माना कि ABC किसी प्रिज्म का मुख्य परिच्छेद है (चित्र 8.5)। इस प्रिज्म की न्यूनतम विचलन की स्थिति में इसके फलक AB पर समांतरित से आने वाले λ तरंगदैर्घ्य का एकवर्णी प्रकाश आपतित होता है। यह मानते हुए कि प्रकाश किरण पुंज प्रिज्म के पूरे फलक AB को आच्छादित करता है और BM आपतित तरंगाग्र है तथा CN_1 निर्गत तरंगाग्र है इनसे लेन्स L के फोकसी समतल में प्रतिबिम्ब I_1 बनता है। यदि μ तरंगदैर्घ्य λ के लिए प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक हो, तो चूंकि BM और CN_1 के बीच प्रकाशिक पथ समान होने के कारण हम कह सकते हैं कि



चित्र 8.5: स्रोत की छवि को जन्म देने वाले प्रिज्म के अपवर्तक फलक पर आपतित प्रकाश की किरण।

$$\begin{aligned} MA + AN_1 &= \mu(BC) \\ &= \mu t \end{aligned} \quad (8.1)$$

जहाँ t प्रिज्म के आधार की मोटाई है।

अब यदि फलक AB पर तनिक अधिक तरंगदैर्घ्य $\lambda + d\lambda$ का प्रकाश आपतित हो तो प्रिज्म से निर्गत तरंगाग्र CN_2 होगा जिससे प्रतिबिम्ब I_2 निर्मित होगा। मान लेते हैं कि तरंगदैर्घ्य में $d\lambda$ वृद्धि से अपवर्तनांक में $d\mu$ की कमी आती है (कौशी के सूत्र के अनुसार), तब —

$$MA + AN_2 = (\mu - d\mu)t \quad (8.2)$$

समी. (8.1) में से समी. (8.2) को घटाने पर

$$AN_1 - AN_2 = t d\mu$$

$$\text{अथवा} \quad N_1 N_2 = t d\mu \quad (8.3)$$

यदि 'a' तरंगाग्र CN_1 की चौड़ाई तथा $d\theta$ तरंगाग्रों CN_1 एवं CN_2 के बीच कोण हो, तो –

$$ad\theta = N_1N_2 + t d\mu \quad (8.4)$$

तथा, टेलीस्कोप के विभेदन के प्रति प्रतिबंधक शर्त है –

$$d\theta = \frac{\lambda}{a}$$

जहाँ 'a' टेलीस्कोप के लेन्स का द्वारक है। (हमने सेट अब इस तरह किया है कि तरंगाग्र लेन्स के द्वारक को पूरी तरह आच्छादित करता है।)

तब समी. (8.4) से

$$\frac{\lambda}{a} = t \frac{d\mu}{a} \quad (8.5)$$

अतः प्रिज्म की विभेदन क्षमता –

$$\frac{\lambda}{d\lambda} = t \frac{d\mu}{d\lambda} \quad (8.6)$$

यहाँ $d\mu/d\lambda$ तरंगदैर्घ्य में होने वाले परिवर्तन के साथ अपवर्तनांक में होने वाला परिवर्तन निरूपित करता है। इसे प्रिज्म के पदार्थ का वर्ण-परिक्षेपण भी कहा जाता है।

चूँकि किसी प्रिज्म की परिक्षेपण क्षमता होती है –

$$\omega = \frac{(\mu_r - \mu_r)}{(\mu - 1)} = \frac{d\mu}{d\lambda} \quad (8.7)$$

$$\therefore \text{प्रिज्म की विभेदन क्षमता} = t \cdot \omega \quad (8.8)$$

सूत्र

प्रिज्म की विभेदन क्षमता के लिए सूत्र है :-

$$R.P. = t \frac{d\mu}{d\lambda} \quad (8.9)$$

जहाँ t प्रिज्म के आधार की मोटाई है तथा $d\mu/d\lambda$ तरंगदैर्घ्य में परिवर्तन के सापेक्ष अपवर्तनांक में होने वाला परिवर्तन है।

$d\mu/d\lambda$ का मान कौशी के प्रयोगाग्नित सूत्र से ज्ञात किया जा सकता है, जो नीचे दिया गया है :

$$\mu = A + \frac{B}{\lambda^2} \quad (8.10)$$

जहाँ A और B कौशी नियतांक है।

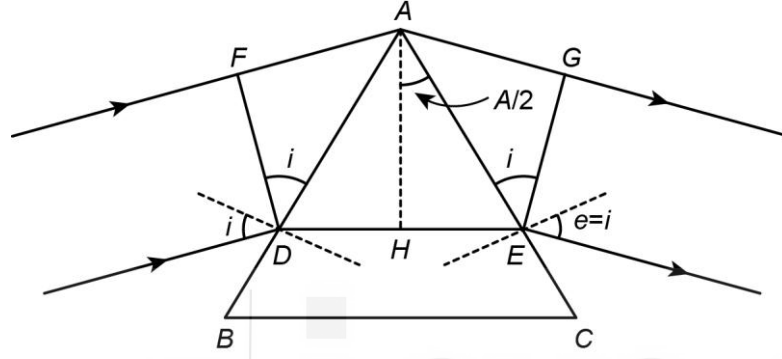
इसका अवकलन करने पर हमें प्राप्त होता है –

$$\frac{d\mu}{d\lambda} = -\frac{2B}{\lambda^3} \quad (8.11)$$

अतः प्रिज्म की विभेदन क्षमता है –

$$R.P. = t \frac{d\mu}{d\lambda} = -\frac{2Bt}{\lambda^3} \quad (8.12)$$

ऋणात्मक चिह्न सीधे-सीधे यह इंगित करता है कि λ के मान में वृद्धि होने से μ का मान घटता है। क्योंकि सामान्यतः आधार की पूरी मोटाई का उपयोग नहीं होता है, इसलिए t प्रभावी मोटाई (अर्थात् t का वास्तविक मान) निम्नवत् ज्ञात किया जा सकता है।



चित्र 8.6: प्रिज्म के अपवर्तक फलक पर आपतित प्रकाश। आपतित किरण पुंज के लिए प्रिज्म की प्रभावी मोटाई DE है।

चित्र 8.6 से –

$$AE \cos i = GE = a$$

जहाँ a दो किरणों के बीच की लम्बवत् दूरी है।

अर्थात्

$$FD = GE = a$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{प्रभावी मोटाई } t &= DE = 2DH = 2HE \\ &= 2AE \sin(A/2) \\ &= 2 \frac{a}{\cos i} \sin(A/2) \quad (8.13) \end{aligned}$$

न्यूनतम विचलन की स्थिति में –

$$A + D_m = i + i = 2i$$

$$\therefore i = \frac{A + D_m}{2} \quad (8.14)$$

और

$$t = \frac{2a \sin(A/2)}{\cos\left(\frac{A + D_m}{2}\right)} \quad (8.15)$$

कौशी के नियतांक B तथा प्रभावी मोटाई t प्राप्त हो जाने के बाद समी. (iii) में दिए गए सूत्र का उपयोग करके प्रिज्म की विभेदन क्षमता का परिकलन किया जा सकता है।

कौशी नियतांक B का परिकलन, समी. (x) में दो तरंगदैर्घ्यों के मान प्रतिस्थापित करके किया जा सकता है। तथा

$$\mu_1 = A + \frac{B}{\lambda_1^2} \quad \text{एवं} \quad \mu_2 = A + \frac{B}{\lambda_2^2}$$

where μ_1 and μ_2 are corresponding refractive indices for wavelengths λ_1 and λ_2 respectively.

$$\therefore \mu_1 - \mu_2 = B \left(\frac{1}{\lambda_1^2} - \frac{1}{\lambda_2^2} \right)$$

$$\therefore B = \frac{(\mu_1 - \mu_2)(\lambda_1^2 - \lambda_2^2)}{(\lambda_2^2 - \lambda_1^2)} \quad (8.16)$$

8.3 कार्यविधि

इस प्रयोग में, आपको (प) प्रिज्म का कोण, (पप) न्यूनतम विचलन का कोण, (पपप) रेखाछिद्र स्रोत का द्वारक और (पअ) प्रिज्म की प्रभावी मोटाई को मापने की आवश्यकता है। इन मापों का उपयोग प्रिज्म के अपवर्तनांक की गणना करने के लिए किया जाता है और प्रिज्म की विभेदन क्षमता को निर्धारित करने के लिए कौची के स्थिरांक, बी का उपयोग किया जाता है। अब हम इन मापनों कि कार्यविधि और आवश्यक गणना करने की प्रक्रिया का वर्णन करते हैं।

8.3.1 प्रिज्म का कोण

प्रयोग 1 में वर्णित शस्टर विधि का उपयोग करके स्पेक्ट्रममापी को समांतर किरणों के फोकसन के लिए समंजित कीजिए।

प्रेक्षण

स्पेक्ट्रममापी के स्केल का अल्पतमांक =

पीले रेखा युग्म का तरंगदैर्घ्य $Y_1 = 5769.9 \text{ \AA}$

$Y_2 = 5790.7 \text{ \AA}$

प्रेक्षण सारणी 8.1: प्रिज्म कोण (A)

प्रे० संख्या	वर्नियर	टेलीस्कोप की प्रथम स्थिति			टेलीस्कोप की प्रथम स्थिति			अन्तर =2A	A
		ms	vs	योग	vs	ms	योग		
1	V_1								
	V_2								
	...								
2	V_1								

	V_2								
	...								

माध्य $A =$

8.3.2 न्यूनतम विचलन कोण

प्रिज्म कोण A तथा पीले रंग की दो रेखाओं के संगत दो तरंगदैर्घ्यों λ_1 एवं λ_2 के लिए न्यूनतम विचलन कोण (D_m) मापिए जो एक दूसरे के बहुत निकट होती हैं। इसके लिए दोनों वर्णियों V_1 एवं V_2 के पाठ्यांक नोट कीजिए।

प्रेक्षण सारणी 8.2: पीले रेखा युग्म के न्यूनतम विचलन कोण (D_m)

प्रे० संख्या	वर्णियर		न्यूनतम विचलित किरण			सीधी किरण			अन्तर $= D_m$	माध्य मान
			ms	vs	योग	ms	vs	योग		
1	Y_1	V_1								$D_{m1} =$
		V_2								
2	Y_2	V_1								$D_{m2} =$
		V_2								

8.3.3 झिरी की चौड़ाई

1. प्रिज्म को न्यूनतम विचलन की स्थिति में बनाए रखते हुए टेलीस्कोप के दृश्यक के सामने समंजनीय माइक्रोमीटर झिरी लगाईए।
2. धीरे-धीरे झिरी की चौड़ाई को समंजनीय माइक्रोमीटर स्क्रू की सहायता से तब तक कम कीजिए जब तक कि दोनों पीली रेखाएँ अलग-अलग न दिखाई देने लगे। माइक्रोमीटर का पाठ्यांक नोट कीजिए। पेंच को उसी दिशा में और आगे घुमाकर झिरी की चौड़ाई कम कीजिए और बंद होने पर फिर से पाठ लीजिए। इन दो पाठ्यांकों का अन्तर झिरी की चौड़ाई (अथवा द्वारक) ' a ' का मान है।
3. अब पेंच का उल्टी दिशा में धीरे-धीरे घुमाते हुए झिरी को खोलिए ताकि प्रकाश दिखाई देने लगे और दोनों पीली रेखाएँ बस ठीक-ठीक विभेदित हों। पाठ्यांक नोट कीजिए। फिर से अंतर द्वारा ' a ' का मान ज्ञात कीजिए। माध्य ' a ' निकालिए।
4. चरण 2 और 3 को एक बार और दोहराईए और ' a ' का अंतिम माध्य मान ज्ञात कीजिए।

प्रेक्षण सारणी 8.3: झिरी की चौड़ाई (a)

प्रे० संख्या	झिरी को बन्द करते समय माइक्रोमीटर का पाठ			झिरी को खोलते समय माइक्रोमीटर का पाठ्यांक			माध्य मान 'a'
	रेखाएँ ठीक-ठीक विभेदित	झिरी बन्द	अन्तर 'a'	झिरी बन्द	रेखाएँ ठीक-ठीक विभेदित	अन्तर 'a'	
1.							
2.							

टिप्पणी: यदि माइक्रोमीटर झिरी के स्थान पर चल सूक्ष्मदर्शी का उपयोग करके 'a' का मान ज्ञात करना हो तो उपर्युक्त सारणी के स्थान पर नीचे दी गई प्रेक्षण सारणी में अपने पाठ्यांक नोट करें।

प्रेक्षण सारणी 8.4: झिरी की चौड़ाई (द्वारक) a

चल सूक्ष्मदर्शी के स्केल का अल्पतमॉंक =

प्रे० संख्या	क्रॉस वायर झिरी के एक कोर पर फोकसित x_1	क्रॉस वायर झिरी के दूसरे कोर पर फोकसित x_2	झिरी की चौड़ाई 'a'	माध्य मान 'a'
1.				
2.				

8.4 परिकलन और परिणाम

$$a = \dots\dots\dots \text{cm}$$

$$A = \dots\dots\dots \text{cm}$$

λ_1 एवं λ_2 के संगत न्यूनतम विचलन कोणों Dm_1 एवं Dm_2 के ज्ञात मानों से निम्न सूत्र का उपयोग करके μ_1 एवं μ_2 के मान परिकलित किए जा सकते हैं :

$$\mu = \frac{\sin\left(\frac{A + Dm}{2}\right)}{\sin(A/2)}$$

μ एवं λ को ज्ञात मानों का समी. (vi) में उपयोग करके कौशी नियतांक B का मान परिकलित किया जा सकता है।

t के परिकलन के लिए Dm_1 एवं Dm_2 के माध्य मानों का समी. (v) में उपयोग किया जा सकता है।

इन सब मानों को समी. (iv) के दाहिने पार्श्व में प्रतिस्थापित करके प्रिज्म स्पेक्ट्रममापी की विभेदन क्षमता परिकलित की जा सकती है।

दिए गए प्रिज्म की विभेदन क्षमता = ...



ignou
THE PEOPLE'S
UNIVERSITY

पतले तार का विवर्तन पैटर्न |

इकाई की रूपरेखा

9.1	प्रस्तावना अपेक्षित कौशल	9.3	कार्यविधि तार की मोटाई का मापन विवर्तन पैटर्न प्राप्त करना मुख्य उच्चिष्ठ से निम्निष्ठ की दूरी का मापन
9.2	प्रकाश का विवर्तन एक तार से विवर्तन	9.4	परिकलन और परिणाम

9.1 प्रस्तावना

पिछले प्रयोग में आपने, प्रकाश के तरंग-स्वभाव की विभिन्न अभिव्यक्तियों में से एक अभिव्यक्ति व्यतिकरण के बारे में सीखा। आपको याद होगा कि व्यतिकरण की उत्पत्ति तरंगों के अध्यारोपण सिद्धान्त पर आधारित है। भौतिक दृष्टि से, यह विद्युत-चुंबकीय स्पेक्ट्रम के दृश्य-क्षेत्र में ऊर्जा के पुनर्वितरण के अनुरूप है। ऐतिहासिक दृष्टि से फ्रेनल के द्वि-प्रिज्म प्रयोग ने प्रकाश के तरंग-स्वभाव की मान्यता संबंधी सभी शंकाओं को गलत साबित किया। तरंग-मॉडल का समर्थन करने वाली दूसरी परिघटना विवर्तन (diffraction) है जिसका अर्थ है कोनों पर तरंगों का मुड़ना। आपने इसके बारे में प्रकाशिकी के PHE-09 पाठ्यक्रम के अंतर्गत खंड 3 में पढ़ा। जैसाकि हम सब जानते हैं, तरंग कितनी आसानी से मुड़ती है यह उसके तरंगदैर्घ्य के सापेक्ष अवरोध के आमाप पर निर्भर करता है।

दैनिक-जीवन में प्रयुक्त होने वाली वस्तुएं प्रकाश के तरंगदैर्घ्य से 10^5 गुना बड़ी होती हैं। इसलिए ऐसा लगता है कि प्रकाश सीधी रेखा में गमन करता है। इसका मतलब यह है कि प्रकाश को मुड़ते हुए देखने के लिए हमें उपयुक्त स्थितियों में सावधानी पूर्वक प्रेक्षण करने होंगे। अगर आप वस्तुओं की छाया की बारीकी से जांच करें तो आप देखेंगे कि छाया के कोर सुस्पष्ट नहीं होते। ऐसा विवर्तन के कारण होता है। इस प्रयोग का एक उद्देश्य किसी स्थूल वस्तु जैसे कि एक पतली तार द्वारा प्रकाश के विवर्तन का अन्वेषण करना है।

आपने तरंगे और प्रकाशिकी (बीपीएचसीटी-137) पाठ्यक्रम के खंड 3 में पढ़ा है कि फ्रेनल ने हइगेन्स सिद्धान्त के आधार पर विवर्तन घटना की व्यवस्थित व्याख्या की थी। आपने यह भी सीखा है कि विवर्तन को दो श्रेणियों में वर्गीकृत किया जाता है, अर्थात् फ्रेनल विवर्तन और फ्रौनहोफर विवर्तन। जब स्रोत (प्रकाश की) और बाधा के बीच की दूरी के साथ-साथ बाधा और अवलोकन स्क्रीन के बीच की दूरी सीमित होती है, तो हमें फ्रेनल विवर्तन कहा जाता है। और, जब ये दूरियां अनंत होती हैं, तो हम फ्रौनहोफर

विवर्तन का निरीक्षण करते हैं। लेकिन भौतिकी प्रयोगशाला में दूरियां सीमित होती हैं। फिर, आप शायद यह जानना चाहें: हम स्रोत, बाधा और प्रेक्षण स्क्रीन के बीच अनंत दूरी कैसे सुनिश्चित करते हैं? यह लेंस का उपयोग करके और स्रोत और अवलोकन स्क्रीन को उत्तल लेंस के फोकस पर रखकर किया जाता है। प्रकाश के विवर्तन के सैद्धांतिक विश्लेषण से उपयोग किए गए प्रकाश की तरंग दैर्ध्य, बाधा के आकार, विवर्तन फ्रिज की कोणीय स्थिति और बाधा और अवलोकन स्क्रीन के बीच की दूरी के बीच संबंध होता है। इसलिए, विभिन्न प्रकार की बाधाओं के लिए विवर्तन पैटर्न प्राप्त करके और आवश्यक मात्राओं का मापन करके, हम उपयोग किए गए प्रकाश की तरंग दैर्ध्य निर्धारित कर सकते हैं। इस प्रयोग में, आप एक लेजर स्रोत का उपयोग करके एक पतले तार का फ्रौनहोफर विवर्तन पैटर्न प्राप्त करेंगे और लेजर प्रकाश की तरंगदैर्ध्य निर्धारित करेंगे।

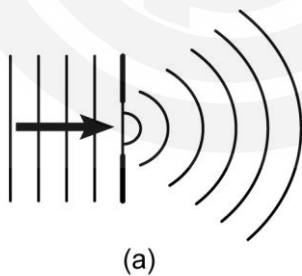
अपेक्षित कौशल

यह प्रयोग करने के पश्चात् आपको इस योग्य हो जाना चाहिए कि आप :

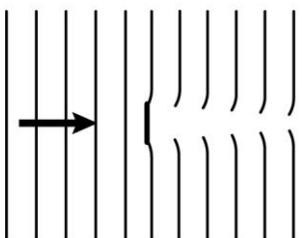
- ❖ एक लेजर स्रोत को संभालना;
- ❖ एक यात्रा सूक्ष्मदर्शी का उपयोग करके तार की मोटाई मापें;
- ❖ पतले तार का फ्रौनहोफर विवर्तन पैटर्न प्राप्त करना;
- ❖ विवर्तन पैटर्न में मुख्य अधिकतम से मिनिमा की दूरी को मापें; और
- ❖ दिए गए लेजर प्रकाश की तरंगदैर्ध्य ज्ञात कीजिए।

आवश्यक उपकरण

लेजर स्रोत, सुरक्षा चश्मे, परदा, रूल्ड-पेपर/ग्राफ पेपर, पतली तार, मापने वाला टेप, और चल सूक्ष्मदर्शी।



(a)



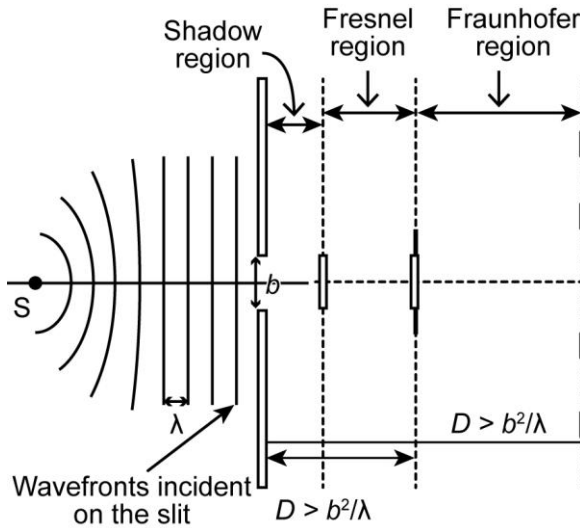
(b)

चित्र 9.1: क) एपर्चर/रेखाछिद्र, ख) एक तार से विवर्तन का अनुप्रस्थ परिच्छेद दृश्य।

9.2 प्रकाश का विवर्तन

जब प्रकाश एक बहुत छोटे (प्रकाश की तरंग दैर्ध्य के क्रम में) बाधा जैसे कि एक भट्ठा या तार पर आपतित होता है, तो यह किनारों के चारों ओर फैलता / झुकता है (चित्र 9.1)। ध्यान दें कि एक बाधा (स्लिट/तार) पर आपतित समतल तरंगाग्र (प्रकाश किरण का प्रतिनिधित्व) बाधा पार करते समय किनारों के चारों ओर झुकने के कारण घुमावदार हो जाते हैं। विवर्तन प्रभाव तरंगों की एक सामान्य विशेषता है और यह तब होता है जब तरंगाग्र का एक भाग बाधित होता है।

तरंगे और प्रकाशिकी (BPHCT-137) पाठ्यक्रम के खंड 3 से, आपको याद होगा कि फ्रेस्नेल विवर्तन तब देखा जाता है जब स्रोत और बाधा या बाधा और अवलोकन स्क्रीन एक सीमित दूरी से अलग हो जाते हैं, यानी एक दूसरे के करीब होते हैं। दूसरी ओर, फ्रौनहोफर विवर्तन तब देखा जाता है जब स्रोत और अवलोकन स्क्रीन बाधा से अनंत दूरी पर प्रभावी रूप से होते हैं। आप पूछ सकते हैं: फ्रेस्नेल विवर्तन के मामले में 'एक दूसरे के करीब' और फ्रौनहोफर विवर्तन के मामले में 'प्रभावी रूप से अनंत दूरी पर' से हमारा क्या मतलब है? इन दूरियों का अंदाजा लगाने के लिए, चित्र 9.2 का संदर्भ लें, जो दूर के बिंदु स्रोत से प्रकाश के विवर्तन को चौड़ाई b के एक स्लिट द्वारा स्लिट से r दूरी पर रखे स्क्रीन पर दर्शाता है।



चित्र 9.2 : दूर स्थित प्रकाश स्रोत S से समतल तरंगग्र b चौड़ाई के एक रेखाछिद्र द्वारा विवर्तित।

जब शर्त $D \leq b^2/\lambda$ संतुष्ट होती है तो हम फ्रेनल क्षेत्र में होते हैं और फ्रौनहोफर विवर्तन क्षेत्र में जब शर्त $D \geq b^2/\lambda$ संतुष्ट होती है जैसा कि चित्र 9.2 में दिखाया गया है। आपको फ्रेनल और फ्रौनहोफर क्षेत्रों को निर्दिष्ट करने वाली शर्तों पर ध्यान देना चाहिए जो द्वारक / बाधा के आकार और किसी दिए गए बाधा और स्क्रीन के बीच की दूरी D के लिए प्रकाश की तरंगदैर्घ्य पर निर्भर करते हैं, डी।

फ्रेस्नेल द्वारा दी गई विवर्तन की सैद्धांतिक समझ तरंग प्रसार के ह्यूजेंस सिद्धांत पर आधारित है। आपने इसके बारे में बीपीएचसीटी-137 की इकाई 4 में सीखा। इस सिद्धांत के अनुसार, तरंगग्र का प्रत्येक बिंदु मूल प्राथमिक तरंग के समान आवृत्ति और गति की गोलाकार द्वितीयक तरंगों (जिन्हें तरंगिकाएँ कहा जाता है) के एक बिंदु स्रोत के रूप में कार्य करता है। कुछ बाद के पल में तरंगग्र उस पल में इन माध्यमिक तरंगिकाओं का लिफाफा होता है। आपको याद होगा कि हाइजेन्स ने इस सिद्धांत के आधार पर परावर्तन और अपवर्तन की घटनाओं की सफलतापूर्वक व्याख्या की थी। लेकिन वे यह समझाने में विफल रहे कि पीछे की ओर संचरित द्वितीयक गोलाकार तरंगों के साथ क्या होता है। हाइजेन्स सिद्धांत की सीमाओं को दूर करने के लिए, फ्रेस्नेल ने द्वितीयक तरंगों के व्यतिकरण के विचार को पेश किया: प्राथमिक तरंग के प्रत्येक बिंदु को माध्यमिक तरंगों के स्रोत के रूप में माना जा सकता है जिसका लिफाफा और व्यतिकरण कुछ बाद में तत्काल तरंगग्र बनाता है। ह्यूजेंस सिद्धांत के संशोधित संस्करण, जिसे ह्यूजेंस-फ्रेस्नेल सिद्धांत कहा जाता है, ने विवर्तन की घटना की संतोषजनक व्याख्या प्रदान की। आपने बीपीएचसीटी-137 के खंड 3 में विभिन्न बाधाओं से फ्रेस्नेल और फ्रौनहोफर विवर्तन की विस्तृत सैद्धांतिक व्याख्या का अध्ययन किया है।

आइए अब हम पतले तार के विवर्तन पैटर्न के बारे में जानें जो इस प्रयोग में आपके लिए काम है।

9.2.1 एक तार से विवर्तन

इस प्रयोग में, आप लेजर स्रोत का उपयोग करके पतले तार का फ्रौनहोफर विवर्तन पैटर्न प्राप्त करना सीखेंगे और लेजर प्रकाश की तरंग दैर्घ्य निर्धारित करेंगे। लेकिन केंद्रीय स्थान की चमक के लिए, पतले तार द्वारा निर्मित फ्रौनहोफर विवर्तन पैटर्न एक रेखाछिद्र द्वारा उत्पन्न पैटर्न से प्रकृति में बहुत समान होता है (चित्र 9.3)।



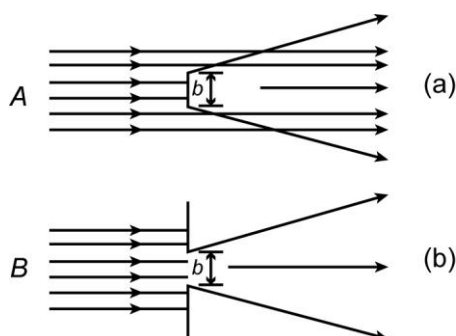
चित्र 9.3: एक रेखाछिद्र और एक तार द्वारा उत्पन्न विवर्तन पैटर्न का तीव्रता वितरण।

एक झिरी और तार के विवर्तन पैटर्न के बीच समानता को बाबिनेट के सिद्धांत के आधार पर समझाया गया है। इस सिद्धांत के अनुसार, यदि हम दो पूरक विवर्तन वस्तुओं जैसे कि एक झिरी और एक ही आकार की एक बाधा जैसे तार पर विचार करते हैं, तो विवर्तन पैटर्न समान होगा जब किसी भी पूरक वस्तु का उपयोग स्वयं द्वारा किया जाता है। (जब आप इस पाठ्यक्रम का अगला प्रयोग (प्रयोग 10) करेंगे तो आप इसे सत्यापित करने में सक्षम होंगे।) इसके अलावा, चित्र 9.3 एक झिरी और एक पतले तार द्वारा उत्पन्न विवर्तन पैटर्न के अनुरूप तीव्रता वितरण को योजनाबद्ध रूप से दर्शाता है।

चित्र 9.3 से हम देखते हैं कि एक तार और एक झिरी के विवर्तन पैटर्न की मुख्य विशेषताएं हैं:

1. विवर्तन पैटर्न में तार/स्लिट के लंबवत रेखा के अनुदिश प्रकाश की एक क्षैतिज रेखा होती है।
2. क्षैतिज पैटर्न में चमकीले धब्बों की एक श्रृंखला होती है और केंद्र का स्थान सबसे चमकीला होता है। केंद्रीय स्थान को मुख्य उच्चिष्ठ कहा जाता है।
3. केंद्रीय स्थान के दोनों ओर, कम चमक के कुछ और चमकीले धब्बे सममित रूप से स्थित हैं। इन्हें **द्वितीयक उच्चिष्ठ** कहा जाता है।

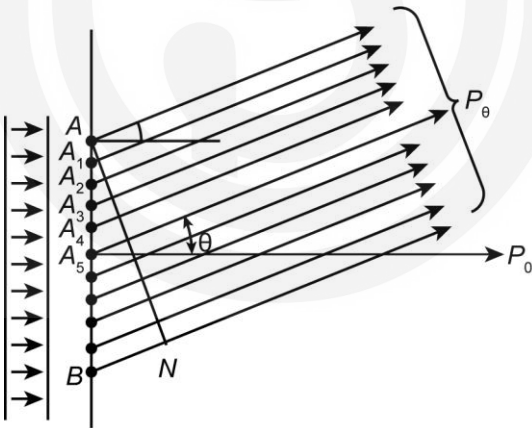
एक झिरी और एक तार के कारण विवर्तन दर्शाने वाले किरण आरेख को चित्र 9.4 में योजनाबद्ध रूप से दर्शाया गया है। ध्यान दें कि, झिरी (केस B) के विपरीत, तार के किनारों (केस ए) के चारों ओर विवर्तन प्रकाश को केंद्रीय स्थान की ओर निर्देशित करता है जहां वे रचनात्मक रूप से व्यतिकरण करते हैं। वास्तव में, यह पूरे तरंगग्र के लिए सच है -



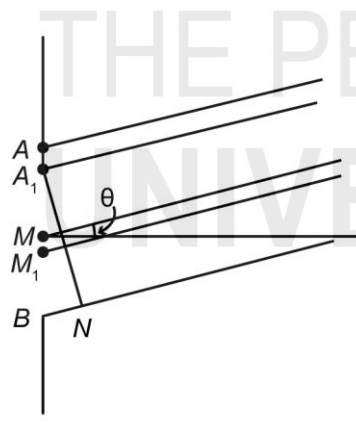
चित्र 9.4: एक रेखाछिद्र और एक तार क) आपतित और ख)विवर्तित किरणें।

तार के ऊपर और नीचे: ऊपरी भाग और निचले हिस्से से विवर्तित प्रकाश प्रेक्षण स्क्रीन पर केंद्रीय स्थान पर रचनात्मक रूप से व्यतिकरण करता है। नतीजतन, तार के विवर्तन पैटर्न का केंद्रीय स्थान एक भट्ठा के विवर्तन पैटर्न के केंद्रीय स्थान से अधिक चमकीला होता है।

जैसा कि ऊपर चर्चा की गई है, एक तार के प्रेक्षित विवर्तन पैटर्न की प्रकृति और तुलनीय आयामों की एक रेखाचित्र के पैटर्न के केंद्रीय स्थान की चमक को छोड़कर समान है। अब हम झिरी से विवर्तन पर विचार करके इन विवर्तन प्रतिरूपों के सैद्धांतिक आधार की व्याख्या करते हैं। हम मानते हैं कि दूर के स्रोत से प्रकाश का एक समतल तरंगग्र एक विवर्तन झिरी AB पर आपतित होता है जिसकी चौड़ाई b है (चित्र 9.5)। विवर्तन पैटर्न झिरी से D दूरी पर स्थित स्क्रीन पर देखा जाता है। अब आप पूछ सकते हैं: प्रेक्षण स्क्रीन पर किसी भी बिंदु पर विवर्तित प्रकाश की तीव्रता क्या होगी? विवर्तन पैटर्न में किसी भी बिंदु पर तीव्रता का निर्धारण करने के लिए, हम ह्यूजेन्स-फ्रेस्नेल सिद्धांत का उपयोग करते हैं। हम झिरी AB को कई बिंदुओं में विभाजित करते हैं और मान लेते हैं कि इनमें से प्रत्येक बिंदु द्वितीयक तरंगिकाओं के स्रोत के रूप में कार्य करता है। हाइजेन्स-फ्रेस्नेल सिद्धांत के अनुसार, विवर्तन पैटर्न में किसी भी बिंदु पर तीव्रता उस बिंदु पर इन माध्यमिक तरंगों के हस्तक्षेप की प्रकृति पर निर्भर करेगी। यदि द्वितीयक तरंगिकाएँ रचनात्मक रूप से हस्तक्षेप करती हैं, तो बिंदु उच्च तीव्रता वाला होगा और उज्ज्वल दिखाई देगा लेकिन यदि द्वितीयक तरंगिकाएँ विनाशकारी रूप से हस्तक्षेप करती हैं, तो तीव्रता कम या शून्य होगी और बिंदु गहरा दिखाई देगा।



(a)



(b)

चित्र 9.5: एक रेखाचित्र द्वारा विवर्तन ज्यामिति का अनुप्रस्थ परिच्छेद दृश्य।

अब, आइए हम परदे पर एक बिंदु P_0 पर विचार करें जो अक्ष के साथ कोण बनाता है (चित्र 9.5)। चित्र 9.5क को देखें। उसमें सुदूर परदे पर P_0 बिंदु के किरणन की ज्यामिति दिखाई गई है जो अक्ष पर θ कोण बनाती है। सैद्धान्तिक व्याख्या के लिए यह मान लेना पर्याप्त होगा कि जब कोई समतल तरंगग्र विवर्तक रेखाचित्र पर पड़ता है तो द्वारक (रेखाचित्र) का प्रत्येक बिन्दु, उदाहरणार्थ $A, A_1, A_2, A_3, \dots, B$, द्वितीयक तरंगिकाओं का स्रोत बन जाता है तथा इन तरंगिकाओं का संचरण विचाराधीन बिन्दु P_0 की ओर होता है। ये विवर्तित समतल तरंगें होती हैं।

(ध्यान दें कि ज्यामितीय प्रकाशिकी में विवर्तित तरंगों का कोई स्थान नहीं होता। विवर्तित तरंगें प्रकाश और द्रव्य की परस्पर क्रिया से उत्पन्न होती हैं। वर्तमान स्थिति में परस्पर-क्रिया प्रकाश और रेखाचित्र के हनुओं (jaws) के बीच होती है।

$$I_\theta = I_0 \left(\frac{\sin \beta}{\beta} \right)^2 \quad (9.1)$$

जहां, अक्ष से कोण पर स्थित विवर्तन पैटर्न में एक बिंदु पर तीव्रता है, केंद्रीय बिंदु पर तीव्रता है, प्रत्येक के आयाम होने के साथ स्लिट वेवफ्रंट के द बराबर भागों के कारण आयामों का योग है भाग, और

$$\beta = \pi \frac{b \sin \theta}{\lambda} \quad (9.2)$$

समीकरण (9.1) में आप देखेंगे कि $\theta = 0$ के लिए तीव्रता अधिकतम होती है :

$\theta = 0$; $I_{\theta=0} = I_0 = A^2$ । मुख्य उच्चिष्ठ के दोनों ओर तीव्रता धीरे-धीरे कम होती जाती है और $\beta = +\pi$ अथवा $\beta = -\pi$ के लिए शून्य हो जाती है क्योंकि $\sin(\pm\pi)$ शून्य होता है। यह पहले निम्निष्ठ को परिभाषित करता है। इस प्रकार हम कह सकते हैं कि **मुख्य उच्चिष्ठ की कोणीय अर्ध-चौड़ाई** $\beta = 0$ से $\beta = \pi$ तक होती है। दूसरा निम्निष्ठ मुख्य उच्चिष्ठ के दोनों ओर $\beta = \pm 2\pi$ पर प्राप्त होता है। अतः हम निम्निष्ठों के लिए यह प्रतिबंध लिख सकते हैं :

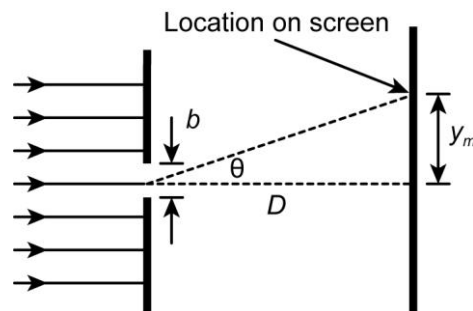
$$\begin{aligned} \beta &= \pm \pi, \pm 2\pi, \pm 3\pi, \dots \\ &= m\pi \quad m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \end{aligned} \quad (9.3)$$

ध्यान देने की बात यह है कि इस व्यंजक में हमने $m = 0$ को शामिल नहीं किया है क्योंकि यह प्रमुख उच्चिष्ठ ($\beta = 0$) के तदनुरूप है। समीकरण (9.2) में समीकरण (9.3) से प्राप्त β का मान प्रतिस्थापित करने पर हम पाते हैं कि निम्निष्ठ प्रतिबंध को निम्नवत भी लिखा जा सकता है :

$$\begin{aligned} b \sin \theta &= \pm \lambda, \pm 2\lambda, \pm 3\lambda, \dots \\ &= m\lambda, \quad m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \end{aligned} \quad (9.4)$$

निम्नलिखित गुणात्मक तर्कों और समीकरण का उपयोग करने के आधार पर आपको एकल झिरी पैटर्न का स्पष्ट विचार मिलेगा।

अब, इस प्रयोग और अपेक्षित मापन के प्रयोजन के लिए, चित्र 9.6 देखें, जो चित्र 9.5 का सरलीकृत रूप है।



चित्र 9.6: एक रेखाचित्र द्वारा विवर्तन ज्यामिति का अनुप्रस्थ परिच्छेद दृश्य।

हम जानते हैं कि चौड़ाई b के एक झिरी द्वारा प्रकाश का विवर्तन होता है और विवर्तन पैटर्न झिरी से D दूरी पर स्थित पर्दे पर देखा जाता है। मान लें कि y_m मूलधन के अधिकतम के मध्य बिंदु से m^{th} मिनिमा की दूरी है। यदि विवर्तन कोण θ है, तो विवर्तन पैटर्न में न्यूनतम के लिए शर्तें हैं :

$$b \sin \theta = m\lambda$$

$$\sin \theta = y_m / \sqrt{D^2 + y_m^2}$$

$D \gg y_m$. अतः हम लिख सकते हैं:

$$\sin \theta = y_m / D$$

इस मान के लिए निम्निष्ठ कि शर्त है:

$$b(y_m/D) = m\lambda$$

$$\text{or, } \lambda = (by_m/mD) \quad (9.5)$$

समीकरण (9.5) से पता चलता है कि जब आप झिरी की चौड़ाई b और मूल अधिकतम के मध्य बिंदु से m^{th} मिनिमा की दूरी y जान लेते हैं तो हम प्रकाश की तरंग दैर्ध्य निर्धारित कर सकते हैं।

अब आप पूछ सकते हैं: क्या हम समीकरण (9.5) का उपयोग भट्ठा के बजाय एक तार के लिए (तुलनीय मोटाई के) कर सकते हैं? उत्तर सकारात्मक है; आप समीकरण (9.5) का उपयोग कर सकते हैं भले ही एक तार को एक बाधा के रूप में उपयोग करके विवर्तन पैटर्न प्राप्त किया गया हो। मुख्य अधिकतम के केंद्र से मिनिमा की दूरी उसी मोटाई के तार के कारण होने वाले विवर्तन पैटर्न के लिए समान रहती है, जैसा कि बेबिनेट के सिद्धांत के अनुसार भट्ठा के मामले में होता है। अंतर केवल इतना है कि तार के विवर्तन पैटर्न का केंद्र उज्ज्वल दिखाई देगा क्योंकि लेज़र बीम का प्रतिशत जो तार द्वारा विवर्तित नहीं होता है, पैटर्न के केंद्र की तीव्रता को जोड़ता है।

9.3 कार्यविधि

एक तार के फ्रौनहोफर विवर्तन पैटर्न का उपयोग करके लेसर प्रकाश की तरंग दैर्ध्य निर्धारित करने के लिए, आपको (i) तार की मोटाई को मापने की आवश्यकता होती है, (ii) लेसर प्रकाश जिसकी तरंग दैर्ध्य निर्धारित की जानी है, का उपयोग करके तार का विवर्तन पैटर्न प्राप्त करना होता है, और (iii) विवर्तन पैटर्न में मुख्य अधिकतम और न्यूनतम के बीच की दूरी को मापनी होती है। इन गतिविधियों की कार्यविधि नीचे दी गई है।

9.3.1 तार की मोटाई मापना

1- सबसे पहले, चल सूक्ष्मदर्शी के वर्नियर पैमाने की अल्पतमांक (सब) निर्धारित करें और इसे प्रेक्षण तालिका 9-1 में नोट करें।

2- फ्रेम पर लगे तार को माइक्रोस्कोप के अभिदृश्यक के पास लंबवत रखें। तार को माइक्रोस्कोप के अभिदृश्यक से लगभग 10 सेमी की दूरी पर रखें।

- 3- सूक्ष्मदर्शी को क्षैतिज रूप से घुमाइए और तार के प्रतिबिम्ब का पता लगाइए।
- 4- फोकसिंग नॉब की सहायता से तार का प्रतिबिम्ब प्राप्त करें।
- 5- सूक्ष्मदर्शी की क्षैतिज गति के लिए बारीक समायोजन पेंच की सहायता से, नेत्रिका के क्रॉस वायर को तार के बाएँ किनारे से संरेखित करें। स्क्रू की सहायता से माइक्रोस्कोप की स्थिति को ठीक करें। प्रेक्षण में मुख्य पैमाने और वर्नियर पैमाने के पाठ्यांकों को तालिका 9-1 नोट कीजिए।
- 6- सूक्ष्मदर्शी को धीरे-धीरे तार के दूसरे किनारे की ओर ले जाएँ और नेत्रिका से देखते रहें। नेत्रिका के क्रॉस वायर को तार के दाहिने किनारे के साथ संरेखित करें। माइक्रोस्कोप की स्थिति को ठीक करें। पहले की तरह, प्रेक्षण तालिका 9-1 में मुख्य पैमाने और वर्नियर पैमाने के पाठ्यांकों को नोट करें।
- 7- चरण 3 से 6 को दोहराते हुए तार की लंबाई के साथ अलग-अलग बिंदुओं पर 2 से 3 रीडिंग लें और प्रेक्षण तालिका 9.1 में पाठ्यांकों को नोट करें।

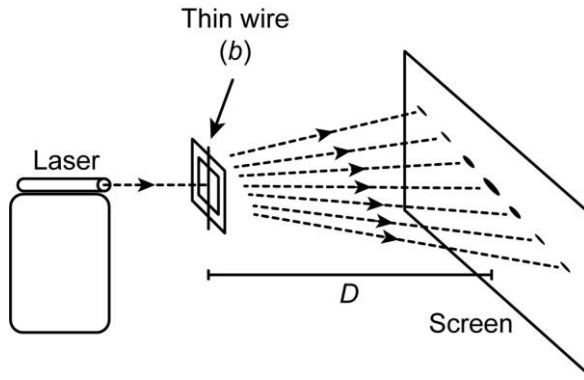
प्रेक्षण तालिका 9.1: तार की मोटाई

चल सूक्ष्मदर्शी का अल्पतमांक: cm

क्रम स.	सूक्ष्मदर्शी का रीडिंग						मुटाई (X-Y)	तार कि औसत मुटाई (b)
	बाईं ओर का रीडिंग (X)			दाईं ओर का रीडिंग (Y)				
	मुख्य पैमाना	वर्नि यर पैमा ना	कुल (X)	मुख्य पैमाना	वर्नियर पैमाना	कुल (Y)		
1								
2								
3								

9.3.2 विवर्तन पैटर्न प्राप्त करना

- 1- चित्र 9-7 में दर्शाए अनुसार लेसर, तार और प्रेक्षण स्क्रीन को एक रेखा के अनुदिश व्यवस्थित कीजिए।
- 2- सुनिश्चित करें कि तार तना हुआ है और तार और अवलोकन स्क्रीन (जो एक दीवार हो सकती है) के बीच की दूरी लगभग 1-5 से 2-0 मीटर है। तार स्टैंड की स्थिति को चिह्नित करें और इसे एक तरफ ले जाएं।
- 3- स्क्रीन पर, चिपकने वाली टेप या क्लिप की मदद से एक रूल्ड-पेपर को इस तरह संलग्न करें कि अंशांकित स्केल क्षैतिज हो। (आप रूल्ड पेपर की जगह ग्राफ पेपर का भी इस्तेमाल कर सकते हैं।)



चित्र 9.7 : एक रेखाचित्र द्वारा विवर्तन के लिए प्रायोगिक व्यवस्था ।

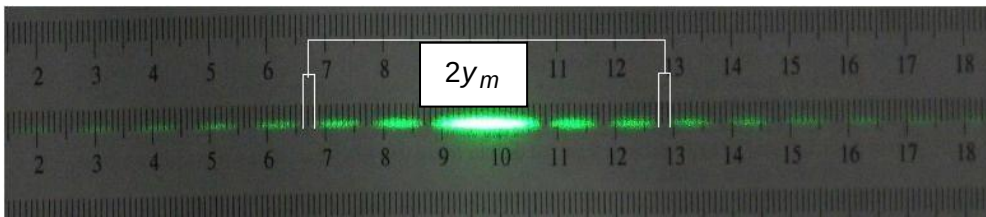
(सावधानी: लेसर बीम आपकी आंखों को नुकसान पहुंचा सकती है यदि आप इसे सीधे या कुछ चमकदार वस्तुओं से परावर्तित होने पर देखते हैं। इसलिए, आपको बेहद सावधान रहना चाहिए और कभी भी अपनी आंखों को लेसर की सीधी या परावर्तित रेखा में नहीं रहने देना चाहिए। हमेशा लेसर गॉगल्स पहनें। साथ ही, आपको लेसर को बार-बार बंद और चालू नहीं करना चाहिए।)

4- लेसर चालू करें। लेसर और स्क्रीन के बीच में कोई तार न होने के कारण, आपको स्क्रीन पर एक नुकीला स्थान दिखना चाहिए। लेसर और स्क्रीन की ऊंचाई को समायोजित करें ताकि लेसरस्पॉट सीधे पेपर/ग्राफ पेपर के मध्य लाइनों पर देखा जा सके।

5- अब तार (ऊर्ध्वाधर) को लेसर बीम के पथ में चरण 2 में अंकित स्थान पर लाएँ। जैसा कि चित्र 9-1 में दिखाया गया है, आप चमकीले धब्बों (विवर्तन पैटर्न) की एक क्षैतिज लकीर देखेंगे। विवर्तन पैटर्न को तेज बनाने के लिए तार और स्क्रीन के बीच की दूरी को समायोजित करें।

9.3.1 मुख्य अधिकतम और न्यूनतम के बीच की दूरी

1- केंद्रीय अधिकतम और उजी मिनीमा के बीच की दूरी को मापने के लिए, केंद्रीय अधिकतम के बाईं और दाईं ओर चमकीले धब्बों के किनारों पर पेंसिल से फ्रिंज पैटर्न को चिह्नित करें जैसा कि चित्र 9-8 में दिखाया गया है। प्रेक्षण तालिका 9-2 में किनारों की रीडिंग रिकॉर्ड करें।



चित्र 9.8 : एक रेखाचित्र द्वारा विवर्तन के लिए प्रायोगिक व्यवस्था ।

2- उ ($= 1] 2] 3]$ आदि) के प्रत्येक मान के लिए न्यूनतम के मध्य बिंदुओं की गणना करें और निर्धारित करने के लिए एक को दूसरे से घटाएं। (हो सकता है कि आप 3 से अधिक उ के लिए तेज चमकीले और काले धब्बे प्राप्त करने में सक्षम न हों। वर्तमान प्रयोग के लिए, उ = 3 तक माप लेना काफी अच्छा होना चाहिए।)

3- मापने वाले टेप का उपयोग करके तार और स्क्रीन के बीच की दूरी को मापें।

तार और पर्दे के बीच की दूरी, $D = 333..$ सेमी.

प्रेक्षण तालिका 9.2: मुख्य अधिकतम और न्यूनतम के बीच की दूरी

क्रम स.	मुख्य अधिकतम कि बाईं ओर मिनिम का स्थान			मुख्य अधिकतम कि बाईं ओर मिनिम का स्थान			अंतर ($x-y$)	औसत
	मुख्य पैमाना	वर्नि यर पैमा ना	कुल (x)	मुख्य पैमाना $\uparrow$	वर्नियर पैमाना $\uparrow$	कुल (y)		
1								
2								
3								

9.4 परिकलन और परिणाम

लेसर प्रकाश का तरंगदैर्घ्य परिकलित करने के लिए आपको प्रेक्षण सारणी 9.1 से b का मान और प्रेक्षण सारणी 9.2 से y_m का मान समीकरण (9.5) में रखना होगा। $m=1$ के लिए, समीकरण (9.5) निम्नवत परिवर्तित हो जाता है:

$$\lambda = (by_1/D) = \dots\dots\dots \text{nm}$$

इसी प्रकार, तरंगदैर्घ्य λ के लिए द्वितीय और उच्च पद के मिनिम का डाटा का प्रयोग करना होता है [समीकरण (9.5)]। इन मानों का औसत लें।

परिणाम : लेसर प्रकाश का औसत, $\lambda = \dots\dots\dots \text{nm}$

प्रकाश-संवेदक का प्रयोग करके एक लेसर के एकल रेखाच्छिद्र विवर्तन पैटर्न का अध्ययन

प्रयोग की रूपरेखा

- | | |
|--|------------------------|
| 10.1 प्रस्तावना | 10.4 प्रायोगिक विधि |
| अपेक्षित कौशल | 10.5 परिकलन एवं परिणाम |
| 10.2 तीव्रता वितरण तथा उच्चिष्ठों और निम्निष्ठों के लिए प्रतिबंध | |
| 10.3 उपकरणों का विवरण | |
| लेसर का विवरण | |
| प्रकाश-संवेदक का विवरण | |

10.1 प्रस्तावना

पिछले प्रयोग में आपने पतले तार द्वारा उत्पन्न विवर्तन पैटर्न के बारे में जाना। जैसा कि आप जानते हैं, विवर्तन प्रकाश का एक गुण है जिसमें प्रकाश एक सीधे पथ से विचलित होता है जब यह एक बाधा या प्रकाश की तरंग दैर्ध्य के बराबर चौड़ाई वाली किसी बहुत महीन रेखाच्छिद्र से होकर गुजरता है। आप जानते हैं कि विवर्तन के दो वर्ग हैं, फ्रेस्नेल और फ्रौनहोफर विवर्तन और इस प्रयोग में हम फ्रौनहोफर विवर्तन पर ध्यान केंद्रित करेंगे। हम विवर्तन पैटर्न की प्रकृति की जांच करेंगे जिसमें अनिवार्य रूप से अलग-अलग तीव्रता के उच्चिष्ठ और निम्निष्ठ शामिल हैं। विवर्तन पैटर्न में तीव्रता वितरण का अध्ययन करने के लिए एक प्रकाश-संवेदक (photo sensor) का उपयोग किया जाएगा। इस प्रयोग में आप एक He-Ne लेसर के संचालन को भी समझेंगे।

अपेक्षित कौशल

इस प्रयोग को करने के बाद आप इस योग्य होंगे कि :

- ❖ एकल रेखाछिद्र से विवर्तन पैटर्न प्राप्त कर पाएंगे ; और
- ❖ लेसर का उपयोग करके एकल रेखाछिद्र के विवर्तन पैटर्न की तीव्रता वितरण की जांच कर सकेंगे ; और
- ❖ उन विभिन्न प्राचलों की निर्भरता की व्याख्या कर सकेंगे जिन पर तीव्रता निर्भर करती है।

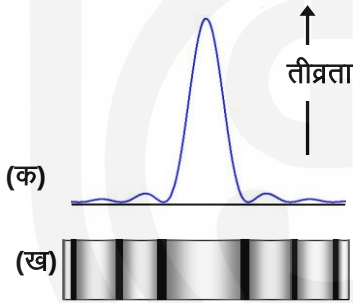
आइये हम इस प्रयोग में प्रयुक्त होने वाली सामग्री की सूची बनाते हैं।

आवश्यक उपकरण

He-Ne लेसर, ऑप्टिकल बेंच, विभिन्न चौड़ाई के एकल रेखाछिद्र, लेसर प्रोटेक्टिंग गॉगल्स, प्रकाश-संवेदक (photo sensor), मीटर स्केल और स्क्रीन।

अब हम विवर्तन की परिघटना का संक्षिप्त परिचय देते हैं।

10.2 तीव्रता वितरण तथा उच्चिष्ठों और निम्निष्ठों के लिए प्रतिबंध



चित्र 10.1: (क) एकल रेखाछिद्र फ्रौनहोफर विवर्तन पैटर्न में तीव्रता वितरण, और (ख) स्क्रीन पर देखा गया पैटर्न।

एक एकवर्णी स्रोत से कलासंबद्ध प्रकाश के एक ऊर्ध्वाधर रेखाछिद्र पर पड़ने से जो विवर्तन पैटर्न बनता है, उससे आप सब परिचित हैं। आपने इसका अध्ययन बीपीएचसीटी 137 पाठ्यक्रम की इकाई 10 में किया है। प्ररूपी एकल रेखाछिद्र विवर्तन पैटर्न चित्र 10.1 में दिखाया गया है, जो क्रमागत उच्चिष्ठों और निम्निष्ठों से बना है। केंद्रीय उच्चिष्ठ दोनों तरफ की उच्चिष्ठों की तुलना में बहुत बड़ा है, और केंद्र के दोनों ओर तीव्रता तेजी से घटती है। उच्चिष्ठ और निम्निष्ठ, स्लिट के विभिन्न हिस्सों से स्क्रीन तक पहुंचने वाले प्रकाश के रचनात्मक और विनाशी व्यतिकरण से उत्पन्न होते हैं। परिणामी तीव्रता इसलिए स्क्रीन के विभिन्न स्थानों पर भिन्न होती है। तीव्रता किन कारकों पर निर्भर करती है?

मान लें कि एक समतल तरंगाग्र (जैसे कि एक लेजर स्रोत से) एक विवर्तन रेखाछिद्र पर आपतित होता है, जैसा कि चित्र 10.2 में दिखाया गया है। विवर्तन पैटर्न रेखाछिद्र से L की दूरी पर स्थित एक स्क्रीन पर बनता है। OO' स्लिट के केंद्र O से स्क्रीन पर लंबवत एक सरल रेखा है।

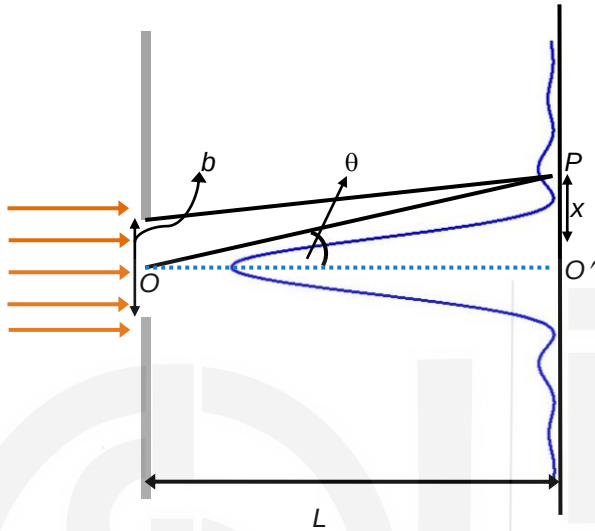
बिंदु P , स्क्रीन पर बिंदु O' से x दूरी पर स्थित एक बिंदु है। रेखा OP , बिंदु P को रेखाछिद्र के केंद्र O से जोड़ती है। OO' और OP' के बीच का कोण θ है।

बिंदु P पर विवर्तन पैटर्न की तीव्रता निम्नलिखित संबंध द्वारा परिभाषित है (समीकरण 10.8, इकाई 10, BPHCT-137):

$$I_{\theta} = I_0 \left[\frac{\sin\left(\frac{\pi b \sin \theta}{\lambda}\right)}{\left(\frac{\pi b \sin \theta}{\lambda}\right)} \right]^2 = I_0 \left[\frac{\sin \beta}{\beta} \right]^2 \quad (10.1)$$

जहाँ $\beta = \frac{\pi b \sin \theta}{\lambda}$ । यहाँ b रेखाछिद्र की चौड़ाई और λ प्रकाश की तरंगदैर्घ्य है।

I_0 केंद्रीय उच्चिष्ठ की तीव्रता है। $\theta = 0$ ($I = I_0$) के लिए तीव्रता अधिकतम है और केंद्रीय उच्चिष्ठ के दोनों ओर तीव्रता कम हो जाती है।



चित्र 10.2: एकल रेखाछिद्र से प्रकाश संचरण का किरण आरेख

विवर्तन पैटर्न के उच्चिष्ठ के लिए निम्नलिखित प्रतिबंध है:

$$\beta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\pi}{2} \rightarrow b \sin \theta \cong \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda, \text{ जहाँ } m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (10.2)$$

विवर्तन पैटर्न में निम्निष्ठ के लिए प्रतिबंध है:

$$\beta = m\pi \rightarrow b \sin \theta \cong m\lambda, \text{ जहाँ } m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (10.3)$$

अतः केंद्रीय उच्चिष्ठ की चौड़ाई निम्नलिखित है:

$$b \sin \theta = \lambda \quad (10.4)$$

कोण θ के छोटे मानों के लिए,

$$\sin \theta \cong \tan \theta = \frac{x}{L} \quad (10.5)$$

केंद्रीय उच्चिष्ठ की चौड़ाई से रेखाछिद्र की चौड़ाई का मूल्यांकन निम्नलिखित समीकरण द्वारा किया जा सकता है:

$$b = \frac{\lambda L}{x} \quad (10.6)$$

10.3 उपकरणों का विवरण

10.3.1 लेसर का विवरण

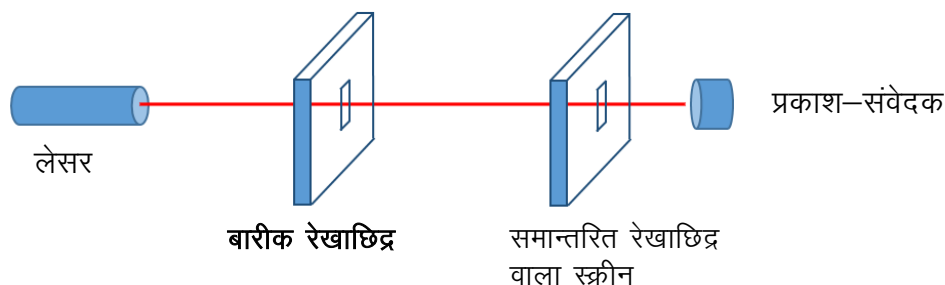
आपने तरंगें और प्रकाशिकी (BPHCT-137) पाठ्यक्रम की इकाई 12 में पढ़ा है कि हीलियम-नियॉन (He-Ne) लेसर एक चार-स्तरीय लेसर है जिसमें हीलियम और नियॉन गैसों को 10:1 के अनुपात में मिलाया जाता है। गैस मिश्रण को एक लंबी विसर्जन नली (discharge tube) में रखा जाता है, जो समतल दर्पणों से सज्जित है, जिनमें से एक अत्यधिक परावर्तक होता है जबकि दूसरा आंशिक रूप से पारदर्शी होता है। इसे लगभग 1 mm पोर के दबाव में बनाए रखा जाता है। यह उच्च कलासंबद्धता और दिशात्मकता वाली एक प्रकाश किरणपुंज पैदा करता है। दृश्य क्षेत्र में सबसे प्रमुख तरंगदैर्घ्य 632.8 nm है और प्रयोग करने के लिए इसी का उपयोग किया जाता है। जब उत्तेजित हीलियम परमाणुओं और नियॉन परमाणुओं के बीच संघट्टन होता है तब उनके बीच ऊर्जा का स्थानांतरण होता है जिससे की लेसन की क्रिया होती है।

(ध्यान रखें: आपको यह सुनिश्चित करना चाहिए कि लेसर बीम कभी भी सीधे किसी की आंखों में न जाए क्योंकि इससे गंभीर और स्थायी क्षति हो सकती है। जब लेसर उपयोग में न हो तो उसे बंद कर दें।)

10.3.2 प्रकाश-संवेदक का विवरण

प्रकाश-संवेदक एक ऐसा उपकरण है जो विद्युत् चुम्बकीय विकिरण का संवेदन करता है, विशेष रूप से प्रकाश का। यह एक प्रकाशीय सिग्नल के रूप में प्राप्त प्रकाश को विद्युत् सिग्नल में परिवर्तित करता है, जिसे उपकरण के आधार पर वोल्टता या धारा के रूप में मापा जा सकता है। आमतौर पर प्रकाश-संवेदक के लिए एक $p-n$ संधि का उपयोग किया जाता है, जो उपयुक्त पदार्थों के संयोजन से बना है। एक परावर्तन रोधी विलेपन वाली प्रदीपन खिड़की से ये फोटॉन अवशोषित करता है और अवक्षयी परत में तुल्य इलेक्ट्रॉन होल युग्म उत्पन्न करता है। एक उपयुक्त इलेक्ट्रॉनिक परिपथ में इन्हें संगृहीत करके इनका विश्लेषण किया जा सकता है।

(ध्यान रखें: लेसर और प्रकाश-संवेदक को यथासंभव दूर रखा जाना चाहिए।)



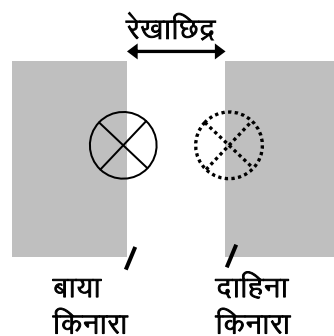
चित्र 10.3: एकल रेखाछिद्र विवर्तन पैटर्न के प्रेक्षण व्यवस्था का पार्श्व दृश्य।

10.4 प्रायोगिक विधि

1. स्रोत, रेखाछिद्र और स्क्रीन/ प्रकाश-संवेदक को व्यवस्थित करें जैसा कि चित्र 10.3 में दिखाया गया है। रेखाछिद्र की स्थिति को इस प्रकार अनुकूलित करें जिससे की

स्क्रीन पर स्पष्ट विवर्तन पैटर्न देखा जा सके (रेखाछिद्र की एक विशेष चौड़ाई के लिए) । लेसर लाइट को स्लिट और स्क्रीन पर आपतित करने के लिए एक उचित संरेखण किया जाना चाहिए।

- रेखाछिद्र और स्क्रीन के बीच की दूरी को एक स्पष्ट विवर्तन पैटर्न प्राप्त करने के लिए के लिए समायोजित करें।
- केंद्रीय उच्चिष्ठ पर तीव्रता को मापने के लिए प्रकाश-संवेदक की स्थिति को समायोजित करें। जैसा कि चित्र 10.2 में, दिखाया गया है, विभिन्न स्थितियों पर तीव्रता भिन्न होती है। प्रेक्षण सारणी 10.1 में प्रकाश-संवेदक की स्थिति को उस पर लगे माइक्रोमीटर से और संगत धारा / वोल्टता डिटेक्टर की सहायता से मांपकर लिखें ।
- अब प्रकाश-संवेदक को दूसरी स्थिति में ले जाएं और इस स्थिति में , स्थिति और धारा/वोल्टता की रीडिंग लें। रीडिंग को केंद्रीय उच्चिष्ठ के उसी तरफ रीडिंग लेना जारी रखें।
- केंद्रीय उच्चिष्ठ के दूसरी तरफ, विभिन्न स्थितियों के लिए चरण 4 को दोहराएं।
- रेखाछिद्र की चौड़ाई मापने के लिए आप एक चल सूक्ष्मदर्शी का उपयोग करेंगे। सबसे पहले इसकी अल्पतमांक मापें। फिर रेखाछिद्र के एक किनारे को क्रॉस-वायर पर फोकस करें, जैसा कि चित्र 10.4 में दिखाया गया है और रीडिंग लें । फिर चल सूक्ष्मदर्शी को रेखाछिद्र के दूसरे किनारे पर केंद्रित करें और रीडिंग लें। इन दो रीडिंग का अंतर रेखाछिद्र की चौड़ाई का मान है। रीडिंग के कम से कम तीन सेट लेने के बाद औसत लें। (प्रेक्षण सारणी 10.2)
- रेखाछिद्र और स्क्रीन के बीच की दूरी (L) को एक मीटर पैमाने से तीन बार मापें और औसत लें।



चित्र 10.3: रेखाछिद्र के बाये और दाहिने किनारे पर फोकसित चल सूक्ष्मदर्शी के क्रॉस -तार।

प्रेक्षण सारणी 10.1: स्थिति के साथ प्रकाश-संवेदक के अनुक्रिया का विचरण माइक्रोमीटर के वृत्तीय पैमाने का अल्पतमांक = mm

स्थिति	M.S.R (mm)	V.S.R (mm)	कुल रीडिंग (mm)	धारा / वोल्टता (A / V)
प्रकाश-संवेदक की स्थिति (केंद्रीय उच्चिष्ठ के दाहिने ओर)				
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
प्रकाश-संवेदक की स्थिति (केंद्रीय उच्चिष्ठ के बायें ओर)				
6.				

7.				
8.				
9.				
10.				

प्रेक्षण सारणी 10.2: चल सूक्ष्मदर्शी का उपयोग करके रेखाचित्र की चौड़ाई का मापन

सूक्ष्मदर्शी का अल्पतमांक =

क्रम सं.	क्रॉस तार रेखाचित्र के बायें किनारे पर			क्रॉस तार रेखाचित्र के दाहिने किनारे पर			रेखाचित्र की चौड़ाई (a-b) (mm)	रेखाचित्र की चौड़ाई का औसत मान
	MSR	VSR	कुल रीडिंग (a) (mm)	MSR	VSR	कुल रीडिंग (b) (mm)		
1.								
2.								
3.								

10.5 परिकलन एवं परिणाम

1. प्रकाश-संवेदक के रीडिंग (धारा / वोल्टता) को दूरी के फलन के रूप में आलेखित करें । (x- अक्ष पर दूरी और y- अक्ष पर धारा / वोल्टता लें।)
2. केंद्रीय उच्चिष्ठ की स्थिति को चिह्नित करें । केंद्रीय उच्चिष्ठ से दूरी x को L से विभाजित करके रेखाचित्र की चौड़ाई की गणना करें (समीकरण 10.6)। अपने परिणामों की तुलना प्रेक्षण सारणी 10.2 में परिकलित रेखाचित्र की चौड़ाई के साथ करें ।