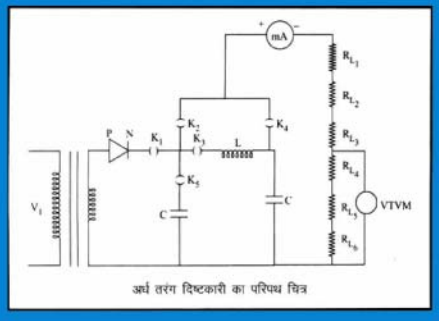
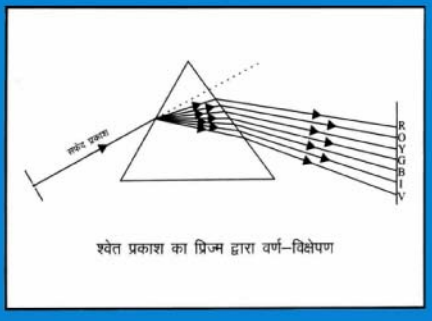
PH - 08

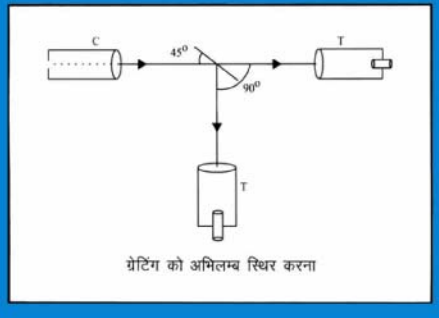
वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा



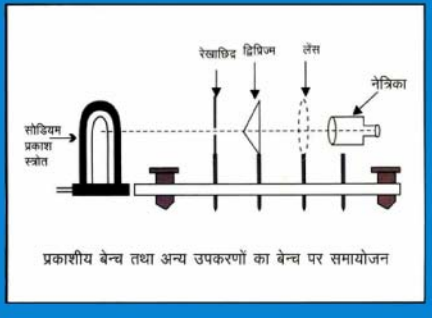
अर्ध तरंग दिष्टकारी का परिपथ चित्र



श्वेत प्रकाश का प्रिज्म द्वारा वर्ण–विक्षेपण



ग्रेटिंग को अभिलम्ब स्थिर करना



प्रकाशीय बेन्च तथा अन्य उपकरणों का बेन्च पर समायोजन

प्रायोगिक भौतिकी

PH-08

वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा

प्रायोगिक भौतिकी

पाठ्यक्रम अभिकल्प समिति

अध्यक्ष

प्रो.(डॉ.) नरेश दाधीच
कुलपति
वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा (राजस्थान)

समन्वयक/सदस्य

विषय समन्वयक
प्रोफेसर (डॉ.) एन. एस. सक्सेना
भौतिक विज्ञान विभाग
राजस्थान विश्वविद्यालय, जयपुर

सदस्य सचिव / समन्वयक
डॉ. अशोक शर्मा
सह आचार्य, राजनीति विज्ञान
वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा

सदस्य

1. **प्रो. आर. के. पाण्डेय**
   भौतिक विज्ञान विभाग
   बर्कतुल्ला विश्वविद्यालय, भोपाल
2. **प्रो. एस. आर. धारीवाल**
   A-332 सरस्वती नगर,
   बासनी फेज-I, जोधपुर
3. **प्रो. एम. हुसैन**
   भौतिक विज्ञान विभाग
   जामिया मिलिया इस्लामिया, नयी दिल्ली
4. **डॉ. के. बी. शर्मा**
   भौतिक विज्ञान विभाग
   एस. एस. जैन सुबोध (पी. जी.) कॉलेज, जयपुर
5. **डॉ. कानन बाला शर्मा**
   भौतिक विज्ञान विभाग
   राजस्थान विश्वविद्यालय, जयपुर
6. **डॉ. आर. एन. शर्मा**
   भौतिक विज्ञान विभाग
   एम. एस. जे. कॉलेज, भरतपुर
7. **डॉ. डी. सी. जैन**
   भौतिक विज्ञान विभाग
   राजस्थान विश्वविद्यालय, जयपुर
8. **श्री बी. एस. शर्मा**
   भौतिक विज्ञान विभाग
   राजकीय महाविद्यालय, कोटा

संपादक एवं पाठ लेखक

संपादक
डॉ. डी. सी. जैन
भौतिक विज्ञान विभाग राजस्थान विश्वविद्यालय, जयपुर

लेखक

1. **डॉ. रीटा शर्मा**
   भौतिक विज्ञान विभाग,
   एस. एस. जैन सुबोध (पी.जी.) कॉलेज, जयपुर
2. **डॉ. एस. एन. डोलिया,**
   भौतिक विज्ञान विभाग
   राजस्थान विश्वविद्यालय, जयपुर
3. **डॉ. दीपिका भण्डारी**
   भौतिक विज्ञान विभाग,
   एस. एस. जैन सुबोध (पी.जी.) कॉलेज, जयपुर
4. **डॉ. राजेश जैन**
   भौतिक विज्ञान विभाग,
   एस. एस. जैन सुबोध (पी.जी.) कॉलेज,जयपुर

अकादमिक एवं प्रशासनिक व्यवस्था

प्रो.(डॉ.) नरेश दाधीच	**प्रो. (डॉ.) अनाम जैतली**	**प्रो.(डॉ.) पी. के. शर्मा**
कुलपति	निदेशक (अकादमिक)	निदेशक
वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय,कोटा	संकाय विभाग	पाठ्यक्रम सामग्री उत्पादन एवं वितरण विभाग

पाठ्यक्रम उत्पादन

योगेन्द्र गोयल
सहायक उत्पादन अधिकारी
वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा

उत्पादन -जनवरी 2009

इस सामग्री के किसी भी अंश को व.म.खु.वि. कोटा की लिखित अनुमति के बिना किसी भी रूप में अथवा मिमियोग्राफी (चक्रमुद्रण) द्वारा या अन्यत्र पुनः प्रस्तुत करने की अनुमति नहीं है ।
व.म.खु.वि. कोटा के लिये कुलसचिव व.म.खु.वि. कोटा (राजस्थान) द्वारा मुद्रित एवं प्रकाशित ।

PH-08

वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा

प्रायोगिक भौतिकी

क्र.सं.	इकाई नाम	पृष्ठ संख्या
1.	न्यूटन रिंग विधि द्वारा एकवर्णीय प्रकाश स्रोत की तरंगदैर्ध्य व दिये गये द्रव का अपवर्तनांक ज्ञात करना	8
2.	एक दिये गये प्रिज्म की परिक्षेपी क्षमता स्पेक्ट्रोमीटर की सहायता से ज्ञात करना	27
3.	विवर्तन ग्रेटिंग का उपयोग करते हुए प्रकाश की तरंगदैर्ध्य ज्ञात करना	41
4.	ध्रुवणमापी की सहायता से चीनी के घोल का विशिष्ट घूर्णन ज्ञात करना	54
5.	द्विप्रिज्म की सहायता से एकवर्णीय प्रकाश स्रोत की तरंगदैर्ध्य ज्ञात करना	63
6.	क्लेमेन्ट व डेसोरेम विधि द्वारा ऊष्मागतिक नियतांक ?इ I $\gamma = \frac{C_P}{C_v}$ का मान ज्ञात करना	78
7.	ली की विधि से न्यून चालक पदार्थ की उष्मा चालकता ज्ञात करना	88
8.	वस्तु के कुल उत्सर्जित विकिरण का उसके ताप के साथ अध्ययन करना	96
9.	एक डायोड तथा L व π फिल्टर के उपयोग द्वारा अर्ध-तरंग दिष्टकारी का अध्ययन करना	104
10.	दो डायोड व L तथा π फिल्टर का उपयोग करते हुये पूर्ण तरंग दिष्टकारी का अध्ययन करना	116
11.	दो डायोड व फिल्टर परिपथ का उपयोग करते हुऐ एक शक्ति प्रदायक का अध्ययन करना	125
12.	किसी ट्रांजिस्टर के उभयनिष्ठ उत्सर्जक (CE) व उभयनिष्ठ आधार (CB) अभिविन्यासों में अभिलाक्षणिक वक्रों का अध्ययन करना	131
13.	(P-N) संधि डायोड की सहायता से किसी अर्धचालक का बैंड अंतराल ज्ञात करना	143
14.	एण्डरसन सेतु से कुंडली के प्रेरकत्व का मापन करना	157
15.	डिसॉटी के सेतु से किसी गुम्फित संधारित्र की धारिता ज्ञात करना तथा इससे दिये गये द्रव का परावैद्युतांक ज्ञात करना	169
16.	किसी दी गई कुंडली का शक्ति गुणांक CRO के द्वारा ज्ञात करना	180

आमुख

जन-जन तक शिक्षा प्रसार के उद्देश्य से वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा द्वारा दूरस्थ शिक्षा योजना के तहत स्नातक (विज्ञान) के विद्यार्थियों के लिये यह पाठ्य सामाग्री विशेष रूप से तैयार कराई गयी है । जिन विद्यार्थियों ने 1989 से पूर्ण मान्यता प्राप्त बोर्ड से विज्ञान संकाय मे 10+1 परीक्षा उत्तीर्ण की है वे भी इस ब्रिज कोर्स की परीक्षा उत्तीर्ण करने के पश्चात स्नातक (विज्ञान) स्तर पर प्रवेश के पात्र हो सकेंगे ।

भौतिकी, विज्ञान की एक प्रयोगात्मक तथ्यों पर आधारित शाखा है जिसके अध्ययन में प्रयोग तथा सिद्धान्त परस्पर पूरक होते हैं। प्राय सिद्धांतों का प्रतिपादन प्रयोगों से प्राप्त परिणामों के आधार पर होता है, साथ ही सिद्धांतों का प्रतिपादन प्रयोगों से प्राप्त परिणामों के आधार पर होता है, साथ ही सिद्धांतों से संबद्ध अवधारणाओं का सत्यापन भी प्रयोगों द्वारा संभव होता है । भौतिकी के प्रयोगो को सतर्कता से करने पर विद्यार्थी में कई गुणों का स्वत ही अर्जन हो जाता है । आत्मविश्वास, क्रमवद्ध क्रियान्वयन व जीवंत जिज्ञासा का समन्वय प्रयोगों को सफलतापूर्वक करने में सहायक होते हैं । प्रस्तुत पुस्तक में ऐसा प्रयास किया गया है कि छात्र स्वयं पढ़कर प्रयोग कर सके और उनकी स्वयं नए प्रयोग कर सकने कि क्षमता का विकास हो ।

प्रयोग सरल अथवा जटिल हो सकते हैं किन्तु उनके सम्पादन में अधिक सूझ- बुझ, तन्मयता, धैर्य एवं कौशल की आवश्यकता होती है । वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा ने बी.एससी. पार्ट II के लिए जिन प्रयोगों को उपयोगी माना उनका समावेश इस पुस्तक प्रयोगिक भौतिकी (PH-08) में किया गया है । पुस्तक की कुछ प्रमुख विशेषताएँ निम्न है -

- पुस्तक की भाषा सरल, स्पष्ट एवं बोधगम्य है ।
- प्रत्येक प्रयोग के उद्देश्यों; मूल अभिधारणाओं एवं महत्वपूर्ण परिभाषाओं को प्रयोग के प्रारम्भ में अथवा प्रयोग के साथ-साथ दिया गया है ।
- प्रयोग में कार्यकारी सिद्धांत विस्तार से दिये गए हैं ।
- प्रत्येक प्रयोग की विधि का वर्णन स्पष्ट रूप से तथा विस्तारपूर्वक सरलतम भाषा में किया गया है।
- चित्रों को स्पष्ट एवं प्रयोगिक सिद्धांतों के अनुरूप बनाया गया है ।
- प्रत्येक प्रयोग में बोध प्रश्न, महत्वपूर्ण मौखिक प्रश्न तथा उनके उत्तर भी दिये गए है जो साधारणतया प्रायोगिक परीक्षा के समय पूछे जाते हैं । इन प्रश्नों के द्वारा विद्यार्थी उस प्रयोग से संबद्ध अपने ज्ञान का मूल्यांकन भी कर सकते हैं ।
- पुस्तक में मी. कि. से. पद्धति का उपयोग किया गया है तथा तकनीकी पद भारत सरकार द्वारा स्वीकृति शब्दावली के अनुसार दिये गए हैं ।

इस पुस्तक को लिखने में कई संदर्भ पुस्तकों का उपयोग किया गया है जिसके लिए लेखकगण उन सभी / प्रकाशकों के आभारी हैं ।

प्रयोग - 1

न्यूटन रिंग विधि द्वारा एकवर्णीय प्रकाश स्रोत की तरंगदैर्ध्य व दिये गये द्रव का अपवर्तनांक ज्ञात करना

(To determine the wavelength of monochromatic light and refractive index of given liquid by Newton's rings method)

प्रयोग की रूपरेखा

1.0 उद्देश्य

1.1 प्रस्तावना

1.2 आवश्यक उपकरण

1.3 सिद्धान्त

1.4 चित्र

1.5 विधि

1.6 प्रेक्षण

1.7 गणना व परिणाम

1.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्रोत

1.9 सारांश

1.10 शब्दावली

1.11 संदर्भ ग्रन्थ

1.12 बोध प्रश्नों के उत्तर

1.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

1.0 उद्देश्य (objectives)

इस प्रयोग को करने के पश्चात् आप -

- परावर्तन व व्यतिकरण की घटना को भली भांति समझ सकेंगे;
- प्राप्त फ्रिंजों की विभिन्न कारकों पर निर्भरता का अध्ययन कर सकेंगे;
- प्रयोग में काम में लिये गये उपकरण, सूक्ष्मदर्शी तथा गोलाई मापी की कार्यविधि को समझ सकेंगे;
- दिये गये प्रकाश स्रोत की तरंगदैर्ध्य ज्ञात कर सकेंगे;
- किसी भी द्रव का अपवर्तनांक ज्ञात कर सकेंगे।

1.1 प्रस्तावना (Introduction)

प्रकाशिकी में आप प्रकाश की तरंग प्रकृति को प्रदर्शित करने वाली घटनाओं का अध्ययन कर चुके हैं। परावर्तन, अपवर्तन, व्यतिकरण, विवर्तन, ध्रुवण आदि घटनाएँ प्रकाश की तरंग प्रकृति को प्रदर्शित करती हैं। प्रकाश के इन्ही तरंग गुणों में से एक गुण (व्यतिकरण) का हम इस प्रयोग में अध्ययन करेंगे।

इस प्रयोग में हम प्रकाश के व्यतिकरण की घटना से प्रकाश की तरंगदैर्ध्य ज्ञात करेंगे। उपरोक्त अध्ययन के लिए हम एकवर्णी (monochromatic) प्रकाश स्रोत से प्राप्त प्रकाश की किरण का परावर्तन करा कर, दो कलासम्बद्ध किरणों से व्यतिकरण की घटना को प्रेक्षित करते हैं। परावर्तित किरणों में व्यतिकरण का एक मुख्य उदाहरण "न्यूटन वलयों का बनना" (formation of Newton's) हैं, जिसमें फानाकार फिल्म (wedge shaped film) की सहायता से व्यतिकरण होता है। हम न्यूटन वलयों के द्वारा ही प्रकाश की तरंगदैर्ध्य ज्ञात करेगें। प्रकाश की तरंगदैर्ध्य ज्ञात करने के साथ-साथ हम फानाकार फिल्म से उपस्थित द्रव का अपवर्तनांक (refractive index) भी न्यूटन वलयों की सहायता से ज्ञात करेंगे।

प्रयोग करने के लिए आवश्यक उपकरणों की सूची अनुच्छेद 1.2 में दी गयी है। अनुच्छेद 1.3 में प्रयोग से संबंधित भौतिक सिद्धान्त का संक्षिप्त विवरण दिया गया है। प्रयोग के आवश्यक प्रायोगिक समायोजन (experimental arrangement) अनुच्छेद 1.4 में दिया गया है। प्रयोग करने की बिन्दुवार विधि तथा प्रयोग से प्राप्त प्रेक्षणों को नोट करने के लिये प्रेक्षण सारणी क्रमश: अनुच्छेद 1.5 तथा 1.6 में दी गयी है। गणना की आवश्यक जानकारी अनुच्छेद 1.7 में दी गयी है। इसी अनुच्छेद में प्रयोग से प्राप्त परिणाम का भी उल्लेख किया गया है। प्रयोग करने के दौरान ध्यान में रखी जाने वाली सावधानियों तथा त्रुटियों के स्रोत की जानकारी अनुच्छेद 1.8 में दी गयी हैं। प्रयोग का सारांश अनुच्छेद 1.9 में दिया गया है। प्रयोग से सम्बन्धित महत्वपूर्ण शब्दावली अनुच्छेद 1.10 तथा संदर्भ ग्रन्थ अनुच्छेद 1.11 में दिये गये हैं। अनुच्छेद 1.12 में बोध प्रश्नों के उत्तर दिये गये हैं। अन्त में प्रयोग से संबंधित मौखिक प्रश्न तथा उनके उत्तर अनुच्छेद 1.13 में दिये गये है।

1.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

सोडियम लैम्प (Sodium lamp), छोटी फोकस दूरी वाला उत्तल लेंस, लगभग 100 सेमी फोकस दूरी वाला समतलोत्तल लेंस, न्यूटन वलय का उपकरण, चल सूक्ष्मदर्शी (travelling microscope) इत्यादि।

1.3 सिद्धान्त (Theory)

व्यतिकरण

जब भी किसी माध्यम में लगभग समान आयाम व आवृति वाली दो या दो से अधिक तरंगे एक ही दिशा में संचरित होती हैं तो अध्यारोपण के सिद्वान्त से प्राप्त परिणामी तरंग का विस्थापन दोनो तरंगों के अलग-अलग विस्थापनों के योग के बराबर होता हैं। जिसके फलस्वरूप

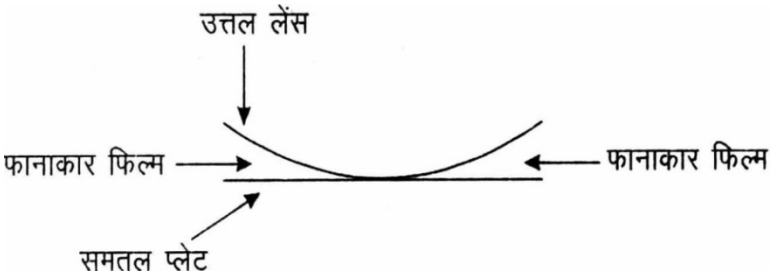
परिणामी तरंग की तीव्रता भिन्न-भिन्न स्थानों पर भिन्न-भिन्न होती है। तीव्रता के इस असमान वितरण को व्यतिकरण कहते हैं। जब तीव्रता अधिकतम होती है तो व्यतिकरण संपोषी व्यतिकरण कहलाता है तथा जब तीव्रता न्यूनतम होती है, व्यतिकरण विनाशी व्यतिकरण कहलाता है।

पतली फिल्मों में व्यतिकरण (Interference in thin films)

जब एक पतली फिल्म (thin film) पर प्रकाश आपतित होता है तो फिल्म के ऊपर व नीचे के पृष्ठों से परावर्तित प्रकाश की किरणों में व्यतिकरण होता है। इस घटना में चूंकि एक ही किरण के आयाम (amplitude) विभाजन से दो तरंगें (परावर्तित) प्राप्त होती हैं अत: ये तरंगे कलासम्बद्ध होती हैं। पानी के सतह पर पतली तेल की परत से तथा साबुन के बुलबुले से श्वेत प्रकाश में विभिन्न रंगों का दिखाई देना, पतली फिल्म के कारण व्यतिकरण के उदाहरण हैं।

फानाकार फिल्म (Wedge shaped film)

यदि एक लम्बी फोकस दूरी वाले एक समतल उत्तल लेंस को काँच की किसी समतल प्लेट पर इस प्रकार रखते हैं कि लेंस का उत्तल तल प्लेट के सम्पर्क में रहे तो लेंस तथा प्लेट के बीच वायु की फानाकार (वेजरूपी, wedge shaped) फिल्म बन जाती हैं, जिसकी मोटाई, उस बिन्दु पर, जहाँ लेंस का तल प्लेट को स्पर्श करता हैं, शून्य (zero) होती है तथा इसके चारों ओर बढ़ती जाती है।



चित्र 1.1 फानाकार फ़िल्म

इस असमान मोटाई वाली फिल्म को फानाकार फिल्म कहते हैं। इस प्रयोग में हम फानाकार फिल्म द्वारा परावर्तन करा, व्यतिकरण को प्रेक्षित करेंगे।

बोध प्रश्न (Self assessment question)

1. प्रकाश के तरंग गुण प्रदर्शित करने वाली घटनाओं के नाम लिखिए।

   .....

   .....

2. व्यतिकरण किसे कहते हैं?

   .....

   .....

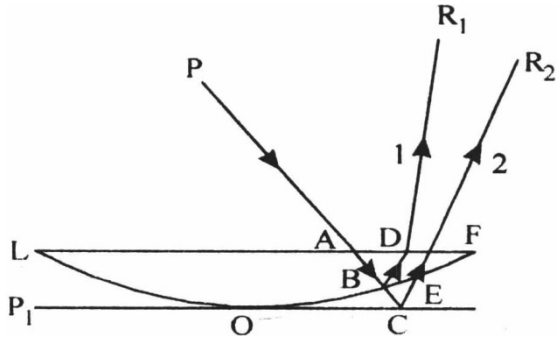
3. व्यतिकरण के लिये आवश्यक प्रतिबन्ध क्या है?

   .....

	………………………………………………………………………………
4.	फानाकार फिल्म किसे कहते हैं व यह कैसे बनती
	………………………………………………………………………………
	………………………………………………………………………………

न्यूटन वलय (Newton's ring)

जब एकवर्णी प्रकाश स्त्रोत की किरणें उपरोक्त फानाकार फिल्म पर अभिलम्बवत आपतित होती हैं तो फिल्म में आयाम के विभाजन से दो कलासम्बद्व स्रोत उत्पन्न होते हैं। इन स्रोतों से आने वाली तरंगों के अध्यारोपण से उत्पन्न व्यतिकरण से अनेक संकेन्द्रीय (concentric) वलयकार फ्रिंज दिखाई देती हैं, जो कि एकान्तर क्रम में दीप्त (bright) तथा अदीप्त (dark) होती हैं। ये वलयाकार फ्रिंज न्यूटन वलय (Newton's ring) कहलाती हैं। इन सकेन्द्रीय वलयों का केन्द्र बिन्दु अदीप्त होता है। इन्हे निम्न क्षमता के सूक्ष्मदर्शी (microscope) से देखा जा सकता हैं।



चित्र व 1.2 6 फिल्म द्वारा दो कलासम्बद्ध किरणें प्राप्त करना

चित्रानुसार, PA एक आपतित प्रकाश किरण है जो लेंस से गुजर कर वायु की फानाकार फिल्म पर गिरती है। फिल्म के ऊपरी पृष्ठ तथा निचले पृष्ठ से परावर्तन के पश्चात् क्रमश: किरणें DR_1, व FR_2, प्राप्त होती हैं। चूंकि दोनों किरणें एक ही किरण (PA) से प्राप्त होती हैं, अत: परस्पर कलासम्बद्व (coherent) होती हैं। कलासम्बद्ध किरणें DR_1, व FR_2, में व्यतिकरण होता है, जिससे वलयाकार फ्रिंजे (rings) बनती हैं। चित्र में किरणें PA, DR_1, व FR_2, लगभग अभिलम्बवत् हैं, चित्र की स्पष्टता के लिए आनत (झुकी हुई) दिखाई गयी हैं। चूंकि वलयाकार फ्रिंजे परावर्तित किरणों के व्यतिकरण से बनती हैं अत: व्यतिकारी किरणों के मध्य पथान्तर(Δ)

$$\Delta = 2\mu t\cos(r+ \phi) \pm \frac{\lambda}{2} \quad .....(1.1)$$

होगा, जहाँ, μ, फिल्म के माध्यम का अपवर्तनांक हैं, 't' आपतित किरण के संगत अर्थात बिन्दु C पर फिल्म की मोटाई है, ϕ; वायु फिल्म का अपवर्तन कोण तथा r; किसी बिन्दु पर वायु फिल्म का कोण हैं। $\frac{\lambda}{2}$, प्लेट के पृष्ठ पर सघन माध्यम (काँच) से परावर्तन के कारण कलान्तर π को प्रदर्शित करता है।

चूंकि फिल्म में माध्यम वायु है तथा वायु के लिए μ =1 होता हैं, अभिलम्ब आपतन के लिए ø= 0 तथा अधिक वक्रता त्रिज्या वाले लेंस के लिए, r =0, अत: सभी.(11) से

$$\Delta = 2t \pm \frac{\lambda}{2} \quad \text{.....(1.2)}$$

लेंस व प्लेट के स्पर्श बिन्दु (0 - point) पर t = 0, होता है। अत:

$$\Delta = + \frac{\lambda}{2} \quad \text{.....(1.3)}$$

यह न्यूनतम तीव्रता (dark fringe) का प्रतिबन्ध है अत: केन्द्रीय वलय अदीप्त होती है। 'n' वीं (n^{th}) चमकीली (दीप्त) फ्रिंज के लिए निम्न प्रतिबन्ध होता है-

$$\Delta = n\lambda \quad (1.4)$$

जहाँ n, एक पूर्णांक है।

समी (1.2) तथा (1.4) से-

$$\Delta = 2t \pm \frac{\lambda}{2} = n\lambda$$

$$\therefore \quad 2t = \left(2n + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2} \quad \text{.....} \quad (1.5)$$

इसी प्रकार 'n' वी अदीप्त फ्रिन्ज के लिए निम्न प्रतिबन्ध होता है-

$$\Delta = (2n \pm 1)\frac{\lambda}{2} \quad \text{.....(1.6)}$$

समी (1.2) तथा (1.6) से

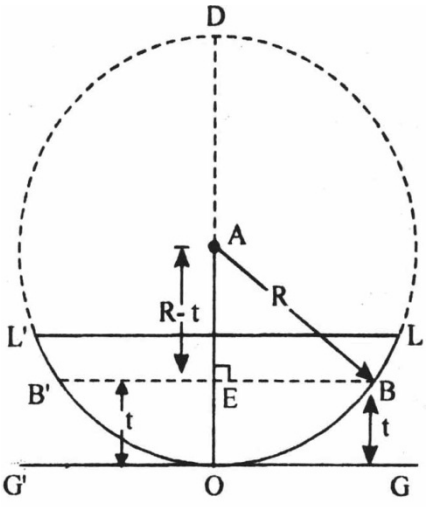
$$\Delta = 2t \pm \frac{\lambda}{2} = (2n \pm 1)\frac{\lambda}{2}$$

$$\therefore \quad 2t = n\lambda \quad \text{.....(1.7)}$$

अर्थात किसी विशेष क्रम (n का मान) का व्यतिकरण, 't' के किसी विशेष मान के लिये होता हैं। 't' के किसी विशेष मान के लिए किसी विशेष क्रम (order) 'n' की अदीप्त या दीप्त फ्रिन्ज प्राप्त होती हैं। चूंकि वायु की फिल्म में 't' एक वृत्त के अनुदिश (जिसका केन्द्र संस्पर्श बिन्दु है) नियत रहता है, अत: फ्रिंजे संकेन्द्रीय वलयों के रूप में होती हैं। प्रत्येक फ्रिन्ज उन बिन्दुओं को मिलाने पर प्राप्त होती है, जो वायु फिल्म की एक निशचित मोटाई पर स्थित हैं। अत: इन्हे नियत मोटाई वाली फ्रिन्ज (fringes of constant thickness) भी कहा जाता है।

वलयों का व्यास (Diameter

चित्र 1.3 के अनुसार, काँच की प्लेट GG' पर एक लेंस LOL' इस प्रकार रखा हैं कि संस्पर्श बिन्दु O है। माना लेंस के वक्रीय पृष्ठ की वक्रता त्रिजया (radius of curvature) R हैं तथा प्लेट व लेंस के मध्य वायु फिल्म की मोटाई B बिन्दु पर t है। माना इसके संगत न्यूटन की वलयाकार फ्रिन्ज की त्रिज्या r_n है। अब व्यास OD पर एक लम्ब 'BE' खींचते है।



चित्र 1.3

चित्र से-

$$R^2 = (R-t)^2 + r_n^2 \quad \left[(AB)^2 = AE^2 + EB^2\right]$$

या $R^2 = R^2 + t^2 + r_n^2$

$\because$ $t <<< R$, अत: t^2 को नगण्य मान सकते हैं।

$\because$ $r_n^2 = Rt$

$\because$ $2t = \frac{r_n^2}{R}$ (1.8)

दीप्त वलयों के लिए-

समी (1.5) व (1.8) से-

$$2t = (2n \pm 1)\ \frac{\lambda}{2} = \frac{r_n^2}{R}$$

या $r_n^2 = (2n \pm 1)\ \frac{\lambda R}{2}$

यदि 'n' वी दीप्त वलय का व्यास (diameter) D_n हो तो-

$D_n = 2r_n$

$\because$ $D_n^2) 2 = n \pm (1\ \lambda R$

$D_n = \sqrt{2\lambda R}\ \sqrt{(2n \pm 1)}$ (1.9)

.....

$D_n \propto \sqrt{2n \pm 1}$

.....(1.10)

चूंकि n एक पूर्णांक हैं अत: 2)n ± 1) एक विषम संख्या हैं अत: दीप्त वलयों का व्यास विषम पूर्ण संख्याओं के वर्गमूल के समानुपाती होता है।

(i) अदीप्त वलयों के लिए-

समी. (1.7) व (1.8) से-

$$2t = n\lambda = \frac{r_n^2}{R}$$

$$\therefore \quad r_n^2 = n\lambda R$$

यदि n वीं अदीप्त वलय का व्यास "D_n " हो तो -

$$D_n^2 = 4r_n^2$$

$$\therefore \quad D_n^2 = 4n\lambda R \qquad .....(1.11)$$

$$D_n = \sqrt{4\lambda R} \quad \sqrt{n} \qquad ...(1.12)$$

इस प्रकार न्यूटन के अदीप्त वलयों का व्यास प्राकृतिक संख्याओं (natural numbers) के वर्गमूल के समानुपाती होता है।

(a) एकवर्णी प्रकाश की तरंगदैर्ध्य (λ) ज्ञात करना

अब n वीं व (n+ p)वीं अदीप्त या दीप्त वलयों को लेने पर-

अदीप्त वलय के लिए

सभी. (1.11) से -

$$\because \quad D_{n+p}^2 = 4R(n+p)\lambda \quad \text{व}$$

$$D_n^2 = 4Rn\lambda$$

$$D_{n+p}^2 - D_n^2 = 4Rp\lambda \qquad (1.13)$$

दीप्त वलय के लिए

सभी. (1.9) से

$$\therefore \quad D_{n+p}^2 = 2\left[2(n+p) \pm 1\right]\lambda R$$

$$D_n^2 = 2\left[2n \pm 1\right]\lambda R$$

$$D_{n+p}^2 - D_n^2 = 4R\,p\lambda \qquad .....(1.14)$$

समी (1.13) या समी (1.14) से-

$\lambda = \frac{D_{n+p}^2 - D_n^2}{4Rp}$ (1.15) उपरोक्त संबंध दीप्त तथा अदीप्त दोनों प्रकार की वलयों के लिए वैध हैं। अत: (n + p) वीं व n वीं दीप्त या अदीप्त वलयों का व्यास, लेंस के उत्तल तल की वक्रता त्रिज्या ज्ञात करके प्रकाश की तरंगदैर्ध्य ज्ञात की जा सकती है।

(b) द्रव का अपवर्तनांक ज्ञात करना

यदि वायु की फानाकार फिल्म में लेंस व समतल प्लेट के मध्य प्रायोगिक द्रव (जिसका अपवर्तनांक ज्ञात करना हैं) रख दिया जाये तो ऐसी स्थिति में पथान्तर-

$$\Delta = 2\mu t \frac{\lambda}{2} \qquad (1.15)$$

यहाँ r = 0, लेकिन μ = 1, μ द्रव का अपवर्तनांक हैं, जो ज्ञात है।

n वी दीप्त वलय के लिए -

$2\ \mu\ t \pm \frac{\lambda}{2} = n\lambda$

$2t\ (2n \pm 1)\ \frac{\lambda}{2\mu}$

$\because\ 2t = \frac{r_n^2}{R}$ [समी. (1.16)

$\therefore\ r_n^2 = (2n \pm 1)\ \frac{\lambda R}{2\mu}$

$\therefore\ D_n^2 = 2(2(2n \pm 1)1)\ \frac{\lambda R}{\mu}$ (1.17)

व $D_{n+p}^2 = 2(2(n + p) \pm 1)\ \frac{\lambda R}{\mu}$ (1.18)

समी (1.18) व (1.17) से-

$\left[D_{n+p}^2 - D_n^2\right]_{\text{द्रव}} = \frac{4\lambda Rp}{\mu}$ (1.19)

$\because$ वायु में

$\left[D_{n+p}^2 - D_n^2\right]_{\text{वायु}} = 4\lambda Rp$]समी. [(1.15)

अत: समी. (1.19) व (1.15) से

$$\mu = \frac{\left[D_{n+p}^2 - D_n^2\right]}{\left[D_{n+p}^2 - D_n^2\right]} \qquad (1.20)$$

अत: द्रव व वायु में न्यूटन की वलयाकार फ्रिन्जों का व्यास नापकर तथा गणना में p का एक ही मान प्रयुक्त करके द्रव के अपवर्तनांक 'μ ' का मान ज्ञात करते हैं।

बोध प्रश्न (Self - assessment questions)

5. न्यूटन वलय किसे कहते हैं व यह कैसे बनती है?

.....

.....

6. न्यूटन वलय की आकृति कैसी होती है?

.....

.....

7. दीप्त फ्रिंजों (वलयों) के लिए पथान्तर का मान कितना होता है?

.....

.....

8. अदीप्त वलयों के लिए पथान्तर का मान लिखिये।

.....

.....

9. दीप्त व अदीप्त वलयों का व्यास किसी एक विशेष प्रायोगिक समायोजन निर्भर करता है?

.....

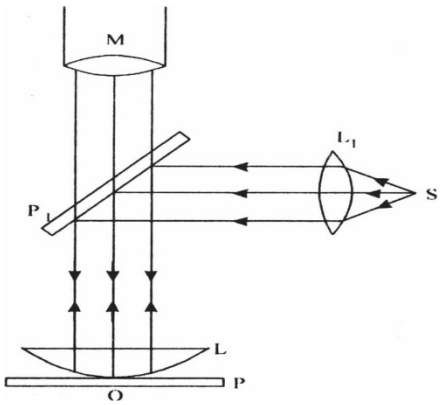
.....

10. परावर्तित किरणों के मध्य पथान्तर किस पर निर्भर करता हैं?

.....

.....

1.4 चित्र (Diagram)



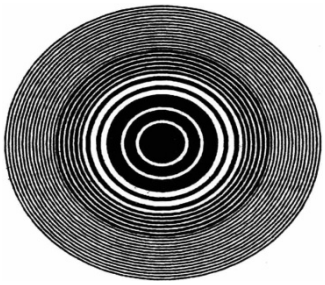
चित्र 1.4: न्यूटन वलय के लिए प्रायोगिक समायोजन

L : अधिक वक्रता त्रिज्या वाला समतल उत्तल लेंस

P1तथा **P**: काँच की समतल प्लेटें, **P1** तथा **P** के बीच कोण लगभग 45° का हो

S : एकवर्णी प्रकाश स्रोत

M : चल सूक्ष्मदर्शी



चित्र 1.5 : न्यूटन वलय

1.5 विधि (Method)

न्यूटन वलय के लिए समायोजन

(i) सर्वप्रथम चल सूक्ष्मदर्शी को स्प्रिट लेवल की सहायता से तल में क्षैतिज (horizontal) कीजिए तथा इसका लधुत्मांक नोट कीजिए।

(ii) अनुच्छेद 1.4 में दिये गये समायोजन के अनुसार, लेंस, समतल प्लेट व काँच की प्लेट को संयोजित कीजिये।

(iii) झुकी हुई प्लेट P_1 को इस प्रकार से समायोजित कीजिये कि केन्द्र पर तीव्रता अधिकतम हो इस स्थिति में एक केन्द्रीय धब्बा spot तथा उसके चारों ओर संकेन्द्रिक फ्रिन्जे (वृत्ताकार) दिखाई देती हैं। यही न्यूटन वलय हैं। यह आँखों द्वारा भी देखी जा सकती हैं। यदि आँखों से वलय स्पष्ट दिखाई दे तो सूक्ष्मदर्शी को इन्ही फ्रिन्जों पर फोकस कीजिये।

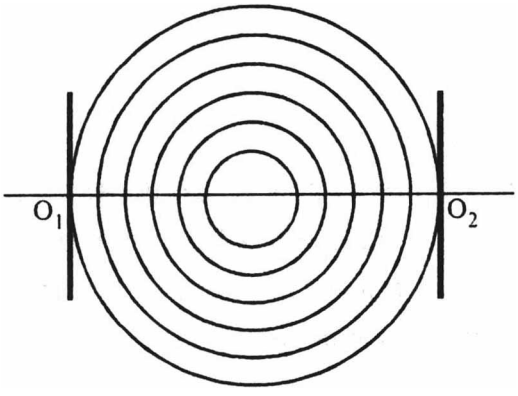
(iv) सूक्ष्मदर्शी को फ्रिंजों पर फोकस करने के लिए, सूक्ष्मदर्शी को क्रास-तार (cross-wire) पर फोकसित करें। अब लेंस पर एक क्रॉस चिन्हांकित कागज (+) रखें है तथा सूक्ष्मदर्शी को इस क्रॉस चिन्ह (+) के ठीक ऊपर लावें। सूक्ष्मदर्शी को इस चिन्ह पर फोकसित करने के पश्चात् कागज हटा दें तथा सूक्ष्मदर्शी को लेंस की मोटाई के लगभग बराबर दूरी से नीचे सरकाएँ। इस स्थिति में फ्रिंजे (वलय) दिखाइ दे सकती हैं। यदि फ्रिन्जें नही दिखाई दे तो फ्रेम को आगे-पीछे या इधर-उधर सरकाएँ व सूक्ष्मदर्शी को भी इस प्रकार चलाएँ कि अन्ततः सूक्ष्मदर्शी के दृश्य क्षेत्र में वलय दिखाई देने लेगे।

वलयों के व्यासों का मापन

(v) सूक्ष्मदर्शी को क्षैतिज दिशा में वलयाकार फ्रिंजों के केन्द्र (spot) पर लावें। अब नेत्रिका (eye piece) को इतना घुमाएं कि क्रास तार (XX) सूक्ष्मदर्शी की क्षैतिज गति की दिशा के समान्तर हो।

(vi) अब वलयों को गिनते हुए सूक्ष्मदर्शी को एक ओर चलाएँ व केन्द्र से लगभग 20-25 फ्रिन्ज दूर ले जाएँ। स्पर्शी पेंच द्वारा वापस चलाकर क्रॉस तार YY को किसी एक

फ्रिन्ज पर स्पर्शी सैट करें तथा सूक्ष्मदर्शी के क्षैतिज पैमाने (horizontal scale) से पाठ्यांक नोट करें।



चित्र 1.6 वलयो के व्यास का मापन

(vii) अब सूक्ष्मदर्शी को स्पर्शी पेंच की सहायता से फ्रिंजों के केन्द्र की ओर चलाते हुए क्रॉस तार (YY) को एक छोड़कर दूसरे वलय पर स्पर्शी सैट करें तथा चल सूक्ष्मदर्शी के क्षैतिज पैमाने के पाठ्यांक को नोट कर लें।

(viii) विधि बिन्दु (vii) के अनुसार एक छोड़कर एक आने वाले वलय पर क्रास तार सैट करते हुए केन्द्र की ओर बढ़े तथा संगत पाठ्यांक नोट करें। केन्द्र के पास की 4-5 फ्रिंजों को छोड़ दें।

(ix) अब केन्द्र (spot) को पार कर दूसरी ओर सूक्ष्मदर्शी को आगे बढ़ावे व उन्ही क्रमांक वाले वलयों पर क्रास तार को स्पर्शी सैट करें, जिन पर पहले पाठ्यांक नोट कर चुके हैं। क्रास तार को सैट करके संगत पाठ्यांक नोट करते जाते हैं।

(x) उपरोक्त विधि बिन्दुओं (viii) व (ix) से प्राप्त पाठ्यांको की सहायता से प्रत्येक वलय का व्यास ज्ञात करें व व्यास के वर्ग की गणना कर लीजिए।

(xi) सारणी में निर्दिष्ट विधि से p के किसी उचित मान के लिए $\left(D_{n+p}^2 - D_n^2\right)$ का मान ज्ञात कर औसत मान प्राप्त कर लीजिए।

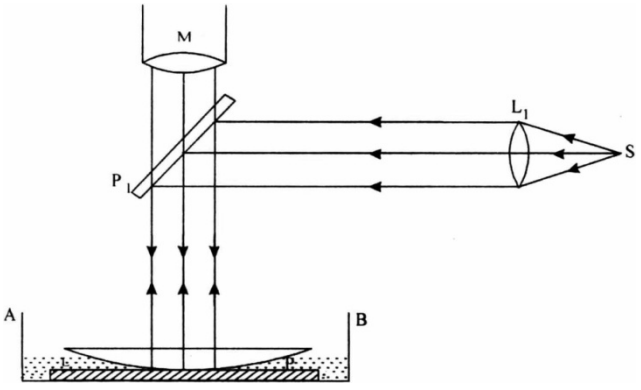
(xii) $\left(D_{n+p}^2 - D_n^2\right)$ का मान p के किसी निशचित मान के लिए ग्राफीय विधि से भी ज्ञात कर सकते हैं। इसके लिए वलय संख्या को X -अक्ष पर लेकर तथा संगत व्यास वर्ग $\left(D_n^2\right)$को Y-अक्ष पर लेकर एक ग्राफ (वक्र) खीचिये। यह वक्र एक सरल रेखा होती है। इस वक्र से n तथा (n + p) के समुचित मान लेकर $D_{n+p}^2 - D_n^2$का मान ज्ञात कर लीजिए।

(xiii) लेंस के वक्रता तल की वक्रता त्रिज्या (R) गोलाई मापी की सहायता से ज्ञात कीजिये।

(xiv) अन्त में उपरोक्त राशियों के मान समी. (1.15) में रखकर एकवर्णी प्रकाश की तरंगदैर्ध्य (λ) ज्ञात करें।

द्रव का अपवर्तनांक ज्ञात करना

(xv) काँच की प्लेट 'P' पर कुछ बूँदे प्रायोगिक द्रव (जिसका अपवर्तनांक 'μ' ज्ञात करना है) की डालें। प्लेट के ऊपर समतलोत्तल लेंस (L) को वापस उसी प्रकार रखते हैं, जैसे पूर्व प्रायोगिक समायोजन में रखा गया है। अब वायु फिल्म के स्थान काँच की प्लेट व लेंस के मध्य द्रव की फिल्म बन जाती है।



चित्र 1.7 द्रव का अपवर्तनाक शत करने के लिए प्रायोगिक समायोजन

(xvi) अब पुन: विधि बिन्दु (v) से (xiv) को दोहराते हुए $\left(D_{n+p}^2 - D_n^2\right)$ का मान द्रव के लिए ज्ञात कर कीजिए।

(xvii) समी. (1.20) में तथा $\left(D_{n+p}^2 - D_n^2\right)_{\text{वायु}}$ तथा $\left(D_{n+p}^2 - D_n^2\right)_{\text{द्रव}}$ के मान रखकर द्रव का अपवर्तनांक μ का मान ज्ञात करें।

1.6 प्रेक्षण (Observations)

(1) $\left(D_{n+p}^2 - D_n^2\right)_{\text{वायु}}$ ज्ञात करना तथा

(2) $\left(D_{n+p}^2 - D_n^2\right)_{\text{द्रव}}$ ज्ञात करना

(i) सूक्ष्मदर्शी के मुख्य पैमाने का एक भाग (x) = ... सेमी.

(ii) सूक्ष्मदर्शी के वर्नियर पैमाने पर भागों की संख्या (y) = ...

(iii) वर्नियर पैमाने का अल्पतमांक $\left(\frac{x}{y}\right)$ = ... सेमी

(3) वक्रता त्रिज्या (R) का मान

(i) स्फेरोमीटर (गोलाईमापी) के मुख्य पैमाने का एक भाग (x)= ..... सेमी

(ii) गोलाईमापी के वृताकार पैमाने पर भागों की संख्या (y)= .....

(iii) गोलाईमापी का अल्पतमांक $\frac{x}{y}$ = ... सेमी

(iv) गोलाईमापी के स्थिर पैरो के मध्य दूरी a ..... सेमी

क्र.सं	वलय कम	माक्रोमीटर पाठ्यक्रम: एक सिरे	माक्रोमीटर पाठ्यक्रम: दूसरे सिरे पर (सेमी)	व्यास D	D^2	P= 10 के लिए

माक्रोमीटर पाठ्यक्रम = संख्या पैमाने का पाठ्यांक - (सम्पाती चिन्ह x अल्पतमांक)

		पर (सेमी) **(a)**	**(b)**	(सेमी) **(b-a)**	(सेमी^{2})	$D^2_{n=p} - D^2_n$ (सेमी^{2})
1	x					
2	x = 2					
3	x = 4					
4	x = 6					
5	x = 8					
6	x = 10					
7	x = 12					
8	x = 14					
9	x = 16					
10	x = 18				माध्य	.....

(3) वक्रता त्रिज्या (R) का मान

(i) स्फेरोमीटर (गोलाईमापी) के मुख्य पैमाने का एक भाग (x) = ... सेमी

(ii) गोलाईमापी के वृताकार पैमाने पर भागों की संख्या (y) = ...

(iii) गोलाईमापी का अल्प्त्मांक $\frac{x}{y}$ = ... सेमी

(iv) गोलाईमापी के स्थिर पैंरो के मध्य दूरी a ..... सेमी

वृताकार पैमाने का पाठ्यक्रम = सम्पाती चिन्ह x अल्पतमांक

क्र. सं	स्फेरोमीटर (गोलाईमापी) पाठ्यक्रम						h = (b-a) सेमी
	समतल सतह पर पाठ्यक्रम			लेंस पर पाठ्यक्रम			
	मुख्य पैमाने (सेमी) 1	वृताकार पैमाने (सेमी) 2	मुख्य पाठ्यक्रम (सेमी) (a) (1+2)	कुल पैमाने (सेमी) 3	वृताकार पैमाने (सेमी) 2	मुख्य पाठ्यक्रम (सेमी) (a) (1+2)	
1							
2							
3							
4							
						माध्य	

1.7 गणना व परिणाम (Calculations and result)

गणना

(i) प्रेक्षण सारिणी से $\left(D^2_{n+p} - D^2_n\right)$ मान, p के किसी निशचित मान के लिए ज्ञात करके $\left(D^2_{n+p} - D^2_n\right)_{\text{वायु}}$ तथा $\left(D^2_{n+p} - D^2_n\right)_{\text{द्रव}}$ के मान ज्ञात कर लेते हैं।

(ii) उत्तल लैस की वक्रता त्रिज्या गोलाईमापी से निम्न सूत्र के द्वारा ज्ञात करते हैं-

$$R = \frac{a^2}{6h} + \frac{h}{2}$$

a व h के मान प्रेक्षण सारणी से लेते हैं।

(iii) एकवर्णी प्रकाश (monochromatic light) की तरंगदैर्ध्य की गणना निम्न समी (समी.1.15) के द्वारा करते हैं-

$$\lambda = \frac{\left(D_{n+p}^2 - D_n^2\right)}{4pR}_{\text{वायु}} \qquad \text{[समी. (1.15)]}$$

(iv) द्रव के अपवर्तनांक के सूत्र में (समी. 1.2) प्रेक्षण से प्राप्त मान रखकर, द्रव का अपवर्तनांक ज्ञात करते है।

$$\mu = \frac{\left(D_{n+p}^2 - D_n^2\right)}{\left(D_{n+p}^2 - D_n^2\right)_{drav}}_{\text{वायु}} \qquad \text{[समी. (1.20)]}$$

परिणाम

(i) न्यूटन की वलय विधि द्वारा एकवर्णी प्रकाश (सोडियम) की तरंगदैर्ध्य λ =....A^o प्राप्त हुई।

(ii) प्रायोगिक द्रव का अपवर्तनांक μ = ... प्राप्त हुआ।

1.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्रोत (Precautions and sources of error)

पूर्वावधान

(i) काँच की प्लेट व लेंस को भलीभांति साफ कर लेना चाहिए अन्यथा, वलय वृताकार न बनकर दीर्धवृत्ताकार बनेंगे।

(ii) न्यूटन वलयों में केन्द्रीय धब्बा (central spot) अदीप्त (dark) होना चाहिए. इसके लिए लेंस व प्लेट की संस्पर्श बिन्दु पर मोटाई शून्य होनी चाहिए।

(iii) समतलोत्तल लेंस की वक्रता त्रिज्या अधिक होनी चाहिए अन्यथा प्लेट व लैस के मध्य फानाकार फिल्म का कोण' (r) छोटा नही होगा, तथा प्राप्त वलयों का व्यास बहुत कम होगा, जिन्हे मापने में त्रुटि की संभावना बढ़ जायेगी।

(iv) सूख्मदर्शी के क्रासतार का कटान बिन्दु (point of intersection), केन्द्रीय वलय के केन्द्र के सम्पाती होना चाहिए, तभी हम व्यास का सही मापन कर पायेंगे।

(v) न्यूटन वलय में एकान्तर क्रम में दीप्त व अदीप्त वलय बनते हैं। व्यास मापन के लिए दीप्त वलय लेने चाहिए। चूंकि दीप्त वलय की पृष्ठभूमि (background) व क्रासतार के बीच वैषम्य (contrast) होता है, अत: क्रासतार को दीप्त वलय की चौड़ाई के मध्य में लाना संभव हो जाता है।

(vi) वलयों के व्यास का मापन, हमें प्रारम्भ की 4-5 वलयों को छोड़कर करना चाहिए क्योंकि प्रारम्भ में दीप्त वलयों की चौड़ाई अधिक होती है, जिसकी वजह से क्रासतार को एकदम बीच में लाना असंभव होता है।

(vii) सूक्ष्मदर्शी में स्पर्शी पेंच को पूरा घुमाकर यह सुनिश्चित कर लेना चाहिए कि वे सभी वलय, जिनके व्यास का मापन करना है, सूक्ष्मदर्शी के अभिदृश्य क्षेत्र में आ रहे या नहीं। ऐसा नहीं होने से कुछ वलयों को छोड़ना पड सकता है व प्रयोग की सुग्रहिता कम होती है।

(viii) सूक्ष्मदर्शी के माइक्रोमीटर के पेंच को एक ही दिशा में घुमाना चाहिए अन्यथा पिच्छट त्रुटि आ जाती है।

त्रुटियों के स्त्रोत

(i) काँच की प्लेट (P) की ऊपरी सतह व लेंस का साफ नहीं होना।

(ii) समतलोत्तल लेंस की फोकस दूरी का कम होना।

(iii) स्रोत से प्राप्त प्रकाश किरणों का समान्तर व क्षैतिज नही होना।

(iv) सूक्ष्मदर्शी के क्रासतार के कटान बिन्दु का वलय के केन्द्र पर न होने से व्यास के मापन में त्रुटि होना।

(v) माइक्रोमीटर पेंच को एक ही दिशा में नही घुमाने के कारण पिच्छट त्रुटि का उत्पन्न होना।

(vi) सूक्ष्मदर्शी के स्पर्शी पेंच को प्रारम्भ से अन्त तक घुमाने पर वलयों का सूक्ष्मदर्शी के अभिदृश्य क्षेत्र में न आना।

1.9 सारांश (Summary)

- न्यूटन वलय विधि में काँच की समतल प्लेट तथा उत्तल लेंस के मध्य बनी वायु की फानाकार फिल्म से अभिलम्ब आपपित किरण के परावर्तन से प्राप्त किरणों में व्यतिकरण होता है। जिसके फलस्वरूप वलयाकार दीप्त व अदीप्त फ्रिंजे बनती है। इन वलयों को न्यूटन वलय कहते हैं ।
- इन वलयों के व्यास के मापन से एकवर्णी प्रकाश स्रोत की तरंगदैर्ध्य ज्ञात की जा सकती है। इसके साथ फानाकार फिल्म के माध्यम का अपवर्तनांक भी ज्ञात कर सकते हैं।

1.1 शब्दावली (Glossary)

अदीप्त	Dark
आनत'	Inclined
अपवर्तन	Refraction
अपवर्तनांक	Refractive index
अभिलम्ब	Normal
आवृति	Frequency

आयाम	Amplitude
अध्यारोपण	Superposition
एकवर्णी	Monochromatic
कटान बिन्दु	Point of intersection
कलासम्बद्ध स्रोत	Coherent source
क्रासतार	Cross wire
तरंगदैर्ध्य	Wave length
तीव्रता	Intensity
दीप्त	Bright
द्रव	Liquid
धब्बा	Spot
ध्रुवण	Polarisation
पतली फिल्म	Thin film
परावर्तन	Reflection
प्रकाश	Light
फ्रिंज	Fringe
फानाकार फिल्म	Wedge shaped film
माध्यम	Medium
लेंस	Lens
वर्गमूल	Square root
वृताकार	Circular
विनाशी	Destructive
वक्रता त्रिज्या	Radius of curvature
व्यास	Diameter
विवर्तन	Diffraction
व्यतिकर	णInterference
वलय	Ring
विस्थापन	Displacement
सकेन्द्रीय	Concentric
संपोषी	Constructive
समतोत्तल	Planoconvex
सूक्ष्मदर्शी	Microscope
क्षतिज	Horizontal

1.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

एम. पी. सक्सेना, पी. आर. सिंह, एस. एस. रावत, एन. एस. सक्सेना व सरदार सिंह	बी.एस.सी पार्ट- II प्रायोगिक भौतिकी	कॉलेज बुक हाऊस, जयपुर
एम.पी. सक्सेना, पी.आर.सिंह व एस. एस. रावत	प्रकाशिकी	कॉलेज बुक हाऊस, जयपुर
डी.पी.अग्रवाल व आर.एस.अग्रवाल	प्रकाशिकी व परमाणु भौतिकी	रतन प्रकाशन मन्दिर, आगरा
Brijlal and N. Subramanyam	Text book of optics	S.Chand & Co Delhi

1.12 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answer to self assessment questions)

1. परावर्तन, अपवर्तन, विवर्तन, व्यतिकरण, ध्रुवण इत्यादि।
2. जब किसी माध्यम में लगभग समान आयाम व आवृति की दो तरंगे एक ही दिशा में संचरित होती हैं तो अध्यारोपण से एक नई परिणामी तरंग प्राप्त होती है, जिसकी तीव्रता, प्रारम्भिक तरंगों से भिन्न होती है। इस घटना को व्यतिकरण कहते हैं।
3. व्यतिकरण के लिए दो कलासम्बद्ध स्रोतों का होना आवश्यक है।
4. बदलती हुई मोटाई (शून्य से किसी निश्चत मान तक) वाली पतली फिल्म को फानाकार फिल्म कहते हैं । इस प्रयोग में, एक समतल प्लेट पर समतलोत्तल लेंस को रखकर फानाकार फिल्म बनायी गयी है। लेंस को प्लेट पर इस प्रकार रखते हैं कि इसका उत्तल पृष्ठ, प्लेट के सम्पर्क में रहे।
5. फानाकार फिल्म के सीमान्त पृष्ठों से परावर्तित किरणों के अध्यारोपण से प्राप्त व्यतिकरण प्रतिरूप में बनने वाले संकेन्द्रीय वलयों को न्यूटन वलय कहते है।
6. न्यूटन वलयों की आकृति वृत्ताकार होती है, इनका केन्द्र बिन्दु एक ही होता है।
7. दीप्त वलयों के लिए पथान्तर

$$\Delta 2 = \mu t \pm \frac{\lambda}{2} = n\lambda$$

8. अदीप्त वलयों के लिए पथान्तर

$$\Delta = 2\mu t \pm \frac{\lambda}{2} = (2n \pm 1)\frac{\lambda}{2}$$

9. विशेष प्रायोगिक समायोजन में दीप्त वलयों का व्यास विषम पूर्ण संख्याओं के वर्गमूल तथा अदीप्त वलयों का व्यास पूर्ण संख्याओं के वर्गमूल के समानुपाती होता हैं। (क्योंकि λ , R, p, का मान स्थिर होता हैं)
10. परावर्तित किरणों के मध्य पथान्तर, फिल्म की मोटाई, माध्यम का अपवर्तनांक, तरंगदैर्ध्य, फिल्म के कोण तथा आपतन कोण आदि पर निर्भर करता है।

1.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral questions and answers)

1. न्यूटन वलय क्या होती है व कैसे बनती है?

उत्तर : समान मोटाई की व्यतिकरण फ्रिन्जें न्यूटन वलय कहलाती हैं । यह वलय, लैस व प्लेट के बीच निर्मित वायु फिल्म के ऊपरी तथा निचले पृष्ठों से परावर्तित किरणों के मध्य व्यतिकरण के कारण बनती हैं।

2. न्यूटन वलयों का केन्द्र अदीप्त क्यों होता है?

उत्तर : केन्द्रीय बिन्दु के संगत लेंस व प्लेट के संस्पर्श बिन्दु पर वायु फिल्म की मोटाई शून्य होती है। ऐसी स्थिति में व्यतिकारी किरणों के मध्य पथान्तर λ /2 होता है, जो कि न्यूनतम तीव्रता का प्रतिबन्ध हैं। अत: केन्द्रीय बिन्दु अदीप्त होती है।

3. वलयों की त्रिज्या किन कारकों (factors) पर निर्भर करती है?

उत्तर : वलयों की त्रिज्या, प्रकाश की तरंग दैर्ध्य, लेंस की वक्रता त्रिज्या तथा फिल्म के अपवर्तनांक पर निर्भर करती है।

4. वलयों के वृताकार न होने के क्या-कारण है?

उत्तर : प्लेट व लैस के साफ नहीं होने के कारण व प्लेट की ऊपरी सतह व लैस के निचले पृष्ठ का अनियमित होने के कारण वलय वृत्ताकार नहीं होती है।

5. न्यूटन वलय में केन्द्र के पास फ्रिंजे चौड़ी क्यों होती है?

उत्तर : दीप्त वलयों का व्यास विषम पूर्ण संख्याओं के वर्गमूल तथा अदीप्त वलयों का व्यास धनपूर्ण संख्याओं के वर्गमूल के समानुपाती होता है। इसी वजह से केन्द्र के पासफ्रिंजे चौड़ी होती है तथा दूर जाने पर एक दूसरे के निकट व सुस्पष्ट होती है।

6. न्यूटन वलय के प्रयोग में समतलोत्तल लेंस की वक्रता त्रिज्या अधिक क्यों होनी चाहिए?

उत्तर : न्यूटन वलय प्राप्त करने के लिए प्रयोग में लाये गये समतलोत्तल लेंस की वक्रता त्रिज्या अधिक नहीं होने पर फानाकार फिल्म का कोण छोटा नहीं होगा, जिससे प्राप्त वलयों का व्यास बहुत कम होगा व इनके मापन में त्रुटि बढ़ जायेगी।

7. न्यूटन वलय स्थानिक (localized) होती है, ये फ्रिंजे कहीं बनती है?

उत्तर : फ्रिंजे वायु में बनती है।

8. क्या पारगमित प्रकाश से भी न्यूटन वलय प्राप्त की जा सकती है?

उत्तर : हाँ, पारगमित प्रकाश से भी न्यूटन वलय प्राप्त की जा सकती है। प्राप्त वलय, परावर्तित किरणों से प्राप्त वलय से भिन्न होती है । पारगमित प्रकाश से प्राप्त वलयों का केन्द्र दीप्त होता है तथा जहाँ परावर्तित प्रकाश में दीप्त वलय प्राप्त होती है, वहाँ पारगमित में अदीप्त वलय प्राप्त होगी व जहाँ परावर्तित में अदीप्त वलय प्राप्त होती है, पारगमित प्रकाश में दीप्त वलय प्राप्त होती हैं।

9. यदि एकवर्णी प्रकाश (सोडियम प्रकाश) को श्वेत प्रकाश (white light) के स्रोत से बदल दिया जाये तो क्या होगा?

उत्तर : यदि एकवर्णी प्रकाश को श्वेत प्रकाश के स्रोत से बदल दे तो केन्द्र के समीप कुछ रंगीन वृताकार वलय दिखाई देंगे। इन रंगीन वलयों में सबसे पहले बैंगनी रंग का वलय व आखिरी वलय लाल रंग का होता है। केन्द्र से बाहर जाने पर श्वेत प्रकाश के विभिन्न रंगो का अतिव्यापन अधिक होने से एक समान प्रदीपन होता है।

10. प्रकाश को पहले उर्ध्वाधर से 45° के कोण पर झुकी हुई काँच की प्लेट पर क्यों डाला जाता है?

उत्तर : विधि में प्रयुक्त सूत्र यह मानकर व्युत्पादित (derive) किया गया है कि प्रकाश वायु फिल्म पर लम्बवत् आपतित होता है। उर्ध्वाधर से 45° के कोण पर झुकी हुई प्लेट पर प्रकाश डालने से, वह फिल्म पर अभिलम्बवत् आपतित होता है।

11. प्लेट व लैस के मध्य पारदर्शी द्रव की कुछ बूंदे डालने से फ्रिन्जों पर क्या प्रभाव पड़ेगा?

उत्तर : प्राप्त फ्रिंजे सिकुड़ (shrink) हो जायेगी क्योकि फ्रिंजों का व्यास $\sqrt{\mu}$ के व्युत्क्रमानुपाती होता है। अत: व्यास $\sqrt{\mu}$ गुणांक से कम हो जायेगा। यहाँ μ द्रव का अपवर्तनांक है।

प्रयोग - 2

एक दिये गये प्रिज्म की परिक्षेपी क्षमता स्पेक्ट्रोमीटर की सहायता से ज्ञात करना

(To determine the dispersive power of a given prism with the help of a spectrometer)

प्रयोग की रूपरेखा

2.0 उद्देश्य

2.1 प्रस्तावना

2.2 आवश्यक उपकरण

2.3 सिद्धान्त

2.4 चित्र

2.5 विधि

2.6 प्रेक्षण

2.7 गणना व परिणाम

2.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्रोत

2.9 सारांश

2.10 शब्दावली

2.11 संदर्भ ग्रन्थ

2.12 बोध प्रश्नों के उत्तर

2.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

2.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के पश्चात् आप -

- स्पेक्ट्रोमीटर तथा उसकी कार्यविधि को समझ सकेंगे;
- प्रिज्य से प्राप्त स्पेक्ट्रमका अध्ययन कर सकेगे;
- वर्ण-विक्षेपण को समझ सकेंगे;
- न्यूनतम विचलन की स्थिति को समझ सकेंगे।

2.1 प्रस्तावना (Introduction)

जब श्वेत प्रकाश पुंज, किसी प्रिज्म में से गुजरता हैं तो वह अपने संगठक रंगो में विभाजित हो जाता है । यह घटना विक्षेपण कहलाती है। विक्षेपण के फलस्वरूप, किसी पर्दे पर बनने वाला प्रतिबिम्ब स्पेक्ट्रम कहलाता है। भिन्न -भिन्न रंगो के लिए विक्षेपण भिन्न-भिन्न

होता है। प्रिज्म की विक्षेपण क्षमता, प्रिज्म के पदार्थ पर निर्भर करती है। विक्षेपण क्षमता, प्रकाश की तरंगदैर्ध्य के साथ विवर्तन कोण के परिवर्तन की दर के तुल्य होती है। इस प्रयोग में हम स्पेक्ट्रोमीटर की सहायता से प्रिज्म की विक्षेपण क्षमता ज्ञात करेंगे। प्रयोग के मुख्य उद्देश्य के साथ-साथ, हम अन्य महत्वपूर्ण जानकारी भी प्राप्त कर सकते हैं। इनकी सूची अनुच्छेद 2.0 में दी गयी है।

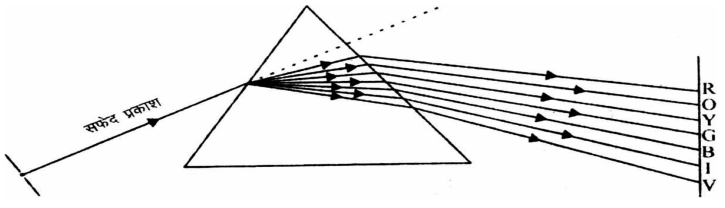
प्रयोग के लिए आवश्यक उपकरणों की सूची अनुच्छेद 2.2 में दी गयी है। उपरोक्त प्रयोग न्यूनतम विचलन के सिद्धान्त पर आधारित है । सिद्धान्त का विवरण अनुच्छेद 2.3 में दिया गया है। अनुच्छेद 2.4 में प्रयोग से संबंधित चित्र तथा उपकरण का विवरण व समायोजन दिये गये है। प्रयोग करने की विधि अनुच्छेद 2.5 में दी गयी हैं। अनुच्छेद 2.8 में प्रयोग से प्राप्त प्रेक्षण नोट करने के लिए प्रेक्षण सारणी दी गयी है । गणना की जानकारी तथा प्रयोग से प्राप्त परिणाम अनुच्छेद 2.7 में दिये गये हैं। अनुच्छेद 2.8 में प्रयोग करने के दौरान स्मरण रखने वाली सावधानियों व त्रुटियों के स्रोतों का उल्लेख किया गया है। प्रयोग का सारांश अनुच्छेद 2.9 में दिया गया है। प्रयोग से संबंधित महत्वपूर्ण शब्दावली अनुच्छेद 2.10 तथा संदर्भ ग्रन्थ अनुच्छेद 2.11 में दिये गये हैं। बोध प्रश्नों के उत्तर अनुच्छेद 2.12 में दिये गये हैं। अन्त में प्रयोग से संबंधित महत्वपूर्ण मौखिक प्रश्न व उनके उत्तर अनुच्छेद 2.13 दिये गये है।

2.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

स्पेक्ट्रोमीटर (वर्णक्रममापी), प्रिज्म, पारद स्रोत (Mercury lamp), स्पिरिट लेवल, पठन लेंस (reading lens) आदि।

2.3 सिद्धांत (Theory)

जब कोई श्वेत प्रकाश (white light) किरण किसी प्रिज्म के अपवर्तक तल पर आपतित होती है तो प्रिज्म के दूसरे सिरे से निर्गत (transmitted) किरण अपने प्रारम्भिक मार्ग से विचलित (deviate) होकर अपने संगठक (constituents) रंगों (सात रंग) में विभाजित हो जाती है। श्वेत प्रकाश के प्रिज्म द्वारा रंगों में विभाजित होने की घटना को वर्ण विक्षेपण (dispersion) कहते हैं। विक्षेपण से बनने वाले प्रतिबिम्ब को स्पेक्ट्रम (spectrum) कहते है। दृश्य क्षेत्र (visible region) में रंगो का क्रम बैंगनी से लाल रंग होता हैं। बैंगनी रंग के लिए विचलन अधिकतम (maximum) तथा लाल रंग के लिए विचलन न्यूनतम (minimum) होता है।



चित्र2.1 में श्वेत प्रकाश का प्रिज्म द्वारा वर्ण विक्षेपण

प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक (refractive index), अलग-अलग तरंगदैध्यों (wave-length) या रंगों के लिए भिन्न-भिन्न होता है। विचलन अत: अपवर्तनांक बैंगनी रंग के प्रकाश के लिए लाल रंग के प्रकाश की अपेक्षा अधिक होता है। पीले रंग के विचलन व अपवर्तनांक को माध्य मान (mean value) के रूप में लिया जाता है।

चूंकि प्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक निम्न सूत्र द्वारा दिया जाता है-

$$\mu = \frac{\sin\frac{A+D}{2}}{\sin\frac{A}{2}} \qquad \text{.....(2.1)}$$

जहाँ μ अपवर्तनांक, A प्रिज्म का कोण तथा D न्यूनतम विचलन का कोण है। किसी छोटे कोण वाले प्रिज्म (small angled prism) के लिए अपवर्तनांक-

$$\mu = \frac{\alpha + \frac{\delta}{2}}{\frac{\alpha}{2}}$$

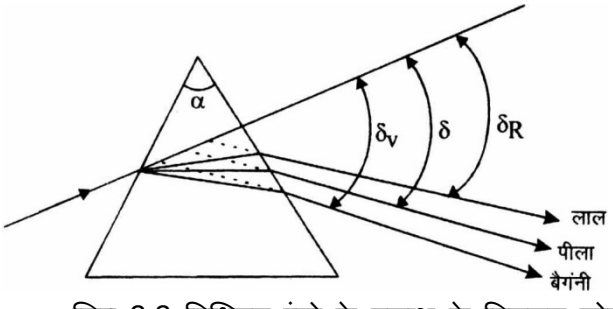
या $$\mu = \frac{\alpha + \delta}{\alpha} \qquad \text{.....(2.2)}$$

जहाँ α व δ क्रमश: प्रिज्म के कोण तथा न्यूनतम विचलन कोण हैं।

समी (2.2) से -

$$\delta = (\mu - 1)\alpha \qquad (2.3)$$

निम्न चित्र में बैंगनी, माध्य रंग पीला तथा लाल रंग के प्रकाश के लिए विचलन कोण प्रदर्शित किये गये है।



चित्र 2.2 विभिन्न रंगो के प्रकाश के विचलन कोण

बैंगनी, पीले व लाल रंग के विचलन निम्न प्रकार से लिखे जा सकते है-

बैंगनी रंग के लिए-

$$\delta v = (\mu v - 1)\alpha \qquad \text{.....(2.4)}$$

माध्य पीले रंग के लिए-

$$\delta = (\mu - 1)\alpha \qquad \text{.....(2.5)}$$

रंग के लिए-

$$\delta_R = (\mu_R - 1)\alpha \qquad \text{.....(2.6)}$$

दो रंगो के मध्य विचलन कोणों का अन्तर कोणीय विक्षेपण (angular dispersion) कहलाता हैं।

समी (2.4) व (2.6) से-

$$\delta_v - \delta_R = (\mu_v - \mu_R)\alpha \qquad \text{.....(2.7)}$$

समी (2.7) में समी (2.5) का भाग देने पर -

$$\frac{\delta_v - \delta_R}{\delta} = \frac{(\mu_v - \mu_R)}{(\mu - 1)} \qquad \text{.....(2.8)}$$

या $$\frac{\delta_v - \delta_R}{\delta} = \frac{d\mu}{(\mu - 1)} \quad (2.9)$$

जहाँ $d\mu = \mu_v - \mu_R$

यहाँ μ_v, μ_R तथा μ क्रमशः बैंगनी, लाल तथा माध्य पीले रंग के लिए अपवर्तनांक (refractive index) है। व्यंजक $\frac{\mu_v - \mu_R}{\mu - 1}\left(= \frac{d\mu}{\mu - 1}\right)$ को प्रिज्म के पदार्थ की विक्षेपण क्षमता (dispersive power) कहते हैं। अर्थात वर्णक्रम में कोणीय वर्ण विक्षेपण ($\delta_v - \delta_R$) तथा माध्य विचलन कोण (δ) के अनुपात को प्रिज्म की विक्षेपण क्षमता कहते हैं। इसे ω से प्रदर्शित करते है। अतः समी (2.9) से-

$$\omega = \frac{\mu_v - \mu_R}{\mu - 1}$$

या $$\omega = \frac{\delta_v - \delta_R}{\delta} \quad (2.1)$$

बोध प्रश्न (Self- assessment questions)

1. विचलन कोण किसे कहते हैं?

   .....

   .....

2. प्रिज्म की वर्ण विक्षेपण क्षमता किसे कहते हैं?

   .....

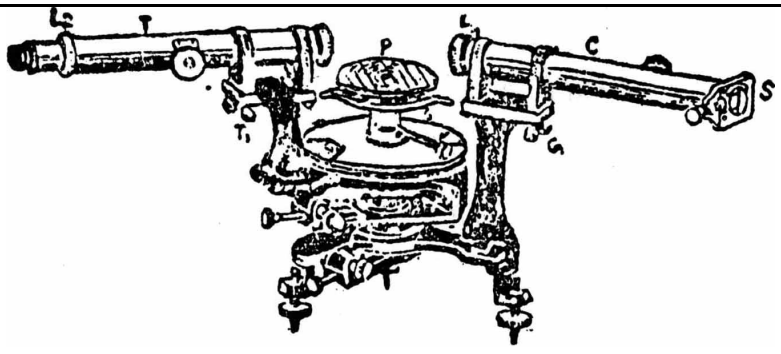
   .....

3. पारद स्रोत से प्राप्त स्पेक्ट्रम में कितने रंग होते हैं?

   .....

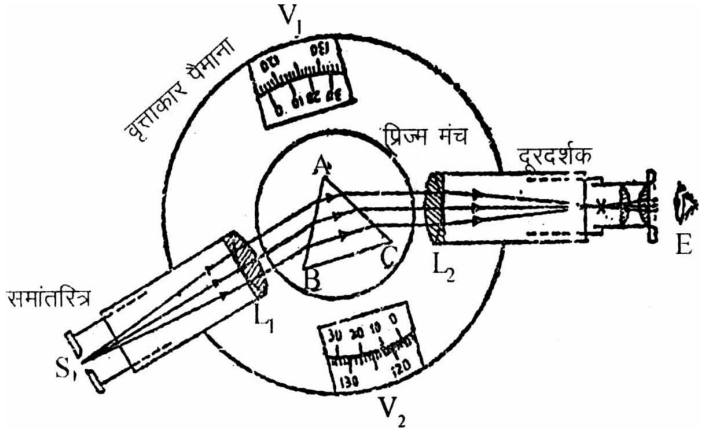
   .....

2.4 चित्र (Diagram)



C:समांतरित्र, P: प्रिज्म मंच, T: दूरदर्शक, S: स्रोत

चित्र 2.3 स्पेक्ट्रोमीटर



चित्र 2.4 स्पेक्ट्रोमीटर का काट चित्र

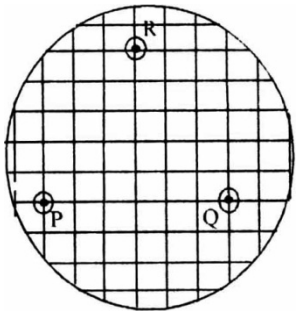
उपकरण का विवरण तथा समायोजन

स्पेक्ट्रोमीटर (Spectrometer)

किसी दीप्त स्रोत से प्राप्त प्रकाश वर्णक्रम के अध्ययन हेतु यह उपकरण प्रयुक्त किया जाता है। इस उपकरण के तीन मुख्य भाग होते हैं -

(i) समांतरित्र (Collimator) - समांतरित्र में एक दूसरे के अन्दर समाक्षीय खिसकने वाली धातु की दो नलियां होती हैं। इन दोनों नलियों समायोजन में एक सिरे पर (प्रिज्म मंच की तरफ) एकवर्णी लेंस L, लगा होता हैं व दूसरे सिरे पर समायोज्य रेखाद्विद्र (adjustable slit) S लगा हुआ होता है, जिसकी चौड़ाई को इस पर लगे पेच (screw) द्वारा समायोजित कर सकते हैं। दण्ड चक्र (rack and pinion) व्यवस्था द्वारा लेंस व रेखाछिद्र की दूरी को इस प्रकार समायोजित करते हैं कि रेखाछिद्र लेंस L के फोकस तल में आ जाये। इस स्थिति में रेखाछिद्र से आने वाली प्रकाश की किरणें लेंस के मुख्य अक्ष के समान्तर (parallel) निर्गत होती हैं अर्थात् समांतरित्र प्रकाश किरणों का समान्तर करता हैं। इसे दृढ़तापूर्वक उपकरण के आधार से संबंधित किया जाता हैं।

(ii) प्रिज्म मंच (Prism table) - स्पेक्ट्रोमीटर के आधार पर एक वृत्ताकार पैमाना होता है। इसी पैमाने पर एक आधार टेबिल रखी रहती है, जिससे दो वर्नियर पैमाने V_1 व V_2, परस्पर एक दूसरे के सम्मुख लगे होते हैं, जो आधार पर मुख्य पैमाने के साथ घूमते है। इसी आधार टेबिल के मध्य धातु का एक वृताकार मंच होता हैं जिसे प्रिज्म मंच कहा जाता हैं। प्रिज्म मंच दो वृताकार धातु की पट्टियों से बनता है, जिसमें तीन पेंच P,Q, R, लगे हुए होते हैं, इन पेचों से टेबिल को क्षैतिज धरातल में ला सकते हैं।



चित्र 2-5 प्रिज्म टेबल का क्षैतिज धरातल

चित्र 2.5 में बताये अनुसार ऊपरी धरातल पर एक दूसरे से लम्बरूप समान्तर रेखायें खिंची रहती हैं। प्रिज्ममंच को ऊपर-नीचे विस्थापित किया जा सकता है। इसमें दो पेंच लगे रहते हैं। एक को स्थिर कर दूसरे पेंच से मंच को धीमी गति से घुमाया जा सकता है। प्रिज्म मंच पर वह युक्ति (जैसे प्रिज्म ग्रेटिंग इत्यादि) रखते है, जिसके द्वारा प्रकाश का विश्लेषण (analysis) करना होता है।

(iii) दूरदर्शक (Telescope) - इसमें भी समांतरित्र की तरह ही एक दूसरे के अन्दर खिसकने वाली दो धातु की नलियां होती है, जिन्हें दण्ड चक्र व्यवस्था की सहायता से आगे पीछे सरकाया जा सकता है। नलियों के इस समायोजन में एक सिरे पर अधिक फोकस दूरी का एक अवर्णक अभिसारी लेंस L_2 होता हैं जिसे अभिदृश्यक (objective) लेंस कहते हैं। दूसरे सिरे पर रेम्सड्न नेत्रिका (Ramsden eye piece) लगी होती है। इस नेत्रिका में दो बराबर फोकस दूरी f, के उत्तल लेंस होते हैं, जिनके मध्य (2/3) f दूरी होती है। नेत्रिका के फोकस तल पर क्रास तार (cross wire) लगा होता है। दूरदर्शक दृढ आधार पर कसा हुआ होता है, जिसे प्रिज्म मंच के अक्ष के सापेक्ष घुमाया जा सकता है।

दूरदर्शक के साथ प्रिज्म मंच के आधार में लगा वृत्ताकार पैमाना भी घूमता है, जिसके द्वारा वर्नियर की सहायता से दूरदर्शक की कोणीय स्थिति ज्ञात की जा सकती है। दूरदर्शक में दो पेंच इस प्रकार लगे होते है कि एक को कसकर बन्द कर देने से दूसरे को चलाने पर यह अत्यन्त धीमी गति से सूक्ष्म दूरी पर पैमाने पर घूर्णित होता है। इस पेंच को स्पर्शज्या (tangent) पेंच कहते हैं।

2.5 विधि (Method)

स्पेक्ट्रोमीटर से स्पेक्ट्रम प्राप्त करने के लिए सर्वप्रथम स्पेक्ट्रोमीटर के मुख्य भागों को समंजित करना आवश्यक होता हैं। अत: प्रयोग में हम सबसे पहले स्पेक्ट्रोमीटर को समायोजित करेंगे।

स्पेक्ट्रोमीटर का समायोजन

समांतरित्र व दूरदर्शक के अक्षों को प्रिज्म मंच के केन्द्र पर मिलना चाहिए तथा केन्द्र से गुजरने वाली उर्ध्वाधर अक्ष के लम्बवत् होना चाहिए।

यह समंजन उपकरण की सरंचना में ही सन्निहित होता है अत: इसे स्वयं करने की आवश्यकता नहीं होती है।

नेत्रिका को क्रास तार पर फोकस करना

(i) दूरदर्शक को कुछ फीट दूरी (लगभग 3-4 फीट) पर किसी सफेद दीवार की ओर घुमाकर अभिदृश्यक से नेत्रिका की दूरी को इस प्रकार समंजित करें कि दीवार का प्रतिबिम्ब दिखाई न दें, किन्तु केवल दृष्टि क्षेत्र नेत्रिका से देखने पर सफेद दिखाई दे।

(ii) अब एक आँख पर हथेली रख दूसरी आँख से नेत्रिका में से क्रास तार को देखते हुए नेत्रिका को आगे-पीछे खिसका कर इस प्रकार समायोजित करें कि क्रास तार सुस्पष्ट दिखाई दे। इस प्रकार नेत्रिका क्रॉस-तार पर फोकसित हो जाती है।

दूरदर्शक को समान्तर किरणों के लिए समायोजित करना

(iii) दूरदर्शक के अभिदृश्यक लेंस को किसी खुली खिड़की में से दूरी पर स्थित किसी वस्तु पेड़, ईमारत आदि की ओर निर्देशित कर नेत्रिका से देखें। दण्ड-चक्र व्यवस्था की सहायता से नेत्रिका को आगे-पीछे खिसका कर (अर्थात लेंस व नेत्रिका की दूरी को समंजित कर) क्रास तार पर उस वस्तु का सुस्पष्ट प्रतिबिम्ब प्राप्त करें। इस प्रकार दूरदर्शक समान्तर किरणों को क्रॉस-तार पर फोकसित करने के लिए समंजित हो जाता है।

इस विधि में स्पेक्ट्रोमीटर को अपने स्थान से हटाना पड़ता है।

समांतरित्र का समंजन

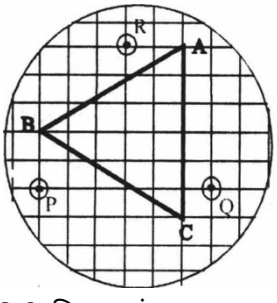
(iv) समांतरित्र के रेखाछिद्र वाले सिरे के सामने प्रकाश स्रोत रखें व दूरदर्शक को समांतरत्रित के दूसरे सिरे के सामने लाकर नेत्रिका से रेखाछिद्र का प्रतिबिम्ब देखें। ऐसी स्थिति में रेखाछिद्र का प्रतिबिम्ब स्पष्ट न दिखाई देकर कुछ धुंधला सा दिखाई देता है। अब समांतरित्र में दण्ड चक्र व्यवस्था की सहायता से रेखाछिद्र व लेंस के मध्य दूरी को इतना परिवर्तित करें कि नेत्रिका में रेखाछिद्र का स्पष्ट प्रतिबिम्ब क्रास तार पर दिखाई दे। अब रेखाछिद्र की चौड़ाई को, जितना कम कर सकें, उतना कम करें। इस स्थिति में समांतरित्र से निकलने वाली किरणें समान्तर होती हैं।

प्रिज्म मंच का समायोजन

(v) प्रिज्म मंच पर किन्ही दो क्षैतिजकारी पेंचों को मिलाने वाली रेखा के समान्तर स्प्रिट तल दर्शक (spirit level) रखकर हवा के बुलबुले (air bubble) को इन्ही पेंचों को घुमाकर बीच में ले आवें।

(vi) अब स्प्रिट तल दर्शक को पूर्व स्थिति के लम्बवत् रख, तीसरे पेंच को घुमाकर हवा के बुलबुले को मध्य स्थिति में लावें। इस प्रकार प्रिज्म मंच क्षैतिज हो जाता है।

(vii) अब प्रिज्म ABC को प्रिज्म मंच पर इस तरह से रखते हैं कि उसका एक अपवर्तक तल AC समतल पेंच P व Q के लम्बवत रहे तथा साथ ही प्रिज्म, मंच के मध्य में रहे। अब प्रिज्म मंच को इस तरह से घुमावें कि समांतरित्र से आने वाला प्रकाश प्रिज्म के दोनों अपवर्तक पृष्ठों (AB व AC) पर बराबर आपतित हो। अब मंच को पेच की सहायता से स्थिर कर दूरदर्शक को ऐसे घुमावे है कि पृष्ठ (AB व AC) से अपवर्तित प्रकाश, उसमें प्रवेश कर रेखाछिद्र का प्रतिबिम्ब बनाये। यह प्रतिबिम्ब क्रासतार पर सममित (symmetric) होना चाहिए। यदि प्रतिबिम्ब सममित नही हैं तो पुन: पेंच P व Q को समायोजित करें।



चित्र 2.6 प्रिज्म मंच का समायोजन

(viii) अब दूरदर्शक को दूसरी ओर घुमाकर दूसरे तल से अपवर्तन से प्राप्त प्रतिबिम्ब को ऊपर बताई गयी विधि से नेत्रिका से देखें। प्रतिबिम्ब को सममित करने के लिए तीसरे पेच R का उपयोग करें।

इस प्रकार प्रिज्म मंच क्षैतिज हो जाता है तथा प्रिज की कोर उर्ध्वाघर होती है व जिस उर्ध्वाघर अक्ष पर दूरदर्शक घूर्णित होता है, उससे सम्पाती होती हैं।

उपरोक्त बताई गयी विधि में स्पेक्ट्रोमीटर को समंजित करने में स्पेक्ट्रोमीटर को अपने स्थान से हटाना पड़ता है। दूरदर्शक व समांतरित्र को समान्तर किरणों के लिए समंजित करने की अन्य विधि भी हैं जिसे शूस्टर विधि कहते हैं। इस विधि में स्पेक्ट्रोमीटर को बाहर ले जाने की आवश्यकता नहीं होती है। इस विधि में स्पेक्ट्रामीटर को निम्न प्रकार से समंजित करते हैं-

शूस्टर विधि (Schusters method) (वैकल्पिक विधि)

(a) सर्वप्रथम बिन्दु विधि (E) में बिन्दु (v) से (viii) तक की प्रक्रिया दोहराकर प्रिज्म मंच को समंजित करें।

(b) प्रकाश स्रोत को रेखाछिद्र के सामने रखकर प्रिज्म मंच पर प्रिज्म रखकर दूरदर्शक द्वारा उसका प्रतिबिम्ब प्राप्त करें।

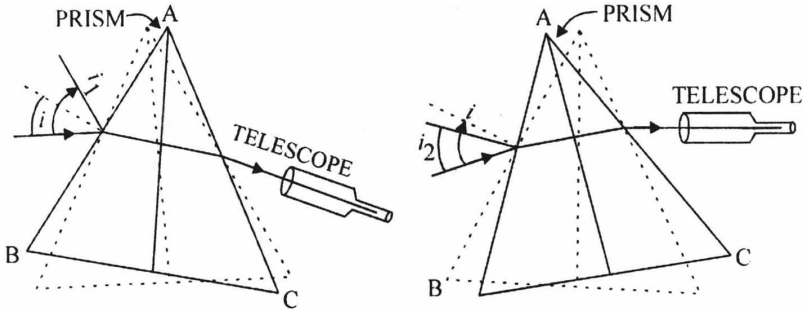
(c) प्रिज्म मंच को धीरे-धीरे घुमाते हैं व साथ ही दूरदर्शक को घुमाकर प्रतिबिम्ब को क्रास-तार पर देखें। एक ऐसी स्थिति प्राप्त होती हैं जब प्रतिबिम्ब के विस्थापन की दिशा विपरीत हो जाती है। यह स्थिति न्यूनतम विचलन कोण स्थिति होती है।

(d) अब दूरदर्शक को स्थिर रखकर, प्रिज्म मंच को एक अल्प कोण से इस प्रकार घुमावें कि प्रिज्म की अपवर्तक कोर दूरदर्शक की ओर विस्थापित हो जाये। ऐसी स्थिति में रेखाछिद्र का अस्पष्ट प्रतिबिम्ब दिखाई देता है। दूरदर्शक को दण्ड-चक्र व्यवस्था की सहायता से समंजित करें, जिससे प्रतिबिम्ब सुस्पष्ट दिखाई दे।

(e) अब मंच को अल्प कोण से इस प्रकार आवे कि प्रिज्म की अपवर्तक कोर समांतरित्र की ओर विस्थापित हो जाये अर्थात प्रिज्म मंच को विपरीत दिशा में घूर्णित करते हुए न्यूनतम विचलन की स्थिति से होते हुए समांतरित्र की तरफ ले जावें।

इस स्थिति में प्रतिबिम्ब पुन: असपष्ट दिखाई देता है। अब दूरदर्शक को बिना कुछ किये समांतरित्र के रेखाछिद्र (slit) को आगे-पीछे खिसका कर प्रतिबिम्ब को स्पष्ट करें अर्थात प्रतिबिम्ब को समांतरित्र के समंजन से सुस्पष्ट करें।

(f) विधि बिन्दु (d) व (e) को बार-बार (कम से कम तीन चार बार) दोहराऐं जब तब कि प्रत्येक अवस्था में प्रतिबिम्ब सुस्पष्ट दिखाई न दे। इस स्थिति में समांतरित्र समान्तर किरणें निर्गत करेगा व दूरदर्शक इन समान्तर किरणों को क्रॉस -तार पर फोकसित करेगा।



चित्र 2.7 शूस्टर विधि से स्पेक्ट्रोमीटर का समायोजन

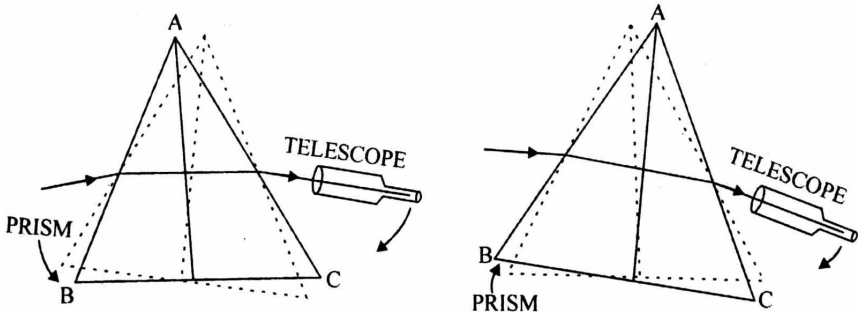
न्यूनतम विचलन कोण का मापन

(ix) प्रिज्म को प्रिल्म मंच पर इस प्रकार रखते है कि उसका एक अपवर्तक पृष्ठ (AB) समांतरित्र के सम्मुख हो तथा आपाती किरणों से लगभग अभिलम्ब (normal) हो।

(x) अब प्रिज्म मंच को अल्प कोण से घूर्णित करें, जिससे आपती किरणें एक अल्प सा कोण बनाये। प्रिज्म के दूसरे अपवर्तक तल (AC) से अपवर्तित प्रकाश को दूरदर्शक द्वारा देखें। दूरदर्शक में सम्पूर्ण स्पेक्ट्रम दिखाई देता है तो आपतन कोण को कम करे। चूंकि इस प्रयोग में हम पारद स्रोत (mercury lamp) को प्रयुक्त कर रहें हैं अत: वर्णक्रम (spectrum) में विभिन्न रंगों की रेखायें दिखाई देती हैं।

(xi) अब प्रिज्म मंच तथा दूरदर्शक दोनों को साथ-साथ एक ही दिशा में घुमावें जिससे वर्णक्रम क्रास-तार पर ही बना रहे। आपतन कोण बढ़ने के साथ-साथ विचलन कोण कम होता है। एक ऐसी स्थिति प्राप्त होती है जब केवल प्रिज्म मंच को और अधिक घुमाने

पर स्पेक्ट्रमी रेखाओं के विस्थापन की दिशा विपरीत हो जाती है तथा स्पेक्ट्रम को क्रास तार पर रखने के लिए दूरदर्शक को विपरीत दिशा में घुमाना पड़ता हैं, यह स्थिति न्यूनतम विचलन (minimum deviation) की होती है। इस स्थिति में प्रिज्म मंच व दूरदर्शक दोनों को पेंच द्वारा कस दीजिये।



2.8 प्रिज्म की न्यूनतम विचलन स्थिति ज्ञात करना

(xii) अब दूरदर्शक को घुमाने वाले स्पर्शी पेच (tangent screw) की सहायता से स्पेक्ट्रम के अन्तिम सिरों (बैंगनी व लाल रंग) तथा मध्य (पीला रंग) की रेखाओं को क्रास-तार पर संमजित कर प्रत्येक स्थिति में वृत्ताकार मुख्य पैमाने तथा वर्नियर पैमाने का पाठ्यांक नोट करें।

(xiii) प्रिज्म मंच की स्थिति में कोई परिवर्तन नहीं कर प्रिज्म को हटा लें तथा दूरदर्शक को खिसकाकर दूरदर्शक में रेखाछिद्र (slit) का सीधा प्रतिबिम्ब क्रास-तार पर समंजित करें। दूरदर्शक की स्थिति वृत्ताकार तथा वर्नियर पैमानों से नोट कर लें।

(xiv) बिन्दु विधि (xii) तथा (xiii) से प्राप्त पाठ्यांको में अन्तर ज्ञात कर ले यह अन्तर न्यूनतम विचलन कोण होता है, जिनकी सहायता से प्रिज्म की विक्षेपण क्षमता ज्ञात करते हैं।

बोध प्रश्न (Self assessment question)

1. स्पेक्ट्रोमीटर के मुख्य भागों के नाम लिखिये।

   .....

   .....

2. दूरदर्शक में कौनसी नेत्रिका होती है?

   .....

   .....

3. प्रिज्म मंच पर समान्तर रेखायें क्यों खीची हुई होती है?

   .....

   .....

4. शूस्टर विधि का अन्य विधि की तुलना में क्या महत्व है?

   .....

   .....

2.6 प्रेक्षण (Observations)

(i) वृताकार मुख्य पैमाने के एक भाग का मान (x) = ... डिग्री

(ii) वर्नियर पैमाने पर कुल भागों की संख्या (y) = ...

(iii) वर्नियर पैमाने का अल्पतमांक $\left(\frac{x}{y}\right)$= ..... डिग्री

(iv) न्यूनतम विचलन कोण के लिए सारणी

2.7 गणना व परिणाम (Calculations and result)

गणना

∵ समी (2.10) से, प्रिज्म की परिक्षेपण क्षमता-

$$\omega = \frac{\delta_v - \delta_R}{\delta}$$

प्रेक्षण सारणी से $\delta_{v,}\delta_R$ तथा δ के मान उपरोक्त समीकरण में रखकर प्रिज्म की विक्षेपण क्षमता ज्ञात करें।

परिणाम

प्रयोग द्वारा प्रिज्म की विक्षेपण क्षमता ϖ = ... प्राप्त हुई।

2.8 पूर्वावधान व त्रुटियों के स्रोत (Precautions and sources of error)

पूर्वावधान

(i) विधि में दिये गये सभी समायोजन यथार्थतापूर्वक करने चाहिए क्योंकि इन्ही पर योग की यर्थाथता निर्भर करती है।

(ii) रेखाछिद्र (slit) की चौड़ाई जितनी कम हो सके, उतनी कम रखनी चाहिए।

(iii) प्रिज्म मंच की ऊँचाई इस प्रकार संमजित करनी चाहिए कि प्रिज्म के सम्पूर्ण अपवर्तक पृष्ठ पर प्रकाश पड़े।

(iv) पाठ्यांक लेते समय प्रिज्म मंच तथा दूरदर्शक को क्लैम्प करना चाहिए।

(v) दोनों वर्नियर पैमानों का पाठ्यांक लेना चाहिए, जिससे कि घूर्णन अक्ष यदि पैमाने के मध्य से होकर न गुजरे तो भी होने वाली त्रुटि दूर हो जाये।

(vi) प्रिज्म के पृष्ठों को हाथ से नही छूना चाहिए। प्रिज्म को हमेशा दो कोरों के मध्य से पकड़ना चाहिए।

त्रुटियों के स्रोत

(i) दूरदर्शक के घूर्णन अक्ष का वृताकार पैमाने के केन्द्र पर नही होना।

(ii) रेखाछिद्र का पूर्णरूपेण उर्ध्वाधर न होना।

(iii) प्रिज्म कोर का यर्थाथत: उर्ध्वाधर न होना।

(iv) क्रास तार को रेखाछिद्र पर व्यवस्थित करने में त्रुटि का होना।

2.9 सारांश (Summary)

उपरोक्त प्रयोग न्यूनतम विचलन के सिद्वान्त पर आधारित है।

स्पेक्ट्रम में कोणीय वर्ण विक्षेपण तथा माध्य विचलन कोण के अनुपात को प्रिज्म की विक्षेपण क्षमता कहते हैं। यह प्रिज्म के पदार्थ पर निर्भर करती है।

2.10 शब्दावली (Glossary)

अपवर्तनांक	Refractive index
कोणीय विक्षेपण	Angular dispersion
क्रास तार	Cross- wire
तरंगदैर्ध्य	Wave length
दण्ड-चक्र	Rack and pinion
दूरदर्शक	Telescope
दृश्य क्षेत्र	Visible region
न्यूनतम विचलन	Minimum deviation
नेत्रिका	Eye piece
पेंच	Screw
प्रिज्म	Prism
परिक्षेपण क्षमता	Dispersive power
रेखा छिद्र	Slit
वर्णक्रम	Spectrum
विक्षेपण	Dispersion
संगठक	Constituent
स्पर्शज्या	Tangent
सममित	Symmetric

2.11 संदर्भ ग्रंथ (Reference books)

एम. पी. सक्सेना, पी. आर.सिंह एस.एस.रावत एन. एस. सक्सेना व सरदार सिंह	बी.एस.सी. पार्ट-II प्रायोगिक भौतिकी	कॉलेज बुक हाऊस, जयपुर
एम. जी. भाटवडेकर, टी एल दशोरा व एस. एस. चौधरी	नवीन प्रथम वर्ष प्रायोगिक भौतिकी	रमेश बुक डिपो, जयपुर
डी. पी. अग्रवाल व	प्रकाशिकी व	रतन प्रकाशन मन्दिर,

2.12 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answers to self assessment questions)

1. प्रिज्म पर आपतित प्रकाश किरण तथा प्रिज्म से विचलित प्रकाश किरण के मध्य बने कोण को विचलन कोण कहते हैं।
2. किसी पदार्थ की आपतित प्रकाश किरणों को उसके घटकों में पृथक करने की क्षमता को वर्ण विक्षेपण क्षमता कहते है। इसे कोणीय विक्षेपण तथा माध्य विचलन कोण के अनुपात द्वारा परिभाषित करते हैं।
3. पारद स्रोत से प्राप्त प्रकाश में अनेक रंग (तरंग दैर्ध्य) होते हैं, उनमें मुख्य सात रंग है, जिन्हें "VIBGYOR" शब्द से प्रदर्शित करते है।
4. स्पेक्ट्रोमीटर के तीन मुख्य भाग होते है-
   (i) समांतरित्र (ii) प्रिज्म मंच तथा (iii) दूरदर्शक
5. दूरदर्शक में रेम्सडेन नेत्रिका होती है, इस नेत्रिका में क्रास-तार लगाया जा सकता है, जिसकी सहायता से प्रेक्षण लेते हैं।
6. प्रिज्म तथा अन्य युक्ति जैसे ग्रेटिंग को ठीक तरह से रखने के लिए प्रिज्म मंच पर समान्तर रेखायें खींची होती हैं।
7. शूस्टर विधि से स्पेक्ट्रोमीटर को समंजित करने पर स्पेक्ट्रोमीटर को अपने स्थान से हटाकर बाहर नहीं ले जाना पड़ता हैं।

2.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral questions and answers)

1. प्रिज्म की विक्षेपण क्षमता किसे कहते हैं?

उत्तरः प्रिज्म से प्राप्त स्पेक्ट्रम में कोणीय वर्ण विक्षेपण तथा माध्य विचलन कोण के अनुपात को प्रिज्म की विक्षेपण क्षमता कहते हैं।

2. विक्षेपण क्षमता किन-किन कारकों को निर्भर करती है?

उत्तरः विक्षेपण क्षमता, प्रिज्म के पदार्थ तथा प्रकाश की तरंगदैर्ध्य पर निर्भर करती हैं।

3. पारदलैम्प किस प्रकार का स्रोत है?

उत्तरः पारद लैम्प रेखिल वर्णक्रमी स्रोत होता है, जिससे अनेक तरंगदैर्ध्यो (रंगो) का प्रकाश उत्सर्जित होता है ।

4. वर्ण विक्षेपण किसे कहते हैं?

उत्तरः श्वेत प्रकाश के प्रिज्म द्वारा विभिन्न रंगों (संगठक) में पृथक होने की घटना को वर्ण विक्षेपण कहते हैं।

5. पारद स्रोत व प्रिज्म से प्राप्त स्पेक्ट्रम के मुख्य रंगो के नाम बताइये ।

उत्तर: पारद स्रोत व प्रिज्म से प्राप्त स्पेक्ट्रम में दृश्य तथा अदृश्य क्षेत्र दोनो ही होते है । दृश्य क्षेत्र में मुख्य रूप से सात रंग होते हैं -बैंगनी, नीला, आसमानी, हरा, पीला, नारंगी तथा लाल ।

6. किस रंग के लिए विचलन अधिकतम तथा किस रंग के विचलन न्यूनतम होता है?

उत्तर: बैंगनी रंग के विचलन अधिकतम तथा लाल रंग के लिए विचलन न्यूनतम होता है।

7. न्यूनतम विचलन की स्थिति कौनसी होती है?

उत्तर: दूरदर्शक तथा प्रिज्म मंच को एक ही दिशा में घुमाने पर स्पेक्ट्रम भी उसी दिशा में विस्थापित होता है। अब दूरदर्शक को स्थिर रखकर, प्रिज्म मंच उसी दिशा मे थोडा ओर घुमाने पर, स्पेक्ट्रम के विस्थापन की दिशा विपरीत हो जाती है । इस स्थिति को न्यूनतम विचलन कहते हैं।

8. स्पेक्ट्रोमीटर में समांतरित्र का क्या उपयोग है?

उत्तर: समांतरित्र, प्रकाश स्रोत से उत्सर्जित किरणों को समान्तर किरणों में परिवर्तित करता।

9. दूरदर्शक व प्रिज्म मंच में स्पर्शज्या पेच का क्या उपयोग है?

उत्तर: दूरदर्शक व प्रिज्म मंच को यथार्थ घूर्णन कराने के लिए स्पर्शज्या पेच काम में लेते है।

10. स्पेक्ट्रोमीटर में दो वर्नियर पैमाने क्यों लगे होते हैं तथा इनके पाठ्यांको में कितना अन्तर होता हैं?

उत्तर: यदि दूरदर्शक का घूर्णन अक्ष, प्रिज्म मंच से नही गुजरता है तो इससे उत्पन्न त्रुटि को दूर करने के लिए दो वर्नियर पैमानों को उपयोग में लेते है जो एक दूसरे से व 180°. पर होते है।

11. क्या सोडियम प्रकाश के लिए प्रिज्म की वर्ण विक्षेपण क्षमता नाप सकते हैं?

उत्तर: नहीं, चूंकि सोडियम प्रकाश, एकवर्णी होता है अत: इससे प्रिज्म की विक्षेपण क्षमता नहीं नाप सकते हैं।

12. विक्षेपण के लिए निम्न में से कौनसे काँच का बना प्रिज्म लेते है- (i) क्राउन या (ii) फ्लिंट।

उत्तर: विक्षेपण के लिए फ्लिंट काँच का बना प्रिज्म लेते हैं क्योंकि इसकी विक्षेपण क्षमता, क्राउन काँच के बने प्रिज्म से ज्यादा होती है।

प्रयोग - 3

विवर्तन ग्रेटिंग का उपयोग करते हुए प्रकाश की तरंगदैर्ध्य ज्ञात करना

(To determine the wavelength of given light with the help of plane diffraction grating)

प्रयोग की रूपरेखा

3.0 उद्देश्य

3.1 प्रस्तावना

3.2 आवश्यक उपकरण

3.3 सिद्धान्त

3.4 चित्र

3.5 विधि

3.6 प्रेक्षण

3.7 गणना व परिणाम

3.8 पूर्वावधान तथा त्रुटियों के स्रोत

3.9 सारांश

3.10 शब्दावली

3.11 संदर्भ ग्रंथ

3.12 बोध प्रश्नों के उत्तर

3.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

3.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के पश्चात् आप

- विवर्तन की प्रक्रिया को भलीभांति समझ सकेंगे;
- स्पेक्ट्रोमीटर की कार्यविधि के बारे में जानकारी प्राप्त कर सकेंगे;
- ग्रेटिंग को तथा उसकी कार्यविधि को समझ सकेंगे;
- स्रोत से प्राप्त स्पेक्ट्रम का अध्ययन कर सकेंगे।

3.1 प्रस्तावना (Introduction)

पिछले प्रयोग (प्रयोग - 1) में आप प्रकाश के एक मुख्य तरंग गुण, व्यतिकरण काअध्ययन कर चुके हैं। इस प्रयोग में आप प्रकाश के एक अन्य तरंग गुण विवर्तन (diffraction) का अध्ययन करेंगे।

प्रकाश किरणों का किसी अपारदर्शी (opaque) अवरोध (obstacle) के तीक्ष्ण किनारों पर मुड़ने या वस्तु के ज्यामीतिय छाया क्षेत्र में फैलने की घटना को विवर्तन कहते हैं। इसी प्रकार यदि हम अपनी ऑखो पर उंगलियों से पतली झिर्री बनाकर किसी उर्ध्वाधर ट्यूबलाईट को देखें तो हमें एकान्तर क्रम से चमकीली व काली पट्टियाँ दिखाई देती हैं। इस प्रकाशिक घटना की व्याख्या विवर्तन द्वारा की जा सकती हैं ।

इस प्रयोग में हम फानहॉफर विवर्तन का अध्ययन करेंगे। ग्रेटिंग द्वारा विवर्तन से प्राप्त स्पेक्ट्रम फानहॉफर विवर्तन का एक उदाहरण हैं। हम इससे प्राप्त विवर्तन प्रतिरूप की सहायता से प्रयुक्त प्रकाश की तरंगदैर्ध्य ज्ञात करेंगे।

उपरोक्त अध्ययन के लिए आवश्यक उपकरणों की सूची अनुच्छेद 3.2 में दी गयी हैं। प्रयोग हेतु आवश्यक सिद्धान्त की विवेचना अनुच्छेद 3.3 में की गयी हैं। अनुच्छेद 3.4 में प्रयोग हेतु आवश्यक उपकरणों के चित्र व समायोजन दर्शाये गये हैं। अनुच्छेद 3.5 में बताई गयी विधि के विविध पदों से आगे बढते हुए प्राप्त प्रेक्षणों के लिए प्रेक्षण सारणी अनुच्छेद 3.6 में दी गयी है।

अनुच्छेद 3.7 में गणना के विभिन्न पद समझाये गये हैं व इसी अनुच्छेद में प्रयोग से परिणाम प्राप्त करने की विधि दी गयी है । इस प्रयोग को करते समय ध्यान में रखे जाने वाली सावधानियों तथा त्रुटियों के स्त्रोतों का उल्लेख अनुच्छेद 3.8 में किया गया है। अनुच्छेद 3.9 में प्रयोग का सारांश दिया गया हैं। प्रयोग से संबंधित महत्वपूर्ण शब्दावली तथा संदर्भ ग्रन्थ क्रमश: अनुच्छेद 3.10 व 3.11 में दिये गये हैं। अनुच्छेद 3.12 में बोध प्रश्नों के उत्तर दिये गये हैं। प्रयोग से संबंधित मौखिक प्रश्न व उनके उत्तर अनुच्छेद 3.13 में दिये गये हैं।

3.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

स्पेक्ट्रोमीटर, पारद प्रकाश स्त्रोत, समतल पारगमन ग्रेटिंग, पठ्न लेंस, स्पिरिट लेवल आदि।

3.3 सिद्धान्त (Theory)

जब प्रकाश किसी अपारदर्शी अवरोध (opaque obstacle) अथवा लघु द्वारक (small aperaure) पर जिसका आकार प्रकाश की तरंगदैर्ध्य के तुल्य (comparable) हो आपतित होता हैं तो यह अवरोध अथवा द्वारक के तीक्ष्ण किनारों (sharp edges) पर मुड़ जाता हैं। प्रकाश के मुड़ने की इस क्रिया को विवर्तन कहते हैं। विवर्तन मुख्यत: दो प्रकार का होता हैं - (i) फेनल विवर्तन (Fresnel's diffraction) तथा (ii) फ्रानहॉफर विवर्तन (Fraunhofer's diffraction)। यदि प्रकाश स्रोत तथा प्रेक्षक या पर्दा (screen) दोनों ही विवर्तन उत्पन्न करने वाले अवरोध या छिद्र से सीमित दूरी पर हो तो अर्थात आपतित (incident) व विवर्तित (diffracted) तरग्रांग (wave front) दोनों समतल नहीं हो तो विवर्तन फेनेल विवर्तन कहलाता है।

यदि प्रकाश स्रोत तथा प्रेक्षक दोनों ही विवर्तन प्रभाव उत्पन्न करने वाले छिद्र या अवरोध से प्रभावी रूप से (effectively) अनन्त दूरी पर होते हैं अर्थात आपतित व विवर्तित दोनों ही तरंग्राग समतल में हो तो विवर्तन फॉनहाफॉर विवर्तन कहलाता है।

समतल ग्रेटिंग के द्वारा प्रकाश के फानहॉफर विवर्तन का अध्ययन किया जाता है। ग्रेटिंग एक ऐसी व्यवस्था है, जिसमें वृहत् संख्या में समान चौड़ाई के रेखाछिद्र परस्पर समान दूरी पर स्थित होते है। ये दो प्रकार की होती हैं - (i) समतल पारगमन ग्रेटिंग (plane transmission grating) तथा (ii) परावर्तन ग्रेटिग (reflection grating) यहाँ हम समतल पारगमन ग्रेटिंग से प्राप्त विवर्तन प्रतिरूप का अध्ययन करेगें।

समतल पारगमन गेटिंग

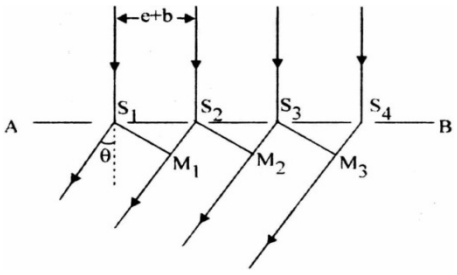
प्रकाशत: समतल (optically plane) काँच की प्लेट पर एक हीरक बिन्दु (diamond point) के द्वारा समान दूरी पर अनेक समान्तर रेखायें खीचीं जाती है। रेखाओं के बीच का स्थान पारदर्शी (transparent) तथा रेखांकित भाग अपारदर्शी (opaque) होता है। पारदर्शी भाग, आपतित प्रकाश के लिए रेखाछिद्रों (slits) का कार्य करता है। इस प्रकार की व्यवस्था को समतल पारगमन ग्रेटिंग कहते है। । इसमें दो बारीक रेखाओं के बीच दूरी (चौडाई) को e तथा बारीक रेखा की चौड़ाई b से व्यक्त करते है। इन दोनों चौड़ाई के योग (e + b) को ग्रेटिंग अन्तराल (grating element) कहते हैं। प्राय: एक इंच (2.5 सेमी) में 12000 से 15000 तक रेखायें खींची जाती हैं व खींचा हुआ भाग 5 सेमी से लेकर 12.5 सेमी तक होता हैं।

व्यवहारिक कार्यो के लिए मूल ग्रेटिंग की प्रतिकृति (replica) तैयार कर काम में ली जाती हैं। प्रतिकृति तैयार करने के लिए मूल ग्रेटिंग पर सेलुलोस ऐसीटेट (cellulose acetate) या कोलोडियन (collodian) घोल की समान मोटाई की परत डालकर इसे सूखा देते हैं सूखने पर यह परत कठोर हो जाती हैं व अब इस परत को हटाकर दो समतल कॉच की पलेटों के मध्य स्थित कर देते है। यह प्लेट भी समतल पारगमन ग्रेटिंग के समान ही कार्य करती हैं।

समतल पारगमन ग्रेटिंग द्वारा विवर्तन प्रतिरूप

माना AB एक समतल ग्रेटिंग हैं, जिसमें रेखाछिद्र S_1, S_2, S_3, ... आदि कागज के तल में है। माना ग्रेटिंग अन्तराल e + b है।

λ तरंगदैर्ध्य की समान्तर प्रकाश किरणें ग्रेटिंग पर अभिलम्वत रूप से चित्रानुसार आपतित होती हैं। जब तरंगाग्र रेखाछिद्रों के तल पर पहुँचता है तो प्रत्येक रेखाछिद्र समस्त दिशाओं में द्वितीयक तरंगाग्र (secondary wave fronts) संचरित करता हैं। एक विशेष दिशा में जाने वाली तरंगिकाओं में व्यतिकरण होता है, जिसे एक लेंस द्वारा अपसारित (converge) कर लेने से अधिकतम (संपोशी व्यतिकरण) तथा न्यूनतम (विनाशी व्यतिकरण) तीव्रता उत्पन्न होती है जो तरंगिकाओं के मध्य पथान्तर पर निर्भर करती है।



चित्र 3.1 ग्रेटिंग के कई रेखाछिद्रों द्वारा विवर्तन

चित्र 3.2 (अ) एक रेखाछिद का चित्र (ब) कई रेखाछिदों द्वारा विवतन

माना S_1, S_2, S_3,..... आदि रेखाछिद्रों से विवर्तित प्रकाश किरणें अभिलम्ब से θ कोण बनाती हैं। चूंकि ग्रेटिंग पर आपतित प्रकाश किरणें समान्तर हैं अत: ग्रेटिंग के रेखाछिद्रों से विवर्तित किरणें भी परस्पर समान्तर होगी व इनके मध्य पथान्तर सदैव नियत होगा।

रेखाछिद्रों S_1, S_2, S_3,..... से क्रमश: अगली विवर्तित रेखाओं पर क्रमश: S_1M_1, S_2M_2, S_3M_3, लम्ब खींचते हैं। अत: दो संलग्न रेखाछिद्रों S_1 व S_2 से θ कोण पर विवर्तित किरणों के मध्य पथान्तर-

$$S_2M_1 = (e + b) \sin\theta \quad (3.1)$$

यहाँ e + b ग्रेटिंग अन्तराल, रेखाछिद्रों S_1 व S_2 के मध्य दूरी है।

(i) यदि विवर्तित किरणों के मध्य पथान्तर तरंगदैर्ध्य (λ) के पूर्णांक (n) गुणज के बराबर हो तो पर्दे पर संपोशी व्यतिकरण होगा व अधिकतम तीव्रता प्राप्त होगी। अत: दीप्त फ्रिंज के लिए

$$(e + b) \sin\theta = n\lambda \quad (3.2)$$

(ii) यदि विवर्तित किरणों के मध्य पथान्तर, तरंगदैर्ध्य (λ) के $\left(n+\frac{1}{2}\right)$ गुणज के बराबर हो तो पर्दे पर विनाशी व्यतिकरण होगा तथा न्यूनतम तीव्रता प्राप्त होगी। अत: अदीप्त फ्रिंज के लिए

$$(e + b) \sin\theta = \left(n+\frac{1}{2}\right)\lambda \quad (3.3)$$

(iii) n = 0,1,2,3 ..... पूर्णाकों को स्पेक्ट्रम की कोटियों (spectrum order) से व्यक्त करते हैं। समी (3.2) से - उच्चिष्ठ के लिए -

$$\lambda = \frac{(e+b)\sin\theta}{n} \quad .....(3.4)$$

समी (3.4) में (e + b), n तथा θके मान रखकर प्रकाश की तरंगदैर्ध्य ज्ञात करते हैं।

बोध प्रश्नों (Self assessment questions)

1. विवर्तन किसे कहते हैं '

   .....

   .....

2. विवर्तन की क्यों शर्त होतीं है?

   .....

   .....

3. विवर्तन कितने प्रकार के होते हैं?

   .....

   .....

4. ग्रेटिंग किसे कहते हैं?

   .....

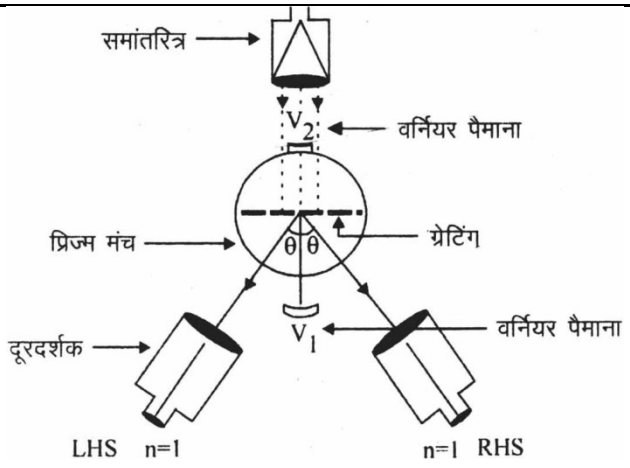
   .....

5. प्रयोग के लिए कौनसी ग्रेटिंग काम में लेते हैं?

   .....

   .....

3.4 चित्र (Diagram)



चित्र 3.3 प्रथम कोटि के स्पेक्ट्रम का पाठ्यांक

3.5 विधि (Method)

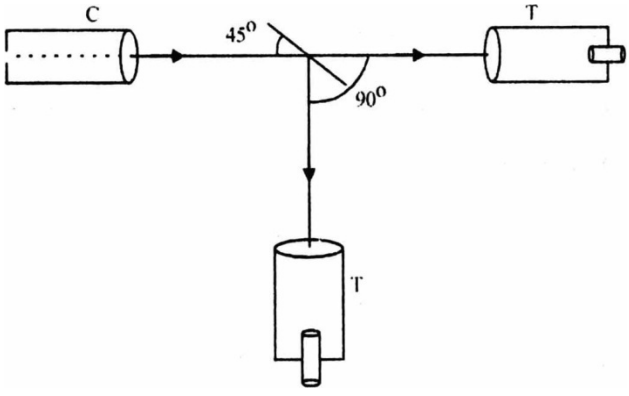
स्पेक्ट्रोमीटर का समायोजन

(i) प्रयोग - 2 में बताई गयी विधि के अनुसार समांतरित्र, दूरदर्शक व प्रिज्म मंच को समायोजित कीजिए।

ग्रेटिंग का व्यवस्थापन, जिससे आपाती प्रकाश उस पर अभिलम्ब हो -

(ii) दिये गये प्रकाश स्रोत (जिसकी तरंगदैर्ध्य ज्ञात करनी है) से समांतरित्र में रेखाछिद्र (slit) को प्रकाशित कीजिए।

(iii) दूरदर्शक को घूर्णित कर समांतरित्र की सीध में लाकर रेखाछिद्र के प्रतिबिम्ब को क्रास-तार पर प्राप्त कीजिए। अब दूरदर्शक की इस स्थिति के लिए वृताकार पैमाने पर पाठ्यांक नोट करें। माना यह पाठ्यांक a' तथा a हैं।



चित्र 3.4 ग्रेटिंग हा अभिलम्ब स्थिर करना

(iv) दूरदर्शक को अपनी प्रथम स्थिति (a) से 90^0 के कोण से घुमाईये। ऐसी स्थिति में वृत्ताकार पैमाने का पाठ्यांक $a + 90^0$ या $a - 90^0$ होगा तथा समांतरित्र व दूरदर्शक के अक्ष एक दूसरे के लम्बवत् होंगे। अब दूरदर्शक को क्लेम्प कर दीजिए।

(v) प्रिज्म मंच के केन्द्र पर ग्रेटिंग को उर्ध्वाधर तल में सममित (symmetrical) रखकर प्रिज्म मंच अर्थात ग्रेटिंग को इस प्रकार धीरे-धीरे घुमाइये ताकि आपाती प्रकाश रेखाछिद्र का परावर्तित प्रतिबिम्ब दूरदर्शक में क्रास तार पर बनाये। इस स्थिति में ग्रेटिंग आपाती किरण (समातंरित्र) से 45^0का कोण बनाती है।

यहाँ यह ध्यान रखना चाहिए कि प्रिज्म मंच को घुमाते समय वृत्ताकार पैमाना नहीं घुमना चाहिए।

(vi) दूरदर्शक की स्थिति को स्थिर रखते हुए (क्लेम्प किये हुए) प्रिज्म मंच को वर्नियर पैमानों सहित 45° या 135° से इस प्रकार घुमाये कि ग्रेटिंग तल आपती किरण के लम्बवत् हो जाये।

(vii) रेखाछिद्र को ग्रेटिंग के रेखांकन के समान्तर करने के लिए दूरदर्शक को घुमाकर ग्रेटिंग द्वारा विवर्तित प्रतिबिम्ब (स्पेक्ट्रम) को क्रास-तार पर लायें। रेखाछिद्र में लगे पेंच से रेखाछिद्र को इतना घुमाइये कि स्पेक्ट्रम सुस्पष्ठ तथा क्रास तार के समान्तर दिखाई दे। इस प्रकार रेखाछिद्र, ग्रेटिंग के रेखांकन के समान्तर हो जाता है।

विवर्तन कोण θ ज्ञात करना

(viii) दूरदर्शक को समांतरित्र की सीध से बाँयी या दाहिने ओर अर्थात् एक ओर हटा कर प्रथम कोटि (first order) का स्पेक्ट्रम की प्रथम रेखा पर स्थिर करें। दोनों वर्नियर पैमानों (V_1 व V_2) की सहायता से दूरदर्शक की कोणीय स्थिति नोट करें।

(ix) अब दूरदर्शक को समांतरित्र की सीध से दूसरी ओर लाकर प्रथम कोटि के स्पेक्ट्रम की प्रथम रेखा को क्रास तार पर प्राप्त कर स्थिर कीजिए तथा पुन: दोनो वर्नियर पैमानों की सहायता से दूरदर्शक की कोणीय स्थिति नोट कीजिए ।

(x) विधि बिन्दु (viii) व (ix) में संगत वर्नियरों से लिये गये पाठ्यांको का अन्तर विवर्तन कोण के दुगने के बराबर होता हैं। अत: पाठ्यांको के अन्तर मान का आधा करके विवर्तन कोण θ प्राप्त कर लें।

(xi) विधि क्रमांक (xiii), (ix) तथा (x) अन्य स्पेक्ट्रमी रेखाओं के लिए दोहरा कर विवर्तन कोण ज्ञात कीजिए।

ग्रेटिंग अन्तराल (e + b) ज्ञात करना

(xii) उत्पादक द्वारा प्राय: 2.5 सेमी (1 इंच) में खींची हुई रेखाओं की संख्या दी हुई होती हैं, इससे ग्रेटिंग अन्तराल प्राप्त कर लें।

(xiii) अन्त में (e + b), θ व n के मान समी. (3.4) में रखकर प्रत्येक स्पेक्ट्रमी रेखा की तरंगदैर्ध्य (λ) का मान ज्ञात कर लें।

टिप्पणी - विवर्तन ग्रेटिंग की सहायता से आप सोडियम प्रकाश की तरंगदैर्ध्य भी ज्ञात कर सकते हैं। सोडियम प्रकाश एकवर्णीय होता हैं। अत: ग्रेटिंग द्वारा विवर्तन से प्राप्त स्पेक्ट्रम में केवल एक ही रंग की रेखा (पीले रंग की) दिखाई देती हैं। विधि बिन्दु (viii), (ix) तथा (x) में बताई गयी विधि के अनुसार स्पेक्ट्रमी रेखा को क्रास तार पर प्राप्त कर दोनों वर्नियर पैमानों की सहायता से विवर्तन कोण ज्ञात कीजिए। प्रयोग से प्राप्त प्रेक्षणों को सारणी-(ii) (प्रेक्षण-4) में लिखिए।

3.6 प्रेक्षण (Observations)

(1) ग्रेटिंग अन्तराल ज्ञात करना

∵ प्रति सेमी ग्रेटिंग रेखाओं की संख्या = ...

∴ ग्रेटिंग अन्तराल (e + b) $= \frac{1 \text{ सेमी}}{\text{रेखाओं की संख्या}}$

= ..... सेमी प्रति रेखा

(2) स्पेक्ट्रोमीटर का अल्पतमांक

(i) वृत्ताकार पैमाने का एक भाग (x) = ... डिग्री

(ii) वर्नियर पैमाने पर भागों की संख्या (y) = ...

(iii) वर्नियर पैमाने का अल्पतमांक $\left(\frac{x}{y}\right)$ = ... डिग्री

(3) अभिलम्ब आपतन के लिए ग्रेटिंग व्यवस्था

(i) जब समांतरित्र व दूरदर्शक एक सीध में थे, जब V_1 व V_2, द्वारा पाठ्यांक

a = ... a' = ...

(ii) दूरदर्शक को 90^0 से घुमाने पर पाठ्यांक

$a + 90^0$ = ... तथा $a' + 90^0$ = ...

(iii) जब ग्रेटिंग को 45^0, या 135^0 से घूर्णित किया जाता है तब पाठ्यांक ..... तथा .....

(4) (i) विवर्तन कोण (θ) ज्ञात करना

पारद प्रकाश के लिये-

वर्णक्रम कोटि n = ...

क्र.सं	प्रकाश रंग	वर्नियर	केन्द्रीय प्रतिबिम्ब के दायीं ओर (a)			केन्द्रीय प्रतिबिम्ब के बायीं ओर (b)			एक ही वर्नियर के लिए $20=(a-b)$	θ	माध्य θ
			मुख्य पैमाने का पाठ्यक्रम (डिग्री)	वर्नियर पैमाने का पाठ्यक्रम (डिग्री)	कुल पाठ्यक्रम (डिग्री)	मुख्य पैमाने का पाठ्यक्रम (डिग्री)	वर्नियर पैमाने का पाठ्यक्रम (डिग्री)	कुल पाठ्यक्रम (डिग्री)	(डिग्री)	(डिग्री)	(डिग्री)
1	बैंगनी	V_1 V_2							(डिग्री)		$\theta v =$
2	हरा	V_1 V_2									$\theta_G =$
3	पीला	V_1 V_2									$\theta_Y =$

वर्नियर पैमाने का पाठ्यक्रम = सम्पाती चिन्ह x अलपतमांक

नोट : इसी प्रकार अन्य वर्णकम कोटियों के लिए सारणी बना सकते हैं।

(ii) विवर्तन कोण (θ) ज्ञात करना -

जब सोडियम प्रकाश के लिये।

वर्णक्रम कोटी	वर्नियर	केन्द्रीय प्रतिबिम्ब के दायीं ओर (A)			केन्द्रीय प्रतिबिम्ब के बायीं ओर (B)			एक ही वर्नियर के लिए $20=(A-B)$	θ	माध्य θ
		मुख्य पैमाने का पाठ्यक्रम (डिग्री)	वर्नियर पैमाने का पाठ्यक्रम (डिग्री)	कुल पाठ्यक्रम (डिग्री)	मुख्य पैमाने का पाठ्यक्रम (डिग्री)	वर्नियर पैमाने का पाठ्यक्रम (डिग्री)	कुल पाठ्यक्रम (डिग्री)	(डिग्री)	(डिग्री)	(डिग्री)
प्रथम n-1	V_1 V_2							(डिग्री)		$\theta_1 =$
द्वितीय n-2	V_1 V_2									$\theta_2 =$
तृतीय n-3	V_1 V_2									$\theta_3 =$

3.7 गणना व परिणाम (Calculations and result)

गणना

$\therefore$ समी (3.4) से

$$\lambda = \frac{(e+b)\sin\theta}{n}$$

उपरोक्त सूत्र में ग्रेटिंग अनतराल (e + b), विवर्तन कोण (θ) तथा स्पेक्ट्रम की कोटि (n) का मान प्रतिस्थापित कर λ का मान ज्ञात करते हैं। जैसे -

(i) बैंगनी रंग के लिए

$$\lambda_v = \frac{(e+b)\sin\theta_v}{n}$$

(ii) हरे रंग के लिए

$$\lambda_g = \frac{(e+b)\sin\theta_g}{n}$$

तथा (iii) पीले रंग के लिए -

$$\lambda_y = \frac{(e+b)\sin\theta_y}{n}$$

परिणाम

पारद स्रोत के लिए-

λ_y = ... (बैंगनी रंग)

λ_g = ... (हरा रंग)

λ_y = ...(पीला रंग)

3.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्रोत (Precautions and sources of error)

पूर्वावधान

(i) समांतरित्र, प्रिज्म मंच तथा दूरदर्शक का संमजन यर्थाथतापूर्वक होना चाहिए ।

(ii) रेखाछिद्र की चौड़ाई अत्यल्प होनी चहिए लेकिन छिद्र बनाने वाले क्षुरघार (sharp edges) एक-दूसरे को स्पर्श नहीं करने चाहिए।

(iii) ग्रेटिंग की ऊँचाई इस प्रकार समंजित करनी चाहिए कि ग्रेटिंग के सम्पूर्ण पृष्ठ पर प्रकाश पड़े।

(iv) ग्रेटिंग पर आपतित प्रकाश अभिलम्बतवत् पड़ना चाहिए।

(v) ग्रेटिंग को हाथ से छूना नहीं चाहिए, इसे किनारों से पकड़ना चाहिए।

(vi) ग्रेटिंग का रेखांकित भाग समांतरित्र की तरफ होना चाहिए।

(vii) पाठ्यांक लेते समय दूरदर्शक तथा प्रिज्म मंच को क्लैम्प करना चाहिए तथा दोनों वर्नियर पैमानों का पाठ्यांक लेना चाहिए।

(viii) कभी ऐसा होता है कि वर्नियर का पाठ्यांक पहले 360° से कुछ कम होता है। माना कि यह 340° है और दूसरी बार वह 360° को पार कर दूसरी ओर आता है। माना कि

अब यह 20° है। अब इनमें अन्तर ज्ञात करने में प्राय: विधार्थी इसकी 340°-20°=320° कर देते हैं। यह गलत है। अन्तर होगा (360°+ 20°) - 340°= 40° या (360°-340° + 20° = 40°।

त्रुटियों के स्त्रोत

(i) रेखाछिद्र का यर्थाथता: पूर्वक उर्ध्वाधर नहीं होना।

(ii) क्रास-तार को रेखाछिद्र पर व्यवस्थित करनें में त्रुटि का होना।

(iii) दूरदर्शक के घूर्णन अक्ष का वृताकार पैमाने के केन्द्र पर न होना।

(iv) ग्रेटिंग को लम्बवत् आपतन के लिए व्यवस्थित करने में त्रुटि का होना।

(v) रेखाछिद्र तथा ग्रेटिंग के रेखांकन का समान्तर नहीं होना।

3.9 सारांश (Summary)

- जब समतल पारगमन ग्रेटिंग पर आपतित प्रकाश अभिलम्बवत् गिरता है तो ग्रेटिंग के विभिन्न रेखाछिद्रों द्वारा प्रकाश विवर्तित होकर, पर्दे पर व्यतिकरण द्वारा स्पेक्ट्रम (चमकीली तथा अदीप्त फ्रिंजे) उत्पन्न करता हैं।
- ग्रेटिंग से प्राप्त स्पेक्ट्रम एक से अधिक कोटि के होते हैं।
- इस प्रयोग से प्रकाश की तरंगदैर्ध्य का मान यथार्थतापूर्वक प्राप्त होते हैं क्योंकि व्यतिकरण के प्रयोगों की भांति इसमें अल्प दूरियाँ नही मापनी होती हैं।

3.10 शब्दावली (Glossary)

अपारदर्शी	Opaque
अपसारी	Converge
अवरोध	Obstacle
गुणज	Multiple
ग्रेटिंग	Grating
ग्रेटिंग अन्तराल	Grating - element
चमकीली	Bright
तरंगदैर्ध्य	Wavelength
तरग्रांग	Wavefront
तुल्य	Comparable
पथान्तर	Path difference
प्रथम कोटि	First order
परावर्तन	Reflection
प्रतिकृति	Replica
रेखाछिद्र	Slit
लघुद्वारक	Small aperature

विवर्तन	Diffraction
व्यतिकरण	Interference
समतल पारगमन ग्रेटिंग	Plane transmission grating
क्षुरघार	Edges

3.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

एम.पी. सक्सेना, पी.आर.सिंह	बी.एस.सी. पार्ट - II	कॉलेज बुक हाऊस,
एस.रावत, एन.एस सक्सेना व सरदार सिंह	प्रायोगिक भौतिकी	जयपुर
एम.जी. भाटवडेकर, टी.एल.दशोराव	नवीन प्रथम वर्ष	रमेश बुक
एस.एस. चौधरी	प्रायोगिकी, भौतिकी	डिपो, जयपुर
डी.पी. अग्रवाल व आर.एस. अग्रवाल	प्रकाशिकी व परमाणु भौतिकी	रतन प्रकाशन मन्दिर, आगरा
Brij Lal and N. Subrahmanyam	Text Book of Optics	S. Chand and Co., Delhi

3.12 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answers to self - assessment questions)

1. प्रकाश के किसी अपारदर्शी अवरोध या लघु द्वारक के तीक्ष्ण किनारों से मुड़ने की घटना को विवर्तन कहते हैं।

2. विवर्तन के लिए अवरोध या लघु द्वारक का आकार, प्रकाश की तरंगदैर्ध्य की कोटि का होना चाहिए।

3. विवर्तन दो प्रकार के होते हैं - (i) फेनेल विवर्तन तथा (ii)फॉनहॉफर विवर्तन

4. ग्रेटिंग ऐसी व्यवस्था (काँच की पट्टिका) होती है, जिसमें समान्तर, समदूरस्थ तथा समान चौड़ाई के अनेक रेखाछिद्र होते है।

5. प्रयोग करने के लिए हम समतल पारगमन ग्रेटिंग की प्रतिकृति काम में लेते हैं।

3.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral questions and answers)

1. विवर्तन किसे कहते हैं?

उत्तर : अपारदर्शी अवरोधों के तीक्ष्ण किनारों पर प्रकाश के मुड़ने तथा ज्यामितिय क्षेत्र में प्रवेश करने की घटना को विवर्तन कहते हैं।

2. ग्रेटिंग किसे कहते हैं?

उत्तर : यह एक समतल काँच की प्लेट होती हैं, जिस पर हीरे की नोंक से समान दूरी पर अति निकट समान्तर रेखाएँ खिची होती हैं।

3. ग्रेटिंग पर प्राय: अंकित रेखाओं की संख्या कितनी होती है?

उत्तर : ग्रेटिंग पर प्राय: 15,000 रेखाएँ प्रति इंच अंकित की जाती है।

4. ग्रेटिंग कितने प्रकार की होती है?

उत्तर : ग्रेटिंग दो प्रकार की होती है- (i) पारगमन ग्रेटिंग तथा परावर्तन ग्रेटिंग।

5. ग्रेटिंग अन्तराल क्या होता है?

उत्तर : दो क्रमागत अंकित रेखाओं के मध्य चौड़ाई तथा अंकित रेखा की चौड़ाई के योग को ग्रेटिंग अन्तराल कहते है।

6. ग्रेटिंग के संगत बिन्दु क्या होते हैं?

उत्तर : दो रेखाछिद्रों में ग्रेटिंग अन्तराल दूरी पर के बिन्दुओं को संगत बिन्दु (corresponding points) कहते हैं।

7. प्रयोगशाला में काम में आने वाली ग्रेटिंग क्या मूल ग्रेटिंग होती है?

उत्तर : नहीं, प्रयोगशाला में मूल ग्रेटिंग की प्रतिकृति काम में ली जाती है।

8. एक अच्छे ग्रेटिंग की क्या आवश्यकताएँ हैं?

उत्तर : एक अच्छे ग्रेटिंग में - (i) रेखाऐं बिल्कुल समान होनी चाहिए (ii) ये एक दूसरे से समान्तर होनी चाहिए तथा (iii) सम्पूर्ण रेखांकित सतह पर समस्त रेखाओं के मध्य दूरी बराबर होनी चाहिए।

9. वर्णक्रम (spectrum) के क्रम से क्या समझते हो?

उत्तर : ग्रेटिंग द्वारा एक ही तरंगदैर्ध्य का आपतित प्रकाश भिन्न-भिन्न विवर्तन कोण बनाते हुए विचलित होता है। विवर्तन कोण का मान पूर्णाकों पर निर्भर करता है। n = 0, 1, 2, 3, ... में n=0 के लिए शून्य कोटि n = 1 प्रथम कोटि आदि के स्पेक्ट्रम कहलाते हैं।

10. शून्य कोटि स्पेक्ट्रम का क्या अर्थ है?

उत्तर : यदि आपतित प्रकाश ग्रेटिंग से बिना विवर्तित हुए सीधे पारगमित हो जाता हैं, तब प्राप्त स्पेक्ट्रम, शून्य कोटि का स्पेक्ट्रम कहलाता है।

11. क्या विभिन्न क्रमों के स्पेक्ट्रमों की तीव्रता समान होती है?

उत्तर : नहीं, ये विभिन्न तीव्रताओं के होते हैं। शून्य क्रम प्रतिबिम्ब सर्वाधिक तीव्र होता हैं व फिर जैसे - जैसे स्पेक्ट्रम का क्रम बढ़ता हैं, उसकी तीव्रता घटती जाती हैं।

12. प्रिज्म से प्राप्त स्पेक्ट्रम तथा ग्रेटिंग से प्राप्त स्पेक्ट्रम में क्या अन्तर हैं?

उत्तर : (i) प्रिज्म से केवल एक स्पेक्ट्रम प्राप्त होता है, जबकि ग्रेटिंग में केन्द्रीय प्रतिबिम्ब के दोनों ओर कई स्पेक्ट्रम बनते हैं ।

(ii) प्रिज्म द्वारा केवल एक स्पेक्ट्रम बनने से स्पेक्ट्रमी रेखाओं की तीव्रता, ग्रेटिंग से प्राप्त स्पेक्ट्रमी रेखाओं की तुलना में अधिक होती है।

(iii) प्रिज्म से प्राप्त स्पेक्ट्रम में रंगो का क्रम, ग्रेटिंग से प्राप्त स्पेक्ट्रम के रंगो से उल्टा (reverse) होता है।

(iv) प्रिज्म में प्रकाश का विक्षेपण, प्रिज्म के पदार्थ के अपवर्तनांक पर निर्भर करता है, जबकि ग्रेटिंग में नही करता है।

(v) प्रिज्म में एक स्पेक्ट्रम होने के कारण अतिव्यापन नहीं होता हैं जबकि ग्रेटिंग में अतिव्यापन हो सकता है।

13. यदि ग्रेटिंग पर अंकित रेखाओं में वृद्धि कर दी जाय तो क्या होगा?

उत्तर : स्पेक्ट्रम का फैलाव अधिक होगा।

14. प्रयोगशाला में काम में आने वाले ग्रेटिंग से कितने कोटि तक स्पेक्ट्रम प्राप्त किये जा सकते है?

उत्तर : दो या तीन कोटि तक के स्पेक्ट्रम।

15. ग्रेटिंग को प्रयोग में आपाती प्रकाश के अभिलम्बवत् क्यों रखा जाता है?

उत्तर : क्योंकि प्रयुक्त सूत्र $\lambda = \frac{(e+b)\sin\theta}{n}$ [n λ = (e + b) sin θ] यह मानकर व्युत्पन्न किया गया है कि प्रकाश ग्रेटिंग पर अभिलम्बवत् आपाती होता है।

16. यदि ग्रेटिंग में अंकित रेखाओं की चौड़ाई तथा इनके मध्य अन्तराल बराबर हो तो क्या होगा?

उत्तर : समकोटि (even order) के स्पेक्ट्रम (n= 2,4,6,.....) अनुपस्थित होंगे।

17. ग्रेटिंग की विक्षेपण क्षमता किन घटकों पर निर्भर करती है?

उत्तर : ग्रेटिंग की विक्षेपण क्षमता (i)स्पेक्ट्रम की कोटि पर (ii) ग्रेटिंग अन्तराल तथा (iii) विवर्तन कोण पर निर्भर करती है।

18. व्यतिकरण तथा विवर्तन में क्या अन्तर है?

उत्तर : व्यतिकरण किन्हीं दो या दो से अधिक कला-सम्बद्ध स्त्रोतों से आने वाली समान आवृति की तरंगों के अध्यारोपण से उत्पन्न होता है, जबकि विवर्तन किसी एक तरंगाग्र से उत्पन्न द्वितीयक तरंगाग्रो के परस्पर व्यतिकरण से उत्पन्न होता हैं।

19. ग्रेटिंग की विक्षेपण क्षमता तथा विभेदन क्षमता में क्या अन्तर है?

उत्तर : ग्रेटिंग की विक्षेपण क्षमता, तरंगदैर्ध्य के सापेक्ष विवर्तन कोण के परिवर्तन की दर के बराबर होती है $\left[\frac{d\theta}{d\lambda}\right]$ जबकि ग्रेटिंग से प्राप्त स्पेक्ट्रम में ग्रेटिंग द्वारा दो स्पेक्ट्रमी रेखाओं को पृथक करने की क्षमता को विभेदन क्षमता $\left[\frac{\lambda}{d\lambda}\right]$ कहते हैं।

प्रयोग - 4

ध्रुवणमापी की सहायता से चीनी के घोल का विशिष्ट घूर्णन ज्ञात करना

(To determine the specific rotation of sugar solution using a polarimeter)

प्रयोग की रूपरेखा

4.0 उद्देश्य

4.1 प्रस्तावना

4.2 आवश्यक उपकरण

4.3 सिद्धान्त

4.4 चित्र

4.5 विधि

4.6 प्रेक्षण

4.7 गणना व परिणाम

4.8 पूर्वावधान एवम् त्रुटियों के स्रोत

4.9 सारांश

4.10 शब्दावली

4.11 संदर्भ ग्रन्थ

4.12 बोध प्रश्नों के उत्तर

4.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

4.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के पश्चात् आप

- ध्रुवण घूर्णकता (optical activity) प्रक्रम को समझ सकेंगे;
- ध्रुवण तल (plane of polarization) के नियमों की जानकारी प्राप्त कर सकेंगे;
- ध्रुवणमापी (polarimeter) का उपयोग करना सीख सकेंगे;
- ध्रुवण घूर्णक (optically active) माध्यम के विशिष्ट घूर्णन (specific rotation) का मापन कर सकेंगे;
- अर्ध आवरण पट्टिका (half shade plate) तथा द्विक्वार्ट्ज युक्ति (biquartz device) की बनावट तथा कार्य प्रणाली समझ सकेंगे;

4.1 प्रस्तावना (Introduction)

जब समतल ध्रुवित प्रकाश (plane polarized light) कुछ पदार्थो में संचरण करता है तो इसका ध्रुवण तल घूम जाता है। ध्रुवण तल में प्राप्त इस घूर्णन के मापने की युक्ति को ध्रुवणमापी (polarimeter) कहते हैं। ध्रुवणमापी दो प्रकार के होते हैं अर्ध आवरण ध्रुवणमापी तथा द्विक्वार्ट्ज (biquartz) ध्रुवणमापी। यहाँ आप दोनों प्रकार के ध्रुवणमापी को प्रयुक्त करके चीनी के घोल का विशिष्ट घूर्णन ज्ञात करेंगे। प्रयोग करने के लिए आवश्यक उपकरणों की सूची अनुच्छेद 4.2 में दी गयी है। प्रयोग से संबंधित भौतिक सिद्धान्त का संक्षिप्त विवरण अनुच्छेद 4.3 में दिया गया है । अनुच्छेद 4.4 में ध्रुवणमापी की व्यवस्था तथा अर्ध आवरण पट्टिका के चित्र दिये गये हैं । प्रयोग करने की बिन्दुवार विधि अनुच्छेद 4.5 में समझाई गयी है । अनुच्छेद 4.6 में विभिन्न प्रेक्षणों के लिए सारणी दी गयी है । अनुच्छेद 4.7 में गणना की आवश्यक जानकारी तथा परिणाम दिये गये हैं। प्रयोग करने के दौरान पूर्वावधान तथा त्रुटियों के स्रोतों का अनुच्छेद 4.8 में उल्लेख किया गया है। अनुच्छेद 4.9 में प्रयोग का सारांश दिया गया है। प्रयोग में काम में ली गयी महत्वपूर्ण शब्दावली तथा संदर्भ ग्रंथ क्रमश: अनुच्छेद 4.10 व 4.11 में दिये गये हैं। अनुच्छेद 4.12 में पूछे गये बोध प्रश्नों के उत्तर दिये गये हैं। अन्त में प्रयोग से संबंधित मौखिक प्रश्न तथा उनके उत्तर अनुच्छेद 4.13 में दिये गये हैं।

4.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

ध्रुवणमापी, सोडियम या श्वेत प्रकाश स्त्रोत, फ्लास्क, चीनी. भौतिक तुला, बाट-बॉक्स आदि।

4.3 सिद्धान्त (Theory)

एक निश्चित तरंगदैर्ध्य के समतल ध्रुवित प्रकाश के लिए किसी ध्रुवण घूर्णक (optically active) माध्यम जिसकी सान्द्रता (concentration) C है, में I दूरी पार करने पर ध्रुवण तल में उत्पन्न घूर्णन कोणθ, दूरी / तथा सान्द्रता C के समानुपाती होता है,

अर्थात $\theta \alpha CI$

या $\theta = SCI$ .....(4.1)

यहाँ नियतांक S को विशिष्ट घूर्णन कहते हैं।

$$S = \frac{\theta}{CI} \quad \text{.....(4.2)}$$

सामान्यतया: द्रव स्तम्भ की लम्बाई को डेसीमीटर (1डेसीमीटर = 10 सेमी) में, द्रव की सान्द्रता को ग्राम / घन सेमी तथा घूर्णन कोण को डिग्री में नापते हैं। अत: S का मानक → डिग्री सेमी^{3} / डेसीमीटर / ग्राम होता है।

तथा सूत्र को इस प्रकार लिखते है -

$$S = \frac{10\theta}{CI} = \frac{10\theta V}{Im} \quad \text{.....(4.3)}$$

यहाँ θ = घूर्णन कोण, डिग्री में

l = ध्रुवणमापी नली की लम्बाई, सेमी में

m = घोल में चीनी की मात्रा, ग्राम में

V = घोल का आयतन, घन सेमी में

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

1. विशिष्ट घूर्णन की परिभाषा लिखिये ।

.....

.....

2. ध्रुवण घूर्णकता या प्रकाशीय सक्रियता किसे कहते हैं?

.....

.....

3. ध्रुवण घूर्णक या प्रकाशीय सक्रिय माध्यम किसे कहते हैं?

.....

.....

4. समतल ध्रुवित प्रकाश को परिभाषित कीजिये ।

.....

.....

घूर्णन कोण (θ). प्रकाश की तरंगदैर्ध्य पर भी निर्भर करता है, $\theta \alpha \frac{1}{\lambda^2}$ तथा θ का मान ताप बढ़ाने पर कम होता है ।

4.4 चित्र (Diagram)

ध्रुवणमापी के मुख्यत: तीन भाग होते हैं (चित्र 4.1)- (1) ध्रुवक (Polarizer) (ii) ध्रुवणमापी नली (Polarimeter tube) (iii) विश्लेषक (Analyser)

(i) ध्रुवक (Polarizer) - ध्रुवक की नली के एक सिरे पर उत्तल लेन्स एल होता है जिसके फोकस पर प्रकाश स्त्रोत S रखते हैं। यह लेन्स प्रकाश को समान्तर किरणों के रूप में निर्गत करता है। यह समान्तर अध्रुवित प्रकाश किरण एक स्थिर निकॉल प्रिज्म (P), जिसे ध्रुवक कहते हैं, पर आपतित होता है। यह अध्रुवित प्रकाश को समतल ध्रुवित प्रकाश में परिवर्तित कर देता है। ध्रुवक को इस प्रकार व्यवस्थित करते हैं कि निर्गत समतल ध्रुवित प्रकाश का कम्पन्न तल ऊर्ध्वाधर रहे। तत्पश्चात इसे सुग्राही युक्ति (sensitive device) पर आपतित किया जाता है। सुग्राही युक्ति दो प्रकार की होती है-

(a) अर्ध आवरण पट्टिका तथा (b) द्वि - क्वार्ट्ज युक्ति

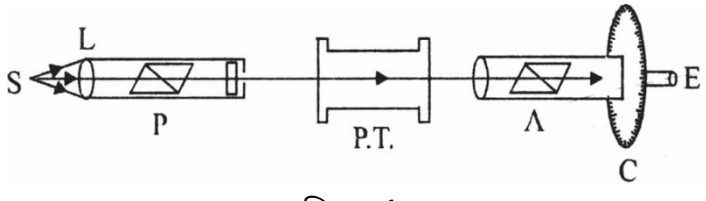
(a) अर्ध आवरण पट्टिका (Half shade plate) - इसका उपयोग सिर्फ एकवर्णी प्रकाश स्त्रोत जैसे सोडियम प्रकाश स्त्रोत की उपस्थिति में किया जाता है। यह युक्ति दो अर्ध वृत्तीय पट्टिकाओं को व्यासत: जोड़ने से बनती है। (चित्र 4.2) इनमें से एक अर्धवृत्तीय पट्टिका क्वार्ट्ज

की अर्ध तरंग पट्टिका होती है जो प्रकाशीय अक्ष (optical axis) के समान्तर कटी होती है और इसकी मोटाई इस प्रकार होती है कि उसमें से गुजरने पर साधारण तथा असाधारण किरणों के बीच पथान्तर $\lambda / 2$ उत्पन्न होता है दूसरी अर्धवृत्तीय पट्टिका साधारण काँच की समतल पट्टिका होती है। जिसकी मोटाई इतनी होती है कि दोनों अर्धवृत्तीय पट्टिकाओं से निर्गत प्रकाश किरण की तीव्रता समान रहे। इसका AB व्यास, ध्रुवित प्रकाश के कम्पन्न तल के अनुदिश होना चाहिए।

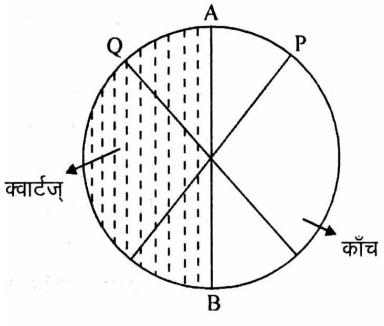
(b) द्वि - क्वार्ट्ज युक्ति (Bi - quartz device) - इसका उपयोग केवल श्वेत प्रकाश स्रोत की उपस्थिति में किया जाता है। इसमें एक अर्धवृतीय पट्टिका वामावृत क्वार्ट्ज (left handed quartz) तथा दूसरी अर्धवृतीय पट्टिका दक्षिणावर्ती क्वार्ट्ज (right handed quartz) से इस प्रकार काटी जाती है कि प्रकाशीय अक्ष पट्टिका के तलों के लम्बवत रहे (चित्र 4.3) । प्रत्येक अर्धवृतीय पट्टिका की मोटाई इतनी (~3.75 मिमी) होनी चाहिये कि आपतित श्वेत समतल ध्रुवित किरण के माध्य पीले रंग का प्रकाश इस युक्ति से निर्गत होने के पश्चात् 90^0 से घूर्णित हो जाये।

(ii) ध्रुवणमापी नली (Polarimeter tube) - यह एक 20 या 25 सेमी लम्बाई वाली काँच की नली होती है जिसके दोनो सिरे काँच की प्लेट से बन्द होते हैं। इसमें ज्ञात सान्द्रता का घोल इस प्रकार पूर्णत: भरा जाता है कि इसके अन्दर वायु का बुलबुला न रहे। जब समतल ध्रुवित प्रकाश किरण इसमें से होकर गुजरती है तो इसके कम्पन्न तल का घूर्णन हो जाता है।

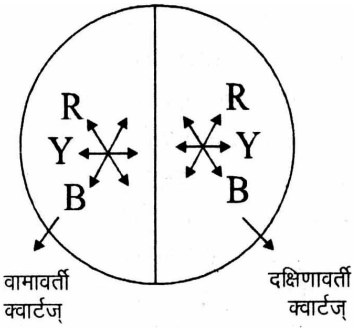
(iii) विश्लेषक (Analyser) - ध्रुवणमापी नली से पारित होने के पश्चात् ध्रुवित प्रकाश एक अन्य निकॉल प्रिज्म A पर आपतित होता है जो ध्रुवित प्रकाश के संचरण की दिशा के सापेक्ष घूर्णन कर प्रकाश का विश्लेषण करता है। अत: इस निकॉल प्रिज्म A को विश्लेषक कहते हैं।



चित्र 4.1



चित्र 4.2



चित्र 4.3

4.5 विधि (Method)

(अ) ध्रुवणमापी का समंजन

(i) यदि ध्रुवणमापी में अर्ध आवरण पट्टिका है तो सोडियम प्रकाश स्त्रोत तथा यदि द्वि-क्वार्ट्ज युक्ति है तो श्वेत प्रकाश स्त्रोत का उपयोग करते हैं।

(ii) नेत्रिका के साथ लगे वृताकार पैमाने का अल्पतमांक ज्ञात कीजिए।

(iii) ध्रुवणमापी नली को साफ करके इसे आसुत जल (distilled water) से पूर्णतया: भर देते हैं जिससे नली में हवा का बुलबुला नहीं रहे।

(iv) आसुत जल से भरी नली को ध्रुवक (P) तथा विश्लेषक A के मध्य उचित स्थान पर रखें।

(v) प्रकाश स्त्रोत से ध्रुवक को आलोकित करें तथा नेत्रिका से देखें।

(vi) अर्ध आवरण ध्रुवणमापी में दोनों अर्धवृत, असमान तीव्रता (एक अदीप्त तथा दूसरा प्रदीप्त) के दिखाई देते हैं। अब विश्लेषक A को दक्षिणावर्ती घुमाकर सम प्रदीप्ति (equal illumination or tint of passage) स्थिति प्राप्त करें। यदि 1-2° और अधिक घुमा दें और दोनों अर्धवृतीय पट्टिकाओं में तीव्रता परस्पर एक-दूसरे के विपरीत हो जाये तो पहले वाली सम प्रदीप्ति स्थिति का पाठ्यांक वृताकार पैमाने द्वारा ज्ञात कर लेते हैं।

(vii) द्वि-क्वार्ट्ज ध्रुवणमापी में दो अर्धवृत भिन्न रंगो के दिखाई देते हैं। विश्लेषक को दक्षिणावर्त घुमाकर एक ऐसी स्थिति प्राप्त करें। जब पहले अर्धवृत में लाल तथा दूसरे अर्धवृत में नीला रंग दिखाई दे जाये। अब विश्लेषक को इतना घुमाते हैं कि दोनों अर्ध वृतों का रंग समान अर्थात बैंगनी हो जाये। विश्लेषक की यह स्थिति वृताकार पैमाने द्वारा नोट कीजिये। ध्यान रहे कि इस स्थिति से 1-2° और अधिक घुमाने पर दोनों अर्थ वृतों के रंग परस्पर परिवर्तित हो जाने चाहिये।

(viii) अब विश्लेषक को वामावर्ती घुमाकर पुन: सम प्रदीप्ति स्थिति या सम रंग स्थिति प्राप्त करें और वृताकार पैमाने पर पाठ्यांक ज्ञात कर लीजिए।

(ब) चीनी का घोल तैयार करना

(ix) भौतिक तुला द्वारा 10 ग्राम चीनी तोलकर फ्लास्क में डालें।

(x) इसमें धीरे-धीरे आसुत जल डालें और चीनी को घोलते जावें जब तक घोल का आयतन 100 घन सेमी न हो जाये।

(xi) यदि चीनी का घोल स्वच्छ न हो तो फिल्टर कागज द्वारा घोल को छान लें।

(स) घोल के लिए ध्रुवण कोण ज्ञात करना

(xii) ध्रुवणमापी नली से जल निकाल कर उसके स्थान पर तैयार किया गया चीनी का घोल भर दें। विश्लेषक को घुमाकर विधि क्रमांक (vi) तथा (vii) में वर्णित समदीप्ति स्थिति या समरंग स्थिति को ज्ञात कर पाठ्यांक लें।

(xiii) चीनी के घोल के कुछ आयतन (50 घन सेमी) में आसुत जल डालें। नये घोल की सान्द्रता ज्ञात करलें। इस घोल के लिए उपरोक्त प्रेक्षण (xi) दोहराते हैं।

(xiv) इसी प्रकार भिन्न-भिन्न सान्द्रता वाले चीनी के घोल के लिए 3 प्रेक्षण सेट लेले।

4.6 प्रेक्षण (Observations)

(अ) ध्रुवणमापी नली की लम्बाई (l) = ... सेमी

कमरे का तापमान (T) = ...^{0}C

(ब) चीनी के घोल की सान्द्रता C ज्ञात करना

(1) चीनी की प्रारम्भिक मात्रा m = ... ग्राम

घोल का प्रारम्भिक आयतन V= 100 घन सेमी

$\therefore$ घोल की प्रारम्भिक सान्द्रता C = $\frac{m}{V}$ ..... ग्राम / घन सेमी

(2) 50 घन सेमी घोल में चीनी की मात्रा m_1= $\frac{m}{2}$ ..... ग्राम

द्वितीय घोल (50 cc प्रारम्भिक घोल + 50 आसुत जल)

का आयतन V = 100 घन सेमी (cc)

(3) द्वितीय घोल की सान्द्रता C = $\frac{m_1}{V}$ ..... ग्राम / घन सेमी

द्वितीय घोल के 50 cc में चीनी की मात्रा $m_2 = \frac{m}{4}$ ..... ग्राम

तृतीय घोल (50 cc द्वितीय घोल + 50 आसुत जल)

का आयतन V = 100 घन सेमी

तृतीय घोल की सान्द्रता C = $\frac{m_2}{V}$ ..... ग्राम / सेमी

(स) घूर्णन कोण (θ) ज्ञात करना

मुख्य वृताकार पैमाने के एक भाग का मान x = ...

वर्नियर में कुल भागों की संख्या n = ...

वृताकार पैमाने का अल्पतमांक = $\frac{x}{n}$ .....

प्रेक्षण सारिणी

वर्नियर पैमाने का पाठ्यक्रम = सम्पाती चिन्ह x अलपतमांक

क्रमांक	ध्रुवणमापी नली में द्रव्य	विश्लेषण की स्थिति						माध्य पाठ्यांक $\left(\frac{i+ii}{2}\right)$	घूर्णकोण θ
		दक्षिणावर्ती			वावर्ती				
		मुख्य पैमाने का पाठ्यांक	वर्नियर पैमाने का पाठ्यांक	कुल पाठ्यांक (i)	मुख्य पैमाने का पाठ्यांक	वर्नियर पैमाने का पाठ्यांक	कुल पाठ्यांक (ii)		
1.	आसुत जल							a =	-
2.	प्रारम्भिक घोल							b =	(b-a)

3.	द्वितीय							c =	(c-a)
4.	तृतीय घोल							d =	(d-a)

4.7 गणना व परिणाम (Calculation and result)

गणना

समी. (4.3) से, घोल के पदार्थ का विशिष्ट घूर्णन-

$$S = \frac{10\theta}{IC}$$

चीनी के तीन विभिन्न घोलों के लिए $\frac{\theta}{C}$ ज्ञात कर इनका माध्य लेवें। उपरोक्त समीकरण में इसी माध्य $\frac{\theta}{C}$ प्रयुक्त करके चीनी का विशिष्ट घूर्णन ज्ञात करलें।

परिणाम

..... ^{0}C ताप तथा .....A^0 तरंगदैर्ध्य वाले प्रकाश के लिए चीनी का विशिष्ट घूर्णन = ... डिग्री घन सेमी / डेसीमीटर ग्राम प्राप्त हुआ।

प्रामाणिक मान = 66^0 घन सेमी / डेसीमीटर ग्राम

प्रतिशत त्रुटि = ... %.

4.8 पूर्वावधान एवम् त्रुटियों के स्त्रोत (Precaustions and sources of error)

पूर्वावधान

(i) ध्रुवणमापी नली को अच्छी तरह आसुत जल से साफ कर लेना चाहिये।

(ii) जल या घोल के साथ प्रयोग करते समय नली में हवा का बुलबुला नहीं होना चाहिये।

(iii) यदि चीनी का घोल पारदर्शी न हो तो उसे फिल्टर कागज द्वारा छान लेना चाहिये।

(iv) भिन्न-भिन्न पाठ्यांक लेने के लिए विश्लेषक को पूरा चक्र नहीं घुमाना चाहिये।

(v) समदीप्ति स्थिति या समरंग स्थिति यथार्थता पूर्वक ज्ञात करनी चाहिये।

त्रुटियों के स्रोत

(i) ध्रुवणमापी नली का स्वच्छ न होना।

(ii) चीनी का घोल पारदर्शी न होना।

(iii) ध्रुवणमापी नली में हवा का बुलबुला होना।

(iv) समदीप्ति स्थिति या समरंग स्थिति को यथार्थता से ज्ञात न करना।

(v) विश्लेषक को पूर्णरूप से घुमाने से विश्लेषक की स्थिती में परिवर्तन हो जाता है।

4.9 सारांश (Summary)

समतल ध्रुवित प्रकाश को किसी घोल से गुजारने पर प्रकाश का कम्पन्न तल घूम जाता है। ध्रुवणमापी द्वारा इस घूर्णन कोण को ज्ञात किया जाता है। इसका मान ताप तथा प्रकाश की तरंग दैर्ध्य पर निर्भर करता है।

4.10 शब्दावली (Glossary)

ध्रुवणमापी	Polarimeter
विशिष्ट घूर्णन	Specific rotation
ध्रुवण घूर्णकता	Optical activity
अर्ध आवरण पट्टिका	Half shade plate
द्वि-क्वार्ट्ज युक्ति	Biquartz device
सान्द्रता	Concentration
ध्रुवक	Polarizer
विश्लेशक	Analyser
ध्रुवणमापी नली	Polarimeter tube

4.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

एम.पी.सक्सेना, पी.आर.सिंह एवं एस.एस.रावत	प्रकाशिकी	कॉलेज बुक हॉउस, जयपुर
एम.पी.सक्सेना, पी.आर.सिंह एस.एस.रावत एवं एन.एस. सक्सेना	प्रायोगिक भौतिकी वी.एस.सी पार्ट - I	कॉलेज बुक हाउस, जयपुर
D.P.Khandelwal	Optics and Atomic Physics	Himalaya Publishing House, Mumbai

4.12 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answers to self assessment questions)

1. स्थिर ताप पर निश्चत तरंगदैर्ध्य के प्रकाश के लिए 1 ग्राम प्रति घन सेमी सान्द्रता वाले 10 सेमी लम्बाई का घूर्णक घोल, ध्रुवित प्रकाश के कम्पन्न तल को जितना घूर्णित कर देता है, उसे विशिष्ट घूर्णन कहते हैं।
2. जब समतल ध्रुवित प्रकाश कुछ पदार्थो में से संचरण करता है तब यद्यपि पारगमित प्रकाश का ध्रुवण तल तो समतल ही रहता है लेकिन यह ध्रुवण तल घूम जाता है। इस प्रक्रम को ध्रुवण घूर्णकता या प्रकाशीय सक्रियता कहते हैं।

3. कुछ पदार्थ जैसे चीनी, ग्लूकोज, फ्रूक्टोज तारपीन, निकोटीन आदि ऐसे होते हैं जिनके घोल में समतल ध्रुवित प्रकाश किरण संचरित हो तो उसके ध्रुवण तल का घूर्णन हो जाता है ऐसे पदार्थ ध्रुवण घूर्णक या प्रकाशीय सक्रिय माध्यम कहलाते हैं।
4. जब किसी प्रकाश किरण में तरंगो के कम्पन्न तल संचरण की दिशा के लम्बवत् एक ही तल में स्थित हों तो वह किरण समतल ध्रुवित प्रकाश किरण कहलाती है।

4.13 मौखिक प्रश्न एवं उत्तर (Oral questions and answers)

1. साधारण प्रकाश एवं ध्रुवित प्रकाश को पारिभाषित कीजिये ।

उत्तर - साधारण प्रकाश में विद्युत चुम्बकीय तरंगों के कम्पन्न तल, संचरण की दिशा के लम्बवत् सभी दिशाओं में समान रूप से होते हैं। ध्रुवित प्रकाश में विद्युत चुम्बकीय तरंगों के कम्पन्न तल संचरण की दिशा के लम्बवत् एक ही तल में स्थित होते हैं।

2. कम्पन तल एवं ध्रुवण तल में अन्तर स्पष्ट कीजिये।

उत्तर - कम्पन तल वह तल है जिसमें प्रकाश के कम्पन और तरंग के चलने की दिशा दोनों ही स्थित होते है जबकि ध्रुवण तल, कम्पन तल के लम्बवत् वह तल है जिसमें प्रकाश के चलने की दिशा में स्थित होती है।

3. समतल ध्रुवित प्रकाश प्राप्त करने की विधियों के नाम बताइये ।

उत्तर - परावर्तन, अपवर्तन, द्विअपवर्तन तथा द्विवर्णता।

4. निकॉल प्रिज्म क्या होता है?

उत्तर - निकॉल प्रिज्म कैल्साइट क्रिस्टल से बनी ऐसी युक्ति होती है जिसके द्वारा समतल ध्रुवित प्रकाश उत्पादित किया जाता है तथा विश्लेषित किया जाता है।

5. अर्ध आवरण तथा द्वि-क्वार्ट्ज पट्टिकाओं में से कौनसी युक्ति, श्वेत या एकवर्णी प्रकाश में कार्य करती है?

उत्तर - अर्ध आवरण पट्टिका सिर्फ एकवर्णी प्रकाश में तथा द्वि-क्वार्ट्ज पट्टिका सिर्फ श्वेत प्रकाश में कार्य करती है।

6. क्या क्वार्ट्ज क्रिस्टल में ध्रुवण घूर्णकता या प्रकाशीय सक्रियता पायी जाती है?

उत्तर - हाँ, लेकिन जब इसे किसी रसायन में घोल दिया जाय तो यह गुण नष्ट हो जाता है अर्थात ऐसे ठोस में यह गुण, क्रिस्टल में परमाणुओं की व्यवस्था के कारण उत्पन्न होता है।

प्रयोग - 5

द्विप्रिज्म की सहायता से एकवर्णीय प्रकाश स्रोत की तरंगदैर्ध्य ज्ञात करना

(To determine the wavelength of monochromatic light source with the help of biprism)

प्रयोग की रूपरेखा

5.0 उद्देश्य

5.1 प्रस्तावना

5.2 आवश्यक उपकरण

5.3 सिद्धान्त

5.4 चित्र

5.5 विधि

5.6 प्रेक्षण

5.7 गणना व परिणाम

5.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्रोत

5.9 सारांश

5.10 शब्दावली

5.11 संदर्भ ग्रन्थ

5.12 बोध प्रश्नों के उत्तर

5.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

5.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के पश्चात् आप -

- व्यतिकरण की घटना को समझ सकेंगे;
- द्विप्रज्म की रचना तथा उसकी कार्यविधि को समझ सकेंगे;
- माइक्रोमीटर का उपयोग कर. विभिन्न नापने वाले पैमानों से उसकी तुलना कर सकेंगे;
- उत्तल लेंस, उसकी फोकस दूरी तथा उससे बनने वाले प्रतिबिम्बों के बारे में जानकारी प्राप्त कर सकेंगे;
- व्यतिकरण तथा विवर्तन से प्राप्त फ्रिंजो में अन्तर ज्ञात कर सकेंगे;
- फ्रिंज अन्तराल की विभिन्न कारकों पर निर्भरता का अध्ययन कर सकेंगे।

5.1 प्रस्तावना (Introduction)

प्रयोग - 1 में आप व्यतिकरण के बारे में पढ़ चुके हैं। जब भी कलासम्बद्ध स्रोतों से उत्सर्जित प्रकाश किरणें, माध्यम में एक ही दिशा में संचरित होती हैं तो अध्यारोपण के सिद्धान्त से एक नई परिणामी तरंग प्राप्त होती है । परिणामी तरंग की तीव्रता (या आयाम), अलग-अलग स्थानों (बिन्दुओ) पर भिन्न-भिन्न तथा प्रारम्भिक तरंगों की तीव्रता से भिन्न होती है। इस घटना को व्यतिकरण कहते हैं। परिणामी तरंग की तीव्रता कहीं बहुत अधिक तथा किन्ही बिन्दुओं पर शून्य होती है। व्यतिकरण की घटना के लिए दो कलासम्बद्ध स्रोतों का होना आवश्यक है। कलासम्बद्ध स्रोत प्राप्त करने के लिए अनेक विधियाँ हैं- जैसे लॉयड का दर्पण, फानाकार फिल्म, फ्रेनेल का द्विप्रिज़्म यंग का द्विसीलीट, फ्रेनेल का द्विदर्पण इत्यादि। इस प्रयोग में हम फ्रेनेल के द्विप्रिज्म से अपवर्तन द्वारा दो कलासम्बद्ध स्रोत प्राप्त कर व्यतिकरण प्रतिरूप का अध्ययन करेंगे तथा एकवर्णीय प्रकाश स्रोत की तरंगदैर्ध्य ज्ञात करेंगे।

प्रयोग के मुख्य उद्देश्य के साथ अन्य महत्वपूर्ण जानकारी भी प्राप्त कर सकते हैं। इनकी सूची अनुच्छेद 5.0 में दी गयी है। प्रयोग के लिए आवश्यक उपकरण अनुच्छेद 5.2 में दिये गये हैं। अनुच्छेद 5.3 में प्रयोग से सम्बन्धित सिद्धान्त का संक्षिप्त विवरण दिया गया है। प्रयोग से सम्बन्धित चित्र अनुच्छेद 5.4 में दिये गये हैं। इसी अनुच्छेद में उपकरण का विवरण भी दिया गया है। अनुच्छेद 5.5 में प्रयोग के करने की विधि का विस्तृत उल्लेख किया गया है। प्रयोग से प्राप्त प्रेक्षणों को नोट करने के लिए प्रेक्षण सारणी अनुच्छेद 5.8 में दी गयी है। अनुच्छेद 5.7 में गणना तथा परिणाम की जानकारी दी गयी है । प्रयोग करने के दौरान काम में ली जाने वाली सावधानियों तथा त्रुटियों के स्रोतों का उल्लेख अनुच्छेद 5.8 में किया गया है। अनुच्छेद 5.9 में प्रयोग का सारांश दिया गया है। प्रयोग से सम्बन्धित महत्वपूर्ण शब्दावली अनुच्छेद 5.10 में तथा महत्वपूर्ण संदर्भ ग्रन्थ अनुच्छेद 5.11 में दिये गये हैं। अनुच्छेद 5.12 में बोध प्रश्नों के उत्तर दिये गये हैं। अन्त में अनुच्छेद 5.13 में प्रयोग से सम्बन्धित महत्वपूर्ण मौखिक प्रश्न व उनके उत्तर दिये गये हैं।

5.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

प्रकाशीय बैंच (optical bench), द्विप्रिज्म (birprism), उत्तल लेंस (concave lens), नेत्रिका (eye piece), रेखाछिद्र (slit),सोडियम प्रकाश स्रोत, उर्ध्व स्तम्भ (up - rights) आदि।

5.3 सिद्धान्त (Theory)

व्यतिकरण

प्रयोग-1 में भी आप व्यतिकरण के बारे में पढ़ चुके हैं। व्यतिकरण के लिए दो कलासम्बद्ध प्रकाश स्रोतों का होना आवश्यक है। दो कलासम्बद्ध प्रकाश स्रोतों को प्राप्त करने के लिए अनेक 'विधियाँ हैं जैसे - यंग की युग्म स्लिट (Young's doubled slit), लॉयड का दर्पण (Lloyd's mirror), फ्रेनेल का द्विप्रिज्म (Fresnel's biprism), फ्रेनेल का द्विक दर्पण

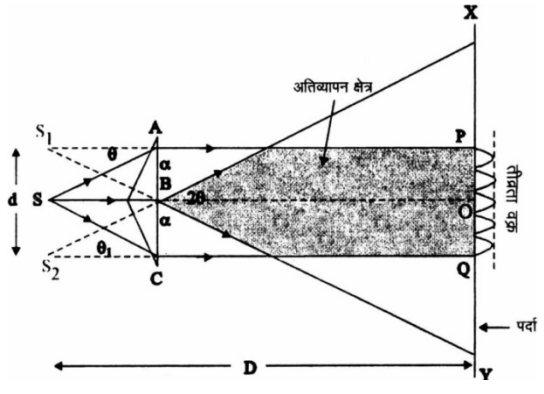
(Fresenl's double mirror), लेसर (Laser), माइकलसन का व्यतिकरणमापी (Michelsol's interferometer) आदि। इस प्रयोग में हम फ्रेनेल के द्विप्रिज़्म से दो कलासम्बद्ध स्रोत प्राप्त कर, व्यतिकरण का अध्ययन करेंगे।

द्विप्रिज़्म (Biprism) - द्विप्रिज़्म एक ऐसी युक्ति है जिसके द्वारा दो कलासम्बद्ध स्रोत (coherent source) प्राप्त करते हैं। द्विप्रिज़्म दो प्रिज्मो के संयोग से बनाया जाता है। दोनों प्रिज्मो को आधार से जोड़ा जाता है। इन दोनों ही प्रिज्मो के अपवर्तन कोण या प्रिज्म कोण अत्यन्त सूक्ष्म (लगभग आधा डिग्री) होते हैं। व्यवहार में द्विप्रिज्म कांच की समतल प्लेट को इस तरह घिसकर तथा पॉलिश कर बनाया जाता है कि इसका अनुप्रस्थ काट त्रिभुजाकार दिखाई दे, जिसका शीर्ष कोण 179° (लगभग) तथा शेष कोण आधे-आधे डिग्री के हों।

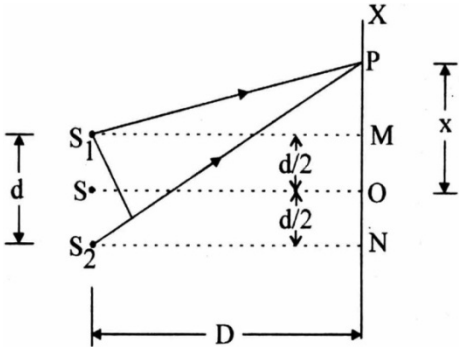
द्विप्रिज्म द्वारा व्यतिकरण फ्रिंजो का बनना -

एकवर्णीय प्रकाश स्रोत (S) से प्रकाश किरणें द्विप्रिज्म ABC के AB तथा BC पृष्ठों पर पड़ती है। द्विप्रिज्म को स्रोत (या स्लिट) S के सामने इस प्रकार से रखते हैं कि उसकी अपवर्तक कोर स्लिट S के समान्तर हो। तरंगाग्र (wave front) के विभाजन के कारण अपवर्तन के पश्चात् द्विक प्रिज्म के ऊपर तथा नीचे के अर्द्धभागो से निकलने वाला प्रकाश दो आभासी स्रोतों (S_1, व S_2) से आता हुआ प्रतीत होता है। अत: S_1, व S_2 द्विप्रिज्म द्वारा बने S के दो आभासी प्रतिबिम्ब हैं, जो कलासम्बद्ध स्रोतों के समान कार्य करते हैं। इन स्रोतों से प्राप्त प्रकाश व्यतिकरण उत्पन्न करता है। व्यतिकरण से प्राप्त फ्रिंजो को नेत्रिका (eye piece) से देखा जा सकता है। फ्रिंजे, अतिपरवलय के आकार की होती हैं लेकिन नेत्रिका के फोकस तल में अति उत्केन्द्रता (high eccentricity) के कारण ये फ्रिंजे सीधी (straight), बराबर चौड़ाई तथा रेखाछिद्र (slit) के समान्तर दिखाई देती हैं।

माना कलासम्बद्ध काल्पनिक स्रोतों के S_1, व S_2 मध्य दूरी d है। स्रोत S से D दूरी पर द्विप्रिज्म के समान्तर एक पर्दा (screen) XY रखा है। पर्दे के केन्द्र बिन्दु O से दोनों स्रोत S_1, व S_2 बराबर दूरी पर हैं। पर्दे के O बिन्दु से x दूरी पर कोई बिन्दु P लेते हैं, जिस पर व्यतिकरण का अध्ययन करना है। स्रोत S_1, व S_2 से चलने वाली प्रकाश तरंगे O - बिन्दु पर समान कला (बराबर दूरी होने के कारण) में पहुंचती हैं। जिससे O बिन्दु पर एक दीप्त फ्रिंज होती है।



चित्र 5.1 द्विप्रिज्म द्वारा व्यतिकरण तथा व्यतिकरण प्रतिरूप



चित्र 5.2 दो तरंगों के मध्य पथान्तर

S_1, व S_2, से चलने वाली प्रकाश तरंगें बिन्दु P पर $S_2P - S_1P$ पथान्तर पर पहुंचती हैं। चित्र की ज्यामिती द्वारा हम पथान्तर का निम्न मान प्राप्त कर सकते हैं -

$$(S_2P - S_1P) = \frac{xd}{D} \quad (5.1)$$

अत: बिन्दु P पर दोनों तरंगों के मध्य पथान्तर $\frac{xd}{D}$ होगा। बिन्दु P पर प्रकाश की अधिकतम तथा न्यूनतम तीव्रता तब होगी जब पथान्तर $\left(\frac{xd}{D}\right)$, क्रमश: तरंगदैर्ध्य $\frac{\lambda}{2}$ का समगुणज तथा विषम गुणज होगा।

$\therefore$ बिन्दु P पर दीप्त फ्रिंज (अधिकतम तीव्रता) के लिए -

$$S_2P - S_1P = \frac{xd}{D} = 2n \times \frac{\lambda}{2} = n\lambda$$

$$\therefore \quad \frac{xd}{D} = n\lambda$$

या $\quad x = \frac{n\lambda D}{d}$ n = 0,1,2,3,4,..... .(5.2)

इसी प्रकार अदीप्त फ्रिंज (न्यूनतम तीव्रता) के लिए -

$$S_2P - S_1P = \frac{xd}{D} = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$$

$$\therefore \quad \frac{xd}{D} = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

या $\quad x = \left(n + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda D}{d}$ (5.(3

किन्हीं दो दीप्त या अदीप्त फ़्रिजों के मध्य दूरी को फ्रिंज अन्तराल (frinje width) कहते हैं। यदि n वीं तथा (n + 1) वीं दीप्त फ़्रिंजों की बिन्दु O से दूरियां क्रमश: x_n तथा x_{n+1} हो तो

$x_n = \frac{n\lambda D}{d}$ (5.4)

तथा $x_{n+1}) = n+1) \frac{\lambda D}{d}$ 5).(5

$\therefore \quad = \beta x_{n+1} - x_n) = n+1) \frac{\lambda D}{d} - n \frac{\lambda D}{d}$

या $\beta = \frac{\lambda D}{d}$ (5.6)

जहां फ्रिंज अन्तराल (frinje width) हैं।

$\therefore \quad \lambda = \frac{\beta d}{D}$ (5.7)

अदीप्त व दीप्त दोनों प्रकार की फ्रिंन्जों के लिए फ्रिन्ज अन्तराल β समान होता है। अत: फ्रिन्ज अन्तराल β, आभासी स्रोतों के मध्य दूरी d तथा स्त्रोत पर्दे की दूरी D के मापन से प्रकाश की तरंगदैर्ध्य ज्ञात कर सकते हैं।

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

1.व्यतिकरण किसे कहते हैं?

.....

.....

2. व्यतिकरण के लिए आवश्यक प्रतिबन्ध क्या है?

.....

.....

3. कला सम्बन्ध स्त्रोत प्राप्त करनें की कौन – कौन सी विधियाँ हैं?

.....

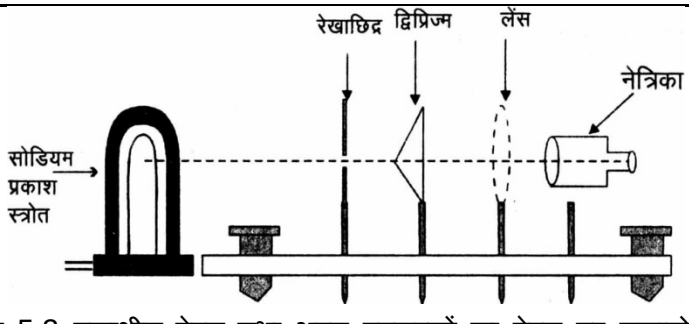
.....

4. द्विप्रिज्म के अपवर्तक कोणों तथा शीर्ष कोण का क्या मान होता है?

.....

.....

5.4 चित्र (Diagram)



चित्र 5.3 प्रकाशीय बेन्च तथा अन्य उपकरणों का बेन्च पर समायोजन

उपकरण का वर्णन

द्विप्रिज्म के इस प्रयोग में लगभग 1.5 मीटर लम्बी व भारी धातु की बनी एक प्रकाशीय बेंच (optical bench) होती है। बेंच में लगभग 1.75 मीटर लम्बी धातु की दो छड़े होती हैं। जिनमे से एक पर मिमी. पैमाना अंकित होता है। इन छड़ों पर चार उर्ध्व स्तम्भ (uprights) खिसकाये जा सकते हैं जिन्हे आवश्यकतानुसार कहीं भी कसा जा सकता है। इन स्तम्भों में से पहले पर एक समायोज्य रेखाछिद्र (adjustable slit), दूसरे पर बाईप्रिज्म, तीसरे में लेंस तथा चौथे स्तम्भ पर नेत्रिका स्थित होती है। प्रत्येक उर्ध्व स्तम्भ को बेंच की लम्बाई की दिशा में लम्बाई के लम्बवत् तथा उर्ध्वदिशा में खिसकाने की व्यवस्था होती है। इसके अतिरिक्त चारों स्तम्भ अपने अक्ष के सापेक्ष घूर्णन भी कर सकते हैं। रेखाछिद्र तथा द्विप्रिज्म वाले उर्ध्व स्तम्भ बेंच की लम्बाई के लम्बवत् उर्ध्वाधर तल में भी घुमाये जा सकते हैं। नेत्रिका के साथ एक माइक्रोमीटर लगा हुआ होता है, जो प्रकाशीय बेंच के लम्बवत् नेत्रिका को खिसकाये जाने वाली दूरी को नापता है। पहले स्तम्भ पर लगे रेखाछिद्र को एकवर्णी प्रकाश, (जिसकी तरंगदैर्ध्य ज्ञात करनी है) से प्रकाशित किया जाता है।

द्विप्रिज्म के बारे में अनुच्छेद 5.3 में पढ़ चुके हैं।

5.5 विधि (Method)

स्पष्ट फ्रिजें प्राप्त करने के लिए निम्न समंजन आवश्यक है -

प्रकाशीय बेंच तथा उर्ध्य स्तम्भों का समंजन -

(i) स्प्रिट तल दर्शक की सहायता से प्रकाशीय बेंच पर लगे क्षैतिज पेंचों से बेंच के आधार को क्षौतिज करें।

(ii) रेखाछिद्र (S), द्विप्रिज्म (B) तथा नेत्रिका को उर्ध्व स्तम्भों में एक सीधी रेखा में तथा समान ऊंचाई पर प्रकाशीय बेंच पर रखें।

(iii) नेत्रिका को सफेद दीवार की ओर करके क्रास-तार पर फोकस कीजिए। क्रास तार को इस प्रकार घुमावें कि एक तार उर्ध्वाधर हो जाये।

(iv) स्लिट कोर को उर्ध्वाधर करने के लिए स्पर्शज्या पेंच से उसे घूर्णित करते हैं। स्लिट तथा नेत्रिका के मध्य उत्तल लेंस रखकर, स्लिट का प्रतिबिम्ब क्रास तार पर बनाकर भी देख सकते हैं कि प्रतिबिम्ब अर्थात रेखाछिद्र क्रास तार के समान्तर हो गया है।

(v) रेखाछिद्र को प्रकाश स्रोत (एकवर्णीय प्रकाश स्रोत; सोडियम प्रकाश स्रोत) के अति निकट रखकर, प्रकाशीय बेंच को इस प्रकार से संमजित करें कि स्रोत से उत्सर्जित प्रकाश, बेंच की लम्बाई के अनुदिश आये।

(vi) रेखाछिद्र की चौड़ाई, जितनी सम्भव हो सके, उतनी महीन रखें, लेकिन साथ में यह भी ध्यान रहे कि रेखाछिद्र के क्षुरधार परस्पर स्पर्श न करें।

द्विप्रिज्म का समायोजन

(vii) रेखाछिद्र के बाद द्विप्रिज्म को इस तरह से उर्ध्व स्तम्भ पर रखें कि उसकी अपवर्तक कोर उर्ध्वाधर तथा स्लिट की ओर हो। रेखाछिद्र तथा द्विप्रिज्म को समान ऊँचाई पर रखें।

(viii) द्विप्रिज्म को रेखाछिद्र के निकट रखकर, द्विप्रिज्म से रेखाछिद्र का प्रतिबिम्ब देखें। रेखाछिद्र के दो प्रतिबिम्ब दिखाई देंगे। यदि दो प्रतिबिम्ब नहीं दिखाई देते हैं तो द्विप्रिज्म को बेंच के लम्बवत् तब तक सरकाऐं जब तक बेंच के अनुदिश द्विप्रिज्म में से देखने पर रेखाछिद्र के दो आभासी प्रतिबिम्ब S_1 व S_2 दिखाई देने लगे।

(ix) दोनो प्रतिबिम्ब दिखाई देने के बाद, बेंच की लम्बाई के लम्बवत् आँख को जरा सा इधर-उधर घुमाने पर रेखाछिद्र का प्रतिबिम्ब द्विप्रिज्म की कोर से एकदम एक ओर (one side) से दूसरी ओर (other side) जाता हुआ दिखाई देता है।

यदि रेखाछिद्र तथा द्विप्रिज्म की कोर एक दूसरे के समान्तर हैं तो पूरा प्रतिबिम्ब द्विप्रिज्म की कोर की एक ओर से दूसरी ओर आयेगा। यदि रेखाछिद्र तथा द्विप्रिज्म की कोर समान्तर नहीं है तो प्रतिबिम्ब का कुछ भाग पहले तथा कुछ भाग बाद में आयेगा। स्पर्शज्या पेंच से द्विप्रिज्म को इतना घूर्णित करें कि उसकी कोर स्लिट के समान्तर हो जाये।

(x) सोडियम प्रकाश से रेखाछिद्र के प्रकाशित होने पर, नेत्रिका को द्विप्रिज्म पास रखें। नेत्रिका से देखने पर दृष्टि क्षेत्र में एक चौड़ा दीप्त बैंड (band) दिखाई देता है। यह बैंड, द्विप्रिज्म के दोनों अपवर्तक तलों से अपवर्तित होकर आने वाले प्रकाश के अध्यारोपण से बनता है।

यदि बैंड नहीं दिखाई दे तो नेत्रिका को प्रकाशीय बेंच के लम्बवत् सरकाए, तथा दीप्त बैंड दृष्टि क्षेत्र में लाएँ।

(xi) द्विप्रिज्म को स्वयं के तल में स्पर्शरेखीय पेंच (tangent screw) की सहायता से इतना घूर्णित करें कि नेत्रिका में से देखने पर स्पष्ट फ्रिजें दिखाई दें।

पार्श्व विस्थापन (lateral shift) का निराकरण (अर्थात रेखाछिद, द्विप्रिज्म तथा नेत्रिका को जोड़ने वाली रेखा को बेच की लम्बाई के समान्तर तथा सीध में करना

नेत्रिका को द्विप्रिज्म से दूर ले जावें। यदि ऐसा करने से फ्रिंजे नेत्रिका के दृष्टि क्षेत्र से विस्थापित हो जाती हैं तो यह पार्श्व विस्थापन (lateral shift) कहलाता है। इसका निराकरण करना आवश्यक होता है। इसको दूर करने के लिए -

(xii) नेत्रिका में लगे वृत्ताकार पैमाने वाले पेंच को घुमाकर क्रास-तार के उर्ध्वाधर तार पर किसी एक फ्रिंज को फोकस करें। अब नेत्रिका को धीरे-धीरे द्विप्रिज्म से दूर तथा द्विप्रिज्म को भी प्रकाशीय बेंच के लम्बवत् इतना खिसकाएँ कि फोकस की गयी फ्रिन्ज क्रास-तार पर आ जावे।

(xiii) अब नेत्रिका को द्विप्रिज्म की ओर धीरे-धीरे ले जाएँ तथा प्रकाशीय बेंच के लम्बवत विपरीत दिशा में इतना सरकाऐं कि क्रास तार उसी फ्रिंज पर फोकसित रहे।

यह क्रिया बार-बार दोहराएँ जब तक कि नेत्रिका को द्विप्रिज्म से परे हटाने पर फ्रिन्जें फैलती हुई दिखाई दें तथा फोकस की गयी फ्रिन्ज क्रासतार पर ही फोकसित रहे।

फ्रिन्ज अन्तराल (β) का मापन -

(xiv) नेत्रिका को द्विप्रिज्म से इतनी दूरी पर रखें कि फ्रिंजें सुस्पष्ट दिखाई दें। फ्रिन्जें न तो बहुत चौड़ी होनी चाहिए और न ही बहुत संकरी होनी चाहिए।

(xv) नेत्रिका में लगे माइक्रोमीटर का अल्पतमांक ज्ञात कीजिए।

(xvi) अब फ्रिन्जों का दृष्टि क्षेत्र तय करके, नेत्रिका के क्रास तार को फ्रिन्जों के एक तरफ ले जावें तथा क्रास तार को किसी दीप्त फ्रिन्ज के मध्य बिन्दु से सम्पाती करें। इस स्थिति में माइक्रोमीटर द्वारा पाठ्यांक नोट कीजिए।

(xvii) अब उसी दिशा में पेंच को चलाते हुए क्रास-तार को क्रमश: 6 वें, 11 वें, 16 वें ,. दीप्त फ्रिन्जों के बराबर मध्य में सम्पाती कराकर माइक्रोमीटर का पाठ्यांक नोट कीजिए।

(xviii) दो लगातार पाठ्यांकों का अन्तर 5β के बराबर है तथा दो क्रमागत फ्रिन्जों के मध्य दूरी को फ्रिन्ज अन्तराल (β) कहते हैं।

इस प्रकार पाँच फ्रिन्जों का औसत अन्तराल ज्ञात करके एक फ्रिन्ज का औसत अन्तराल β ज्ञात कर लें।

रेखाछिद्र तथा नेत्रिका (अर्थात स्रोत तथा पर्दे) के मध्य दूरी (छ) ज्ञात करना

(xix) प्रकाशीय बेंच में लगे मुख्य पैमाने की सहायता से रेखाछिद्र तथा नेत्रिका की स्थिति नोट कर लें। इन दोनों स्थितियों के अन्तर से दूरी D प्राप्त कर लें।

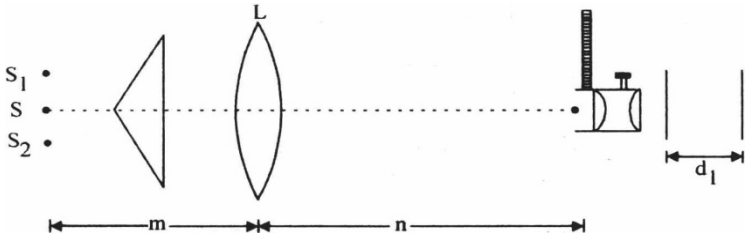
दो आभासी स्रोतो (S_1 व S_2) के मध्य दूरी D का मापन

(xx) द्विप्रिज्म, रेखाछिद्र तथा नेत्रिका की स्थितियों को बिना हिलाये एक उत्तल लेंस (concave lens) को dwiprizm तथा नेत्रिका के मध्य रखें।

उत्तल लेंस की फोकस दूरी द्विप्रिज्म तथा नेत्रिका के मध्य दूरी की एक चौथाई (one fourth) से कम होनी चाहिए।

(xxi) उत्तल लेंस को द्विप्रिज्म के पास लाकर ऐसी स्थिति में रखें कि रेखाछिद्र के दोनों आभासी स्रोतों के प्रतिबिम्ब नेत्रिका में स्पष्ट दिखाई दें। नेत्रिका में दोनों आभासी स्रोतों के प्रतिबिम्ब स्पष्ट दिखाई देने पर नेत्रिका में लगे माइक्रोमीटर से दोनो प्रतिबिम्बों की स्थितियों के पाठ्यांक नोट कर लीजिए।

दोनों पाठ्यांकों का अन्तर ज्ञात कर प्रतिबिम्बों के बीच दूरी D प्राप्त कर लें।



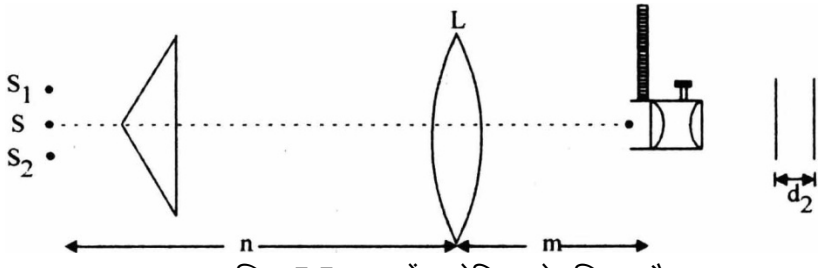
चित्र 5.4 जब लेंस. द्विप्रिज्म के निकट है।

ऐसी स्थिति $\frac{d_1}{d} = \frac{v}{u} = \frac{n}{m}$ (5.8)

(xxii) अब उतल लैंस को नेत्रिका के पास लाकर एक बार फिर ऐसी स्थिति प्राप्त करें कि आभासी स्रोतों S_1 व S_2 के प्रतिबिम्ब नेत्रिका में सुस्पष्ट दिखाई देने लगे। नेत्रिका में लगे माइक्रोमीर द्वारा इस स्थिति में दोनों प्रतिबिम्बों के मध्य दूरी d_2, नोट कर लें ।

यहां v = m, तथा u = n

$\therefore \quad \frac{d_2}{d} = \frac{v}{u} = \frac{m}{n}$ (5.13)



चित्र 5.5 जब लेंस नेत्रिका के निकट है।

समी (5.8) व (5.9) से -

$$\frac{d_1 d_2}{d^2} = 1$$

$$d = \sqrt{d_1 d_2} \qquad \text{.....(5.1)}$$

समी (5.10) की सहायता से दोनों आभासी स्रोतों के मध्य दूरी d प्राप्त कर लें। यहां d_1 का मान d_2 से ज्यादा होता है तथा, d,d_1 व d_2,का ज्यामिति माध्य (geometrical mean) है।

5.6 प्रेक्षण (Observations)

1. रेखाछिद्र से नेत्रिका के मध्य दूरी D = ... सेमी.
2. फ्रिन्ज अन्तराल (β) का मापन -

(i) माइक्रोमीटर के मुख्य पैमाने का एक भाग (क्ष) = ... सेमी.

(ii) वृत्ताकार पैमाने में भागो की संख्या (y) = ...

(iii) माइक्रोमीटर का अल्पतमांक $\frac{x}{y}$ = ... सेमी

(iv) सारणी

	माइक्रोमीटर पाठ्यांक			

वर्नियर पाठ्यांक = संपाती चिन्ह × अल्पतमांक

फ्रिन्ज संख्या	मुख्य पैमाने का पाठ्यांक (सेमी) a	वर्नियर पैमाने का पाठ्यांक (सेमी) b	कुल पाठ्यांक (सेमी) A+b	5 फ्रिन्जों का अन्तराल सेमी	5 फ्रिन्जों औसत अन्तराल (5β) (सेमी)	माध्य फ्रिन्ज अन्तराल (β) (सेमी)
1 6 11 16 21 26 31				(6-1)= (11-6)= (16-11)= (21-16)= (26-21)= (31-26)=		

3. दोनो आभासी स्रोतों में मध्य दूरी d का मापन-

माइक्रोमीटर का पाठयांक

क्र.स	लेंस की स्थिति	माइक्रोमीटर का पाठयांक						b-a (सेमी)	$d=\sqrt{d}_1 d_2$ (सेमी)
		I प्रतिबिम्ब			II प्रतिबिम्ब				
		मुख्य पैमाने का पाठयांक (सेमी)	वर्नियर पैमाने का का पाठयांक (सेमी)	कुल पैमाने का का पाठयांक (सेमी a	मुख्य पैमाने का पाठयांक (सेमी)	वर्नियर पैमाने का पाठयांक (सेमी)	कुल पैमाने का का पाठयांक (सेमी) b		
1. 2.	रेखाछिद्र के पास नेत्रिका के पास							d_1 = d_2 =	d =

5.7 गणना व परिणाम (Calculations and result)

गणना

∵ समी (57) से -

एकवर्णीय प्रकाश स्रोत की तरंगदैर्ध्य -

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

उपरोक्त समी में β,d तथा D का मान रखकर, प्रकाश की तरंगदैर्ध्य की गणना कीजिए ।

परिणाम

एकवर्णीय प्रकाश (सोडियम प्रकाश) की तरंगदैर्ध्य (λ)= ..... सेमी प्राप्त हुई ।

λ =.....A^o

5.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्रोत (Precautions and sources error)

पूर्वावधान

(i) प्रकाशीय बेंच क्षैतिज होना चाहिए तथा रेखाछिद्र, द्विप्रिज्म उत्तल लेंस तथा नेत्रिका प्रायोगिक भौतिकी प्रकाशीय बेंच की लम्बाई के सीध में तथा समान ऊँचाई पर होने चाहिए ।

(ii) रेखाछिद्र, उर्ध्वाधर तथा जितना सम्भव हो सके, संकीर्ण होना चाहिए ।

(iii) दीप्त फ्रिन्ज के केन्द्र पर क्रास तार को सम्पाती कर माइक्रोमीटर से पाठ्यांक लेने चाहिए तथा फ्रिन्जों की स्थिति के मापन में माइक्रोमीटर के पेंच को एक दिशा में घुमाना चाहिए ताकि पेंच में पिच्छट त्रुटि न रहे ।

(iv) यदि फ्रिन्जों में पार्श्व विस्थापन है तो इसे दूर करना चाहिए ।

(v) रेखाछिद्र तथा नेत्रिका के मध्य दूरी उत्तल लेंस की फोकस दूरी की चौगुनी होनी चाहिए ,अन्यथा हम d_1व d_2 नहीं माप पायेंगे ।

(vi) कई बार विवर्तन फ्रिंजें भी बनती हैं, इन फ्रिंजों की चौड़ाई समान नहीं होती है । हमें हमेशा समान अन्तराल वाली व्यतिकरण फ्रिंजों का ही पाठ्यांक लेना चाहिए ।

त्रुटियों के स्रोत

(i) रेखाछिद्र, द्विप्रिज्म नेत्रिका का समान ऊचाँई पर न होना ।

(ii) रेखाछिद्र का यथार्थत: उर्ध्वाधर व संकीर्ण न होना ।

(iii) द्विप्रिज्म की कोर का रेखाछिद्र के समान्तर न होना ।

(iv) क्रॉस तार को दीप्त फ्रिन्ज के बराबर मध्य में व्यवस्थित करने में त्रुटि होना ।

(v) माइक्रोमीटर पेंच को एक ही दिशा में नहीं घुमाने के कारण उत्पन्न पिच्छट त्रुटि का होना ।

5.9 सारांश (Summary)

- द्विप्रिज्म एक ऐसी युक्ति है, जिसकी सहायता से व्यतिकरण के लिए आवश्यक दो कला सम्बद्ध स्रोत प्राप्त किये जाते हैं ।
- द्विप्रिज्म द्वारा व्यतिकरण से प्राप्त फ्रिन्ज समान चौड़ाई की तथा सीधी होती है ।
- द्विप्रिज्म की सहायता से एकवर्णीय प्रकाश स्रोत की तरंगदैर्ध्य ज्ञात कर सकते हैं ।

5.10 शब्दावली (Glossary)

अधिकतम	Maximum
अपवर्तन	Refraction
उर्ध्व स्तम्भ	Upright
एकवर्णीय	Monochromatic
कलासम्बद्ध स्रोत	Coherent source

ज्यामीतिय माध्य	Geometrical mean
तरंगाग्र	Wave front
द्विप्रिज्म	Biprism
नेत्रिका	Eye piece
पार्श्व विस्थापन	Lateral shift
फानाकार फिल्म	Wedge shaped film
फ्रिन्ज अन्तराल	Fringe width
युग्म स्लिट	Double slit
व्यतिकरण	Interference
विवर्तन	Diffaction
विनाशी व्यतिकरण	Destructive interference
सीधी	Straight
स्पर्श रेखीय	Tangent
संपोषी व्यतिकरण	Constructive interference
समायोज्य	Adjustable

5.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

एम. पी. सक्सेना पी.आर.सिंह एस. एस.रावत, एन. एस.सक्सेना व सरदार सिंह	बी.एस.सी पार्ट- । । प्रायोगिक भौतिकी	कॉलेज बुक हाऊस, जयपुर
एम.जी.भाटवडेकर, टी.एल.दशोरा व एस.एस Brij Lal and N Subrahmanyam	नवीन प्रथम वर्ष चौधरीप्रयोगिक भौतिकी A Text Book of Optics	रमेश बुक डिपो, जयपुर S.Chand &Co. Delhi

5.12 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answer to self assessment question)

1. दो तरंगों के अध्यारोपण से प्राप्त प्रकाश की तीव्रता के असमान वितरण की घटना को व्यतिकरण कहते हैं ।
2. व्यतिकरण उत्पन्न करने वाले स्त्रोत कला सम्बद्ध होने चाहिये ।
3. कला सम्बद्ध स्रोत प्राप्त करने की अनेक विधियाँ होती हैं -

(1) लॉयड का दर्पण, (ii) फ्रेनेल का युग्म दर्पण, (iii) फ्रेनेल का द्विप्रिज्म (iv) यंग का द्विलिस्ट तथा (v) माइकलसन व्यतिकरणमापी इत्यादि ।

4. द्विप्रिज्म में दोनो अपवर्तक कोण 30' (1/2 डिग्री) के होते हैं तथा शीर्ष कोण 179 ^{0} का होता है ।

5.3 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral question and answer)

1. व्यतिकरण किसे कहते हैं?

उत्तर : जब दो या दो से अधिक समान आवृति की कलासम्बद्ध तरंगे लगभग एक ही दिशा में गति कर अध्यारोपित होती हैं तो इससे उत्पन्न नवीन तरंग की तीव्रता, प्रारम्भिक तरंगों से भिन्न होती है । इस घटना को व्यतिकरण कहते हैं ।

2. व्यतिकरण के घटना के लिए आवश्यक प्रतिबन्ध क्या हैं?

उत्तर : (1) दो कलासम्बद्ध स्रोत, (11) समान आवृति की दो तरंगे, (iii) तरंगों का आयाम बराबर या लगभग बराबर तथा (iv) माध्यम में एक ही दिशा में संचरित होनी चाहिए ।

3. कलासम्बद्ध स्रोत से आप क्या समझते हो?

उत्तर : वे स्रोत, जिनके मध्य कलान्तर (phase difference) शून्य अथवा स्थिर हो, कलासम्बद्ध स्रोत कहलाते है ।

4. व्यतिकरण फ्रिन्जें प्राप्त करने के लिए कला-सम्बद्ध स्रोतों का ही होना क्यों आवश्यक है

उत्तर : यदि स्रोत कला सम्बद्ध नहीं होंगे तो उनमे कलान्तर स्थिर नहीं होगा । इससे कलान्तर के साथ-साथ व्यतिकरण फ्रिन्जों की स्थिति भी शीघ्रतापूर्वक परिवर्तित होगी । जिससे फ्रिन्जों के अभिज्ञापन detection) में कठिनाई आयेगी । अत: स्थायी व्यतिकरण फ्रिन्जों के लिए कलासम्बद्ध स्रोत आवश्यक है ।

5. कलासम्बद्ध स्रोत किस प्रकार से प्राप्त होते हैं?

उत्तर : कला सम्बद्ध स्रोत दो प्रकार से प्राप्त हो सकते हैं - (1) आयाम के विभाजन से तथा (11) तरंगाग्र के विभाजन से ।

6. कलासम्बद्ध स्रोत प्राप्त करने के कौन-कौन से साधन हैं?

उत्तर : कला सम्बद्ध स्रोत, किसी साधन से एक ही स्रोत से दो स्रोत प्राप्त कर, प्राप्त किये जाते हैं । कुछ साधन निम्नलिखित हैं - लॉयड का दर्पण, यंग का द्विस्लिट फ्रेनेल का युग्म दर्पण तथा फ्रेनेल का द्विप्रिज्म इत्यादि ।

7. क्या पूर्णत: दो समान स्रोतों से व्यतिकरण फ्रिन्जें प्राप्त करना सम्भव है?

उत्तर : नहीं, यह सम्भव नहीं है क्योंकि ये दोनों स्रोत कला सम्बद्ध नहीं है ।

8. द्विप्रिज्म किसे कहते हैं 7

उत्तर : द्विप्रिज्म अत्यन्त अल्प (1/2 डिग्री) प्रिज्म कोणों वाले दो प्रिज्यों को आधारों से जोड़कर बना होता है ।

9. द्विप्रिज्म का इस प्रयोग में क्या उपयोग है?

उत्तर : द्विप्रिज्म तरंगाग्र के विभाजन द्वारा दो कलासम्बद्ध स्रोत उत्पन्न करता है ।

10. द्विप्रिज्म में दोनो अपवर्तक कोणों का मान इतना कम क्यों होता हैं?

उत्तर : द्विप्रिज्म में दोनों अपवर्तक कोणों का मान कम होने से द्विप्रिज्म में बनने वाले दोनों आभासी स्रोतों के मध्य दूरी कम होती है ।

11. दोनो कलासम्बद्ध आभासी स्रोत कहां स्थित होते हैं?

उत्तर : ये रेखाछिद्र की एक ओर तथा उसी तल में सममित: (symmeetrically) स्थित होते है ।

12. फ्रिन्जें किसे कहते हैं १

उत्तर : पटल पर उन बिन्दुओं का बिन्दुपथ, जहाँ पर आपतित प्रकाश का पथान्तर नियत होता है, फ्रिन्जें कहलाती हैं ।

13. फ्रिन्ज अन्तराल किसे कहते हैं तथा यह किन कारकों पर निर्भर करता है?

उत्तर : दो क्रमागत फ्रिन्जों के मध्य बिन्दुओं के बीच की दूरी को फ्रिन्ज अन्तराल कहते हैं । यह (1) रेखाछिद्र से नेत्रिका के मध्य दूरी D,(ii) दोनों आभासी स्रोतों के मध्य दूरी d, तथा (iii) प्रकाश की तरंगदैर्ध्य पर निर्भर करता है ।

14. यदि रेखाछिद्र, द्विप्रिज्म तथा नेत्रिका एक सीध में नहीं हो तो क्या होगा?

उत्तर : नेत्रिका में व्यतिकरण प्रतिरूप pattern) नहीं दिखाई देगा ।

15. रेखाछिद्र संकीर्ण क्यों होना चाहिए?

उत्तर : स्पष्ट फ्रिंजें प्राप्त करने के लिए रेखाछिद्र संकीर्ण होना चाहिए । यदि रेखाछिद्र चौड़ा है तो यह पास-पास रखी अनेक रेखाछिद्रों के तुल्य होगी । इन सब रेखाछिद्रों से समान चौड़ाई के विभिन्न प्रतिरूप प्राप्त होंगे तथा उनमे अतिव्यापन हो जायेगा । इस कारण दीप्त तथा अदीप्त फ्रिन्जों के मध्य विपर्यास (contrast) कम हो जायेगा ।

16. इस प्रयोग में रेखाछिद्र तथा द्विप्रिज्म के मध्य दूरी कम और रेखाछिद्र तथा नेत्रिका में मध्य दूरी अधिक क्यों रखते हैं?

उत्तर : ऐसा करने से चौड़ी फ्रिन्जें प्राप्त होती हैं तथा फ्रिन्ज चौड़ाई के मापन में होने वाली त्रुटि कम होती है ।

17. यदि रेखाछिद्र की लम्बाई कम कर दी जाये तो क्या होगा?

उत्तर : फ्रिन्जों की तीव्रता कम हो जायेगी ।

18. द्विप्रिज्म से नेत्रिका को दूर ले जाने पर फ्रिन्ज अन्तराल किस प्रकार बदलता है?

उत्तर : फ्रिन्जों की चौड़ाई बढ़ जाती है ।

19. क्या फ्रिन्जों के मध्य दूरी समान होती है?

उत्तर : हाँ।

20. क्या क्रास तार को दीप्त फ्रिन्ज पर ही व्यवस्थित करना आवश्यक है?

उत्तर : नहीं, अदीप्त फ्रिन्जों से भी पाठ्यांक लिया जा सकता है, किन्तु क्रास-तार को अदीप्त फ्रिन्ज की अपेक्षा दीप्त फ्रिन्ज पर व्यवस्थित करना अधिक आसान होता है ।

21. दोनो आभासी स्रोतों के मध्य दूरी (d) के मापन के लिए कम फोकस दूरी वाला उत्तल लेंस क्यों प्रयुक्त किया जाता है?

उत्तर : क्योंकि लेंस की दो स्थितियाँ, जिसमें आभासी स्रोतों के स्पष्ट प्रतिबिम्ब दिखाई देते हैं, केवल तभी प्राप्त होते हैं जब रेखाछिद्र तथा नेत्रिका के मध्य दूरी लेंस की फोकस दूरी से चार गुणा अधिक हो ।

22. रेखाछिद्र तथा नेत्रिका के मध्य दूरी, लेंस की फोकस दूरी से चार गुणा अधिक क्यों होनी चाहिए?

उत्तर : क्योंकि लेंस के लिए विस्थापन विधि (Displacement method) के सूत्रानुसार - $f = \frac{D^2 - X^2}{4D}$,जहां X लेंस का विस्थापन है, यदि X = 2 हो तो, D =4 f अत: जब भी D=4f होगा, लेंस का विस्थापन सम्भव नहीं होगा । अत: रेखाछिद्र तथा नेत्रिका के मध्य दूरी, D का मान 4f से अधिक होना चाहिए ।

23. क्या दोनों आभासी स्रोतों के मध्य दूरी (d) किसी अन्य विधि से भी ज्ञात कर सकते है?

उत्तर : हाँ । यदि द्विप्रिज्म के पदार्थ का अपवर्तनांक (μ) तथा प्रिज्म का कोण A ज्ञात हो तो, रेखाछिद्र तथा द्विप्रिज्म के मध्य दूरी a ज्ञात करके सूत्र d= $\mu - 1$ A से d का मान ज्ञात कर सकते हैं ।

24. क्या फ्रिन्जें पूर्णतया सीधी होती हैं?

उत्तर : नहीं, द्विप्रिज्म द्वारा बनी फ्रिन्जें, पूर्णतया सीधी न होकर, अतिपरवलयिक होती है परन्तु अति-उत्केन्द्रता के कारण फ्रिन्जें सीधी तथा समान चौड़ाई की दिखाई देती हैं ।

25. द्विप्रिज्म द्वारा प्राप्त फ्रिन्जें अस्थानीकृत फ्रिन्जें क्यों कही जाती हैं?

उत्तर : ये फ्रिन्जें रिक्त आकाश (space) में विस्तृत होती हैं व नेत्रिका को प्रकाशीय बेन्च पर कहीं भी रखकर देखी जा सकती हैं । अत: इन्हें अस्थानीकृत फ्रिन्जें कहते हैं ।

26. पार्श्व विस्थापन किसे कहते हैं? इसे कैसे दूर करते हैं?

उत्तर : जब नेत्रिका को द्विप्रिज्म से दूर हटाया जाय व यदि नेत्रिका के अन्दर फ्रिन्जें क्रास तार के आर-पार चलती दिखाई दें तो: इसे पार्श्व विस्थापन कहते हैं । इसे दूर करने की विधि अनुच्छेद 5.5 में दी गयी है ।

27. द्विप्रिज्म में शून्य कोटि की फ्रिन्ज की स्थिति कैसे ज्ञात करते हैं?

उत्तर : सर्वप्रथम सोडियम स्रोत के लिए द्विप्रिज्म से फ्रिन्जें नेत्रिका में प्राप्त करते हैं फिर सोडियम स्रोत के स्थान पर श्वेत प्रकाश स्रोत रखते हैं । नेत्रिका में जिस स्थान पर श्वेत फ्रिन्ज दिखाई देती हैं, उसी स्थान पर शून्य कोटि की फ्रिन्ज होती है ।

प्रयोग-6

क्लेमेन्ट व डेसोरेम विधि द्वारा ऊष्मागतिक नियतांक $\gamma = \frac{C_P}{C_v}$ का मान ज्ञात करना

(To determine the thermodynamic constant $\gamma = \frac{C_P}{C_v}$ by Clement and Desorme's method)

प्रयोग की रूपरेखा

6.0 `उद्देश्य

6.1 प्रस्तावना

6.2 आवश्यक उपकरण

6.3 सिद्धान्त

6.4 चित्र

6.5 विधि

6.6 प्रेक्षण

6.7 गणना व परिणाम

6.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्रोत

6.9 सारांश

6.10 शब्दावली

6.11 संदर्भ ग्रन्थ

6.12 बोध प्रश्नों के उत्तर

6.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

6.0 उद्देश्य (Objective)

इस प्रयोग को करने के पश्चात् आप -

- रूद्धोष्म प्रक्रम, समआयतनी प्रक्रम तथा समतापी प्रक्रम को समझ सकेंगे,
- ऊष्मागतिक नियतांक (γ) के बारे में जान सकेंगे,
- क्लेमेन्ट एवं डेसोरेम विधि का उपयोग करना सीख पायेंगे;
- मैनोमीटर द्वारा किसी गैस का दाब ज्ञात कर सकेंगे,

6.1 प्रस्तावना (Introduction)

जब किसी संपीडित गैस को रूद्धोष्म प्रसार किया जाता है तो ताप तथा दाब कम हो जाते हैं लेकिन आयतन बढ़ जाता है । कुछ समय पश्चात स्वत: ही नियत आयतन पर ताप बढ़कर प्रारम्भिक ताप के समान हो जाता है तथा दाब बढ़ जाता है (प्रारम्मिक मान से कम) । यहां आप प्रारम्मिक तथा अन्तिम स्थितियों में दाब नापकर गैस का ऊष्मागतिक नियतांक ज्ञात करेंगे । प्रयोग करने के लिए आवश्यक उपकरणों की सूची अनुच्छेद 6.2 में दी गई है । प्रयोग से सम्बन्धित भौतिक सिद्धान्त का संक्षिप्त विवरण अनुच्छेद 6.3 में दिया गया है । अनुच्छेद 6.4 में क्लेमेन्ट एवं डेसोरेम विधि की प्रायोगिक व्यवस्था का चित्र दिया गया है । प्रयोग करने की बिन्दुवार विधि अनुच्छेद 6.5 में समझायी गयी है । अनुच्छेद 6.6 में विभिन्न प्रेक्षणों के लिए सारणी दी गयी है । अनुच्छेद 6.7 में गणना की आवश्यक जानकारी एवं परिणाम दिये गये हैं । प्रयोग करने के दौरान पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्त्रोतों का अनुच्छेद 6 .8 में उल्लेख किया गया है । अनुच्छेद 6.9 में प्रयोग का सारांश दिया गया है । प्रयोग में काम में ली गई महत्वपूर्ण शब्दावली तथा संदर्भ ग्रन्थ क्रमश: अनुच्छेद 6.10 व 6.11 में दिये गये हैं । अनुच्छेद 6.12 में पूछे गये बोध प्रश्नों के उत्तर दिये गये हैं । अन्त में प्रयोग से सम्बन्धित मौखिक प्रश्न व उनके उत्तर अनुच्छेद 6.13 में दिये गये हैं ।

6.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

लगभग 5 लीटर धारिता (capacity) का एक बडा फ्लास्क, फ्लास्क से जुडा द्रव-मैनोमीटर, संपीडन पम्प, साईकिल पम्प इत्यादि ।

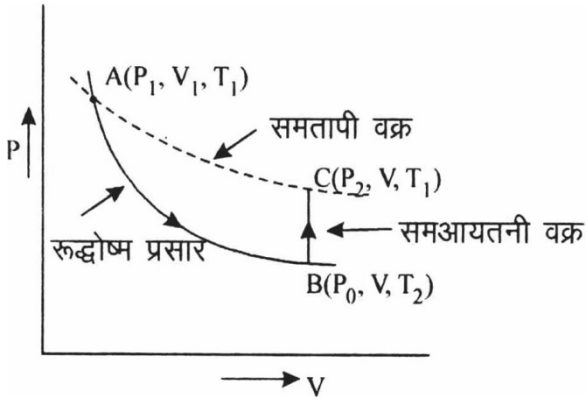
6.3 सिद्धान्त (Theory)

यदि किसी निश्चित द्रव्यमान की गैस का रूद्धोष्म प्रसार (adiabatic expansion) करते हैं तो गैस का ताप कम हो जाता है । जब इस प्रसारित गैस का ताप, आयतन स्थिर रखकर प्रारम्भिक ताप तक बढ़ने देते हैं तो गैस का अन्तिम दाब, प्रारम्भिक दाब से कम हो जाता है । इस प्रयोग में निश्चित मात्रा की शुष्क वायु को पम्प द्वारा संपीडित (compress) करने के थोड़ी देर पश्चात् जब वायु का ताप पुन: कमरे के ताप T_1 के समान हो जाता है तब मैनोमीटर द्वारा वायु का दाब P_1 नाप लेते हैं । संपीडित वायु का आयतन माना कि V_1 है जो कि फ्लास्क के आयतन V से कम है ।

अब वाल्व B को क्षण भर (लगभग 1 सैकण्ड) के लिए खोलकर पुन: बंद कर लेते हैं । इससे वायु का रूद्धोष्म प्रसार होता है तथा वायु का आयतन बढ़कर फ्लास्क के आयतन प्र के बराबर हो जाता है । वायु का दाब घटकर वायुमण्डलीय (atmospheric) दाब P_0 रह जाता है तथा रूद्धोष्म प्रसार के कारण ताप घटकर माना की T_2 हो जाता है ।

इस प्रसार को चित्र 6.1 में AB वक्र द्वारा दर्शाया गया है । कुछ समय पश्चात वायु का ताप स्वत: ही बढ़कर कमरे के ताप T_1 के समान पहुंच जाता है तथा नियत आयतन पर

दाब का मान बढ़कर P_2 हो जाता है जो कि प्रारम्भिक दाब P_1 से कम है ($P_2<P_1$) । इस स्थिति को A वक्र द्वारा दर्शाया गया है । यह समआयतनी (isochoric) प्रक्रम कहलाता है । चूंकि प्रारम्भिक स्थिति A तथा अन्तिम स्थिति C का ताप T_1 समान है अत: वक्र AC समतापी वक्र (isothermalcurve) है । चित्र 6.। में A,B व C बिन्दुओं के ऊष्मागतिकी निर्देशांक (co-ordinates) क्रमश (P_1,V_1,T_1), (P_0V,T_2) तथा (P_2,V,T_1) है ।



चित्र 6.1

रूद्धोष्म प्रसार वक्र AB के लिए

$$P_1V_1^{\gamma} = P_0V^{\gamma} \quad \text{....(6.1)}$$

या $$\frac{P_1}{P_0} = \left(\frac{V}{V_1}\right)^{\gamma} \quad \text{..(6.2)}$$

समतापी वक्र AC के लिए

$$P_1V_1=P_2V \quad \text{..(6.3)}$$

या $$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V}{V_1} \quad \text{...(6.4)}$$

समी (6.2) तथा (6.4) से

$$\frac{P_1}{P_0} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\gamma} \quad \text{....(6.5)}$$

मानाकि मैनोमीटर में प्रारम्भिक स्थिति A तथा अन्तिम स्थिति B के संगत द्रव स्तरों के अन्तराल क्रमश H_1 तथा H_2 है एवं मैनोमीटर द्रव का घनत्व (density) P है तो $P_1=P_0+H_1pg$ तथा $P_2=P_0+H_2pg$ है ।

समी (6.5) के दोनों पक्षों का log लेने पर

Log P_1-logP_0= γ(logP_1-P_2)

या $$\gamma = \frac{\log P_1 - \log P_0}{\log P_1 - \log P_2} \quad \text{....(6.6)}$$

सनी. (6.6) में P_1 व P_2 के मान रखने पर

$$\gamma = \frac{\log(P_0 + h_1 pg) - \log P_0}{\log(P_0 + h_1 pg) - \log(P_0 + h_2 pg)}$$

$$\gamma = \frac{\log\left(1 + \frac{h_1 pg}{P_0}\right)}{\log\left(1 + \frac{h_1 pg}{P_0}\right) - \log\left(1 + \frac{h_2 pg}{P_0}\right)} \qquad \text{.....(6.7)}$$

चुकि h_1 तथा h_2 के मान, वायुमण्डलीय दाब के संगत ऊँचाई से बहुत कम हैं इसलिए समी (6 7) में उपस्थित पदों के विस्तार से तथा उच्च घात के पदों को नगण्य मानने पर

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}$$

इस प्रकार h_1 तथा h_2 के मान स्थिति A व C के समय सीधे मैनोमीटर से पढ़कर γ का मान ज्ञात किया जा सकता है ।

बोध प्रश्न (Self assessment question)

1. क्लैमेन्ट एवं डेसोरेम विधि में ऊष्मागतिक नियतांक का प्रायोगिक सूत्र लिखिए

   .....

   .....

2. ऊष्मागतिकी नियतांक को परिभाषित कीजिये ।

   .....

   .....

3. समतापी एवं रूद्धोष्म परिवर्तनों के लिए अवस्था समीकरण लिखीये ।

   .....

   .....

4. एक परमाणविक तथा द्विपरमाणविक गैसों के लिए ऊष्मागतिक नियतांक के मान बताइये?

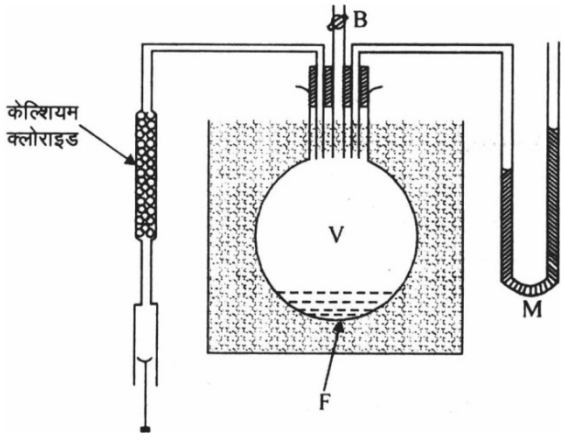
   .....

   .....

6.4 चित्र (Diagram)

चित्र 6.2 में इस प्रयोग में काम आने वाले सम्पूर्ण उपकरण को दर्शाया गया है । इसमें लगभग 5 लीटर धारिता (capacity) का कांच का बड़ा फ्लास्क Fl होता है जिसकी गर्दन रबर कोर्क से बंद होती है । इस रबर कोर्क में तीन छेद होते हैं जिनमें कांच की नलियां लगी होती हैं । बीच वाली नली में वाल्व B लगा होता है । एक किनारे वाली नली को केल्शियम क्लोराइड ($CaCl_2$) से भरी नली द्वारा संपीडन पम्प से जोडा जाता है । $CaCl_2$

कणों से होकर जाने वाली वायु शुष्क होती है । दूसरे किनारे वाली नली को U आकार के द्रव मैनोमीटर से जोड़ देते हैं । संपीडन पम्प वाली नली में एक रोधनी (stop cock) C लगा देते हैं । वाल्व B को खोल देने पर फ्लास्क की संपीडित वायु बाहरी वायु के सम्पर्क में आ जाती है।



चित्र 6.2

6.5 विधि (Method)

(i) कांच के फ्लास्क F में थोडा सा सान्द्र (concentrated) गंधक का अम्ल (Sulphuricacid) डाल दीजिये जो कि वायु की नमी को सोख लेता है तथा वायु को शुष्क कर देता है ।

(ii) वाल्व B को बंद कर दीजिये तथा रोधनी C को खोलकर पम्प की सहायता से पलास्क में वायु को संपीडित कीजिये ।

(iii) अब रोधनी C को बंद करके कुछ मिनटों के लिए प्रतीक्षा कीजिये । संपीडन के दौरान वायु का ताप बढ़ जाता है जो कुछ समय पश्चात् स्वत: ही कम होकर कमरे के ताप के बराबर हो जाता है । ज्यों ही फ्लास्क की वायु ठण्डी होने लगती है, वैसे ही उसका दाब भी कम होने लगता है और परिणामस्वरूप मैनोमीटर के द्रव - स्तरों का अन्तर भी कम होने लगता है । जब वायु कमरे के ताप तक पहुँचती है तब मैनोमीटर के द्रव का स्तर स्थिर हो जाता है । मैनोमीटर 'के दोनों स्तम्भों (columns) के द्रव स्तर को नोट कीजिये । इन स्तरों का अन्तर h_1 है ।

(iv) अब वाल्व B को क्षण भर के लिए खोलकर तुरन्त बंद कर दीजिए । वाल्व खोलते ही फ्लास्क की संपीडित वायु का रूद्धोष्म प्रसार होता है तथा उसका दाब वायुमण्डलीय दाब P_0 के बराबर हो जाता है । जैसे ही वाल को बन्द करते हैं, मैनोमीटर कोई दाबान्तर प्रदर्शित नहीं करता है । परन्तु रूद्धोष्म प्रसार होने पर वायु के ताप में कुछ कमी आयी थी, थोड़ा समय गुजरने के बाद यही वायु अब कमरे के ताप पर पहुँचने लगेगी अर्थात् इसका ताप बढ़ने लगेगा और तब तक बढ़ेगा जब तक वायु का ताप कमरे के ताप के बराबर न हो जाये । मैनोमीटर के

द्रव स्तर स्थिर हो जाने पर, दोनों स्तम्भों के द्रव स्तरों के पाठ्यांक नोट कीजिए । इन स्तरों का अन्तर h_2 हे

(v) h_1 व h_2 के मान ज्ञात करके ऊष्मागतिक नियतांक γ का मान सूत्र (6.8) द्वारा ज्ञात कीजिए । का मान प्रेक्षण के प्रत्येक सेट (set) के लिए अलग-अलग ज्ञात करके γ का माध्य मान ज्ञात कर लीजिए ।

6.6 प्रेक्षण (Observation)

कमरे का ताप = ... ०C

मैनोमीटर द्रव का घनत्व (P)=.....ग्राम/सेमी^{3}

क्र.स.	वायु का संपीडित करने के पश्चात मैनोमीटर में			वायु के रूद्धोष्म प्रसरण के पश्चात मैनोमीटर में			$\gamma = \frac{h_1}{(h_2 - h_2)}$
	बाये स्तम्भ के द्रव का स्तर (सेमी) (a)	दाये स्तम्भ के द्रव का स्तर (सेमी) (a)	द्रव स्तरो का अन्तर h_1 (सेमी) (b-a)	बाये स्तम्भ के द्रव का स्तर (सेमी) (c)	दाये स्तम्भ के द्रव का स्तर (सेमी) (c)	द्रव स्तरो का अन्तर h_2 (सेमी) (d-c)	
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							

6.7 गणना एवं परिणाम (Calculation and result)

गणना

समी (6.8) से, किसी गैस (वायु के लिए उष्मागतिक नियतांक -

$$\gamma = \frac{h_1}{(h_2 - h_2)}$$

यहां संपीडन पम्प द्वारा विभिन्न दाब से संपीडित करके 3-4 सेट के लिए γ ज्ञात करके इनका माध्य मान प्राप्त कीजिए ।

परिणाम

वायु के लिए ऊष्मागतिक नियतांक $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ =.....

प्रामाणिक मान γ = 1 .4

%त्रुटि = ...

6.8 पूर्वावधान एवम् त्रुटियों के स्रोत (Precaution and sources of error)

पूर्वावधान

(i) फ्लास्क में उपस्थित वायु में आर्द्रता (humidity) नहीं होनी चाहिये अर्थात वायु शुष्क होनी चाहिये ।

(ii) मैनोमीटर को अधिक सुग्रही बनाने के लिए, इसमें प्रयुक्त द्रव का घनत्व तथा वाष्प दाब (vapour pressure) कम होना चाहिये ताकि दोनो स्तम्भों के द्रव स्तरों में अधिक अन्तर प्राप्त हो सके । प्राय: पलस-पम्प (Fluess pump oil) का प्रयोग मैनोमीटर द्रव के रूप में किया जाता है ।

(iii) फ्लास्क से वायु का रिसाव leakage) नहीं होना चाहिये तथा सभी जोड़ joints) वायु रोधी (air-tight) होने चाहिये ।

(iv) फ्लास्क में भरी वायु का संपीडन अधिक नहीं होना चाहिये अन्यथा γ ज्ञात करने का सूत्र (6. 8) उपयुक्त नहीं रहेगा ।

(v) h_1 तथा h_2 का मान ज्ञात करते समय मैनोमीटर के स्तम्भो में द्रव स्तर स्थिर होना चाहिये ।

(vi) प्रयोग में प्रयुक्त वाल्व B काफी चौड़ाई का होना चाहिये ताकि इसके खोलते ही फ्लास्क में परिबद्ध वायु प्रसार द्वारा वायुमण्डलीय दाब तक पहुंचने में बहुत ही कम समय ले ।

(vii) सिद्धान्त: वाल्व B को क्षणिक खोलकर उस समय बन्द करना चाहिये जब अन्दर की वायु का दाब, वायुमण्डलीय दाब P_0 के बराबर हो जाये । जब' वायु का अचानक तेजी से प्रसार होता है तब वायु की दोलनी गति हो जाती है जिससे पात्र में दाब - परिवर्तन उत्पन्न हो जाता है । इस प्रकार वाल्व बन्द करने के सही समय की निर्धारण करना आसान नहीं होता है ।

त्रुटियों के स्रोत

(i) फ्लास्क में उपस्थित वायु में आद्रता होना ।

(ii) मैनोमीटर द्रव ऐसा हो जिसका घनत्व एवं वाष्प दाब अधिक हो ।

(iii) फ्लास्क से वायु का रिसाव होना ।

(iv) फ्लास्क में भरी वायु को अत्यधिक संपीडित करना ।

(v) मैनोमीटर में स्तम्भो के द्रव स्तर स्थिर नहीं होने की स्थिति में h_1, या h_2 का मान ज्ञात करना ।

(vi) प्रयोग में प्रयुक्त वाल्व B का मान चौड़ा होना ।

6.9 सारांश (Summary)

जब किसी गैस का रूद्धोष्म प्रसार होता है तो दाब तथा ताप दोनों कम हो जाते हैं । थोड़ी। देर बाद स्वत: ही नियत आयतन पर ताप बढ़कर प्रारम्भिक ताप के बराबर तथा दाब भी बढ़ जाता है । लेकिन बढ़ा हुआ दाब, प्रारम्भिक दाब से कम ही होता है । क्लेमेन्ट एवं डेसोरेम विधि द्वारा बिना ताप एवं आयतन की जानकारी के सिर्फ प्रारम्भिक तथा अन्तिम स्थिति में मैनोमीटर के द्रव स्तरों के अन्तराल ज्ञात करके, ऊष्मागतिक नियतांक γ ज्ञात किया जा सकता है ।

6.10 शब्दावली (Glossary))

ऊष्मागतिक नियतांक	Thermodynamic ratio
वायुमण्डलीय दाब	Atmospheric pressure
रूद्धोष्म प्रसार	Adiabatic expansion
संपीडित	Compressed
समआयतनी प्रक्रम	Isochoric process
निर्देशांक	Co-ordinates
समतापी वक्र	Isothermal curve
घनत्व	Density
शुष्क	Dry
रोधनी	Stop cock
स्तम्भ	Column
गंधक का अम्ल	Sulphuric acid
सान्द्र	Concentrated
आद्रता	Humidity
वाष्प दाब	vapour Pressure
फ्लस - पम्प तेल	Fluess pump oil
रिसाव	Leakage
वायु रोधी	Air-tight

6.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

एम.पी.सक्सेना, पी.आर.सिंह एवं एस.एस.रावत	ऊष्मागतिकी एवम् सांख्यिकीय भौतिकी	कॉलेज बुक हाउस, जयपुर
एम.पी.सक्सेना पी.आरसिंह एस.एस.रावत	प्रायोगिक भौतिकी वी.एस.सी.	कॉलेज बुक हाउस जयपुर

एवं एन.एस. सक्सेना पार्ट -II

B.S.Agarwal Thermal Physics Kedarnath Ramnath Meerut

6.12 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answer to self assessment question)

1. क्लेमेन्ट एवं डेसोरेम विधि में ऊष्मागतिक नियतांक γ ज्ञात करने का प्रायोगिक सूत्र है-

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2}$$

जहाँ h_1 तथा h_2 प्रारम्भिक तथा अन्तिम स्थितियों में मैनोमीटर के द्रव स्तम्भों के स्तर अन्तराल हैं ।

2. किसी गैस की नियत दाब तथा नियत आयतन पर विशिष्ट ऊष्माओं का अनुपात, ऊष्मागातिक नियतांक (γ) कहलाता है ।

अर्थात $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$

3. समतापी प्रक्रम में अवस्था समीकरण है -

PV = k (नियतांक)

4. किसी गैस के लिए ऊष्मागतिक नियतांक

$PV^{\lambda} = k$ (नियतांक)

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1 + \frac{2}{f}$$

~~यहां~~ f गैस की स्वातंत्र्य कोटि है

(i) एक परमाणुक गैस के लिए f= 3 होता है अत:

$$\gamma = \frac{5}{3} = 1.66$$

(ii) द्वि परमाणुविक गैस के लिए 1इ= 5 होता है अत:

$$\gamma = \frac{7}{5} = 1.4$$

6.13 मौखिक प्रश्न एवं उत्तर (Oral question and answers)

1. रूद्धोष्म परिवर्तन क्या है? उदाहरण दीजिये ।

उत्तर : यदि निकाय की अवस्था में परिवर्तन इस प्रकार हो कि पूरी प्रक्रिया में निकाय न तो बाहरी परिवेश से ऊष्मा ले तथा न उसे ऊष्मा दे, जबकि ताप में परिवर्तन की संभावना

हो, तो इस प्रक्रम को रूद्धोष्म परिवर्तन कहते हैं । साइकिल के ट्यूब का अचानक फट जाना रूद्धोष्म परिवर्तन का उदाहरण है ।

2. गैस की दो विशिष्ट ऊष्माएँ क्यों लेते है?

उत्तर : चूंकि गैस द्वारा अवशोषित ऊष्मा, नियत आयतन नियत दाब पर भिन्न होती है इसलिए एक विशिष्ट ऊष्मा नहीं ली जा सकती है । ठोसों एवं द्रवों के लिए विशिष्ट ऊष्मा एक ही होती है ।

3. 3.C_p तथा C_v में से किसका मान अधिक होता है?

उत्तर : C_p का मान C_v से सदैव अधिक होता है । मेयर सूत्र के अनुसार

$C_p - C_v = R$ (नियतांक) ।

4. क्या मैनोमीटर के द्रव के रूप में जल का उपयोग किया जा सकता है?

उत्तर : नहीं, क्योंकि मैनोमीटर में उपस्थित जल की वाष्प उसके प्रेक्षणें को प्रभावित करेगी और त्रुटि बढ़ जायेगी ।

5. नैनोमीटर में कौन सा द्रव उपयुक्त रहता है?

उत्तर : मैनोमीटर में वही द्रव उपयुक्त रहता है जिसका घनत्व तथा वाष्प दाब कम हो । प्राय: फ्लस पम्प तेल प्रयुक्त किया जाता है ।

6. प्रयोग प्रारम्भ करने से पूर्व हमें फ्लास्क में थोड़ा गन्धक का अम्ल क्यों डालना चाहिये?

उत्तर : फ्लास्क में उपस्थित वायु में यदि जल वाष्प होगी तो परिणाम प्रभावित हो जायेगा । इसलिए गन्धक का अम्ल डाला जाता है जो वायु की आद्रता को सोख लेता है ।

7. फ्लास्क में भरी वायु का संपीडन अधिक क्यों नहीं होना चाहिये?

उत्तर : फ्लास्क में भरी वायु का अधिक संपीडन नहीं होना चाहिये क्योंकि अधिक वायु दाब होने पर मैनोमीटर का द्रव इसके स्तम्भ से बाहर आने लगेगा और सही प्रेक्षण लेना सम्भव नहीं होगा ।

8. γ ज्ञात करने का अन्य विधियों बताइये ।

उत्तर : γ ज्ञात करने की क्लेमेन्ट एवं डेसोरेम विधि के अलावा कुण्ड नली विधि भी काम में ली जा सकती है । यह विधि गैसों में ध्वनि का वेग ज्ञात करने पर आधारित है ।

9. नियतांक γ से गैस की प्रकृति के विषम में क्या जानकारी प्राप्त होती है?

उत्तर : नियतांक γ का मान गैस के अणुओ की स्वातंत्र्य' कोटियों (degrees of freedom) की संख्या पर निर्भर होता है और यह संख्या अणु की संरचना पर आधारित है । इस प्रकार γ के मान गैस की परमाणुकता के विषय में महत्वपूर्ण जानकारी प्राप्त होती है। वायु जो कि द्विपरमाणविक गैस है इसलिए γ= 1.4 प्राप्त होता है ।

प्रयोग-7

ली की विधि से न्यून चालक पदार्थ की उष्मा चालकता ज्ञात करना

(To determine thermal conductivity of a poor conductor using Lee's method)

प्रयोग की रूपरेखा

7.0 उद्देश्य

7.1 प्रस्तावना

7.2 आवश्यक उपकरण

7.3 सिद्धान्त

7.4 चित्र

7.5 विधि

7.6 प्रेक्षण

7.7 गणना व परिणाम

7.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्रोत

7.9 सारांश

7.10 शब्दावली

7.11 संदर्भ ग्रन्थ

7.12 बोध प्रश्नों के उत्तर

7.0 उद्देश्य (Objective) .

- किसी पदार्थ की ऊष्मा चालकता की परिभाषा जान सकेंगे;
- ऊष्मा चालन तथा विकिरण सम्बन्धी नियमों की जानकारी प्राप्त कर सकेंगे,
- ली के उपकरण (Lee's apparatus) का उपयोग करना सीख सकेंगे,
- किसी न्यून चालक पदार्थ का ऊष्मा चालकता गुणांक ज्ञात कर सकेंगे;

7.1 प्रस्तावना (Introduction,)

किसी न्यून चालक पदार्थ से प्रवाहित ऊष्मा की दर, इसके सम्पर्क में रखे चालक पदार्थ की पृथक स्थिति में विकिरित ऊष्मा के दर के बराबर होती है । यहां हम न्यून चालक पदार्थ के दोनों फलकों के बीच तापान्तर तथा इससे सम्पर्कित चालक पदार्थ के लिए ताप पतन की दर ज्ञात करके, न्यून चालक पदार्थ की ऊष्मा चालकता ज्ञात करेंगे । प्रयोग करने के लिए आवश्यक उपकरणों की सूची अनुच्छेद 7.2 में दी गयी है । प्रयोग से सम्बन्धित भौतिक

सिद्धान्त का संक्षिप्त विवरण अनुच्छेद 7.3 में दिया गया है । अनुच्छेद 7.4 में ली के उपकरण का चित्र दिया गया है । प्रयोग करने की बिन्दुवार विधि, अनुच्छेद 7.5 में समझाई गयी है । अनुच्छेद 7.6 में विभिन्न प्रेक्षणों के लिए सारणी दी गयी है । अनुच्छेद 7.7 में गणना की आवश्यक जानकारी तथा परिणाम दिये गये हैं । प्रयोग करने के दौरान पूर्वावधान तथा त्रुटियों के स्रोतों का अनुच्छेद 7.8 में उल्लेख किया गया है । प्रयोग में ली गयी महत्वपूर्ण शब्दावली तथा संदर्भ ग्रन्थ क्रमश: अनुच्छेद 7.10 व 7.1 में दिये गये हैं । अनुच्छेद 7.12 में पूछे गये बोध प्रश्नों के उत्तर दिये गये हैं । अन्त में प्रयोग से सम्बन्धित मौखिक प्रश्न तथा उनके उत्तर अनुच्छेद 7.13 में दिये गये हैं ।

7.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

ली का उपकरण, दो तापमापी, रिटार्ट स्टैण्ड, वाष्प प्रकोष्ठ, डोरा, न्यून चालक पदार्थ की वृताकार प्लेट जिसकी ऊष्मा चालकता शात करनी है, इत्यादि ।

7.3 सिद्धान्त (Theory)

चित्र 7.1 में वाष्प प्रकोष्ठ C व पीतल की चकती D के मध्य प्रयोगात्मक प्लेट G रखी है । जब वाष्प प्रकोष्ठ (steam chamber)में से भाप (steam-)प्रवाहित की जाती है तो C से D की तरफ G के आर पार ऊष्मा का प्रवाह होने दिया जाता है । भाप को C में तब तक प्रवाहित किया जाता है जब तक कि तापमापी T_1 व T_2(मुख्य रूप से T_2 में) में ताप स्थिर न हो जाये । इस स्थायी अवस्था में तापमापी T_1 व T_2, में स्थिर तापों के मान क्रमश: θ_1व θ_2 हैं जो कि प्रायोगिक प्लेट G के क्रमश: गर्म व ठण्डे फलकों (faces) के ताप हैं । स्थायी अवस्था में G प्लेट से प्रवाहित प्रति सेकण्ड ऊष्मा Q, चकती (disc) D की पृथक स्थिति में, ऊपरी व बगल की सतहों से विकिरित ऊष्मा के मान के बराबर होगी ।

θ_2 ताप पर पृथक स्थिति में चकती Dके ऊपरी एवं बगल की सतहों से विकिरित ऊष्मा की दर होगी -

$$Q = m.s.\frac{d\theta}{dt}\left(\frac{r+2t}{2r+2t}\right) \qquad \text{....(7.1)}$$

यहां m.s.r. तथा t क्रमश: पीतल की चकती d का द्रव्यमान, विशिष्ट ऊष्मा, त्रिज्या तथा मोटाई है । $\frac{d\theta}{dt}$ चकती D की Q_2 ताप पर शीतलन की दर है ।

जबकि स्थायी अवस्था में प्रायोगिक प्लेट G से प्रवाहित ऊष्मा की दर निम्न है -

$$Q = KA\left(\frac{\theta_1 - \theta_2}{d}\right) \qquad \text{..(7.2)}$$

यहां K,A,व d क्रमश: प्रायोगिक प्लेट G की ऊष्मा चालकता, क्षेत्रफल $\left(\pi r_0^2\right)$ तथा मोटाई को प्रदर्शित करते हैं ।

अत: समी (7.1) तथा (7.2) की तुलना से -

$$K = \left(\pi r_0^2\right)\left(\frac{\theta_1 - \theta_2}{d}\right) = ms\frac{d\theta}{dt}\left(\frac{r+2t}{2r+2t}\right)$$

या $$K = \frac{msd}{(\theta_1 - \theta_2)\pi r_0^2}\frac{d\theta}{dt}\left(\frac{r+2t}{2r+2t}\right)$$

यहां r_oप्रायोगिक न्यून चालक प्लेट G की त्रिज्या है ।

बोध प्रश्न (Self assessment question')

1 किसी पदार्थ के ऊष्मा चालकता गुणांक की परिभाषा दीजिये ।

.....

.....

2 ऊष्मा चालकता गुणांक का मात्रक लिखिये ।

.....

.....

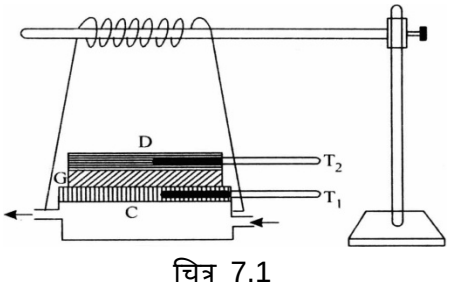
3 विकिरित ऊष्मा की दर, इस प्रयोग में सिर्फ θ_2 ताप पर ही क्यों ज्ञात की जाती है?

.....

.....

7.4 चित्र (Diagram)

ली के उपकरण में C एक धातु का बना खोखला (hollow)वृताकार बाक्स है जो कि वाष्प प्रकोष्ठ (steam chamber) के रूप में काम में लाया जाता है (चित्र 7.1) । वाष्प प्रकोष्ठ की ऊपरी सतह पर न्यून चालक (poor conductor) की वृताकार प्लेट G जिसकी ऊष्मा चालकता ज्ञात करनी है को रखा जाता है । प्लेट G के ऊपर एक पीतल की चकती (disc) D जिस पर निकल पॉलिश की हुई होती है, रख दी जाती है । इस पूरी व्यवस्था को एक रिटार्ट स्टैण्ड से लटकाया जाता है । यह ध्यान रखा जाता है कि प्लेट G सदैव C व D के बीच अच्छी तरह दबी रहे । बाक्स C तथा चकती D में दो थर्मामीटर लगा दिये जाते है जिसके द्वारा क्रमश: वाष्प तथा चकती D के ताप का पतन करते है ।



चित्र 7.1

7.5 विधि (Method)

(i) प्रायोगिक प्लेट G को वाष्प प्रकोष्ठ (steam chamber) C तथा पीतल की चकती D के बीच रखिये । निश्चित कर लीजिए कि प्लेट G अच्छी तरह C व D के बीच दबी हुई है ।

(ii) वाष्प प्रकोष्ठ C में भाप तब तक प्रवाहित करिये जब तक स्थायी अवस्था (steady state) न आ जाये । अब तापमापी T_1 व T_2, से स्थिर तापों के मान पढ़ लीजिये, ये मान क्रमश: θ_1 व θ_2 हैं ।

चकती D के लिए - $\frac{d\theta}{dt}$ ज्ञात करना

(iii) प्रायोगिक प्लेट G को C पर से हटा लीजिये और चकती D को सीधे ही C पर रख दीजिये । वाष्प प्रकोष्ठ में भाप प्रवाहित होने दीजिये और इस प्रकार D को तब तक गर्म होने दीजिए जब तक कि इसका ताप θ_2 से लगभग 10^0 C ऊपर न पहुँच जाये।

(iv) चकती D को वाष्प प्रकोष्ठ C से पृथक करके अब चकती D को वायु में अर्थात् वातावरण में ठंडा होने दीजिये । प्रत्येक आधे मिनट के बाद लगातार ताप नोट करते जाइये और तब तक नोट करते रहिये जब तक कि चकती D का ताप θ_2 से लगभग 10^0 C नीचे न पहुंच जाये ।

(v) तापों को Y- अक्ष व समय को X- अक्ष पर पैमानित करते हुए शीतलन वक्र खींचिये । इस शीतलन वक्र की सहायता से θ_2 ताप के संगत शीतलन वक्र पर स्थित बिन्दु पर स्पर्श रेखा खींचिये तथा उस रेखा का ढाल ज्ञात कीजिये यह θ_2 ताप पर $\frac{d\theta}{dt}$ का मान है ।

(vi) चकती D का द्रव्यमान भौतिक तुला से ज्ञात कीजिये । यह m है ।

(vii) स्क्रूगेज की मदद से प्लेट G की मोटाई, इसके भिन्न-भिन्न स्थानों पर ज्ञात करके औसत मान d ज्ञात करिये ।

(viii) प्रायोगिक प्लेट G तथा चकती D की त्रिज्याओं क्रमश: r_o तथा r_1 का मान वर्नियर कैलिपर्स की सहायता से ज्ञात कीजिये ।

(ix) इसी प्रकार चकती (d) की मोटाई t का मान भी स्क्रूगेज की सहायता से ज्ञात कीजिए

(x) प्रामाणिक सारणी से विशिष्ट ऊष्मा (specific heat) (S) का मान, चकती D के पदार्थ (पीतल) के लिए ज्ञात करके और शेष राशियों का मान समीकरण (7.3) में रखकर K के मान की गणना कीजिये ।

7.6 प्रेक्षण (Observation)

(i) चकती D का द्रव्यमान (m) = ... ग्राम

(ii) चकती D का व्यास -

(a) ..... सेमी (b) ..... सेमी, (c) ..... सेमी

माध्य व्यास = $\frac{(a)+(b)+(c)}{3}$ = ... सेमी

अत: चकती D की त्रिज्या r = व्यास /2 = ... सेमी

पीतल की विशिष्ठ ऊष्मा = 0.093 कैलोरी / ग्राम

(iii) चकती D की मोटाई (t) -

(a) ..... सेमी. (b) ..... सेमी., (c) ..... सेमी

माध्य मोटाई t = ... सेमी

(iv) चकती D के पदार्थ (पीतल) की विशिष्ट ऊष्मा (S) .....

(v) प्रायोगिक प्लेट G का व्यास -

(a) ..... सेमी. (b) ..... सेमी., (c) ..... सेमी

माध्यम व्यास = ...सेमी

अत: प्लेट G की त्रिज्या r_o व्यास / 2 = ... सेमी

(vi) प्लेट G की मोटाई (d)

(a) ..... सेमी. (b) ..... सेमी., (c) ..... सेमी

माध्य मोटाई (d) = ... सेमी

स्थायी अवस्था के लिए प्रेक्षण सारणी -

क्रम संख्या	समय	तापमापी T_1 का ताप θ_1	तापमापी T_2 का ताप θ_2
1.	5 मिनट		
2.	10 मिनट		
3.	15 मिनट		
4.	20 मिनट		
5.	25 मिनट		

इस सारणी से ज्ञात होता है कि ताप θ_1व θ_2 स्थिर है अर्थात् उपकरण के विभिन्न अवयव (प्लेट G चकती D व प्रकोष्ठ C) स्थायी अवस्था में है ।

7.7 गणना व परिणाम (Calculation and result)

गणना

(अ) विधि क्रमांक (V) में बतलाये अनुसार θ व समय t में ग्राफ खींचकर, θ_2 ताप के संगत बिन्दु पर स्पर्श रेखा से प्रवणता या ढाल (slope) ज्ञात कीजिये। यह मान $\frac{d\theta}{dt}$ है

न्यून चालक पदार्थ के रूप में कार्ड बोर्ड की ऊष्मा चालकता Q का प्राथमिक मान K = 0.000566 कैलोरी / सेमी - सैकण्ड - ^oC होती है।

$\therefore \quad \frac{d\theta}{dt}$ =.....^oC/ मिनट = ^oC/ सैकण्ड

(ब) $-\frac{d\theta}{dt}$ तथा अन्य राशियों के मान समी (7. 3) में रखकर K की गणना कीजिये ।

परिणाम

न्यून चालक पदार्थ की ऊष्मा चालकता K..... कैलोरी / सेमी-सैकण्ड– ^0C

प्रयोग में प्रयुक्त पदार्थ का प्रामाणिक मान

K =..... कैलोरी/सेमी-सैकण्ड- ^0C

प्रतिशत त्रुटि =.....%

7.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्रोत (Precautions and sources of error)

पूर्वावधान

(i) वाष्प प्रकोष्ठ C व पीतल की चकती D पर निकल पॉलिश होनी चाहिये जिनसे दोनों पृष्ठ की एकसमान उत्सर्जन क्षमता हो ।

(ii) T_1 व T_2 में ताप केवल तब ही पढने चाहिये जब अवस्था (steady state) प्राप्त हो जाये ।

(iii) कभी-कभी प्रायोगिक प्लेट G का व्यासचकती D से अधिक होता है, इस स्थिति में प्लेट G का वही व्यास काम में लेना चाहिये जिसके द्वारा ऊष्मा का प्रवाह वास्तव में हो रहा है ।

(iv) तापमापियों T_1 व T_2 को क्रमश: वाष्प प्रकोष्ठ C तथा चकती D में बने छिद्रों में अच्छी तरह दबा कर लगाना चाहिये अन्यथा ताप के पाठ्यांक में अशुद्धि की सम्भावना रहेगी ।

(v) $\frac{d\theta}{dt}$ ज्ञात करते समय चकती D को तब तक गर्म होने देने चाहिये जब तक कि इसका ताप, θ_2 से लगभग 10^0Cऊपर न पहुंच जाये । ऐसा नहीं करने पर जब चकती D को वाष्प प्रकोष्ठ C से अलग करके वातावरण में ठण्डा करने के लिए रखेंगे तो उसका ताप θ_2 से 6-7^{0}0 ऊपर नहीं रह पायेगा और $\frac{d\theta}{dt}$ के मापन में त्रुटि होने की सम्भावना रहेगी ।

(vi) प्रायोगिक प्लेट G की मोटाई भिन्न स्थानों पर ज्ञात करके औसत मोटाई ज्ञात करनी चाहिये अन्यथा परिणाम में त्रुटि हो सकती है ।

त्रुटियों के स्रोत

(i) वाष्प प्रकोष्ठ C तथा चकती Dपर निकल पॉलिश का न होना ।

(ii) स्थायी अवस्था पहुँचने से पहले ही ताप नोट कर लेना ।

(iii) प्लेट G व चकती D के व्यास समान नहीं होने की स्थिति में भी G का वास्तविक व्यास ही काम लेना ।

(iv) तापमापियों T_1 व T_2 का क्रमश: C व D में बने छेदों में अच्छी तरह दबा हुआ न होना ।

(v) $\frac{d\theta}{dt}$का सही मान ज्ञात न करना ।

(vi) प्लेट G की औसत मोटाई न ज्ञात करके सिर्फ एक स्थान की मोटाई लेना ।

7.9 सारांश (Summary))

स्थायी अवस्था में न्यून चालक पदार्थ से प्रवाहित ऊष्मा की दर, इस पदार्थ से सम्पर्क में रहने वाले चालक पदार्थ की पृथक अवस्था में वातावरण में विकिरित ऊष्मा की दर के बराबर होती है । इस प्रकार दोनों ऊष्मा दरों की तुलना करके न्यून चालक पदार्थ की ऊष्मा चालकता ज्ञात की जाती है ।

7.10 शब्दावली (Glossary)

ऊष्मा चालकता	Thermal conducivity
न्यून चालक पदार्थ	Poor conductor
वाष्प प्रकोष्ठ	Steam chamber
भाप	Steam
चकती	Disc
फलक	Faces
खोखला	Hollow
स्थायी अवस्था	Steady state
विशिष्ट ऊष्मा	Specific heat
ढाल	Slope

7.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

एम.पी.सक्सेना, पी.आर.सिंह एवं एस.एस.रावत	ऊष्मागतिकी एवम् सांख्यिकीय भौतिकी	कॉलेज बुक हाउस, जयपुर
एम.पी.सक्सेना पी.आरसिंह एस.एसरावत एवं एन.एस. सक्सेना	प्रायोगिक भौतिकी वी.एससी. पार्ट -11	कॉलेज बुक हाउस जयपुर
B.S.Agarwaal	Thermal Physics	Kedarnath Ramnath meerut

7.12 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answer to self assessment question)

1. किसी पदार्थ का ऊष्मा चालकता गुणांक, ऊष्मा की वह मात्रा है जो पदार्थ की स्थायी अवस्था में 1 सैकण्ड में 1 वर्गमीटर काट क्षेत्रफल से 1^0C प्रति मीटर ताप प्रवणता होने पर प्रवाहित होती है । K का मान पदार्थ की. प्रकृति पर निर्भर करता है उसके आकार एवं आकृति पर नहीं ।

2. ऊष्मा चालकता गुणांक का मात्रक MKS पद्धति में कैलोरी /सेमी-सैकण्ड - ^{0}C तथा CGS पद्धति में कैलोरी/ सेमी-सैकण्ड - ^{0}C है ।
3. चूंकि स्थायी अवस्था में प्रायोगिक प्लेट G से प्रवाहित ऊष्मा की दर 'थक स्थिति में चकती D की चारों ओर की सतहों, जो कि θ_2 ताप पर है, से विकिरित ऊष्मा की दर के बराबर होती है । अत: हमें θ_2 ताप पर ही विकिरण की दर ज्ञात करनी होगी ।

7.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral questions and answers)

1. गर्म वस्तु की स्थायी अवस्था क्या होती है? यह अवस्था क्यों आवश्यक होती है?

उत्तर : गर्म वस्तु की स्थायी अवस्था वह स्थिति है जब उसके ताप में वृद्धि होना बन्द हो जाये और उसमें लगे तापमापी एक नियत ताप बताने लगे । इस अवस्था को प्राप्त नहीं करने से ताप प्रवणता का मान नियत नहीं होगा और उससे चालकता की गणना में त्रुटि आ जायेगी ।

2. क्या ली विधि द्वारा सुचालक पदार्थो की ऊष्मा चालकता ज्ञात की जा सकती है?

उत्तर : नहीं, क्योंकि प्रायोगिक प्लेट G, सुचालक पदार्थ की होगी तो θ_1 तथा θ_2 ताप लगभग समान होंगे तथा (θ_1 - θ_2) का मान अत्यल्प होने के कारण इसका मापन कठिन है।

3. यदि वाष्प प्रकोष्ठ C तथा चकती D को आपस में बदल दिया जाये तो परिमाण पर क्या प्रभाव पड़ेगा?

उत्तर : C तथा D को प्रायोगिक प्लेट G के क्रमश: ऊपर व नीचे रखने पर भी समान परिणाम प्राप्त होंगे ।

4. न्यून चालक पदार्थ को चकती के रूप में ही क्यों लिया जाता है?

उत्तर : चकती की आकृति में इसकी मोटाई कम तथा काट क्षेत्रफल अधिक होने के कारण ऊष्मा चालन सर्वाधिक होता है ।

5. वाष्प प्रकोष्ठ C तथा चकती D पर निकल पॉलिश क्यों आवश्यक है?

उत्तर : वाष्प प्रकोष्ठ C तथा चकती D पर निकल पॉलिश होना इसलिए आवश्यक है क्योंकि ऐसा न होने पर दोनों के पृष्ठों की उत्सर्जन क्षमता एक समान नहीं होगी और दोनों से ऊष्मा का उत्सर्जन भिन्न प्रकार से होगा ।

6. इस प्रयोग में सबसे बड़ा त्रुटि का स्रोत क्या है?

उत्तर : इस प्रयोग में सबसे बड़ा त्रुटि का स्रोत θ_2 ताप पर ताप पतन की दर $\frac{d\theta}{dt}$ के मापन में है ।

प्रयोग - 8

वस्तु के कुल उत्सर्जित विकिरण का उसके ताप के साथ अध्ययन करना

(To study the variation of total radiations emitted with temperature of a body)

प्रयोग की रूपरेखा

8.0 उद्देश्य
8.1 प्रस्तावना
8.2 आवश्यक उपकरण
8.3 सिद्धान्त
8.4 चित्र
8.5 विधि
8.6 प्रेक्षण
8.7 गणना व परिणाम
8.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्रोत
8.9 सारांश
8.10 शब्दावली
8.11 संदर्भ गन्ध
8.12 बोध प्रश्नों के उत्तर
8.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

8.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के पश्चात् आप -

- बल्ब के तन्तु से उत्सर्जित तापीय विकिरणों की ऊर्जा की दर का मान अप्रत्यक्ष रूप से
- ज्ञात कर सकेंगे,
- बल्ब के तन्तु के ताप तथा इसके प्रतिरोध के बीच सम्बन्ध का अध्ययन कर सकेंगे
- स्टीफन के नियम का प्रायोगिक सत्यापन कर सकेंगे '

8.1 प्रस्तावना (Introduction)

जब किसी बल्ब के तन्तु में धारा प्रवाहित की जाती है तो तन्तु द्वारा तापीय विकिरण उत्सर्जित होते हैं । तन्तु से विकिरित ऊर्जा की दर तन्तु के विभवान्तर तथा धारा के गुणनफल के बराबर होती है । स्टीफन के अनुसार विकिरित ऊर्जा की दर वस्तु के ताप के चतुर्थ घात के

समानुपाती होती है । अत: आप यहां तन्तु में भिन्न मान की धाराएँ प्रवाहित करके, तन्तु से विकिरित ऊर्जा की दर का ताप के साथ अध्ययन करेंगे । प्रयोग करने के लिए आवश्यक उपकरणों की सूची अनुच्छेद 8.2 में दी गयी है । प्रयोग से सम्बन्धित भौतिक सिद्धान्त का संक्षिप्त विवरण अनुच्छेद 8.3 में दिया गया है । अनुच्छेद 8.4 में परिपथ चित्र दिया गया हे । प्रयोग करने की बिन्दुवार विधि अनुच्छेद 8.5 में समझाई गयी है । अनुच्छेद 8.6 में विभिन्न प्रेक्षणों के लिए सारणी दी गयी है । अनुच्छेद 8.7 में गणना की आवश्यक जानकारी तथा परिणाम दिये गये है । प्रयोग करने के दौरान पूर्वावधान तथा त्रुटियों के स्त्रोतों का अनुच्छेद 8.8 में उल्लेख किया गया है । अनुच्छेद 8.9 में प्रयोग का सारांश दिया गया है । प्रयोग में काम में ली गयी महत्वपूर्ण शब्दावली तथा संदर्भ ग्रन्थ क्रमश: अनुच्छेद 8.10 व 8.11 में दिये गये हैं । अनुच्छेद 8.12 में पूछे गये बोध प्रश्नों के उत्तर दिये गये हैं । अन्त में प्रयोग से सम्बन्धित मौखिक प्रश्न तथा उनके उत्तर अनुच्छेद 8.13 में दिये गये हैं ।

8.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

एक 100 वाट का बल्ब, एक 0-30 वोल्ट एवं 0-150 मिलि एम्पियर धारा का दिष्ट शक्ति स्रोत (Power supply), एक 0-30 वोल्ट का वोल्टमीटर, एक 0-200 mAका अमीटर, एक धारा नियंत्रक तथा संयोजक तार इत्यादि ।

8.3 सिद्धान्त (Theory)

यदि किसी बल के तन्तु (filament) पर आरोपित विभवान्तर V वोल्ट तथा इसमें से प्रवाहित धारा I है तो तन्तु पर उत्पन्न ऊष्मा की दर या शक्ति है -

$$P=VI \text{ (वाट)} \qquad ....(8.1)$$

धारा प्रवाह से तन्तु में ऊष्मा उत्पन्न होने के कारण इसके ताप में वृद्धि होती है । तन्तु पर विभवान्तर तथा धारा के मान बढ़ाये जाने पर तन्तु का ताप लगातार बढ़ने लगता है जिससे तन्तु द्वारा विकिरण के रूप में ऊर्जा का उत्सर्जन होने लगता है ।

ये उत्सर्जित विकिरण स्टीफन के नियम (Stefan's law) का पालन करते हैं । इस नियम के अनुसार किसी पृष्ठ के इकाई क्षेत्रफल से प्रति सैकण्ड उत्सर्जित विकिरण ऊर्जा (E) का मान उस वस्तु के परम ताप T के चतुर्थ घात (fourth power) के समानुपाती होता है ।

अर्थात् $E= \sigma T^4$ ....(8.2)

स्टीफन-नियतांक (Stefan's constant) है जिसका मान 5.67 $\times 10^{-6}$ वाट /मी^{2}-K^4 है । प्रीवेस्ट (Prevost) के ऊर्जा विनिमय (exchange) सिद्धान्त के अनुसार यदि ताप की वस्तु के चारों ओर वातावरण का ताप T_0 तथा वस्तु का पृष्ठ क्षेत्रफल है तो कुल विकरित ऊर्जा प्रति सैकण्ड होगी -

$$P=A\sigma \ (T^4 - T_0^4) \qquad ...(8.3)$$

यहां माना गया है कि बल का तन्तु कृष्णिका (black body) के समान है तथा तन्तु को दी गयी विद्युत ऊर्जा सिर्फ विकिरण ऊर्जा के रूप में प्राप्त होती है । समी (8.3) से ज्ञात

होता है कि तन्तु द्वारा प्रति सैकण्ड उत्सर्जित ऊर्जा P तथा तन्तु के ताप T के चतुर्थ घात के बीच ग्राफ एक सरल रेखा के रूप में प्राप्त होता है ।

यहां तंतु का ताप ज्ञात करने के लिए तन्तु के प्रतिरोध की ताप पर निर्भरता का उपयोग किया जाता है । अर्थात्

$$R_\theta = R_o(1+\alpha\theta+\beta\theta^2) \quad \text{....(8.4)}$$

यहां R_θ व R_o क्रमश: O.C तथा O^oC ताप पर प्रतिरोध है तथा α व β प्रतिरोध ताप गुणांक है । इस प्रकार तन्तु के प्रतिरोध एवं ताप के बीच अंशाकन वक्र (Calibrationccurve)की मदद से आप तन्तु का ताप ज्ञात कर सकते हैं ।

बोध प्रश्न (Self assessment question)

1. स्टीफन का नियम लिखिये ।

   .....

   .....

2. आदर्श कृष्णिका (Black body) क्या होती है?

   .....

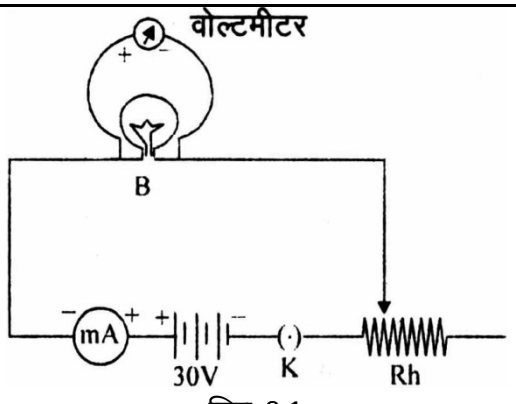
   .....

3. प्रीवोस्ट का ऊष्मा विनिमय का सिद्धान्त क्या है?

   .....

   .....

8.4 चित्र (Diagram)



चित्र 8.1

चित्र 8.1 में परिपथ चित्र दिया गया है जिसमें 100 वाट के बल्ब के श्रेणी क्रम में 30 वोल्ट का शक्ति प्रदायक (power supply) प्लग कुंजी (key), मिलि अमीटर तथा धारानियत्रंक (rheostat) जुड़े हुये हैं । धारा नियंत्रक (Rh) की मदद से परिपथ की वोल्टता तथा धारा को परिवर्तित किया जा सकता है । बल्ब के तन्तु पर आरोपित वोल्टता नापने के लिए इसके समान्तर क्रम में वोल्टमीटर जुड़ा हुआ है ।

8.5 विधि (Method)

(i) चित्र 8.1 के अनुसार परिपथ पूरा कीजिये ।

(ii) कुंजी में प्लग डालकर शक्ति प्रदायक द्वारा तन्तु में धारा प्रवाहित करें । बल्ब के सिरों के बीच विभवान्तर V तथा धारा I के पाठ्यांक नोट कीजिये ।

(iii) बल के तन्तु में धारा प्रवाहित करने से तन्तु का ताप बढ़ने लगता है जिससे तन्तु का प्रतिरोध R_θ धारा बढ़ाने पर बढ़ता जाता है । प्रत्येक विभवान्तर V व धारा I के लिए प्रतिरोध $R_\theta \left(R_\theta = \frac{V}{I} \right)$ का मान ज्ञात कर लिया जाता है । इस मान को सारणी में लिख लेते हैं ।

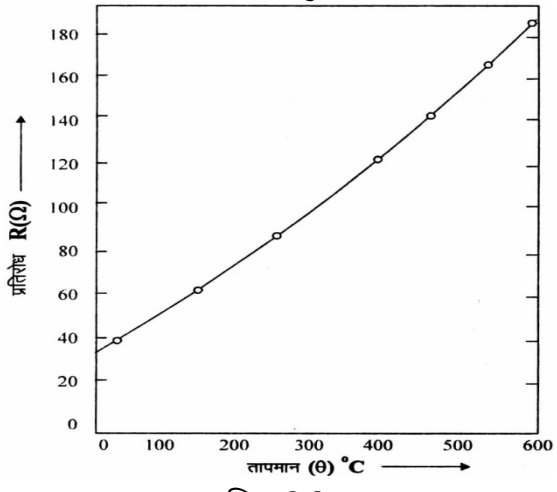
(iv) उपरोक्त प्रक्रिया (ii) व (iii) को तब तक दोहराते हैं जब तक कि R_θ का मान लगभग 200 ओम प्राप्त न हो जाये ।

(v) विधि क्रमांक (iii) व (iv) में प्राप्त प्रतिरोध R_θ के भिन्न-भिन्न मानों के संगत, दिये हुए ताप-प्रतिरोध अंशाकन वक्र से, तापों के मान प्राप्त कीजिये (चित्र 8.2) । यह अंशाकन वक्र फिलिप्स के 100 वाट के बल्व के लिए प्रयोगशाला में प्राप्त किया हुआ है ।

(vi) विधि क्रमांक (iii) व (iv) में प्राप्त विभवान्तर v तथा I के मानों को गुणा करके शक्ति (ऊर्जा प्रति सेकण्ड) के भिन्न मान प्राप्त कीजिये तथा इन मानों को सारणी में R_θ ताप के संगत लिख दीजिये ।

(vii) विधि क्रमांक (vi) में प्राप्त P के मान तथा ताप की चतुर्थ घात (T^4) के मान के बीच ग्राफ खींचिये । स्टीफन के नियमानुसार यह ग्राफ सरल रेखा के रूप में प्राप्त होता है।

(viii) सभी प्रेक्षण पूर्ण होते ही परिपथ में लगी कुंजी के प्लग को निकाल दीजिये ।



चित्र 8.2

8.6 प्रेक्षण (Observations)

(i) कमरे का ताप = ... ^{0}C= ..... K

(ii) कमरे के ताप पर बल्ब के तन्तु का प्रतिरोध (R_o) = ... ओम

($R_o = \frac{V_0^2}{P_o}$ यहां V_o तथा P_o क्रमश: बल्ब पर अंकित वोल्टता तथा शक्ति वाट में है)

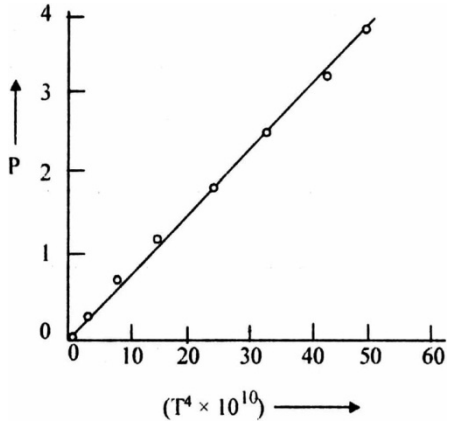
क्र.सं	वोल्टमीटर पाठ्यांक V (वोल्ट)	अमीटर पाठ्यांक I(mA)	प्रतिरोध (R_θ=V/I) R_θ((ओम)	प्रतिरोध के संगत तन्तु का ताप T(K)	शक्ति P=VI (वाट)	T^4
1 2 3 4						

8.7 गणना व परिणाम (Calculation and result)

गणना

प्रत्येक V तथा I के मानों के लिए तन्तु का प्रतिरोध ने० $R_\theta = \frac{V}{I}$ ज्ञात कीजिये । चित्र 8.2 में दिये गये अंशाकन वक्र द्वारा प्रत्येक R_θ के संगत ताप T(K) ज्ञात कीजिये तथा T^4 ज्ञात करके इन सभी मानों को प्रेक्षण सारणी में लिखिये । प्रत्येक ताप पर तन्तु में विधुत शक्ति P=VI का मान ज्ञात कीजिये ।

P तथा T^4 के मध्य ग्राफ खींचिये, यह एक सरल रेखा के रूप में प्राप्त होता है (चित्र 8.3) जो स्टीफन के नियम के अनुरूप है ।



चित्र 83

परिणाम -

शक्ति P तथा T^4 के बीच ग्राफ एक सरल रेखा आता है जो स्टीफन के नियम के अनुरूप है।

8.8 पूर्वावधान एवम् त्रुटियों के स्रोत (Precautions and sources of error)

(i) प्रयोग के लिए फिलिप्स का 100 वाट का बल्ब ही लेना चाहिये क्योंकि इसके तन्तु के लिए ही प्रतिरोध ताप ($R_\theta - \theta$) अंशाकन वक्र दिया हुआ है (चित्र 8.2) । दूसरे बल्व के लिए तन्तु के प्रतिरोध, ताप के साथ अन्य रूप से परिवर्तित होंगे अत: प्रतिरोध से ताप ज्ञात करने के लिए इन अंशाकन वक्र का उपयोग करना उचित नहीं होगा ।

(ii) शक्ति प्रदायक (Power supply) इस प्रकार की होनी चाहिये जिससे अपेक्षित धाराओं को तन्तु से प्रवाहित किया जा सके ।

(iii) वोल्टमीटर एवं अमीटर अधिक सुग्राही होने चाहिये ।

(iv) यह भी अपेक्षित है कि प्रयोग के लिए तन्तु का ताप 100^0C से 600^0C तक उपयोग में लाया जाये ।

(v) ताप के स्थायित्व के लिए आवश्यक है कि प्रत्येक प्रेक्षण के समय 5 से 10 मिनट तक प्रतीक्षा करके ही पाठ्यांक नोट करें ।

(vi) P व T^4 के बीच ग्राफ बनाते समय शक्ति P के 1 वाट के ऊपर के मानों को ही आलेखित करें ।

त्रुटि के स्रोत

(i) फिलिप्स के अलावा अन्य कम्पनी तथा 100 वाट के अलावा अन्य वाट का बल्ब प्रयुक्त करना ।

(ii) कम वोल्टता (0-10 वोल्ट) का शक्ति प्रदायक होना ।

(iii) वोल्टमीटर तथा अमीटर कम सुग्राही होना ।

(iv) प्रत्येक प्रेक्षण बिना प्रतीक्षा के नोट करना ।

(v) निम्न तापों (< 100^0C) पर तन्तु को दी गई कुल वैधुत ऊर्जा का कुछ भाग संयोजक तारों से चालन द्वारा क्षय जो जाता है तथा चूंकि इन निम्न तापों पर कुल प्रदत शक्ति अल्यल्प (<1 वाट) होती है अत: त्रुटि प्रतिशत अधिक होने की सम्भावना है ।

(vi) प्रयोग के समय बल्ब के कांच का आवरण का ताप कमरे के ताप के बराबर न रह कर बढ़ जाता है जबकि सिद्धान्त में इसे नियत (कमरे के ताप पर) माना गया है ।

(vii) तन्तु को कृष्णिका माना गया है, जो पूर्णत: यथार्थ नहीं है ।

8.9 सारांश (Summary)

बल्ब का तन्तु एक कृष्णिका की तरह कार्य करता है तथा बल के तन्तु को विधुत स्त्रोत द्वारा दी गई विधुत ऊर्जा. गर्म तन्तु द्वारा विकिरित ऊर्जा के रूप में प्राप्त होती है ।

इस प्रकार बल्ब के तन्तु से विकिरित ऊर्जा की दर (P), इसके ताप की चतुर्थ घात (T^4) के समानुपाती प्राप्त होती है, यही स्टीफन का नियम है ।

8.10 शब्दावली (Glossary)

उत्सर्जित	Emitted
विकिरण	Radiations
ताप	Temperature
तन्तु	Filament
चतुर्थ घात	Fourth Power
शक्ति प्रदायक	Power supply
अंशाकन वक्र	Calibration curve
कुंजी	Key
धारा नियत्रंक	Rheostat
विनिमय	Exchange

8.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

एम.पी.सक्सेना, पी.आर.सिह एवं एस.एस.रावत	ऊष्मागतिकी एवम् सांख्यिकीय भौतिकी	कॉलेज बुक हाउस, जयपुर
एम.पी.सक्सेना, पी.आर.सिंह ,एस.एस रावत एवं एन.एस. सक्सेना	प्रायोगिक भौतिकी बीएससी. पार्ट -11	कॉलेज बुक हाउस, जयपुर
B.S.Agarwal	Thermal Physics	Kedarnath Ramnath Meerut

8.12 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answer to self assessment question)

1. स्टीफन के नियम के अनुसार, किसी कृष्णिका के इकाई क्षेत्रफल के पृष्ठ से उत्सर्जित प्रति सेकण्ड ऊर्जा का मान (P), उस कृष्णिका (Black body) के परम ताप के चतुर्थ घात T^4. के अनुक्रमानुपाती होती है । अर्थात $P= \sigma T^4$ यहां σ स्टीफन नियतांक है।
2. आदर्श कृष्णिका (Black body) वह वस्तु होती है जिस पर आपतित सभी प्रकार के (सभी मानों की तरंगदैर्ध्य) विकिरण अवशोषित हो जावें ।

3. प्रीवोस्ट के ऊष्मा विनिमय के सिद्धान्त के अनुसार, प्रत्येक वस्तु प्रत्येक ताप पर ऊष्मा विकिरित करती है तथा वस्तु का गर्म होना या ठण्डा होना इस बात पर निर्भर करता है कि वस्तु नेट विकिरण अवशोषित कर रही है अथवा उत्सर्जित कर रही है।

8.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral question and answers)

1. बल्ब के तन्तु में प्रवाहित धारा का मान बढ़ाने से क्या होता है?

उत्तर : बल्ब के तन्तु में धारा का मान बढ़ाने से उसमें उत्पन्न ऊष्मा में वृद्धि होगी जिससे तन्तु का ताप बढ़ने लगेगा ।

2. तन्तु का ताप बढ़ाने से अधिक प्रतिरोध पर क्या प्रभाव पड़ता है?

उत्तर : तन्तु का ताप बढ़ाने से तन्तु का प्रतिरोध बढ़ता है । किसी ताप θ पर प्रतिरोध $R_\theta = (1+\alpha\theta+\beta\theta^2)$ होता है जहां α व β प्रतिरोध ताप गुणांक तथा R_o, 0^0C ताप पर प्रतिरोध है ।

3. बल्ब के तन्तु के लिए टंगस्टन धातु श्रेष्ठ क्यों होती है?

उत्तर : बल्ब के तन्तु के रूप में टंगस्टन धातु श्रेष्ठ इसलिए होती है क्योंकि टंगस्टन धातु का गलनांक उच्च होता है जिससे तन्तु का ताप उच्च मान तक बढ़ाया जा सकता है ।

4. क्या स्टीफन का नियम, विकिरण की तरंगदैर्ध्य पर निर्भर करता है?

उत्तर : नहीं । स्टीफन का नियम तरंगदैर्ध्य की सम्पूर्ण परास के लिए लागू होता है तथा किसी विशेष तरंगदैर्ध्य पर निर्भर नहीं करता ।

5. कृष्णिका से उत्सर्जित विकिरणों की तरंगदैर्ध्य क्या होती है?

उत्तर: कृष्णिका से उत्सर्जित विकिरणों मं तरंगदैर्ध्य के शून्य (0) से अनन्त (∞) तक सभी मान हो सकते हैं ।

6. विकिरण नापने की युक्ति के नाम बताइये ।

उत्तर: विकिरण नापने की युक्तियों के नाम हैं - बोलोमीटर (Bolometer), रेडियो माइक्रोमीटर (Radio micrometer) तथा पाइरोमीटर (Pyrometer) है ।

प्रयोग - 9

एक डायोड तथा L व π फिल्टर के उपयोग द्वारा अर्ध-तरंग दिष्टकारी का अध्ययन करना

(To study of half wave rectifier using single diode and l& π filters)

प्रयोग की रूपरेखा

9.0 उद्देश्य

9.1 प्रस्तावना

9.2 आवश्यक उपकरण

9.3 सिद्धान्त

9.4 परिपथ चित्र

9.5 विधि

9.6 प्रेक्षण

9.7 गणना व परिणाम

9.8 पूर्वावधान व त्रुटियों के स्रोत

9.9 सारांश

9.10 शब्दावली

9.11 संदर्भ ग्रन्थ

9.12 बोध प्रश्नों के उत्तर

9.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

9.0 उद्देश्य (Objectiv)

इस प्रयोग को करने के पश्चात् आप

- अर्ध-तरंग दिष्टकारी की कार्यविधि समझ पायेंगे;
- अर्ध-तरंग दिष्टकारी के उर्मिका गुणांक के बारे में बता सकेंगे,
- फिल्टर परिपथ के बारे में जानकारी प्राप्त कर सकेंगे;
- विभिन्न फिल्टर परिपथों के उपयोग से अर्ध-तरंग दिष्टकारी के उर्मिका गुणांक में परिवर्तन समझा पायेंगे ।

9.1 प्रस्तावना (Introduction)

अधिकतर इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों में दिष्ट धारा या वोल्टता की आवश्यकता होती है । जबकि प्रत्यावर्ती धारा या वोल्टता का उत्पादन, संचरण तथा वितरण दिष्ट धारा की तुलना में सुविधा जनक होता है ।

इसलिये हम इलेक्ट्रॉनिक उपकरणों के लिये उपलब्ध प्रत्यावर्ती धारा को दिष्ट धारा में परिवर्तित करते हैं । इसके लिये हम दिष्टकारी का उपयोग करते हैं । जो कि प्रत्यावर्ती धारा या वोल्टता को स्पंदमान दिष्ट धारा या वोल्टता में परिवर्तित करता है । यह स्पंदमान वोल्टता प्रत्यावर्ती तथा दिष्ट वोल्टता का मिश्रण होता है । इसके प्रत्यावर्ती घटकों (components) को फिल्टर परिपथों की सहायता से कम किया जा सकता है । दिष्टकारी दो प्रकार के होते हैं ।

P-N जमान डायोड एक वाल्व की तरह कार्य करता है । जब इसका P- टर्मिनल अग्र बायसित होता हैं तो यह चालन करता है । पश्च बायस में होने पर यह चालन नहीं करता । अत: यह दिष्टकारी के रूप में कार्य करता है ।

(i) अर्ध तरंग दिष्टकारी तथा (ii) पूर्ण तरंग दिष्टकारी

अनुच्छेद 9.2 में अर्ध तरंग दिष्टकारी का अध्ययन करने के लिये आवश्यक उपकरण बताये गये हैं । इसके लिये आवश्यक सिद्धान्त की विवेचना 'अनुच्छेद 9.3 में की गई है ।

आवश्यक परिपथ चित्र को अनुच्छेद 9.4 में दर्शाया गया है तथा प्रयुक्त विधि की व्याख्या अनुच्छेद 9.5 में की गई है । इस विधि से प्राप्त प्रेक्षण को 9.6 में दी गई सारणी में नोट किया जाता है ।

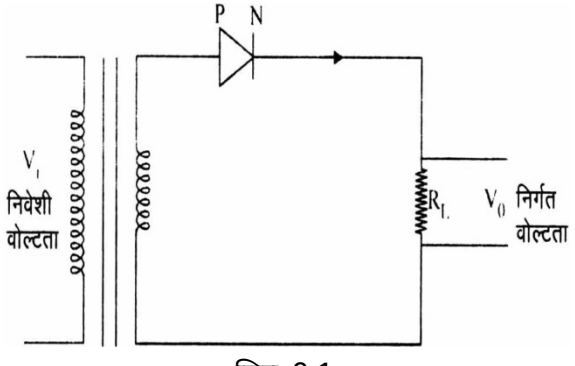
अनुच्छेद 9.7 के अनुसार उर्मिका गुणांक की गणना की गयी है । इस प्रयोग को करते समय ध्यान में रखे गये पूर्वावधान व त्रुटियों के स्रोत का अनुच्छेद 9.8 में उल्लेख किया गया है । अनुच्छेद 9.13 में कुछ मौखिक प्रश्नों को उत्तर सहित दिया गया है ।

9.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

ट्रांसफार्मर, एक P-N जंक्शन डायोड, दिष्ट धारा मिली अमीटर, निर्वात नलिका वोल्ट मीटर (VTVM), प्रेरकत्व, संघारित विभिन्न मानों के प्रतिरोध, संयोजक तार एवं कुंजी आदि ।

9.3 सिद्धान्त (Theory)

अर्ध तरंग दिष्टकारी का परिपथ चित्र 9.1 में दर्शाया गया है । ट्रॉंसफार्मर की प्राथमिक कुण्डली को प्रत्यावर्ती वोल्टता स्रोत से जोड़ा जाता है । द्वितीयक कुण्डली के साथ एक डायोड तथा लोड प्रतिरोध R_L को चित्रानुसार जोड़ा जाता है ।

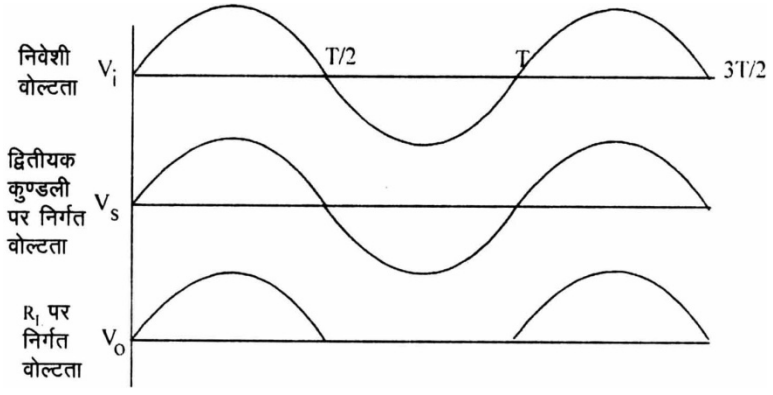


चित्र 9.1

जब प्राथमिक कुण्डली पर प्रत्यावर्ती वोल्टता $V_p = E_p \sin \omega t$ निवेशित की जाती है, तब विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के कारण द्वितीयक कुण्डली पर प्रत्यावर्ती वोल्टता

$V_s = nE_p \sin \omega t = E_m \sin \omega t$ उत्पन्न हो जाती है । (यहाँ $n=N_s/ N_p$ द्वितीयक तथा प्राथमिक कुण्डली में फेरों की संख्या का अनुपात है)

इस प्रत्यावर्ती वोल्टता के धनात्मक अर्ध चक्र के कारण जब डायोड अग्र दिशिक बायसित होता है तब परिपथ में धारा प्रवाहित होती है । तथा ऋणात्मक अर्ध चक्र के कारण डायोड पश्च दिशिक बायसित होने से परिपथ में धारा प्रवाहित नहीं होती ।



चित्र 9.2 अर्ध तरंग दिष्टकारी के निवेशी तथा निर्गत वोल्टता वक्र

इस कारण P-N डायोड के साथ बाह्य परिपथ में लगे प्रतिरोध R_L पर चित्र 9.2 के अनुसार निर्गत वोल्टता प्राप्त होती है । निवेशी वोल्टता के अर्ध चक्र का ही दिष्टीकरण होने से इसे अर्थ तरंग दिष्टकारी कहा जाता है । यह निर्गत वोल्टता एक दिशिय होती है । लेकिन स्पंदमान होती है ।

यदि P-N डायोड का अग्र स्थैतिक प्रतिरोध R_F तथा द्वितीयक कुण्डली का प्रतिरोध R_S हो तो लोड R_L में प्रवाहित धारा का मान निम्न होगा ।

(i) अर्ध तरंग दिष्टकारी (चित्र 9.1)

$$I = \frac{E_m \sin \omega t}{R_L + R_S + R_f} \qquad ...(9.1)$$

माना $R_s + R_f = R$ तथा $\frac{E_m}{R + R_L} = I_m$

तब $I = I_m \sin \omega t$ $\quad O<t<T/2$

तथा शेष अर्ध चक्र के लिये

$I=O$ $\quad \frac{T}{2} < t < T$ ..(9.2)

(ii) स्पंदमान धारा का औसत मान या दिष्ट मान

$$I = I_{dc} = \frac{I_m}{\pi} = \frac{E_m}{\pi(R + R_L)} \qquad ..(9.3)$$

तथा R_L के सिरों पर दिष्ट वोल्टता

$$E_{dc} = \frac{E_m}{\pi(R+R_L)} R_L \qquad ...(9.4)$$

(iii) धारा का वर्ग माध्य-मूल मान

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{E_m}{\sqrt{2(R+R_L)}} \qquad ...(9.5)$$

$$\text{तथा } E_{rms} = \frac{E_m R_L}{\sqrt{2}(R+R_L)} \qquad ...(9.6)$$

(iv) दक्षता-औसत दिष्ट शक्ति तथा निवेशी प्रत्यावर्ती शक्ति के अनुपात को दिष्टकारी की दक्षता (η) कहा जाता है ।

अर्थात $\eta = \frac{P_{dc}}{P_{in}}$

अर्ध तरंग दिष्टकारी के लिये

$$\eta = \frac{40.6}{(1+R/R_L)} \qquad ...(9.7)$$

(v) ऊर्मिका गुणांक-ऊर्मिका गुणांक,r निर्गत स्पंदमान वोल्टता में प्रत्यावर्ती वोल्टता घटक तथा दिष्ट वोल्टता के अनुपात को दर्शाता है । इसका मान कम होना चाहिये । अर्ध तरंग दिष्टकारी के लिये

$$r = \left[\left(\frac{I_{rms}}{I_{dc}} \right)^2 - 1 \right]^{1/2}$$

सैद्धान्तिक मान = 1.2.1

फिल्टर- दिष्टकारी डायोड से निर्गत वोल्टता में उपस्थित प्रत्यावर्ती घटक को कम करने के लिये फिल्टर परिपथ को काम में लाया जाता है ।

इन्हे संधारित्र तथा प्रेरकत्व की सहायता से बनाया जाता है । संधारित्र की प्रतिबाधा $\left(X_c = \frac{1}{\omega C} \right)$ प्रत्यावर्ती घटक के लिये आवृति बढ़ाने पर कम होती है । जबकि दिष्ट घटक के लिये इसका मान अनन्त होता है । प्रेरकत्व की प्रतिबाधा $\left(X_L = \omega L \right)$ दिष्ट घटक के लिये शून्य होती है तथा प्रत्यावर्ती घटक के लिये इसका मान आवृति के साथ-2 बढ़ता है । फिल्टर परिपथ चार प्रकार के होते हैं ।

(i) श्रेणी प्रेरकत्व फिल्टर

(ii) पार्श्व संधारित्र फिल्टर

(iii) L-फिल्टर

(iv) π -फिल्टर

इन फिल्टर परिपथों का उपयोग करने से दिष्टकारी में ऊर्मिका गुणाक कम होता है ।

(i) **श्रेणी प्रेरकत्व फिल्टर-** इस फिल्टर को बनाने के लिए एक उच्च मान का प्रेरकत्व दिष्टकारी के श्रेणी क्रम में लगाया जाता है । जब दिष्टकारी से निर्गत धारा औसत या तब मान से अधिक होती है तब धारा वृद्धि से कुण्डली में चुम्बकीय क्षेत्र के रूप में ऊर्जा संचित हो जाती है । जब लोड धारा का हास होता है तब स्वप्रेरकत्व के कारण कुण्डली में अतिरिक्त विद्युत वाहक बल की उत्पति होती है जो कि लोड में धारा में कमी का विरोध करती है ।

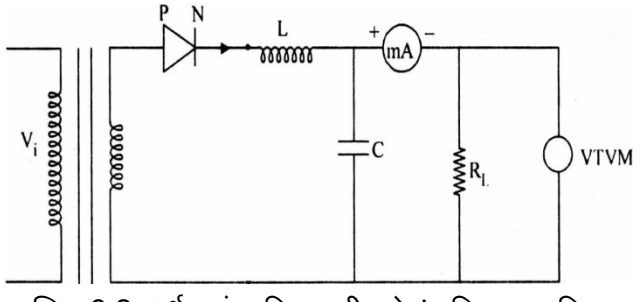
इस प्रकार लोड में प्रवाहित धारा के उच्चावचन प्रेरकत्व फिल्टर से कम हो जाते है । इस फिल्टर के उपयोग करने पर उर्मिका गुणांक का मान लोड R_L कम करने या अधिक लोड धारा के लिये कम होता है ।

(ii) **पार्श्व संधारित्र फिल्टर-** इस फिल्टर में एक उचित मान के संधारित को लोड प्रतिरोध के समानान्तर क्रम में लगाया जाता है । यह संधारित आवेशित होकर ऊर्जा संग्रहित करता है । जब लोड पर वोल्टता कम होती है । तब यह लोड के द्वारा अनावेशित होकर वोल्टता को नियत रखने का प्रयास करता है । इस फिल्टर का प्रयोग अधिक लोड या कम धारा के लिये उपयुक्त होता है ।

(iii) **L फिल्टर-** इलेक्ट्रोनिक उपकरणों के लिये केवल श्रेणी प्रेरकत्व या पर्श्व संधारित्र फिल्टर उपयुक्त नहीं होते हैं । क्योंकि ऊर्मिका गुणांक का मान एक निश्चित सीमा के पश्चात् कम नहीं किया जा सकता है । ऊर्मिका गुणांक के मान को और कम करने के लिए L फिल्टर का उपयोग किया जाता है । इसमें लोड प्रतिरोध के श्रेणी क्रम में प्रेरकत्व कुण्डली के साथ-साथ पार्श्व पथ में एक संधारित्र लगा दिया जाता है । जब दिष्टकारी से प्राप्त स्पंदमान वोल्टता प्रेरकत्व कुण्डली से प्रवाहित होती है । तब इसका दिष्ट घटक प्रेरकत्व की प्रतिबाधा शून्य होने से निर्बाध रूप से प्रवाहित होता है जबकि प्रत्यावर्ती घटक के लिये प्रेरक कुण्डली की प्रतिबाधा के कारण वोल्टता का पतन होता है । इस निर्गत धारा में जो शेष ऊर्मिका घटक रह जाते हैं उनको संधारित्र उप पथ प्रदान करता है तथा दिष्ट घटक के प्रति अनन्त प्रतिबाधा उपस्थित करके उसे रोकता है ।

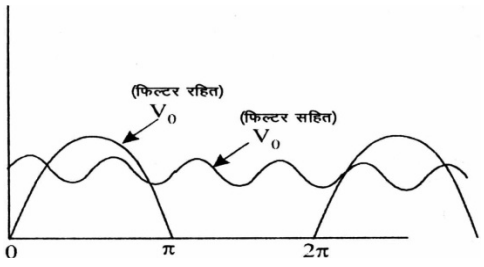
इस कारण लोड R_L से केवल दिष्ट धारा प्रवाहित होती है । L-फिल्टर में प्रेरकत्व की प्रतिबाधा अधिक तथा संधारित की कम होनी चाहिये ।

चित्र 9.3 में अर्ध तरंग दिष्टकारी को L-फिल्टर के साथ दर्शाया गया है । जबकि



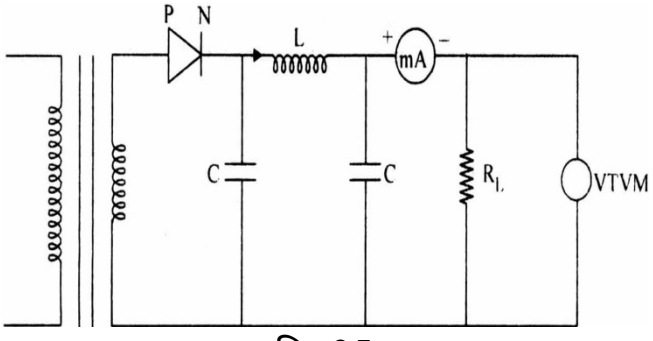
चित्र 9.3 अर्ध तरंग दिष्टकारी को L फिल्टर सहित

चित्र 9.4 में L-फिल्टर के उपयोग करने पर दिष्टकारी में ऊर्मिका में कमी को दर्शाया गया है।



चित्र 9.4 फिल्टर के कास्य ऊमिका नाक में कमी

(iv) π -फिल्टर - L-फिल्टर में दिष्ट वोल्टता को नियत रखने के लिये धारा का एक न्यूनतम मान होना चाहिये । इस कारण दिष्ट वोल्टता कम हो जाती है । अधिक दिष्ट वोल्टता को प्राप्त करने के लिये L-फिल्टर के निवेश पर समानान्तर क्रम में एक अन्य संधारित्र लगा दिया जाता है । इससे वह π की आकृति के समान हो जाता है । इस स्थिति में ऊर्मिका गुणांक का मान और कम हो जाता है । तथा दिष्ट वोल्टता का मान L- फिल्टर की तुलना में अधिक प्राप्त होता है । अर्ध तरंग दिष्टकारी को π -फिल्टर के साथ चित्र 9.5 में दर्शाया गया है ।



चित्र 9.5

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

1. अर्ध तरंग दिष्टकारी किसे कहते है?,

   .....

   .....

2. डायोड के किस गुण के कारण इसे दिष्टकारी परिपथ के काम में लिये जाता है?

   .....

   .....

3. स्पंदमान वोल्टता क्या होती है?

   .....

   .....

4. ऊर्मिका गुणांक क्या होता है?

   .....

   .....

5. फिल्टर परिपथ किसे कहते है । ये कितने प्रकार के होते हैं?

.....

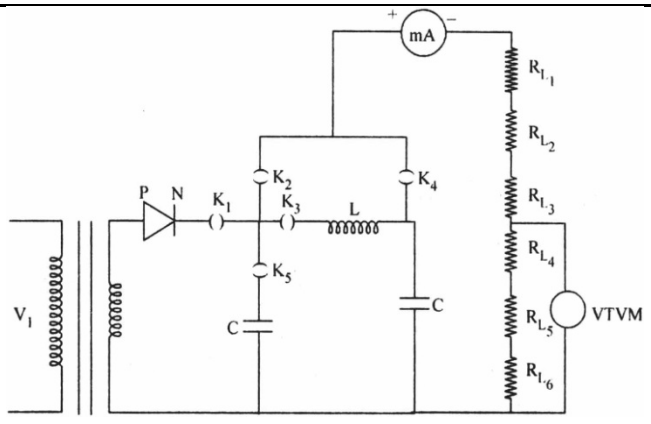
.....

6. अधिक दिष्ट वोल्टता प्राप्त करने के लिये L तथा π फिल्टर में से कौनसा उपयुक्त है?

.....

.....

9.4 परिपथ चित्र (Cricuit diagram)



चित्र 9.6 अर्ध तरंग दिष्टकारी का परिपथ चित्र

9.5 विधि (Method)

(i) चित्र 9.6 के अनुसार परिपथ बनाइये । इसमें ट्रांसफार्मर की द्वितीयक कुण्डली के एक सिरे से डायोड जोड़िये । डायोड के N सिरे को K_1 तथा K_2 कुंजी की सहायता से मिली अमीटर तथा विभिन्न मान के प्रतिरोधों से ट्रांसफार्मर की द्वितीयक कुण्डली के दूसरे सिरे से जोड़िये ।

लोड प्रतिरोध के समानान्तर क्रम में VTVM जोड़िये ।

इसी परिपथ में K_3, K_5, कुंजियों, प्रेरकत्व L तथा संघारित्र C_1 C_2 को जोड़कर फिल्टर परिपथ बनाइये ।

(ii) ट्रॉंसफार्मर की प्राथमिक कुण्डली पर प्रत्यावर्ती वोल्टता आरोपित कीजिये तथा K_1 व K_2 कुंजियों को परिपथ में जोड़ दीजिये । प्रत्यावर्ती वोल्टता को प्रारम्भ करके R_L के किसी निश्चित मान के लिये धारा का मान मिली अमीटर से नोट कीजिये । एवं VTVM को सहायता से दिष्ट (E_{dc}) तथा प्रत्यावर्ती वोल्टता (E_{ac}) का मान ज्ञात कीजिये ।

(iii) R_L का मान परिवर्तित करके पुन: इसी विधि को दोहराइये ।.

(iv) I_{dc} के विभिन्न मानों के लिये उर्मिका गुणांक ज्ञात कीजिये ।

L फिल्टर सहित दिष्टकारी का अध्ययन

(v) L फिल्टर को परिपथ में जोड़ने के लिये K_2, कुंजी को परिपथ से हटा दीजिये । K_3 तथा K_4 कुंजियों को लगाने पर L फिल्टर परिपथ में जुड़ जाता है । तथा परिपथ चित्र 9.4 के अनुरूप बन जायेगा ।

(vi) विधि (ii),(iii) तथा (iv) को दोहराइये तथा पाठयांकों को प्रेक्षण सारिणी में उचित स्थान पर लिखिये ।

π फिल्टर सहित दिष्टकारी का अध्ययन

(vii) π फिल्टर को परिपथ में जोड़ने के लिये K_5,कुंजी को परिपथ में लगा दीजिये । इस स्थिति में परिपथ चित्र 9.5 के अनुरूप बन जायेगा ।

(viii) विधि (ii), (iii), तथा (iv) को दोहराइये ।

9.6 प्रेक्षण (Observation)

1. P-N संधि डायोड का नम्बर =
2. मिली अमीटर का अल्पतमांक = मि.ए.
3. निवेशी प्रत्यावर्ती वोल्टता = वोल्ट
4. प्रेरकत्व L = हैनरी
5. संधारित्र C_1 = फैरड
   C_2 = फैरड

प्रेक्षण सारणी

(अ) बिना लोड के दिष्टकारी

क्रम.सं.	लोड प्रतिरोध R_L (ओम)	दिष्ट धारा I_{dc} (मि.ऐ.)	निर्गत प्रत्यावर्ती वोल्टता E_{dc} (वोल्ट)	निर्गत दिष्ट वोल्टता E_{dc} (वोल्ट)	ऊर्मिका गुणाक $r = E_{ac} / E_{dc}$
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
9.					
10.					

(ब) फिल्टर सहित दिष्टकारी

क्रम.सं.	लोड प्रतिरोध	दिष्ट धारा	निर्गत प्रत्यावर्ती वोल्टता	निर्गत दिष्ट वोल्टता	ऊर्मिका गुणाक

	R_L (ओम)	I_{dc} (मि.ऐ.)	E_{dc} (वोल्ट)	E_{dc} (वोल्ट)	$r = E_{ac} / E_{dc}$
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
9.					
10.					

(स) व फिल्टर सहित दिष्टकारी

क्रम.सं.	लोड प्रतिरोध R_L (ओम)	दिष्ट धारा I_{dc} (मि.ऐ.)	निर्गत प्रत्यावर्ती वोल्टता E_{dc} (वोल्ट)	निर्गत दिष्ट वोल्टता E_{dc} (वोल्ट)	ऊर्मिका गुणाक $r = E_{ac} / E_{dc}$
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
9.					
10.					

9.7 गणना एवं परिणाम (Calculations and result)

गणना

सूत्र, $r = E_{ac} / E_{dc}$ से बिना फिल्टर, L फिल्टर एवं π फिल्टर के लिये R_L के विभिन्न मानों के लिये ऊर्मिका गुणांक का मान ज्ञात कीजिये ।

परिणाम

(अ) बिना फिल्टर के अर्धतरंग दिष्टकारी का उर्मिका गुणांक=

(ब) L फिल्टर सहित अर्धतरंग दिष्टकारी का उर्मिका गुणांक=

(स) π फिल्टर सहित अर्धतरंग दिष्टकारी का उर्मिका गुणांक =

बोध प्रश्न (Self assessment question)

7. अर्ध तरंग दिष्टकारी के लिये ऊर्मिका गुणांक का सैद्वान्तिक मान कितना है?

.....

.....

8. अच्छे दिष्टकारी के लिये r का मान कम या अधिक होना चाहिये?

.....

.....

9.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्रोत (Precautions and sources of error),

पूर्वावधान

(i) संयोजन सुदृढ़ होने चाहिये ।

(ii) निवेशी प्रत्यावर्ती वोल्टता का मान डायोड के PIV से अधिक नहीं होना चाहिये ।

(iii) धारा नापने के लिये उचित मान का अमीटर होना चाहिये ।

(iv) पैमानों के शून्यांक त्रुटि का निराकरण प्रयोग शुरू होने से पहले कर लेना चाहिये ।

त्रुटियों के स्रोत

(i) पैमानों की शून्यांक त्रुटि का पूर्णत: निराकरण न होना ।

(ii) उचित परास के उपकरणों का प्रयोग न करना ।

(iii) संयोजन सुदृढ़ न होना ।

9.9 सारांश (Summary)

प्रत्यावर्ती धारा को दिष्ट धारा में परिवर्तित करने के लिये दिष्टकारी का उपयोग करते हैं । अर्थ तरंग दिष्टकारी के ऊर्मिका गुणांक r का मान प्रतिरोध के विभिन्न मानों के लिये तीन स्थितियों में ज्ञात किया गया है ।

(i) बिना फिल्टर

(ii) L-फिल्डर के साथ

(iii) π-फिल्टर के साथ

यह पाया जाता है कि फिल्टर को काम में लाने पर r का मान कम होता जाता है ।

9.10 शब्दावली (Glossary))

अर्ध तरंग दिष्टकारी	Half wave rectifier
ऊर्मिका गुणांक	Ripple factor
उत्पादन	Production
स्पंदमान	Pulsating
निर्वात नलिका वोल्ट मीटर	Vacumm tube volt meter (VTVM)

9.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

एम.पी.सक्सेना, पी.आरसिंह, एस.एस.रावत एन.एस. सक्सेना एवं सरदार सिंह	प्रायोगिक भौतिकी बीएससी. पार्ट -11	कॉलेज बुक हाउस, जयपुर

9.12 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answers to self assessment question)

1. वह युक्ति जिससे निवेशी प्रत्यावर्ती वोल्टता के आधे चक्र को स्पंदमान दिष्ट वोल्टता में परिवर्तित किया जाता है ।
2. डायोड अग्र बायस की स्थिति में धारा प्रवाहित होने देता है । पश्च बायस में नहीं ।
3. वह वोल्टता जिसका मान समय पर निर्भर करता है ।
4. निर्गत वोल्टता में प्रत्यावर्ती घटक तथा दिष्ट घटक के अनुपात को ऊर्मिका गुणांक कहा जाता है ।
5. वे परिपथ जिससे निर्गत वोल्टता में प्रत्यावर्ती घटक को कम किया जाता है ।
6. π-फिल्टर
7. 1.21
8. कम

9.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral question and answers)

1. क्या प्रत्यावर्ती धारा को दिष्ट धारा में परिवर्तित किया जा सकता है?

उत्तर : हाँ, दिष्टकारी की सहायता से ।

2. दिष्टकारी कितने प्रकार के होते है?

उत्तर : दो प्रकार के (i) अर्ध तरंग तथा (ii) पूर्ण तरंग दिष्टकारी

3. ऊर्मिका गुणांक किसे कहते है?

उत्तर : निर्गत वोल्टता में प्रत्यावर्ती तथा दिष्ट वोल्टता के अनुपात को ऊर्मिका गुणांक कहा जाता है ।

4. फिल्टर परिपथ किसे कहते है?

उत्तर : निर्गत वोल्टता में प्रत्यावर्ती घटक को कम करने के लिये जिन इलेक्ट्रॉनिक परिपथ को काम में लाया जाता है उसे फिल्टर परिपथ कहा जाता है ।

5. फिल्टर परिपथ कितने प्रकार के होते है?

उत्तर : 4 प्रकार के होते है:-

1. श्रेणी प्रेरकत्व फिल्टर

2. पार्श्व संधारित्र फिल्टर

3. L प्रकार के फिल्टर

4. π प्रकार के फिल्टर

6. R_L के मान बढ़ाने पर धारा का मान किस प्रकार परिवर्तित होता है?

उत्तर : धारा का मान कम हो जाता है ।

प्रयोग - 10

दो डायोड व L तथा π फिल्टर का उपयोग करते हुये पूर्ण तरंग दिष्टकारी का अध्ययन करना

(Study of full wave rectifier using two diodes & L & π filters)

प्रयोग की रूपरेखा

10.0 उद्देश्य
10.1 प्रस्तावना
10.2 आवश्यक उपकरण
10.3 सिद्धान्त
10.4 परिपथ चित्र
10.5 विधि
10.6 प्रेक्षण
10.7 गणना व परिणाम
10.8 पूर्वावधान व त्रुटियों के स्रोत
10.9 सारांश
10.10 शब्दावली
10.11 संदर्भ ग्रन्थ
10.12 बोध प्रश्नों के उत्तर
10.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

10.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के बाद आप

- पूर्ण तरंग दिष्टकारी की कार्यविधि समझा पायेंगे,
- पूर्ण तरंग दिष्टकारी के ऊर्मिका गुणांक के बारे में बता सकेंगे,
- अर्ध तरंग तथा पूर्ण तरंग दिष्टकारी के बीच अंतर बता पायेंगे;
- L तथा π फिल्टर के उपयोग से पूर्ण तरंग दिष्टकारी के ऊर्मिका गुणाक के परिवर्तन को समझा पायेंगे ।

10.1 प्रस्तावना (Introduction)

प्रयोग 9 में आपने अर्ध तरंग दिष्टकारी की बनावट एवं कार्यप्रणाली का अध्ययन किया था । इस प्रयोग में आप पूर्ण तरंग दिष्टकारी का अध्ययन करेंगे । अनुच्छेद 10.2 में पूर्ण

तरंग दिष्टकारी के अध्ययन के लिये आवश्यक उपकरण बताये गये है । अनुच्छेद 10.3 में इसके सिद्धान्त की विवेचना की गई है ।

पूर्ण तरंग दिष्टकारी का परिपथ चित्र अनुच्छेद 10.4 में दर्शाया गया है । जबकि अनुच्छेद 10.5 में इस प्रयोग को करने की विधि को बताया गया है । इस प्रयोग से प्राप्त प्रेक्षण को व्यवस्थित रूप में लिखने की व्याख्या अनुच्छेद 10.6 में की गई है ।

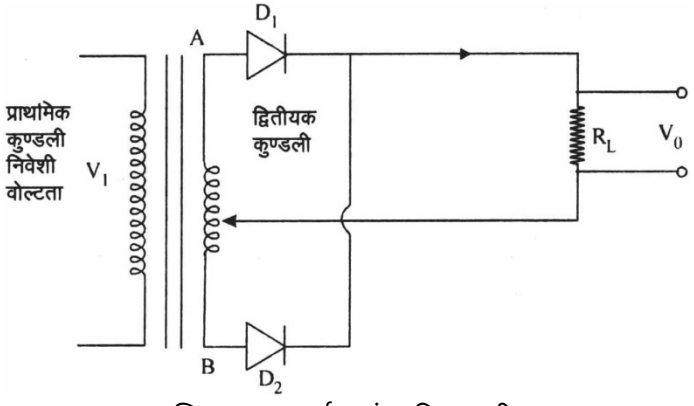
ऊर्मिका गुणांक की गणना करना अनुच्छेद 10.7 में बताया गया है । अनुच्छेद 10.8 में इस प्रयोग को करते समय ध्यान में रखने वाले पूर्वावधान व त्रुटियों के स्रोत को दिया गया है । अनुच्छेद 10.13 में कुछ मौखिक प्रश्नों को उत्तर सहित दिया गया है ।

10.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

ट्रांसफार्मर, दो सर्वसम P-N डायोड, दिष्टधारा मिली अमीटर, निर्वात नलिका वोल्टमीटर (VTVM), प्रेरकत्व, संधारित्र, विभिन्न मानों के प्रतिरोध, संयोजक तार एवं कुंजी आदि ।

10.3 सिद्धान्त (Theory)

पूर्ण तरंग दिष्टकारी का परिपथ चित्र 10.1 में दर्शाया गया है । इसमें ट्राँसफार्मर की प्राथमिक कुण्डली से प्रत्यावर्ती स्रोत को जोड़ा जाता है । द्वितीयक कुण्डली के सिरों को दोनो डायोडों के P-टर्मिनलों से जोड़ दिया जाता है तथा द्वितीयक कुण्डली के मध्य बिंदु को डायोडों के N-टर्मिनल के साथ लोड R_L जोड़ दिया जाता है ।

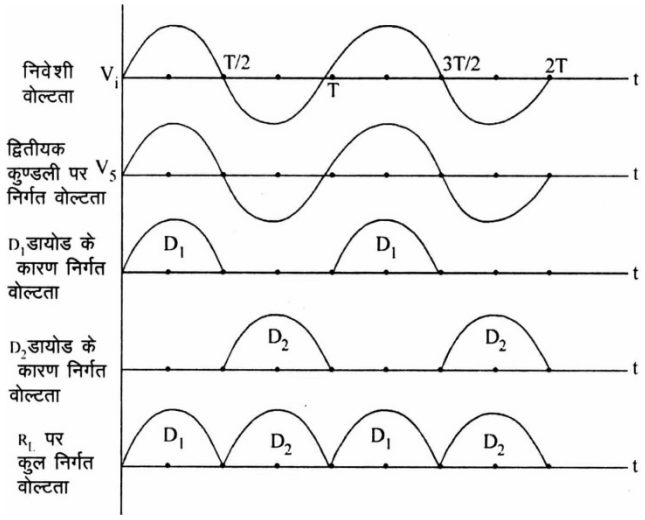


चित्र 10.1 पूर्ण तरंग दिष्टकारी

जब प्राथमिक कुण्डली पर प्रत्यावर्ती वोल्टता $V_p = E_p = \sin \omega t$ निवेशित की जाती है तो विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के कारण द्वितीयक कुण्डली पर प्रत्यावर्ती वोल्टता $V_s = nE_p \sin \omega t = E_m \sin \omega t$ उत्पन्न हो जाती है ।

इस प्रत्यावर्ती वोल्टता के कारण द्वितीयक कुण्डली का A सिरा आधे चक्र तक धनात्मक तथा आधे चक्र के लिए ऋणात्मक होता है । जब A सिरा धनात्मक होता है तब डायोड D अग्र बायसित होता है तथा B सिरा ऋणात्मक होने के कारण D_2 पश्च बायसित होता है ।

D_1 के कारण परिपथ में I_1 धारा प्रवाहित होती है । आधे चक्र के पश्चात जब B सिरा धनात्मक व A ऋणात्मक हो जाता है । तब D_2, डायोड अग्र बायसित तथा D_1 पश्च बायसित हो जाता है । D_2 के कारण परिपथ में I_2 धारा प्रवाहित होती है । I_1 तथा I_2 लोड R_L में एक दिशा में प्रवाहित होती है तथा R_L के सिरों पर स्पंदमान वोल्टता प्राप्त होती है । निवेशी तथा निर्गत वोल्टता को चित्र 10.2 में दर्शाया गया है ।



चित्र 10.2 पूर्ण तरंग दिष्टकारी के वोल्टता वक्र

इस स्थिति में निवेशी प्रत्यावर्ती वोल्टता के पूर्ण चक्र के दिष्टीकरण के कारण इस युक्ति को पूर्ण तरंग दिष्टकारी कहा जाता है । यदि दोनों डायोड का अग्र प्रतिरोध R_f तथा द्वितीयक कुण्डली का अर्ध प्रतिरोध R_s /2 हो तो अर्ध तरंग दिष्टकारी की तरह आप R_L में प्रवाहित धारा का मान निम्न प्रकार लिख सकते हैं ।

$$I_1 = \frac{E_m \sin \omega t}{\frac{R_s}{2} + R_f + R_L}$$

$$= \frac{E_m \sin \omega t}{R + R_L} \quad \text{यहाँ} \frac{R_s}{2} + R_f = R$$

तथा $$I_m = \frac{E_m}{R + R_L}$$

तथा $$\left.\begin{aligned} I_1 &= I_m \sin \omega t \\ I_2 &= 0 \end{aligned}\right] \qquad 0<t<T/2 \qquad ..(10.1)$$

अगले अर्ध चक्र के लिये

$$I_1 = 0$$

$$I_2 = -I_m \sin \omega t \qquad \frac{T}{2} < t < T \qquad ....(10.2)$$

(i) स्पंदमान धारा का औसत मान या दिष्ट मान

$$I = I_{dc} = \frac{2I_m}{\pi} \qquad ..(10.3)$$

तथा R_L के सिरों पर दिष्ट वोल्टता

$$E_{dc} = \frac{2I}{\omega} R_L \qquad .(10.4)$$

I_{dc} तथा E_{dc} का मान अर्ध तरंग दिष्टकारी की तुलना में दो गुना प्राप्त होता है । धारा का वर्ग माध्य मूल मान

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \qquad .(10.5)$$

तथा $$E_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} R_L \qquad .(10.6)$$

(ii) दक्षता

$$\eta = \frac{P_{dc}}{P_{in}}$$

$$= \frac{81.2\%}{(1 + R/R_L)} \qquad .(10.7)$$

यह मान भी अर्ध तरंग दिष्टकारी की तुलना में दो गुना होता है ।

(iii) ऊर्मिका गुणांक- ऊर्मिका गुणांक का मान निम्न सूत्र से ज्ञात किया जाता है ।

$$r = \left[\left(\frac{I_{rms}}{I_{dc}} \right)^2 - 1 \right]^{1/2}$$

पूर्ण तरंग दिष्टकारी के लिये r=0.48

यह मान अर्ध तरंग दिष्टकारी के ऊर्मिका गुणांक का 40% पाया जाता है । विभिन्न फिल्टर परिपथ के बारे में आप पूर्व के प्रयोग 9 में अध्ययन कर चुके हैं । इसके उपयोग से r का मान कम किया जा सकता है ।

बोध प्रश्न (Self assessment question)

1. अर्ध तथा पूर्ण तरंग दिष्टकारी में क्या अंतर होता है?

   .....

   .....

2. क्या दोनो डायोड के कारण प्रवाहित धारा की दिशा R_L में एक ही या विपरीत दिशा में होती है?

   .....

   .....

3. 1_m का मान तुलनात्मक रूप से अर्ध तरंग या पूर्ण तरंग दिष्टकारी में अधिक होता है । क्यों?

.....

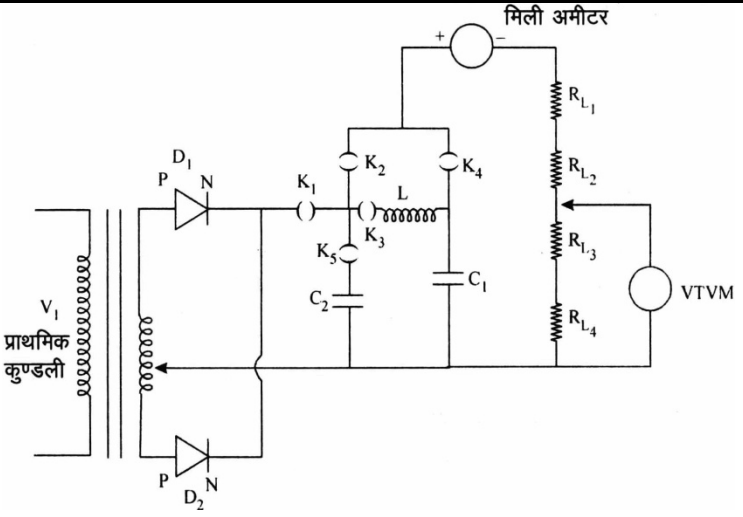
.....

4. अर्ध तंरग तथा पूर्ण तरंग दिष्टकारी में कौनसा अच्छा दिष्टकारी होता है?

.....

.....

10.4 परिपथ चित्र (Circuit diagram)



चित्र 10.3 पूर्ण तरंग दिष्टकारी का परिपथ चित्र

10.5 विधि (Method)

(i) चित्र 10.3 के अनुसार परिपथ बनाइये । ट्राँसफार्मर की प्राथमिक कुण्डली पर प्रत्यावर्ती वोल्टता लगाइये । द्‌वितीयक कुण्डली के A तथा B सिरे को D_1 तथा D_2 डायोड के P सिरे से जोड़िये । दोनो डायोडों के N सिरों को K_1 कुंजियों की सहायता से मिली अमीटर से जोड़िये । मिली अमीटर का दूसरा सिरा लोड प्रतिरोध R_L के किसी मान पर रखिये । R_L के दूसरे सिरे को द्‌वितीयक कुण्डली के केंद्र बिंदु पर लगाइये । VTVM को R_L समान्तर जोड़ दीजिये ।

(ii) निवेशी प्रत्यावर्ती वोल्टता प्रारम्भ करके R_L के किसी निश्चत मान के लिये धारा का मान नोट कीजिये तथा VTVM की सहायता से निर्गत दिष्ट वोल्टता E_{dc} व प्रत्यावर्ती वोल्टता E_{ac} का मान ज्ञात कीजिये ।

(iii) R_Lके के मान परिवर्तित करके उपरोक्त विधि (II) को दोहराइये ।

(iv) I_{dc} के विभिन्न मानों के लिये उर्मिका गुणांक ज्ञात कीजिये ।

L फिल्टर सहित पूर्ण तरंग दिष्टकारी का अध्ययन

(v) L फिल्टर को परिपथ में जोड़ने के लिये K_2 कुंजी को हटाकर K_3 तथा K_4 कुंजियों को परिपथ में लगा दीजिये ।

(vi) विधि (ii) (iii), तथा (iv) को दोहराकर पाठयांकों को उचित स्थान पर लिखिये ।

π फिल्टर सहित दिष्टकारी का अध्ययन

(vii) π फिल्टर को परिपथ में जोड़ने के लिये K_5 कुंजी को लगा दीजिये तथा उपरोक्त विधि (ii) (iii), तथा (iv) को दोहराइये ।

10.6 प्रेक्षण (Observations)

1. P.N संधि डायोड के नम्बर:-
   (i)
   (ii)
2. मिली अमीटर का अल्पतमांक = मि.ए.
3. निवेशी प्रत्यावर्ती वोल्टता = वोल्ट
4. 4. प्रेरकत्व = हेनरी
5. संधारित्र C_1 = फैरड
   C_2 = फैरड

प्रेक्षण सारिणी

(अ) बिना फिल्टर के दिष्टकारी

क्रम.सं.	लोड प्रतिरोध R_L (ओम)	दिष्ट धारा I_{dc} (मि.ऐ.)	निर्गत प्रत्यावर्ती वोल्टता E_{dc} (वोल्ट)	निर्गत दिष्ट वोल्टता E_{dc} (वोल्ट)	ऊर्मिका गुणाक $r = E_{ac} / E_{dc}$
1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10.					

(ब) L-फिल्टर सहित दिष्टकारी

क्रम.सं.	लोड प्रतिरोध R_L (ओम)	दिष्ट धारा I_{dc} (मि.ऐ.)	निर्गत प्रत्यावर्ती वोल्टता E_{dc} (वोल्ट)	निर्गत दिष्ट वोल्टता E_{dc} (वोल्ट)	ऊर्मिका गुणाक $r = E_{ac} / E_{dc}$
1. 2.					

3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
9.					
10.					

(स) π-फिल्टर सहित दिष्टकारी.

क्रम.सं.	लोड प्रतिरोध R_L (ओम)	दिष्ट धारा I_{dc} (मि.ऐ.)	निर्गत प्रत्यावर्ती वोल्टता E_{dc} (वोल्ट)	निर्गत दिष्ट वोल्टता E_{dc} (वोल्ट)	ऊर्मिका गुणाक $r = E_{ac} / E_{dc}$
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					
7.					
8.					
9.					
10.					

10.7 गणना एवं परिणाम (Calculations and result)

गणना

सारणी (अ), (ब), तथा (स) से ऊर्मिका गुणांक $r = \frac{E_{ac}}{E_{dc}}$ का मान R_L के विभिन्न मानों के लिये बिना फिल्टर, L-फिल्टर एवं π-फिल्टर के लिये ज्ञात कीजिये ।

परिणाम

(i) बिना फिल्टर के पूर्ण तरंग दिष्टकारी का ऊर्मिका गुणांक =

(ii) L-फिल्टर सहित पूर्ण तरंग दिष्टकारी का ऊर्मिका गुणांक =

(iii) π-फिल्टर सहित पूर्ण तरंग दिष्टकारी का ऊर्मिका गुणांक =

बोध प्रश्न (Self assessment question)

5.	अर्ध तरंग पूर्ण तरंग दिष्टकारी के ऊर्मिका गुणांक का मान लिखिये। ....
6.	r के मान के अनुसार इन दोनों में कौन सा दिष्टकारी अच्छा है । ....

10.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्त्रोत (Precautions and sources of errors)

पूर्वावधान

(i) संयोजन सुदृढ़ होने चाहिये ।

(ii) निवेशी प्रत्यावर्ती वोल्टता का मान डायोडों के PIV से अधिक नहीं होने चाहिये ।

(iii) धारा मापने के लिये उचित मान का अमीटर होना चाहिये ।

(iv) पैमानों की शून्यांक त्रुटि का निराकरण प्रयोग शुरू होने से पहले कर लेना चाहिए ।

त्रुटियों के स्रोत

(i) पैमानों की शून्यांक त्रुटि का पूर्णत: निराकरण न होना ।

(ii) उचित परास के उपकरणों का प्रयोग न करना ।

(iii) संयोजन सुदृढ़ न होना ।

10.9 सारांश (Summary)

पूर्ण तरंग दिष्टकारी के उर्मिका गुणांक r का मान R_L के विभिन्न मानों के लिये तीन स्थितियों में ज्ञात किया गया है ।

(i) बिना फिल्टर (ii) L फिल्टर के साथ (iii) π फिल्टर के साथ

यह पाया जाता है कि पूर्ण तरंग दिष्टकारी के ऊर्मिका गुणांक का मान अर्ध तरंग दिष्टकारी की तुलना में कम होता है तथा फिल्टर को काम में लाने पर यह और कम होता जाता हे

10.10 शब्दावली (Glossary)

पूर्ण तरंग दिष्टकारी	Full wave rectifier
सर्वसम	Identical

10.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

एम.पी.सक्सेना, पी.आरसिंह, एस.एसरावत एन.एस. सक्सेना एवं	प्रायोगिक भौतिकी बीएससी. पार्ट -11	कॉलेज बुक हाउस, जयपुर

सरदार सिंह		
S.L.Gupta and V.Kumar	A hand books of electronics	Pragati Prakashan, Meerut

10.12 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answers to self assessment question)

1. अर्ध तरंग दिष्टकारी में निवेशी प्रत्यावर्ती वोल्टता का अर्ध चक्र जबकि पूर्ण तरंग दिष्टकारी में दोनों अर्ध चक्र अथवा पूर्ण चक्र काम में आता है ।
2. एक दिशा में ।
3. पूर्ण तरंग दिष्टकारी में I_m का मान कुछ अधिक होता है क्योकि गणना में द्वितीयक कुण्डली का अर्ध प्रतिरोध काम में आता है ।
4. पूर्ण तरंग दिष्टकारी । r का मान पूर्ण तरंग दिष्टकारी का कम होता है । तथा हानि कम होती है ।
5. अर्ध तरंग दिष्टकारी के लिए r=1.21
   पूर्ण तरंग दिष्टकारी के लिए r=0.48
6. पूर्ण तरंग दिष्टकारी

10.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral question and answers)

1. ट्रॉसफार्मर किस सिद्धान्त पर कार्य करता है ।

उत्तर : ट्रांसफार्मर विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के नियम पर कार्य करता है ।

2. स्पंदमान वोल्टता किसे कहा जाता है ।

उत्तर : वह वोल्टता जो समय पर निर्भर करती है, स्पंदमान वोल्टता कहलाती है ।

3. घरों में प्रवाहित होने वाली प्रत्यावर्ती धारा की आवृति कितनी होती है ।

उत्तर : 50 हर्टज

4. ऊर्मिका गुणांक का मात्रक बताइये ।

उत्तर : ऊर्मिका गुणांक मात्रक हीन राशि होती है ।

5. डायोड का अग्र बायसन का प्रतिरोध पश्च बायसन की तुलना में कम या अधिक होता

उत्तर : कम होता है ।

6. क्या ट्रॉंसफार्मर को दिष्ट वोल्टता के साथ काम में लाया जा सकता है ।

उत्तर : नहीं ।

प्रयोग - 11

दो डायोड व फिल्टर परिपथ का उपयोग करते हुऐ एक शक्ति प्रदायक का अध्ययन करना

(Study of power supply using two diodes and filter circuit)

प्रयोग की रूपरेखा

11.0 उद्देश्य

11.1 प्रस्तावना

11.2 आवश्यक उपकरण

11.3 सिद्धान्त

11.4 परिपथ चित्र

11.5 विधि

11.6 प्रेक्षण

11.7 गणना एवं परिणाम

11.8 पूर्ववधान व त्रुटियों के स्रोत

11.9 सारांश

11.10 शब्दावली

11.11 संदर्भ ग्रन्थ

11.12 बोध प्रश्नों के उत्तर

11.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

11.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के पश्चात् आप

- शक्ति प्रदायक की कार्य विधि समझा पायेंगे;
- शक्ति प्रदायक के वोल्टता नियमन को बता पायेंगे; .
- वोल्टता नियमन वक्र की व्याख्या कर सकेंगे ।

11.1 प्रस्तावना (Introduction)

पूर्ण तरंग दिष्टकारी की कार्यविधि तथा उर्मिका गुणांक का मापन हम प्रयोग - 10 में कर चुके है । इस दिष्टकारी को हम शक्ति प्रदायक के रूप में काम में ला सकते हैं । अनुच्छेद 11.2 में शक्ति प्रदायक का अध्ययन करने के लिये आवश्यक उपकरण बताये गये हैं । आवश्यक सिद्धान्त की विवेचना अनुच्छेद 11.3 में की गई है । शक्ति प्रदायक के परिपथ चित्र

को अनुच्छेद 11.4 में दर्शाया गया है । इसके लिये प्रयुक्त विधि की व्याख्या अनुच्छेद 11.5 में की गई है । प्राप्त प्रेक्षणों को नोट करने का क्रम अनुच्छेद 11.6 में दिया गया है ।

अनुच्छेद 11.7 में वोल्टता नियमन की गणना की गई है । इस प्रयोग को करते समय रखने वाले पूर्वावधान व त्रुटियों के स्त्रोत को अनुच्छेद 11.8 में दिया गया है । अनुच्छेद 11.13 में कुछ मौखिक प्रश्नों को उत्तर सहित दिया गया है ।

11.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

ट्रांसफार्मर दो सर्वसम (P-N) डायोड, दिष्ट धारा मिली अमीटर निर्वात वोल्टमीटर (VTVM) प्रेरकत्व, संधारित्र तथा विभिन्न मानों के प्रतिरोध, कुंजी आदि ।

11.3 सिद्धान्त (Theory)

पूर्ण तरंग दिष्टकारी का अध्ययन आप पूर्व प्रयोग - 10 में कर चुके हैं । इस उपकरण से प्राप्त निर्गत दिष्ट वोल्टता के कारण इसे शक्ति प्रदायक के रूप में काम में लाया जा सकता है । लेकिन सामान्यत: दिष्टकारी की निर्गत दिष्ट वोल्टता लोड प्रतिरोध R_L के मान पर निर्भर करती है । R_L का मान परिवर्तित होने से निर्गत वोल्टता स्थिर नहीं रह पाती है । अत: लोड प्रतिरोध R_L को परिपथ से हटाने पर निर्गत वोल्टता में हुए प्रतिशत परिवर्तन के मापन से वोल्टता नियमन को पारिभाषित किया जाता है ।

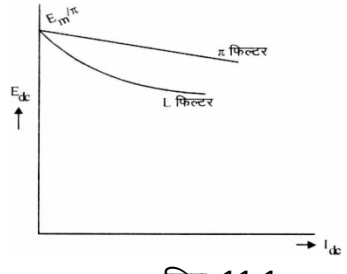
$\therefore$ प्रतिशत वोल्टता नियमन

$$VR = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\%$$

यहाँ V_{NL} = लोड की अनुपस्थिति (शून्य धारा) में निर्गत दिष्ट वोल्टता । यहाँ V_{NL} का अर्थ लोड की अनुपस्थिति में निर्गत दिष्ट वोल्टता का मान है । इस स्थिति में परिपथ में बहने वाली धारा शून्य होगी । ($R_L = \infty$) ।

V_{NL} = लोड की उपस्थिति में निर्गत दिष्ट वोल्टता । V_{FL} का अर्थ लोड की उपस्थिति में निर्गत वोल्टता का मान है । इस स्थिति में बाह्य परिपथ बंद होने पर परिपथ में धारा प्रवाहित होगी । (R_L नियत मान)

आदर्श शक्ति प्रदायक के लिये वोल्टता नियमन का मान न्यूनतम होना चाहिये । फिल्टर परिपथ बिना तथा फिल्टर परिपथ सहित सभी स्थितियों में निर्गत दिष्ट वोल्टता E_{dc}तथा दिष्ट धारा I_{dc}को क्रमश: Y तथा X अक्ष पर लेकर एक वक्र खींचा जाता है।



चित्र 11.1

बोध प्रश्न (Self assessment question)

1. वोल्टता नियमन किस प्रकार ज्ञात किया जाता है?

   .....

   .....

2. शक्ति प्रदायक के प्रतिशत वोल्टता नियमन का मान आदर्श स्थिति में कितना होना चाहिये

   .....

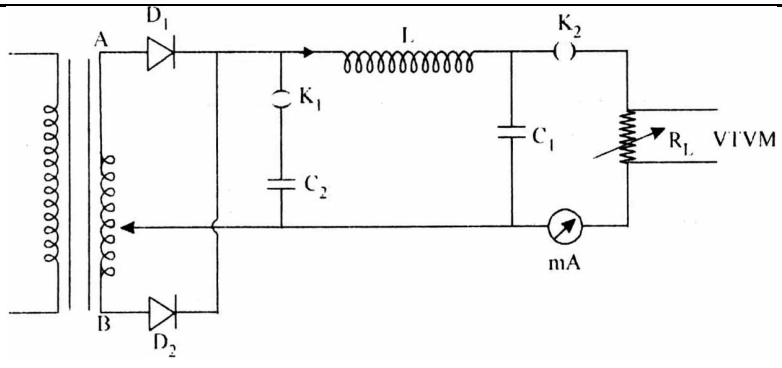
   .....

3. लोड की अनुपस्थिति में निर्गत धारा का मान कितना होगा?

   .....

   .....

11.4 परिपथ चित्र (Circuit Diagram)



चित्र 11.2

11.5 विधि (Method)

(i) चित्र 11.2 के अनुसार परिपथ बनाइये । ट्रांसफार्मर की प्राथमिक कुण्डली पर प्रत्यावर्ती वोल्टता लगाइये । ट्राँसफार्मर की द्वितीयक कुण्डली के दोनों सिरों पर दो सर्वसम डायोड D_1 के P सिरों को जोड़िये । दोनों डायोड के N सिरों को लोड R_L के साथ चित्रानुसार लगाइये । VTVM को लोड प्रतिरोध के समानान्तर लगाइये ।

L तथा π प्रकार के फिल्टर व मिली अमीटर को परिपथ में चित्रानुसार जोड़िये।

(ii) निवेशी प्रत्यावर्ती वोल्टता को प्रारम्भ कीजिये ।

(iii) K_1 कुंजी को खुला रखा जाता है ।

इससे L प्रकार के फिल्टर परिपथ में जुड जाता है । कुंजी K_2 को खुला रखकर VTVM से विभव ज्ञात कीजिये । यही V_{NL} हैं ।

(iv) अब कुंजी K_2को बंद करके R_L के विभिन्न मानों के लिये मिली अमीटर में धारा VTVM में संगत वोल्टता ज्ञात कीजिये । तथा सारणी में ये मान नोट कीजिये ।

(v) अब कुंजी K_1 को बंद कीजिये इससे π प्रकार का फिल्टर परिपथ में जुड़ जाता है । तथा विधि (ii) (iii) व (iv) को दोहराइये ।

(vi) ये मान उपयुक्त सारणी में नोट कीजिये ।

11.6 प्रेक्षण (Observations)

1. P-N संधि डायोड का नम्बर

   D_1 =

   D_2 =

2. मिली अमीटर का अल्पतमांक = मि.ए.
3. निवेशी प्रत्यावर्ती वोल्टता = वोल्ट
4. प्रेरकत्व = हेनरी
5. संधारित्र = C_1 = फैरड

   C_2= फैरड

6. लोड की अनुपस्थिति में निर्गत दिष्ट वोल्टता V_{NL} = वोल्ट

प्रेक्षण सारणी

(अ) L-फिल्टर के साथ

क्रम सं.	लोड प्रतिरोध R_L(ओम)	धारा I_{dc} (मि.ए)	निर्गत दिष्ट वोल्टता E_{dc} (वोल्ट)

(ब) π-फिल्डर के साथ क्रम सं.

क्रम सं.	लोड प्रतिरोध R_L(ओम)	धारा I_{dc} (मि.ए)	निर्गत दिष्ट वोल्टता E_{dc} (वोल्ट)

11.7 गणना व परिणाम (Calculations and result) गणना

विभिन्न लोड प्रतिरोध R_L के लिये E_{dc} = V_{FL}को लेकर तथा ENL को काम में लाकर प्रतिशत वोल्टता नियमन ज्ञात कीजिये ।

प्रतिशत वोल्टता नियमन

$$VR = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\%$$

तथा E_{dc} व I_{dc} के बीच ग्राफ खीचिये ।

परिणाम

R_L के विभिन्न मानों के लिये वोल्टता नियमन का मापन L तथा π फिल्टर के साथ ग्राफ में दर्शाये अनुसार परिवर्तित होता है ।

बोध प्रशन (Self assessment question)

4. फ़िल्टर परिपथ को क्यों काम में लाया जाता है

.....

.....

11.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्रोत (Precautions and sources of error)

पूर्वावधान

(i) संयोजन सुदृढ़ होने चाहिये ।

(ii) निवेशी प्रत्यावर्ती वोल्टता का मान डायोड के PIVसे अधिक नहीं होना चाहिये ।

(iii) पैमानों की शून्यांक त्रुटि का निराकरण प्रयोग शुरू होने से पहले कर लेना चाहिये ।

(iv) ट्रांसफार्मर के टर्मिनल को हाथ से नहीं छूना चाहिये ।

त्रुटियों के स्रोत

(i) पैमानों की शून्यांक त्रुटि का भली भांति निराकरण न होना ।

(ii) उचित परास के उपकरणों का प्रयोग न करना ।

(iii) संयोजन सुदृढ़ नहीं होना ।

11.9 सारांश (Summary)

शक्ति प्रदायक के वोल्टता नियमन का मान विभिन्न धारा के लिये L तथा π प्रकार के फिल्टर के साथ ज्ञात किया जाता है ।

11.10 शब्दावली (Glossary)

शक्ति प्रदायक	Power supply
पूर्ण तरंग दिष्टकारी	Full wave rectifer

11.12 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

एम.पी.सक्सेना,	प्रायोगिक भौतिकी	कॉलेज बुक हाउस,
पी.आर.सिंह एस.एस.रावत	बी.एस.सी.	जयपुर
एन.एस. सक्सेना एवं	पार्ट -11	

सरदार सिंह		
S.L.Gupta and V.Kumar	A hand book of electronics	Pragati Prakashan, Meerut

11.12 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answers to self assessment questions)

1. प्रतिशत वोल्टता नियमन = $\frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\%$
2. न्यूनतम (शून्य) ।
3. शून्य ।
4. निर्गत वोल्टता में प्रत्यावर्ती घटक को कम करने के लिये ।

11.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral questions and answers)

1. वोल्टता नियमन क्या होता है?

उत्तर : वोल्टता नियमन किसी दिष्टकारी का लोड प्रतिरोध के परिवर्तन के साथ निर्गत वोल्टता में परिवर्तन नहीं होने की क्षमता को दर्शाता है ।

2. ऊर्मिका गुणांक क्या होता है?

उत्तर : निर्गत वोल्टता में प्रत्यावर्ती वोल्टता तथा दिष्ट वोल्टता के अनुपात को ऊर्मिका गुणांक कहा जाता है ।

3. कम वोल्टता नियमन के क्या कारण हो सकते हैं?

उत्तर : परिपथ में किसी प्रतिरोध के कारण विभव पतन वोल्टता नियमन के कम होने के कारण हो सकता है ।

प्रयोग - 12

किसी ट्रांजिस्टर के उभयनिष्ठ उत्सर्जक (CE) व उभयनिष्ठ आधार (CB) अभिविन्यासों में अभिलाक्षणिक वक्रों का अध्ययन करना

(To study the charactertic curves of a given transistor in common emitter (CE) and common base (CB) configurations)

प्रयोग की रूपरेखा

12.0 उद्देश्य
12.1 प्रस्तावना
12.2 आवश्यक उपकरण
12.3 सिद्धान्त
12.4 परिपथ चित्र
12.5 विधि
12.6 प्रेक्षण
12.7 गणना एवं परिणाम
12.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्रोत
12.9 सारांश
12.10 शब्दावली
12.11 संदर्भ ग्रन्थ
12.12 बोध प्रश्नों के उत्तर
12.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

12.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के पश्चात् आप

- ट्रांजिस्टर की बनावट बता सकेंगे;
- ट्रांजिस्टर की क्रियाविधि बता सकेंगे;
- ट्रांजिस्टर के विभिन्न अभिविन्यासों के अभिलक्षणिक वक्रों को समझा पायेंगे;
- उभयनिष्ठ आधार व उत्सर्जक विन्यासों में धारा प्रवर्धन गुणांक ज्ञात कर सकेंगे ।

12.1 प्रस्तावना (Introduction)

आप जानते हैं कि जब दो Pतथा एक N या दो 1प तथा एक P प्रकार के अर्धचालकों को एक साथ विशिष्ट रूप से जोड़ा जाता है तो एक युक्ति प्राप्त होती है । जिसे ट्रांजिस्टर कहा जाता है ।

इस युक्ति के प्रतिरोध का मान एक सिरे से दूरी के साथ-2 परिवर्तित होता है ।

ट्रांजिस्टर के अभिलाक्षणिक वक्रों को खींचने के लिये आवश्यक उपकरण अनुच्छेद 12.2 में बताये गये हैं आवश्यक सिद्धान्त की विवेचना अनुच्छेद 12.3 में की गई है । इस प्रयोग को करने हेतु अनुच्छेद 12.4 में परिपथ चित्र दिया गया है । अनुच्छेद 12.5 में दर्शायी विधि के अनुसार प्रयोग करते है तथा अनुच्छेद 12.8 में दी गई प्रेक्षण सारिणी में प्रेक्षण नोट करते हैं । ट्रांजिस्टर के अभिलाक्षणिक वक्रों को खींचकर निवेशी, निर्गत प्रतिरोध एवं धारा प्रवर्धन गुणांक का मान ज्ञात करते हैं । इस प्रयोग को करते समय रखे जाने वाले पूर्वावधान तथा त्रुटियों के स्रोत को अनुच्छेद 12.8 में तथा मौखिक प्रश्नों को उत्तर सहित अनुच्छेद 12.13 में दिया गया

12.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

ट्रांजिस्टर PNP/NPN, संचायक बैटरी (2), दो धारा नियंत्रक, दो कुंजी, दो मिली अमीटर उपयुक्त वोल्ट मीटर, मिली वोल्ट मीटर आदि ।

12.3 सिद्धान्त (Theory)

किसी ट्रांजिस्टर के तीन अवयव होते है (1) उत्सर्जक (2) आधार तथा (3) संग्राहक । उत्सर्जक तथा संग्राहक एक ही प्रकृति के अर्धचालक तथा आधार विपरीत प्रकृति के अर्धचालक का बना होता है । उत्सर्जक में मादन (doping) सबसे अधिक होती है । यह ट्रांजिस्टर में बहुसंख्यक आवेश वाहकों को प्रदान करता है । आधार का आकार सबसे छोटा तथा संग्राहक का आकार सबसे अधिक होता है ।

ट्रांजिस्टर दो प्रकार के होते हैं 1. PNP 2. NPN दोनों के परिपथ को चित्र 12.1 (अ) व (ब) में दर्शाया गया है ।

ट्रांजिस्टर के प्रचालन के लिये उत्सर्जक आधार संधि को अग्रबायसित किया जाता है । तथा आधार संग्राहक संधि को पश्च बायसित । इसे ट्रांजिस्टर का बायसीकरण कहा जाता है । ट्रांजिस्टर में प्रवाहित धारा को तीन भागों में बांटा जा सकता है (i) उत्सर्जक धारा I_E (ii) आधार धारा I_B तथा (iii) संग्राहक धारा I_C तथा इन तीनों में निम्न संबंध होता है । !

$$I_E = I_B + I_C$$

I_B का मान काफी कम होने से $I_E \simeq I_C$

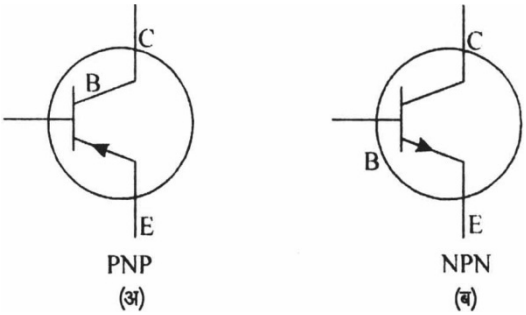
ट्रांजिस्टर के प्रचालन में तीन अभिविन्यास सम्भव हैं जो निम्न प्रकार हैं:-

(i) उभयनिष्ठ उत्सर्जक

(ii) उभयनिष्ठ आधार

(iii) उभयनिष्ठ संग्राहक

किसी ट्रांजिस्टर की कार्यविधि को दो अभिलक्षणिक वक्रों से बताया जाता है ।



चित्र 12.1 ट्राजिस्टर के संकेत

(i) **निवेशी अभिलक्षणिक वक्र -** यह निवेशी वोल्टता तथा निवेशी धारा में परिवर्तन को दर्शाता है

(ii) **निर्गत अभिलक्षणिक वक्र-**निर्गत वोल्टता तथा निर्गत धारा के परिवर्तन को दर्शाता PNP तथा NPN ट्राजिस्टर के अभिलक्षणिक वक्र समान होते है लेकिन धारा की दिशा तथा वोल्टता विपरीत होती है । किसी विन्यास में धारा प्रवर्धन गुणांक निर्गत धारा तथा निवेशी धारा के अनुपात को दर्शाता हैं ।

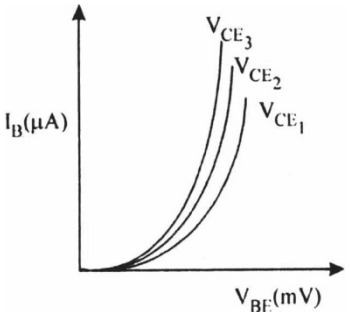
(अ) उभयनिष्ठ उत्सर्जक अभिविन्यास - उभयनिष्ठ उत्सर्जक अभिविन्यास में उत्सर्जक निवेशी तथा निर्गत परिपथ में उत्सर्जक उभयनिष्ठ होता है इस स्थिति में,

निवेशी वोल्टता = V_{BE} =.....

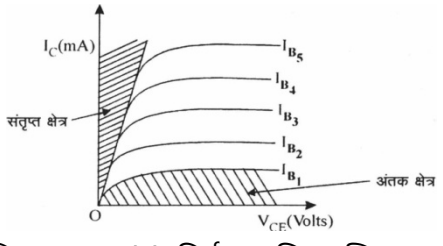
निवेशी धारा = I_B =.....

निर्गत वोल्टता = V_{CE} = ...

निर्गत धारा = I_C =.....



चित्र 12.2) निवेशी अभिलक्षणिक वक्र



चित्र 12.2, (ब) निर्गत अभिलक्षणिक वक्र

चित्र 12.2 PNP ट्राजिस्टर के उभयनिष्ठ उत्सर्जक अभिविन्यास के अभिलक्षणिक वक्र

निवेशी अभिलक्षणिक वक्र V_{CE} को नियत रख कर V_{BE} में परिवर्तन के साथ I_B में परिवर्तन को दर्शाता है (चित्र 12.2 (अ) देखें)

तब निवेशी प्रतिरोध

$$r_{in} = \left(\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \right)_{VCE}$$

निर्गत अभिलक्षणिक वक्र I_B के नियत मान पर V_{CE} में परिवर्तन के साथ I_C में परिवर्तन को दर्शाता है । (चित्र 12.2 (ब) देखें)

तब निर्गत प्रतिरोध

$$r_O = \left(\frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} \right)_{IB} \quad \text{नियत}$$

तथा धारा प्रवर्धन गुणांक β निर्गत धारा I_C तथा निवेशी धारा I_B के अनुपात को दर्शाता है

$$\beta = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right)_{VCE}$$

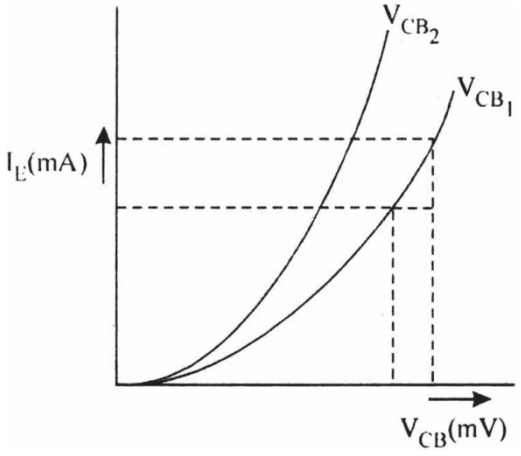
(ब) उभयनिष्ठ आधार अभिविन्यास - इस विन्यास में आधार निवेशी तथा निर्गत परिपथ में उभयनिष्ठ होता है इस स्थिति मे,

निवेशी वोल्टता $=V_{EB}$ =.....

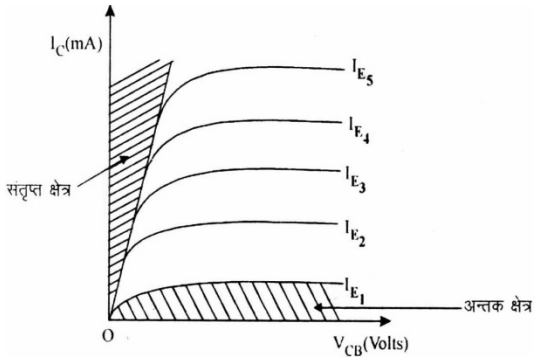
निवेशी धारा = I_E =.....

निर्गत वोल्टता $=V_{CB}$ =.....

निर्गत धारा = I_C =.....



चित्र 12.3 (अ) निवेशी अभिलक्षणिक वक्र



चित्र 12.3 (ब) निर्गत अमिलक्षणिक वक्र

चित्र 12.3 PNP ट्रांजिस्टर के उभयनिष्ठ आधार अभिविन्यास के अभिलक्षणिक वक्र

निवेशी अभिलक्षणिक वक्र V_{CB} को नियत रख कर V_{EB} तथा I_B के बीच परिवर्तन को दर्शाते है (चित्र 12.3 (अ) देखें)

निवेशी प्रतिरोध

$$r_{in} = \left(\frac{\Delta V_{EB}}{\Delta I_E} \right)_{VCB} \quad \text{नियत}$$

जबकि निर्गत अभिाक्षणिक वक्र I_E के नियत मान पर V_{CB} तथा I_C के बीच परिवर्तन को दर्शाता है (चित्र 12. 3 (ब) देखें)

तब निर्गत प्रतिरोध

$$r_O = \left(\frac{\Delta V_{CB}}{\Delta I_C} \right)_{IE} \quad \text{नियत}$$

इस अभिविन्यास में धारा प्रवर्धन गुणांक को α निम्न होता है-

$$\alpha = \left(\frac{\Delta V_C}{\Delta I_E} \right)_{VCB} \quad \text{नियत}$$

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

1. ट्रांजिस्टर के कितने अवयव होते हैं'

   .....

   .....

2. ट्रांजिस्टर कितने प्रकार के होते हैं?

   .....

   .....

3. ट्रांजिस्टर के किस अवयव का आकार सबसे कम होता हैं?

   .....

   .....

4. ट्रांजिस्टर के प्रचालन के लिये आधार संग्राहक संधि की बायसिंग किस प्रकार होती हैं?

.....

.....

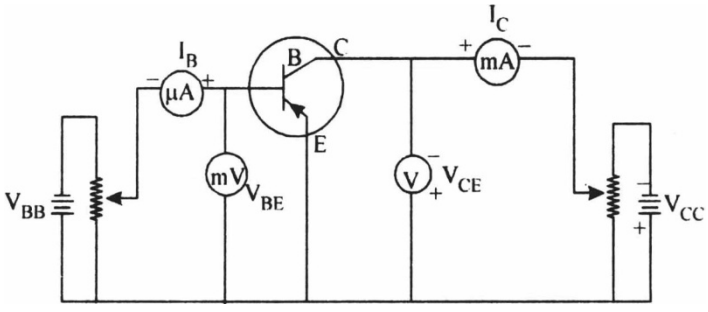
5. धारा प्रवर्धन गुणांक किसे कहते हैं?

.....

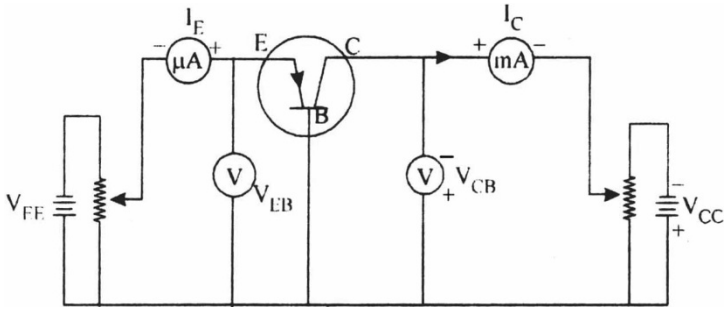
.....

12.4 परिपथ चित्र (Circuit diagram)

PNP ट्रांजिस्टर के अभिलक्षणिक वक्रों को ज्ञात करने के लिये आवश्यक परिपथ को चित्र 12.4 (अ) तथा (ब) में दर्शाया गया है ।



चित्र 12.4 (अ) उभयनिष्ठ उत्सर्जक



चित्र 12.4 (ब) उभयनिष्ठ आधार

चित्र 12.4 ट्रांजिस्टर के अभिलक्षणिक वक्रों के लिये परिपथ चित्र

12.5 विधि (Method)

उभयनिष्ठ उत्सर्जक अभिविन्यास.

(i) चित्र 12.4 (अ) के अनुसार परिपथ बनाइये ।

(ii) निर्गत वोल्टता V_{CE} को स्थिर रख कर निवेशी वोल्टता V_{BE} में परिवर्तन कीजिये ।

(iii) V_{BE} के सगंत आधार धारा I_B के पाठयांक ज्ञात कीजिये । इस प्रकार के कुल 78 पाठयांक नोट कीजिये ।

(iv) V_{CE} को अन्य मान पर स्थिर रख कर विधि (iii) को दोहराइये ।

(v) अब V_{BE} को X अक्ष तथा I_B को Y अक्ष पर लेकर निवेशी अभिलक्षणिक वक्र खींचिये।

(vi) अब आधार धारा I_B को स्थिर रख कर V_{CE} में परिवर्तन कीजिये तथा V_{CE} के संगत I_C के पाठयांक नोट कीजिये । इस प्रकार के 7-8 पाठ्यांक नोट कीजिये ।

(vii) अब आधार धारा I_B को किसी अन्य मान पर स्थिर रख कर विधि (vi को दोहराइये ।

(viii) I_B 18 के प्रत्येक मान के लिये V_{CE} को X-अक्ष तथा I_C को Y-अक्ष पर लेकर निर्गत अभिलक्षणिक वक्र खींचिये ।

उभयनिष्ठ आधार आभिविन्यास :

(i) चित्र 12.4 (ब) के अनुसार परिपथ बनाइये ।

(ii) संग्राहक आधार वोल्टता V_{CB} को स्थिर रखकर निवेशी वोल्टता V_{EB} में परिवर्तन कीजिये।

(iii) V_{EB} के संगत उत्सर्जक धारा I_E के पांठयाक ज्ञात कीजिये ।

(iv) V_{EB} को किसी अन्य मान पर स्थिर करके विधि (iii) को दोहराइये ।

(v) विभिन्न V_{CB} के लिये V_{EB} को X-अक्ष तथा I_E को Y-अक्ष पर लेकर ग्राफ खींचिये । यह निवेशी अभिलक्षणिक वक्र होगा ।

(vi) अब उत्सर्जक धारा I_E को स्थिर रखकर V_{CB} को परिवर्तित करके V_{CB} के प्रत्येक पाठ्यांक के लिये संग्राहक धारा I_C का मान ज्ञात कीजिये ।

(vii) I_E को किसी अन्य मान पर स्थिर रखकर विधि (vi) को दोहराइये ।

(viii) I_E के विभिन्न मानों के लिये V_{CB} तथा I_C के मध्य ग्राफ खींचिये । यह निर्गम अभिलक्षणिक वक्र होगा ।

ये सभी मान उपयुक्त सारणी में नोट कीजिये ।

12.6 प्रेक्षण (Observations)

(i) ट्रांजिस्टर का प्रकार =.....

(ii) ट्रांजिस्टर नम्बर =.....

(iii) वोल्टमीटर का अल्पतमांक =.....

(iv) अमीटर का अल्पतमांक =.....

प्रेक्षण सारणी

(i) उभयनिष्ठ उत्सर्जक अभिविन्यास

(अ) निवेशी अभिलक्षणिक के लिये

क्रमांक	V_{CE}= वोल्ट		V_{CE} = वोल्ट		V_{CE} = वोल्ट	
	V_{BE} (मि.वो)	I_B (मि.ऐ)	V_{BE} (मि.वो)	I_B (मि.ऐ)	V_{BE} (मि.वो)	I_B (मि.ऐ)

मि.वो.= मिली वोल्ट
मिली एम्पीयर
मि.ऐ.= माइक्रो एम्पीयर

1. 2. 4 5. 6. 7. 8						

(ब) निर्गम अभिलक्षणिक के लिये

क्रमांक	I_{BE} (=.....	मा.ऐ)	I_{BE} (=.....	मा.ऐ)	I_{BE} (=.....	मा.ऐ)
	V_{CE} (मि.वो)	I_C (मि.ऐ)	V_{CE} (मि.वो)	I_C (मि.ऐ)	V_{CE} (मि.वो)	I_C (मि.ऐ)
1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8.						

(ii) (उभयनिष्ठ आधार अभिविन्यास

(अ) निवेशी अभिलक्षणिक के लिये

क्रमांक	V_{BE} (=.....	वोल्ट	V_{CB} (=.....	वोल्ट	V_{CB} (=.....	वोल्ट
	V_{CB} (मि.वो)	I_E (मि.ऐ)	V_{EB} (मि.वो)	I_E (मि.ऐ)	V_{EB} (मि.वो)	I_E (मि.ऐ)
1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8.						

(ब) निर्गम अभिलक्षणिक के लिए

क्रमांक	I_E (=.....	मि.ऐ)	I_E (=.....	मि.ऐ)	I_E (=.....	मि.ऐ)
	V_{CB} (मि.वो)	I_C (मि.ऐ)	V_{CB} (मि.वो)	I_C (मि.ऐ)	V_{CB} (मि.वो)	I_C (मि.ऐ)

1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						

12.7 गणना व परिणाम (Calculations and result)

गणना

उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास के लिये निवेशी तथा निर्गम अभिलक्षणिक वक्र खीचियें इस वक्र से निम्न मान ज्ञात कीजिये

(i) $$r_{in} = \left(\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} \right)_{V_{CE}}$$ नियत

(ii) $$r_o = \left(\frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C} \right)_{I_B}$$ नियत

(iii) $$\beta = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \right)_{V_{CE}}$$ नियत

इस प्रकार उभयनिष्ठ आधार अभिविन्यास के लिये निवेशी तथा निर्गम अभिलक्षणिक वक्र खीचियें तथा इस वक्र से निम्न मान ज्ञात कीजिये ।

(iv) $$r_{in} = \left(\frac{\Delta V_{EB}}{\Delta I_E} \right)_{V_{CB}}$$ नियत

(v) $$r_o = \left(\frac{\Delta V_{CB}}{\Delta I_C} \right)_{IE}$$ नियत

(vi) $$\alpha = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} \right)_{V_{CB}}$$

परिणाम

(अ) उभयनिष्ठ उत्सर्जक अभिविन्यास के निवेशी तथा निर्गम अभिलक्षणिक वक्र चित्र के अनुरूप आते है ।

(ब) उभयनिष्ठ उत्सर्जक अभिविन्यास में

(i) निवेशी प्रतिरोध =..... ओम

(ii) निर्गत प्रतिरोध =..... ओम

(iii) धारा प्रवर्धन गुणांक (β) =.....

(स) उभयनिष्ठ आधार अभिविन्यास में निवेशी तथा निर्गम अभिलक्षणिक वक्र चित्र के अनुरूप आते है ।

(द) उभयनिष्ठ आधार अभिविन्यास में

(i) निवेशी प्रतिरोध =..... ओम

(ii) निर्गत प्रतिरोध =..... ओम

(iii) धारा प्रवर्तक गुणांक (α)

बोध प्रश्न (Self assessment question)

6. किसी ट्रांजिस्टर के निर्गम अभिलक्षणिक वक्र किन राशियों के मध्य खींचे जाते हैं ।

.....

.....

7. उभयनिष्ठ आधार अभिविन्यास में धारा प्रवर्धन गुणांक (α) का मान एक कम अधिक होगा ।

.....

.....

12.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्त्रोत (Precautions and sources of error)

पूर्वावधान

(i) ट्राजिस्टर के लिये संग्राहक वोल्टता का मान भंजक वोल्टता से कम होना चाहिये ।

(ii) संयोजन सुदृढ़ होने चाहिये ।

(iii) ट्रांजिस्टर पर वोल्टता को केवल पाठयांक लेते समय लगाना चाहिये ।

त्रुटियों के स्रोत

(i) संयोजन सुदृढ़ नही होना ।

(ii) परिपथ में अतिरिक्त प्रतिरोध होना ।

(iii) ट्रांजिस्टर के अनुमत वोल्टता को न लगाना ।

12.9 सारांश (Summary)

ट्रांजिस्टर के उभयनिष्ठ उत्सर्जक तथा आधार अभिविन्यास के अभिलक्षणिक वक्र खींचे गये हैं तथा निवेशी तथा निर्गत प्रतिरोध का मान ज्ञात किया गया है ।

12.10 शब्दावली (Glossary)

अभिलक्षणिक	Characteristics
आधार	Base
उत्सर्जक	Emitter
अभिविन्यास	Configuration
उभयनिष्ठ	Common
धारा प्रवर्धन गुणांक	Current amplification factor
संग्राहक	Collector
वक्र	Curve
निवेश	Input
निर्गम	Output

12.11 सन्दर्भ मन्द (Reference books)

एम.पी.सक्सेना, पी.आर.सिंह एस.एस॰रावत एन.एस. सक्सेना एवं सरदार सिंह	प्रायोगिक भौतिकी बी.एस.सी. पार्ट -11	कॉलेज बुक हाउस, जयपुर
S.L.Gupta and V.Kumar	A hand book of electronics	Pragati Prakashan, Meerut

12.12 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answers to self assessment question)

1. तीन (अ) उत्सर्जक
   (ब) आधार
   (स) संग्राहक
2. दो (अ) PNP
   (ब) PNP
3. आधार
4. पश्च बायसिग
5. निर्गत धारा तथा निवेशी धारा के अनुपात को धारा प्रवर्धन गुणांक कहा जाता है ।
6. नियत निवेशी घाटा पर निर्गत वोल्टता तथा निर्गत धारा के मध्य
7. कम

12.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral question and answers)

1. ट्रांजिस्टर किसे कहते हैं? यह कितने प्रकार का होता है?

उत्तर : दो P प्रकार के अर्ध चालकों के मध्य N प्रकार के अर्धचालको की परत या दो N प्रकार के अर्धचालको के मध्य P प्रकार की परत में बनी युक्ति को ट्रांजिस्टर कहा जाता है । ये दो प्रकार के होते है

(1) PNP (2) NPN

2. ट्रांजिस्टर में बायसन किस प्रकार किया जाता है?

उत्तर : ट्राजिस्टर में दो वायसन किये जाते है ।

(i) आधार उत्सर्जक - अग्र बायस

(ii) संग्राहक आधार - उत्क्रम बायस

3. PNP ट्राजिस्टर में बहु संख्यक आवेश वाहक कौनसे होते हैं?

उत्तर : होल

4. अभिलक्षणिक वक्र क्या होते हैं?

उत्तर : अभिलक्षणिक वक्र निवेश वोल्टता धारा तथा निर्गत वोल्टता एवं निर्गम धारा के मध्य संबंध बताते हैं । ये दो प्रकार के होते हैं ।

1. निवेशी अभिलक्षणिक
2. निर्गत अभिलक्षणिक

5. ट्रांजिस्टर का संरूपण कितने प्रकार से किया जाता है?

उत्तर : ट्रांजिस्टर का संरूपण तीन प्रकार से किया जाता है

(i) उभयनिष्ठ आधार

(ii) उभयनिष्ठ उत्सर्जक

(iii) उभयनिष्ठ संग्राहक

प्रयोग - 13

(P-N) संधि डायोड की सहायता से किसी अर्धचालक का बैंड अंतराल ज्ञात करना

(Determination of band gap using a junction diode)

प्रयोग की रूपरेखा

13.0 उद्देश्य
13.1 प्रस्तावना
13.2 आवश्यक उपकरण
13.3 सिद्धान्त
13.4 परिपथ चित्र
13.5 विधि
13.6 प्रेक्षण
13.7 गणना व परिणाम
13.8 पूर्वावधान एवम् त्रुटियों के स्रोत
13.9 सारांश
13.10 शब्दावली
13.11 संदर्भ ग्रन्थ
13.12 बोध प्रश्नों के उत्तर
13.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

13.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के बाद आप

- P-N संधि के अग्रबायस व पश्चबायस करने की विधियों को जान सकेंगे
- उत्क्रमित संतृप्त धारा की ताप पर निर्भरता के बारे में अध्ययन कर सकेंगे;
- विभिन्न तापों पर उत्क्रमित संतृप्त धारा ज्ञात करके अर्धचालक के बैंड अंतराल की गणना कर सकेंगे

13.1 प्रस्तावना (Introduction)

पिछले प्रयोग में आपने P-Nसंधि के बारे में अध्ययन किया है । इस प्रयोग में आप P-N संधि की सहायता से अर्द्धचालक का बैंड अंतराल ज्ञात करेंगे । इस मुख्य उद्देश्य के साथ साथ हम

उत्क्रमित संतृप्त धारा I_S की ताप व बैंड अंतराल पर निर्भरता का अध्ययन करेंगे तथा 3 देखेंगे कि $\log I_s$ व $\frac{10^3}{T}$ में ग्राफ खींचने पर एक सरल रेखा प्राप्त होती है । प्रयोग के लिये

आवश्यक उपकरण अनुच्छेद 13.2 में दिये गये हैं ।

यह प्रयोग इस सिद्धान्त पर आधारित है कि P-N संधि में अल्पसंख्यकों के द्वारा प्राप्त धारा बैंड अंतराल व संधि के ताप पर निर्भर करती है । अनुच्छेद 13.3 में प्रयोग से संबंधित विवरण प्रस्तुत किया गया है तथा बैंड अंतराल ज्ञात करने के लिये सूत्र व्यूत्पन्न किया गया है । प्रयोग के लिये आवश्यक परिपथ चित्र व प्रयोग करने की विधि क्रमश: अनुच्छेद 13.4 व 135. में समझाई गयी है । अनुच्छेद 13.6 में प्रेक्षण सारणी दी गयी है । गणना करने की विधि अनुच्छेद 13.7 में दी गयी है, तथा इसी अनुच्छेद में परिणाम को मात्रक सहित व्यक्त किया गया है । प्रयोग करते समय काम में ली जाने वाली सावधानियों तथा त्रुटियों के स्रोत का विवरण अनुच्छेद 13.8 में दिया गया है । प्रयोग का सारांश व संबंधित शब्दावली भी अनुच्छेद 13.9 व 13.10 में दी गई है । प्रयोग से संबंधित ग्रन्थ अनुच्छेद 13.11 में दिये गये हैं । बोध प्रश्नों के उत्तर अनुच्छेद 1 3.12 में दिये गये हैं । अंत में प्रयोग से संबंधित मौखिक प्रश्न व उनके उत्तर अनुच्छेद 13.13 में दिये गये है

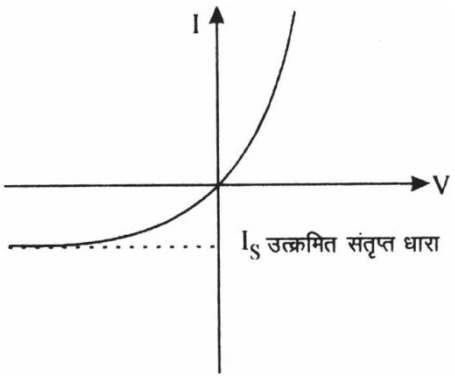
13.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

एक अर्धचालक P-N संधि डायोड (P-N junction diode) माइक्रोअमीटर (0-50μA) शक्ति प्रदायक (power supply) (3 वोल्ट की दिष्ट धारा), ओवन (जिसे विद्युत द्वारा गर्म किया जाता है) तापमापी, संयोजी तार इत्यादि ।

शक्तिदायक व ओवन के स्थान पर संचायक सैल, कैलोरीमापी विडोलक सहित, कार्बन टेट्रा क्लोराइड द्रव व कुंजी भी प्रयुक्त कर सकते हैं ।

13.3 सिद्धान्त (Theory)

जब P अर्धचालक को परमाणवीय स्तर पर N अर्धचालक से जोड़ते है तो प्राप्त विद्युत युक्ति को P-N संधि डायोड कहते हैं । संधि डायोड में बहुसंख्यक आवेश वाहकों की संख्या, अर्धचालकों में आवेश वाहकों की संख्या अत: अर्धचालकों में अपद्रव्यों की सान्द्रता पर निर्भर करती है । परन्तु अल्पसंख्यक आवेश वाहकों की संख्या बैंड अंतराल तथा संधि के ताप पर निर्भर करती है । संधि बनाने पर साम्यावस्था में दोनों अर्धचालकों P तथा N के फर्मीस्तर एक ही ऊर्जा स्तर पर हो जाते हैं । P-N संधि डायोड पर V विभव की बैटरी के धनात्मक सिरे को P अर्धचालक व ऋणात्मक सिरे को N अर्धचालक से जोड़ा जाता है तो विभव के इस विन्यास को अग्रबायस कहते हैं । इस स्थिति में धारा '1' बहुसंख्यकों के कारण P से N की ओर प्रवाहित होती है तथा विभव 'V' के साथ चरघाताकी रूप से बढ़ती है जैसा कि चित्र 13.1 में दर्शाया गया है ।



चित्र 13.1

लेकिन जब संधि के P अर्धचालक को बैटरी के ऋणात्मक सिरे तथा हैं अर्धचालक को धनात्मक सिरे से जोड़ा जाता है तो विभव को उत्क्रमित या पश्च बायस कहते हैं ।

त्क्रमित धारा अल्पवाहकों के कारण प्रवाहित होती है जिसका मान बहुत कम ($\simeq 10^6$एम्पीयर) होता है । उस्कमित बायस को बढ़ाने पर इसके एक विशिष्ट मान तक धारा का मान लगभग नियत रहता है जिसे उत्क्रमित संतृप्त धारा 'I_S' (reverse saturation current) कहते हैं । I_S का मान ताप का फलन function)होता है तथा बैंड अंतराल पर निर्भर करता है । भिन्न- भिन्न तापों पर धारा I_S का मान ज्ञात करके हम बैंड अंतराल ΔE की गणना निम्न सूत्र 13..1 के द्वारा कर सकते हैं ।

$$I_S = A_S\left(\exp -\frac{q\Delta E}{kT}\right) \qquad \text{.....(13.1)}$$

जिसे निम्न प्रकार से व्युत्पन्न किया जा सकता है ।

P-N संधि डायोड में धारा 1 बायस वोल्टता V के साथ निम्न प्रकार से परिवर्तित होती है

$$I = I_S\left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right)-1\right]$$

.....(13.2)

यहाँ q इलेक्ट्रॉन पर आवेश, V बायस वोल्टता, T संधि का ताप तथा K बोल्टजमेन नियतांक हैं तथा I_S उत्क्रमित संतृप्त धारा है ।

उत्क्रमित संतृप्त धारा I_S का मान

$$I_S = Aq(n_p v_n + p_n v_p) \qquad \text{.....(13.3)}$$

यहाँ n_pतथा P_n क्रमश: P व N प्रकार के अर्धचालकों में अल्पसंख्यकों की सान्द्रताएं हैं अर्थात् P प्रकार के अर्धचालक में इलेक्ट्रॉन तथा N प्रकार के अर्धचालक में होल सान्द्रताए है ।

V_p व v_n क्रमश: अर्धचालक होल व इलेक्ट्रोन के माध्य वेग हैं । A संधि का क्षेत्रफल है । यदि P प्रकार के अर्धचालक में E_{cp}, E_{vp} तथा E_{fp} क्रमश: चालक बैड की निम्नतर ऊर्जा स्तर. सयोजकता बैंड का उच्चतर स्तर व फर्मी ऊर्जा स्तर हैं तथा इसी प्रकार N अर्धचालक के

संगत इन स्तरों के मान E_{CN}, E_{VN} तथा E_{fn}, हों तो P के प्रकार अर्धचालक में इलेक्ट्रॉन व होल की सान्द्रताएं निम्न सूत्र द्वारा दी जाती हैं ।

$$n_p = N_n \exp\left[-\left(E_{cp} - E_{fp}\right)\frac{q}{kT}\right] \qquad \text{.....(13.4)}$$

$$p_p = N_p \exp\left[-\left(E_{fp} - E_{vp}\right)\frac{q}{kT}\right] \qquad \text{.....(13.5)}$$

तथा इसी प्रकार N प्रकार के अर्धचालक में गम

$$n_n = N_n \exp\left[-\left(E_{cn} - E_{fn}\right)\frac{q}{kT}\right] \qquad \text{.....(13.6)}$$

$$p_n = N_n \exp\left[-\left(E_{fn} - E_{vn}\right)\frac{q}{kT}\right] \qquad \text{.....(13.7)}$$

यहाँ

$$N_n = \frac{2\left(2\pi m_n kT/q\right)^{3/2}}{h^3} \qquad \text{.....(13.8)}$$

तथा

$$N_p = \frac{2\left(2\pi m_p kT/q\right)^{3/2}}{h^3} \qquad \text{.....(13.9)}$$

m_n व m_p क्रमश: इलेक्ट्रॉन व होल के प्रभावी द्रव्यमान हैं तथा h प्लांक नियतांक है ।

हम जानते हैं कि P प्रकार के अर्धचालक को परमाणवीक रूप से N प्रकार के अर्धचालक से संधि करने पर दोनों फर्मी स्तर समान हो जाते हैं ।

$$E_{fn} = E_{fp} \qquad \text{.....(13.10)}$$

समीकरण (13 .4) व (13. 5) तथा (13. 6) व (13. 7) से

$$n_p p_p = n_n p_n = N_n N_p \exp\left[-q\Delta E/kT\right] \qquad \text{.....(13.11)}$$

जहाँ $\Delta E = E_{cp} - E_{vp} = E_{cn} - E_{vn} =$ बैंड अंतराल .....(13.12)

समीकरण (13. 11) से

$$N_p = \frac{N_n N_p}{p_p}\exp\left[\frac{-q\Delta E}{kT}\right] \qquad \text{.....(13.13)}$$

तथा $$p_n = \frac{N_n N_p \exp\left[-q\Delta E/kT\right]}{n_n}$$

समीकरण (13.3) में n_p व p_n का मान रखने पर

$$I_s = Aq\left[\frac{v_n}{p_p} + \frac{v_n}{p_n}\right] N_n N_p \exp\left[-q\Delta E / kT\right]$$

$$= As = \exp\left[-q\Delta E / ET\right] \qquad \text{.....(13.14)}$$

$$A_s = AqN_n N_p \left[\frac{v_n}{p_p} + \frac{v_p}{p_n}\right]$$

जब P-N संधि डायोड को उचित उत्क्रमित वोल्टता से बायसित किया जाता है तो (V का मान ऋणात्मक होता है तथा चरघांताकी पद $\left(e^{-qv/kT} << 1\right)$ समी.(13.2) में चरघाताकी पद लगभग शून्य के बराबर हो जाता है अत:

$$I = I_s$$

यह धारा 1 के विपरीत दिशा में प्रवाहित होती है तथा इसका मान दिये गये ताप के लिये नियत रहता है जिसे उत्क्रमित संतृप्त धारा कहते हैं । जिसका मान

$$I_s = A_s \exp\left[-q\Delta E / kT\right]$$

के बराबर होता है ।

दोनों तरफ log लेने पर

$$\log_e I_s = \log_e A_s - \frac{q}{kT}\Delta E$$

q का मान 1.6×10^{-19} कूलाम, K=1.38×10^{-23} जूल / 'केल्विन तथा

$\log_e$=2.3026 $\log_{10}$ रखने पर

$$\log_{10} I_s = \log_{10} A_s - 5.036\left(\Delta E\right)\left(\frac{10^3}{T}\right)$$

अत:लघु ताप अंतराल के लिये I_s का मान $\left(\frac{I}{T}\right)$ तथा ΔE पर निर्भर करता है तथा

Log_{10} I_s व $\frac{10^3}{T}$ में ग्राफ खींचने पर नीचे दिये गये चित्र 13.2 के अनुसार एक सरल रेखा प्राप्त होगी जिसकी प्रवणता का मान

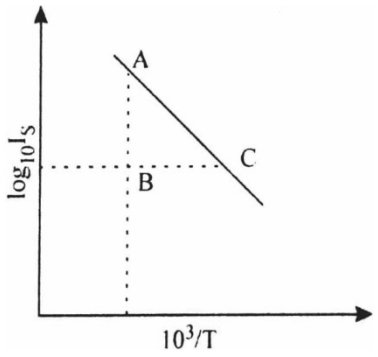
$= 5.036\Delta E$

के बराबर होता है ।

या $\Delta E = \frac{1}{5.036}$ (सरल रेखा की प्रवणता)

अत: प्राप्त रेखा की प्रवणता ज्ञात करके बैंड अंतराल का मान (इलेक्ट्रॉन वोल्ट) में ज्ञात किया जा सकता है । ग्राफ अनुसार

$$\Delta E = \frac{1}{5.036}\left(\frac{AB}{BC}\right)$$



से बैंड अंतराल ज्ञात किया जा सकता है ।

बोध प्रश्न (Self assessment question)

1. बैंड अंतराल किसे कहते हैं?

   .....

   .....

2. उत्क्रमित संतृप्त धारा से आप क्या समझते हैं, यह किस पर निर्भर करती है?

   .....

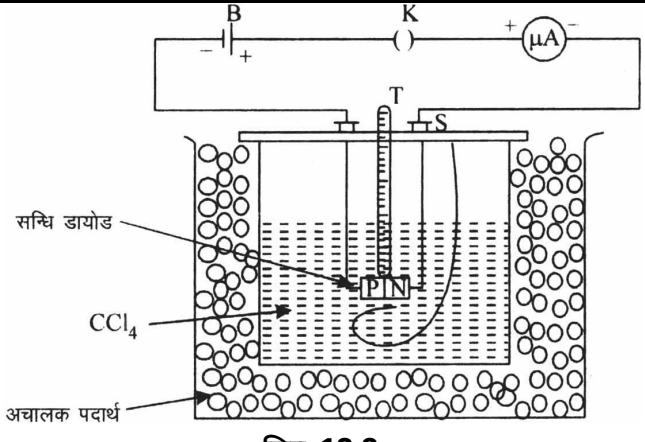
   .....

3. अपद्रव्यों का अर्द्धचालक की चालकता पर क्या प्रभाव होता है 7

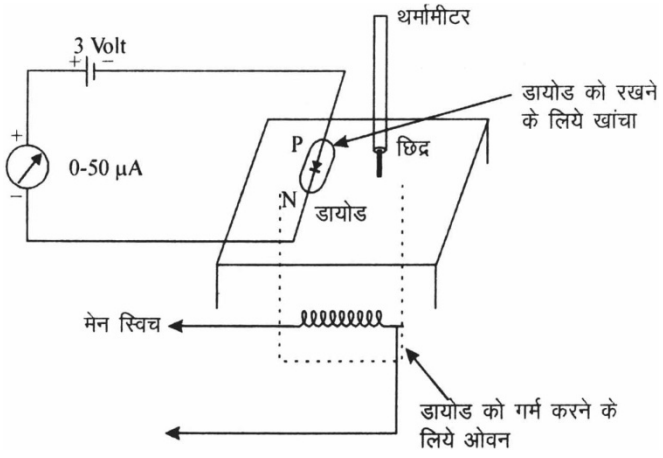
   .....

   .....

13.4 परिपथ चित्र (Circuit diagram)



चित्र 13.3



चित्र 13.4

13.5 विधि (Method)

(i) चित्र 13.3 के अनुसार P-N संधि डायोड के श्रेणी क्रम में माइक्रो अमीटर व बैटरी को चित्र अनुसार जोड़िये । यहीं ध्यान रखें कि उत्क्रमित बायस के लिये संधि का P अर्धचालक बैटरी के ऋणात्मक सिरे से तथा N अर्धचालक धनात्मक सिरे से जुड़ा हो ।

(ii) कैलोरीमापी में कार्बन टेट्रा क्लोराइड द्रव लेकर संधि डायोड को डुबो दे । कैलोरीमापी के द्रव को लगभग 70^0 तक गर्म करने के पश्चात् कुचालक पदार्थ रूई, ऊन से भरे लकडी के बाक्स में रख दें । जिससे द्रव के शीतलन की दर कम हो तथा तापक्रम का पाठयाक लेने में सुविधा हो ।

(iii) डायोड का ताप मापने के लिये तापमापी को डायोड से स्पर्श करता हुआ लटकाये ।

(iv) द्रव का विडोलन करते हुए 5μA धारा के अंतराल पर धारा व उसके संगत तापक्रम को ज्ञात करलें ।

अथवा

(i) चित्र 13.4 के अनुसार परिपथ जोड़े ।

(ii) डायोड को गर्म करने के लिये ओवन में रख दें तथा उससे स्पर्श करता हुआ थर्मामीटर लटका दें ।

(iii) डायोड को गर्म करने के लिये ओवन को जोड़कर लगभग (65^0C) तक गर्म करके ओवन को बंद कर दें । तापक्रम लगभग 70^0C तक बढ़कर स्थिर हो जाता है ।

(iv) अब डायोड को ठंडा होते समय 5μA धारा के अंतराल पर उसकी धारा व उसके संगत तापक्रम को ज्ञात करें ।

13.6 प्रेक्षण (Observations)

क्र.सं.	धारा I (μA)	ताप t (^{0}C)	ताप T (K)	10^3 / T	$Log_{10} I_s$

13.7 गणना व परिणाम (Calculations and result)

गणना

Y अक्ष पर $\log_{10} I_s$ तथा X अक्ष पर $\frac{1000}{T}$ के बीच ग्राफ बनायें तथा प्राप्त सरल रेखा की प्रवणता = $\frac{AB}{BC}$ ज्ञात करें । प्रवणता ज्ञात करके निम्न सूत्र

$$\Delta E = \frac{1}{5.036}\left(\frac{AB}{BC}\right)$$

द्वारा बैंड अंतराल ज्ञात कीजिए ।

परिणाम: $\log_{10} I_s$ तथा $\frac{1000}{T}$ के बीच ग्राफ खींचने पर सरल रेखा प्राप्त होती है जिससे बैंड अंतराल ΔE का मान (.....) (इलेक्ट्रॉन वोल्ट) प्राप्त हुआ ।

13.8 पूर्वावधान एवम् त्रुटियों के स्रोत (Precautions and sources of error)

पूर्वावधान

(i) परिपथ जोड़ते समय यह ध्यान रखना चाहिये कि संधि का P अर्धचालक बैटरी के ऋणात्मक ध्रुव व N धनात्मक सिरे से जुड़ा होना चाहिये । नहीं तो गणना के लिये प्रयुक्त सूत्र सही नहीं होगा ।

(ii) थर्मामीटर डायोड को स्पर्श करते हुए सीधा लगाना चाहिये ताकि डायोड संधि का ही तापक्रम ठीक से पढ़ा जा सके ।

(iii) उत्क्रमित धारा का मान कम होता है इसलिये धारा मापने के लिये माइक्रोअमीटर प्रयुक्त करना चाहिये इस माइक्रोअमीटर का लघुतम माप भी कम होना चाहिये । ताकि पाठ्यांक सुग्राहिता से मापा जा सके ।

(iv) संधि डायोड में एक निश्चित मान से अधिक बायस नहीं लगाना चाहिये अन्यथा संधि डायोड में जीनर भंजन की संभावना होती है क्योंकि हमें यहाँ उत्क्रमित संतृप्त धारा का मान ही ज्ञात करना है जो कि एक निश्चित मान से अधिक बायस जिसे जीनर वोल्टता कहते हैं, के मान पर प्राप्त नहीं होती है ।

(v) G_eव Si के अधिकतम ताप क्रमश: 80^0C से 125^0C से अधिक नहीं होना चाहिये ।

त्रुटियों के स्त्रोत

(i) P-N संधि पर पश्च बायस विभव न हो ।

(ii) थर्मामीटर डायोड को स्पर्श करते हुए नहीं लगाया गया हो ।

(iii) परिपथ में धारा मापने के लिये माइक्रोअमीटर न लगा हो ।

(iv) संधि डायोड पर एक निश्चत मान से अधिक पश्च बायस (जीनर वोल्टता) नहीं लगाया गया हो ।

13.9 सारांश (Summary)

- संधि डायोड में बहुसंख्यकों की संख्या, अर्धचालकों में अपद्रव्यों की सान्द्रता पर निर्भर करती है ।
- अल्पसंख्यकों की संख्या बैंड अंतराल तथा संधि के ताप पर निर्भर करती है ।
- अल्पसंख्यकों द्वारा प्राप्त उत्क्रमित संतृप्त धारा का मान संधि के ताप व ऊर्जा अंतराल पर निर्भर करता है ।
- उत्क्रमित संतृप्त धारा I_s व संधि के ताप T में निम्न संबंध प्राप्त होता है

$$\log_{10} I_S = \log_{10} A_s - 5.036(\Delta E)\left(\frac{10^3}{T}\right)$$

जहाँ A_s दिये गये डायोड के लिये एक नियतांक है ।

- $\log I_s$ व $\frac{10^3}{T}$ में ग्राफ खींचने पर एक सरल रेखा प्राप्त होती है जिसकी प्रवणता को 5.036 से विभाजित करके ऊर्जा अंतराल ΔE ज्ञात कर सकते हैं ।

13.10 शब्दावली (Glossary)

अल्पसंख्यक आवेशवाहक	Minority charge carriers
अशुद्धि या अपद्रव्य	Impurity
अपद्रव्य अर्धचालक	Extrinsic semiconductor
अन्त: कक्ष	Inner orbit
आशिक	Partial
उच्चतम	-Highest
ऊर्जा बैंड	Energy band
उभयनिष्ठ	Common
ऊर्जा स्तर	Energy Level
ग्राही स्तर	Acceptor Level
चालन बैड	Conduction band
चालकता	Conductivity
दाता स्तर	Donor level
निम्न स्तर	Lower level

नैज अर्धचालक	Intrinsic semiconductor
परमाणु	Atom
परस्पर अन्योन्यक्रिया	Mutual inteaction
बंधन ऊर्जा	Binding energy
बद्ध	Bound
बहुसंख्यक आवेश वाहक	Majority charage carriers
बैंड अतराल	Band gap
रिक्त	Empty
विभिक्ति	Split
विभव कूप	Potential well
संयोजी इलेक्ट्रॉन	Valenec electron
समूह	Group
सतत्	Continous
संयोजकता बैंड	Valence band
सहसयोजी बैंड	Covalent band
स्थल	Site
सान्द्रता	Concentration,
संधि डायोड	Junction diode
होल	Hole

13.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

एम.पी.सक्सेना, पी.आर.सिंह एस.एस॰रावत एन.एस. सक्सेना एवं सरदार सिंह	प्रायोगिक भौतिकी बी.एस.सी. पार्ट -11	कॉलेज बुक हाउस, जयपुर
एम.पी.सक्सेना, पी.आर.सिंह एवं एस.एस.रावत	परिपथ विश्लेषण एवम् हाउस, इलेक्ट्रॉनिकी	कॉलेज बुक जयपुर
B.L.Thareja	Basicelectronics & solid stste	S.Chand & Co. New Delhi
S.L.Gupta and V.Kumar	Practical Physics	Pragati Prakashan Meerut

13.12 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answers to self assessment question)

1. ठोसों के चालन बैंड तथा संयोजकता बैंड के मध्य अंतराल जहाँ कोई अनुमत ऊर्जा स्तर नहीं होता, बैंड अंतराल कहते हैं ।
2. जब उत्क्रमित बायस P-N संधि डायोड पर विभव बढ़ाया जाता है तो ऋणात्मक विभव के एक विशिष्ट मान जिसे जीनर विभत कहते हैं तक धारा का मान विभव की वृद्धि पर भी नियत रहता है, उत्क्रमित संतृप्त धारा कहते हैं । यह संधि के ताप व ऊर्जा अंतराल पर निर्भर करती है ।
3. चालकता अपद्रव्यों की मात्रा बढ़ाने पर बढ़ती है ।

13.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral question and answers)

1. संयोजकता तथा चालन बैंड क्या होते हैं ?

उत्तर : परमाणु के अधिकतम उर्जा के आशिक अथवा पूर्णरूप से भरे बैंड को संयोजकता बैंड तथा इस बैंड के ऊपर अधिक उर्जा वाले अनुमत बैंड, जो कि अनुत्तेजित अवस्था में अधिकतर खाली होते हैं, चालन बैंड कहते हैं ।

2. अर्धचालक को परिभाषित कीजिये?

उत्तर : अर्धचालक वे पदार्थ हैं जिनकी विद्युत चालकता सुचालक व कुचालक के मध्य होती है।

3. परम शून्य ताप पर अर्धचालक कुचालक की तरह व्यवहार क्यों करते हैं?

उत्तर : परम शून्य ताप पर अर्धचालक की चालकता शून्य होती है इसलिये इस ताप पर अर्धचालक कुचालक की तरह व्यवहार करते हैं ।

4. नैज अर्धचालक से आप क्या समझते हैं? उदाहरण दीजिये ।

उत्तर : शुद्ध अर्धचालक पदार्थ ही नैज अर्धचालक कहलाते है जैसे जरमेनियम तथा सिलीकॉन । इन पदार्थो की चालकता बहुत कम होती है ।

5. नैज अर्धचालकों की चालकता में किस प्रकार वृद्धि की जा सकती है?

उत्तर : नैज अर्धचालकों में अशुद्धि के रूप में आवर्ती सारिणी के तृतीय अथवा पंचम वर्ग के तत्व को मिलाने पर इनकी चालकता में वृद्धि कर सकते हैं ।

6. अपद्रव्य अर्धचालक किसे कहते हैं तथा इसके कितने प्रकार होते हैं?

उत्तर : अशुद्धि युक्त अर्धचालक को अपद्रव्य अर्धचालक कहते है जिनकी चालकता नैज अर्धचालक की चालकता से अधिक होती है । ये दो प्रकार के होते हैं N तथा P ।

7. होल से आप क्या समझते हैं?

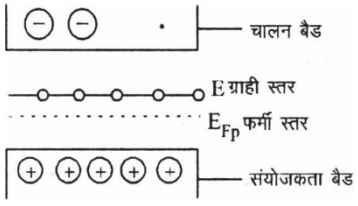
उत्तर: जब संयोजी इलेक्ट्रॉन संयोजी बैंड से चालन बैंड में जाता है तो संयोजी बैंड में इलेक्ट्रॉन का स्थल रिक्त हो जाता है । विद्युत क्षेत्र के प्रभाव में यह रिक्त स्थल धन आवेश को भाँति इलेक्ट्रोन के विस्थापन के विपरीत दिशा में विस्थापित हो सकता है इसे होल कहते हैं ।

8. अर्धचालक में किस प्रकार के आवेश वाहक होते हैं?

उत्तर : अर्धचालक में होल व इलेक्ट्रॉन दोनों प्रकार के आवेश वाहक होते हैं ।

9. P प्रकार के अर्धचालक में ग्राही स्तर व फर्मी स्तर को प्रदर्शित कीजिये ।

उत्तर :



10. नैज अर्धचालक में फर्मी स्तर कहीं स्थित होता है?

उत्तर : नैज अर्धचालक में फर्मी स्तर चालन बैंड व संयोजकता बैंड के मध्य स्थित होता है ।

11. N व P प्रकार के अर्धचालको में बहु संख्यक तथा अल्पसंख्यक आवेश वाहक क्या होते ई

उत्तर : N प्रकार के अर्धचालक में बहु संख्यक इलेक्ट्रॉन व अल्पसंख्यक आवेश वाहक होल होते हैं तथा Pप्रकार के अर्धचालक में बहु संख्यक आवेश वाहक होल तथा अल्पसंख्यक आवेश वाहक इलेक्ट्रॉन होते हैं ।

12. P-N संधि डायोड क्या है?

उत्तर : जब P अर्धचालक को परमाणवीक रूप से N अर्धचालक से जोड़ा जाता है तो प्राप्त युक्ति को P-N संधि कहते हैं ।यह युक्ति, डायोड को भाँति धारा का प्रवाह केवल एक ही दिशा में करती है इसलिये इसे संधि डायोड कहते हैं ।

13. P-N संधि में बहु संख्यकों व अल्पसंख्यकों की संख्या (घनत्व) किस पर निर्भर करती है ?

उत्तर : P-N संधि में बहु संख्यकों की संख्या अर्धचालकों में अपद्रव्यों की सान्द्रता तथा अल्पसंख्यको की संख्या बैंड अंतराल व संधि के ताप पर निर्भर करती है ।

14. साम्यावस्था में P-N संधि में 9 व 1९ अर्धचालकों के फर्मीस्तरों की स्थिति क्या होती है

उत्तर : साम्यावस्था में P व N अर्धचालकों के फर्मी स्तर एक ही स्तर पर आ जाते हैं ।

15. अग्र दिशिक बायस व उत्क्रमित बायस से आप क्या समझते हैं, इनमें क्या अंतर है?

उत्तर : जब P-N संधि को एक बैटरी से इस प्रकार जोड़ा जाता है कि P अर्धचालक बैटरी के धनात्मक सिरे से तथा N अर्धचालक ऋणात्मक सिरे से जुड़ा हो तो यह व्यवस्था अग्र बायस कहलाती है तथा जब N अर्धचालक को बैटरी के धनात्मक सिरे व Pअर्धचालक को ऋणात्मक सिरे से जोड़ा जाता है तो यह व्यवस्था उत्क्रमित बायस कहलाती है ।
अग्र दिशिक बायस में परिपथ में धारा का मान उत्क्रमित बायस से अधिक होता है ।
अग्र दिशिक बायस में P-N संधि का प्रतिरोध कम तथा उत्क्रमित बायस में अधिक होता

16. अग्र दिशिक प्रतिरोध व पश्च प्रतिरोध से आप क्या समझते हैं तथा इनकी कोटि क्या होती है?

उत्तर : अग्र दिशिक बायस में P-N डायोड का प्रतिरोध अग्र दिशिक प्रतिरोध कहलाता है तथा इसकी कोटि $\simeq 10^2\Omega$ की होती है । पश्च बायस में डायोड का प्रतिरोध पश्च प्रतिरोध कहलाता है तथा इसका मान $\simeq 10^4\Omega$ की कोटि का होता है ।

17. अग्र व पश्च बायस में परिपथ में वोल्टता स्रोत की वोल्टता का मान कितना होना चाहिये

उत्तर : अग्र बायस में वोल्टता स्रोत की वोल्टता 1 वोल्ट से कम तथा पश्च बायस में 6 वोल्ट तक होनी चाहिये ।

18. पश्च बायस में परिपथ में धारा मापन के लिये माइक्रोअमीटर क्यों प्रयुक्त किया जाता है?

उत्तर : पश्च बायस में परिपथ में धारा का मान बहुत कम होता है तथा माइक्रोएम्पियर की कोटि का होता है इसलिये माइक्रोअमीटर प्रयुक्त करते हैं ।

19. अग्र बायस में परिपथ में धारा किस कोटि की होती है?

उत्तर : अग्र बायस में परिपथ में धारा मिली एम्पियर 10^{-3} ' एम्पियर की कोटि की होती है ।

20. 20.उत्क्रमित धारा किस प्रकार प्राप्त की जाती है तथा यह किस प्रकार के आवेश वाहकों के कारण होती है?

उत्तर : P-N संधि को पश्च बायस करने पर उत्क्रमित धारा प्राप्त की जाती है तथा यह परिपथ में अल्पसंख्यक वाहकों के कारण प्रवाहित होती है ।

21. उत्क्रमित संतृप्त धारा उत्क्रमित बायस वोल्टता पर किस प्रकार निर्भर करती है?

उत्तर : उत्क्रमित संतृप्त धारा उत्क्रमित बायस के एक विशिष्ट मान तक उत्क्रमित बायस वोल्टता पर निर्भर नहीं करती है अत: इस विशिष्ट मान तक उत्क्रमित बायस वोल्टता बढ़ाने पर उत्क्रमित संतृप्त धारा का मान नियत रहता है ।

22. अवक्षय परत से आप क्या समझते हैं?

उत्तर : 23.P-N संधि की संधि पर मुक्त इलेक्ट्रॉन व मुक्त होल के प्रवाह के कारण विभव प्राचीर का निर्माण होता है जो कि होल व इलेक्ट्रॉन के प्रवाह को संधि की पतली परत पर रोकता है । इस परत को अवक्षय परत कहते हैं । इस परत में मुक्त आवेश वाहक नही होते हैं । मुक्त आवेश वाहकों के इस प्रकार के क्षय के कारण इस परत को अवक्षय परत कहते हैं ।

23. जीनर प्रभाव क्या है?

उत्तर : उत्क्रमित बायस व्यवस्था में उत्क्रमित बायस का मान एक सीमा से अधिक होने पर परिपथ में धारा का मान एकदम अधिक हो जाता है ' यह प्रक्रिया एवेलांश भंजन के कारण होती है । इस प्रभाव को जीनर प्रभाव कहते हैं ।

24. एवेलाश भंजन क्या है?

उत्तर : उत्क्रमित बायस व्यवस्था में उत्क्रमित बायस का मान एक सीमा से अधिक बढ़ाने पर कुछ सहसयोजी बंध टूट जाते हैं इससे वृहद् संख्या में मुक्त इलेक्ट्रॉन व होल प्राप्त

होते हैं तथा उत्क्रमित धारा का मान एकदम तीव्रता से बढ़ जाता है इस प्रक्रिया को एवेलांश भंजन कहते हैं ।

25. प्रयोग मे P-N संधि को उत्क्रमित बायस क्यों किया गया है?

उत्तर : P-N संधि को उत्क्रमित बायस करने पर उत्क्रमित संतृप्त धारा प्राप्त होती है जो कि अल्पसंख्यक आवेश वाहकों द्वारा प्राप्त होती है । अल्पसंख्यक आवेश वाहकों द्वारा प्राप्त धारा का मान ताप व बैंड अंतराल पर निर्भर करता है इस निर्भरता से हम बैंड अंतराल ज्ञात कर सकते हैं ।

26. संधि डायोड में एक सीमा से अधिक उत्क्रमित बायस क्यों नही बढ़ाना चाहिये?

उत्तर : एक सीमा से अधिक उत्क्रमित बायस बढ़ाने पर जीनर भंजन की संभावना रहती है ।

प्रयोग -14

एण्डरसन सेतु से कुंडली के प्रेरकत्व का मापन करना (Measurement of inductance of a coil by Anderson's bridge)

प्रयोग की रूपरेखा

14.0 उद्देश्य
14.1 प्रस्तावना
14.2 आवश्यक उपकरण
14.3 सिद्धान्त
14.4 परिपथ चित्र
14.5 विधि
14.6 प्रेक्षण
14.7 गणना व परिणाम
14.8 पूर्वावधान एवम् त्रुटियों के स्रोत
14.9 सारांश
14.10 शब्दावली
14.11 संदर्भ ग्रन्थ
14.12 बोध प्रश्नों के उत्तर
14.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

14.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के पश्चात् आप

- कुंडली के प्रेरकत्व के बारे में ज्ञान प्राप्त कर सकेंगे;
- किरचॉफ के नियमों का उपयोग करना सीख सकेंगे,
- हैड फोन की कार्य प्रणाली को समझ सकेंगे;
- एण्डरसन सेतु से कुंडली के प्रेरकत्व का मापन, प्रतिरोध व धारिता द्वारा कर सकेंगे ।

14.1 प्रस्तावना (Introduction,)

व्हीटस्टोन सेतु के बारे में आप विद्युतिकी में अध्ययन कर चुके है । आप यह भी जानते हैं कि स्वप्रेरकत्व किसी कुंडली का वह गुण है जो इसमें प्रवाहित होने वाली धारा में परिवर्तन का विरोध करता है । किसी प्रेरक कुंडली का स्वप्रेरकत्व आंकिक रूप से उस प्रेरित विधुत वाहक बल के मान के बराबर होता है जो कि कुंडली में धारा के हास की दर एकांक

(unity) होने पर होता है । इस प्रयोग में आप व्हीटस्टोन सेतु के सिद्धान्त पर आधारित सेतु,एन्डरसन सेतु की सहायता से प्रेरकत्व का मान ज्ञात करेंगे । इसमें प्रयुक्त हैडफोन व श्रृव्य आवृति दोलित्र के बारे में भी जानकारी अनुच्छेद 14.2 से प्राप्त कर सकेंगे । प्रयोग के लिये आवश्यक उपकरणों की जानकारी भी अनुच्छेद 14.2 में दी गयी है । प्रयोग के मुख्य उद्देश्य के साथ-साथ आप प्रयोग से संबंधित कुछ भौतिक राशियों तथा सिद्धान्त का अध्ययन अनुच्छेद 14.3 में करेंगे ।

प्रयोग करने के लिये आवश्यक परिपथ तथा बिन्दुवार विधि क्रमश. अनुच्छेद 14.4 व 14. 5 में दी गयी है । अनुच्छेद 14.6 में प्रेक्षण सारणी दी गयी है । गणना करने की विधि व प्राप्त परिणाम का उल्लेख अनुच्छेद 14.7 में किया गया है । प्रयोग करते समय ध्यान रखने वाली सावधानियों का विवरण तथा त्रुटियों के स्रोत अनुच्छेद 14.8 में दिये गये हैं, प्रयोग का सारांश अनुच्छेद 14.9 में दिया है । प्रयोग से संबंधित शब्दावली अनुच्छेद 14.10 में प्रस्तुत की गयी है तथा इसके आगामी अनुच्छेद 14.11 में संदर्भ ग्रन्थ दिये गये हैं । बोध प्रश्नों के उत्तर तथा मौखिक प्रश्न व उनके उत्तर क्रमश: अनुच्छेद 14.12 व 14.13 में दिये गये हैं ।

14.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

पोस्ट आफिस बाक्स अज्ञात प्रेरक कुंडली, प्रतिरोध बाक्स, परिवर्ती संधारित्र, श्रृव्य आवृति दोलक, हैडफोन या डायोड सहित धारामापी सेल, धारामापी आदि ।

उपकरणों का वर्णन

हैडफोन

इसमें एक लोहे का डायफ्राम विद्युत चुम्बक के सामने होता है । इस विद्युत चुम्बक कुंडली के सिरे बाहर निकले होते हैं, इन सिरो को प्रत्यावर्ती धारा के स्त्रोत से जोड़कर इसमें प्रत्यावर्ती धारा प्रवाहित की जाती है जिससे विद्युत चुम्बक प्रत्यावर्ती रूप से चुम्बकित होता है । विद्युत चुम्बक के प्रत्यावर्ती रूप से चुम्बकित होने पर इसके सामने रखा लोहे का डायफ्राम कंपन करने लगता है जिससे हमें ध्वनि सुनाई देती है ।

श्रृव्य आवृति दोलित्र

यह एक इलेक्ट्रॉनिक युक्ति है जिससे कि श्रृव्य आवृति परास 20-20,000 हर्टज के विद्युतीय दोलन प्राप्त किये जाते हैं । यह दिष्ट धारा स्त्रोत की उर्जा को प्रत्यावर्ती धारा में परिवर्तित करता है । इसमें इस निर्गत प्रत्यावर्ती धारा को नियंत्रित करने के लिये वोल्टता नियंत्रक की तथा एक नियत आवृति की प्रत्यावर्ती धारा प्राप्त करने की भी सुविधा होती है ।प्रत्यावर्ती धारा की आवृति का मान f= $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ के बराबर होता है जहाँ L व C क्रमश: टैंक परिपथ (tank circuit) के प्रेरकत्व व धारिता के मान हैं ।

14.3 सिद्धान्त Theory)

1. स्वप्रेरण (Self induction) :

जब किसी कुंडली में धारा का मान परिवर्तित किया जाता है तो कुंडली से सम्बद्ध (associated) चुम्बकीय फलक्स (magnetic flux) भी परिवर्तित होता है जिसके फलस्वरूप कुंडली में प्रेरित वि.वा.बल उत्पन्न होता है इस घटना को स्वप्रेरण कहते हैं । प्रेरित वि.वा.बल की दिशा लैप्स के नियम के अनुसार इस प्रकार होती है की वह चुम्बकीय फलक्स में परिवर्तन अथवा कुंडली में धारा परिवर्तन का विरोध करती है । यदि कुंडली में धारा i परिवर्ती धारा है तो कुंडली से पारित चुम्बकीय फलक्स भी परिवर्ती होगा । फलक्स में परिवर्तन की दर

$$\frac{d\phi}{dt} = L\frac{di}{dt} \qquad \text{...(14.1)}$$

तथा फैराडे के नियम से प्रेरित वि.वा.बल

$$e = -\frac{d\phi}{dt} \qquad \text{.....(14.2)}$$

समी.(14.1) (14.2) से

$$e = -L\frac{di}{dt}$$

या $L = \dfrac{-e}{\left(di/dt\right)}$

अत: स्वप्रेरकत्व गुणांक अथवा स्वप्रेरकत्व आंकिक रूप से उस प्रेरित वि.वा.बल के बराबर है जो कि कुंडली में धारा हास (loss) की दर एकांक होने पर उत्पन्न होता है ।

स्वप्रेरकत्व का मात्रक हेनरी (Henry) होता है ।

1 वोल्ट

अत: 1 हेनरी=$\frac{\text{1 वोल्ट}}{\text{1एम्पीयर / सै.}}$ =1वेबर / 1 एम्पीयर

प्रेरक कुंडली के प्रेरकत्व का मान, कुंडली में चक्करों की संख्या (number of turns), कुंडली के काट क्षेत्रफल (aera off cross section) या त्रिज्या (radius) तथा उसके बीच के माध्यम की चुम्बकीय पारगम्यता (permeability) पर निर्भर करता है ।

एण्डरसन सेतु (Anderson's brridge)

एण्डरसन सेतु व्हीटस्टोन सेतु (जिसकी भुजाओं में केवल प्रतिरोध ही जुड़े होते हैं) के समान एक सेतु है जिसकी भुजाओं में प्रतिरोधों के अतिरिक्त, प्रेरकत्व व धारिता भी जुड़े होते हैं। इसकी सहायता से प्रेरक कुंडली (inductive coil) के प्रेरकत्व inductance) का मापन प्रतिरोध व धारिता के द्वारा किया जाता है । चित्र 14.2 के अनुसार इस सेतु की तीन भुजाओं में प्रेरकत्वहीन तीन प्रतिरोध P, Q व R लगे होते हैं तथा चौथी भुजा में अज्ञात प्रेरकत्व वाली कुंडली के श्रेणी क्रम में परिवर्ती (variable) प्रेरकत्वहीन प्रतिरोध S लगा होता है । एक परिवर्ती संधारित्र C तथा एक अन्य परिवर्ती प्रतिरोध r को श्रेणीक्रम में जोडकर प्रतिरोध P के समान्तर

लगा देते हैं । सेतु के संधि बिंदु A व D के मध्य नियत आवृति 1000 हर्टज् का श्रृव्य आवृति दोलित्र तथा बिंदु E व F के मध्य हैडफोन या डायोड सहित धारामापी लगा देते हैं । जिसकी सहायता से संतुलन बिंदु की स्थिति ज्ञात कर सकते हैं । जब सेतु के बिंदु E व F समान विभव पर होते हैं तो इन बिंदुओं के मध्य लगे हैडफोन अथवा डायोड युक्त धारामापी मे कोई धारा प्रवाहित नहीं होती है । जिससे हैडफोन में कोई आवाज सुनाई नहीं देती है या धारामापी में विक्षेप शून्य होता है । सेतु की यह अवस्था संतुलित अवस्था कहलाती है ।

इस स्थिति में दोलित्र से प्राप्त कुल प्रत्यावर्ती धारा Iसंधि बिंदु A पर तीन भागों, माना 1, I_2 व I_3 में इस प्रकार विभाजित हो जाती है जिससे $I=I_1+I_2+I_3$ हो । यदि I_1, I_{2I}, व 1_3 क्रमश: भुजाओं AB,AF तथा AE में प्रवाहित होने वाली प्रत्यावर्ती धाराओं के मान हैं तो लूप (loop) ABF में किरचॉफ का नियम (Kirch

hoff's law) लगाने पर

$$I_1 P = I_2\left(r + \frac{I}{j\omega C}\right) \qquad \text{.....(14.3)}$$

जहाँ ω प्रत्यावर्ती धारा की आवृति तथा $\frac{I}{j\omega C}$ धारिता C का प्रतिघात है । $\left(j = \sqrt{-1}\right)$ AEF लूप में किरचॉफ का नियम लगाने पर

$$\frac{I_2}{j\omega C} = I_3 R \qquad \text{...(14.4)}$$

या $I_2 = I_3 j\omega CR$ (14.5)

लूप BED में किरचॉफ का नियम लगाने पर

$$I_3\left(S + j\omega L\right) = I_2 r + \left(I_1 + I_2\right)Q \qquad \text{...(14.6)}$$

यहीं $j\omega L$ प्रेरकत्व की आवृति ω पर प्रेरकत्व प्रतिघात है ।

समी. (14.3) व (14.4) से

$$I_1 = I_3 \frac{R}{P}\left(j\omega Cr + 1\right) \qquad \text{...(14.7)}$$

समी (14.6), में समी (14.5) व (14.7) से I_2 व I_1 का मान रखने पर

$$I_3\left(S + j\omega L\right) = I_3 j\omega CR\left(r + Q\right) + I_3 \frac{RQ}{P}\left(j\omega Cr + 1\right)$$

या $$\left(S + j\omega L\right) = \frac{RQ}{P} + \frac{j\omega CR}{P}\left[PQ + r\left(P + Q\right)\right]$$

वास्तविक (real) तथा काल्पनिक (imaginary) पदों की दोनों तरफ तुलना करने पर

$$S = \frac{PQ}{P}$$

या $$\frac{P}{Q} = \frac{S}{R} \qquad \text{.....(14.8)}$$

तथा $L = \frac{CR}{P}\left[PQ + r\left(P + Q\right)\right]$

यदि P=Q तो

L=CR (Q+2r) .....(14.9)

अत: उपयुक्त सूत्र द्वारा दिये गये प्रेरकत्व का मान ज्ञात कर सकते हैं ।

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

1. धारिता प्रतिघात व प्रेरकत्व प्रतिघात से आप क्या समझते हैं?

   .....

   .....

2. प्रयोग में प्रयुक्त किरचॉफ के नियम का उल्लेख कीजिये ।

   .....

   .....

3. धारामापी के साथ प्रयुक्त डायोड का क्या कार्य है?

   .....

   .....

4. श्रृव्य आवृति दोलित्र का क्या कार्य है?

   .....

   .....

5. श्रृव्य आवृति दोलित्र को ' ' श्रृव्य आवृति दोलित्र ' । क्यों कहते हैं ?

   .....

   .....

6. दोलित्र द्वारा प्राप्त प्रत्यावर्ती धारा का मान किसके द्वारा परिवर्तित किया जा सकता है

   .....

   .....

7. वोल्टता नियत्रंक क्या हैं?

   .....

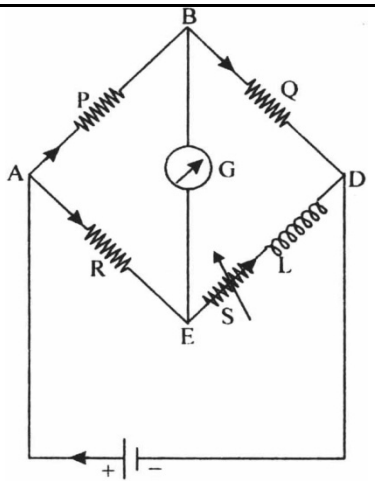
   .....

8. सेतु को भुजाओं में उपस्थित प्रतिरोध प्रेरकत्वहीन क्यों होने चाहिये?

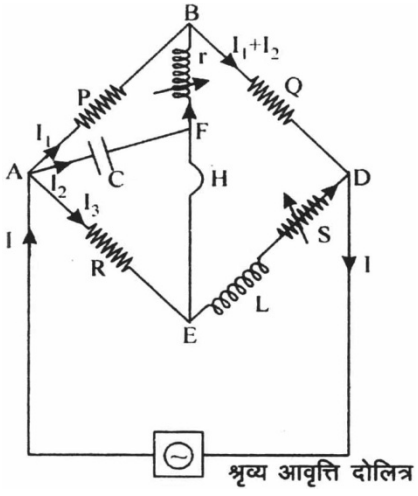
   .....

   .....

14.4 परिपथ चित्र (Circuit diagram)



चित्र 14.1 दिष्ट धारा संतुलन के लिये सेतु



चित्र 14.2 प्रत्यावर्ती धारा संतुलन के लिये सेतु

14.5 विधि (Method)

(i) सर्वप्रथम हम सेतु को दिष्ट धारा स्रोत के लिये संतुलित करते हैं । इसके लिये चित्र 14.1 के अनुसार परिपथ पूर्ण कीजिए । निष्पति (ratio) भुजाओं (arms) मे P व Q का अनुपात एक $\left(\frac{P}{Q}=1\right)$ रखिये । R व S में परिवर्तन इस प्रकार करें कि धारामापी में विक्षेप शून्य प्राप्त हो अर्थात् सेतु संतुलन अवस्था में हो । P,Q तथा R का मान नोट कर लें । संतुलन प्रायोगिक भौतिकी की स्थिति में प्रतिरोध R का मान प्रेरक कुंडली के प्रतिरोध तथा प्रतिरोध S के योगफल के बराबर होता है । $\left(\text{अतः} \frac{\text{R}}{\text{कुंडली का प्रतिरोध}+\text{S}} = 1\right)$

(ii) अब हम सेतु को प्रत्यावर्ती धारा स्रोत (श्रृव्य आवृति दोलित्र) के लिये संतुलित करते हैं । इसके लिये E व F के मध्य से धारामापी हटाकर हैडफोन अथवा डायोड युक्त धारामापी लगा दीजिये तथा A व D संधि के मध्य से सेल हटाकर श्रृव्य आवृति दोलित्र जोड़ दीजिये। दोलित्र की आवृति 1000 हर्टज् रखें । परिवर्ती प्रतिरोध r व संधारित्र C को चित्र 14.2 के अनुसार जोड़ दीजिये ।

(iii) प्रारम्भ में दोलित्र से प्राप्त प्रत्यावर्ती धारा का मान कम रखकर (विधि (i) द्वारा प्राप्त P Q R के मान को नियत रखते हुए) संधारित्र की धारिता C का मान इस प्रकार समायोजित कीजिये कि प्रेरकत्व L का मान गुणनफल CQR से अधिक रहे ।

(iv) प्रतिरोध r को अब इस प्रकार समायोजित कीजिये कि हैडफोन में न्यूनतम ध्वनि या धारामापी में शून्य विक्षेप प्राप्त हो ।

(v) दोलित्र से प्राप्त प्रत्यावर्ती धारा के मान को थोडा बढ़ाकर(सुग्राहिता के लिये) वापस सेतु को संतुलित कीजिये । प्रतिरोध,r व इसके संगत धारिता C का पाठ्यांक नोट कर लीजिए ।

(vi) PQ व R का मान स्थिर रखकर संधारित्र C के मान में परिवर्तन कर उसके संगत (corresponding) प्रत्येक बार, r का मान ज्ञात कर लें ।

(vii) P, Q,Rr g तथा C का मान सूत्र 14.9 में रखकर प्रेरक कुंडली का प्रेरकत्व ज्ञात कीजिए ।

14.6 प्रेक्षण (Observations)

श्रव्य आवृति दोलित्र की आवृति f= 1000 हर्टज्

क्रमांक	P (ओम)	Q (ओम)	R (ओम)	C (ओम)	r (ओम)	L=CR(Q+2r) (हेनरी)
1. 2. 3. 4. 5.						

14.7 गणना व परिणाम (Calculations and result)

गणना :

(i) सूत्र L=CR(Q+2r) से P Q व R के नियत मान तथा C के विभिन्न मानों के संगत r के मानों के लिये L का मान ज्ञात कीजिये ।

(ii) इन सभी मानों का माध्य ज्ञात कीजिये ।

माध्य मान L = ...हेनरी

परिणाम :

दी गयी कुंडली का प्रेरकत्व एण्डरसन सेतु द्वारा .....हेनरी प्राप्त किया गया ।

14.8 पूर्वावधान एवम् त्रुटियों के स्रोत (Precautions and sources of error,)

पूर्वावधान

(i) सेतु के अधिकतम सुग्राहिता के लिये चारों भुजाओं की प्रबिबाधा समान कोटि की होनी चाहिये ।

(ii) प्रयोग के प्रारम्भ में दोलित्र से प्राप्त प्रत्यावर्ती धारा कम रखनी चाहिये अन्यथा हैडफोन व कान खराब हो सकते हैं ।

(iii) प्रयोग के आस पास शोर नहीं होना चाहिये ताकि संतुलन स्थिति सही ज्ञात की जा सके ।

(iv) प्लग प्रकार के प्रतिरोध के स्थान पर डायल युक्त प्रतिरोध प्रयुक्त करना चाहिये । (v) संतुलन स्थिति प्राप्त करने के लिये शर्त L>CRQ का पालन होना आवश्यक है । नहीं तो संतुलन अवस्था प्राप्त नहीं हो सकती है ।

(v) संधारित्र की धारिता शुद्ध व कम होनी चाहियें ।

(vi) प्रतिरोध प्रेरकत्वहीन होने चाहियें ।

(vii) प्रत्यावर्ती धारा से सेतु को संतुलित करते समय दिष्ट धारा से प्राप्त R, S व L का मान समान रहना चाहिये जिससे सेतु की सुग्राहिता की शर्त का पालन होता है ।

त्रुटियों के सोत

(i) प्रारम्भ में दोलित्र से प्राप्त प्रत्यावर्ती धारा का मान अधिक रखा गया हो ।

(ii) शर्त L>CRQ का पालन न करना ।

(iii) प्रयोग के आसपास शोर होना ।

(iv) सेतु के चारों भुजाओं की प्रतिबाधा की कोटि समान न होना ।

14.9 सारांश (Summary)

एण्डरसन सेतु से कुंडली के प्रेरकत्व का मान धारिता व प्रतिरोधों के द्वारा ज्ञात किया गया इसलिये यह विधि प्रयोगत्मक रूप से अच्छी है ।

14.10 शब्दावली (Glossary)

आवृति	Frequence
एण्डरसन सेतु	Anderson's bridge
कुंडली	Coil
दिष्ट धारा स्त्रोत	Direct current source
ध्वनि	Sound
धारामापी	Galvanometer

न्यूनतम	Minimum
प्रेरकत्व	Inductance
प्रेरक कुंडली	Inductance
पारगम्यता	Premeability
परिवर्ती	Variable
प्रतिघात	Reactance
भुजा	Arm
वि.वा.बल	Electromotive force
विक्षेप	Deflection
विद्युत चुम्बक	Electromagnet
हैडफोन	Head phone
स्व प्रेरकत्व	Self inductance
सुग्राहिता	Sensitivity
संतुलित अवस्था	Balanced condition
श्रृव्य आवृति दोलित्र	Audio frequency oscillator

14.11 सदंर्भ ग्रन्थ (Reference Books)

एम.पी॰सक्सेना,पी.आर॰सिंह, एस.एस.रावत,प्रो.एन.एस सक्सेना तथा प्रो.सरदार सिंह	प्रायोगिकी भौतिक पार्ट- द्वितीय	कॉलेज बुक हाउस, जयपुर
एम.पी॰सक्सेना तथा जे.सी.गर्ग	भौतिकी	राजहंस प्रकाशन, मेरठ
पी.आर.सिंह,एस.एस.राय तथा एस.एस.रावत	सरल भौतिकी भाग - द्वितीय	कालेज बुक हाउस, जयपुर
S.L.Kakani, C.Hemrajani and T.C.Bansal	Practical Physics	College Book Centre, Jaipur
S.L.Gupta and V.Kumar R.Shukla	Practical Physics	Pragati Prakahan,Meerut
Anchal Srivastava	Practical Physics	New Age Publishers
Bhandari,Sisodia	Electricity and Electroncs	कालेज बुक हाउस,

14.12 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answers to self aassessment questions)

1. प्रत्यावर्ती परिपथ में धारिता अथवा प्रेरकत्व द्वारा प्रत्यावर्ती धारा के प्रवाह में उत्पन्न अवरोध को धारिता प्रतिघात अथवा प्रेरकत्व प्रतिधात कहते हैं । इसका मात्रक ओम होता है
2. किसी विद्युत परिपथ के बंद परिपथ अथवा लूप में निश्चत धारा प्रवाह की दिशा में वोल्टताओं का बीजीय योग (algebraic) शून्य होता है ।
3. धारामापी के साथ प्रयुक्त डायोड दिष्टकारी की तरह कार्य करता है ।
4. यह विभिन्न आवृतियों पर परिवर्ती प्रत्यावर्ती धारायें उत्पन्न करता है ।
5. श्रव्य आवृति दोलित्र से प्राप्त दोलनों को आवृति श्रृव्य आवृति सीमा 20 हर्टज् से 20000 हर्टज् के मध्य होती है ।
6. दोलित्र के प्रत्यावर्ती धारा के मान को वोल्टता नियंत्रक- द्वारा परिवर्तित कर नियंत्रित किया जा सकता है । दोलित्र में इसके लिये एक घुंडी (knob) होती है ।
7. वास्तव में यह एक परिवर्ती प्रतिरोध है जिसे परिवर्तित करके दोलित्र से प्राप्त प्रत्यावर्ती धारा के मान में परिवर्तन किया जा सकता है ।
8. प्रतिरोध प्रेरकत्वहीन न होने पर सेतु की भुजा में स्थित प्रतिरोध की प्रतिबाधा में इसके प्रतिरोध घटक के साथ साथ प्रेरकत्व प्रतिघात घटक का भी योगदान होगा तथा गणना में इनके मध्य कलांतर संबंध को भी सम्मिलित करना पड़ेगा फलस्वरूप गणना भी जटिल होगी ।

14.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral question and answer)

1. एक हेनरी क्या है?

उत्तर : एक हेनरी वह प्रेरकत्व है जिसमें परिपथ में धारा परिवर्तन की दर एक एम्पीयर प्रति सैकण्ड होने पर एक वोल्ट का प्रेरित विद्युत वाहक बल उत्पन्न हो ।

2. प्रारम्भ में श्रृव्य आवृति दोलित्र से प्राप्त प्रत्यावर्ती धारा का मान सेतु में कम क्यों रखा जाता है? तथा संतुलन की स्थिति में इसके मान में क्यों वृद्धि की जाती है?

उत्तर : जिससे हैडफोन तथा कान खराब न हो तथा संतुलन की स्थिति सही प्राप्त हो सके ।

3. सेतु के अधिकतम सुग्राहिता की शर्त क्या है?

उत्तर : चारों भुजाओं में प्रतिबाधा लगभग समान होनी चाहिये ।

4. प्लग प्रकार के प्रतिरोध बाक्स का उपयोग क्यों नहीं करना चाहिये?

उत्तर : इस प्रकार का प्रतिरोध बाक्स प्रयुक्त करने पर सम्पर्क (contact) प्रतिरोध तथा धारिता प्रभाव के कारण प्रतिरोध के मान में परिवर्तन हो जाता है ।

5. कई बार प्रयोग में L का मान ज्ञात करते समय प्रतिरोध r को परिवर्तित करने पर संतुलन अवस्था प्राप्त नहीं होती है क्यों?

उत्तर : संतुलन प्राप्त करने की शर्त का पालन नहीं होता है जिसके अनुसार L>CRQ होना चाहिये इसलिये संतुलन प्राप्त करने के लिये C के मान में परिवर्तन करना पडेगा ।

6. प्रेरक कुंडली में ऊर्जा किस रूप में संचयित होती है तथा संचयित उर्जा का मान कितना होता है?

उत्तर : प्रेरक कुंडली में ऊर्जा चुम्बकीय क्षेत्र के रूप में संचयित रहती है तथा इसका मान $\left(\frac{1}{2}LI^2_{\max}\right)$ के बराबर होता है यहाँ L कुंडली का स्वप्रेरकत्व तथा I_{max} धारा का अधिकतम मान हैं ।

7. समान मान की प्रेरक कुंडलियों को श्रेणी व समान्तर क्रम में जोड़ने पर परिणामी प्रेरकत्व के मान क्या होते हैं ?

उत्तर : श्रेणी क्रम में परिणामी प्रेरकत्व L_s=NL तथा समान्तर क्रम में

$$\frac{1}{L_P}=\frac{N}{L}$$

अत: $$L_P=\frac{L}{N}$$

8. प्रयोग में श्रृव्य आवृति दोलक क्यों प्रयुक्त करते हैं?

उत्तर : यह श्रृव्य आवृति परास 20-20000 हर्टज में प्रत्यावर्ती धारा उत्पन्न करता है तथा हम संतुलन स्थिति हैडफोन में ध्वनि सुनकर ज्ञात करते हैं ।

9. हैडफोन का क्या उपयोग है?

उत्तर : हैडफोन प्रत्यावर्ती धारा के अनुरूप ध्वनि तरंगे उत्पन्न करता है, जिसे सुनकर हम संतुलन स्थिति ज्ञात करते हैं ।

10. सेतु में 1000 हर्टज् की आवृति की धारा क्यों प्रयुक्त करते हैं

उत्तर : 1000 हर्टज् की आवृति की ध्वनि कानों के लिये सबसे अधिक सुग्राही होती है जिससे न्यून ध्वनि भी सुनी जा सकती है तथा संतुलन की स्थिति सही रूप से प्राप्त की जा सकती है।

11. एण्डरसन सेतु प्रेरकत्व मापन की सबसे अच्छी विधि क्यों है?

उत्तर : इस विधि द्वारा प्रेरक कुंडली के प्रेरकत्व का मापन प्रतिरोध तथा धारिता के रूप में किया जाता है ।

12. स्वप्रेरकत्व से आप क्या समझते हैं?

उत्तर: कुंडली के जिस गुण के कारण कुंडली में प्रवाहित धारा के परिवर्तन का विरोध होता है, स्वप्रेरकत्व कहते हैं ।

13. कुंडली स्वप्रेरकत्व का उसमें से प्रवाहित होने वाली धारा व चुम्बकीय फलक्स में क्या संबंध है तथा इस संबंध से स्वप्रेरकत्व परिभाषित कीजिये ।

उत्तर : $L = \phi i$

कुंडली का स्वप्रेरकत्व L आंकिक रूप से उस चुम्बकीय फलक्स ϕ के मान के बराबर है जो कुंडली में एकांक धारा प्रवाहित होने से सम्बद्ध (associated) होता है ।

14. प्रयोग में पहले दिष्टधारा से सेतु को क्यों संतुलित किया है?

उत्तर : हम जानते हैं कि सेतु की सुग्राहिता के लिये इसकी चारों भुजाओं की प्रतिबाधा समान कोटि की होनी चाहिये । इस शर्त को प्राप्त करने के लिये प्रारम्भिक रूप से सेतु को संतुलित करके प्रतिरोध P Q, R की प्रतिबाधा ज्ञात की गयी जो कि प्रेरकत्व के प्रतिरोध तथा इसके साथ श्रेणी क्रम में जोड़े गये प्रतिरोध की कोटि के बराबर हो जाती है । जिससे प्रत्यावर्ती धारा के लिये संतुलन अवस्था यथार्थ रूप से ज्ञात की जाती है ।

15. प्रयोग में परिपथ को जोड़ने के लिये किस प्रकार के तार काम मे लेने चाहिये?

उत्तर : इसके लिये कम लम्बाई तथा सीधे (अकुंडलित) (uncoiled) तार लेने चाहिये क्योंकि ऐसे तार प्रेरकत्वहीन तथा बहुत कम प्रतिरोध के होते हैं ।

16. हम प्रेरक कुंडली को (helix) सर्पिलाकार के रूप में लेते हैं न कि सीधे तार के रूप में, समझाइये ।

उत्तर : स्वप्रेरकत्व L का मान कुंडली से सम्बद्ध फलक्स पर निर्भर करता है सीधे तार से सम्बद्ध फलक्स का मान बहुत कम होता है अत: सीधे तार के रूप में चालक तार का स्वप्रेरकत्व बहुत कम होता है । जबकि चालक को (helix) सर्पिलाकार के रूप में कुंडलित करने पर उससे सम्बद्ध फलक्स का मान अधिक होता है जिससे उसके लिए L का मान भी अधिक होता है ।

17. प्रयोग में हमने प्रत्यावर्ती धारा श्रृव्य दोलित्र के स्थान पर (A.C mains) से क्यों नहीं ली है

उत्तर : इसकी वोल्टता बहुत अधिक होती है जो कि इस प्रयोग के लिये अनुचित है तथा इसकी आवृति 50 हर्टज् होती है इस आवृति की ध्वनि के लिये हमारे कान कम सुग्राही हैं

18. सेतु में प्रयुक्त संधारित्र शुद्ध क्यों मानी गयी है?

उत्तर: संधारित्र को धारिता को शुद्ध न मानने पर संधारित्र की कुल प्रतिबाधा में संधारित्र प्रतिघात घटक के साथ प्रतिरोध घटक का भी योगदान होगा तथा कुल प्रतिबाधा में R व C के मध्य कला संबंध को' भी सम्मिलित करना पड़ेगा ।

प्रयोग - 15

डिसॉटी के सेतु से किसी गुम्फित संधारित्र की धारिता ज्ञात करना तथा इससे दिये गये द्रव का परावैद्युतांक ज्ञात करना (To determine the capacity of gang condenser by Desauty's bridge and hence to find the dielectric constant of a given liquid)

प्रयोग की रूपरेखा

15.0 उद्देश्य
15.1 प्रस्तावना
15.2 आवश्यक उपकरण
15.3 सिद्धान्त
15.4 परिपथ चित्र
15.5 विधि
15.6 प्रेक्षण
15.7 गणना व परिणाम
15.8 पूर्वावधान एवम् त्रुटियों के स्रोत
15.9 सारांश
15.10 शब्दावली
15.11 संदर्भ ग्रन्थ
15.12 बोध प्रश्नों के उत्तर
15.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

15.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के पश्चात् आप

- डिसॉटी सेतु के बारे में जानकारी प्राप्त कर सकेंगे;
- संधारित्र व इसकी धारिता के बारे में जान सकेंगे;
- डिसॉटी सेतु की सहायता से संधारित्र की धारिता ज्ञात कर सकेंगे;
- पदार्थ के परावैद्युतांक का अध्ययन कर दिये गये पदार्थ के परावैद्युतांक की गणना कर सकेंगे ।

15.1 प्रस्तावना (Introduction)

पिछले प्रयोग में आपने एण्डरसन सेतु से कुंडली के प्रेरकत्व का मान ज्ञात किया है । तथा प्रयोग में प्रयुक्त हैडफोन व श्रृव्य आवृति दोलक के बारे में भी जानकारी प्राप्त की है । इस प्रयोग में आप गुम्फित संधारित्र की धारिता तथा इसकी सहायता से दिये द्रव का परावैद्युतांक ज्ञात करेंगे, जिनका उल्लेख अनुच्छेद 15.1 में किया गया है । प्रयोग में प्रयुक्त आवश्यक उपकरणों की सूची अनुच्छेद 15.2 में दी गई है । प्रयोग से संबंधित भौतिक राशियों का विवरण तथा सिद्धान्त अनुच्छेद 15.3 में दिया गया है ।

प्रयोग करने के लिये आवश्यक परिपथ चित्र अनुच्छेद 15.4 में प्रदर्शित किया गया है । अनुच्छेद 15.5 में प्रयोग करने की बिन्दुवार विधि समझाई गयी है । प्रयोग के दौरान प्रेक्षण नोट करने के लिये प्रेक्षण सारणी अनुच्छेद 15.6 में दी गयी है । अनुच्छेद 15.7 में गणना करने की विधि व परिणाम दिये गये हैं । प्रयोग से पूर्व ध्यान में रखने योग्य सावधानियाँ व त्रुटियों के स्रोत का उल्लेख अनुच्छेद 15.8 में किया गया है । प्रयोग का सारांश अनुच्छेद 15.9 में प्रस्तुत किया गया है । आगामी अनुच्छेद 15.10 में प्रयोग में प्रयुक्त शब्दावली दी गयी है ।

संदर्भ ग्रन्थों की सूची अनुच्छेद 15.11 में दी गयी है ।बोध प्रश्नों के उत्तर अनुच्छेद 15.12 में दिये गये हैं । अंत में प्रयोग से संबंधित महत्वपूर्ण मौखिक प्रश्न व उत्तर अनुच्छेद 15.13 दिये गये हैं ।

15.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

दो प्रतिरोध बाक्स, मानक संधारित्र, गुम्फित (gang) संधारित्र श्रृव्य आवृति दोलित्र, हैडफोन अथवा डायोड सहित धारामापी । श्रृव्य आवृति दोलित्र व हैडफोन के बारे में आप इससे पहले वाले प्रयोग 14 में जान चुके हैं ।

उपकरणों का विवरण: गुम्फित संधारित्र, यह एक परिवर्ती धारिता वाला संधारित्र होता है । इसमें परावैद्युत पदार्थ भरा जा सकता है । हमें इस प्रयोग में द्रव का परावैद्युतांक ज्ञात करना है इसलिये हमने गुम्फित संधारित्र प्रयुक्त किया है ताकि इसमें द्रव को भर सकें ।

15.3 सिद्धान्त (Theory)

धारिता (Capacity) किसी चालक के विभव में एकांक वृद्धि के लिये आवश्यक आवेश की मात्रा को चालक की धारिता कहते हैं । इसकी इकाई फैराड होती है ।

संधारित्र (Condenser) वह व्यवस्था जिसके द्वारा किसी चालक की धारिता में वृद्धि उसके नजदीक एक अन्य भूसम्पर्कित (earthed) चालक लाने पर की जाती है, संधारित्र कहते है यह दो चालकों द्वारा निर्मित होता है ।जिनके मध्य परावैद्युत माध्यम अथवा हवा होती है तथा इनमें से एक चालक भूसम्पर्कित होता है ।

संधारित्र की धारिता (Capacity of condeser) किसी संधारित्र की धारिता आंकिक रूप से उस आवेश के बराबर होती है जो उसकी दोनों प्लेटों के मध्य एकांक विभवान्तर उत्पन्न कर सके ।

संधारित्र की धारिता निम्न घटकों पर निर्भर करती है-

1. प्लेटों (चालकों) के क्षेत्रफल पर
2. दोनों प्लेटों के मध्य दूरी
3. प्लेटों के मध्य माध्यम के परावैद्युतांक पर

परावैद्युतांक (Dielectric constant)

समान्तर प्लेट संधारित्र के मध्य पदार्थ की उपस्थिति में संधारित्र की धारिता तथा पदार्थ 'की अनुपस्थिति में धारिता की निष्पति को पदार्थ का परावैद्युतांक कहते है । इसका कोई मात्रक नहीं होता है ।

अत: संधारित्र प्लेटों के मध्य K परावैद्युतांक का पदार्थ उपस्थित होने पर उसकी धारिता, उस संधारित्र की धारिता की K गुनी हो जाती है जिसके बीच माध्यम के रूप में हवा होती है ।

दिये गये गुम्फित संधारित्र व इसकी सहायता से दिये गये द्रव का परावैद्युतांक डिसॉटी सेतु की सहायता से निम्न सिद्धान्त से ज्ञात कर सकते हैं ।

डिसॉटी सेतु

यह कीट स्टोन सेतु के सिद्धान्त पर आधारित है । चित्र के अनुसार चार भुजा द्वारा निर्मित चतुर्भुज ABCD की दो भुजाओं BD व ED में दो प्रतिरोध R_1, व R लगे हुए हैं । तथा भुजा AE व AB में क्रमश: मानक धारिता C (जिसकी धारिता ज्ञात हो)वाला संधारित्र तथा गुम्फित संधारित्र (जिसकी धारिता ज्ञात करनी हो) C_1 जिसके मध्य हवा या खाली स्थान है लगे हुऐ हैं इसके एक विकर्ण छह के मध्य हैडफोन अथवा डायोड सहित धारामापी लगाया जाता है तथा दूसरे विकर्ण के मध्य 1000 हर्टज् आवृति का श्रृव्य आवृति दोलित्र जोड़ते हैं ।

श्रृव्य आवृति दोलित्र से परिपथ में न्यूनधारा प्रवाहित की जाती है इससे हैडफोन में ध्वनि सुनाई देती है या धारामापी में विक्षेप प्राप्त होता है ।जिससे B व E के मध्य धारा प्रवाह प्रदर्शित होता है । एक या दोनों प्रतिरोधों को हम इस प्रकार समायोजित करते हैं कि हैडफोन में कोई ध्वनि सुनाई नहीं दे । (या धारामापी में विपेक्ष शून्य हो)

ऐसा तब ही संभव होगा जब भुजा BE अथवा हैडफोन या धारामापी में कोई धारा प्रवाहित नहीं होगी ।अत: इस स्थिति में बिन्दु B व E पर विभव V_B व V_E समान होगा । इस स्थिति में सेतु को संतुलित (balanced) कहते हैं । अत:

$$V_B = V_E \qquad \text{.....(15.1)}$$

$$V_A - V_B = V_A - V_E \qquad \text{.....(15.2)}$$

इसी प्रकार $$V_B - V_D = V_E - V_D \qquad \text{....(15.3)}$$

संतुलित अवस्था में आवृति दोलक से प्राप्त प्रत्यावर्ती धारा बिन्दु A पर दो भागों I_1 व I_2 में विभाजित हो जाती है । धारा I_1 शाखा ABD1शाखा AED में प्रवाहित होती है । यदि . ω श्रृव्य आवृति दोलत्र की आवृति है तो

$$V_A - V_B = \frac{I_1}{j\omega C_1} \quad \text{.....(15.4)}$$

$$V_A - V_E = \frac{I_2}{j\omega C} \quad \text{....(15.5)}$$

यहाँ $\frac{I}{j\omega C_1}$ तथा $\frac{I}{j\omega C}$ क्रमश: संधारित्र C_1व C के प्रतिघात को व्यक्त करते हैं ।

तथा $j = \sqrt{-1}$ संधारित्र द्वारा प्रत्यावर्ती परिपथ में प्रत्यावर्ती धारा में उत्पन्न अवरोध को धारिता प्रतिघात कहते हैं ।

तथा $$V_B - V_D = R_1 I_1 \quad \text{....(15.6)}$$

$$V_E - V_D = RI_2 \quad \text{.....(15.7)}$$

अत: सभी (15.1) व (15.2) में समीकरण (15.4) (15.5) (वz.छ) व (15.7)एस मान रखने पर 1

$$\frac{I_1}{j\omega C_1} = \frac{I_2}{j\omega C} \quad \text{.....(15.8)}$$

तथा $$R_1 I_2 = RI_2 \quad \text{.....(15.9)}$$

समी0 (15.8) में (15.9) का भाग देने पर

$$R_1 C_1 = RC$$

या $$C_1 = \frac{CR}{R_1} \quad \text{.....(15.10)}$$

यहाँ यह माना गया है R व R_1 शुद्ध प्रतिरोध तथा C व C_1 शुद्ध धारिताएं हैं ।

C, R व R_1 के ज्ञात होने पर सूत्र (15.10) से अज्ञात संधारित्र की धारिता C_1 का मान ज्ञात कर सकते हैं ।

द्रव का परावैद्युतांक ज्ञात करना

दिये गये द्रव का परावैद्युतांक ज्ञात करने के लिये गुम्फित संधारित्र जिसकी धारिता C_1 है (जब पट्टिकाओं के मध्य माध्यम वायु है) को दिये गये द्रव जिसका परावैद्युतांक ज्ञात करना है. में डुबो देते हैं । यदि द्रव का अज्ञात परावैद्युतांक K है तो संधारित्र के मध्य K परावैद्युतांक वाले द्रव को उपस्थिति में गुम्फित धारिता का मान उस संधारित्र की धारिता का K गुना हो जायेगा जिसके बीच माध्यम मे वायु हो । अत: अब गुम्फित संधारित्र की धारिता C"

$$C' = KC_1 \quad \text{.....(15.11)}$$

समी (15.10) से

$$C' = \frac{KCR}{R_1} \qquad \text{.....(15.12)}$$

अब C' धारिता वाले गुम्फित संधारित्र को भुजा AB में C_1 के स्थान पर लगाकर वापस सेतु के लिये संतुलित अवस्था ज्ञात करते हैं । माना संतुलन की अवस्था में भुजाओं BD व DE में प्रतिरोध R'_1 व R' हैं तो संतुलन की अवस्था में

$$C' = \frac{CR'}{R'_I} \qquad \text{.....(15.13)}$$

समी (15.12) से C ' का मान (15.13) में रखने पर

$$\frac{KCR}{R_1} = \frac{CR'}{R'_1}$$

या $$K = \frac{R_1}{R}\frac{R'}{R'_I} \qquad \text{.....(15.14)}$$

इस सूत्र की सहायता से द्रव के अज्ञात परावैद्युतांक K का मान ज्ञात कर सकते हैं ।

बोध प्रश्न (Self assessment question)

1. संधारित्र की प्लेटों के मध्य खाली स्थान में K परावैद्युतांक वाला पदार्थ प्रयुक्त करने पर उसकी धारिता पर क्या प्रभाव पडता है?

   .....

   .....

2. संधारित्र बनाने के लिये अधिकतर कौन से परावैद्युत पदार्थ प्रयुक्त किये जाते हैं?

   .....

   .....

3. प्रयोग में प्रयुक्त प्रतिरोधों को शुद्ध प्रतिरोध व संधारित्र की धारिताओं को शुद्ध धारिताऐ क्यों माना गया है?

   .....

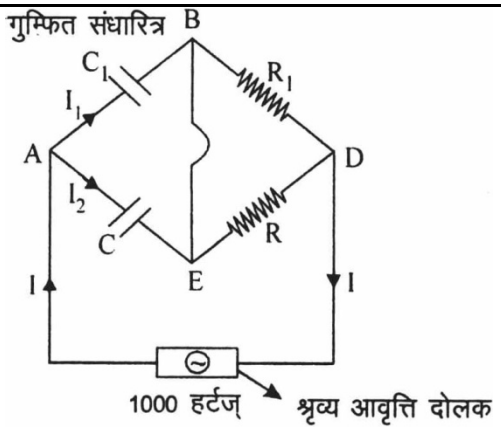
   .....

4. क्या इस प्रयोग में प्रत्यावर्ती धारा जनित्र (श्रृव्य आवृति दोलक) के स्थान पर दिष्ट धारा स्त्रोत का उपयोग कर सकते हैं?

   .....

   .....

15.4 परिपथ चित्र (Cricuit diagram)



चित्र 15.1

15.5 विधि (Method)

(i) चित्र 15.1 के अनुसार परिपथ जोड़िये ।

(ii) प्रारम्भ में दोलित्र से उत्पन्न प्रत्यावर्ती धारा का मान कम रख कर धारिता C व R प्रतिरोध के मान नियत रख कर R_1, के मान को इस प्रकार समायोजित करें ताकि हैडफोन में न्यूनतम ध्वनि अथवा धारामापी में कोई विक्षेप प्राप्त न हो ।

(iii) अब दोलित्र से प्राप्त प्रत्यावर्ती धारा का मान को थोड़ा बढ़ा दीजिए
तथा सेतु के संतुलन के लिये R_1 का मान पहले वाले R व C के नियत मान पर पुन: ज्ञात कीजिए ।

(iv) अब C के नियत मान व प्रतिरोध R के विभिन्न विभिन्न मान लेकर उनके संगत R1, का मान संतुलन की अवस्था में ज्ञात कर लीजिए ।

(v) गुम्फित संधारित्र को दिये गये परावैद्युत पदार्थ में डुबोकर विधि बिन्दु (ii) से (iv) तक के चरण वापस दोहराते हुए प्रत्येक संतुलन अवस्था में प्राप्त प्रतिरोधों R_1 ' व R' का मान ज्ञात कर लीजिए ।
सूत्र 15.10 व 15.14 में R_1 R,R_1 ' व R' के मान प्रतिस्थापित कर गुम्फित संधारित्र की धारिता C_1 व दिये गये द्रव का पैरावैद्युतांक K ज्ञात कर लें

15.6 प्रेक्षण (Observations)

(a) श्रृव्य आवृति दोलक की आवृति f = 1000 हर्टज्

(b) मानक संधारित्र की धारिता C= .....μF माइक्रो फैराड

क्रमांक	गुम्फित संधारित्र की पट्टिकाओं के मध्य वायु माध्यम	गुम्फित संधारित्र की पट्टिकाओं के मध्य द्रव माध्यम	$\frac{R}{R_1}$	$\frac{R'}{R_1'}$

	R (ओम)	R_1 (ओम)	R'(ओम)	R_1' (ओम)		
1. 2. 3. 4. 5. 6.						

15.7 गणना व परिणाम (Calculations and Results)

गणना :

(i) माध्य $\frac{R}{R_1}$ = ...

माध्य $\frac{R}{R_1}$ तथा मानक प्रतिरोध C का मान सूत्र

$$C_1 = \frac{CR}{R_1}$$

द्वारा गुम्फित संधारित्र की धारिता C_1 का मान ज्ञात कीजिये ।

(ii) माध्य $\frac{R'}{R'1}$ =..... माध्य $\frac{R}{R1}$ =.....

$\frac{R}{R1}$ व $\frac{R'}{R'1}$ का माध्य मान ज्ञात करके सूत्र

$$K = \frac{R_1}{R}\frac{R'}{R'_1}$$

द्वारा दिये गये द्रव का परावैद्युतांक ज्ञात कीजिये ।

परिणाम :

1. दिये गये गुम्फित संधारित्र की धारिता का मान..... μF प्राप्त किया गया ।
2. दिये गये द्रव का परावैद्युतांक का मान..... (कोई मात्रक नहीं) प्राप्त हुआ ।

15.8 पूर्वावधान एवम् त्रुटियों के स्रोत (Precautions and sources of error)

पूर्वावधान

(i) प्रयोग के प्रारम्भ में श्रृव्य आवृति दोलक से प्राप्त प्रत्यावर्ती धारा का मान कम होना चाहिये तथा लगभग संतुलन की अवस्था के नजदीक इसके मान में वृद्धि करनी चाहिये ताकि हेडफोन तथा कान खराब न हों ।

(ii) सेतु की अधिकतम सुग्राहिता के लिये चारों भुजाओं में प्रतिबाधा की कोटि लगभग समान होनी चाहिये ।

(iii) सेतु के अधिकतम सुग्राहिता के लिये संघारित्र परावैद्युत क्षेय से मुक्त होना चाहिये ।

(iv) डाट प्रतिरोध के प्रतिरोध बाक्स का उपयोग नही करना चाहिये, इसके स्थान पर डायल प्रकार का प्रतिरोध बाक्स प्रयुक्त करना चाहिये ।

(v) प्रयोग मे प्रयुक्त प्रतिरोध शुद्ध प्रतिरोध तथा संधारित्र की धारिता भी शुद्ध होनी चाहिये ।

(vi) प्रयोग करते समय आसपास से कोई आवाज नहीं होनी चाहिये, नही तो संतुलन बिंदु की स्थिति से सही परिणाम प्राप्त नही होंगे ।

त्रुटियो के स्त्रोत

(i) प्रयोग के प्रारम्भ में परिपथ में दोलित्र से प्राप्त प्रत्यावर्ती धारा का मान अधिक होना

(ii) सेतु की चारों भुजाओं में प्रतिबाधा की कोटि समान नहीं होना ।

(iii) संधारित्र परावैद्युत माध्यम क्षय युक्त होना ।

(iv) डाट प्रतिरोध के प्रतिरोध बाक्स को प्रयुक्त करना ।

(v) प्रयोग में प्रयुक्त प्रतिरोध व धारिता का शुद्ध न होना ।

(vi) प्रयोग के आसपास शोर होना ।

15.9 सारांश (Summary)

- यह प्रयोग डिसॉटी सेतु के सिद्धान्त पर आधारित है ।
- गुम्फित संधारित्र की धारिता(माध्यम के रूप में हवा को लेकर) ज्ञात करके, दिये गये द्रव का परावैद्युतांक ज्ञात किया जा सकता है ।
- गुम्फित संधारित्र का उपयोग इसलिये किया गया है क्योंकि इसमें परावैद्युत पदार्थ भरा जा सकता है ।
- संधारित्र के प्लेटों के मध्य K परावैद्युतांक का पदार्थ उपस्थित होने पर उसकी धारिता, उस संधारित्र को धारिता की KK गुनी हो जाती है, जिसके बीच माध्यम में हवा होती है ।

15.10 शब्दावली (Glossary)

आवेश	Charge
आवृति	Frequeency
गुम्फित संधारित्र	Gang condensor
चालक	Conductor
धारिता	Capacity
ध्वनि	Sound
धारिता प्रतिघात	Capacitive reactance
द्रव	Liquid
दिष्ट धारा	Direct current

पट्टिका	Plate
पदार्थ	Substance
परावैद्युतांक	Dielectric constant
परावैद्युत माध्यम	Dielectric mediium
विभव	Potentiall
शुद्ध प्रतिरोध	Pure resistance
श्रृव्य आवृति दोलक	Audio frequency oscillator
सुग्राहिता	Sensitivity
संधारित्र	Condenser
सेतु	Bridge
संतुलित	Balanced

15.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference Books)

एम.पी.सक्सेना, पी.आर.सिंह	प्रायोगिकी भौतिकी	कॉलेज बुक
एस.एस.रावत, एन.एस.सक्सेना सरदार सिंह	पार्ट - द्वितीय	हाऊस,जयपुर
S.L.Gupta , V.Kumar	Practical physics	Pragati Prakashan, Meerrut
S.L.Kakani,CHemrajaani & T.C.Bansal	Practical physics	College Book Centre Jaipur

15.12 बोध प्रश्नों के उत्तर (Self assessment question)

1. संधारित्र को प्लेटों के मध्य खाली स्थान में परावैद्युत पदार्थ प्रयुक्त करने पर उसकी धारिता K गुनी हो जाती है ।
2. माइका, पैराफीन, सिरेमिक
3. प्रतिरोधों व धारिताओ के शुद्ध न होने पर इनकी प्रतिबाधा क्रमश: प्रतिरोध R व धारितीय प्रतिधात $\frac{1}{j\omega c}$ के बराबर नहीं होंगी । इससे परिणाम में त्रुटि होगी ।
4. दिष्ट धारा के लिये ω = 0 अत: धारितीय प्रतिधात का मान अनंत हो जायेगा अर्थात प्रत्यावर्ती धारा प्रवाहित नहीं होगी । इसलिये दिष्ट धारा स्त्रोत का प्रत्यावर्ती धारा जनित्र के स्थान पर उपयोग नहीं कर सकते हैं ।

15.13 मौखिक प्रश्न तथा उत्तर (Oral question and answers)

1. संधारित्र का क्या सिद्धान्त है?

उत्तर : किसी चालक की धारिता में वृद्धि उसके नजदीक एक अन्य भूसम्पर्कित चालक को लाने से की जा सकती है ।

2. संधारित्र की धारिता से आपका क्या तात्पर्य है?

उत्तर : किसी संधारित्र की धारिता आंकिक रूप से उस आवेश के बराबर है जो उसकी दोनो चालक प्लेटों के मध्य विभवान्तर उत्पन्न कर सके ।

3. संधारित्र में ऊर्जा किस रूप में संचरित होती है, तथा उसका मान क्या होता है?

उत्तर : संधारित्र में ऊर्जा विद्युत क्षेत्र के रूप में संचयित होती है तथा इसका मान $\frac{1}{2}CV^2$ के बराबर होता है जहाँ V संधारित्र के प्लेटों के मध्य विभवान्तर तथा C संधारित्र की धारिता है ।

4. डिसॉटी सेतु की अधिकतम सुग्राहिता की क्या शर्त है?

उत्तर : सेतु की चारों भुजाओं की प्रतिबाधा का मान समान कोटि का होना चाहिये । हैडफोन से संतुलन की स्थिति कैसे ज्ञात की जाती है

5. जब हैडफोन में न्यूनतम ध्वनि सुनाई देती है उस समय हैडफोन के सिरों पर विभव समान होता है जो कि सेतु के संतुलन की अवस्था होती है ।

6. परावैद्युत किसे कहते हैं?

उत्तर : जब किसी पदार्थ को विद्युत क्षेत्र में रखते हैं तथा उसके पृष्ठों पर विद्युत आवेश प्रेरित हो जाता है तो ऐसे पदार्थ को परावैद्युत कहते हैं ।

7. डिसॉटी सेतु में डाट प्रकार के प्रतिरोध बाक्स क्यों प्रयुक्त नहीं करना चाहिये?

उत्तर : इसे प्रयुक्त करने पर स्पर्श प्रतिरोध व धारिता प्रभाव के कारण भुजाओं के प्रतिरोध का वास्तविक मान परिवर्तित हो जाता है ।

8. प्रयोग के प्रारम्भ में श्रृव्य आवृति दालित्र के प्राप्त प्रत्यावर्ती धारा का मान कम क्यों होना चाहिये?

उत्तर : जिससे हैडफोन तथा कान खराब न हो सकें ।

9. प्रतिबाधा से आप क्या समझते हैं?

उत्तर : प्रत्यावर्ती परिपथ में उसके अवयवों प्रतिरोध, प्रेरकत्व तथा संधारित्र द्वारा प्रत्यावर्ती धारा में उत्पन्न अवरोध को प्रतिबाधा कहते हैं ।

10. दो या दो से अधिक संधारित्र जिनको धारिताऐं C_1, C_2, C_3 हो तो उन्हें श्रेणी व समान्तर क्रम में जोडने पर प्राप्त परिणामी धारिता का C मान कैसे ज्ञात करते हैं?

उत्तर : श्रेणीक्रम में जोडने पर परिणामी धारिता का मान निम्न प्रकार से ज्ञात करते हैं ।

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}+\ldots\ldots\ldots$$

तथा समान्तर क्रम में जोडने पर परिणामी धारिता

$C=C_1+C_2+C_3+\ldots\ldots,\ldots\ldots\ldots\ldots$ द्वारा ज्ञात कर सकते हैं ।

11. पदार्थ के परावैद्युतांक की इकाई क्या है?

उत्तर : यह एक विमाहीन राशि होती है ।

12. प्रयोग में गुम्फित संधारित्र क्यों प्रयुक्त किया है?

उत्तर : गुम्फित संधारित्र में परावैद्युत पदार्थ भरने की सुविधा होती है । हमें यहाँ पदार्थ के रूप में द्रव का परावैद्युतांक ज्ञात करना है जिसे हम इस संधारित्र में भर सकते हैं ।

13. सेतु में 1000 हर्टज् आवृति की धारा क्यों प्रयुक्त की गयी है?

उत्तर : 1000 हर्टज् की आवृति की ध्वनि कान के लिये सुग्राही होती है जिससे न्यून ध्वनि सुनी जा सकती है तथा संतुलन अवस्था को सही रूप से ज्ञात किया जा सकता है ।

14. संधारित्र की धारिता अधिक होने से आपका क्या तात्पर्य है?

उत्तर : संधारित्र की धारिता अधिक होने से संधारित्र और अधिक आवेश एकत्रित कर सकता है?

15. सबसे अच्छा परावैद्युत पदार्थ कौनसा है व क्यों?

उत्तर : माइका सबसे अच्छा परावैद्युत पदार्थ है क्योंकि इसका परावैद्युतांक सबसे अधिक होता है, अर्थात् इसे अन्य परावैद्युत पदार्थो के स्थान पर संधारित्र में प्रयुक्त करने पर संधारित्र की धारिता अन्य परावैद्युत पदार्थो के प्रयुक्त करने की अपेक्षा अधिक प्राप्त होती है । इसकी पतली परत द्वारा ही K का मान अन्य परावैद्युत पदार्थो की अपेक्षा बढ़ जाता है ।

प्रयोग - 16

किसी दी गई कुंडली का शक्ति गुणांक CRO के द्वारा ज्ञात करना

(Determination of power of a given coil using CRO)

प्रयोग की रूपरेखा

16.0 उद्देश्य
16.1 प्रस्तावना
16.2 आवश्यक उपकरण
16.3 सिद्धान्त
16.4 परिपथ चित्र
16.5 विधि
16.6 प्रेक्षण
16.7 गणना व परिणाम
16.8 पूर्वावधान एवम् त्रुटियों के स्रोत
16.9 सारांश
16.10 शब्दावली
16.11 संदर्भ ग्रन्थ
16.12 बोध प्रश्नों के उत्तर
16.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

16.0 उद्देश्य (Objective)

इस प्रयोग को करने के पश्चात आप

- प्रत्यावर्ती धारा परिपथ में उपस्थित इसके अवयवों L, C व R द्वारा व्ययित शक्ति का अध्ययन कर सकेंगे
- लिसाजू आकृतियों के बारे में ज्ञान प्राप्त कर सकेंगे,
- कैथोड किरण दोलन लेखी (CRO) द्वारा
  (i) विभिन्न विधुत उपकरणों जैसे तरंग जनित्र दोलित्र (pulse generator) के दोषों का पता लगा सकेंगे
  (ii) किसी अज्ञात प्रत्यावर्ती विभव के तरंगरूप का अध्ययन कर सकेंगे;

(iii) भौतिक राशियाँ जैसे प्रेरकत्व का शक्ति गुणांक, शैथिल्य हानि (hysteresis loss) आदि ज्ञात कर सकेंगे ।

16.1 प्रस्तावना (Introduction)

आपने पूर्व वर्णित प्रयोगों में प्रेरक कुंडली, संधरित्र की धारिता तथा इनकी प्रतिघातों का अध्ययन कर इनका मान ज्ञात किया है । पिछली कक्षाओं में विद्युतकी में आपने प्रत्यावर्ती धारा परिपथ में उपस्थित अवयवों L,C व R की प्रतिबाधाओं तथा प्रत्यावर्ती वि.वा.बल तथा धारा के मध्य संबंध विभिन्न प्रत्यावर्ती परिपथों जैसे केवल प्रतिरोध युक्त, केवल प्रेरकत्व युक्त, केवल धारिता प्रतिरोध - प्ररेकत्व युक्त, प्रतिरोध धारिता युक्त व प्रतिरोध प्रेरकत्व व धारिता युक्त, परिपथों में अध्ययन किया है । हम इस प्रयोग में C.R.O. द्वारा प्रेरक कुंडली के लिये शक्ति गुणांक का मान ज्ञात करेंगे । इसके लिये आवश्यक उपकरणों की सूची अनुच्छेद 6.2 में ही गयी है । प्रयोग से संबंधित भौतिक राशि शक्ति गुणांक, लिसाजू आकृति तथा सिद्धान्त का अध्ययन 16.3 अनुच्छेद में करेगें । प्रयोग करने के लिये आवश्यक परिपथ तथा बिंदुवार विधि क्रमश: अनुच्छेद 16.4 व 16.5 में दी गयी है । अनुच्छेद 16.6 में ट्रेसिंग पेपर (tracing paper) पर प्राप्त की गयी लिसाजू आकृतियों से संबंधित राशियाँ सारणी में दी गयी हैं । गणना के लिये विधि तथा इससे प्राप्त परिणामों का उल्लेख अनुच्छेद 16.7 में किया गया है । प्रयोग करते समय ध्यान रखने योग्य सावधानियों का विवरण अनुच्छेद 16.8 में त्रुटियों के स्रोत के साथ किया गया है । प्रयोग का सारांश अनुच्छेद 16.9 में दिया है । प्रयोग से संबंधित शब्दावली अनुच्छेद 16.10 में प्रस्तुत की गयी है । तथा इसके आगामी अनुच्छेद 16.11 में संदर्भ ग्रन्थ दिये गये हैं । बोध प्रश्नों के उत्तर तथा प्रयोग से संबंधित मौखिक प्रश्न व उनके उत्तर क्रमश: अनुच्छेद 16.12 व 16.13 में दिये गये हैं ।

16.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

कैथोड किरण दोलन लेखी (Cathode Ray Oscillograph CRO), अपचायी ट्रासफार्मर (step down transformer) जिसमें विभिन्न वोल्टताओं के निर्गम (input) टर्मिनल हों (इसके स्थान पर अन्य प्रत्यावर्ती धारा जनित्र अर्थात् दोलित्र भी प्रयुक्त किया जा सकता है), दी गयी कुंडली व शुद्ध प्रतिरोध बाक्स इत्यादि ।

16.3 सिद्धान्त (Theory)

CRO की कार्यप्रणाली निम्न दो गुणों पर आधारित होती है:

(i) इससे प्राप्त संकीर्ण इलेक्ट्रोन पुंज (कैथोड किरणें) प्रतिदीप्ति पर्दे पर प्रतिदीप्ति उत्पन्न करती है ।

(ii) कैथोड किरणें प्लेट युग्मों पर लगाये गये वोल्टता द्वारा विक्षेपित (विस्थापित) होती हैं तथा यह विस्थापन प्लेट युग्मों पर लगाये वोल्टता के अनुक्रमानुपाती होता है । जिस अज्ञात परिवर्ती विभव का तरंग स्वरूप हम देखना चाहते हैं उसे Y प्लेटों के बीच लगा देते हैं । इस परिवर्ती विभव के द्वारा उत्पन्न विधुत क्षेत्र के कारण प्रकाश बिंदु उर्ध्वाधर तल में बार बार

ऊपर नीचे गति करता है अत: दृष्टि निर्बन्ध (Presistence of vision,) के कारण पर्दे पर प्राय: चमकीली उर्ध्वाधर रेखायें दिखाई देती हैं । आंतरिक समायोजन के द्वारा (X) प्लेटों पर एक नियत आवृति की आरादन्ती समयाधार वोल्टता (Saw tooth time base voltage) लगा सकते हैं । इस वोल्टता के कारण पर्दे पर कैथोड पुंज एक समान वेग से क्षैतिज दिशा में विक्षेपित होता है और इस वोल्टता का एक आवर्तकाल पूर्ण होने पर वापस अपनी प्रारम्भिक अवस्था में आ जाता है यह क्रिया जब तक वोल्टता प्रयुक्त की जाती है तब तक निरंतर चलती है ।

इस प्रकार प्रकाश बिंदु अज्ञात विभव के कारण उर्ध्वाधर तल में ऊपर नीचे गति करता है तथा समयाधार विभव के कारण क्षैतिज दिशा में आगे की ओर गति करता है अत: पर्दे पर अज्ञात विभव का स्पष्ट तरंग रूप दिखायी देता है ।

आंतरिक समयाधार के स्थान पर अन्य बाह्य संकेत भी X प्लेटों पर प्रयुक्त किये जा सकते हैं । इसके लिये CRO में एक स्विच होता है आंतरिक पर रखने पर आंतरिक रूप में समयाधार प्रयुक्त कर सकते है तथा बाह्य (external) पर रखने से बाह्य संकेत (external signal) प्रयुक्त कर सकते हैं ।

लिसाजू आकृति (Lissajous figure)

जब किसी कण पर परस्पर (mutually) लम्बवत् दो सरल आवर्त गतियाँ अध्यारोपित (superimpose) होती हैं तो कण का परिणामी पथ एक बंद वक्र (curve) के रूप में होता है, जिसे लिसाजू आकृति कहते हैं । इसकी सहायता से आरोपित संकेत की अज्ञात आवृति, दो सरल आवर्त गतियों के मध्य कलान्तर इत्यादि ज्ञात कर सकते हैं ।

यदि C.R.V. की दोनों विक्षेपक प्लेटों (deflecting plates) पर वोल्टता संकेत लगाये जाते हैं तो इस परस्पर लंबवत् आवर्ती संकेतों के कारण इलेक्ट्रॉन पुंज पर्दे पर लिसाज़ आकृतियों की रचना करते हैं । जिनकी आकृति आरोपित संकेतो की आवृतियों, उनके आयाम तथा उनके मध्य कलान्तर पर निर्भर होगी । यदि दोनों संकेतो की आवृतियाँ बराबर हैं तथा उनके मध्य कलानतर ϕ है तो X व Y दिशा में इनके विस्थापन निम्न प्रकार से प्रदर्शित कर सकते हैं

$$x = a\sin(\omega t - \phi) \qquad \text{....(16.1)}$$

तथा $$y = b\sin\omega t \qquad \text{.....(16.2)}$$

यहाँ. संकेतों की कोणीय आवृति तथा a व b इन संकेतों के आयाम हैं ।

समी (16.1) व (162) से हम निम्न समीकरण प्राप्त कर सकते हैं

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{2xy}{ab}\cos\phi + \frac{y^2}{b^2} = \sin^2\phi \qquad \text{.....(16.3)}$$

समी. (16.3) एक दीर्घवृत्त (ellpse) को प्रदर्शित करता है ।

यह विशिष्ट परिस्थितियों में विभिन्न रूप ले सकता है ।

यदि $\phi = \frac{x^2}{y^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$ .....तो समी (16.3) से

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

यह सममित (Symmetrical) दीर्घवृत का समीकरण है ।

प्रत्यावर्ती धारा परिपथ मे शक्ति (Power in A.C.Circuit) किसी विधुत परिपथ में ऊर्जा व्यय की दर या धारा द्वारा एक सैकण्ड में किये गये कार्य को शक्ति (power) कहते हैं । प्रत्यावर्ती धारा में धारा व वि.वा बल के मान समय पर निर्भर करते हैं । इसलिये प्रत्यावर्ती धारा परिपथ में तात्क्षणिक P_i (instantaneous value) का मान ज्ञात करते हैं । इसका मान तात्क्षणिक प्रत्यावर्ती धारा व वि.वा बल के गुणनफल के बराबर होता है ।

$$P_i = E \cdot I \qquad \text{....(16.4)}$$

प्रत्यावर्ती धारा परिपथ में E व I सामान्यत: एक ही कला में नहीं होते हैं । यदि

$$E = E_O \sin \omega t \qquad \text{..(16.5)}$$

तथा $I = I_O \sin(\omega t - \phi)$ ...(16.6)

यहाँ ϕ प्रत्यावर्ती धारा I व वि.वा बल E में कलान्तर है ।

$$P_i = \frac{1}{2} E_O I_O \left[\cos\phi - \cos(2\omega t - \phi)\right]$$

$$= \frac{1}{2} E_O I_O \cos\phi - \frac{1}{2} E_O I_O \cos(2\omega t - \phi)$$

इस समीकरण के अनुसार तात्क्षणिक शक्ति दो घटकों के कारण होती है । इसका प्रथम घटक $\frac{1}{2} E_O I_O \cos\phi$ समय के साथ परिवर्तित नहीं होता है । जब कि दूसरा घटक $\frac{1}{2} E_O I_O \cos(2\omega t - \phi)$ समय t पर निर्भर करता है । यदि P_i का औसत मान एक पूर्ण चक्र के आवर्त काल time period) के लिये ज्ञात करें तो औसत शक्ति में दूसरे घटक (component) का कोई योगदान नहीं होगा । (क्योंकि $\sin 2\omega t$ तथा $\cos 2\omega t$ का औसत मान शून्य होता है ।

अत: औसत शक्ति का मान

$$\overline{P} = \frac{E_O I_O}{2} \cos\phi$$

जो कि E व I के मध्य कलान्तर ϕ पर निर्भर करता है । इस औसत शक्ति के संबंध में उपस्थित गुणांक $\cos\phi$ (प्रत्यावर्ती धारा व वि.वा.बल के मध्य कलान्तर ϕ की कोज्या (cosine)) को प्रत्यावर्ती धारा परिपथ का शक्ति गुणांक कहते हैं । यह एक विमारहित राशि है जिसका मान परिपथ में जुड़े अवयवों (components) पर निर्भर करता है । हम जानते हैं कि इसका मान L-C-R श्रेणी प्रत्यावर्ती परिपथ में L,C,R पदों में निम्न सूत्र द्वारा दिया जाता है।

$$\cos\phi \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{R}{Z}$$

जहाँ Z परिपथ की प्रतिबाधा है । शुद्ध प्रेरकत्व व शुद्ध धारिता युक्त परिपथों में $\phi = \frac{\pi}{2}$ होता है ।

अत: $\cos\phi = o$

अर्थात् शुद्ध प्रेरकत्व अथवा धारिता युक्त प्रत्यावर्ती परिपथ में प्रत्यावर्ती धारा के प्रवाह में औसत शक्ति का मान शून्य होता है । शुद्ध प्रतिरोध युक्त परिपथ में $\phi = o$ अत:

औसत शक्ति का मान

$$P = \frac{1}{2} E_O I_O$$

होता है ।

वास्तव में प्रेरक कुंडली व संघारित्र में कुछ प्रतिरोध अवश्य होता है इसलिये $\cos\phi$ अथवा औसत ऊर्जा का मान शून्य नहीं होता । हम इस प्रयोग में कुंडली (जो कि सामान्तय: प्रतिरोध युक्त होती है) के लिये शक्ति गुणांक ज्ञात करेंगे ।

समी (16.3) से x=0 पर Y का मान यदि y_o है तो

$$y_O = b\sin\phi \qquad \text{....(16.7)}$$

समी (16.3) का अवकलन करने पर

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{2}{a}\left(\frac{x}{a} - \frac{y}{b}\cos\phi\right)}{\frac{2}{b}\left(\frac{x}{a}\cos\phi - \frac{y}{b}\right)}$$

.....(16.8)

y के अधिकतम मान पर - $-\frac{dy}{dx} = 0$ से

या $x = \frac{a}{b} y\cos\phi$

X का यह मान समी. (16.3) में रखने पर y) का अधिकतम मान

$$y_m = b$$

....(16.10)

समी (16.7) व (16.10) से

$$yo = y_m \sin\phi$$

या $\sin\phi = \frac{y_o}{y_m}$

या $\cos\phi =$ शक्तिगुणांक $= \sqrt{1 - \sin^2\phi}$

$$\text{शक्तिगुणांक} = \sqrt{1-\left(\frac{y_O}{y_m}\right)^2} \qquad \text{.....(16.11)}$$

उपरोक्त, सिद्वान्त का उपयोग कर दी गयी कुंडली का शक्ति गुणांक ज्ञात कर सकते है?

बोध प्रश्न (Self assessment question)

1. शक्ति गुणांक से आप क्या समझते है?

   .....

   .....

2. प्रत्यावर्ती धारा से आप क्या समझते हैं?

   .....

   .....

3. CRO के दो अनुप्रयोग लीखिये?

   .....

   .....

4. L-R प्रत्यावर्ती धारा परिपथ में शक्ति गुणांक का मान क्या.होता है ?

   .....

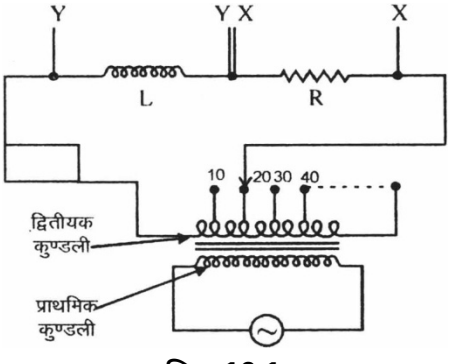
   .....

5. लिसाजू आकृति से आप क्या समझते हैं?

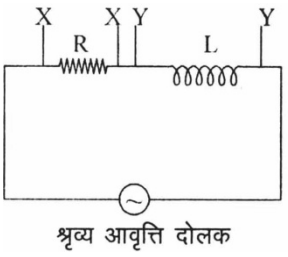
   .....

   .....

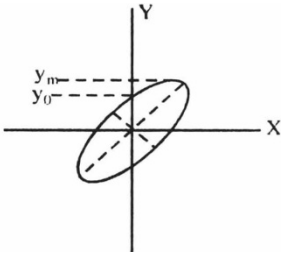
16.4 परिपथ चित्र (Circuit diagram)



चित्र 16.1



चित्र 16.2



चित्र 16.3

16.5 विधि (Method)

(i) चित्र 16.1 में दिखाये अनुसार अपचायी ट्रॉंसफार्मर की प्राथमिक (Primary) कुंडली को A.C. mains (220V 50 हर्टज से जोड़ दीजिये तथा द्वितीयक (secondary) कुंडली को उपयुक्त अल्प वोल्टता के टर्मिनलों को श्रेणीक्रम में जुड़ी प्रेरक कुंडली L व प्रतिरोध R से जोड़ दीजिये (A.C.Mains स्विच ऑफ रखें) अन्यथा चित्र 16.2 में दर्शाये अनुसार L व R के श्रेणीक्रम में श्रृव्य आवृति दोलक को एक नियत आवृति 1000 हर्टज् पर समायोजित कर, जोड़ दें ।

(ii) कुंडली L के सिरों को CRO की YY प्लेट युग्म से तथा प्रतिरोध R के सिरों को XX प्लेट युग्म से जोड़े ।

(iii) CRO का स्विस ऑन करके कुछ समय प्रतीक्षा करें तथा पर्दे पर प्रकाशित बिंदु को देखकर उसकी तीव्रता CRO पर दी गयी घुंडी (Knob) को घुमाकर समायोजित करें । ध्यान रहे बिंदु की तीव्रता बहुत अधिक नहीं होनी चाहिये ।

(iv) फोकस करने वाली CRO की घुंडी को घुमाकर प्रदीप्त बिंदु को बिंदु मात्र बना लीजिये तथा संबंधित घुंडियों द्वारा केन्द्र पर लायें ।

(v) समय आधार (Time base) स्विच को बाह्य पर रखें । जिससे प्रतिरोध बाह्य रूप से XX प्लेटों से जुड़ जायेगा ।

(vi) AC Mains का स्विच आन करें जिससे R पर उत्पन्न वोल्टता व उसमें प्रवाहित प्रत्यावर्ती धारा एक ही कला में होंगे । जिससे L व R में उत्पन्न वोल्टता में कलान्तर ϕ होगा जो कि L पर उत्पन्न वोल्टता व उसमें प्रवाहित धारा के कलान्तर ϕ के बराबर होगा । जिससे CRO के पर्दे पर चित्र 16.3 पर दर्शाये अनुसार तिर्यक दीर्धवृत प्राप्त होगा । यदि दीर्घवृत्त बहुत छोटा या पर्दे पर पूर्ण रूप से प्राप्त न हो तो ट्रॉंसफार्मर द्वारा प्रयुक्त वोल्टता को अधिक या कम करें ।

(vii) उपयुक्त आकार का दीर्घवृत पर्दे पर प्राप्त कर ट्रेसिंग पेपर पर उतार लें । पेपर पर पर्दे के केन्द्र व X तथा Y अक्ष भी अंकित करें ।

(viii) X व Y अक्ष को पेपर पर खींच कर Y दिशा मेंy का अधिकतम मान y_m तथा Y अक्ष पर जहाँ दीर्घवृत को काटे उस बिंदु पर ($x = 0$) पर y_o का मान ज्ञात करें ।

(ix) प्रतिरोध R का मान बदल कर इसके विभिन्न मानों के संगत दीर्घवृत पर्दे पर प्राप्त कर उनके संगत y_m व y_o का मान ज्ञात करें ।

16.6 प्रेक्षण (Observations)

सारणी प्रेरक कुंडली का प्रेरकत्व L = हेनरी

क्रमांक	प्रतिरोध R	विस्थापन y_m (सेमी)	विस्थापन y_o (सेमी)	शक्ति गुणांक $\cos\phi = \sqrt{1-\frac{y_O^2}{y_{m^2}}}$
1. 2. 3. 4. 5.				

16.7 गणना व परिणाम (Calculations and result)

गणना

प्रत्येक प्रतिरोध के लिये सूत्र से

$$\cos\phi = \sqrt{1-\left(\frac{y_o}{y_m}\right)^2}$$

का मान ज्ञात कीजिये तथा इनका माध्य ज्ञात कीजिये ।

$\cos\phi$ का माध्य मान= .....(कोई मात्रक नहीं)

परिणाम : 50 हर्टज् आवृति (A.CMains) पर कुंडली का शक्ति गुणांक का मान – प्राप्त किया गया ।

अथवा

दी गयी नियत आवृति (A.F.O) पर कुंडली का शक्ति गुणांक का मान ..... प्राप्त किया गया ।

16.8 पूर्वावधान तथा त्रुटियों के स्रोत (Precautions and sources of error)

पूर्वावधान

(i) CRO के पर्दे पर प्राप्त प्रदीप्त बिंदु की तीव्रता बहुत अधिक नहीं होनी चाहिये तथा उसे अधिक समय तक एक ही स्थान पर नहीं रखना चाहिये अन्यथा पर्दे का प्रतिदीप्त पदार्थ खराब हो सकता है ।

(ii) CRO को एक बार समायोजित करने के पश्चात् किसी भी घुंडी की अवस्था परिवर्तित नहीं करनी चाहिये ।

(iii) CRO को भूसम्पर्कित करना चाहिये क्योंकि यह उच्च वोल्टता पर कार्य करती है । CRO के विभिन्न इलेक्ट्राडों पर विभव आवश्यक (अनुमत) मान से अधिक नहीं लगाना चाहिये ।

(iv) CRO के पास चुम्बकीय पदार्थ नहीं होना चाहिये अन्यथा कैथोड किरण चुम्बकीय. क्षेत्र द्वारा प्रभावित होगी ।

(v) ट्रेसिंग पेपर पर दीर्धवृत उतारकर पर्दे का केन्द्र तथा दोनों अक्ष ठीक से चिन्हित (mark) करना चाहिये ।

(vi) CRO को लगातार बहुत अधिक समय तक काम में नहीं लेना चाहिये अन्यथा CRT बहुत गर्म हो जाती है तथा खराब होने का खतरा रहता है इसलिये जब CRO से पाठ्यांक न लेने पर उसका स्विच बंद रखना चाहिये । क्योंकि शक्ति गुणांक आवृति पर निर्भर करता हैं ।

त्रुटियों के स्रोत

(i) CRO पर प्रदीप्त बिंदु की तीव्रता बहुत अधिक होना ।

(ii) CRO को भूसम्पर्कित न करना ।

(iii) CRT के विभिन्न इलेक्ट्रोड को अनुमत विभव से अधिक विभव पर रखना ।

(iv) CRO के पास चुम्बक या चुम्बकीय पदार्थ लाना ।

(v) ट्रेसिंग पेपर पर पर्दे का केन्द्र तथा अक्षों को चिन्हित न करना ।

(vi) CRO को अधिक समय तक सतत रूप से काम लेना ।

16.9 सारांश (Summary)

CRO का अध्ययन करके इसके अनुप्रयोग के रूप में इससे दी गयी प्रेरक कुंडली (जो कि प्रतिरोध युक्त है का शक्ति गुणांक दी गयी आवृति पर ज्ञात किया गया । शक्ति गुणांक का मान विभिन्न आवृतियों पर भी (AFO की आवृति परिवर्तित करके) ज्ञात किया जा सकता है । विभिन्न आवृतियों पर शक्ति गुणांक को मान जात करने पर हम देख सकते हैं कि प्रेरक कुंडली का शक्ति गुणांक आवृति के कम होने पर अधिक प्राप्त होता है ।

16.10 शब्दावली (Glossary)

अपचायी ट्रॉसफार्मर	Step down transformer
आंतरिक	Internal
अवयवों	Components
आरादन्ती समयाधार वोल्टता	Saw tooth time base voltage
इलेक्ट्रॉन गन	Electron gun
उत्सर्जक	Emitter

ऊष्मक	Heater
उर्ध्वाधर	Vertical
कैथोड किरण दोलन लेखी	Cathode ray oscillograph
प्राथमिक	Primary
प्रतिदीप्तिशील पर्दा	Flourescent screen
बाह्य	External
तात्क्षणिक मान	Instantaneous value
तिर्यक	Oblique
ऐनोड	Accelerating anode
तरंग जनित्र दोलित्र	Pulse generator oscillator
दीर्घवृत	Ellipse
नियंत्रक ग्रिड	Control grid
लेप	Coating
लाक्ष्णिक रंग	Characteristic colour
लिसाजू आकृति	Lissajous figures
विक्षेपण तंत्र	Deflectingg system
शंकु	Cone
शक्ति गुणांक	Power factor
शैथिल्य हानि	Hysteress loss
क्षैतिज	Horizzontal

16.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference Books)

एमपी. सक्सेना, पी.आर. सिह	प्रायोगिक भौतिकी	कॉलेज बुक
एस.एस.रावत, एन.एस.सक्सेना सरदार सिंह	भाग पार्ट - II	हाऊस जयपुर
S.P.Singh	Advanced Practical Physics	Pragati Prakashan, Meerut
S.L Kakani	Practical	College Book
C.Hemrajani and T.C.Bansal	Physics	Centre,Jaipur

16.12 बोध प्रश्नों के उत्तर(Answer to self assessment question)

1. प्रत्यावर्ती धारा परिपथ में अवयवों पर आरोपित वि.वा बल व उनमें प्रवाहित धारा के मध्य कलान्तर की कोज्या को शक्ति गुणांक कहते हैं ।
2. धारा जिसका मान व दिशा समय के साथ आवर्त रूप से परिवर्तित होता है, प्रत्यावर्ती धारा कहतें हैं ।
3. (i) चिकित्सा विज्ञान में हृद्धय की धड़कन के अध्ययन
   (ii) रेडार, टेलीविजन कम्प्यूटर आदि उपकरणों में इसका उपयोग करते हैं ।
4. शक्ति गुणांक का मान R-L परिपथ में
   $\cos\phi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$ बराबर होता है ।
5. जब किसी कण पर परस्पर लम्बवत् दो सरल आर्वत गतियाँ अध्यारोपित होती हैं तो कण का परिणामी पथ एक बंद वक्र के रूप में होता है, जिसे लिसाजू आकृति कहते हैं ।

16.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral question and answers)

1. कैथोड किरण नली के पर्दे पर विलमाइट (Zn_2SiO_4) अथवा कैडमियम टंगस्टन का लेप करने पर किस रंग का प्रकाश दिखाई देता है '

उत्तर : पर्दे पर विलमाइट अथवा कैडमियम टंगस्टन का लेप करने पर हरे अथवा नीले रंग का प्रकाश दिखाई देता है ।

2. प्रतिबाधा से आप क्या समझते हैं ।

उत्तर : प्रत्यावर्ती धारा परिपथ के अवयवों (L,C,R) द्वारा धारा प्रवाह में उत्पन्न प्रभावी को इस परिपथ की प्रतिबाधा कहते हैं ।

3. LCR परिपथ की प्रतिबाधा व E व I के मध्य कलान्तर के क्या मान होते हैं ।

उत्तर : प्रतिबाधा Z= $\sqrt{R^2 + \left(X_L - X_C\right)^2}$

जहाँ X_L व X_C क्रमश: L व C के संगत प्रतिघात हैं । परिणामी वोल्टता व धारा के मध्य कलान्तर

$\phi = \tan^{-1}\frac{\left(X_L \sim X_C\right)}{R}$ के बराबर होता है ।

4. किसी LCR परिपथ को प्रेरकत्व व धारिता प्रतिघात का मान समान होने पर कलान्तर का मान क्या होता है ।

उत्तर : शून्य तथा इस स्थिति में LCR परिपथ केवल प्रतिरोध युक्त परिपथ की तरह कार्य करता है ।

5. CRO का उपयोग किस सिद्धान्त पर आधारित है?

उत्तर : CRO का उपयोग निम्न दो सिद्धान्तों पर आधारित है ।

i) कैथोड किरणें विधुत क्षेत्र द्वारा विक्षेपित हो जाती हैं ।

ii) ये किरणें प्रतिदीप्ति उत्पन्न करती हैं ।

6. CRO के पास चुम्बकीय पदार्थ क्यों नही लाना चाहिये?

उत्तर : पदार्थ का चुम्बकीय क्षेत्र कैथोड किरणों को प्रभावित करता है इसलिये चुम्बकीय पदार्थ को CRO के पास नहीं लाना चाहिये ।

7. प्रतिदीप्ति पदार्थ से पर्दे पर लेप क्यों किया जाता हैं?

उत्तर : पर्दे पर लेप लगाने पर जिस स्थान पर कैथोड किरण आपतित होती हैं वहाँ पर प्रतिदीप्ति उत्पन्न होती है जिससे कैथोड किरण के आपतन को देखा जा सकता है ।

8. शक्ति गुणांक आवृति के साथ किस प्रकार परिवर्तित होता है?

उत्तर : शक्ति गुणांक का मान आवृति बढ़ने पर कम होता है ।

9. श्रव्य आवृति दोलक से CRO के पर्दे पर प्राप्त अपूर्ण दीर्घवृत्त को पूर्ण रूप से कैसे प्राप्त किया जा सकता है?

उत्तर : इसके लिये श्रव्य आवृति दोलक पर दी गयी वोल्टता नियंत्रक (volume control) को घुंडी द्वारा दीर्घवृत्त को CRO के पर्दे पर पूर्ण रूप से प्राप्त कर सकते हैं ।

10. कार्यहीन धारा से आप क्या समझते हैं?

उत्तर : प्रत्यावर्ती धारा का वह भाग जो शक्ति व्यय में कोई योगदान नहीं देता, कार्यहीन धारा कहते हैं ।

10. विक्षेप सुग्राहिता से आपका क्या तात्पर्य है?

उत्तर : प्लेटों में एक वोल्ट विभावान्तर के लिये प्रदीप्त बिंदु के विस्थापन को CRT की सुग्राहिता कहते हैं ।

11. CRO के पर्दे पर लिसाजू आकृतियाँ किस प्रकार प्राप्त की जाती है?

उत्तर : जब CRO के परस्पर लंबवत् प्लेट युग्मों में प्रत्यावर्ती वोल्टता आरोपित की जाती है तो पर्दे पर ये आकृतियाँ प्राप्त होती है ।

12. चोक कुंडली क्या होती है?

उत्तर : प्रत्यावर्ती धारा को बिना शक्ति व्यय किये नियंत्रित करने के लिये प्रयुक्त अधिक प्रेरकत्व तथा नगण्य प्रतिरोध की कुंडली को चोक कुंडली कहते हैं ।

13. प्रत्यावर्ती धारा अमीटर किस सिद्धान्त पर कार्य करता है ।

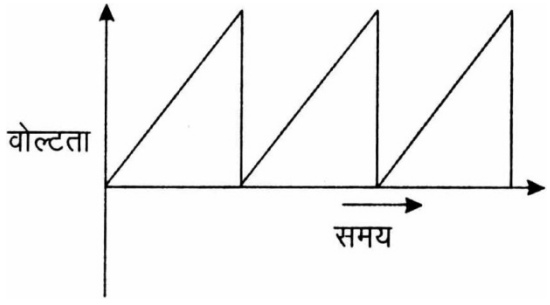
उत्तर : प्रत्यावर्ती धारा अमीटर धारा के ऊष्मीय प्रभाव पर आधारित है क्योंकि ऊष्मीय प्रभाव धारा के वर्ग के अनुक्रमानुपाती होता है ।

14. अपचायी ट्राँसफार्मर किसे कहते हैं?

उत्तर : उच्च प्रत्यावर्ती वोल्टता को निम्न प्रत्यावर्ती वोल्टता में परिवर्तित करने वाले ट्राँसफार्मर को अपचायी ट्राँसफार्मर कहते हैं ।

15. आरादन्ती समयाधार वोल्टता संकेत का समय के साथ परिवर्तन को ग्राफ द्वारा प्रदर्शित कीजिये । वोल्टता -

उत्तर :



16. समयाधार रेखा से आप क्या समझते हैं?

उत्तर : जब CRO में आंतरिक समायोजन के द्वारा XX प्लेट युग्म पर एक निश्चित आवृति की ख़रादती समयाधार वोल्टता प्रयुक्त की जाती है तो इस वोल्टता के कारण पर्दे पर इलेक्ट्रॉन पुंज एक समान वेग से क्षैतिज दिशा में विक्षेपित हो जाता है व आरादंती वोल्टता एक आर्वत काल पूर्ण होने पर वापस अपनी प्रारम्भिक अवस्था में आ जाता है जिसके फलस्वरूप पर्दे पर एक चमकीली क्षैतिज रेखा प्राप्त होती है जिसे समयाधार रेखा कहते हैं ।

कुछ उपयोगी भौतिक राशियों के मान एवं भौतिक नियतांक

1. कुछ कुचालक पदार्थो की ऊष्मा चालकता (Thermal conductivities of some bad conductor materials

पदार्थ	0^0C पर ऊष्मा चालकता $X10^{-3}$ (K cal/m-s-^{0}K
एस्बस्टास	1
मधुमक्खी के छते का मोम	2.5
ईंट	(8-12)
गता	2.1
कपड़ा	0.3
एबोनाइट	1.7
पायरेक्त काँच	11
कागज़	0.6
रबर	=1

2. गैसों के गुण (Properties of gases)

गैस	घनत्व (N.T.P) $X10^3$ Kg./m^3	वि.ऊ. (C_p) K cal./ K gm	वि.ऊ. का अनुपात $\gamma = \frac{C_p}{P_v}$
हवा	.001293	0.241	1.402
कार्बन डाइऑक्साइड	.001986	0.201	1.306

हाइड्रोजन	.0000899	3.402	1.41
नाइट्रोजन	.001251	0.24	1.40
आक्सीजन	.001429	0.22	1.40
वाष्प	.000581	0.48	1.305

3. अर्धचालकों में वर्जित ऊर्जा अन्तराल (Forbidden energy gap in semiconductors

पदार्थ	$\Delta E(_eV)$ **300 L पर**	**पदार्थ**	$\Delta E(_eV)$ **300 L पर**
हीरा	7.2	इन्डियम एन्टिमोनाइड (InSb)	0.18
सिलीकन (Si)	1.12	टेल्यूरियम T	0.38
जरमेनियम (Ge)	0.67	लेड सल्फाइड (PbS)	0.37
गेलियम आर्सेनाइड (GaSb)	1.43	लेड टेल्यूराइड (PuTe)	0.32
गेलियम एन्टिमोनाइड (GaAs)	0.7		

संख्या	**प्रकार**	**पदार्थ**	**V_{CB}**	**V_{CE}**	**V_{EB}**	**Icamx**	**pd**	**H_{ef}**	उपयोग
2N482	PNP	Ge	12V	—	—	20mA	150mv	50	रेडियो- आवृति सामान्य
2N483	PNP	Ge	12V	—	—	20mA	150mW	60	रेडियो- आवृति सामान्य
2N3055	NPN	Si	100V	60V	7V	15A	115mW	20	श्रृव्य आवृति सामान्य
AC125	PNP	Ge	32V	12V	10V	100mA	500mW	50	श्रृव्य आवृति प्रवर्धक
AC126	PNP	Ge	32V	12V	10V	100mA	500mW	100	श्रृव्य आवृति प्रवर्धक
AC128	PNP	Ge	32V	16V	10V	IA	67mW	45	श्रृव्य आवृति सामान्य
AC187	NPN	Ge	25V	15V	10V	2A	225mW	100	श्रृव्य आवृति सामान्य
AC188	PNP	Ge	25V	15V	10V	2A	225mW	100	श्रृव्य आवृति सामान्य

BC107	NPN	Si	50V	45V	6V	100mA	300mW	110	श्रृव्य आवृति सामान्य
BC108	NPN	Si	30V	20V	5V	100mA	300mW	120	श्रृव्य आवृति सामान्य
BC147	NPN	Si	50V	45V	6V	200mA	250mW	110	श्रृव्य आवृति प्रवर्धक
BC148	NPN	Si	30V	20V	5V	200mA	250mW	110	श्रृव्य आवृति प्रवर्धक
BC149	NPN	Si	30V	20V	5V	200mA	250mW	200	श्रृव्य आवृति प्रवर्धक
BF198	NPN	Si	40V	30V	4V	25mA	250mW	27	टी.वी. सामान्य

5. कुछ अर्धचालक डायोडों के अभिलक्षणिक

संख्या	IV	I_{max}	उपयोग
IN4001	400 V	1 A	दिष्टीकरण
IN4002	400 V	2A	दिष्टीकरण
IN4003	400 V	3A	दिष्टीकरण
IN4004	400 V	4A	दिष्टीकरण
IN4005	400 V	5A	दिष्टीकरण
IN4006	400 V	6A	दिष्टीकरण
IN4007	400 V	7A	दिष्टीकरण

6. दृश्य प्रकाश की तरंगदैध्य

नीला	4.55-4.92 $\times 10^{-7}$मीटर
पीला	5.77-5.97$\times 10^{-7}$मीटर
लाल	6.22-7.8$\times 10^{-7}$मीटर

LOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374	5 4	9 8	13 12	17 16	21 20	26 24	30 28	34 32	38 36
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755	4 4	8 7	12 11	16 15	20 18	23 22	27 26	31 29	35 33
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106	3 3	7 7	11 10	14 14	18 17	21 20	25 24	28 27	32 31
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430	3 3	6 7	10 10	13 13	16 16	19 19	23 22	26 25	29 29
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	2673	1703	1732	3 3	6 6	9 9	12 12	15 14	19 17	22 20	25 23	28 26
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014	3 3	6 6	9 8	11 11	14 14	17 17	20 19	23 22	26 25
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279	3 3	6 5	8 8	11 10	14 13	16 16	19 18	22 21	24 23
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529	3 3	5 5	8 8	10 10	13 12	15 15	18 17	20 20	23 22
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765	2 2	5 4	7 7	9 9	12 11	14 14	17 16	19 18	21 21
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989	2 2	4 4	7 6	9 8	11 11	13 13	16 15	18 17	20 19
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3119	3160	3181	3201	2	4	6	8	11	13	15	17	19
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	2	4	6	8	10	12	14	16	18
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	2	4	6	8	10	12	14	15	17
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	2	4	6	7	9	11	13	15	17
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	2	4	5	7	9	11	12	14	16
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	2	3	5	7	9	10	12	14	15
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	2	3	5	7	8	10	11	13	15
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	2	3	5	6	8	9	11	13	14
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	2	3	5	6	8	9	11	12	14
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	1	3	4	6	7	9	10	12	13
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4885	4900	1	3	4	6	7	9	10	11	13
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	1	3	4	6	7	8	10	11	12
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	1	3	4	5	7	8	9	11	12
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	1	3	4	5	6	8	9	10	12
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	1	3	4	5	6	8	9	10	11
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	1	2	4	5	6	7	9	10	11
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1	2	4	5	6	7	9	10	11
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	1	2	3	5	6	7	8	9	10
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	1	2	3	5	6	7	8	9	10
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	1	2	3	4	5	7	8	9	10
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	1	2	3	4	5	6	8	9	10
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	1	2	3	4	5	6	8	9	10
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	1	2	3	4	5	6	7	8	9
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	1	2	3	4	5	6	7	8	9
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	1	2	3	4	5	6	7	7	8
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	1	2	3	4	5	5	6	7	8
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1	2	3	4	4	5	6	7	8
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	1	2	3	4	4	5	6	7	8

LOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	6900	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	1	2	3	3	4	5	6	7	8
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1	2	3	3	4	5	6	7	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1	2	2	3	4	5	6	7	7
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1	2	2	3	4	5	6	6	7
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1	2	2	3	4	5	6	6	7
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	1	2	2	3	4	5	5	6	7
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	1	2	2	3	4	5	5	6	7
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	1	2	2	3	4	5	5	6	7
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	1	1	2	3	4	4	5	6	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	1	1	2	3	4	4	5	6	7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	1	1	2	3	4	4	5	6	6
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	1	1	2	3	4	4	5	6	6
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	1	1	2	3	3	4	5	6	6
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	1	1	2	3	3	4	5	5	6
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	1	1	2	3	3	4	5	5	6
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	1	1	2	3	3	4	5	5	6
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	1	1	2	3	3	4	5	5	6
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	1	1	2	3	3	4	5	5	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	1	1	2	3	3	4	4	5	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	1	1	2	2	3	4	4	5	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	1	1	2	2	3	4	4	5	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	1	1	2	2	3	4	4	5	5
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	1	1	2	2	3	4	4	5	5
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	1	1	2	2	3	4	4	5	5
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	1	1	2	2	3	4	4	5	5
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	1	1	2	2	3	3	4	5	5
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	1	1	2	2	3	3	4	5	5
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	1	1	2	2	3	3	4	4	5
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	1	1	2	2	3	3	4	4	5
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	1	1	2	2	3	3	4	4	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	1	1	2	2	3	3	4	4	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	1	1	2	2	3	3	4	4	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	1	1	2	2	3	3	4	4	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	1	1	2	2	3	3	4	4	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	1	1	2	2	3	3	4	4	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	1	1	2	2	3	3	4	4	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	1	1	2	2	3	3	4	4	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	0	1	1	2	2	3	3	4	4
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	0	1	1	2	2	3	3	4	4
89	9494	9499	9504	9409	9513	9518	9523	9528	9533	9538	0	1	1	2	2	3	3	4	4
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	0	1	1	2	2	3	3	4	4
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	0	1	1	2	2	3	3	4	4
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	0	1	1	2	2	3	3	4	4
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	0	1	1	2	2	3	3	4	4
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9761	9768	9773	0	1	1	2	2	3	3	4	4
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	0	1	1	2	2	3	3	4	4
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	0	1	1	2	2	3	3	4	4
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	0	1	1	2	2	3	3	4	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	0	1	1	2	2	3	3	4	4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	0	1	1	2	2	3	3	4	4

ANTILOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.00	1000	1002	1005	1007	1009	1012	1014	1016	1019	1021	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.01	1023	1026	1028	1030	1033	1035	1038	1040	1042	1045	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.02	1047	1050	1052	1054	1057	1059	1062	1064	1067	1069	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.03	1072	1074	1076	1079	1081	1084	1086	1089	1091	1094	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.04	1096	1099	1102	1104	1107	1109	1112	1114	1117	1119	0	1	1	1	1	2	2	2	2
.05	1122	1125	1127	1130	1132	1135	1138	1140	1143	1146	0	1	1	1	1	2	2	2	2
.06	1148	1151	1153	1156	1159	1161	1164	1167	1169	1172	0	1	1	1	1	2	2	2	2
.07	1175	1178	1180	1183	1186	1189	1191	1194	1197	1199	0	1	1	1	1	2	2	2	2
.08	1202	1205	1208	1211	1213	1216	1219	1222	1225	1227	0	1	1	1	1	2	2	2	3
.09	1230	1233	1236	1239	1242	1245	1247	1250	1235	1256	0	1	1	1	1	2	2	2	3
.10	1259	1262	1265	1268	1271	1274	1276	1279	1282	1285	0	1	1	1	1	2	2	2	3
.11	1288	1291	1294	1297	1300	1303	1306	1309	1312	1315	0	1	1	1	2	2	2	2	3
.12	1318	1321	1324	1327	1330	1334	1337	1340	1343	1346	0	1	1	1	2	2	2	2	3
.13	1349	1352	1355	1358	1361	1365	1368	1371	1374	1377	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.14	1380	1384	1387	1390	1393	1396	1400	1403	1406	1409	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.15	1413	1416	1419	1422	1426	1429	1432	1435	1439	1442	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.16	1445	1449	1452	1455	1459	1462	1466	1469	1472	1476	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.17	1479	1483	1486	1489	1493	1496	1500	1503	1507	1510	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.18	1514	1517	1521	1524	1528	1531	1535	1538	1542	1545	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.19	1549	1552	1556	1560	1563	1567	1570	1547	1578	1581	0	1	1	1	2	2	3	3	3
.20	1585	1589	1592	1596	1600	1603	1607	1611	1614	1618	0	1	1	1	2	2	3	3	3
.21	1622	1626	1629	1633	1637	1641	1644	1648	1652	1656	0	1	1	2	2	2	3	3	3
.22	1660	1663	1667	1671	1675	1679	1683	1648	1690	1694	0	1	1	2	2	2	3	3	3
.23	1698	1702	1706	1710	1714	1718	1722	1726	1730	1734	0	1	1	2	2	2	3	3	4
.24	1738	1742	1746	1750	1754	1758	1762	1766	1770	1774	0	1	1	2	2	2	3	3	4
.25	1778	1782	1786	1791	1795	1799	1803	1807	1811	1816	0	1	1	2	2	2	3	3	4
.26	1820	1824	1828	1832	1837	1841	1845	1849	1854	1858	0	1	1	2	2	3	3	3	4
.27	1862	1866	1871	1875	1879	1884	1888	1892	1897	1901	0	1	1	2	2	3	3	3	4
.28	1905	1910	1914	1919	1923	1928	1932	1936	1941	1945	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.29	1950	1954	1959	1963	1968	1972	1977	1982	1986	1991	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.30	1995	2000	2004	2009	2014	2018	2023	2028	2032	2037	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.31	2042	2046	2051	2056	2061	2065	2070	2075	2080	2084	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.32	2089	2094	2099	2104	2109	2113	2118	2123	2128	2133	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.33	2138	2143	2148	2153	2158	2163	2168	2173	2178	2183	0	1	1	2	2	3	4	4	4
.34	2188	2193	2198	2203	2208	2213	2218	2223	2228	2234	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.35	2239	2244	2249	2254	2259	2265	2270	2275	2280	2286	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.36	2291	2296	2301	2307	2312	2317	2323	2328	2333	2339	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.37	2344	2350	2355	2360	2366	2371	2377	2382	2388	2393	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.38	2399	2404	2410	2415	2421	2427	2432	2438	2443	2449	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.39	2455	2460	2466	2472	2477	2483	2489	2495	2500	2506	1	1	2	2	3	3	4	5	5
.40	2512	2518	2523	2529	2535	2541	2547	2553	2559	2564	1	1	2	3	4	4	4	5	5
.41	2570	2575	2582	2588	2594	2600	2606	2612	2618	2624	1	1	2	3	4	4	4	5	5
.42	2630	2636	2642	2649	2655	2661	2667	2673	2679	2685	1	1	2	3	4	4	4	5	6
.43	2692	2698	2704	2710	2716	2723	2729	2735	2742	2748	1	1	2	3	4	4	4	5	6
.44	2754	2761	2767	2773	2780	2780	2793	2799	2805	2812	1	1	2	3	4	4	4	5	6
.45	2818	2825	2831	2838	2844	2851	2858	2864	2871	2877	1	1	2	3	4	4	5	5	6
.46	2884	2891	2807	2904	2911	2917	2924	2931	2938	2944	1	1	2	3	4	4	5	5	6
.47	2951	2958	2965	2972	2979	2985	2992	2999	3006	3013	1	1	2	3	4	4	5	5	6
.48	3020	3027	3034	3041	3048	3055	3062	3069	3076	3083	1	1	2	3	4	4	5	6	6
.49	3090	3097	3105	3112	3119	3126	3133	3141	3148	3155	1	1	2	3	4	4	5	6	6

ANTILOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.50	3162	3170	3177	3184	3192	3199	3206	3214	3221	3228	1	1	2	3	4	4	5	6	7
.51	3236	3243	3251	3258	3166	3273	3281	3289	3296	3304	1	2	2	3	4	5	5	6	7
.52	3311	3319	3327	3334	3342	3350	3357	3365	3373	3381	1	2	2	3	4	5	5	6	7
.53	3388	3396	3404	3412	3420	3428	3436	3443	3451	3459	1	2	2	3	4	5	6	6	7
.54	3467	3475	3483	3491	3499	3508	3516	3524	3532	3540	1	2	2	3	4	5	6	6	7
.55	3548	3556	3565	3573	3581	3589	3597	3606	3614	3622	1	2	2	3	4	5	6	7	7
.56	3631	3639	3648	3656	3664	3673	3681	3690	3698	3707	1	2	3	3	4	5	6	7	8
.57	3715	3724	3733	3741	3750	3758	3767	3776	3784	3793	1	2	3	3	4	5	6	7	8
.58	3802	3811	3819	3828	3837	3846	3855	3864	3873	3882	1	2	3	4	4	5	6	7	8
.59	3890	3899	3908	3917	3926	3936	3945	3954	3963	3972	1	2	3	4	5	5	6	7	8
.60	3981	3990	3999	4009	4018	4027	4036	4046	4055	4064	1	2	3	4	5	6	6	7	8
.61	4074	4083	4093	4102	4111	4121	4130	4140	4150	4159	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.62	4169	4178	4188	4198	4207	4217	4227	4236	4246	4256	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.63	4266	4276	4285	4295	4305	4315	4325	4335	4345	4355	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.64	4365	4375	4385	4395	4406	4416	4426	4436	4446	4457	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.65	4467	4477	4487	4498	4508	4519	4529	4539	4550	4560	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.66	4571	4581	4592	4603	4613	4624	4634	4645	4656	4667	1	2	3	4	5	6	7	9	10
.67	4677	4688	4699	4710	4721	4732	4742	4753	4764	4775	1	2	3	4	5	7	8	9	10
.68	4786	4797	4808	4819	4831	4842	4853	4864	4875	4887	1	2	3	4	6	7	8	9	10
.69	4808	4909	4920	4932	4943	4955	4966	4977	4989	5000	1	2	3	5	6	7	8	9	10
.70	5012	5023	5035	5047	5058	5070	5082	5093	5105	5117	1	2	4	5	6	7	8	9	11
.71	5129	5040	5152	5164	5176	5188	5200	5212	5224	5236	1	2	4	5	6	7	8	10	11
.72	5248	5160	5272	5284	5297	5309	5321	5333	5346	5358	1	2	4	5	6	7	9	10	11
.73	5370	5383	5395	5408	5420	5433	5445	5458	5470	5483	1	3	4	5	6	8	9	10	11
.74	5495	5508	5521	5534	5546	5559	5572	5585	5598	5610	1	3	4	5	6	8	9	10	12
.75	5623	5636	5649	5662	5675	5689	5702	5715	5728	5741	1	3	4	5	7	8	9	10	12
.76	5754	5768	5781	5794	5808	5821	5834	5848	5861	5875	1	3	4	5	7	8	9	11	12
.77	5888	5902	5916	5929	5943	5957	5970	5984	5998	6012	1	3	4	5	7	8	10	11	12
.78	6026	6039	6053	6067	6081	6095	6109	6124	6138	6152	1	3	4	6	7	8	10	11	13
.79	6166	6180	6194	6209	6223	6237	6252	6266	6281	6295	1	3	4	6	7	9	10	11	13
.80	6310	6324	6339	6353	6368	6383	6397	6412	6427	6442	1	3	4	6	7	9	10	12	13
.81	6457	6471	6486	6501	6516	6531	6546	6561	6577	6592	2	3	5	6	8	9	11	12	14
.82	6607	6622	6637	6653	6668	6683	6699	6714	6730	6745	2	3	5	6	8	9	11	12	14
.83	6761	6776	6792	6808	6823	6839	6855	6871	6887	6902	2	3	5	6	8	9	11	13	14
.84	6918	6934	6950	6066	6982	6998	7015	7031	7047	7063	2	3	5	6	3	10	11	13	15
.85	7079	7096	7112	7129	7145	7161	7178	7194	7211	7228	2	3	5	7	8	10	12	13	15
.86	7244	7261	7278	7295	7311	7328	7345	7362	7379	7396	2	3	5	7	8	10	12	13	15
.87	7413	7430	7447	7464	7482	7499	7516	7534	7551	7568	2	3	5	7	9	10	12	14	16
.88	7586	7603	7621	7638	7656	7674	7691	7709	7727	7745	2	4	5	7	9	11	12	14	16
.89	7762	7780	7798	7816	7834	7852	7870	7889	7907	7925	2	4	5	7	9	11	13	14	16
.90	7943	7962	7980	7998	8017	8035	8054	8072	8091	8110	2	4	6	7	9	11	13	15	17
.91	8128	8147	8166	8185	8204	8222	8241	8260	8279	8299	2	4	6	8	9	11	13	15	17
.92	8318	8337	8356	8375	8395	8414	8433	8453	8472	8492	2	4	6	8	10	12	14	15	17
.93	8511	8531	8551	8570	8590	8610	8630	8650	8670	8690	2	4	6	8	10	12	14	16	18
.94	8710	8730	8750	8770	8790	8810	8831	8851	8872	8892	2	4	6	8	10	12	14	16	18
.95	8913	8933	8954	8974	8995	9016	9036	9057	9078	9099	2	4	6	8	10	12	15	17	19
.96	9120	9141	9162	9183	9204	9226	9247	9268	9290	9311	2	4	6	8	11	13	15	17	19
.97	9333	9354	9376	9397	9419	9441	9462	9484	9506	9528	2	4	7	9	11	13	15	17	20
.98	9550	9572	9594	9616	9638	9661	9683	9705	9727	9750	2	4	7	9	11	13	16	18	20
.99	9772	9795	9817	9840	9863	9886	9908	9931	9954	9977	2	5	7	9	11	14	16	18	20

POWERS, ROOTS AND RECIPROCALS

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\sqrt{10n}$	$\sqrt[3]{10n}$	$\sqrt[3]{100n}$	$\frac{1}{n}$
1	1	1	1.000	1.000	3.162	2.154	4.642	1.000
2	4	8	1.414	1.260	4.472	2.714	5.848	.5000
3	9	27	1.732	1.442	5.477	3.107	6.694	.3333
4	16	64	2.000	1.587	6.325	3.420	7.368	.2500
5	25	125	2.236	1.710	7.071	3.684	7.937	.2000
6	36	216	2.449	1.817	7.746	3.915	8.434	.1667
7	49	343	2.646	1.913	8.367	4.121	8.879	.1429
8	64	512	2.828	2.000	8.944	4.309	9.283	.1250
9	81	729	3.000	2.080	9.487	4.481	9.655	.1111
10	100	1000	3.162	2.154	10.000	4.642	10.000	.1000
11	121	1331	3.317	2.224	10.488	4.791	10.323	.09091
12	144	1728	3.464	2.289	10.954	4.932	10.627	.08333
13	169	2197	3.606	2.351	11.402	5.066	10.914	.07692
14	196	2744	3.742	2.410	11.832	5.192	11.187	.07143
15	225	3375	3.873	2.466	12.247	5.313	11.447	.06667
16	256	4096	4.000	2.520	12.649	5.429	11.696	.06250
17	289	4913	4.123	2.571	13.038	5.540	11.935	.05882
18	324	5832	4.243	2.621	13.416	5.646	12.164	.05556
19	361	6859	4.359	2.668	13.784	5.749	12.386	.05263
20	400	8000	4.472	2.714	14.142	5.848	12.599	.0500
21	441	9261	4.583	2.759	14.491	5.944	12.806	.04762
22	484	10648	4.690	2.802	14.832	6.037	13.006	.04545
23	529	12167	4.796	2.844	15.165	6.127	13.200	.04348
24	576	13824	4.899	2.884	15.492	6.214	13.389	.04167
25	625	15625	5.000	2.924	15.811	6.300	13.572	.0400
26	676	17576	5.099	2.962	16.125	6.383	13.751	.03846
27	729	19683	5.196	3.000	16.432	6.463	13.925	.03704
28	784	21952	5.292	3.037	16.733	6.542	14.095	.03571
29	841	24389	5.385	3.072	17.029	6.619	14.260	.03448
30	900	27000	5.477	3.107	17.321	6.694	14.422	.03333
31	961	29791	5.568	3.141	17.607	6.768	14.581	0.3226
32	1024	32768	5.657	3.175	17.889	6.840	14.736	.03125
33	1089	35937	5.745	3.208	18.165	6.910	14.888	.03030
34	1156	39304	5.831	3.240	18.439	6.980	15.037	.02941
35	1225	42875	5.916	3.271	18.708	7.047	15.183	.02857
36	1296	46656	6.000	3.302	18.974	7.114	15.326	.02778
37	1369	50653	6.083	3.332	19.235	7.179	15.467	.02703
38	1444	54872	6.164	3.362	19.494	7.243	15.605	.02632
39	1521	59319	6.245	3.391	19.748	7.306	15.741	.02564
40	1600	64000	6.325	3.420	20.000	7.368	15.874	.0250
41	1681	68921	6.403	3.448	20.248	7.429	16.005	.0439
42	1764	74088	6.481	3.476	20.494	7.489	16.134	.02381
43	1849	79507	6.557	3.503	20.736	7.548	16.261	.02326
44	1936	85184	6.633	3.530	20.976	7.606	16.386	.02273
45	2025	91125	6.708	3.557	21.213	7.663	16.510	.02222
46	2116	97336	6.782	3.583	21.448	7.719	16.631	.02174
47	2209	103823	6.856	3.609	21.679	7.775	16.751	.02128
48	2304	110592	6.928	3.634	21.909	7.830	16.869	.02083
49	2401	117649	7.000	3.659	22.136	7.884	16.985	.02041
50	2500	125000	7.071	3.684	22.361	7.937	17.100	.020

POWERS, ROOTS AND RECIPROCALS

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\sqrt{10n}$	$\sqrt[3]{10n}$	$\sqrt[3]{100\,n}$	$\frac{1}{n}$
51	2601	132651	7.141	3.708	22.583	7.990	17.213	.01961
52	2704	140608	7.211	3.733	22.804	8.041	17.325	.01923
53	2809	148877	7.280	3.756	23.022	8.093	17.435	.01887
54	2916	157464	7.348	3.780	23.238	8.143	17.544	.01852
55	3025	166375	7.416	3.803	23.452	8.193	17.652	.01818
56	3136	175616	7.483	3.826	23.664	8.243	17.758	.01786
57	3449	185193	7.550	3.849	23.875	8.291	17.863	.01754
58	3364	195112	7.616	3.871	24.083	8.340	17.967	.01724
59	3481	205379	7.681	3.893	24.290	8.387	18.070	.01695
60	3600	216000	7.746	3.915	24.495	8.434	18.171	.01667
61	3721	226981	7.810	3.936	24.698	8.481	18.272	.01639
62	3844	238328	7.874	3.958	24.900	8.527	18.371	.01613
63	3969	250047	7.937	3.979	25.100	8.573	18.469	.01587
64	4096	262144	8.000	4.000	25.298	8.618	18.566	.01562
65	4225	274625	8.062	4.021	25.495	8.662	18.663	.01538
66	4356	287496	8.124	4.041	25.690	8.707	18.758	.01515
67	4489	300763	8.185	4.062	25.884	8.750	18.852	.01493
68	4624	314432	8.246	4.082	26.077	8.794	18.945	.01471
69	4761	328509	8.307	4.102	26.268	8.837	19.038	.01449
70	4900	343000	8.367	4.121	26.458	8.879	19.129	.01449
71	5041	357911	8.426	4.141	26.646	8.921	19.220	.01408
72	5184	373248	8.485	4.160	26.833	8.963	19.310	.01389
73	5329	389017	8.544	4.179	27.019	9.004	19.399	.01370
74	5476	405224	8.602	4.198	27.203	9.045	19.487	.01351
75	5625	421875	8.660	4.217	27.386	9.086	19.574	.01333
76	5776	438976	8.718	4.236	27.568	9.126	19.661	.01316
77	5929	456533	8.775	4.254	27.749	9.166	19.747	.01299
78	6084	474552	8.832	4.273	27.928	9.205	19.832	.01282
79	6241	493039	8.888	4.291	28.107	9.244	19.916	.01266
80	6400	512000	8.944	4.309	28.284	9.283	20.000	.01250
81	6561	531441	9.000	4.327	28.460	9.322	20.083	.01235
82	6724	551368	9.055	4.344	28.636	9.360	20.165	.01220
83	6889	571787	9.110	4.362	28.810	9.398	20.247	.01205
84	7056	592704	9.165	4.380	28.983	9.435	20.328	.01190
85	7225	614125	9.220	4.397	29.155	9.473	20.408	.01376
86	7396	636056	9.274	4.414	29.326	9.510	20.488	.01163
87	7569	658503	9.327	4.431	29.496	9.546	20.567	.01149
88	7744	681472	9.381	4.448	29.665	9.583	20.646	.01136
89	7921	704969	9.434	4.465	29.833	9.619	20.724	.01124
90	8100	729000	9.481	4.481	30.000	9.655	20.801	.01111
91	8281	753571	9.539	4.498	30.166	9.691	20.878	.01099
92	8464	778688	9.592	4.514	30.332	9.726	20.954	.01087
93	8649	804357	9.644	4.531	30.496	9.761	21.029	.01075
94	8836	830584	9.695	4.547	30.659	9.796	21.205	.0164
95	9025	857375	9.747	4.563	30.822	9.830	21.179	.01053
96	9316	884736	9.798	4.579	30.984	9.865	21.253	.01042
97	9409	912673	9.849	4.595	31.145	9.899	21.327	.01031
98	9604	941192	9.899	4.610	31.305	9.933	21.400	.01020
99	9801	970299	9.950	4.626	31.464	9.967	21.472	.01010
100	10000	1000000	10.000	4.642	31.623	10.000	21.544	.0100

NATURAL SINES

Degrees	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean Differences				
	0°.0	0°.1	0°.2	0°.3	0°.4	0°.5	0°.6	0°.7	0°.8	0°.9	1	2	3	4	5
0	.0000	0017	0035	0052	0070	0087	0105	0122	0140	0157	3	6	9	12	15
1	.0175	0192	0209	0227	0244	0262	0279	0297	0314	0332	3	6	9	12	15
2	.0349	0366	0384	0401	0419	0436	0454	0471	0488	0506	3	6	9	12	15
3	.0523	0541	0558	0576	0593	0610	0628	0645	0663	0680	3	6	9	12	15
4	.0698	0715	0732	0750	0767	0785	0802	0819	0837	0854	3	6	9	12	15
5	.0872	1889	0906	0924	1941	1958	1976	1993	1011	1028	3	6	9	12	14
6	.1045	1063	1080	1097	1115	1132	1149	1167	1184	1201	3	6	9	12	14
7	.1219	1236	1253	1271	1288	1305	1323	1340	1357	1374	3	6	9	12	14
8	.1392	1409	1426	1444	1461	1478	1495	1513	1530	1547	3	6	9	12	14
9	.1564	1582	1599	1616	1633	1650	1668	1685	1702	1719	3	6	9	12	14
10	.1736	1754	1771	1788	1805	1822	1840	1857	1874	1891	3	6	9	12	14
11	.1908	1925	1942	1959	1977	1994	1011	1028	1045	1062	3	6	9	11	14
12	.2079	2096	2113	2130	2147	2164	2181	2198	2215	2232	3	6	9	11	14
13	.2250	2267	2284	2300	2317	2334	2351	2368	2385	2402	3	6	8	11	14
14	.2419	2436	2453	2470	2487	2504	2521	2538	2554	2571	3	6	8	11	14
15	.2588	2605	2622	2639	2656	2672	2689	2706	2723	2740	3	6	8	11	14
16	.2756	2773	2790	2807	2823	2840	2857	2874	2890	2907	3	6	8	11	14
17	.2924	2940	2957	2974	2990	2007	2024	2040	2057	2074	3	6	8	11	14
18	.3090	3107	3123	3140	3156	3173	3190	3206	3223	3239	3	6	8	11	14
19	.3256	3272	3289	3305	3322	3338	3355	3371	3387	3404	3	5	8	11	14
20	.3420	3437	3453	3469	3486	3502	3518	3535	3551	3567	3	5	8	11	14
21	.3584	3600	3616	3633	3649	3665	3681	3697	3714	3730	3	5	8	11	14
22	.3746	3762	3778	3795	3811	3827	3843	3859	3875	3891	3	5	8	11	14
23	.3907	3923	3939	3955	3971	3987	3003	3019	3035	3051	3	5	8	11	14
24	.4067	4083	4099	4115	4131	4147	4163	4179	4195	4210	3	5	8	11	13
25	.4226	4242	4258	4274	4289	4305	4321	4337	4352	4368	3	5	8	11	13
26	.4384	4399	4415	4431	4446	4462	4478	4493	4509	4524	3	5	8	10	13
27	.4540	4555	4571	4586	4602	4617	4633	4684	4664	4679	3	5	8	10	13
28	.4695	4710	4726	4741	4756	4772	4787	4802	4818	4833	3	5	8	10	13
29	.4848	4863	4879	4894	4909	4924	4939	4955	4970	4985	3	5	8	10	13
30	.5000	5015	5030	5045	5060	5075	5090	5105	5120	5135	3	5	8	10	13
31	.5150	5165	5180	5195	5210	5225	5240	5255	5270	5284	2	5	7	10	12
32	.5299	5314	5329	5344	5358	5373	5388	5402	5417	5432	2	5	7	10	12
33	.5446	5461	5476	5490	5505	5519	5534	5548	5563	5577	2	5	7	10	12
34	.5592	5606	5621	5635	5650	5664	5678	5693	5707	5721	2	5	7	10	12
35	.5736	5750	5764	5779	5793	5807	5821	5835	5850	5864	2	5	7	10	12
36	.5878	5892	5906	5920	5934	5948	5962	5976	5990	6004	2	5	7	9	12
37	.6018	6032	6046	6060	6074	6088	6101	6115	6129	6143	2	5	7	9	12
38	.6157	6170	6184	6198	6211	6225	6239	6252	6266	6280	2	5	7	9	11
39	.6293	6307	6320	6334	6347	6361	6374	6388	6401	6414	2	4	7	9	11
40	.6428	6441	6455	6468	6481	6494	6508	6521	6534	6547	2	4	7	9	11
41	.6561	6574	6587	6600	6613	6626	6639	6652	6665	6678	2	4	7	9	11
42	.6691	6704	6717	6730	6743	6756	6769	6782	6794	6807	2	4	6	9	11
43	.6820	6833	6845	6858	6871	6884	6896	6909	6921	6934	2	4	6	8	11
44	.6947	6959	6972	6984	6997	7009	7022	7034	7046	7059	2	4	6	8	10

NATURAL SINES

Degrees	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean Differences				
	0°.0	0°.1	0°.2	0°.3	0°.4	0°.5	0°.6	0°.7	0°.8	0°.9	1	2	3	4	5
45	.7071	7083	7096	7108	7120	7133	7145	7157	7169	7181	2	4	6	8	10
46	.7193	7206	7218	7230	7242	7254	7266	7278	7290	7302	2	4	6	8	10
47	.7314	7325	7337	7349	7361	7373	7385	7396	7408	7420	2	4	6	8	10
48	.7431	7443	7455	7466	7478	7490	7510	7513	7524	7536	2	4	6	8	10
49	.7547	7558	7570	7581	7593	7604	7615	7627	7638	7649	2	4	6	8	9
50	.7660	7672	7683	7694	7705	7716	7727	7738	7749	7760	2	4	6	7	9
51	.7771	7782	7793	7804	7815	7826	7837	7848	7859	7869	2	4	5	7	9
52	.7880	7891	7902	7912	7923	7934	7844	7955	7965	7976	2	4	5	7	9
53	.7986	7997	8007	8018	8028	8039	8049	8059	8070	8080	2	3	5	7	9
54	.8090	8100	8111	8121	8131	8141	8151	8161	8171	8181	2	3	5	7	8
55	.8192	8202	8211	8221	8231	8241	8251	8261	8271	8281	2	3	5	7	8
56	.8290	8300	8310	8320	8329	8339	8348	8358	8668	8377	2	3	5	6	8
57	.8387	8396	8406	8415	8425	8434	8443	8353	8462	8471	2	3	5	6	8
58	.8480	8490	8499	8508	8517	8526	8536	8545	8554	8563	2	3	5	6	8
59	.8572	8581	8590	8599	8607	8616	8625	8634	8643	8652	1	3	4	6	7
60	.8660	8669	8678	8686	8695	8704	8712	8721	8729	8738	1	3	4	6	7
61	.8746	8755	8763	8771	8780	8788	8796	8805	8813	8821	1	3	4	6	7
62	.8829	8838	8846	8854	8862	8870	8378	8886	8894	8902	1	3	4	5	7
63	.8910	8918	8926	8934	8942	8949	8957	8965	8973	8980	1	3	4	5	6
64	.8988	8996	9003	9011	9018	9026	9033	9041	9048	9056	1	3	4	5	6
65	.9063	9070	9078	9085	9092	9100	9107	9114	9121	9128	1	2	4	5	6
66	.9135	9143	9150	9157	9164	9171	9178	9184	9191	9198	1	2	3	5	6
67	.9205	9212	9219	9225	9232	9239	9248	9252	9259	9265	1	2	3	4	6
68	.9272	9278	9285	9291	9298	9304	9311	9317	9323	9330	1	2	3	4	5
69	.9336	9342	9348	9354	9361	9367	9373	9379	9385	9391	1	2	3	4	5
70	.9397	9403	9409	9415	9421	9426	9432	9438	9444	9449	1	2	3	4	5
71	.9455	9461	9466	9472	9478	9483	9489	9494	9500	9505	1	2	3	4	5
72	.9511	9516	9521	9527	9532	9537	9542	9548	9553	9558	1	2	3	3	4
73	.9563	9568	9573	9578	9583	9588	9593	9598	9603	9608	1	2	2	3	4
74	.9613	9617	9622	9627	9632	9639	9641	9646	9650	9655	1	2	2	3	4
75	.9659	9664	9668	9673	9677	9681	9686	9690	9694	9699	1	1	2	3	4
76	.9703	9707	9711	9715	9720	9724	9728	9732	9736	9740	1	1	2	3	3
77	.9744	9748	9751	9755	9759	9763	9767	9770	9774	9778	1	1	2	3	3
78	.9781	9785	9789	9792	9796	9777	9803	9806	9810	9813	1	1	2	2	3
79	.9816	9820	9823	9826	9829	9833	9836	9839	9842	9845	1	1	2	2	3
80	.9848	9851	9854	9857	9860	9863	9866	9869	9871	9874	0	1	1	2	2
81	.9877	9880	9882	9885	9888	9890	9893	9895	9898	9900	0	1	1	2	2
82	.9903	9905	9907	9910	9912	9914	9917	9919	9921	9923	0	1	1	2	2
83	.9925	9928	9930	9932	9934	9936	9938	9940	9942	9943	0	1	1	1	2
84	.9945	9947	9949	9951	9952	9954	9956	9957	9959	9960	0	1	1	1	2
85	.9962	9963	9965	9966	9968	9969	9971	9972	9973	9974	0	0	1	1	1
86	.9976	9977	9978	9979	9980	9981	9982	9983	9984	9985	0	0	1	1	1
87	.9986	9987	9988	9989	9990	9990	9991	9992	9993	9993	0	0	0	1	1
88	.9994	9995	9995	9996	9996	9997	9997	9997	9998	9998	0	0	0	0	0
89	.9998	9999	9999	9999	9999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0	0	0	0	0
90	1.000														

NATURAL COSINES

Degrees	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean Differences				
	0°.0	0°.1	0°.2	0°.3	0°.4	0°.5	0°.6	0°.7	0°.8	0°.9	1	2	3	4	5
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	9999	9999	9999	9999	0	0	0	0	0
1	.9998	9998	9998	9997	9997	9997	9996	9996	9995	9995	0	0	0	0	0
2	.9994	9993	9993	9992	9991	9990	9990	9989	9988	9987	0	0	0	1	1
3	.9986	9985	9984	9983	9982	9981	9980	9979	9978	9977	0	0	1	1	1
4	.9976	9974	9973	9972	9971	9969	9968	9966	9965	9963	0	0	1	1	1
5	.9962	9960	9959	9957	9956	9954	9952	9951	9949	9947	0	1	1	1	2
6	.9945	9943	9942	9940	9938	9936	9934	9932	9930	9928	0	1	1	1	2
7	.9925	9923	9921	9919	9917	9914	9912	9910	9907	9905	0	1	1	2	2
8	.9903	9900	9898	9895	9893	9890	9888	9885	9882	9880	0	1	1	2	2
9	.9877	9874	9871	9869	9866	9863	9860	9857	9854	9851	0	1	1	2	2
10	.9848	9875	9842	9839	9836	9833	9829	9826	9823	9820	1	1	2	2	3
11	.9816	9813	9810	9806	9803	9799	9796	9792	9789	9785	1	1	2	2	3
12	.9781	9778	9774	9770	9767	9763	9759	9755	9751	9748	1	1	2	3	3
13	.9744	9740	9736	9732	9728	9724	9720	9715	9711	9707	1	1	2	3	3
14	.9703	9699	9694	9690	9686	9681	9677	9673	9668	9664	1	1	2	3	4
15	.9659	9655	9650	9646	9641	9636	9632	9627	9622	9617	1	2	2	3	4
16	.9613	9608	9603	9598	9593	9588	9583	9578	9573	9568	1	2	2	3	4
17	.9563	9558	9553	9548	9542	9537	9532	9527	9521	9516	1	2	3	3	4
18	.9511	9505	9500	9494	9489	9483	9478	9472	9466	9461	1	2	3	4	5
19	.9455	9449	9444	9438	9432	9426	9421	9415	9499	9403	1	2	3	4	5
20	.9397	9391	9385	9379	9373	9367	9361	9354	9348	9342	1	2	3	4	5
21	.9336	9330	9323	9317	9311	9304	9298	9291	9285	9278	1	2	3	4	5
22	.9272	9265	9259	9252	9245	9239	9232	9225	9219	9212	1	2	3	4	6
23	.9205	9198	9191	9184	9178	9171	9164	9157	9150	9143	1	2	3	5	6
24	.9135	9128	9121	9114	9107	9100	9092	9085	9078	9070	1	2	4	5	6
25	.9063	9056	9048	9041	9033	9026	9018	9011	9003	8996	1	3	4	5	6
26	.8988	8980	8973	8965	8957	8949	8942	8934	8926	8918	1	3	4	5	6
27	.8910	8902	8894	8886	8878	8870	8862	8854	8846	8838	1	3	4	5	7
28	.8829	8821	8813	8805	8796	8788	8780	8771	8763	8755	1	3	4	6	7
29	.8746	8738	8729	8721	8712	8704	8695	8686	8678	8669	1	3	4	6	7
30	.8660	8652	8643	8634	8625	8616	8607	8599	8590	8581	1	3	4	6	7
31	.8572	8563	8554	8545	8536	8526	8517	8508	8499	8490	2	3	5	6	8
32	.8480	8471	8462	8453	8443	8434	8425	8415	8406	8396	2	3	5	6	8
33	.8387	8377	8368	8358	8348	8339	8329	8320	8310	8300	2	3	5	6	8
34	.8290	8281	8271	8261	8251	8241	8231	8221	8211	8202	2	3	5	7	8
35	.8192	8181	8171	8161	8151	8141	8131	8121	8111	8100	2	3	5	7	8
36	.8090	8080	8070	8059	8049	8039	8028	8018	8007	7997	2	3	5	7	9
37	.7986	7976	7965	7955	7944	7934	7923	7912	7902	7891	2	4	5	7	9
38	.7880	7869	7859	7848	7837	7826	7815	7804	7893	7782	2	4	5	7	9
39	.7771	7760	7749	7738	7727	7716	7705	7694	7683	7672	2	4	6	7	9
40	.7660	7649	7638	7627	7615	7604	7593	7581	7570	7559	2	4	6	8	9
41	.7547	7536	7524	7513	7501	7490	7478	7466	7455	7443	2	4	6	8	10
42	.7431	7420	7408	7396	7385	7373	7361	7349	7337	7325	2	4	6	8	10
43	.7314	7302	7290	7278	7266	7254	7242	7230	7218	7206	2	4	6	8	10
44	.7193	7181	7169	7157	7145	7133	7120	7108	7096	7083	2	4	6	8	10

NATURAL COSINES

Degrees	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean Differences				
	0°.0	0°.1	0°.2	0°.3	0°.4	0°.5	0°.6	0°.7	0°.8	0°.9	1	2	3	4	5
45	.7071	7059	7046	7034	7022	7009	6997	6984	6972	6959	2	4	6	8	10
46	.6947	6934	6921	6909	6896	6884	6871	6858	6845	6833	2	4	6	8	11
47	.6820	6807	6794	6782	6769	6756	6743	6730	6717	6704	2	4	6	9	11
48	.6691	6678	6665	6652	6639	6626	6613	6600	6587	6574	2	4	7	9	11
49	.6561	6547	6534	6521	6508	6494	6481	6468	6455	6441	2	4	7	9	11
50	.6428	6414	6401	6388	6374	6361	6347	6334	6230	6307	2	4	7	9	11
51	.6293	6280	6266	6252	6239	6225	6211	6198	6184	6170	2	5	7	9	11
52	.6157	6143	6129	6115	6101	6088	6074	6060	6046	6032	2	5	7	9	12
53	.6018	6004	5990	5976	5962	5948	5934	5920	5906	5892	2	5	7	9	12
54	.5878	5864	5850	5835	5821	5807	5793	5779	5764	5750	2	5	7	9	12
55	.5736	5721	5707	5693	5678	5664	5650	5635	5621	5606	2	5	7	10	12
56	.5592	5577	5563	5548	5534	5519	5505	5490	5476	5461	2	5	7	10	12
57	.5446	5432	5417	5402	5388	5373	5358	5344	5329	5314	2	5	7	10	12
58	.5299	5284	5270	5255	5240	5225	5210	5195	5180	5165	2	5	7	10	12
59	.5150	5135	5120	5105	5090	5075	5060	5045	5030	5015	3	5	8	10	13
60	.5000	4985	4970	4955	4939	4924	4909	4894	4879	4863	3	5	8	10	13
61	.4848	4833	4818	4802	4787	4772	4756	4741	4726	4710	3	5	8	10	13
62	.4695	4679	4664	4648	4633	4617	4602	4586	4571	4555	3	5	8	10	13
63	.4540	4524	4509	4493	4478	4462	4446	4431	4415	4399	3	5	8	10	13
64	.4384	4368	4332	4337	4321	4305	4289	4274	4258	4242	3	5	8	11	13
65	.4226	4210	4195	4179	4163	4147	4131	4115	4099	4083	3	5	8	11	13
66	.4067	4051	4035	4019	4003	3987	3971	3955	3939	3923	3	5	8	11	14
67	.3907	3891	3875	3859	3843	3827	3811	3795	3778	3762	3	5	8	11	14
68	.3746	3730	3714	3697	3681	3665	3649	3633	3616	3600	3	5	8	11	14
69	.3584	3567	3551	3535	3518	3502	3486	3469	3453	3437	3	5	8	11	14
70	.3420	3404	3387	3371	3355	3338	3322	3305	3289	3272	3	5	8	11	14
71	.3256	3239	3223	3206	3190	3173	3156	3140	3123	3107	3	6	8	11	14
72	.3090	3074	3057	3040	3024	3007	2990	2974	2957	2940	3	6	8	11	14
73	.2924	2907	2890	2874	2857	2840	2823	2807	2790	2773	3	6	8	11	14
74	.2756	2740	2723	2706	2689	2672	2656	2639	2622	2605	3	6	8	11	14
75	.2588	2571	2554	2538	2521	2504	2487	2470	2453	2436	3	6	8	11	14
76	.2419	2402	2385	2368	2351	2334	2317	2300	2284	2267	3	6	8	11	14
77	.2250	2233	2215	2198	2181	2164	2147	2130	2113	2096	3	6	9	11	14
78	.2079	2062	2045	2028	2011	1994	1977	1959	1942	1925	3	6	9	11	14
79	.1908	1891	1874	1857	1840	1822	1805	1788	1771	1754	3	6	9	11	14
80	.1736	1719	1702	1685	1668	1650	1633	1616	1599	1582	3	6	9	12	14
81	.1564	1547	1530	1513	1495	1478	1461	1444	1426	1409	3	6	9	12	14
82	.1392	1374	1357	1340	1323	1305	1288	1271	1253	1236	3	6	9	12	14
83	.1219	1201	1184	1167	1149	1132	1115	1097	1080	1063	3	6	9	12	14
84	.1045	1028	1011	0993	0976	0958	0941	0924	0906	0889	3	6	9	12	14
85	.0872	0854	0837	0819	0802	0785	0767	0750	0732	0715	3	6	9	12	15
86	.0698	0680	0663	0645	0628	0610	0593	0576	0558	0541	3	6	9	12	15
87	.0523	0506	0488	0471	0454	0436	0419	0401	0384	0366	3	6	9	12	15
88	.0349	0332	0314	0297	0279	0262	0244	0227	0209	0192	3	6	9	12	15
89	.0175	0157	0140	0122	0105	0087	0070	0052	0035	0017	3	6	9	12	15
90	.0000														

NATURAL TANGENTS

	0′ 0°·0	6′ 0°·1	12′ 0°·2	18′ 0°·3	24′ 0°·4	30′ 0°·5	36′ 0°·6	42′ 0°·7	48′ 0°·8	54′ 0°·9	Mean Differences				
											1′	2′	3′	4′	5′
0	·0000	0017	0035	0052	0070	0087	0105	0122	0140	0157	3	6	9	12	15
1	·0175	0192	0209	0227	0244	0262	0279	0297	0314	0332	3	6	9	12	15
2	·0349	0367	0384	0402	0419	0437	0454	0472	0489	0507	3	6	9	12	15
3	·0524	0542	0559	0577	0594	0612	0629	0647	0664	0682	3	6	9	12	15
4	·0699	0717	0734	0752	0769	0787	0805	0822	0840	0857	3	6	9	12	15
5	·0875	0892	0910	0928	0945	0963	0981	0998	1016	1033	3	6	9	12	15
6	·1051	1069	1086	1104	1122	1139	1157	1175	1192	1210	3	6	9	12	15
7	·1228	1246	1263	1281	1299	1317	1334	1352	1370	1388	3	6	9	12	15
8	·1405	1423	1441	1459	1477	1495	1512	1530	1548	1566	3	6	9	12	15
9	·1584	1602	1620	1638	1655	1673	1691	1709	1727	1745	3	6	9	12	15
10	·1763	1781	1799	1817	1835	1853	1871	1890	1908	1926	3	6	9	12	15
11	·1944	1962	1980	1998	2016	2035	2053	2071	2089	2107	3	6	9	12	15
12	·2126	2144	2162	2180	2199	2217	2235	2254	2272	2290	3	6	9	12	15
13	·2309	2327	2345	2364	2382	2401	2419	2438	2456	2475	3	6	9	12	15
14	·2493	2512	2530	2549	2568	2586	2605	2623	2642	2661	3	6	9	12	16
15	·2679	2698	2717	2736	2754	2773	2792	2811	2830	2849	3	6	9	13	16
16	·2867	2886	2905	2924	2943	2962	2981	3000	3019	3038	3	6	9	13	16
17	·3057	3076	3096	3115	3134	3153	3172	3191	3211	3230	3	6	10	13	16
18	·3249	3269	3288	3307	3327	3346	3365	3385	3404	3424	3	6	10	13	16
19	·3443	3463	3482	3502	3522	3541	3561	3581	3600	3620	3	7	10	13	16
20	·3640	3659	3679	3699	3719	3739	3759	3779	3799	3819	3	7	10	13	17
21	·3839	3859	3879	3899	3919	3939	3959	3979	4000	4020	3	7	10	13	17
22	·4040	4061	4081	4101	4122	4142	4163	4183	4204	4224	3	7	10	14	17
23	·4245	4265	4286	4307	4327	4348	4369	4390	4411	4431	3	7	10	14	17
24	·4452	4473	4494	4515	4536	4557	4578	4599	4621	4642	4	7	11	14	18
25	·4663	4684	4706	4727	4748	4770	4791	4813	4834	4856	4	7	11	14	18
26	·4877	4899	4921	4942	4964	4986	5008	5029	5051	5073	4	7	11	15	18
27	·5095	5117	5139	5161	5184	5206	5228	5250	5272	5295	4	7	11	15	18
28	·5317	5340	5362	5384	5407	5430	5452	5475	5498	5520	4	8	11	15	19
29	·5543	5566	5589	5612	5635	5658	5681	5704	5727	5750	4	8	12	15	19
30	·5774	5797	5820	5844	5867	5890	5914	5938	5961	5985	4	8	12	16	20
31	·6009	6032	6056	6080	6104	6128	6152	6176	6200	6224	4	8	12	16	20
32	·6249	6273	6297	6322	6346	6371	6395	6420	6445	6469	4	8	12	16	20
33	·6494	6519	6544	6569	6594	6619	6644	6669	6694	6720	4	8	13	17	21
34	·6745	6771	6796	6822	6847	6873	699	6924	6950	6976	4	9	13	17	21
35	·7002	7028	7054	7080	7107	7133	7159	7186	7212	7239	4	9	13	18	22
36	·7265	7292	7319	7346	7373	7400	7427	7454	7481	7508	5	9	14	18	23
37	·7536	7563	7590	7618	7646	7673	7701	7729	7757	7785	5	9	14	18	23
38	·7813	7841	7869	7898	7926	7954	7983	8012	8040	8069	5	9	14	19	24
39	·8098	8127	8156	8185	8214	8243	8273	8302	8332	8361	5	10	15	20	24
40	·8391	8421	8451	8481	8511	8541	8571	8601	8632	8662	5	10	15	20	25
41	·8693	8724	8754	8785	8816	8847	8878	8910	8941	8972	5	10	16	21	26
42	·9004	9036	9067	9099	9131	9163	9195	9228	9260	9293	5	11	16	21	27
43	·9325	9358	9391	9424	9457	9490	9523	9556	9590	9623	6	11	17	22	28
44	·9657	9691	9725	9759	9793	9827	9861	9896	9930	9965	6	11	17	23	29

NATURAL TANGENTS

	0′ 0°·0	6′ 0°·1	12′ 0°·2	18′ 0°·3	24′ 0°·4	30′ 0°·5	36′ 0°·6	42′ 0°·7	48′ 0°·8	54′ 0°·9	Mean Defferences 1′ 2′ 3′	4′ 5′
45	1·0000	0035	0070	0105	0141	0176	0212	0247	0283	0319	6 12 18	24 30
46	1·0355	0392	0428	0464	0501	0538	0575	0612	0649	0686	6 12 18	25 31
47	1·0724	0761	0799	0837	0875	0913	0951	0990	1028	1067	6 13 19	25 32
48	1·1106	1145	1184	1224	1263	1303	1343	1383	1423	1463	7 13 20	27 33
49	1·1504	1544	1585	1626	1667	1708	1750	1792	1833	1875	7 14 21	28 34
50	1·1918	1960	2002	2045	2088	2131	2174	2218	2261	2305	7 14 22	29 35
51	1·2349	2393	2437	2482	2527	2572	2617	2662	2708	2753	8 15 23	30 38
52	1·2799	2846	2892	2938	2985	3032	3079	3127	3175	3222	8 16 24	31 39
53	1·3270	3319	3367	3416	3465	3514	3564	3613	3663	3713	8 16 25	33 41
54	1·3764	3814	3865	3916	3968	4019	4071	4124	4176	4229	9 17 26	34 43
55	1·4281	4335	4388	4442	4496	4550	4605	4659	4715	4770	9 18 27	36 45
56	1·4826	4882	4938	4994	5051	5108	5166	5224	5282	5340	10 19 29	38 48
57	1·5399	5458	5517	5577	5637	5697	5757	5818	5880	5941	10 20 30	40 50
58	1·6003	6066	6128	6191	6255	6319	6383	6447	6512	6577	11 21 32	43 53
59	1·6643	6709	6775	6842	6909	6977	7045	7113	7182	7251	11 23 34	45 56
60	1·7321	7391	7461	7532	7603	7675	7747	7820	7893	7966	12 24 36	48 60
61	1·8040	8115	8190	8265	8341	8418	8495	8572	8650	8728	13 26 38	51 64
62	1·8807	8887	8967	9047	9128	9210	9292	9375	9458	9542	14 27 41	55 68
63	1·9626	9711	9797	9883	9970	2·0057	2·0145	2·0233	2·0323	2·0413	15 29 44	58 73
64	2·0503	0594	0686	0778	0872	0965	1060	1155	1251	1348	16 31 47	63 78
65	2·1445	1543	1642	1742	1842	1943	2045	2148	2251	2355	17 34 51	68 85
66	2·2460	2566	2673	2781	2889	2998	3109	3220	3332	3445	18 37 55	73 92
67	2·3559	3673	3789	3906	4023	4142	4262	4383	4504	4627	20 40 60	79 99
68	2·4751	4876	5002	5129	5257	5386	5517	5649	5782	5916	22 43 65	87 108
69	2·6051	6187	6325	6464	6605	6746	6889	7034				95 119
70	2·7475	7625	7776	7929	8083	8239	8397	8556	8716	8878	26 52 78	104 131
71	2·9042	9208	9375	9544	9714	9887	3·0061	3·0237	3·0415	3·0595	29 58 87	116 145
72	3·0777	0961	1146	1334	1524	1716	1910	2106	2305	2506	32 64 96	129 161
73	3·2709	2914	3122	3332	3544	3759	3977	4197	4420	4646	36 72 108	144 180
74	3·4874	5105	5339	5576	5816	6059	6305	6554	6806	7062	41 81 122	163 204
75	3·7321	7583	7848	8118	8391	8667	8947	9232	9520	9812	46 93 139	186 232
76	4·0108	0408	0713	1022	1335	1653	1976	2303	2635	2972	53 107 160	213 267
77	4·3315	3662	4015	4374	4737	5107	5483	5864	6252	6646		
78	4·7046	7453	7867	8288	8716	9152	9594	5·0045	5·0504	5·0970	Mean differences cease to be sufficiently accurate.	
79	5·1446	1929	2422	2924	3435	3955	4486	5026	5578	6140		
80	5·6713	7297	7894	8502	9124	9758	6·0405	6·1066	6·1742	6·2432		
81	6·3138	3859	4596	5350	6122	6912	7720	8548	9395	7·0264		
82	7·1154	2066	3002	3962	4947	5958	6996	8062	9158	8·0285		
83	8·1443	2636	3863	5126	6427	7769	9152	9·0579	9·2052	9·3572		
84	9·5144	9·677	9·845	10·02	10·20	10·39	10·58	10·78	10·99	11·20		
85	11·43	11·66	11·91	12·16	12·43	12·71	13·00	13·30	13·62	13·95		
86	14·30	14·67	15·06	15·46	15·89	16·35	16·83	17·34	17·89	18·46		
87	19·08	19·74	20·45	21·20	22·02	22·90	23·86	24·90	26·03	27·27		
88	28·64	30·14	31·82	33·69	35·80	38·19	40·92	44·07	47·74	52·08		
89	57·29	63·66	71·62	81·85	95·49	114·6	143·2	191·0	286·5	573·0		
90	∞											