इग्नू
जन-जन का
विश्वविद्यालय

इंदिरा गांधी राष्ट्रीय मुक्त विश्वविद्यालय
विज्ञान विद्यापीठ

BPHEL-142
आधुनिक भौतिकी के तत्व: प्रयोगशाला

प्रयोग 1

pn-डायोड के *V-I* अभिलक्षिणिक से बोल्ट्स़मान नियतांक का निर्धारण। 5

प्रयोग 2

कम से कम चार रंगों के एलईडी (LED) का उपयोग करके प्लांक नियतांक का निर्धारण 11

प्रयोग 3

पारे के आयनन विभव का निर्धारण 17

प्रयोग 4

हाइड्रोज़न परमाणु की H- अलफ़ा उत्सर्जन रेखा की तरंगदैर्घ्य का निर्धारण 23

प्रयोग 5

आयोडीन वाष्प के स्पेक्ट्रम में अवशोषण रेखाओं का अध्ययन 31

प्रयोग 6

लेसर स्त्रोत के उपयोग करके एकल और द्वि–स्लिट विवर्तन चित्र का अध्ययन और लेसर का तरंगदैर्घ्य निर्धारण 37

प्रयोग 7

प्रकाश विद्युत् प्रभाव का अध्ययन 45

प्रयोग 8

चुम्बकीय फ़ोकसन से *e/m* का निर्धारण। 55

प्रयोग 9

मिलिकन बिंदुपात प्रयोग का स्थापन और इलेक्ट्रॉन के आवेश का निर्धारण 61

प्रयोग 10

दंड चुंबक से *e/m* का निर्धारण 67

पाठ्यक्रम अभिकल्प समिति

प्रो. ए.के. घटक (*सेवानिवृत्त*)
आई. आई. टी., दिल्ली
दिल्ली

प्रो. सुरेश गर्ग (*सेवानिवृत्त*)
विज्ञान विद्यापीठ
इं.गां.रा.मु.वि., नई दिल्ली
कुलपति,
ऊषा मार्टिन विश्वविद्यालय

प्रो. आर.एम. मेहरा (*सेवानिवृत्त*)
इलेक्ट्रॉनिकी विभाग,
दक्षिण परिसर
दिल्ली विश्वविद्यालय, दिल्ली

डॉ. अशोक गोयल (*सेवानिवृत्त*)
भौतिकी विभाग, हंसराज कॉलेज
दिल्ली विश्वविद्यालय, दिल्ली

डॉ. पार्थसारथी
भौतिकी विभाग, महाराजा अग्रसेन कॉलेज
दिल्ली विश्वविद्यालय, दिल्ली

प्रो. एम.एस. नाथावत
भूतपूर्व निदेशक, विज्ञान विद्यापीठ,
इं.गां.रा.मु.वि., नई दिल्ली

प्रो. विजयश्री
विज्ञान विद्यापीठ
इं.गां.रा.मु.वि., नई दिल्ली

प्रो. सुदीप रंजन झा
विज्ञान विद्यापीठ
इं.गां.रा.मु.वि., नई दिल्ली

प्रो. शुभा गोखले
विज्ञान विद्यापीठ
इं.गां.रा.मु.वि., नई दिल्ली

प्रो. संजय गुप्ता
विज्ञान विद्यापीठ
इं.गां.रा.मु.वि., नई दिल्ली

डॉ. शुभलक्ष्मी लांबा
विज्ञान विद्यापीठ
इं.गां.रा.मु.वि., नई दिल्ली

पाठ्यक्रम निर्माण दल

डॉ. दिव्या हरिदास
(प्रयोग 1,2,5)
केशव महाविद्यालय
दिल्ली विश्वविद्यालय ,दिल्ली
डॉ. राकेश मलिक
(प्रयोग 6,10)
आत्मा राम सनातन धर्म कॉलेज
दिल्ली विश्वविद्यालय, दिल्ली

डॉ. रक्षा शर्मा
(प्रयोग 7)
किरोड़ी मल कॉलेज
दिल्ली विश्वविद्यालय, दिल्ली

डॉ. एम. बुआजबू न्यूमइ
(प्रयोग 3,4,8,9)
विज्ञान विद्यापीठ
इं.गां.रा.मु.वि., नई दिल्ली

पाठ्यक्रम समन्वयकः डा. शुभलक्ष्मी लांबा, डॉ. एम. बुआजबू न्यूमई

अनुवाद

डॉ. शुभलक्ष्मी लांबा
विज्ञान विद्यापीठ
इं.गां.रा.मु.वि., नई दिल्ली

खंड मुद्रण

सहायक कुल सचिव (प्रकाशन), इग्नू

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

मई, 2022

© *इंदिरा गांधी राष्ट्रीय मुक्त विश्वविद्यालय, 2022*

ISBN:

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

सर्वाधिकार सुरक्षित। इस कार्य का कोई भी अंश इंदिरा गांधी राष्ट्रीय मुक्त विश्वविद्यालय की लिखित अनुमति लिए बिना मिमियोग्राफ अथवा किसी अन्य साधन से पुनः प्रस्तुत करने की अनुमति नहीं है।इंदिरा गांधी राष्ट्रीय मुक्त विश्वविद्यालय के पाठ्यक्रमों के विषय में और अधिक जानकारी विश्वविद्यालय के कार्यालय मैदान गढ़ी, नई दिल्ली-110068 और इग्नू की वेबसाइट www.ignou.ac.in से प्राप्त की जा सकती है। इंदिरा गांधी राष्ट्रीय मुक्त विश्वविद्यालय की ओर से प्रो. सुजाता वर्मा, निदेशक, विज्ञान विद्यापीठ द्वारा मुद्रित एवं प्रकाशित।

आधुनिक भौतिकी के तत्वः प्रयोगशाला

बीपीएचईटी–141 पाठ्यक्रम की इकाई 4 मेंआपने उन महत्वपूर्ण प्रयोगों के बारे में अध्ययन किया जिन्होंने क्वांटम यांत्रिकी के विकास की नींव रखी। इन प्रयोगों को समझाने के लिए नई अवधारणाओं की आवश्यकता थी जो क्लासिकी विचारों से बिल्कुल अलग थीं। आज ये विचार भौतिक दुनिया की हमारी समझ का एक आंतरिक हिस्सा हैं।वे कई उन्नत प्रयोगात्मक उपकरणों और युक्तियों का आधार भी बनाते हैं।इस प्रयोगशाला पाठ्यक्रम में, आप क्वांटम यांत्रिकी की मूलभूत अभिधारणाओं पर आधारित प्रयोगकरेंगे जिनका आपने खंड 2 में अध्ययन किया है।आप महत्वपूर्ण मौलिक नियतांक निर्धारित करेंगे, परमाणु के क्वांटम मॉडल और विकिरण की क्वांटम प्रकृति का सत्यापन करेंगे।हमें उम्मीद है कि यह पाठ्यक्रम आपको क्वांटम भौतिकी की अवधारणाओं को बेहतर ढंग से समझने में मदद करेगा और ये भी कि प्रयोगात्मक प्रेक्षणा ं को समझाने के लिए वे क्यों आवश्यक हैं।आपेक्षिकता के विशिष्ट सिद्धांत और नाभिकीय भौतिकी , जिनका आपने बीपीएचईटी–141 के खंड 1 और 4 में अध्ययन किया है, पर प्रयोग, स्नातक स्तर के इस पाठ्यक्रम के दायरे से बाहर हैं।

जैसा कि आपके पहले प्रयोगशाला पाठ्यक्रमा में था, इस पाठ्यक्रम की अध्ययन सामग्री प्रत्येक प्रयोग के स्पष्ट उद्देश्यों को बताएगी, प्रासंगिक सैद्धांतिक पृष्ठभूमि प्रदान करेगी और प्रयोग को पूरा करने के लिए चरण–दर–चरण मार्ग दर्शिका भी प्रदान करेगी।अब तक आप भौतिक विज्ञान की प्रयोगशाला में प्रयुक्त होने वाले अनेक उपकरणों से परिचित हो चुके हैं। यदि कोई नया उपकरण प्रयोग किया जाता है, तो उसका संक्षिप्त परिचय अध्ययन सामग्री में दिया गया है।प्रयोगकरने से पहले, कृपया प्रत्येक प्रयोग को ध्यान से पढ़ें।

इस पाठ्यक्रम के प्रयोग 1 और 2 में, आप दो महत्वपूर्ण मूलभूत नियतांकों का मान निर्धारित करेंगे, अर्थात् बोल्ट्समान नियतांक और प्लांक नियतांक। आप पहले ही बीपीएचसीएल–134 के प्रयोग 9 में *pn*-संधि डायोड की *I-V* अभिलक्षणिकों का अध्ययन कर चुके हैं।इस पाठ्यक्रम के प्रयोग 1 में, आप शाक्ले डायोड समीकरण का उपयोग करते हुए *pn*-संधिडायोड की *I-V* अभिलक्षणिकों से बोल्ट्समान नियतांक का मान निर्धारित करेंगे। प्रयोग 2 में, आप विभिन्न रंगीन एल ई डी का उपयोग करके और उनकी *I-V* अभिलक्षणिकों से प्लांक नियतांक का मान निर्धारित करेंगे। एल ई डी एक महत्वपूर्ण अर्धचालक उपकरण हैं और हमने उनके काम करने का एक संक्षिप्त विवरण शामिल किया है।

प्रयोग 3 में आप पारे के आयनन विभव का मान ज्ञात करेंगे। यह प्रयोग जेम्स फ्रैंक और गुस्ताव हट्र्ज़ के प्रसिद्ध 1914 के प्रयोग का विस्तार है, जो पहला वैद्युत मापन था जिसने परमाणुओं की क्वांटम प्रकृति को स्पष्ट रूप से प्रदर्शित किया और बोर मॉडल के अनुरूप था।इस प्रयोग में, आप पारे के आयनन विभव का निर्धारण करने के लिए एक पारे से भरे डायोड का उपयोगकरेंगे, जिसे परमाणु से एक इलेक्ट्रॉन को निकालने के लिए आवश्यक न्यूनतम ऊर्जा के रूप में परिभाषित किया जाता है।

प्रयोग 4 में आप हाइड्रोजन परमाणु के उत्सर्जन स्पेक्ट्रम का अध्ययन करेंगे।जब एक हाइड्रोजन परमाण ु विद्युत विसर्जन से उत्तेजित होता है, तो यह दृश्य क्षेत्र में रेखाओं की एक श्रेणी का उत्सर्जन करता है जिसे बामर श्रेणी कहा जाता है।बामर श्रेणी की रेखाओं की तरंगदैर्घ्य का निर्धारण करने के लिए आप बामर द्वारा प्रस्तावित अनुभवजन्य संबंध का उपयोग करेंगे। H- अल्फा उत्सर्जन रेखा दो विक्तिक्त ऊर्जा स्तरों($n = 3 \rightarrow n = 2$) के बीच इलेक्ट्रॉन के संक्रमण द्वारा निर्मित होती है। उत्सर्जन स्पेक्ट्रम में रेखाएं परमाणु

में क्वांटमीकृत ऊर्जा स्तरों के बीच इलेक्ट्रॉन के संक्रमण से उत्पन्न होती हैं।तो यह प्रयोग भी बोर के परमाणु मॉडल का सत्यापन है।

प्रयोग 5 में आप आयोडीन वाष्प के अवशोषण स्पेक्ट्रम का अध्ययन करेंगे। आयोडीन एक द्वि परमाणुक अणु है।जैसा कि आप इस प्रयोग में अध्ययन करेंगे, परमाणुओं की तरह, अणुओं में भी विविक्त ऊर्जा स्तर होते हैं।आणविक ऊर्जा स्तर,परमाणु ऊर्जा स्तरों की तुलना में अधिक जटिल होत हैं,क्योंकि अणुओं में उनकी घूर्णी/कंपन गति के कारण कई स्वतंत्रता कोटि होती है।अणु का अवशोषण स्पेक्ट्रम भी विविक्त ऊर्जा स्तरों के बीच इलेक्ट्रॉनों के संक्रमण से बनता है।आप एक विवर्तन ग्रेटिंग, जिसका उपयोग आपने बीपीएचसीएल–138 में भी किया है, का उपयोग करके विभिन्न अवशोषण रेखाओं का तरंग दैर्ध्य निर्धारित करेंगे।

प्रयोग 6 में, आप एक लेज़र स्रोत का उपयोग करके एकल और द्वि स्लिट के लिए विवर्तन पैटर्न स्थापित करेंगे और विवर्तन पैटर्न से लेज़र की तरंग दैर्ध्य निर्धारित करेंगे।प्रयोग 7 में आप प्रकाश–विद्युत प्रभाव के विभिन्न अभिलक्षणों का अध्ययन करेंगे।आप प्रकाश–विद्युत प्रभाव के क्वांटमसिद्धांतों को सत्यापितकरेंगे और समझेंगे कि यह प्रयोग विद्युत चुम्बकीय विकिरण की क्वांटम प्रकृति को कैसे स्थापित करता है।

प्रयोग 8, 9, और 10 में आप दो और महत्वपूर्ण भौतिकस्थिरांक, इलेक्ट्रॉन के आवेश संहति अनुपात का मान (*e*/*m*) और इलेक्ट्रॉनिक आवेश (*e*) का मान निर्धारित करेंगे। प्रयोग 8 में, चुंबकीय फोकसन की विधि का उपयोगकरके *e*/*m* का मान निर्धारित किया जाता है। आप सीखेंग कि कैथोड किरण नलिका(CRT) में इलेक्ट्रॉन किरण पुंज के फोकसन के लिए एक चुंबकीय लेंस के रूप में एक धारा वहन परिनालिका का उपयोग कैसे किया जाता है। प्रयोग 9 में, आप विद्युत क्षेत्र के अंतर्गत धातु इलेक्ट्रोड के बीच तेल की बूंदों की गति का अध्ययन करके, मिलिकन बिंदुपात उपकरण काउ पयोगकरके, एक इलेक्ट्रॉन का आवेश निर्धारित करेंगे। यह सरल और सुरुचिपूर्ण प्रयोग एक इलेक्ट्रॉन के आवेश का आश्चर्यजनक रूप से सटीक मान देता है।प्रयोग 10 में, *e*/*m* का मान एक दंड चुंबक द्वारा, CRT से इलेक्ट्रॉन किरण पुंज के विक्षेपण का अध्ययन करके, निर्धारित किया जाता है।

हमें उम्मीद है कि ये प्रयोग आपको भौतिकी में आगे के पाठ्यक्रमों की पढ़ाई के लिए आवश्यक कौशल विकसित करने में मदद करेंगे और आपको यह समझने में भी मदद करेंगे कि भौतिक घटनाओं की सटीक समझ स्थापित करन में प्रयोगात्मक और सैद्धांतिक ज्ञान कैसे साथ–साथ चलते हैं।

हम आपकी सफलता की कामना करते हैं!

प्रयोग 1

p-n डायोड के *V-I* अभिलाक्षणिकों का उपयोग करते हुए बोल्ट्समान नियतांक का निर्धारण

इकाई की रूपरेखा

1.1 परिचय
अपेक्षित कौशल
1.2 सैद्धांतिक अवधारणाएँ
शाकले डायोड समीकरण
शाकले डायोड समीकरण से बोल्ट्स मान नियतांक
1.3 अर्धचालक के प्रगोग से बोल्ट्समान नियतांक का मापन
1.4 बोल्ट्समान नियतांक का निर्धारन
1.5 सावधानियां और त्रुटि के स्रोत

1.1 परिचय

हमारे दैनिक जीवन में हम विभिन्न प्रकार की पदार्थों के साथ काम करते हैं। इनमें से कुछ पदार्थ विद्युत् चालान करते हैं रहे हैं और अन्य बिल्कुल भी नहीं करते हैं। घर में इस्तेमाल होने वाले बिजली के तार तांबे और एल्यूमीनियम जैसे पदार्थों के बने होते हैं । ऐसी पदार्थों को अच्छे चालक या सुचालक के रूप में वर्गीकृत किया जाता है। रबर, प्लास्टिक और कपास जैसी कुछ पदआर्थ विद्युत धारा को बिल्कुल भी संचरित नहीं करती हैं और इन्हें विद्युत् रोधी पदार्थ (इन्सुलेटर) के रूप में वर्गीकृत किया जाता है। पदार्थों का एक और समूह है जिन की विद्युत् चालकता एक सुचलक और और एक कुचलक के बीच की होती है। उन्हें अर्धचालक के रूप में जाना जाता है। अर्धचालक परम शून्य तापमान पर एक इन्सुलेटर जैसा व्यवहार करते हैं। कमरे के तापमान पर इन पदार्थों की चालकता सुचालक की तुलना में काफी कम होती है लेकिन विद्युत् रोधी पदार्थ की तुलना में बहुत अधिक होती है। यही कारण है कि इन पदार्थों को अर्धचालक के रूप में वर्गीकृत किया जाता है। BPHEL–134 के प्रयोग 9 में आपने अर्धचालकों की *VI* अभिलाक्षणिकों कैसे प्राप्त किये जाते हैं यह सीखा है।इस प्रयोग में आप सीखेंगे कि *pn* संधि डायोड के *VI* अभिलाक्षणिकों से बोल्ट्स मान नियतांक कैसे ज्ञात किया जाता है ।

अपेक्षित कौशल

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

- *p-n* संधि डायोड के *V-I* अभिलाक्षणिकों को प्राप्त करने के लिए उपकरण व्यवस्थित कर पाएंगेः और
- *V-I* अभिलाक्षणिकों से बोल्ट्समान नियतांक की गणना कर सकेंगे ।

इस प्रयोग को करने के लिए आपको निम्नलिखित उपकरण की आवश्यकता होगी।

आवश्यक उपकरण

p-n संधि डायोड, DC विद्युत् प्रदाय, धारा नियंत्रक, मिलीऐमीटर, अंकीय वोल्टता मापी (कम से कम अल्पतमांक वाली) और संयोजी तार।

प्रयोग शुरू करने से पहले, आइए बुनियादी अंतर्निहित अवधारणाओं पर संक्षेप में चर्चा करें।

1.2 सैद्धांतिक अवधारणाएं

1.2.1 शाकले डायोड समीकरण

आपके प्रयोगशाला पाठ्यक्रम BPHEL–134 के प्रयोग 9 में, आपने अर्धचालक और *p-n* डायोड की बुनियादी अवधारणाओं का अध्ययन किया है। आपने *p-n* संधि डायोड के *V-I* अभिलाक्षणिकों को अग्रदिशिक और पश्चदिशिक बायसित स्थितियों में भी प्राप्त की हैं। सामान्य तौर पर *V-I* अभिलाक्षणिकों का वर्णन निम्नलिखित शाकले डायोड समीकरण द्वारा किया जाता हैः

$$I_D = I_S\left(e^{V_D/\eta V_T} - 1\right) \qquad (1.1)$$

जहाँ डायोड धारा है।

I_D डायोड धारा है।

I_S पश्चदिशिक संतृप्ति धारा है।

V_D डायोड में अनुप्रयुक्त वोल्टता है।

V_T तापीय वोल्टता है

η एक आदर्शता कारक है, जो प्रचलन दशा और भौतिक रचना पर निर्भर करता है और इसका परिसर १ से २ के बीच है, जो कि कई कारकों पर निर्भर करता है ।इसका मान ३.(जीई) और ३.(सी के लिए)।

इसका मान $\eta = 1$ (Ge के लिए) और $\eta = 2$ (Si के लिए) ।

$\eta = 1$, के लिए समीकरण (1.1) आदर्श शाकले डायोड समीकरण कहलाता है। तापीय वोल्टता V_T निम्न रूप में परिभाषित हैः

$$V_T = \frac{k_B T}{e} \qquad (1.2)$$

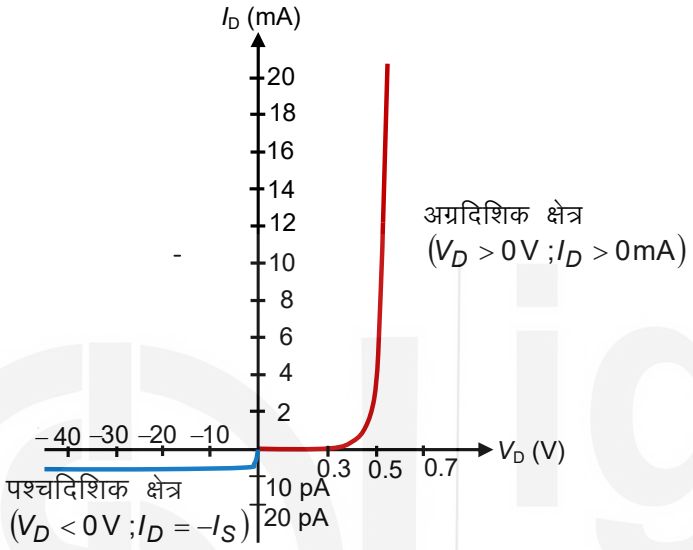
जहां

k_B बोल्ट्समान नियतांक है (= 1.38 X 10^{-23} JK^{-1})

T केल्विन में परम तापमान है (=°C में तापमान + 273)

e इलेक्ट्रॉनिक आवेश का परिमाण है (= 1.6×10^{-19} C)

समीकरण1.1 का एक प्रतिरूपी आलेख चित्र 1.1 में दिखाया गया है।



चित्र 1.1: शाकले डायोड समीकरण का प्रतिरूपी आलेख ।

V_D के धनात्मक मानों के लिए, समीकरण (1.1) का पहला पद यानी $I_D = I_S e^{V_D/\eta V_T}$ बहुत तेजी से बढ़ेगा और दूसरे पद, यानी I_S, की तुलना में बहुत अधिक होगा ।इसलिए पहले पद की तुलना में दूसरे पद की आसानी से उपेक्षा की जा सकती है। इससे समीकरण(1.1) को हम लिख सकते है :

$$I_D \cong I_S e^{V_D/\eta V_T} \qquad (1.3)$$

V_D के ऋणात्मक मानों के साथ , पहला पद (चर घातांकी पद) बहुत जल्दी समाप्त हो जाता है, जिससे निम्नलिखित समीकरण प्राप्त होता है :

$$I_D \cong -I_S \qquad (1.4)$$

1.2.2 शाकले डायोड समीकरण से बोल्ट्समान नियतांक

V_T को समीकरण (1.2) से समीकरण (1.1) में प्रतिस्थापित करने पर हम प्राप्त करते हैं:

$$I_D = I_S\left(e^{V_D e/\eta k_B T} - 1\right) \qquad (1.5)$$

समीकरण (1.5) के दोनों पक्षों का लघुगुणक लेने पर हमें मिलता है

$$\log_{10} I_D = \log_{10} I_S + \frac{V_D e}{2.303\eta k_B T} \qquad (1.6)$$

$\log_{10} I_D$ और V_D के बीच ग्राफ़ आलेखित करने पर हम देख सकते हैं की प्रवणता (slope) होगी $\frac{e}{2.303\eta k_B T}$, जिससे बोल्ट्समान नियतांक का मूल्यांकन किया जा सकता है:

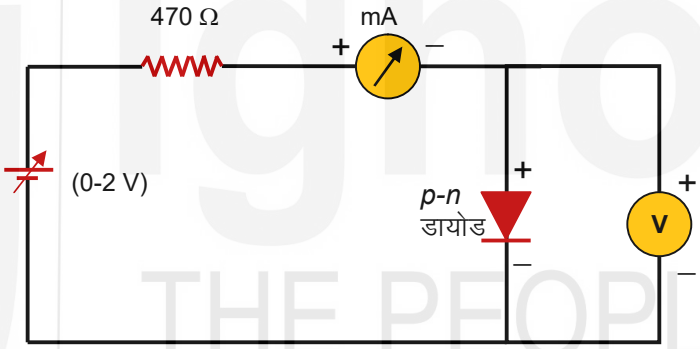
$$Slope = \frac{e}{2.303\eta k_B T} \Rightarrow k_B = \frac{e}{2.303\eta T(Slope)} \qquad (1.7)$$

इस प्रारंभिक ज्ञान के साथ अब आप प्रयोग कर सकते हैं।

1.3 अर्धचालक के प्रगोग से बोल्ट्समान नियतांक का मापन

प्रयोग करने के लिए नीचे वर्णित प्रक्रिया का अनुसरण करें ।

1. चित्र 1.2 के अनुसार संबंधन बनाएं। *p-n* डायोड को अग्रदिशिक बायसित विधि में जोड़ें । वोल्टतामापी को डायोड के आर–पार और एक मिली ऐमीटर को श्रेणी क्रम में परिपथ से जोड़ें ।



चित्र 1.2: *p-n* डायोड के *V-I* अभिलाक्षणिकों से बोल्ट्समान नियतांक निर्धारित करने के लिए परिपथ आरेख ।

2. छोटे चरणों में निवेशी वोल्टता को 0 V से बढ़ाएं। वोल्टतामापी डायोड के आर–पार वोल्टता (V में) मापेगा और ऐमीटर परिपथ में बहने वाली धारा का मापन करेगा।
3. प्रेक्षण सारणी 1.1 में वोल्टता और धारा की रीडिंग के पाठ्यांक लिखें । एक अंकीय वोल्टता मापी और ऐमीटर (अधिमानतः कम से कम अल्पतमांक वाली) का प्रयोग अधिकतम पाठ्यांक सुनिश्चित करेगा और त्रुटि की संभावना को भी कम करेगा।
4. पाठ्यांक तब तक लें जब तक कि करंट 20उ। का मान तक न पहुंच जाए। कमरे के तापमान पर ध्यान दें।
5. वोल्टता V (x- अक्ष के अनुदिश) के साथ $\log_{10} I_D$ (y- के अनुदिश) का एक ग्राफ़ बनायें । एक प्रतिरूपी आलेख चित्र 1.3 में दिखाया गया है । क्योंकि $\log_{10} I_D$ ऋणात्मक हैं , इसलिए ग्राफ को चौथे चतुर्थांश में आलेखित किया गया है। एक सीधी रेखा प्राप्त होती है।

प्रेक्षण सारणी 1.1: धारा का वोल्टता के साथ विचरण

तापमान, T =.....K

वोल्टतामापी का अल्पतमांक =..... V

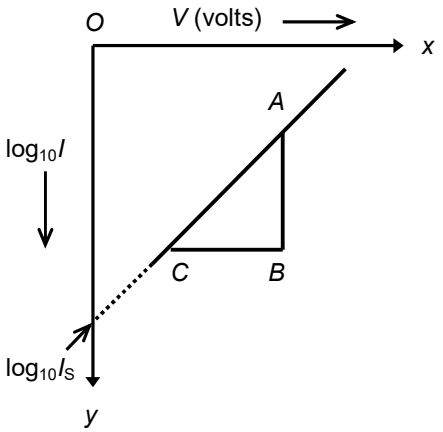
ऐमीटर का अल्पतमांक =..... A

S.No.	वोल्टता *V* (Volts)	धारा *I* (mA)	धारा *I* (A)	$Log_{10} I$
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				
16.				

1.4 बोल्ट्समान नियतांक का निर्धारण

सीधी रेखा की प्रवणता की गणना इस प्रकार करें जैसा की चित्र 1.3 में दिखाया गया है (प्रवणता धनात्मक है):

$$Slope = \frac{AB}{BC}$$



चित्र 1.3: $\log_{10} I$ का *V* के साथ आलेख।

बोल्ट्समान नियतांक k_B की गणना निम्न समीकरण से कर सकते हैं:

$$k_B = \frac{e}{2.303\eta T} \times \frac{1}{Slope}$$

e और T के मानों का उपयोग करके और η का मान रखने पर (300 K पर, एक सिलिकॉन डायोड के लिए η का मान 2 है) k_B के मान की गणना निम्न रूप से कर सकते हैं

$$k_B = \frac{11.59 \times 10^{-23}}{Slope} = ...JK^{-1}$$

परिणाम

बोल्ट्समान नियतांक = $.....JK^{-1}$

मानक मान = $1.38 \times 10^{-23} JK^{-1}$

प्रतिशत त्रुटि = $1.38 \times 10^{-23} JK^{-1}$

1.5 सावधानियाँ और त्रुटि के स्रोत

- आदर्शता कारक का मान जर्मेनियम डायोड के लिए 1 के बराबर है और सिलिकॉन डायोड के लिए 2 के बराबर है। प्रयोग में प्रयुक्त मान चद जंक्शन डायोड के अनुसार लिए जाएँ ।

- चद जंक्शन डायोड अग्रदिशिक रूप में जुड़ा होना चाहिए ।

- निवेशी वोल्टता को धीरे–धीरे बढ़ाया जाना चाहिए और इसे उच्च मूल्य तक नहीं बढ़ाया जाना चाहिए अन्यथा यह डायोड को नुकसान पहुंचा सकता है।

प्रयोग 2

कम से कम चार अलग–अलग रंगों के एलईडी का उपयोग करके प्लांक नियतांक का निर्धारण

प्रयोग की रूपरेखा

2.1 परिचय
अपेक्षित कौशल
2.2 प्रकाश उत्सर्जक डायोड (एलईडी)
एक एलईडी का प्रचालन
एलईडी के *I-V* अभिलाक्षणिक
2.3 विभिन्न रंगों के एलईडी का उपयोग करते हुए प्लांक नियतांक का मापन
2.4 प्लांक नियतांक का परिकलन
2.5 सावधानियां और त्रुटि के स्रोत

2.1 परिचय

प्लांक नियतांक, *h*, एक मौलिक भौतिक नियतांक है जो परमाण्वीय पैमाने पर कणों और तरंगों के व्यवहार की व्याख्या करता है और प्रकाश के कण पहलु को समझाता है । आपने बीपीएचईटी–141 पाठ्यक्रम के खंड 2 में प्लांक नियतांक की प्रासंगिकता के बारे में अध्ययन किया है। इस प्रयोग में हम एक प्रकाश उत्सर्जक डायोड (एलईडी) का उपयोग करके प्लांक नियतांक का मान निर्धारित करते हैं।

प्रायोगिक रूप से प्लांक नियतांक निर्धारित करने के लिए, आपको आवृत्ति ν के फोटॉन की ऊर्जा, $h\nu$, को जानना होगा । यह दो तरीकों से किया जा सकता हैः i) पदार्थ के अवशोषित ऊर्जा का निर्धारण करके जब एक फोटॉन उस पर आपतित होता है, या ii) एक फोटॉन उत्सर्जित होने पर पदार्थ द्वारा खोई गई ऊर्जा का निर्धारण करके। प्रकाश विद्युत् प्रभाव का उपयोग करके प्लैंक के स्थिरांक को निर्धारित करने में हम पहली अवधारणा का उपयोग करते हैं। इस प्रयोग में हम दूसरी विधि का उपयोग करते हैं जहां विभिन्न रंगों के एलईडी का उपयोग करके फोटॉन के उत्सर्जन का अध्ययन किया जाता है।

अपेक्षित कौशल

सक्षम होना चाहिए

- ❖ एक एलईडी के प्रचालन को समझ पाएंगे;
- ❖ प्लांक नियतांक का निर्धारण करने के लिए उपकरण को व्यवस्थित कर पाएंगे ;
- ❖ कोष्ठ ताप पर एलईडी के *I-V* अभिलाक्षणिकों को आरेखित कर पाएंगे ;
- ❖ प्रकाश की तरंग दैर्ध्य के साथ देहली वोल्टा के विचरण को समझ सकेंगे ; और
- ❖ प्लांक नियतांक का परिकलन कर सकेंगे ।

इस प्रयोग को करने के लिए आपको निम्नलिखित उपकरण की आवश्यकता होगी।

आवश्यक उपकरण

पांच अलग रंगों के एलईडी ,DC विद्युत प्रदाय , धारा नियंत्रक, मिलीऐमीटर(0–20 mA), अंकीय वोल्टतामापी(अल्पतमांक 0.05 V) और संबंधन तार।

प्रयोग शुरू करने से पहले, आइए बुनियादी अंतर्निहित अवधारणाओं पर संक्षेप में चर्चा करें। आइए अब एलईडी के प्रचालन और गुणधर्मों के बारे में अध्ययन करें।

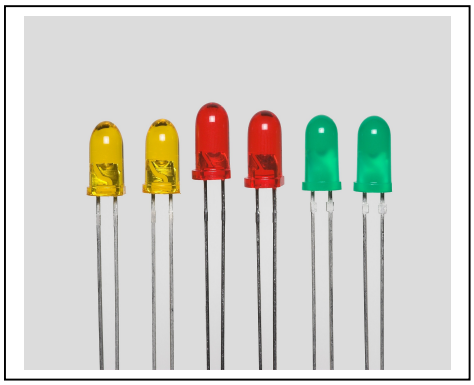
2.2 प्रकाश उत्सर्जक डायोड (एलईडी)

2.2.1 एलईडी का प्रचालन

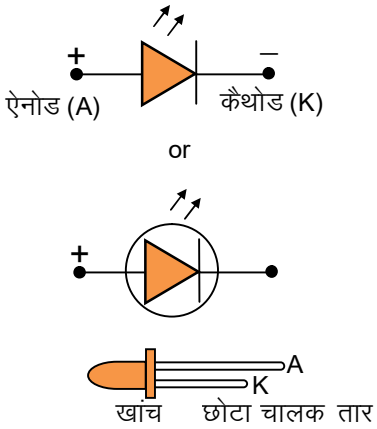
एलईडी एक विशेष प्रकार का *p-n* संधि डायोड है जो दृश्य के साथ–साथ, अवरक्त और पराबैंगनी परिसर में भी विकिरण का उत्सर्जन करता है, जब उन पर एक उपयुक्त अग्रदिशिक बायस (वोल्टता) लागू किया जाता है। कम ऊर्जा खपत, छोटे आकार और लंबे जीवनकाल के कारण अब इलेक्ट्रॉनिकी उद्योग में एलईडी का व्यापक रूप से उपयोग किया जाता है। एलईडी तेजी से ताप दीप्त लैंप की जगह ले रहे हैं। आमतौर पर प्रकाश उत्सर्जक डायोड गैलियम आर्सेनाइड (GaAs), गैलियम फॉस्फाइड (GaP), गैलियम आर्सेनाइड फॉस्फाइड (GaAsP), सिलिकॉन कार्बाइड (SiC),या गैलियम इंडियम नाइट्राइड (GaInN),या अन्य आमिश्र अर्धचालकों से बने होते हैं। इन्हें एक विशेष रंग (तरंग दैर्ध्य) के प्रकाश का उत्पादन करने के लिए विभिन्न अनुपातों में मिलाया जाता है । एलईडी द्वारा उत्सर्जित प्रकाश का रंग उस अर्धचालक पर निर्भर करता है जिससे यह बना है। उदाहरणतः GaAsP एलईडी लाल रंग (630 से 660 nm) और SiC एलईडी नीला रंग (430 से 505 nm) का प्रकाश उत्सर्जित करती है ।

p-n संधि डायोड की तरह एलईडी भी केवल अग्रदिशिक बायस स्थिति में प्रचालित होती है । एलईडी के साथ काम करने के लिए, अर्धचालक के *n*-क्षेत्र को बैटरी के ऋणात्मक सिरे से और *p*-क्षेत्र को बैटरी के धनात्मक सिरे से जोड़ा जाना चाहिए । चित्र 2.1 (क)

में एक प्रतिरूपी एलईडी दिखाया गया है। चित्र 2.1 (ख) में योजनाबद्ध प्रतीक और पारंपरिक धारा प्रवाह दिखाया गया है।



(क)



(ख)

चित्र 2.1:क) विभिन्न रंगों के एलईडी *(Afrank99, CC BY-SA 2.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0>, via Wikimedia Commons)*; **ख) एक एलईडी का प्रतीकात्मक निरूपण ।**

ध्यान दें कि एक एलईडी का प्रतीक, एक डायोड का मानक प्रतीक है, जिसमें दो छोटे तीर जोड़े गए हैं जो उत्सर्जन (प्रकाश का) दर्शाते हैं। *"A"* ऐनोड है, या धनात्मक (+ प्लस) संबंधन है, और *"A"* कैथोड, या ऋणात्मक (–) संबंधन है। यह भी ध्यान दें कि एलईडी के दो टर्मिनल (चालक तार) असमान लंबाई के हैं। लंबी चालक तार ऐनोड है और छोटी चालक तार कैथोड है।

अगर आवृत्ति ν के प्रकाश के उत्सर्जन के लिए आवश्यक न्यूनतम वोल्टता का मान V_0 हो (जिसे आरंभन वोल्टता या देहली वोल्टता भी कहा जाता है) जब एक एलईडी को अग्रदिशिक बायस स्थिति में जुड़ा हो, हम लिख सकते हैं:

$$eV_0 = h\nu \qquad (2.1)$$

एलईडी द्वारा उत्सर्जित फोटॉन की ऊर्जा है :

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda} \qquad (2.2)$$

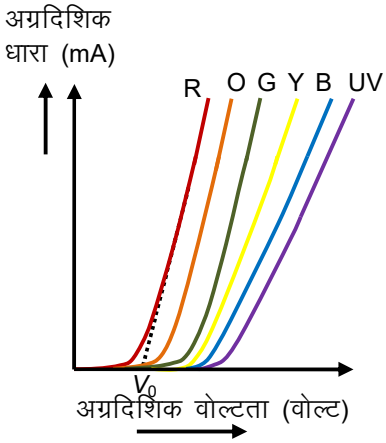
जहां ν आवृत्ति है और λ उत्सर्जित विकिरण की संगत तरंग दैर्ध्य है समीकरण (2.1 और 2.2) से हम प्राप्त करते हैं

$$eV_0 = h\left(\frac{c}{\lambda}\right) \Rightarrow V_0 = \frac{hc}{e}\left(\frac{1}{\lambda}\right) \qquad (2.3)$$

समीकरण (2.3) से आप देख सकते हैं कि, यदि V_0 (y- अक्ष के अनुदिश) and $1/\lambda$ (x-अक्ष के अनुदिश) के बीच एक ग्राफ आलेखित किया जाए तो एक सीधी रेखा प्राप्त होगी, जिसकी प्रवणता hc/e है । इस प्रकार प्लांक नियतांक को ग्राफ के प्रवणता से निर्धारित किया जा सकता है।

तो, प्लांक नियतांक का मूल्यांकन समीकरण (2.3) से किया जा सकता है यदि V_0 और λ ज्ञात हैं। इसके लिए एलईडी के I-V अभिलक्षणिक प्राप्त करने होंगे।

2.2.2 एलईडी के *I-V* अभिलाक्षणिक



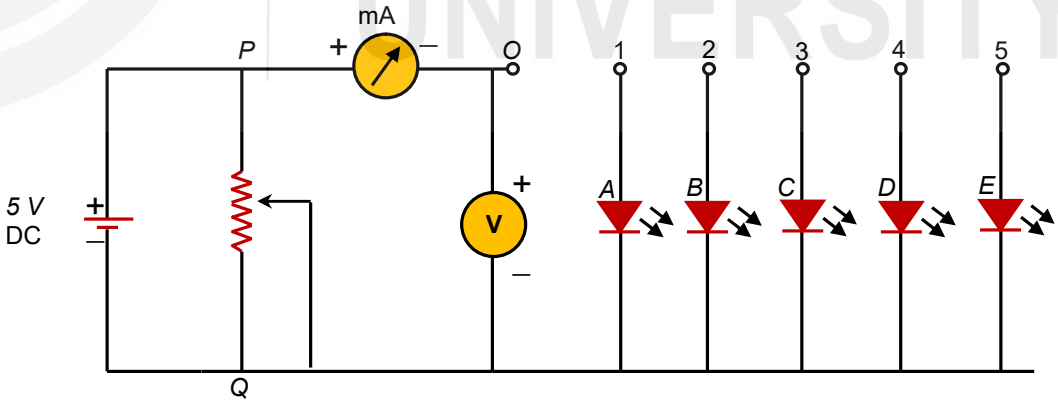
चित्र 2.2: विभिन्न रंगों के एलईडी के लिए *I-V* अभिलक्षणिक

एलईडी के *I-V* अभिलक्षणिकों का अध्ययन करने के लिए, यह परिपथ में अग्रदिशिक बायस विन्यास में जुड़ा होता है, जिसमें *p*-प्रकार (ऐनोड) बैटरी के धनात्मक टर्मिनल से जुड़ा होता है और *n*-प्रकार (कैथोड) के ऋणात्मक टर्मिनल से जुड़ा होता है। इस बात का ध्यान रखा जाना चाहिए कि परिपथ में एलईडी सही ढंग से जुड़ी हो अन्यथा यह प्रदीप्त नहीं हो पाएगी। अग्रदिशिक बायस विन्यास में जुड़े होने पर एक एलईडी " धारा सीमित" होनी चाहिए, जिसका अर्थ है कि अग्रदिशिक धारा का एक सुरक्षित मान होना चाहिए, जो एक साधारण एलईडी के लिए 5 mA से 30 mA है। अगर उससे अधिक द्युति के प्रकाश उत्पादन करने की आवश्यकता हो तो इसे अतिरिक्त धारा प्रवाह से बचाने के लिए परिपथ में श्रेणी में जुड़े एक प्रतिरोधक का उपयोग करके प्राप्त किया जाता है। है। एलईडी को सीधे बैटरी या विद्युत प्रदाय से नहीं जोड़ा जाना चाहिए क्योंकि इससे अधिक मात्रा में धारा प्रवाहित होगा और एलईडी क्षतिग्रस्त हो सकती है। चित्र 2.2 में विभिन्न रंगों के एलईडी के लिए *I-V* अभिलक्षणिक दिखाये गये है । इस प्रारंभिक ज्ञान के साथ अब आप प्रयोग कर सकते हैं।

2.3 विभिन्न रंगों के एलईडी का उपयोग करते हुए प्लांक नियतांक का मापन

प्रयोग करने के लिए नीचे वर्णित प्रक्रिया का पालन करें।

1. चित्र 2.3 में दिखाए अनुसार संबंधन बनाएं। एक परिवर्ती विद्युत प्रदाय का उपयोग किया जा सकता है या एक धारा नियंत्रक का उपयोग, 5V DC की एक निश्चित विद्युत प्रदाय के आर–पार एक विभव–विभाजक के रूप में किया जा सकता है, ताकि आवश्यक छोटे चरणों में एलईडी में वोल्टता को बदल सके। वोल्टामापी को एलईडी के आर–पार और एक मिलीऐमीटर को परिपथ में श्रेणी में जोडें।



चित्र 2.3 :विभिन्न रंगों के एलईडी का उपयोग करके प्लांक नियतांक के मापन के लिए परिपथ आरेख।

2. विभिन्न रंगों के एलईडी (चित्र 2.3 में *A*, *B*, *C*, *D* और *E* द्वारा इंगित) को परिपथ में जोड़ा जाता है, जैसा कि चित्र 2.3 में दिखाया गया है। प्रत्येक एलईडी का प्रेक्षण लेने के लिए, बिंदु *O* को क्रमशः 1,2,3,4 और 5 टर्मिनलों से एक–एक करके जोड़ा जाता है।

3. छोटे चरणों में अनुप्रयुक्त वोल्टता को 0 V से बढ़ाएं। वोल्टतामापी डायोड के आर–पार वोल्टता (ट) को मापेगा और ऐमीटर परिपथ में प्रवाहित धारा को।
4. वोल्टता और धारा के पाठ्यांक प्रेक्षण सारणी 2.1 में लिखें । एक ,अंकीय वोल्टतामापी अधिमानतः कम से कम अल्पतमांक वाला , अधिकतम प्रेक्षण सुनिश्चित करेगा और त्रुटि की संभावना को कम करेगा।

प्रेक्षण सारणी 2.1: वोल्टता के साथ धरा का विचरण

तापमान, T = K
वोल्टतामापी का अल्पतमांक = V
एमीटर का अल्पतमांक = A

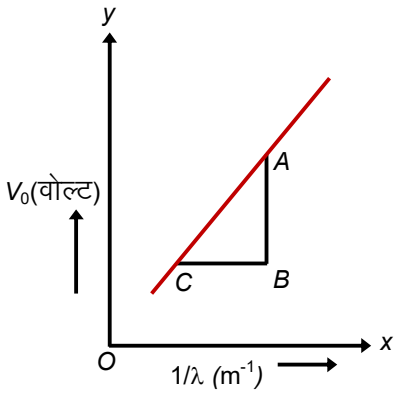
प्रेक्षण सारणी 2.1: वोल्टता के साथ धरा का विचरण

क्र. सं.	वोल्टता V (Volts)	धारा I (mA)
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
...		

5. वोल्टता (V में) x-अक्ष के अनुदिश और धारा (mA में) y-अक्ष के अनुदिश के साथ एक का ग्राफ़ आलेखित करें।
6. जैसा कि चित्र 2.2 में दिखाया गया है, वक्र के रैखिक भाग को बहिर्वेशित करके V_0 निर्धारित किया जाता है। उत्सर्जित प्रकाश के रंग पर ध्यान दें।
7. प्रत्येक अलग रंग के एलईडी के लिए चरण 4, 5 और 6 दोहराएं और एलईडी के प्रत्येक रंग के लिए वोल्टेज आरंभन वोल्टता निर्धारित करें।
8. प्रत्येक एलईडी के रंग के साथ–साथ, संबंधित एलईडी की डेटाशीट का उपयोग करके इसके द्वारा उत्सर्जित प्रकाश का अधिकतम तरंग दैर्ध्य ज्ञात करें । प्रत्येक एलईडी के तरंगदैर्घ्य का अनुमानित मान प्रेक्षण सारणी 2.2 में दिया गया है। प्रत्येक एलईडी के लिए V_0 और संगत तरंगदैर्घ्य λ का मान प्रेक्षण सारणी 2.2 में लिख लें । V_0 के प्रत्येक मान के लिए , $1/\lambda(m^{-1})$ के मान की गणना करें।

प्रेक्षण सारणी 2.2: विभिन्न एलईडी के लिए V_0 और λ

क्र. सं.	उत्सर्जित प्रकाश का रंग	λ (nm)	$1/\lambda$ (m^{-1})	V_0 (Volt)



चित्र 2.4: V_0 और 1/λ के विचरण का आलेख।

1.	बैंगनी	432		
2.	नीला	472		
3.	हरा	540		
4.	पीला	590		
5.	लाल	695		

9. 1/λ (*x*-अक्ष के अनुदिश) और आरंभन वोल्टता V_0 (*y*-अक्ष के अनुदिश) के साथ एक का ग्राफ़ आलेखित करें। जैसा कि आप चित्र 2.4 में देख सकते हैं ,एक सीधी रेखा प्राप्त होती है।
10. उपरोक्त ग्राफ की प्रवणता hc/e के बराबर है , जहां c प्रकाश की गति है और e इलेक्ट्रॉन का आवेश है। प्रवणता से h के मान की गणना करें।

2.4 प्लांक नियतांक का परिकलन

प्लांक नियतांक के मान की गणना चित्र 2.4 में ग्राफ़ की प्रवणता (जो धनात्मक है) से की जाती है:

$$Slope = \frac{AB}{BC}$$

हम समीकरण (2.3) से यह भी जानते हैं कि: $Slope = \frac{hc}{e}$

इसलिए प्लांक नियतांक का मान निम्नलिखित है:

$$h = \frac{e}{c} \times Slope = ...Js$$

जहां, $h = \frac{e}{c} \times Slope = ...Js$

परिणाम:

प्रयोगात्मक रूप से निर्धारित प्लांक नियतांक का मान = ...Js

मानक मान = 6.626×10^{-34} Js

प्रतिशत त्रुटि = ...%

2.5 सावधानियां और त्रुटि के स्रोत

- एलईडी को अग्रदिशिक बायस विन्यास में जोड़ा जाना चाहिए।
- निवेशी वोल्टता को धीरे–धीरे बढ़ाया जाना चाहिए और इसे उच्च मानों तक नहीं बढ़ाया जाना चाहिए अन्यथा यह एलईडी को नुकसान पहुंचा सकता है।
- एलईडी द्वारा उत्सर्जित प्रकाश की तरंग दैर्ध्य का सटीक मान आवश्यक है। एक स्पेक्ट्रोमीटर का उपयोग करके उत्सर्जित विकिरण का तरंग दैर्ध्य निर्धारित किया जा सकता है।
- एलईडी द्वारा उत्सर्जित तरंगदैर्घ्य का सटीक मान प्राप्त करने के लिए कोई भी लेसर एलईडी का उपयोग कर सकता है।
- आरंभन वोल्टता का सटीक मान निर्धारित किया जाना चाहिए । आरंभन वोल्टता का सटीक मान ज्ञात करते समय मैन्युअल त्रुटि रहती है ।

प्रयोग 3

पारे के आयनन विभव का निर्धारण

इकाई की रूपरेखा

3.1 परिचय
अपेक्षित कौशल
3.2 गैस पूरित ट्यूब
पारा पूरित डायोड
3.3 सैद्धांतिक अवधारणाएं
3.4 प्रायोगिक विधि
3.5 पारे के आयनन विभव का निर्धारण
3.6 सावधानियाँ और त्रुटि के स्रोत

3.1 परिचय

1914 में, जेम्स फ्रैंक और गुस्ताव हट्र्ज ने एक प्रयोग किया, जिसने पारा के परमाणुओं में उत्तेजित अवस्थाआमें के अस्तित्व को सत्यापित किया। यह प्रयोग साबित करता है, कि परमाणु में इलेक्ट्रॉन, विविक्त ऊर्जा अवस्थाओं (स्तरों) में अध्यासित है जो परमाणु के क्वांटम मॉडल की भी पुष्टि करता है। उनके इस कार्य के लिए उन्हें 1925 में नोबल पुरस्कार से सम्मानित किया गया। यह प्रयोग जो आप करने जा रहे हैं कुछ अर्थों में फ्रैंक-हट्र्ज प्रयोग का विस्तार है। जबकि फ्रैंक-हट्र्ज प्रयोग का उद्देश्य परमाणुओं द्वारा ऊर्जा के अवशोषण और उत्सर्जन का उपयोग करके विविक्त ऊर्जा स्तरों का अध्ययन करना था, यहाँ आप एक परमाणु से एक इलेक्ट्रॉन को निकालने के लिए आवश्यक न्यूनतम ऊर्जा निर्धारित करेंगे। आप पारा की आयनी विभव का निर्धारण करेंगे, जिसे किसी परमाणु से एक इलेक्ट्रॉन को निकालने के लिए आवश्यक न्यूनतम ऊर्जा के रूप में परिभाषित किया जाता है जिससे कि परमाणु आयनित होता है। इलेक्ट्रॉन को, परमाणु के सबसे बाहरी कोश या संयोजकता कोश से हटाया जाता है।

अपेक्षित कौशल

यह प्रयोग करने के बाद आप इस योग्य होंगे कि :

- ❖ आयनी विभव की मूल अवधारणा की व्याख्या कर सकेंगे;
- ❖ गैस पूरित नली की कार्यप्रणाली को समझ सकें;
- ❖ आयनी विभव अध्ययन करने के लिए उपकरण व्यवस्थित कर सकेंगे;
- ❖ कोष्ठ ताप पर *V-I* ग्राफ आलेखित कर पायेंगे; और
- ❖ पारा की आयनी विभव क्षमता का निर्धारण कर सकेंगे।

इस प्रयोग को करने के लिए आपको निम्नलिखित उपकरण की आवश्यकता होगी।

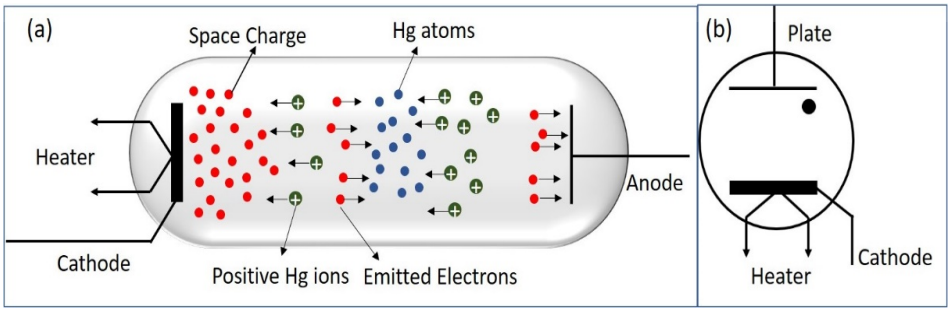
आवश्यक उपकरण

गैस पूरित डायोड, DC विद्युत् आपूर्ति, वोल्टतामापी, मिलीऐमीटर, धारा नियंत्रक और संबंधन तार।

प्रयोग शुरु करने से पहले, आइए गैस से भरी नलियों की कार्यप्रणाली और बुनियादी अंतर्निहित सैद्धांतिक अवधारणाओं की संक्षेप में चर्चा करें।

3.2 गैस पूरित ट्यूब

गैस पूरित ट्यूब (Fig. 3.1क) एक कांच की ट्यूब होती है, जिसमें आमतौर पर दो इलेक्ट्रोड होते हैं जिनके बीच एक विभवान्तर लगाया जाता है। ट्यूब में कम दबाव पर आर्गन, नियॉन, नाइट्रोजन या पारा जैसी कोई गैस से भरी होती है। गैस से भरे ट्यूब दो प्रकार के होते हैं : क) तप्त कैथोड गैस से भरा डायोड जिसे फेनोट्रॉन, और ख) कैथोड तप्त गैस से भरा ट्रायोड, जिसे थायराट्रॉन कहा जाता है। इस प्रयोग में आप गैस से भरी डायोड ट्यूब का उपयोग करके, गैस का आयनन विभव ज्ञात करेंगे। एक गैस पूरित डायोड का प्रतीकात्मक निरुपण चित्र (3.1ख) में दिखाया गया है।



चित्र 3.1: क) पारा के परमाणुओं से भरी गैस पूरित ट्यूब उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों के साथ संघट्टन के कारण पारा परमाणुओं का आयनन दिखाया गया है; ख) गैस पूरित नली का प्रतीकात्मक निरुपण।

कैथोड से उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन, धनावेशित प्लेट की ओर आकर्षित होते हैं और जैसे ही इलेक्ट्रॉन नली में आगे बढ़ते हैं, वे ट्यूब में मौजूद गैस से टकराते हैं। भारी धनात्मक आयन धीरे-धीरे कैथोड की ओर इस प्रकार प्रवाहित होते हैं कि प्लेट और कैथोड के

बीच का स्थान बड़ी संख्या में धनात्मक आयनों से भर जाता है। इससे अंतराकाशी आवेश प्रभाव को निष्प्रभावी कर देता है और तापायनिक उत्सर्जन को ऐनोडी धारा के रूप में उपलब्ध करता है।

यह महत्वपूर्ण है कि आप समझें कि अंतराकाशी आवेश क्या है। ऐसा हो सकता है कि कैथोड से उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन, इन इलेक्ट्रॉनों के बीच प्रर्तिकषण के कारण, धन आविष्ट प्लेट तक नहीं पहुंच सके, व कैथोड के चारों ओर एक इलेट्रॉन अभ्र बना सकते हैं। इस प्रकार, कैथोड द्वारा उत्सर्जित कोई भी नया इलेक्ट्रॉन अभ्र द्वारा प्रतिकर्षित होता है और तापायनित इलेक्ट्रॉन अब धनाविष्ट प्लेट तक नहीं पहुंच सकते हैं। इलेक्ट्रॉनों के अभ्र को अंतराकाशी आवेश कहते हैं। इलेक्ट्रॉन अभ्र के कारण धनात्मक प्लेट के आकर्षण को निष्प्रभावी करने को **स्पेस चार्ज प्रभाव** कहते हैं। निर्वात नली में अंतराकाशी आवेश प्रभाव काफी हद तक देखा जाता है, हालांकि गैसे पूरित ट्यूबों में, धनात्मक आयनों की उपस्थिति तापायनित इलेक्ट्रॉनों के स्थिर अपरिवर्ती प्रवाह की अनुमति देती है। इसलिए, गैस पूरित नलिकाएं निर्वात नलियों द्वारा प्रवाहित धारा से कई गुना अधि प्रवाहित हो सकती है।

पिछले प्रयोगों के साथ-साथ, पिछले प्रयोगशाला पाठ्यक्रमों के प्रयोगों से आप पहले से ही इस प्रयोग के लिए उपयोग किए जा रहे अधिकांश उपकरणों से परिचित हैं, जैसे कि एकक मिलीऐमीटर, वोल्टमीटर, धारानियंत्रक आदि। यहां हम पारा पूरित डायोड का वर्णन करते हैं जिसका आप इस प्रयोग में उपयोग करते हैं।

3.2.1 पारा पूरित डायोड

एक पारा (Hg) से भरा डायोड, लगभग 10-50 mm पारे के विभव दाब पर पारे के वाष्प से भरी एक खाली ग्लास ट्यूब है। ट्यूब के अंदर एक तंतु, एक कैथोड और एक ऐनोड लगाया जाता है। तंतु को कैथोड के नीच रखा जाता है, जो प्रदीप्त होता है और कैथोड को तापित करता है इससे कैथोड की सतह से इलेक्ट्रॉनो का उत्सर्जन होता है। उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन, बैटरी के धनात्मक सिरे से जुड़े होने पर ऐनोड/धनात्मक पलेट की ओर बढ़ेंगे। जैसे ही उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन ऐनोड की ओर बढ़ते हैं, वे ट्यूब में मौजूद पारे` परमाणुओं से टकराते हैं। पारा के परमाणु के साथ प्र्याप्त रूप से उच्च ऊर्जा वाले इलेट्रॉन के संघट्टन से पारा परमाणु के *6s कोश* से इलेक्ट्रॉन निकलते हैं और इस प्रक्रिया में पारा आयनित (Hg^+) हो जाता है।

3.3 सैद्धांतिक अवधारणाएं

इस प्रयोग में आपको संयोजकता कोश से किसी इलेक्ट्रॉन के निकलने के कारण पारे के आयनन का अध्ययन करना है। आयनन शब्द का अर्थ है, परमाणु (A^0) से एकल इलेक्ट्रॉन के निकलने से उसके आयनित अवस्था (A^+) में होना, जब तक कि अन्यथा न कहा गया हो। यदि उसी परमाणु से एक दूसरा इलेक्ट्रॉन हटा दिया जाता है, तो परमाणु A^{2+} अवस्था में हाता है और इसे द्वितीय आयन कहा जाता है, आदि। को सामान्य रूप एक परमाणु के प्रथम आयनन को ही परमाणु के आयनन के रूप में जाना जाता है। पारा के लिए वर्तमान प्रयोग में,

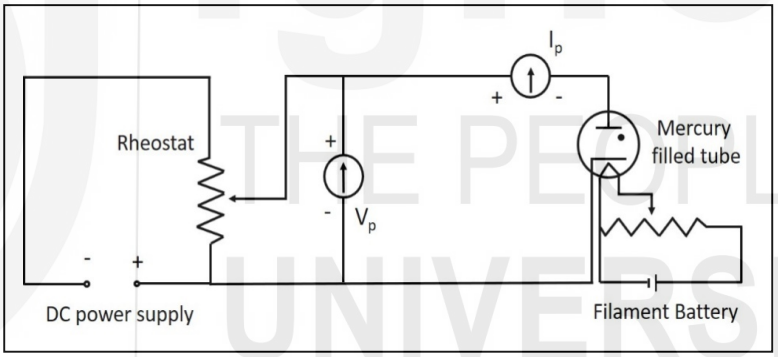
$$Hg + E = Hg^+ + e^-$$

जहां E = 10. 437 V, एक इलेक्ट्रॉन को Hg परमाणु से निकालने के लिए आवश्यक आयनन ऊर्जा है।

जैसे-जैसे ऐनोड विभव या प्लेट विभव में लगातार वृद्धि होती है, संगत प्लेट धारा भी बढ़ती जाती है। इससे यह पता चलता है कि कैथोड से धनात्मक प्लेट तक पहुँचने वाले उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों की संख्या भी बढ़ रही है। अब जैसे-जैसे प्लेट का विभव लगातार बढ़ती जाती है। एक क्रांतिक विभव पर, उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों की गतिज ऊर्जा इतनी होगी कि वह पारे के परमाणु के संयोजकता कोश से एक इलेक्ट्रॉन को निकालने में सक्षम होगी। पारा परमाणुओं से हटाए गए इलेक्ट्रॉनों को *द्वितीयकक इलेक्ट्रॉन* कहते है और इस विभव को आयनन विभव कहते है। विभव से परे, प्लट करंट में भारी वृद्धि होगी क्योंकि धनात्मक प्लेट तक पहुंचने वाले इलेक्ट्रॉनों की संख्या में वृद्धि हुई है, इलेक्ट्रान अब उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों और द्वितीयक इलेक्ट्रॉनों का एक संयोजन है। इस प्रकार, ऐनोडी विभव में और वृद्धि होने पर, ऐनोडी में भारी वृद्धि होगी। यदि आप धारा और ऐनोडी वोल्टता के बीच एक ग्राफ प्लॉट करते हैं, तो आप देखेंगे कि एक विशेष विभव पर ऐनोडी धारा की वृद्धि में एक असंततता होगी, जिसके बाद विभव के साथ धारा में वृद्धि की दर बहुत बड़ी हो जाएगी, आयनन विभव से धारा की वृद्धि दर की तुलना में।

इस प्रारंभिक ज्ञान के साथ अब आप प्रयोग कर सकते है।

3.4 प्रायोगिक विधि



चित्र 3.2: पारे की आयनन विभव को निर्धारित करने के लिए परिपथ आरेख।

प्रयोग करने के लिए नीचे वर्णित प्रक्रिया का पालन करें :

1. चित्र 3.2 में दिखाए अनुसार संबंधन बनाएं और विद्युत् प्रदाय को चालू करें।
2. तंतु के बैटरी से जुड़े धारा नियंत्रक को समायोजित करके प्रेक्षण ले, तापन तंतु के लिए उपयुक्त विभव लागू करें और (I_f) का प्रेक्षण ले।
3. DC विद्युत प्रदोप चालू करें और धारा नियंत्रक का उपयाग करके, ऐनोडी वोल्टता को इस तरह समायोजित करें कि मिलीऐमीटर कोई विक्षेपण न दिखाये।
4. धारा नियंत्रक का प्रयोग करते हुए, (V_p) को धीरे-धीरे बढायें, जैसे कि 1V के चरणों में और 20 V के प्रत्येक मान पर मिलीऐमीटर से I_p का मान लिखें।
5. V_p के *x*-अक्ष के अनुदिश और I_p को *y*-अक्ष के अनुदिश रखकर V_p बनाम I_p का ग्राफ बनाएं।

प्रेक्षण सारणी 3.1: वोल्टता के साथ धारा का परिवर्तन

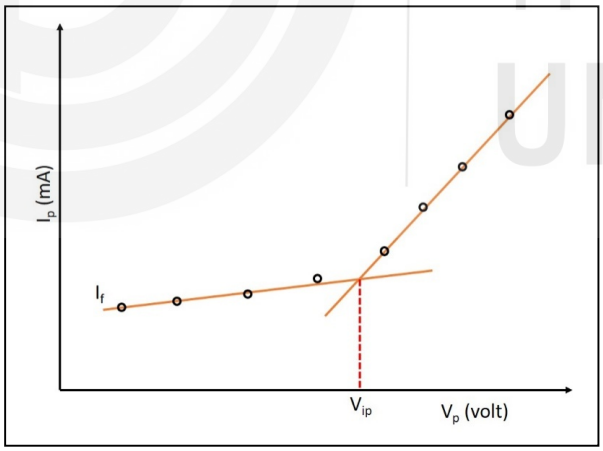
वोल्टमीटर का अल्पतमांक, V_p =.....V

ऐमीटर का अल्पतमांक, I_p =.....A

क्रमांक संख्या	ऐनोडी वोल्टता V_p (V)	ऐनोडी धारा I_p (A)
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
.....		

3.5 पारे के आयनन विभव का निर्धारण

I_p और V_p के ग्राफ को चित्र 3.3 में दिखाए गए तरीके से आलेखित करें। आप देख सकते हैं, कि एक क्रांतिक विभव पर, धारा अचानक बढ़ जाता है। यह विभव जिस पर धारा में अचानक वृद्धि होती है, आयनन विभव है।



चित्र 3.3: ऐनोडी वोल्टता और ऐनोडी धारा के बीच एक ग्राफ। वह विभव जहां ऐनोडी धारा अचानक बढ़ना शुरु हो जाता है, वह आयनन विभव है।

आयनन विभव पर, पारा परमाणुओं से इलेक्ट्रॉन हटा दिए जाते हैं और परिणामस्वरूप अधिक इलेक्ट्रॉन 'उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन और द्वितीयक इलेक्ट्रॉन' धनात्मक प्लेट तक पहुँच जाते हैं, इसलिए प्लेट करंट में अचानक वृद्धि होती है। में आयनन विभव I_p बनाम V_p के आलेख में इस बिंदु का उपयोग आयनन विभव को निर्धारित करने के लिए किया जाता है।

परिणाम:

पारा के आयनन विभव का प्रयोगात्मक रूप से निर्धारित मान

= V

मानक मान = 10.437 V

प्रतिशत त्रुटि = ... %

3.6 सावधानियाँ और त्रुटि के स्रोत

- जोड़ने से पहले, तांबे के तारों को साफ करने के लिए सैंड पेपर का उपयोग करें। ऑक्सीकरण और अन्य अशुद्धियों ो दूर करने के लिए।
- ऐनोडी वोल्टता को 20 V से अधिक नहीं बढ़ाई जानी चाहिए।
- प्रदाय वोल्टेज को अपरिवर्ती चरणों में बढ़ाना है।
- निर्माता द्वारा दिए गए विर्निदेशों का पालन किया जाना चाहिए।

प्रयोग 4

हाइड्रोजन परमाणु की H-अल्फा उत्सर्जन रेखा के तरंगदैर्ध्य का निर्धारण

इकाई की रूपरेखा

4.1 परिचय
अपेक्षित कौशल
4.2 सैद्धांतिक अवधारणाएं
बामर श्रेणी
विवर्तन ग्रेटिंग का उपयोग करके तरंगदैर्ध्य का निर्धारण
4.3 उपकरण का विवरण
हाइड्रोजन विसर्जन नलिका
4.4 प्रायोगिक विधि
4.5 H-उत्सर्जन रेखा के तरंगदैर्ध्य का निर्धारण
4.6 सावधानियाँ और त्रुटि के स्रोत

4.1 परिचय

पिछले प्रयोग में आपने पारे की IP का निर्धारण करना सीखा। उन्नीसवीं शताब्दी में, भौतिकविदों ने परमाणुओं और अणुओं के स्पेक्ट्रम के अध्ययन में काफी समय लगाया। स्पेक्ट्रम परमाणुओं और अणुओं द्वारा विद्युत-चुंबकीय विकिरण के अवशोषण और उत्सर्जन से बनते हैं। कई स्पेक्ट्रम ऐसे हैं जिनका बहुत विस्तार से अध्ययन किया गया है, हाइड्रोजन उत्सर्जन स्पेक्ट्रम का सबसे गहन विश्लेषण किया गया है। जब एक हाइड्रोजन परमाणु को विद्युत विसर्जन से उत्तेजित किया जाता है, तो यह दृश्य क्षेत्र में रेखाआं की एक श्रेणी का उत्सर्जन करता है। स्विस शिक्षक जोहान बामर के नाम पर, इस श्रेणी को बामर श्रेणी कहा जाता है, जिन्होंने इन स्पेक्ट्रम के तरंगदैर्ध्य का वर्णन करने के लिए एक अनुभवजन्य संबंध का प्रस्ताव रखा था।

अपेक्षित कौशल

यह प्रयोग करने के बाद आप इस योग्य होंगे कि :

- ❖ हाइड्रोजन परमाणु में विभिन्न स्पेक्ट्रमी रेखाओं की पहचान कर सकेंगे;
- ❖ एक स्पेक्ट्रोमीटर पर ग्रेटिंग का उपयोग करके, विवर्तन पैटर्न प्राप्त करने के लिए उपकरण व्यवस्थित कर सकेंगे; और
- ❖ हाइड्रोजन परमाणु में H-ऐल्फा उत्सर्जन रेखा की तरंगदैर्ध्य निर्धारित कर सकेंगे।

इस प्रयोग को करने के लिए आपको निम्नलिखित उपकरण की आवश्यकता होगी।

आवश्यक उपकरण

स्पेक्ट्रोममापी, विवर्तन ग्रेटिंग और हाइड्रोजन विसर्जन नलिका।

प्रयोग शुरु करने से पहले, आइए प्रयोग के मूल सिद्धांत पर संक्षेप में चर्चा करें।

4.2 सैद्धांतिक अवधारणाएं

विद्युत चुम्बकीय विकिरण के साथ परमाण्विक या आणविक अन्योन्यक्रिया के परिणामस्वरूप, विद्युत् चुम्बकीय विकिरण का अवशोषण या उत्सर्जन होता है, जिसे क्रमशः अवशोषण या उत्सर्जन स्पेक्ट्रम के रूप में वर्गीकृत किया जा सकता है। ऐसा स्पेक्ट्रम एक (क) संतत स्पेक्ट्रम या (ख) विविक्त स्पेक्ट्रम हो सकता है। एक संतत स्पेक्ट्रममें संतत तरंगदैर्ध्यों की एक विस्तृत परिसर होती है, जबकि एक विविक्त स्पेक्ट्रम, एक रेखा स्पेक्ट्रम या एक बैंड स्पेक्ट्रम होता है।

जब एक परमाणु कुछ ऊर्जा को अवशोषित करता है, तो इलेक्ट्रॉन अवशोषित ऊर्जा के आधार पर उच्च ऊर्जा स्तर में उत्तजित हो सकते हैं। यह उत्तेजित इलेक्ट्रॉन, ऊर्जा उत्सर्जित करके अपनी प्रारंभिक अवस्था में वापस आ जाता है, जहाँ उत्सर्जित ऊर्जा, उच्च ऊर्जा अवस्था और (प्रारंभिक) निम्न ऊर्जा अवस्था के बीच ऊर्जा अंतर है। यह उत्सर्जित ऊर्जा तरंगदैर्ध्यों के एक विविक्त स्पेक्ट्रम के भीतर हो सकती है और इसलिए उत्सर्जन स्पेक्ट्रम का अध्ययन और विश्लेषण करना बहुत जटिल है, खासकर बड़े परमाणुओं के लिए। इस संदर्भ में हाइड्रोजन परमाणु का उत्सर्जन स्पेक्ट्रम बहुत महत्वपूर्ण हो जाता है, क्योंकि यह सबसे सरल संभव परमाणु है जिसका हम अध्ययन कर सकते हैं।

इस नियतांक का मान आपने BPHET-141के इकाई 4 के उदाहरण 4.4 में निकाला है :

$$R = \frac{R_H}{hc}$$

जहां

$$R_H = 13.6\,\text{eV}$$

$$= 2.18 \times 10^{-18}\,\text{J}$$

4.2.1 बामर श्रेणी

1885 में, बामर ने पाया कि दृश्य क्षेत्र में हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम में स्पेक्ट्रमी रेखाओं की तरंगदैर्ध्यों के निम्नलिखित संबंध द्वारा वर्णित किया जा सकता है:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (4.1)$$

जहां λ विकिरण का तरंगदैर्ध्य है, और $R = 1.097 \times 10^7\ \text{m}^{-1}$ रिडबर्ग नियतांक है (मार्जिन टिप्पणी देखें) और n;2से बड़ी एक पूर्ण संख्या है। बामर रेखाओं के लिए n के मान, तालिका 4.1 में दी गई हैं। यहाँ आप देख सकते हैं, कि n = 3के लिए, स्पेक्ट्रमी रेखा को H-ऐल्फा रेखा के रूप में जाना जाता है।

तालिका 4.1

रेखा	n का मान
H_α	3
H_β	4
H_γ	5
H_δ	6

रिडबर्ग द्वारा दिया गया सामान्यीकृत व्यंजक है:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right) \qquad (4.2)$$

यहाँ n_fऔर n_iएक पूर्णांक है और $n_i > n_f$ ।

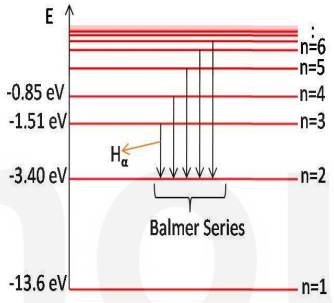
यदि n_iसे n_f =1में संक्रमण होता है तो श्रेणी को लाइमेन श्रेणी कहा जाता है, यदि n_f =2, तो यह बामर श्रेणी का हिस्सा है, और यदि n_f =3है, तो यह पासचेन श्रेणी बनाती है। हाइड्रोजन स्पेक्ट्रम में बामर श्रेणी का बनना चित्र 4.1 में ऊर्जा स्तर आरेख द्वारा दिखाया गया है।

4.2.2 विवर्तन ग्रेटिंग का उपयोग करके तरंगदैर्ध्य का निर्धारण

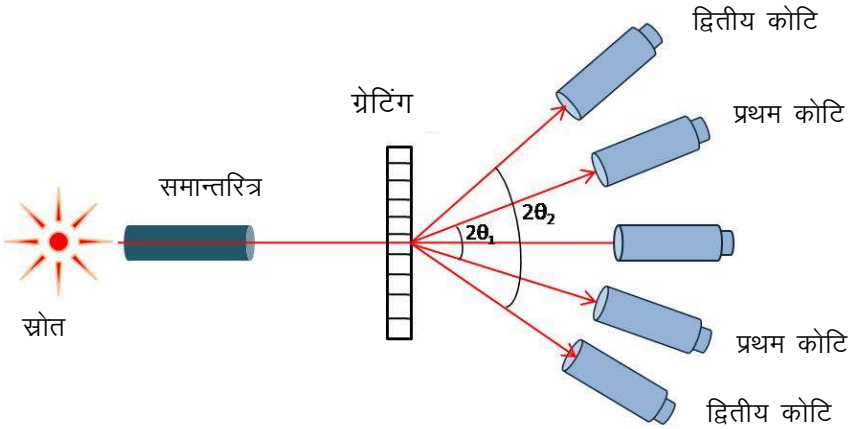
हाइड्रोजन उत्सर्जन स्पेक्ट्रम में स्पेक्ट्रमी रेखाओं की तरंगदैर्ध्यों को विवर्तन ग्रेटिंग का उपयोग करके स्पेक्ट्रमी विभेदन किया जाता है। BPHCL-138 के प्रयोग 6से, आप पहले से ही जानते हैं कि विवर्तन ग्रेटिंग का उपयोग करके प्रकाश की तरंगदैर्ध्य का निर्धारण कैसे किया जाता है। मान लीजिए कि एक समतल विवर्तन ग्रेटिंग में समानांतर रेखाछिद्रों की संख्या *N*है, जिनमें प्रत्येक की चौड़ाई '*a*' है और दोनों के बीच में अपारदर्शी अंतराल '*b*' है। दो आसन्न रेखाओं के केंद्र के बीच की दूरी $d = a + b$, जहाँ $(a + b)$को ग्रेटिंग अंतराल के रूप में जाना जाता है। विवर्तन ग्रेटिंग के लिए उच्चिष्ठ के लिए प्रतिबंध निम्नलिखित है : :

$$m\lambda = (a+b)\sin\theta \qquad (4.3)$$

जहां m स्पेक्ट्रम की कोटि है और θविवर्तन का कोण है।एक स्रोत का स्पेक्ट्रम (एकवर्णी या सफेद प्रकाश) एक ग्रेटिंग का उपयोग करके प्राप्त किया जाता है, जैसा कि चित्र 4.2 में दिखाया गया है। फिर विवर्तन पैटर्न स तरंगदैर्ध्य निर्धारित करने के लिए एक स्पेक्ट्रोमीटर का उपयोग किया जाता है। स्पेक्ट्रोमीटर के माध्यम से देखे गए हाइड्रोजन उत्सर्जन स्पेक्ट्रम के विवर्तन पैटर्न में विभिन्न रंग है जैसे लाल, नीला, बैंगनी और पराबैंगनी क्षेत्र में भी उत्सर्जन शामिल हो सकते हैं। वर्तमान प्रयोग में, आपका प्राथमिक उद्देश्य H_αरेखा निर्धारित करना है, लेकिन समीकरण 4.3का प्रयोग करके आप H_βया H_δ का तरंगदैर्ध्य भी निर्धारित कर सकते हैं। विभिन्न उत्सर्जन रेखाओं के लिए प्रायोगिक प्रक्रिया प्रायः एक जैसी ही होगी।



चित्र 4.1:**बामर श्रेणी के लिए ऊर्जा स्पेक्ट्रम , $n = 3$ से $n = 3$ तक इलेक्ट्रॉनों का संक्रमण दिखाते हुए जिससे H_α वर्णक्रमीय रेखा का उत्सर्जन होता है।**

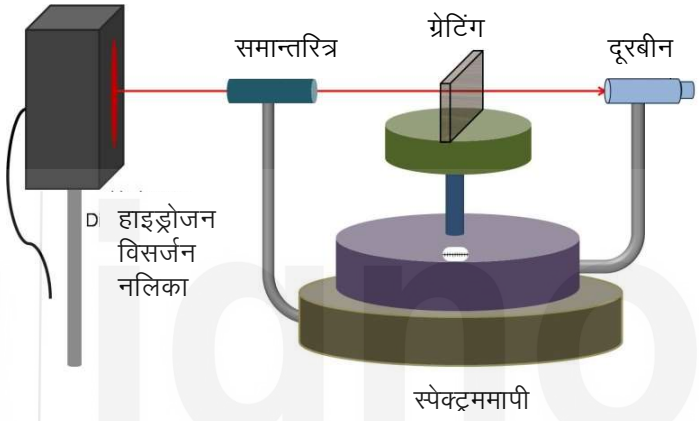


चित्र 4.2: **विवर्तन ग्रेटिंग से प्राप्त विवर्तन पैटर्न के प्रथम और द्वितीय कोटि के स्पेक्ट्रम की दूरबीन द्वारा प्रेक्षित।**

4.3 उपकरण का विवरण

हाइड्रोजन परमाणु के स्पेक्ट्रम को हाइड्रोजन विसर्जन लैंप और एक विवर्तन ग्रेटिंग की मदद से प्राप्त किया जाता है। हाइड्रोजन की स्पेक्ट्रमी रेखाओं का अध्ययन एक स्पेक्ट्रोमीटर का उपयोग करके किया जाता है, जिसके बारे में आप BPHCL-138 में पहले ही पढ़ चुके हैं। प्रयोग शुरू करने से पहले, यह महत्वपूर्ण है कि आप उस उपकरण से परिचित हों जिसका आप उपयोग कर रहे हैं।

प्रयोगिक व्यवस्था का एक योजनाबद्ध आरेख चित्र 4.3 में दिखाया गया है।

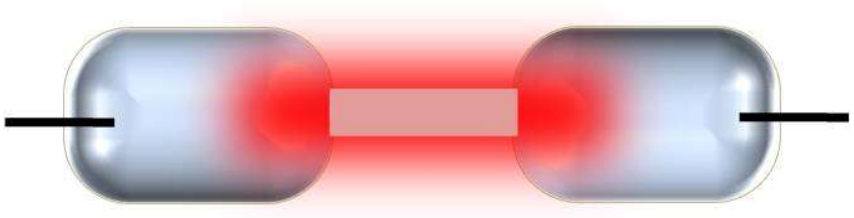


चित्र 4.3:प्रायोगिक व्यवस्था का योजनाबद्ध आरेख।

आइए हम एक महत्वपूर्ण उपकरण के बारे में चर्चा करें, जिसके विषय में आपने पहले नहीं पढ़ा है, वह है हाइड्रोजन विसर्जन नलिका।

4.3.1 हाइड्रोजन विसर्जन नलिका

हाइड्रोजन विसर्जन नलिका शीत कैथोड विसर्जन नलिकका के रूप में जानी जाने वाली नलिकाओं के व्यापक वर्ग का एक हिस्सा है। उन्हें गाइसलर नली भी कहा जाता है और कम दबाव पर विभिन्न गैसों, जैसे नियॉन, आर्गन, हाइड्रोजन या हीलियम के स्पेक्ट्रम का अध्ययन करने के लिए इसका उपयोग किया जाता है। गाइसलर नली में दो ग्लास नलिकाएं होती हैं जो एक केशिक नली से जुड़ी होती है। दो ग्लास नलिकाओं के अंतिम छोरों पर इलेक्ट्रोड आमतौर पर एल्यूमीनियम या प्लैटिनम से बने होते हैं। गाइसलर नली का एक योजनाबद्ध आरेख चित्र 4.4 में दिखाया गया है।



चित्र 4.4:तीव्र लाल प्रकाश उत्सर्जित करने वाली हाइड्रोजन विसर्जन नलिका का सरलीृत योजनाबद्ध आरेख।

एक हाइड्रोजन विसर्जन नलिका एक नलिका है जो लगभग 1 या 2 मिमी पारा के निम्न दाब पर हाइड्रोजन से भरी होती है। प्रचालन विभव लगभग 5000 V है। अत्यधिक त्वरित इलेक्ट्रॉन कैथोड से विसर्जित होते हैं और नलिका में मौजूद हाइड्रोजन परमाणुओं से टकराते हैं। येसंघट्टन, हाइड्रोजन परमाणुओं को उच्च ऊर्जा स्तरों (n=3, 4 और इसी तरह) के लिए उत्तेजित करते हैं। ये उत्तेजित परमाणु तब नलिका की दीवार से टकराने के कारण ऊर्जा क्षय होता है और ये निम्न ऊर्जा स्तरों पर वापस आ जाते हैं, जिससे विकिरण उत्सर्जित होता है। उत्सर्जित विकिरण आमतौर पर तीव्र लाल होता है और इसका प्रयोग प्रायोगिक उद्देश्यों के लिए किया जाता है।

4.4 प्रायोगिक विधि

प्रयोग करने के लिए नीचे वर्णित चरणों का पालन करें।

1. स्पेक्ट्रोमीटर की व्यवस्था : मापन के लिए स्पेक्ट्रोमीटर का उपयोग करने से पहले, निम्नलिखित करना आवश्यक है :

   क) *समतलन :*उपकरण का स्पिरिट लेवल का उपयोग करके समतलन किया जाता है। स्पिरिट लेवल को प्रिज्म मंच पर रखा जाना चाहिए और तीन समान दूरी वाले स्क्रू को तब तक समायोजित किया जाना चाहिए, जब तक स्पिरिट लेवल में बुलबुला केंद्र में न हो। इसी तरह का समायोजन दूरबीन और समानतरित के लिए भी किया जाना चाहिए ताकि उनके अक्ष क्षैतिज हों।

   ख) *दूरबीन का समायोजन :*दूरबीन को सफेद दीवार की ओर मोड़ें और नेत्रिका को तब तक समायोजित करें जब तक कि क्रॉस तारसुस्पष्ट न हो जाए। अब दूरबीन को दूर की वस्तु की ओर मोड़ें और दूरबीन को तब तक समायोजित करें जब तक कि वस्तु सुस्पष्ट न दिखे।

   ग) *समानतरित्र का समायोजन :*समानतरित्रऔर दूरबीन को संरेखित किया जाता है और समानतरित्रसे आने वाले समानांतर बीम को दूरबीन के नेत्रिका का उपयोग करके देखा जाता है। समानतरित्रके स्लिट को इस तरह समायोजित किया जाना चाहिए कि प्रतिबिंब सुस्पष्ट और लगभग 1 मिमी चौड़ी का हो। यदि प्रतिबिम्ब ऊर्ध्वाधर नहीं दिखाई देता है, तो आपको स्लिट को उसके तल के अनुदिश घुमा देना चाहिए ताकि प्रतिबिम्ब ऊर्ध्वाधर हो जाए।

   स्पेक्ट्रोमीटर पर रीडिंग लें जैसा कि आपने अपनेBPHCL-138के प्रयोग 1 और 3 में सीखा है।

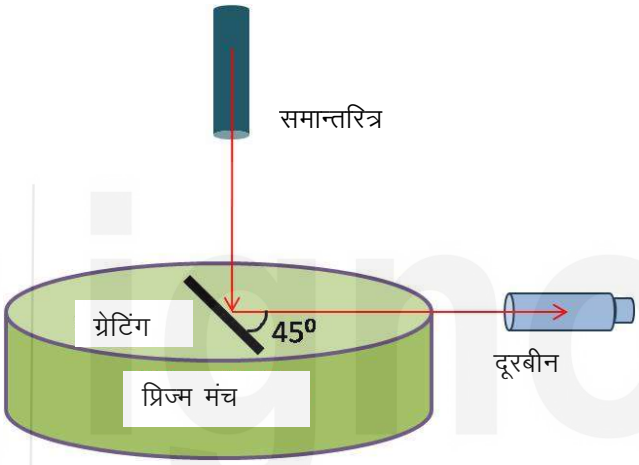
2. ग्रेटिंग को अभिलंब आपतन स्थिति पर व्यवस्थित करना।

   क) दूरबीन को समानतरित्र से सीधे प्रकाश प्राप्त करने के लिए व्यवस्थित करें। दूरबीन के क्रॉस तार को स्लिट के प्रतिबिंब के साथ बिल्कुल मेल खाने के लिए संरेखित करें और एक वर्नियर स्केल की रीडिंग लें।

   ख) दूरबीन को इस प्रकार घुमाएँ कि वह आपतित प्रकाश के 90^0कोण पर हो। मान लें, कि यदि चरण (क) में एक वर्नियर स्केल में लिया गया रीडिंग 120^0हो, तो आपको अपनी सुविधा के आधार पर, बाईं या दाईं ओर घूमना चाहिए और सुनिश्चित करें कि उसी वर्नियर स्केल की रीडिंग 30^0 या 210^0 है।

ग) ग्रेटिंग को प्रिज्म मंच पर रखें और धीरे-धीरे प्रिज्म मंच को तब तक घुमाएं जब तक कि दूरबीन के क्रॉस तार पर एक प्रतिबिंब न बन जाए, जैसा कि चित्र 4.5 में दिखाया गया है। एक बार जब स्लिट की प्रतिबिंब दूरबीन के क्रॉस तार के साथ मेल खाती है, तो प्रिज्म मंच के प्रेक्षण पर ध्यान दें, ग्रेटिंग की इस स्थिति में ही प्रकाश ग्रेटिंग पर 45^0कोण पर आपतित होता है।

घ) प्रिज्म मंच को 45^0कोण से घुमाये ताकि रेखांकित पक्ष दूरबीन का सामना हो, इस स्थिति में समानतरित्र से प्रकाश ग्रेटिंग की सतह पर अभिलंब आपतित होता है। इस स्थिति में ग्रेटिंग को क्लैम्प करें।



चित्र 4.5: ग्रेटिंग की सतह पर अभिलंब आपतन प्राप्त करने के लिए प्रिज्म मंच का समायोजन।

प्रयोग करने के लिए नीचे वर्णित प्रक्रिया का पालन करें।

3. दूरबीन को केंद्र में ले जाएं और प्रत्यक्ष प्रतिबिंब का निरीक्षण करें। प्रत्यक्ष प्रतिबिंब के दोनों ओर विवर्तन पैटर्न देखे जाते हैं।
4. दूरबीन को प्रत्यक्ष प्रतिबिंब के बाईं ओर घुमाएं। पहली प्रतिबिंब के साथ क्रॉस तार को मिलाएं।
5. प्रेक्षण सारणी 4.1 में वर्नियर 1 और वर्नियर 2 के पाठ्यांकों को नोट करें।
6. दूरबीन को प्रत्यक्ष प्रतिबिंब के दाईं ओर घुमाएं, क्रॉस तार को दाईं ओर के पहली प्रतिबिंब से मिलाएँ।

प्रेक्षण सारणी 4.1 में वर्नियर 1 और वर्नियर 2 के पाठ्यांकों को नोट करें। द्वितीय कोटि के स्पेक्ट्रम के लिए इन प्रेक्षणों को दोहराएं।

4.5 H-ऐल्फा उत्सर्जन रेखा के तरंगदैर्ध्य का निर्धारण

स्पेक्ट्रम मापी का अल्पतमांक = ...

प्रति इंच रेखाछिद्रों की संख्या, N = ...

ग्रेटिंग नियतांक, (a+b) = 2.54 / *N* = ...cm

प्रेक्षण सारणी 4.2

स्पेक्ट्रम की कोटि	वर्नियर	दूरबीन के पाठ्यांक						विवर्तन कोण		
		बाएँ			दाएँ			2θ	θ	माध्य
		MSR	VSR	कुल	MSR	VSR	कुल			
1st (m=1)	V_1									θ_1
	V_2									
2nd (m=2)	V_1									θ_2
	V_2									

समीकरण (4.3) से: $m\lambda = (a+b)\sin\theta$

यहाँ *m* स्पेक्ट्रम की कोटि है।

प्रथम के स्पेक्ट्रम (m=1) के लिए, संबंध को हम लिख सकते हैं :

$$\lambda = (a+b)\sin\theta_1$$

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

द्वितीय कोटि के स्पेक्ट्रम (m=2)के लिए हम संबंध को निम्न रूप में लिखते हैं :

$$2\lambda = (a+b)\sin\theta_2$$

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

परिणाम:

H_αके लिए माध्य तरंगदैर्ध्य (λ)= .....cm = ...m.

4.6 सावधानियाँ और त्रुटि के स्रोत

1. हाइड्रोजन विसर्जन लैंप बहुत उच्च वोल्टता द्वारा संचालित होता है और नलिका गर्म हो जाती है। नलिका या उन हिस्सों को न छुएं जहां बिजली के संपर्क बने हैं।
2. ग्रेटिंग को हमेशा किनारे से छुएं, इसको सतह पर न छुएं।
3. प्रयोग के दौरान स्पेक्ट्रोमीटर की स्थिति न बदलें।

ignou THE PEOPLE'S UNIVERSITY

प्रयोग 5

आयोडीन वाष्प के स्पेक्ट्रम में अवशोषण रेखाओं का अध्ययन

इकाई की रूपरेखा

5.1 परिचय
अपेक्षित कौशल
5.2 आयोडीन का अवशोषण स्पेक्ट्रम
5.3 उपकरण का विवरण
5.4 प्रायोगिक विधि
5.5 सावधानियाँ और त्रुटि के स्रोत

5.1 परिचय

BPHET-141 की इकाई 4 में आपने तत्वों के उत्सर्जन स्पेक्ट्रम के बारे में पढ़ा। जैसा कि आप जानते हैं कि प्रत्येक तत्व का एक अभिलक्षणिक परमाण्वीय उत्सर्जन स्पेक्ट्रम होता है, जो कुछ विविक्त तरंगदैर्ध्यों के अनुरूप, एक गहरे रंग की पृष्ठभूमि पर रंगीन रेखाओं के एक समूह के रूप में दिखाई देता है।

तत्वों में एक अभिलक्षणिक अवशोषण स्पेक्ट्रम भी होता है। अवशोषण स्पेक्ट्रम में, एक सतत् स्पेक्ट्रम के कुछ भाग गायब हैं, जो अंधेरे रेखाओं या अंतराल के रूप में दिखाई देते हैं। किसी**अवशोषण स्पेक्ट्रम** में उन्हीं स्थानों पर काली रेखाएँ होती हैं जिन परप तत्व के**उत्सर्जन स्पेक्ट्रम** में प्रदीप्त रेखाएं होती है। तत्वों के अभिलक्षणिक परमाणु स्पेक्ट्रम की व्याख्या, बोर के परमाणु मॉडल के आधार पर की जाती है, जिसका अध्ययन आप BPHET-141 के भाग 4.6 में कर चुके हैं। जब परमाणु में इलेक्ट्रॉन ऊर्जा अवस्थाओं के बीच संक्रमण करता है, तो ऊर्जा उत्सर्जित या अवशोषित होती है। उत्सर्जित या अवशोषित विकिरण की ऊर्जा, दो ऊर्जा स्तरों के बीच ऊर्जा अंतराल के बराबर होती है। चूंकि ऊर्जा स्तर विविक्त है, उत्सर्जित या अवशोषित ऊर्जा केवल विशिष्ट आवृत्तियों (या तरंगदैर्ध्य) से मेल खाती है।

परमाणु की तरह, एक अणु में भी विविक्त ऊर्जा स्तर होते हैं। विद्युत चुम्बकीय विकिरणों के अवशोषण या उत्सर्जन के कारण इन क्वांटमीकृत ऊर्जा स्तरों के बीच संक्रमण से अणुओं के अभिलक्षणिक अवशोषण और उत्सर्जन स्पेक्ट्रम उत्पन्न होता है। इस प्रयोग में आप आयोडीन वाष्प के अवशोषण स्पेक्ट्रम का अध्ययन करेंगे। जैसा कि आपने पढ़ा होगा, आयोडीन एक द्विपरमाणुक अणु है।

अपेक्षित कौशल

यह प्रयोग करने के बाद आप इस योग्य होंगे कि :

- ❖ गुणात्मक रूप से आयोडीन के अवशोषण स्पेक्ट्रम की उत्पत्ति, अवशोषण स्पेक्ट्रम और उत्सर्जन स्पेक्ट्रम में अंतर की व्याख्या करने में सक्षम होंगे;
- ❖ अवशोषण स्पेक्ट्रम का अध्ययन करने के लिए उपकरण व्यवस्थित कर सकेंगे;
- ❖ आयोडीन के अवशोषण स्पेक्ट्रम का निरीक्षण कर सकेंगे; और
- ❖ विभिन्न अवशोषण लाइनों की तरंग दैर्ध्य निर्धारित कर सकेंगे।

इस प्रयोग को करने के लिए आपको निम्नलिखित उपकरण की आवश्यकता होगी।

आवश्यक उपकरण

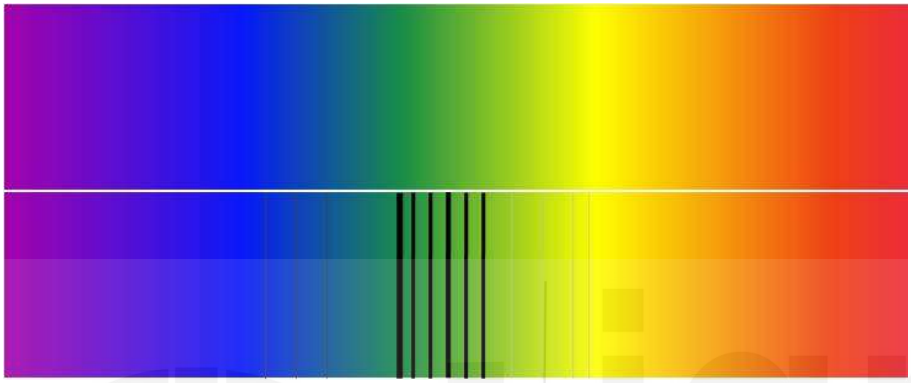
आयोडीन वाष्प नलिका, एक स्टील का बेंच जिस पर आयोडीन नलिका को रखने के लिए धारक होंगे, विद्युत् प्रदाय, ऋजु तंतु लैंप, विवर्तन ग्रेटिंग (जिसमें लगभग 15000 रेखाछिद्र प्रति इंच हो) स्पेक्ट्रोमीटर, पठन लैंप और आयोडीन के क्रिस्टल।

प्रयोग शुरु करने से पहले, आइए हम आयोडीन के आणविक स्पेक्ट्रम के मूल सिद्धांत पर संक्षेप में चर्चा करें।

5.2 आयोडीन का अवशोषण स्पेक्ट्रम

ऊर्जा स्तरों के बीच संक्रमण के कारण विकिरण का अवशोषण या उत्सर्जन होता है। आणविक ऊर्जा स्तर परमाणु ऊर्जा स्तरों की तुलना में अधिक जटिल होते हैं। इसका कारण यह है कि, अणुओं में जैसा कि आपने BPHCT-135 में अध्ययन किया है, उनकी घूर्णन/कंपन गति के संगत, कई स्वतंत्रता की कोटि है। यह मानते हुए कि किसी अणु के अंदर इलेक्ट्रॉन, भारी नाभिक की तुलना में बहुत तेजी से गति कर रहे हैं, इलेक्ट्रॉन की गति में घूर्णी भौतिको को कंपन गति से अलग करना संभव है। तो अणु की इलेक्ट्रॉनिक अवस्था में प्रतिरूपी ऊर्जा $E = E_{elec} + E_{vib} + E_{rot}$। इन ऊर्जा के पैमाने अलग हैं, जैसे कि $E_{elec} >> E_{vib} >> E_{rot}$। इसलिए अणु के प्रत्येक इलेक्ट्रॉनिक ऊर्जा स्तर, में कंपन उप-स्तर होते हैं और प्रत्येक कंपन स्तर में घूर्णन उप-स्तर होते हैं। एक इलेक्ट्रॉनअणु के अंदर इलेक्ट्रोनिक के अवस्थाओं के बीच इलेक्ट्रॉन का संक्रमण, भिन्न कंपन या घूर्णी उप-स्तरों के बीच भी हो सकता है। इस प्रकार दो इलेक्ट्रॉनिक स्तरों के बीच एक संक्रमण के परिणामस्वरूप एक बैंड (या करीबी ऊर्जा स्तरों का संग्रह) बनता है, जिसमें कई रेखाएं होती हैं जो एक ही आवृत्ति के करीब कई संक्रमणों का एक बैंड बनाती हैं।

आयोडीन अधात्विक है और कमरे के तापमान पर ठोस होता है। आणविक जालक में विविक्त द्विपरमाण्विक अणु होते हैं। अब यदि एक संतत उत्सर्जन स्पेक्ट्रम वाले प्रकाश (चित्र 5.1) को आयोडीन वाष्प से गुजरने दिया जाए, तो उत्सर्जन स्पेक्ट्रम के कुछ तरंग दैर्ध्य गायब पाए जाते हैं और ये अदीप्त रेखाओं के रूप में दिखाई देते हैं (चित्र 5.1ख)। ये काली रेखाएं बिल्कुल उन तरंगदैर्ध्य पर दिखाई देती हैं जो आयोडीन वाष्प से यात्रा करते समय अवशोषित होती हैं, जिसे मूल अवस्था के पहली उत्तेजित अवस्था में संक्रमण होता है।



चित्र 5.1: दृश्य प्रकाश स्पेक्ट्रम की योजनाएँ।क) स्पेक्ट्रोमीटर द्वारा प्रेक्षित संतत स्पेक्ट्रम, ख) जब आयोडीन वाष्प लैंप को दृश्य प्रकाश स्रोत और स्पेक्ट्रोमीटर के बीच रखा जाता है, तो अदीप्त रेखाएं या बैंड देखे जाते हैं।

वर्तमान प्रयोग में एक उच्च शक्ति लैंप का उपयोग किया जाता है एक दृश्य संतत विकिरण उत्सर्जित करने वाले जो आयोडीन वाष्प में से गुजर सके। जैसे ही प्रकाश आयोडीन वाष्प से होकर गुजरता है, आयोडीन अणुओं की घूर्णी, कंपन और इलेक्ट्रॉनिक ऊर्जा में परिवर्तन के कारण, विकिरण का अवशोषण या उत्सर्जन हो सकता है। आयोडीन अणुओं द्वारा दृश्य प्रकाश के अवशोषण की प्रक्रिया में, गैसीय रूप में आयोडीन अणु अपनी मूल इलेक्ट्रॉनिक अवस्था से उत्तेजित इलेक्ट्रॉनिक अवस्था के विभिन्न कंपन स्तरों तक उत्तेजित होते हैं। आयोडीन अणुओं द्वारा अवशोषण के परिणामस्वरूप, अदीप्त रेखाओं की श्रेणी या बैंड, दृश्यमान स्पेक्ट्रम में देखे जाएंगे। चूंकि प्रत्येक कंपन ऊर्जा स्तर के भीतर घूर्णी ऊर्जा उप-स्तर होते हैं, कुछ अदीप्त रेखाओं में घूर्णन ऊर्जा स्तरों से उत्पन्न होने वाली कई कमजोर रेखाएं हो सकती हैं। इस प्रकार, अनिवार्य रूप से देखी गई कुछ अदीप्त रेखाओं को अदीप्त बैंड के रूप में माना जा सकता है, हालांकि, वे कमरे के तापमान पर इतने कमजोर होते है कि उनका विभेदन करना मुश्किल है।

ग्रेटिंग का उपयोग करके, आयोडीन वाष्प के अवशोषण स्पेक्ट्रम में अवशोषण बैंड के संगत तरंगदैर्ध्य को निर्धारित किया जा सकता है :

$$(a+b)\sin\theta = n\lambda \qquad (5.1)$$

जहां $(a+b)$ ग्रेटिंग तत्व है, θ विवर्तन कोण है और n स्पेक्ट्रम की कोटि है।

$$\lambda = \frac{(a+b)\sin\theta}{n} = \frac{\sin\theta}{nN} \qquad (5.2)$$

N,ग्रेटिंग की प्रतिसेंटीमीटर रेखाछिद्रों की संख्या है और निम्नवत् परिभाषित है :

$$N = \frac{\text{Number of lines per inch}}{2.54} \quad (5.3)$$

5.3 उपकरण का विवरण

इस प्रयोग में आप आयोडीन वाष्प नलिका, एक स्टील बेंच का उपयोग करेंगे, जिसमें आयोडीन नलिका एक शक्ति होगी। आपूर्ति, सफेद प्रकाश के स्रोत के रूप में एक सीधा फिलामेंट लैंप, ऑप्टिकल विवर्तन ग्रेटिंग (प्रति इंच 15000लाइनों के साथ), स्पेक्ट्रोमीटर, रीडिंग लैंप और आयोडीन क्रिस्टल। आइए अब हम आयोडी वाष्प नलिका का वर्णन करेंगे जिसका आप पहली बार उपयोग करेंगे।

5.3.1 आयोडीन वाष्प नलिका

यह लगभग 1 मीटर लंबाई की एक कांच की नलिका होती है जिसका व्यास 3 सेमी होता है। नलिका में आयोडीन डालने के लिए एक छोटी निवेशिका है, जिसे कांच के डाट से बंद कर दिया जाता है। नलिका के एक छोर पर 4 सेमी व्यास की एक समतल कांच की प्लेट लगाई जाती है, जबकि छोटी फोकस दूरी का एक संग्राही लेंस,नलिका के दूसरे छोर पर रखा जाता है। ग्लास नलिका को एल्युमिनियम कास्टिंग में फिट किया जाता है। पूरी प्रणाली वायुरोधी है ताकि प्रयोग करते समय कोई भी आयोडीन वाष्प वातावरण में बाहर न निकले। नलिका को तापित करने के लिए एक विद्युत् प्रदाय है जिसके दो निर्गम है : 20 V और 30 V। शुरू में आयोडीन को वाष्पीकृत करने के लिए 30 V प्रदाय का प्रयोग किया जाता है और बाद में प्रयोग करते समय नलिका के अंदर वाष्प को बनाए रखने के लिए 20 V प्रदाय का प्रयोग किया जाता है। आयोडीन नलिका को V-धारक का उपयोग करके एक हल्के स्टील की बेंच पर रखा जाता है।

इस प्रारंभिक ज्ञान के साथ अब आप प्रयोग कर सकते हैं।

5.4 प्रायोगिक विधि

प्रयोग करने के लिए नीचे वर्णित विधि का अनुसरण करें।

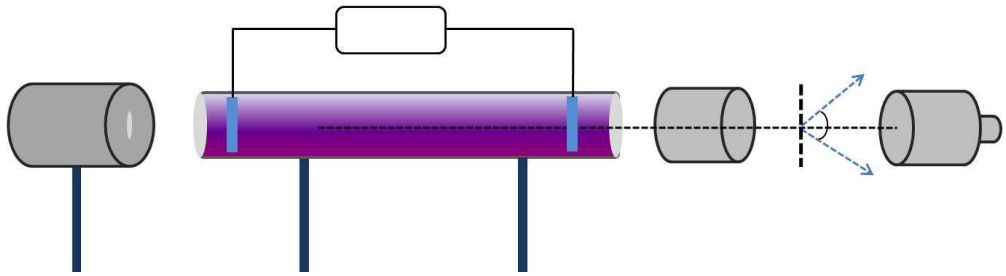
1. स्पेक्ट्रोमीटर को व्यवस्थित करें और नेत्रिका को अंदर और करते हुए दूरबीन की क्रॉस तारों पर फोकसित करें।

2. विवर्तन ग्रेटिंग को प्रिज्म मंच पर आपतित प्रकाश के अभिलंबवत रखें।

3. आयोडीन नलिका को रखने के लिए दिये गए V-माउंट पर स्टील बेंच के धारकों पर आयोडीन नलिका को व्यवस्थित करें।

4. इसके सामने बिजली का लैंप रखें।

5. आयोडीन नलिका को इस तरह रखा जाना चाहिए कि संग्राही लेंस वाला सिरा लैम्प की ओर हो और कांच के प्लेट वाली नलिका का विपरीत सिरा स्पेक्ट्रोमीटर के स्लिट की ओर रखा जाए। प्रायोगिक व्यवस्था चित्र 5.2 में दिखाया गया है।



चित्र 5.2: आयोडीन वाष्प की अवशोषण रेखाओं का अध्ययन करने के लिए प्रायोगिक व्यवस्था।

6. अब नलिका पर लगे रबर डाट को हटा दें और आयोडीन के कुछ ग्लोब्यूल नलिकामें डाल दें।

7. इस उद्देश्य के लिए दी गई विद्युत् प्रदाय को चालू करें और नलिकाको गर्म करना शुरू करें। आयोडीन को वाष्पीकृत करने के लिए शुरू में 30 V लगाएं और फिर ट्यूब में आयोडीन वाष्प को बनाए रखने के लिए वोल्टता को 30 Vतक कम करें।

8. लैंप चालू करें और स्पेक्ट्रोमीटर के दूरबीन से पहले कोटि के अवशोषण स्पेक्ट्रम का निरीक्षण करें। निरंतर उत्सर्जन स्पेक्ट्रम की पृष्ठभूमि में अदीप्त रेखाएं/बैंड की एक श्रेणी का प्रेक्षण किया जा सकता है।

9. पहले दोनों वर्नियरों में प्रत्यक्ष स्लिट के पाठ्यांक को नोट करें। फिर दूरबीन को प्रत्यक्ष स्लिट के दायीं ओर घुमाएं और क्रॉस तारों को लगातार अदीप्त रेखाएं/बैंडपर रखें। स्पेक्ट्रोमीटर के दोनों वर्नियर्स के पाठ्यांक लिखें।

10. स्पेक्ट्रम के हरे क्षेत्र (लगभग 510 nm के क्षेत्र में –560 nm) में अदीप्त रेखाओं की 10-15 रीडिंग लें। अदीप्त रेखाएं या बैंड हरित क्षेत्र में सबसे अधिक तीव्र होते हैं और वे मूल इलेक्ट्रॉनिक ऊर्जा स्तर के v= 0कंपन स्तर से उत्तेजित ऊर्जा स्तर के कंपन स्तरों में संक्रमण से उत्पन्न होते हैं।

11. अब टेलिस्कोप को प्रत्यक्ष स्लिट के बाईं ओर घुमाएं और क्रॉस तारों को लगातार अदीप्त रेखाओं/बैंडसपर सेट करें। स्पेक्ट्रोमीटर के दोनों वर्नियर्स के पाठ्यांक नोट करें।

12. डायरेक्ट रीडिंग के दो किनारों पर पहले ऑर्डर के लिए दोनों वर्नियर के लिए लाइन टू लाइन के रीडिंग के बीच अंतर ज्ञात करें। प्रत्यक्ष पाठ्यांक के दोनों तरफ प्रथम कोटि के संगत रेखाओं के वर्नियर पाठ्यांकों का अंतर लिखें।

13. दोनों पक्षों के बीच का अंतर,2θ, जहां θविवर्तन कोण है।

14. θके प्रत्येक मान के लिए, और n = 1 (प्रथम कोटि) लेकर, संबंध $\lambda = \frac{\sin\theta}{N}$से तरंगदैर्ध्य परिकलित करें। Nग्रेटिंग में प्रति cmरेखाछिद्रों की संख्या है।

प्रेक्षण सारणी 5.1

स्पेक्ट्रोमीटर का मुख्य पैमाना विभाजन = ...
वर्नियर पर विभाजनों की संख्या = ...
स्पेक्ट्रोमीटर का अल्पतमांक = ...
ग्रेटिंग में रेखाछिद्रों की संख्या (प्रति इंच)। = ...
प्रति सेमी रेखाछिद्रोंकी संख्या, *N* = ...

स्पेक्ट्रम का क्रम	वर्णक्रमीय बैंड का रंग	दूरबीन की स्थिति				रीडिंग के बीच अंतर2θ		2θका औसत मान	θ	तरंग (λ)
		दाईं ओर		बाईं ओर						
		वर्नियरV_1	वर्नियरV_2	वर्नियरV_1	वर्नियरV_2	V_1	V_2			

परिणाम :

अवशोषण आयोडीन वाष्प के स्पेक्ट्रम का अध्ययन किया जाता है। विभिन्न अवशोषण तरंगदैर्ध्यों का मान कमरे के तापमान पर निर्धारित किया जाता है।

5.5 सावधानियाँ और त्रुटि के स्रोत

1. आयोडीन ग्लोब्यूल्स को कांच की बोतलों में संग्रहित किया जाना चाहिए न कि प्लास्टिक की बोतल में, क्योंकि वे संक्षारक होते हैं।
2. आयोडीन ग्लोब्यूल्स को नंगे हाथों से नहीं छूना चाहिए।
3. आयोडीन नलिका में दिया गया रबर डाट कसकर फिट होना चाहिए।
4. आयोडीन नलिकाको इस तरह रखा जाना चाहिए कि संग्राही लेंस वाला सिरा लैम्प की ओर हो और ग्लास प्लेट वाला विपरीत सिरा, स्पेक्ट्रोमीटर के स्लिट की ओर रखा जाए।
5. नलिकाकी धुरी की धुरी के साथ मेल खानी चाहिए।
6. एक बार समानतरित्र आयोडीन वाष्पीकृत हो जाये विद्युत् प्रदाय में 20 V निर्गम का चयन करके नलिका केतापमान को नीचे लाया जाना चाहिए।

प्रयोग 6

लेसर स्रोत का उपयोग करके एकल और द्वि–स्लिट विवर्तन चित्र का अध्ययन और लेसर का तरंगदैर्ध्य निर्धारण

इकाई की रूपरेखा

6.1 परिचय
अपेक्षित कौशल
6.2 प्रकाश का विवर्तन
एकल स्लिट से प्रकाश का विवर्तन
द्विस्लिट से प्रकाश का विवर्तन
6.3 प्रायोगिक विधि
एकल स्लिट का प्रयोग करके विवर्तन चित्र को मापना
द्विस्लिट का प्रयोग करके विवर्तन चित्र को मापना
6.4 लेसर के तरंगदैर्ध्य का परिकलन
6.5 सावधानियाँ और त्रुटि के स्रोत

6.1 परिचय

तरंगों के मुड़ने की परिघटना जब वे एक ज्यामितीय छाया में, एक छिद्र या बाधा के चारों ओर से गुजरते हैं, तो इसे विवर्तन कहा जाता है। विवर्तन तब होता है, जब छिद्र या बाधा का आमाप तरंग की तरंगदैर्ध्य के साथ तुलनीय होता है। आपने BPHCL-138 की इकाई 10 में प्रकाश के विवर्तन की परिघटना के बारे में विस्तार से अध्ययन किया है। प्रकाश की तरंगदैर्ध्य के बराबर आमाप स्लिट या सूची छिद्र आदि का उपयोग करके प्रकाश का विवर्तन देखा जाता है। इस प्रयोग में, आप ज्ञात चौड़ाई

के एक स्लिट को रोशन करने के लिए एकवर्णीय लेसर स्रोत का उपयोग करेंगे। स्लिट से कुछ मीटर की दूरी पर रखे पर्दे पर विवर्तन चित्र (पैटर्न) देखा जाएगा। आपने BPHCL-138 के प्रयोग 10 में एकल स्लिट के लिए ऐसा विवर्तन चित्र प्राप्त किया है। इस प्रयोग में आप एकल स्लिट और द्विस्लिट विवर्तन चित्र से प्रयुक्त लेसर प्रकाश का तरंगदैर्ध्य निर्धारित करते हैं।

अपेक्षित कौशल

यह प्रयोग करने के बाद, आप इस योग्य होंगे कि :

- ❖ एकल स्लिट और द्विस्लिट विवर्तन चित्र से लेसर प्रकाश की तरंगदैर्ध्य को प्राप्त करने की प्रक्रिया में शामिल चरणों की व्याख्या कर सकेंगे;
- ❖ विवर्तन चित्र प्राप्त करने के लिए उपकरण व्यवस्थित कर पायेंगे;
- ❖ दिए गए एक और द्विस्लिट के लिए विवर्तन चित्र प्राप्त कर सकेंगे;
- ❖ केंद्रीय उच्चिष्ठ से विभिन्न निम्निष्ठों की दूरी को माप सकेंगे; और
- ❖ दिए गए लेसर प्रकाश के तरंगदैर्ध्य की गणना कर सकेंगे।

इस प्रयोग को करने के लिए आपको निम्नलिखित उपकरण की आवश्यकता होगी।

आवश्यक उपकरण

लेसर प्रकाश, स्रोत, एकल स्लिट, द्विस्लिट, स्लिट होल्डर, प्रकाशीय बेंच, स्क्रीन (पर्दा), चल-सूक्ष्मदर्शी, मीटर स्केल या मापक टेप।

प्रयोग शुरु करने से पहले, आइए हम सैद्धांतिक अवधारणाओं पर संक्षेप में चर्चा करें।

6.2 प्रकाश का विवर्तन

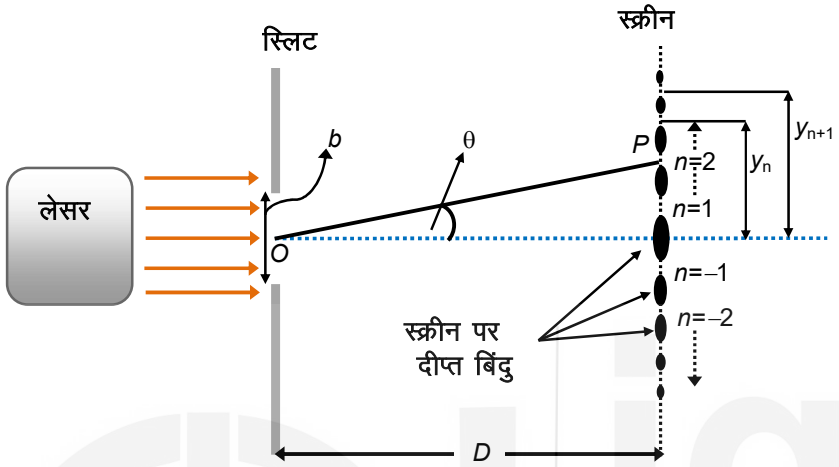
प्रयोग शुरु करने से पहले, आइए इस प्रयोग को करने के लिए आवश्यक अवधारणाओं पर संक्षेप में चर्चा करें। आप BPHCT-137 की इकाई 10, भाग 10.3 से एकल स्लिट विवर्तन चित्र और BPHCT-137 के सेक्शन 10.3 से द्वि-स्लिट विवर्तन चित्र के विषय में विस्तार से पढ़ सकते हैं।

6.2.1 एकल झिरी से प्रकाश का विवर्तन

तरंगदैर्ध्य λ का एक वर्णी लेसर प्रकाश एक समानांतर बीम एकल स्लिट परलंबवत आपतित होता है जैसा कि चित्र 6.1 में दिखाया गया है। स्लिट की चौड़ाई b है। प्रकाश किरण-पुंज स्लिट से विवर्तित हो जाता है और स्लिट से दूरी पर रखे स्क्रीन S पर विवर्तन चित्र बनाता है। विवर्तन चित्र एकांतर दीप्त और अदीप्त फ्रिंजों के रूप में देखा जाता है। जो क्रमशः विवर्तन चित्र के उच्चिष्ठ और निम्निष्ठ के अनुरूप होते हैं। विवर्तन चित्र के केंद्र में प्रकाश की तीव्रता अधिकतम होती है और इसे मुख्य उच्चिष्ठ के रूप में जाना जाता है। एकांतर अदीप्त और दीप्त फ्रिंज मुख्य उच्चिष्ठ के दोनों ओर सममित रूप से फैले हुए हैं। किसी बिंदु पर P पर विवर्तन चित्र की तीव्रता निम्नलिखित संबंध द्वारा दी जाती है। (BPHCT-137 की इकाई 10 का समीकरण 10.8) :

$$I_\theta = I_0\left[\frac{\sin\left(\frac{\pi b\sin\theta}{\lambda}\right)}{\left(\frac{\pi b\sin\theta}{\lambda}\right)}\right]^2 \qquad (6.1)$$

जहां I_0 केंद्र पर तीव्रता है, अर्थात् $\theta = 0$ के लिए।



चित्र **6.1**: लेसर स्रोत से बने एकल स्लिट विवर्तन चित्र।

निम्निष्ठ के प्रतिबंध को स्लिट की चौड़ाई b और कोण θ के पदों में निम्नवत् व्यक्त किया जाता है (BPHCT-137 का समीकरण 10.11):

$$b\ \sin\theta = n\lambda\ ,\ n = \pm1, \pm2, \pm3, \pm4\ldots\ldots\ldots \qquad (6.2)$$

θ के छोटे मानों के लिए; $\sin\theta \approx \theta$ और समीकरण 6.1 से हम लिख सकते हैं :

$$\tan\theta = \sin\theta \approx \theta = \frac{y_n}{D} \qquad (6.3)$$

जहां y_n केंद्रीय उच्चिष्ठ के कंद्र से n^{th} निम्निष्ठ की दूरी है। समीकरण (6.2 और 6.3) से θ के छोटे मानों के लिए हम प्राप्त करते हैं :

$$n\lambda = b\frac{y_n}{D} \Rightarrow y_n = n\lambda\frac{D}{b} \qquad (6.4)$$

समीकरण (6.4) का उपयोग किन्हीं दो क्रमागत निम्निष्ठों के लिए (जैसे कि n^{th} निम्निष्ठ और $(n+1)^{th}$ निम्निष्ठ) करते हुए हम लिख सकते हैं :

$$y_n = n\lambda\frac{D}{b}\ ;\ y_{n+1} = (n+1)\lambda\frac{D}{b} \qquad (6.5)$$

और

$$y_{n+1} - y_n = [(n+1) - n]\lambda\frac{D}{b} \Rightarrow \lambda = \frac{b}{D}\left[\frac{y_{n+1} - y_n}{(n+1) - n}\right] \qquad (6.6)$$

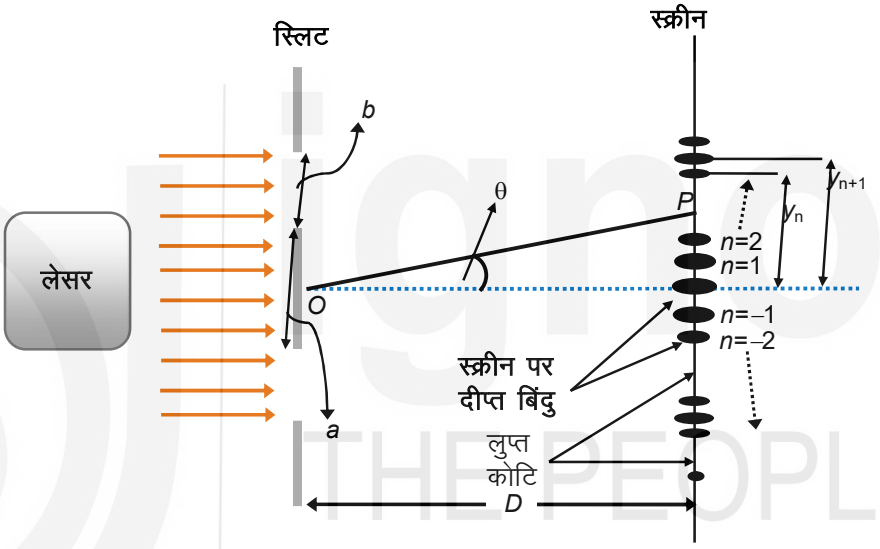
समीकरण (6.4) से ध्यान दें कि यदि हम y_n(y-अक्ष के अनुदिश) को n(x-अक्ष के अनुदिश) के साथ आलेखित करते हैं तो हमें एक सीधी रेखा प्राप्त होगी और सीधी रेखा की प्रवणता (slope) होगी :

$$\text{Slope} = \left[\frac{y_{n+1} - y_n}{(n+1) - n}\right] \qquad (6.7)$$

और इसलिए, हम लिख सकते हैं :

$$\lambda = \frac{b}{D} \times \text{Slope} \qquad (6.8)$$

6.2.2 द्विस्लिट से प्रकाश का विवर्तन



चित्र **6.2**: द्विस्लिट से विवर्तन।

द्विस्लिट से विवर्तन चित्र प्राप्त करने के लिए, आपको चित्र 6.1 में एकल स्लिट को द्विस्लिट से बदलना होगा। चित्र 6.2 में आप एक द्विस्लिट विवर्तन चित्र देख सकते है। इस द्विस्लिट में चौड़ाई b के दो स्लिट है जिनके बीच की दूरी a है। स्लिट में दो एक जैसे बिन्दुओं के बीच की दूरी $d = a + b$। किसी भी बिन्दु P पर प्रकाश की तीव्रता (इकाई 10, BPHCT-137 के समीकरण 10.19) निम्न समीकरण द्वारा दी जाती है :

$$I_\theta = 4I_0\left[\frac{\sin\beta}{\beta}\right]^2 \cos^2\gamma \qquad (6.9)$$

ज्हां $\beta = \dfrac{\pi b \sin\theta}{\lambda}$ और $\gamma = \dfrac{\pi d \sin\theta}{\lambda}$ केंद्र में तीव्रता $4I_0$ है, अर्थात $\theta = 0$ पर। केंद्रीय उच्चिष्ठ के भीतर आपके पास समान दूरी पर दीप्त और अदीप्त फ्रिंज होंगे। केंद्रीय उच्चिष्ठ के दोनों ओर आपके पास सममित एकांतर अदीप्त और दीप्त फ्रिंज होंगे जो θ के बढ़ने के साथ घट जायेंगे। y_n की दूरी पर स्थित nवें उच्चिष्ठ के लिए प्रतिबंध BPHCT-137 की इकाई 10 के समीकरण 10.23 में निम्नवत् है :

$$d\sin\theta = n\lambda, \text{for } n = 0, \pm1, \pm2, \pm3, .., \text{ n = 0,±1, ±2, ±3, ±4...} \qquad (6.10)$$

θ के छोटे मानों के लिए $\sin\theta \approx \theta, \cos\theta \approx 1$, इसलिए,

$$\tan\theta = \sin\theta \approx \theta = \frac{y_n}{D} \qquad (6.11)$$

समीकरणों 6.10 और 6.11 से, θ के छोटे मानों के लिए, हमें प्राप्त होता है :

$$n\lambda = d\frac{y_n}{D} \Rightarrow \lambda = \frac{d}{D}\times\frac{y_n}{n} \qquad (6.12)$$

दो क्रमागत उच्चिष्ठों के लिए हमें प्राप्त होता है (चित्र 6.2) :

$$y_n = n\lambda\frac{D}{d}; y_{n+1} = (n+1)\lambda\frac{D}{d} \qquad (6.13)$$

और $$\lambda = \frac{d}{D}\left[\frac{y_{n+1}-y_n}{(n+1)-n}\right]$$

n के साथ y_n को आलेखित करने पर, हम इस रेखा की प्रवणता (slope) को निम्नवत् लिखते हैं :

$$Slope = \left[\frac{y_{n+1}-y_n}{(n+1)-n}\right]$$

इसलिए

$$\lambda = \frac{d}{D}\times Slope == \frac{(a+b)}{D}\times Slope \qquad (6.14)$$

समीकरण (6.8) और (6.14) का उपयोग करके लेसर प्रकाश की तरंगदैर्ध्य को निर्धारित किया जाता है।

6.3 प्रायोगिक विधि

लेसर स्रोत का उपयोग करके एकल और द्विस्लिट विवर्तन पैटर्न को प्राप्त करने के लिए नीचे वर्णित प्रक्रिया का पालन करें।

1. प्रकाशिक बेंच के एक छोर पर लेसर प्रकाश स्रोत और उसके दूसरे छोर पर स्क्रीन को रखें। प्रकाशिक बेंच पर स्टैंड की मदद से लेसर स्रोत और स्क्रीन के बीच में स्लिट को व्यवस्थित करें।

2. यदि प्रकाशीय बेंच की लंबाई उस पर सभी घटकों को लगाने के लिए पर्याप्त न हो, और बेंच पर लेसर स्रोत या स्क्रीन को लगा नहीं पाये, तो समतलन के लिए दिए गए पेंचों की मदद से प्रकाशीय बेंच को समतल करना आवश्यक है। लेसर प्रकाश को स्लिट और स्क्रीन, दोनों के लंबवत होनी चाहिए।

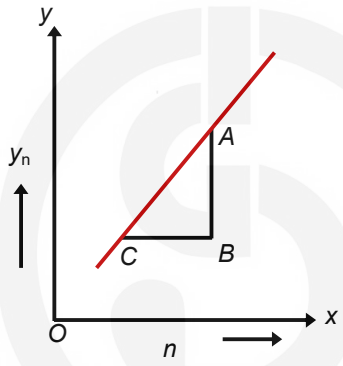
3. लेसर प्रकाश स्रोत को इस प्रकार संरेखित करें, कि प्रकाश स्लिट के केंद्र में आपतित हो। स्पष्ट विवर्तन चित्र प्राप्त करने के लिए स्क्रीन को स्लिट से कुछ मीटर की दूरी पर रखें। यदि स्लिट और पर्दे के बीच की दूरी पर्याप्त रूप से बड़ी (1m से अधिक) है, तो विवर्तन चित्र को देखने के लिए, स्क्रीन को ग्राफ पेपर से बदला जा सकता है। यह केंद्रीय उच्चिष्ठ से दूरी को मापने में मदद करेगा।

4. स्क्रीन पर विवर्तन चित्र को ध्यान से चिहिनत करें। विवर्तन चित्र के चमकीले धब्बों (उच्चिष्ठ) की स्थिति को चिहिनत करें। एकल स्लिट और द्विस्लिट के लिए क्रमशः केंद्रीय उच्चिष्ठ के केंद्र से निम्निष्ठ और उच्चिष्ठों की दूरी को मापें।

5. यदि विवर्तन चित्र सममित नहीं है (उसी क्रम के उच्चिष्ठों या निम्निष्ठों की दूरी भिन्न है) तो यह इंगित करता है कि या तो स्लिट या स्क्रीन प्रकाश की दिशा के बिल्लकुल लंबवत नहीं है। सममित विवर्तन चित्र प्राप्त करने के लिए स्लिट या स्क्रीन को समायोजित करें।

6.3.1 एकल स्लिट का उपयोग करके विवर्तन चित्र को मापना

आप एक दीप्त केंद्रीय उच्चिष्ठ के साथ-साथ एकांतर सममित दूरी पर अदीप्त और दीप्त विवर्तन बिन्दु देखेंगे। चित्र 6.1 में दिखाए अनुसार दीप्त बिन्दुओं को चिहिनत करें, जैसा कि चित्र 6.1 में दिखाया गया है। केंद्रीय उच्चिष्ठ के केंद्र से निम्निष्ठ के केंद्र तक की दूरी को मापें। विभिन्न कोटि के निम्निष्ठों के लिए दूरी को प्रेक्षण सारणी 6.1 में लिखें।



चित्र 6.3: निम्निष्ठ की कोटि *n* (*x*-अक्ष के अनुदिश) और निम्निष्ठ की दूरी y_n (*y*-अक्ष के अनुदिश) के बीच आलेख।

प्रेक्षण सारणी 6.1: एकल स्लिट विवर्तन चित्र में निम्निष्ठों की स्थिति

क्र.सं.	निम्निष्ठ की कोटि (n)	निम्निष्ठ की दूरी y_n (mm)
1	.	.
2	.	(ऋणात्मक दूरी)
3	-3	.
4	-2	.
.	-1	.
.	0	0 (केंद्रीय उच्चिष्ठ का केंद्र)
.	1	.
.	2	.
.	3	.
.	.	(धनात्मक दूरी)
.	.	.

y_n के साथ ग्राफ़ आलेखित करें और जो n सरल रेखा प्राप्त होती है उसकी प्रवणता को मापें जैसा कि चित्र 6.3 में दिखाया गया है।

$$Slope = \frac{AB}{BC} \qquad (6.14)$$

6.3.2 द्विस्लिट का उपयोग करके विवर्तन चित्र को मापना

यदि आप उपर्युक्त प्रयोगात्मक व्यवस्था में द्विस्लिट का उपयोग कर रहे हैं, तो आप एकांतर सममित रूप से दूरी वाले अदीप्त और दीप्त विवर्तन बिन्दु मिलेंगे जो दीप्त केंद्रीय उच्चिष्ठ से समान दूरी पर हैं।

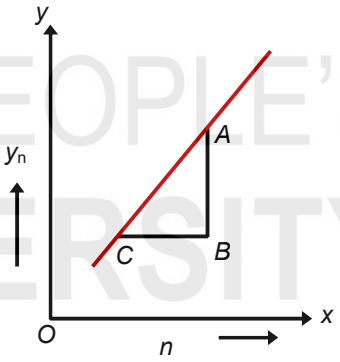
1. चित्र 6.2 में दर्शाए अनुसार दीप्त बिन्दुओं धब्बों को चिहिनत करें।

2. केंद्रीय उच्चिष्ठ के केंद्र से प्रत्येक उच्चिष्ठ के केंद्र तक की दूरी को मापें।

3. उच्चिष्ठों की विभिन्न कोटियों के लिए इन दूरियों को प्रेक्षण सारणी 6.2 में लिखें।

प्रेक्षण सारणी 6.2: द्विस्लिट विवर्तन चित्र में उच्चिष्ठों की स्थिति

क्र.सं.	उच्चिष्ठ की कोटि (n)	उच्चिष्ठ की दूरी y_n (mm)
1	.	.
2	.	(ऋणात्मक दूरी)
3	-3	.
4	-2	.
.	-1	.
.	0	0 (केंद्रीय उच्चिष्ठ का केंद्र)
.	1	.
.	2	.
.	3	.
.	.	(धनात्मक दूरी)



चित्र 6.4: उच्चिष्ठ की कोटि *n* (*x*-अक्ष के अनुदिश) और उच्चिष्ठ की दूरी y_n (*y*-अक्ष के अनुदिश) के बीच आलेख।

4. n के साथ y_n का ग्राफ़ आलेखित करें और प्राप्त सीधी रेखा की प्रवणता को मापें जैसा कि चित्र 6.4 में दिखाया गया है।

$$Slope = \frac{AB}{BC} = ...mm \qquad (6.15)$$

6.4 लेसर के तरंगदैर्ध्य का परिकलन

लेसर का तरंगदैर्ध्य निर्धारित करने के लिए, मीटर स्केल का उपयोग करके स्लिट और स्क्रीन के बीच की दूरी *D* को मापें। सूक्ष्ममापी बेंच या चल चल सूक्ष्मदर्शी का प्रयोग करके स्लिट की चौड़ाई को मापें।

1. एकल स्लिट के लिए :

   b = ... mm; D = ... mm

   चित्र 6.4 से परिकलित प्रवणता के मान का उपयोग समीकरण 6.8 में करके आप प्रकाश की तरंगदैर्ध्य की गणना इस प्रकार करते हैं :

   $$\lambda = \frac{b}{D} \times Slope == .....mm = ...nm$$

2. द्विस्लिट के लिए

   $d = (a+b)$ =.....mm; D= ..... mm

   समीकरण 6.5 में चित्र 6.5 से परिकलित प्रवणता के मान का उपयोग करके, आप प्रकाश की तरंगदैर्ध्य की गणना इस प्रकार करते हैं :

   $$\lambda = \frac{a+b}{D} \times Slope = ...mm = ...nm$$

6.5 सावधानियाँ और त्रुटि के स्रोत

1. लेसर चाले करने पहले, सुनिश्चित करें कि यह आपसे दूर है।
2. कभी भी सीधे लेसर पॉइंटर में न देखें और न ही इसे किसी अन्य व्यक्ति की ओर इंगित करें।
3. प्रयोग शुरु होने से पहले लेसर कम से कम 10 मिनट के लिए 'चालू' होना चाहिए।
4. उपयोग में न होने पर लेसर को बंद रखें।

प्रयोग 7

प्रकाश विद्युत् प्रभाव का अध्ययन

इकाई की रूपरेखा

7.1 परिचय

अपेक्षित कौशल

7.2 प्रकाश विद्युत् प्रभाव

7.3 प्रायोगिक विधि

प्रकाशिक इलेक्ट्रॉनों की गतिज ऊर्जा का प्रकाश आवृत्ति के साथ विचरण

प्रकाश की तीव्रता के साथ प्रकाश विद्युत् धारा का विचरण

प्रकाश की नियत तीव्रता के लिए आवृत्ति के साथ प्रकाश विद्युत् धारा का विचरण

प्रकाश विद्युत् धारा पर विभव का असर

प्रकाश की आवृत्ति के साथ निरोधी विभव का परिवर्तन

7.3 परिकलन एवं परिणाम

7.4 सावधानियाँ और त्रुटि के स्रोत

7.1 परिचय

फोटोइलेक्ट्रिक प्रभाव वह परिघटना है, जिसमें धातु पर पर्याप्त उच्च आवृत्ति का प्रकाश आपतित होने पर, उसकी सतह से इलेक्ट्रॉनों का उत्सर्जन होता है आपने प्रकाश विद्युत् प्रभाव के बारे में BPHET-141 की इकाई 4 में पढ़ा है।

इस प्रयोग में आप प्रकाश-विद्युत् प्रभाव के अभिलक्षणों का अध्ययन करेंगे और समझेंगे कि आइंस्टीन के प्रकाश-विद्युत् प्रभाव का सिद्धांत, प्रेक्षित विशेषताओं की व्याख्या कैसे करता है।

अपेक्षित कौशल

यह प्रयोग करने के बाद, आप इस योग्य होंगे कि :

- ❖ प्रकाश-विद्युत् प्रभाव के महत्वपूर्ण अभिलक्षणों को सूचीकृत कर पायेंगे;
- ❖ प्रकाश की आवृत्ति के साथ प्रकाशिक इलेक्ट्रॉनों की गतिज ऊर्जा के परिवर्तन की व्याख्या कर सकेंगे;
- ❖ आपतित प्रकाश की तीव्रता के साथ प्रकाश विद्युत् धारा के विचरण को आलेखित कर सकेंगे और उसकी व्याख्या कर सकेंगे;
- ❖ प्रकाश की एक निश्चित तीव्रता के लिए आवृत्ति के साथ प्रकाश विद्युत् धारा के विचरण का आलेख बना सकेंगे और उसकी व्याख्या कर सकेंगे;
- ❖ गतिज ऊर्जा का आवृत्ति के साथ ग्राफ़ से प्लांक नियतांक की गणना कर सकेंगे;
- ❖ अनुप्रयुक्त विभव के साथ प्रकाश विद्युत् धारा ग्राफ़ आलेखित कर सकेंगे; और
- ❖ अनुप्रयुक्त विभव के साथ प्रकाश विद्युत् धारा के ग्राफ़ से निरोधी विभव का निर्धारण कर पायेंगे।

इस प्रयोग को करने के लिए आपको निम्नलिखित घटकों और उपकरणों की आवश्यकता होगी।

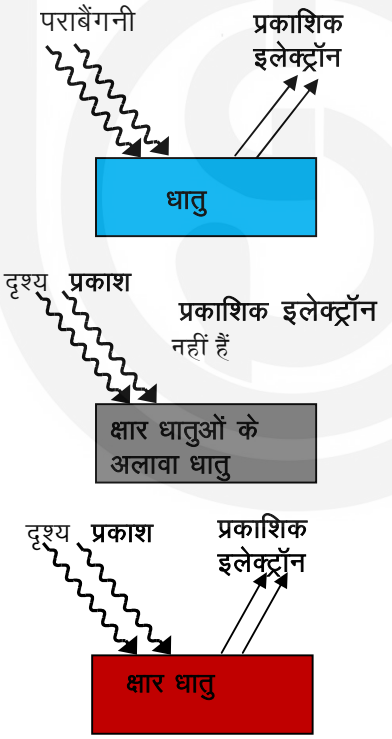
आवश्यक उपकरण

प्रकाश का स्रोत (परिवर्ती तीव्रता, विभव वाला), स्पेक्ट्रममापी, धातु की प्लेट, अलग रंगों का प्रकाश (नीला, हरा, पीला, नारंगी, लाल) प्राप्त करने के लिए फिल्टर, धातु का कैथोड, धातु का ऐनोड, स्फटिक गवाक्ष, ऐमीटर, वोल्टतामापी, धारा नियंत्रक और विद्युत् प्रदाय।

आइए हम प्रकाश विद्युत् प्रभाव के महत्वपूर्ण अभिलक्षणों का संक्षेप में वर्णन करें।

7.2 प्रकाश विद्युत् प्रभाव

जैसा कि आप BPHET-141 के भाग 4.4 से जानते हैं, धातु की सतह से निष्कासित होने के लिए इलेक्ट्रॉन के लिए आवश्यक ऊर्जा की न्यूनतम मात्रा को धातु **कार्य फलन** (ϕ) कहते हैं। इसके संगत आपतित विकिरण की आवृत्ति को **देहली आवृत्ति** (ν_0) कहते हैं और $\phi = h\nu_0$ । इस तरह से उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों को **प्रकाशिक इलेक्ट्रॉन** कहा जाता है। प्रकाशिक इलेक्ट्रॉनों से बनी धारा को **प्रकाश विद्युत् धारा** कहते हैं। जब ν_0 का मान स्पेक्ट्रम के पराबैंगनी क्षेत्र में होता है, तो अधिकांश ठोस इलेक्ट्रॉनों का उत्सर्जन करते हैं, हालांकि कुछ धातुएं जैसे पोटेशियम (K), रूबिडियम (Rb), सीज़ियम (Cs) और सोडियम (Na) आदि, दृश्य और निकट पराबैंगनी क्षेत्र में इलेक्ट्रॉनों का उत्सर्जन करते हैं।



चित्र 7.1: धातुओं में प्रकाश विद्युत् प्रभाव ।

क्षार धातुओं में कम आयनन विभव होती है, इसलिए प्रकाश के उदभासन से इलेक्ट्रॉन आसानी से उत्सर्जित होते हैं। लिथियम को छोड़कर सभी क्षार धातुएं प्रकाश विद्युत् प्रभाव दिखाती हैं। आयनन ऊर्जा के उच्च मान के कारण लिथियम प्रकाशिक इलेक्ट्रॉनों का उत्सर्जन नहीं करता है। क्षार धातुओं में, Cs आयनन विभव का मान सबसे कम है और इसलिए प्रकाश विद्युत् धारा अधिकतम सीमा तक दिखा सकता है। पराबैंगनी

विकिरण में कम तरंगदैर्ध्य (या उच्च आवृत्ति) होता है और इसलिए दृश्य प्रकाश की तुलना में फोटॉन की ऊर्जा इसमें अधिक होती है। इसलिए पराबैंगनी विकिरण, क्षार धातुओं के अलावा भी अधिकांश धातुओं की सतह से इलेक्ट्रॉनों को उत्सर्जित करने में सक्षम है (चित्र 7.1 देखें)।

आपने BPHET-141 के भाग 4.4.2 में प्रकाश-विद्युत् प्रभाव के क्वांटम सिद्धांत का अध्ययन किया है। धातु की सतह से उत्सर्जित प्रकाशिक इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम गतिज ऊर्जा (K_{max}) और आपतित विकिरण की आवृत्ति (ν) के बीच निम्नलिखित संबंध है। (BPHET-141 के समीकरण 4.16 और 4.17) :

$$K_{max} = h\nu - \phi = h\nu - h\nu_0 \qquad (7.1)$$

एक प्रयोगात्मक व्यवस्था में (इकाई 4, BPHET-141) का चित्र 4.4, प्रकाशिक इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम गतिज ऊर्जा को इलेक्ट्रोड के बीच एक मंदक विभव लगाकर मापा जाता है। निरोधी विभव V_S का वह मान है, मंदक विभव जिस पर परिपथ में प्रकाश विद्युत् धारा घटकर शून्य हो जाती है। इसलिए (इकाई 4.4 का समीकरण 4.20क, BPHET-141) :

$$K_{max} = eV_S = h\nu - h\nu_0 \Rightarrow V_S = \frac{h}{e}(\nu - \nu_0) \qquad (7.2)$$

समीकरण 7.2 से यह स्पष्ट है कि अधिकतम गतिज ऊर्जा K_{max} (निरोधी विभव V_S) आपतित प्रकाश की तीव्रता पर निर्भर नहीं करता है और केवल प्रकाश की आवृत्ति और धातु के कार्य फलन पर निर्भर करती है। हालांकि, आपतित विकिरण की तीव्रता के साथ प्रकाश विद्युत् धारा बढ़ जाती है (BPHET-141 का चित्र 4.4), क्योंकि आपतित विकिरण की तीव्रता के साथ सतह के इकाई क्षेत्र पर आपतित **फोटॉनों की संख्या** बढ़ती जाती है। और बशर्ते कि आपतित विकिरण की आवृत्ति देहली आवृत्ति से परे हो, एक निश्चित तीव्रता के लिए, आवृत्ति के साथ फोटोक्रेक्ट का परिमाण नहीं बदलेगा।

हम K_{max} को तरंगदैर्ध्य के पदों में ($\nu = c/\lambda$ और $\nu_0 = c/\lambda_0$) भी लिख सकते हैं :

$$K_{max} = eV_S = hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right) \Rightarrow V_S = \frac{hc}{e}\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right) \qquad (7.3)$$

समीकरण (7.2) और (7.3) का प्रयोग प्लांक नियतांक h के प्रयोगात्मक निर्धारण के लिए किया जाता है।

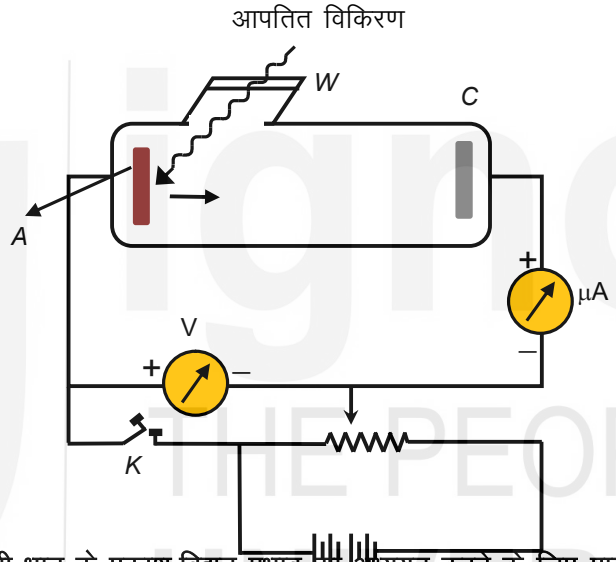
7.3 प्रायोगिक विधि

प्रकाश विद्युत् प्रभाव का अध्ययन करने के लिए प्रायोगिक व्यवस्था में एक धातु का कैथोड (C) होता है जो प्रकाशिक इलेक्ट्रॉन के संग्राहक के रूप में कार्य करता है, धातु का एनोड (A) जो फोटोइलेक्ट्रोड है, एक स्फटिक गवाक्ष (W), माइक्रोऐमीटर, धारा नियंत्रक, और एक विद्युत् प्रदाय जुड़ हुए है जैसा कि चित्र 7.2 में दिखाया गया है। जब उपयुक्त आवृत्ति का प्रकाश फोटोइलेक्ट्रोड पर पड़ता है, तो प्रकाशिक इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होते हैं, जो कैथोड की ओर बढ़ते हैं और एक प्रकाश विद्युत् धारा का निर्माण करते हैं। विभवांतर के परिमाण के साथ-साथ, दो इलेक्ट्रोडों की ध्रुवता को ध्रुवता उत्क्रमी स्विच (K) का उपयोग करके उलटा किया जा सकता है। ध्यान दें कि स्फटिक गवाक्ष को प्राथमिकता दी जाती है, क्योंकि यह सभी पराबैंगनी, दृश्य और अवरक्त

प्रकाश का संचरण करती है, जबकि एक कांच का गवाक्ष केवल दृश्य और अवरक्त प्रकाश संचरण करेगी, लेकिन पराबैंगनी प्रकाश को नहीं।

यदि विभिन्न आवृत्तियों के प्रकाश स्रोत उपलब्ध नहीं हैं, तो विभिन्न आवृत्तियों के प्रकाश प्राप्त करने के लिए फिल्टर का उपयोग किया जा सकता है। उदाहरण के लिए श्वेत प्रकाश के सामने एक लाल फिल्टर, केवल लाल प्रकाश को ही संचरित होने देगा, इसलिए हम कह सकते हैं कि धातु की सतह पर पड़ने वाला प्रकाश लाल प्रकाश है, और हम गणना के लिए लाल प्रकाश की आवृत्ति को नोट कर सकते हैं। इसी तरह, हम विभिन्न रंगों के फिल्टर का उपयोग करके विभिन्न आवृत्तियों का प्रकाश प्राप्त कर सकते हैं।

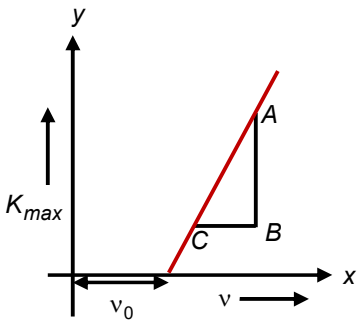
इस व्यवस्था के साथ अब हम प्रकाश-विद्युत् प्रभाव के विभिन्न गुणों का अध्ययन करते हैं।



चित्र 7.2: किसी धातु के प्रकाश-विद्युत् प्रभाव का अध्ययन करने के लिए प्रायोगिक व्यवस्था।

7.3.1 प्रकाश की आवृत्ति के साथ प्रकाशिक इलेक्ट्रॉनों की गतिज ऊर्जा का विचरण

1. किसी दिए गए फोटोइलेक्ट्रोड और विकिरण की एक विशेष आवृत्ति के लिए (फिल्टर का एक विशेष रंग), प्रकाश की तीव्रता को पर्याप्त मात्रा में प्रकाश विद्युत् धारा प्राप्त करने के लिए समायोजित करें। तीव्रता नियत हो जाने के बाद, प्रयोग के इस भाग के लिए इसे न बदलें।
2. प्रारंभ में कैथोड को शून्य विभव पर रखा जाता है। फिर धीरे-धीरे इसके मंदक विभव को बढ़ायें।
3. जैसे-जैसे मंदक विभव का मान बढ़ता है, प्रकाश विद्युत् धारा कम होती जाएगी। ऋणात्मक विभव के एक निश्चित मान पर परिपथ में प्रकाश विद्युत् धारा शून्य हो जाएगी, ऋणात्मक विभव का यह मान निरोधी विभव, V_s है। इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम गतिज ऊर्जा तब V_s के इस मान का उपयोग करके निर्धारित की जा सकती है (समीकरण 7.1)। प्रेक्षण सारणी 7.1 में अपनी पाठ्यांक दर्ज करें।



चित्र 7.3: किसी धातु के लिए, प्रकाशिक इलेक्ट्रॉनों के अधिकतम गतिज ऊर्जा का आवृत्ति के साथ विचरण।

4. आपतित विकिरण की अलग-अलग आवृत्तियों (नीला, हरा, नारंगी, पीला प्रकाश) के लिए चरण 1-3 दोहराएँ और प्रेक्षण सारणी 7.1 में अपने पाठ्यांक दर्ज करें।

प्रेक्षण सारणी 7.1: आवृत्ति के साथ गतिज ऊर्जा का विचरण

प्रकाश का रंग	आवृत्ति (ν Hertz में)	निरोधी विभव (V_S, V में)	अधिकतम गतिज ऊर्जा ($K_{max} = eV_S$, J में)
नीला			
हरा			
पीला			
नारंगी			
लाल			
...			

4. आवृत्ति (ν) और अधिकतम गतिज ऊर्जा K_{max} को क्रमशः x और y अक्षों के अनुदिश रखते हुए तालिका 7.1 के आंकड़ों के साथ ग्राफ़ आलेखित करे। आप देखेंगे कि आलेख एक सीधी रेखा है। (चित्र 7.3) ।

5. समीकरण (7.1) से आप समझ सकते हैं कि इस ग्राफ़ का प्रवणता (slope) प्लांक नियतांक (n) का मान देगा और धातु के कार्य फलन का मान हमें चित्र 7.3 में x-अक्ष खंड से परिकलित कर सकते हैं।

7.3.2 प्रकाश की तीव्रता के साथ प्रकाश विद्युत् धारा का विचरण

1. आपतित विकिरण की एक निश्चित आवृत्ति/तरंग दैर्ध्य के लिए, कैथोड विभव को धनात्मक मान में समायोजित करें। (विकिरण की आवृत्ति, देहली आवृत्ति से ऊपर होनी चाहिए)।

2. शून्य से शुरू करते हुए, प्रकाश की तीव्रता को धीरे-धीरे 10% के चरणों में बढ़ाएं और परिपथ में प्रकाश-विद्युत् धारा को नोट करें। प्रेक्षण सारणी 7.2 में अपने पाठ्यांक दर्ज करें।

3. चरण 2 को तब तक दोहराएं, जब तक कि प्रकाश की तीव्रता 100% न हो जाए।

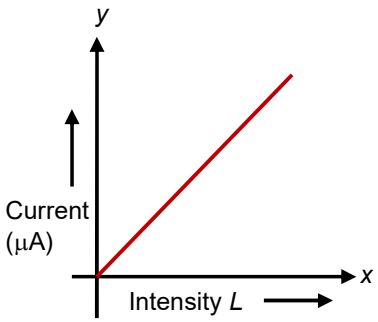
आपतित विकिरण की तरंगदैर्ध्य =.....m

कैथोड विभव =.....V

प्रेक्षण सारणी 7.2: प्रकाश विद्युत् धारा का तीव्रता के साथ विचरण

क्र.सं.	तीव्रता (L)	प्रकाश विद्युत् धारा (μA)
1	0	0
2	10%	...
3	20%	...
..	...	...

..	...	...



चित्र 7.4: प्रकाश के किसी दिये गये आवृत्ति या तरंगदैर्ध्य पर, प्रकाश विद्युत् धारा प्रकाश की तीव्रता के साथ बढ़ती है।

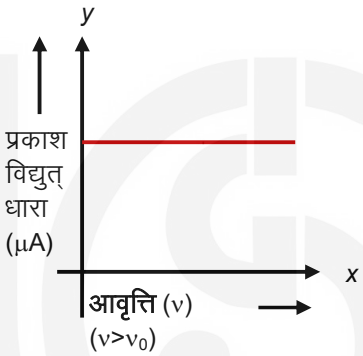
4. प्रेक्षण सारणी 7.2 के आंकड़ों को आलेखित करें, जैसा कि चित्र 7.4 में दिखाया गया है। एक निश्चित आवृत्ति (दहली आवृत्ति से ऊपर) के लिए, प्रकाश विद्युत् धारा रैखिक रूप से आपतित प्रकाश की तीव्रता के साथ बढ़ती है।

7.3.3 प्रकाश की नियत तीव्रता के लिए आवृत्ति के साथ प्रकाश विद्युत् धारा का विचरण

1. प्रकाश की तीव्रता को अधिकतम मान पर समायोजित करें।
2. आपतित विकिरण की आवृत्ति/तरंगदैर्ध्य में परिवर्तन करें। आवृत्ति का मान देहली आवृत्ति से अधिक चुनें।
3. प्रत्येक आवृत्ति के लिए प्रकाश विद्युत् धारा के पाठ्यांक प्रेक्षण सारणी 7.3 में लिखे।

प्रेक्षण सारणी 7.3: आवृत्ति के साथ प्रकाश विद्युत् धारा का परिवर्तन

क्र.सं.	तरंगदैर्ध्य (nm)	आवृत्ति	फोटोइलेक्ट्रिक धारा (μA)
1	580 nm (लाल)		.....
2	545 nm (हरा)		.....
3	440 (नीला)		
	...		



चित्र 7.5: प्रकाश विद्युत् धारा का आपतित प्रकाश की आवृत्ति के साथ विचरण। प्रकाश विद्युत् धारा आवृत्ति के साथ परिवर्तित नहीं होता।

4. प्रेक्षण तालिका 7.3 के आंकड़ों को आलेखित करें जैसा कि चित्र 7.5 में दिखाया गया है। आपतित प्रकाश की एक नियत तीव्रता के लिए, प्रकाश-विद्युत धारा आपतित प्रकाश की आवृत्ति पर निर्भर नहीं करती है। ऐसा इसलिए है क्योंकि प्रकाश विद्युत् धारा केवल उत्सर्जित प्रकाशिक इलेक्ट्रॉनों की संख्या पर निर्भर करता है जो कि आपतित फोटॉन की संख्या पर निर्भर करता है, न कि फोटॉन की ऊर्जा पर।

7.3.4 प्रकाश विद्युत् धारा पर विभव का असर

प्रयोग के इस भाग में हम प्रकाश की नियत तीव्रता और प्रकाश के निश्चित रंग के लिए, अनुप्रयुक्त विभव और प्रकाश धारा के बीच एक ग्राफ़ आलेखित करेगा।

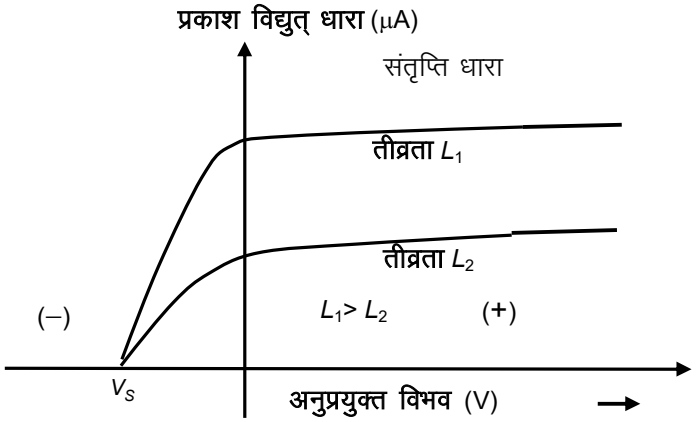
1. एक विशेष आवृत्ति से शुरू करें (उदाहरण के लिए लाल रंग का फिल्टर)। उपयोग किए गए प्रकाश की आवृत्ति को नोट करें और फिर प्रकाश की तीव्रता को एक मान पर नियत करें जिससे कि आपके पास ऐमीटर में पर्याप्त धारा हो।
2. अब ऐनोड वोल्टता को शून्य पर समायोजित किया जाता है। फिर ऋणात्मक वोल्टता बढ़ाएं और संबंधित प्रकाश विद्युत् धारा का मान प्रेक्षण सारणी 7.4 में दर्ज करें। ग्राफ़ को आलेखित करने के लिए हमें बड़ी संख्या में आंकड़ों की आवश्यकता है, इसलिए आपको उचित ग्राफ़ प्राप्त करने के लिए कम से कम 15-20 पाठ्यांक लेनी चाहिए।

3. अनुप्रयुक्त ऋणात्मक वोल्टता को बढ़ाना जारी रखें, जब तक कि ऐमीटर पाठ्यांक शून्य न हो जाए, जिसका अर्थ है कि परिपथ में प्रकाश विद्युत् धारा शून्य है।
4. अब विभव को फिर से शून्य तक बढ़ाएँ और धनात्मक विभव को बढ़ाएँ। संबंधित प्रकाश धारा को नोट करें।
5. जब तक प्रकाश विद्युत् धारा का मान नियत न हो जाए, तब तक रीडिंग लें। प्रकाश विद्युत् धारा का यह नियत मान संतृप्ति धारा के रूप में जाना जाता है। संतृप्ति धारा वह अधिकतम धारा है जो प्रकाश की दी गई तीव्रता (L_1) के लिए प्राप्त होती है।
6. रीडिंग का दूसरा सेट लेने के लिए हमें तीव्रता (L_2) को बदलने की जरूरत है। और फिर से, वोल्टेज को शून्य पर समायोजित करें और 1-5 चरणों को फिर से दोहराएं।

प्रेक्षण सारणी 7.4: दो अलग-अलग तीव्रताओं के लिए वोल्टता और प्रकाश विद्युत् धारा

तीव्रता L_1			तीव्रता L_2		
क्र. सं.	अनुप्रयुक्त कैथोड विभव (V)	प्रकाश विद्युत् धारा (μA)	क्र. सं.	अनुप्रयुक्त कैथोड विभव (V)	प्रकाश विद्युत् धारा (μA)
1	0		1.		
2	-0.01		2.		
3	-0.02		3.		
4	-0.03		4.		
5			5.		
6	....		6.		
7	+0.01 (धनात्मक विभव)		7.		
8	+0.02		8.		
	...		...		
	...	संतृप्ति धारा (I_0)			संतृप्ति धारा (I_0)
	...	(Io)			

7. प्रेक्षण सारणी 7.4 के आंकड़ों को दो भिन्न तीव्रताओं के लिए प्लॉट करें जैसा कि चित्र 7.6 में दिखाया गया है। आपतित प्रकाश की एक निश्चित आवृत्ति और नियत तीव्रता के लिए, कैथोड पर लागू विभव में वृद्धि के साथ प्रकाश विद्युत् धारा बढ़ती है। जब सभी प्रकाशिक इलेक्ट्रॉन प्लेट *C* तक पहुँच जाते हैं, तब धारा अधिकतम हो जाती है और इसे संतृप्ति धारा I_0 कहा जाता है।



चित्र 7.6: विभव के साथ प्रकाश धारा का विचरण। यहाँ L_1 और L_2 दो ज्ञात तीव्रताएँ हैं, V_s निरोधी विभव है।

ध्यान दें कि शून्य विभव पर धारा शून्य नहीं है। इससे पता चलता है कि त्वरित विभव के अभाव में भी, कुछ प्रकाशिक इलेक्ट्रॉन अपनी गतिज ऊर्जा के कारण प्लेट तक पहुंचने में सक्षम होते हैं।

प्रकाश की तीव्रता निरोधी विभव V_S को प्रभावित नहीं करती है (जो प्रकाशिक इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम गतिज ऊर्जा का माप है)। ये केवल आपतित विकिरण की आवृत्ति पर निर्भर करता है।

BPHET-141 की इकाई 4 के चित्र 4.7 को याद करें। विभव और आवृत्ति का ग्राफ़ मूल बिंदु से नहीं गुजरता है। यह दर्शाता है कि आवृत्ति का एक न्यूनतम मान होता है, जिसे दहली आवृत्ति कहा जाता है, जिसके नीचे प्रकाश-विद्युत् उत्सर्जन संभव नहीं है, चाहे आपतित प्रकाश की तीव्रता कितनी भी अधिक क्यों न हो। यह प्रकाशिक इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित करने वाली धातु की प्रकृति पर निर्भर करता है। प्रयोग के अगले भाग में हम आवृत्ति के साथ निरोधी विभव के विचरण का अध्ययन करेंगे।

7.3.5 प्रकाश की आवृत्ति के साथ निरोधी विभव का परिवर्तन

1. प्रयोग के इस भाग में आप प्रकाश की दो भिन्न आवृत्तियों के लिए निरोधी विभव की गणना करेंगे। विकिरण की एक विशेष आवृत्ति चुनें (उदाहरण के लिए लाल फिल्टर का उपयोग करें) और आपतित विकिरण की तीव्रता को अधिकतम पर नियत करें।

2. भाग 7.3.3 के चरण 2-5 दोहराएँ और प्रेक्षण सारणी 7.5 में पाठ्यांक दर्ज करें। उस ऋणात्मक विभव का मान नोट कीजिए जिस पर प्रकाश विद्युत् धारा शून्य हो जाती है। इसे निरोधी विभव V_{s1} कहा जाता है।

3. अब आवृत्ति में परिवर्तन करें (उदाहरण के लिए नीले फिल्टर का उपयोग करें) और 1 से चरणों को दोहराएं और इस आवृत्ति के लिए निरोधी विभव (V_{s2} ....) के मान को नोट करें।

प्रेक्षण सारणी 7.5: विभिन्न आवृत्तियों के लिए निरोधी विभव

आवृत्ति ν_1			आवृत्ति ν_2		
क्र. सं.	अनुप्रयुक्त कैथोड विभव (V)	प्रकाश विद्युत् धारा (μA)	क्र. सं.	अनुप्रयुक्त कैथोड विभव (V)	प्रकाश विद्युत् धारा (μA)
1	0		1.		
2	-0.01		2.		
3	-0.02		3.		
4	-0.03		4.		
5			5.		
6	....		6.		
7	+0.01 (धनात्मक विभव)		7.		
8	+0.02		8.		
	...		...		
	...	निरोधी विभव (V_{S1})			निरोधी विभव (V_{S2})

4. प्रेक्षण सारणी 7.5 के आंकड़ों को आलेखित करें जैसा कि चित्र 7.7 में दिखाया गया है।

7.4 परिकलन और परिणाम

उपरोक्त प्रयोग में प्राप्त आलेखों से हम यह निष्कर्ष निकाल सकते हैं कि :

1. चित्र 7.3 से प्राप्त धातु के लिए दहली आवृत्ति .....Hz है।
2. गतिज ऊर्जा बनाम आवृत्ति ग्राफ (चित्र 7.3) के प्रवणता से प्राप्त प्लांक नियतांक का मान है :

$$h = Slope = \frac{AB}{BC} = ...\text{Js}$$

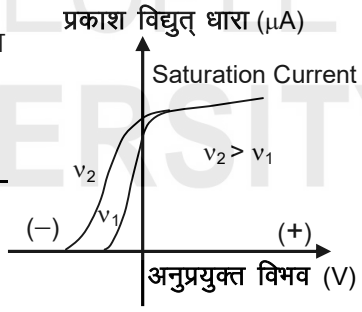
प्लांक नियतांक का मानक मान 6.626×10^{-34} Js है।

प्रतिशत त्रुटि

= (प्रायोगिक मान-मानक मान)/ मानक मान $\times$ 100

=.... ....%

3. धातु का कार्य फलन, h और ν_0 के मानों का उपयोग करके परिकलित की जाती है :



चित्र 7.7: दो भिन्न आवृत्तियों ν_1 और ν_2 के लिए प्रकाश विद्युत् धारा का विभव के साथ विचरण।

$$\phi = h\nu_0 = ...J = ...eV$$

4. दी गई धातु की निरोधी विभव है : ....eV। आवृत्ति .... Hz के आपतित विकिरण के लिए ....eV, आवृत्ति ....Hz के आपतित विकिरण के लिए ....eV, आदि
5. उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों की अधिकतम गतिज ऊर्जा, आवृत्ति ...Hz की आपतित विकिरण के लिए ...J है, आवृत्ति ...Hz की आपतित विकिरण के लिए ...J है, आदि।

7.5 सावधानियाँ और त्रुटि के स्रोत

1. प्रयोग के दौरान प्रकाश स्रोत की स्थिति को नहीं बदलना चाहिए।
2. इस बात का ध्यान रखना चाहिए कि जब कैथोड पर कोई प्रकाश न पड़ रहा हो, तो धारा शून्य हो।
3. निरोधी विभव को नोट करते समय, वोल्टता बहुत धीरे-धीरे बदलना चाहिए।

ignou THE PEOPLE'S UNIVERSITY

प्रयोग 8

चुंबकीय फोकसन से *e/m* का निर्धारण

इकाई की रूपरेखा

8.1 परिचय
अपेक्षित कौशल
8.2 आवेश / संहति अनुपात (*e/m*)
8.3 उपकरण का विवरण
8.4 *e/m* का परिकलन
8.5 सावधानियाँ और त्रुटि के स्रोत

8.1 परिचय

ब्रिटिश भौतिकविद सर जे.जे. थॉमसन को पहले अपरमाण्वीय कण, इलेक्ट्रॉन की खोज का श्रेय दिया जाता है, जो उनके 1897 में कैथोड किरण नलिका (cathode ray tube) के साथ प्रयोगों में हुआ। उन्होंने इन प्रयोगों में इलेक्ट्रॉन के आवेश-और-द्रव्यमान के अनुपात को भी मापा। एक इलेक्ट्रॉन के विद्युत आवेश e और विराम द्रव्यमान m को अलग-अलग मापना कठिन है, क्योंकि ये दोनों मात्राएँ अत्यंत छोटी हैं। हालांकि इन दो मौलिक नियतांकों (e/m) के अनुपात का मान काफी बड़ा है (1.758820×10^{11} C/kg) और एक ज्ञात चुंबकीय क्षेत्र में गतिमान इलेक्ट्रॉन किरण पुंज की वक्रता त्रिज्या से e/m का एक सटीक मान आसानी से निर्धारित किया जा सकता है। एक इलेक्ट्रॉन का आवेश पहली बार मिलिकन द्वारा बहुत बाद में, 1909 में अपने तेल-बूंद प्रयोग में निर्धारित किया गया था, जिसके बारे में आप प्रयोग 9 में पढ़ेंगे। इस प्रयोग में आपको e/m का अनुपात निर्धारित करने के लिए एक चुंबकीय लेंस का प्रयोग करना होगा। प्रयोग 10 में e/m का मान ज्ञात करने के लिए आप दंड चुंबक का प्रयोग करेंगे।

अपेक्षित कौशल

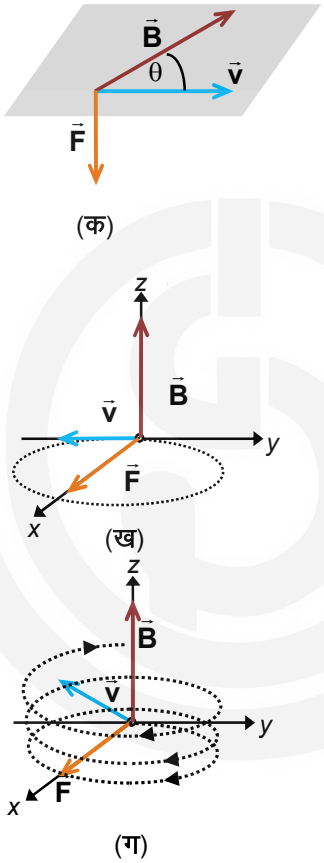
यह प्रयोग करने के बाद, आप इस योग्य होंगे कि :

- ❖ एक इलेक्ट्रॉन के चुंबकीय फोकसन की व्याख्या कर पायेंगे;
- ❖ चुंबकीय फोकसन प्राप्त करने के लिए उपकरण स्थापित कर पायेंगे;
- ❖ गतिमान आवेश के पथ पर परिनालिका का प्रभाव समझा पायेंगे; और
- ❖ चुंबकीय लेंस का उपयोग करके एक इलेक्ट्रॉन के लिए e/m अनुपात की गणना कर पायेंगे।

इस प्रयोग को करने के लिए आपको निम्नलिखित उपकरण की आवश्यकता होगी।

आवश्यक उपकरण

कैथोड किरण नलिका (CRT), विद्युत् प्रदाय, वृत्ताकार कुंडली जो CRT के अक्ष के अनुछिष नलिका पर सरकाया जा सक, वोल्टतामापी (0 – 1500 V) ऐमीटर (0 – 3A) और एक लकड़ी का सैन्ड।



चित्र 8.1: चुंबकीय क्षेत्र में गतिमान इलेक्ट्रॉन।

प्रयोग शुरु करने से पहले, आइए हम सैद्धांतिक अवधारणाओं पर संक्षेप में चर्चा करें।

8.2 आवेश/संहति अनुपात (*e/m*)

इस प्रयोग में, आप एक इलेक्ट्रॉन के e/m अनुपात को निर्धारित करने के लिए एक कैथोड किरण नलिका (CRT) और एक परिनालिका का उपयोग करेंगे। यहाँ परिनालिका **चुंबकीय लेंस** की तरह कार्य करता है। चुंबकीय लेंस एक उपकरण है, जिसमें चुंबकीय लोरेंत्ज़ बल का उपयोग, इलेक्ट्रॉन जैसे किसी गतिमान आवेशित कण का फोकसन या विक्षेपन किया जाता है। एक चुंबकीय लेंस गतिमान आवेशित कणों के एक पुंज को उसी प्रकार मोड़ता है जैसे एक ऑप्टिकल लेंस प्रकाश की किरणों को मोड़ता है।

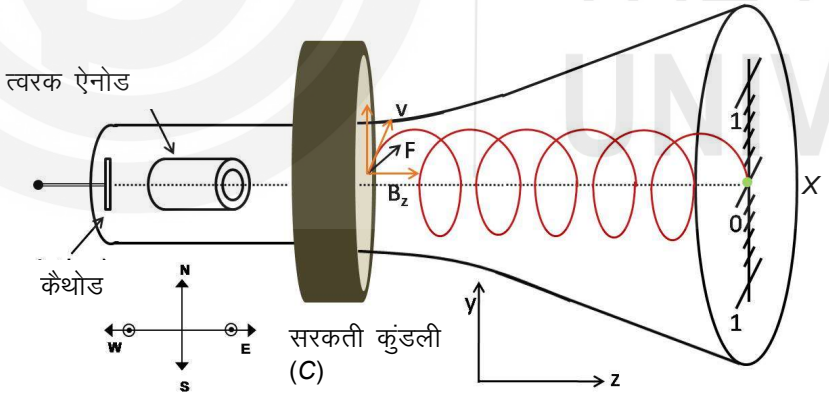
याद रखें कि लेंस के फोकस को केवल उस बिंदु के रूप में परिभाषित किया जा सकता है, जहां विकिरण की सभी किरणें (ऊष्मा, प्रकाश, आदि) परावर्तित या अपवर्तित होने के बाद, अभिसरित होते हैं। इसलिए, फोकसन वह प्रक्रिया है जिसमें किरणों का एक विशेष बिंदु पर फोकसन किया जाता है। इस प्रयोग में चुंबकीय लेंस का उपयोग, गतिमान इलेक्ट्रॉनों की धारा को एक विशेष बिंदु पर केंद्रित करने के लिए किया जाता है। इस प्रक्रिया को **चुंबकीय फोकसन** कहते हैं। परिनालिका में विद्युत् धारा को बदलकर, लेंस की फोकस दूरी को बदला जा सकता है।

BPHCT-133 से आप जानते हैं कि चुंबकीय क्षेत्र $\vec{\mathbf{B}}$ में, वेग $\vec{\mathbf{v}}$ से गतिमान इलेक्ट्रॉन पर लगने वाला बल, केवल $\vec{\mathbf{F}} = -e\left(\vec{\mathbf{v}} \times \vec{\mathbf{B}}\right) = -evB\sin\theta\hat{\mathbf{n}}$ (चित्र 8.1क) है। इस बल की दिशा, इलेक्ट्रॉन और चुंबकीय क्षेत्र की गति की दिशा के लंबवत है और θ के बीच $\vec{\mathbf{v}}$ और $\vec{\mathbf{B}}$ का कोण है। यदि कण का वेग और चुंबकीय क्षेत्र एक-दूसरे के लंबवत हो तो इलेक्ट्रॉन एक वृत्ताकार पथ में, उस समतल में गति करता है, जो उस समतल के लंबवत है जिसमें $\vec{\mathbf{v}}$ और $\vec{\mathbf{B}}$ हैं। जैसा कि चित्र 8.1(ख) में दिखाया गया है।

आइए मान लें कि चुंबकीय क्षेत्र z-दिशा के अनुदिश है। ($\vec{\mathbf{B}} = B_z\hat{\mathbf{k}}$) और $\vec{\mathbf{v}}$ और $\vec{\mathbf{B}}$ *yz* समतल में है। हम लिख सकत हैं कि $\vec{\mathbf{v}} = v_y\hat{\mathbf{j}} + v_z\hat{\mathbf{k}}$। लोरेंत्ज़ बल के व्यंजक से आप देख सकते हैं, कि चुंबकीय क्षेत्र के कारण गतिमान आवेश पर लगने वाला बल है $\vec{\mathbf{F}} = -ev_yB\hat{\mathbf{i}}$ होगा। यदि $vz = 0$ हो तो इलेक्ट्रॉन एक वृत्ताकार पथ में गति करता है। समतल में जो उस तल के लंबवत है, जो $\vec{\mathbf{v}}$ और $\vec{\mathbf{B}}$ से बनता है, जैसा कि चित्र 8.1(ख) में दिखाया गया है।

यदि $v_z \neq 0$, लोरेंत्ज़ बल के कारण इलेक्ट्रॉन *xy*–तल में वृत्तीय गति करता है। हालाँकि, इलेक्ट्रॉन z-दिशा में भी अचर चाल *vz* के साथ गतिमान है। क्योंकि *z*-दिशा में इलेक्ट्रॉन पर कोई बल नहीं आरोपित हो रहा है। अतः आवेशित कण का परिणामी पथ एक हेलिक्स है जैसा कि चित्र 8.1(ग) में दिखाया गया है।

अब मान लें कि इलेक्ट्रॉन एक CRT के अंदर परिनालिका द्वारा रचित चुंबकीय क्षेत्र में गतिमान है, जैसा कि चित्र 8.2 में दिखाया गया है। जैसा कि आप देख सकते हैं, इलेक्ट्रॉन एक कुंडलिनी (हेलिक्स) प्रक्षेपथ का अनुसरण करेगा। यदि इलेक्ट्रॉन एक पूर्ण वृत्त पर गति करके, स्क्रीन पर पहुँचता है, इलेक्ट्रॉन स्क्रीन पर बिंदु *X* पर होगा। बिन्दु *X* अक्ष के अनुदिश, इलेक्ट्रॉन गन के उस बिंदु के ठीक विपरीत बिन्दु पर होगा, जहाँ से यह उत्सर्जित हुआ था। इलेक्ट्रॉन गन से इलेक्ट्रॉन अलग-अलग प्रारंभिक वेग (*v*) और नलिका के अक्ष के सापेक्ष अलग-अलग कोणों (θ) पर उत्सर्जित होते हैं। **एक संपूर्ण वृत्ताकार पथ (चक्र आवर्तन) को पूरा करने के लिए, इलेक्ट्रॉन द्वारा आवश्यक समय, चुंबकीय क्षेत्र और इलेक्ट्रॉन के आवेश/द्रव्यमान अनुपात पर निर्भर करता है। चूँकि आवेश और द्रव्यमान का अनुपात, सभी इलेक्ट्रॉनों के लिए समान होता है, इलेक्ट्रॉन दिए गए चुंबकीय क्षेत्र के लिए एक ही समय में एक चक्र पूरा करते हैं।** इसलिए, चुंबकीय फोकसन तब होता है, जब इलेक्ट्रॉन CRT की स्क्रीन पर चक्र को समकालिक रूप से पूरा करते हैं।



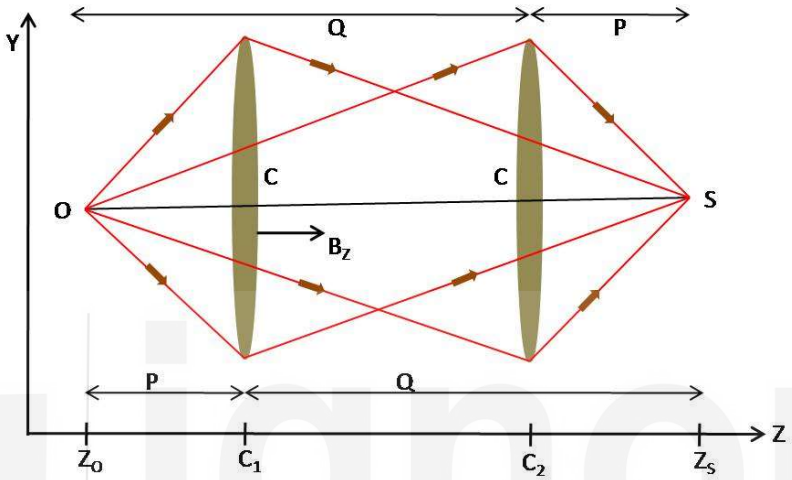
चित्र 8.2: पश्चिम-पूर्व दिशा में रखे CRT का योजनाबद्ध आरेख CRT के साथ लकड़ी के स्टैंड पर सरकती कुंडली (*C*) रखे गये हैं। कुंडली द्वारा उत्पन्न अनुप्रयुक्त चुंबकीय क्षेत्र के B_z के कारण इलेक्ट्रॉन पर लग रहे अरिन्तज़ बल और इलेक्ट्रॉन की प्रारंभिक वेग (*v*) के कारण इलेक्ट्रॉन कुंडलिनी पथ मे गतिमान है, जैसा कि दिखाया गया है।

CRT को लकड़ी के स्टैंड पर रखा जाता है और धारा ले जाने वाली वृत्ताकार कुंडली को लकड़ी के स्टैंड पर लगाया जाता है जो कि CRT के अक्ष पर सरक सकता है, जैसा कि चित्र 8.2 में दिखाया गया है। सरकती कुंडली की स्थिति को मापने के लिए लकड़ी के स्टैंड में एक स्केल लगा होता है। जैसे ही CRT को विद्युत् प्रदाय से जोड़ा

जाता है, CRT की स्क्रीन पर एक उज्ज्वल बिन्दु देखी जाती है। जब कुंडली CRT पर सरकती है, तो कुंडली की दो स्थितियों (C_1 और C_2) के लिए स्क्रीन पर एक स्पष्ट दीप्त प्राप्त होगी, जैसा कि चित्र 8.3 में दिखाया गया है।

चुंबकीय लेंस की फोकल लंबाई निम्नलिखित संबंध द्वारा दी जाती है :

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{P}+\frac{1}{Q} \qquad (8.1)$$



चित्र 8.3: योजनाबद्ध आरेख जो सरकवां कुंडली *C* की दो स्थितियां (C_1 और C_2) दिखाती है, जो स्क्रीन के बिन्दु S पर स्पष्ट फोकस देती है। B_z धारावाही कुंडली द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र है। *P* और *Q*, कुंडली की बिन्दु *O* के सापेक्ष मापी गई दूरी है, जो स्टैन्ड पर लगे स्केल से मापी गई है।

यदि अनुप्रयुक्त वोल्टता *V* है, '*n*' सरकती कुंडली में घुमावों की संख्या है, '*a*' सरकती कुंडली की त्रिज्या और 'i' कुंडली में धारा है, तो चुंबकीय लेंस फोकस दूरी संबंध है :

$$\frac{1}{f}=\frac{e}{m}\times\frac{i^2}{V}\times\frac{3}{16}\times\frac{n^2\pi^3}{a}\times10^{-14}$$

$$\therefore\quad \frac{e}{m}=\frac{16a}{3\pi^3n^2}\left(\frac{V}{i^2f}\right)\times10^{14}\ \text{C/kg} \qquad (8.2)$$

समीकरण (8.2) से *e/m* का अनुपात परिकलित। इस समीकरण की व्युत्पत्ति पाठ्यक्रम के दायरे से बाहर है।

8.3 प्रायोगिक विधि

1. कंपास सुई का उपयोग करके उत्तर-दक्षिण रेखा और N-S रेखा के लंबवत पूर्व-पश्चिम (WE) रेखा खींचें। CRT और वृत्ताकार कुंडल के साथ लकड़ी के स्टैंड को पूर्व-पश्चिम रेखा में इस तरह रखें, कि CRT NS रेखा के लंबवत हो। पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र इलेक्ट्रॉन के वृत्ताकार पथ में योगदान करेगा। वृत्ताकार कुंडली लकड़ी के स्टैंड के साथ सरक पाये, ये ध्यान रखें।
2. प्रारंभ में वृत्ताकार कुंडली को CRT के आखिर में रखा जाना चाहिए। जांच करें कि लकड़ी के स्टैंड पर पैमाना दिखाई दे रहा है।
3. विद्युत् प्रदाय चाले करें। CRT को उच्च वोल्टता प्रदाय (जैसे 700 - 800 V) और वृत्ताकार कुंडली को कम वोल्टता वाले प्रदाय से जोड़ा जाना चाहिए।

4. CRT की स्क्रीन पर एक दीप्त बिन्दु दिखाई देगी। अब देखते हैं कि यदि हम वृत्ताकार कुण्डली को लकड़ी के स्टैंड के अनुदिश सरकाते हैं तो क्या होता है। पहले हम कुण्डली में धारा को 1 A एम्पियर करते हैं, और फिर धीरे-धीरे वृत्ताकार कुण्डली को लकड़ी के स्टैंड के साथ सरकाते हैं। जैसे-जैसे कुण्डली लकड़ी के स्टैंड के साथ सरकती है, आप देखेंगे कि परदे पर बिन्दु स्पष्ट और उज्जवल हो जाता है।

5. सरकवां कुंडली की वह स्थिति जिस पर स्क्रीन पर बिन्दु सब से स्पष्ट और उज्जवल हो जाता है, किसी दिए गए धारा के लिए चुंबकीय लेंस के फोकस में से एक है। कुंडली की स्थिति (C_2) को चिन्हित करें और लकड़ी के स्टैंड पर स्केल का प्रयोग करते हुए CRT के एक सिरे से इस स्थिति की दूरी नोट करें। इस दूरी (P) को प्रेक्षण सारणी 8.1 में लिखें।

6. P से आगे स्क्रीन पर, आप देखेंगे कि वह बिन्दु धुंधला हो जाता है। हालांकि जैसे-जैसे आप कुंडली को सरकाना जारी रखेंगे, एक दूसरी स्थिति C_1 पर, वह बिन्दु फिर से स्पष्ट और उज्जवल हो जायेगा और दूसरी स्थिति पर पैमाने का प्रयोग करते हुए, इस स्थिति की दूरी Q को CRT के उसी छोर से नोट करें। यदि आपको दो फोकर, P और Q न मिले, तो आप धारा या त्वरक वाल्टता को बदल सकते हैं।

7. त्वरक वोल्टता को नोट करें।

8. वोल्टता को स्थिर रखते हुए, धारा को लगभग 0.1 Amp से बदलें और चरण 4-6 दोहराएं। धारा को बदलकर रीडिंग के 4 सेट लें।

9. समीकरण (8.1) का उपयोग करते हुए धारा के प्रत्येक मान i के लिए, f और $i^2 f$ परिकलित करें और प्रेक्षण सारणी 8.1 में लिखें।

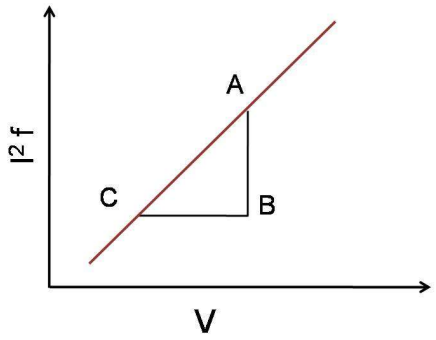
10. अब त्वरक वोल्टता को 50-100 V के चरणों में बदलें और चरण 5-11 दोहराएं। आप ऐसी रीडिंग पांच से छह अलग-अलग त्वरक वोल्टता के लिए ले सकते हैं।

प्रेक्षण सारणी 8.1: $i^2 f$ का V के साथ विचरण।

क्रम संख्या	V (वोल्ट)	i (A)	P (cm)	Q (cm)	$f = PQ/(P+Q)$ (cm)	f (m)	$i^2 f$ (SI इकाई)
1		i)					
		ii)					
		iii)					
		iv)					
							माध्य i^2f
2							
3							

11. V और $i^2 f$ बीच एक ग्राफ़ आलेखित करें। आप पायेंगे कि यह एक सीधी रेखा है।

रेखा की प्रवणता (slope) का निर्धारण करें :



चित्र 8.4: $i^2 f$ का V के साथ आलेख।

8.4 *e/m* का परिकलन

चित्र 8.4 से, हम ग्राफ की प्रवणता की गणना इस प्रकार कर सकते हैं :

$$Slope = \frac{AB}{BC}$$

समीकरण (8.2) में $\frac{V}{i^2 f}$ के स्थान पर ग्राफ से परिकलित प्रवणता का मान रखकर हम लिख सकते हैं : $\frac{e}{m} = \frac{16a}{3\pi^3 n^2} \times \frac{1}{Slope} \times 10^{14}$ C/kg

a, n और ग्राफ के प्रवणता के मानों को प्रतिस्थापित करके हम लिख सकते हैं :

$$\frac{e}{m} = \text{.....} \text{ C/kg}$$

परिणाम: चुंबकीय फोकसन विधि द्वारा निर्धारित e/m का मान = ... C/Kg

e/m का मानक मान है =.... C/Kg

त्रुटि (%) = ...

8.5 सावधानियाँ और त्रुटि के स्रोत

1. सुनिश्चित करें कि संबंधन तंग है।
2. यंत्र के पास कोई बाहरी चुंबकीय क्षेत्र नहीं होनी चाहिए।
3. चूंकि हम उच्च वोल्टता स्रोत का उपयोग कर रहे हैं, CRT स्क्रीन पर किरण- पुंज को लंबे समय तक केंद्रित नहीं किया जाना चाहिए क्योंकि यह स्क्रीन को नुकसान पहुंचा सकता है।
4. कुंडली को धीरे सरकाना चाहिये।

प्रयोग 9

मिलिकन बिंदुपात प्रयोग का स्थापन और इलेक्ट्रॉन का आवेश का निर्धारन

प्रयोग की रूपरेखा

9.1 परिचय
अपेक्षित कौशल
9.2 सैद्धांतिक अवधारणाएं
9.3 उपकरण का विवरण
9.4 प्रायोगत्मक विवरन
9.5 साध्यानियन और त्रुति के स्रोत

9.1 परिचय

इस प्रयोग में आप मिलिकन के बिंदूपात उपकरण का उपयोग करके एक इलेक्ट्रॉन का आवेश निर्धारित करेंगे। 1909 में, रॉबर्ट मिलिकन और हार्वे फ्लेचर ने एक इलेक्ट्रॉन के आवेश को निर्धारित करने के लिए बिंदूपात प्रयोग किया। उन्होंने नीचे की ओर लगने वाला गुरुत्वाकर्षण बल को ऊपर की ओर लगने वले कर्श नऔर विद्युत बलों के साथ संतुलित करके, दो निकट दूरी वाले धातु इलेक्ट्रोड के बीच तेल की छोटी आवेशित बूंदों को निलंबित कर दिया। मिलिकन और फ्लेचर ने तब अनुपृअँधयूकट विद्युत क्षेत्र, इलेक्ट्रोड के बीच माध्यम के घनत्व और श्यान ता और तेल के घनत्व का उपयोग करके यांत्रिक सम्यावस्था में तेल की बूंदों पर आवेश का निर्धारण किया। वे इस बात की पुष्टि करने में सक्षम हुए कि सभी बूंदों पर आवेश आवेश के एक मौलिक मूल्य के गुणक हैं ।

उन्होंने इस मान की गणना की : 1.5924×10^{-19} Coulombs (C), जो उसके वर्तमान स्वीकृत मूल्य $1.602176487 \times 10^{-19}$ C के1% के भीतर है ।

उन्होंने प्रस्तावित किया कि यह एक एकल इलेक्ट्रॉन का आवेश है ।

अपेक्षित कौशल

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

- ❖ इलेक्ट्रॉन के आवेश के निर्धारण की प्रक्रिया में शामिल चरणों की रूपरेखा तैयार कर पआयेंगे
- ❖ मिलिकन बिदूपात प्रयोग करने के लिए उपकरन व्यवस्थित कर पायेंगे; और
- ❖ इलेक्ट्रॉन का आवेश निर्धारित कर सकेंगे।

इस प्रयोग को करने के लिए आपको निम्नलिखित उपकरणों की आवश्यकता होगी।

आवश्यक उपकरन
मिलिकन बिंदुपात उपकरण, तेल, विद्युत् प्रदाय, कणित्र।

प्रयोग शुरू करने से पहले, आइए प्रयोग के मूल सिद्धांत पर संक्षेप में चर्चा करें।

9.2 सैद्धांतिक अवधारणाएं

मान ले कि त्रिज्या r वाला, तेल का एक सुक्ष्म बूंद (बिंदुक), दो धातु के इलेक्ट्रोड के बीच एक कक्ष में चाल v से गिर रहा है । यदि तेल का घनत्व ρ हो बिंदुक का द्रव्यमान m होगा.

$$m = (\text{volume of the oil droplet}) \times \text{density} = \frac{4}{3}\pi\rho r^3 \quad (9.1)$$

विद्युत क्षेत्र की अनुपस्थिति में , बिंदुक पर आरोपित बल निम्नलिखित हैं:

i) नीचे कि ओर लगने वाला गुरुत्वाकर्षण बल(F_g) :

$$F_g = mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g \quad (9.2)$$

ii) माध्यम (वायु) के कारण तेल की बूंद पर ऊपर की ओर लगने वाला उत्प्लावन बल (F_b) :

$$F_b = \frac{4}{3}\pi r^3 g \rho_{air} \quad (9.3)$$

जहां ρ_{air} वायु का घनत्व है।

iii) श्यान माध्यम मे गति के कारण ऊपर की दिशा में तेल की बिंदुक पर लग ने वाला **कर्शन** बल (F_v) :

$$F_v = 6\eta\pi rv \quad (9.4)$$

η वायु श्यानता का गुणांक है।

जैसा कि आपने स्कूल में पढ़ा है, बिंदुक प्रभावी अधोमुखी बल $(F_g - F_b - F_v)$ के कारण शुरू में गति करेगी और अंत में एक नियत अंतक वेग (v_t) तक पहुंच जाएगी जब कण पर आरोपित नेत बल शून्य हो जाता है।

समीकरण (9.2), (9.3) और (9.4) को $v = v_t$ के साथ का प्रयोग करके, कण पर आरोपित शून्य नेत बल के लिए हम लिख सकते हैं:

$$F_g = F_v + F_b$$

$$\Rightarrow \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g = 6\eta\pi r v_t + \frac{4}{3}\pi r^3 g \rho_{air}$$

$$\Rightarrow r = 3\sqrt{\frac{\eta v_t}{2\, g\,(\rho - \rho_{air})}} \qquad (9.5)$$

यदि बूंद समय t_1 में, चाल v_t से गति करते हुए , l दूरी तय करता हो, तो हम लिख सकते हैं:

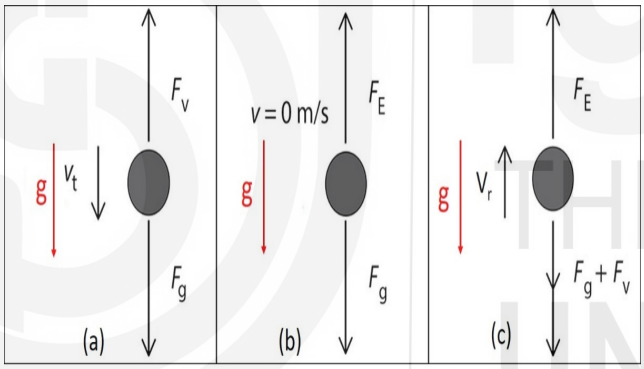
$$v_t = \frac{l_1}{t_1} \qquad (9.6)$$

समीकरण (9.5) और (9.6) का उपयोग करके, तेल की बूंद की त्रिज्या और द्रव्यमान निर्धारित किया जा सकता है , यदि ρ, ρ_{air} और η ज्ञात हो । अब मान लें कि दोनो **एलेक्त्रोद** के बीच एक विभवांतर अनुप्रयुक्त किया जाता है , जिससे एक विद्युत क्षेत्र E उत्पन्न होता है जैसा कि चित्र 9.1(ख) में दिखाया गया है। यदि इलेक्ट्रोड के बीच की दूरी d हो , तो विद्युत क्षेत्र होगाः

$$E = \frac{V}{d} \qquad (9.7)$$

यदि बिंदुक पर आवेश q हो, तो विद्युत **क्शेत्र** के कारण बिंदुक पर लग्ने वाला बल है :

$$F_E = qE = \frac{qV}{d} \qquad (9.8)$$



चित्र 9.1:क) मुक्त गिरने में तेल की बूंद;ख) अनुप्रयुक्त विद्युत क्षेत्र के कारण निलंबित तेल की बूंद; ग) अनुप्रयुक्त विद्युत क्षेत्र के कारण उपर कि ओर गतिमान तेल की बूंद।

अनुप्रयुक्त वोल्टता को समायोजित करके, तेल की बूंदों कि गति को उपर या नीचे कि ओर की जा सकती है, या उन्हे निलंबित भी किया जा सकता है , मान लीजिए कि विभवांतर को इस तरह से समायोजित किया जाता है कि बिंदुक अंतरिक्ष में निलंबित रहती है (चित्र 9.1इ) । विभवांतर के इस मान को V_0 कहे। इस स्थिति में, विद्युत क्षेत्र के कारण नेट ऊर्ध्वमुखि बल को नेट अधोमुखी बल द्वारा संतुलित होना चाहिए। चूंकि बिंदुक की चाल शून्य है(v=0) हम लिख सकते हैं:

$$F_E = F_g - F_b \Rightarrow \frac{qV_0}{d} = \frac{4}{3}\pi r^3\, g\,(\rho - \rho_{\text{air}}) \qquad (9.9)$$

या

$$q = \frac{4\pi r^3\, gd}{3V_0}\,(\rho - \rho_{\text{air}}) = \frac{9\pi d}{V_0}\left(\frac{2\eta^3 v_t^3}{g\,(\rho - \rho_{air})^3}\right)^{1/2} \qquad (9.10)$$

आइए अब हम V के मान को इस प्रकार समयोजित करैन कि आवेशित बिंदुक एक नियत वेग v_r के साथ उपर कि ओर गति करने लगे । चूंकि तेल की बूंद पर आरोपित नेत बल शून्य होना चाहिए, ऊपर की दिशा में विद्युत क्षेत्र के कारण नेत बल को नीचे की ओर लग ने वाले बल द्वारा संतुलित किया जाना चाहिए, इसलिएः

$$F_E = F_g - F_b + F_v \Rightarrow \frac{qV}{d} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - \frac{4}{3}\pi r^3 g\,\rho_{air} + 6\eta\pi r v_r \quad (9.11)$$

ध्यान दें कि चूंकि बूंद ऊपर की ओर बढ़ रही है, इसलिए कर्षण बल, इस मामले में, नीचे की दिशा में है।

समीकरण (9.5) से हम लिख सकते हैंः

$$\frac{4}{3}\pi r^3\ \rho g - \frac{4}{3}\pi r^3\, g\,\rho_{air} = 6\,\eta\,\pi r\, v_t \quad (9.12)$$

इसलिए समीकरण। (9.11) को हम निम्नलिखित रूप में व्यक्त कर सकते हैंः

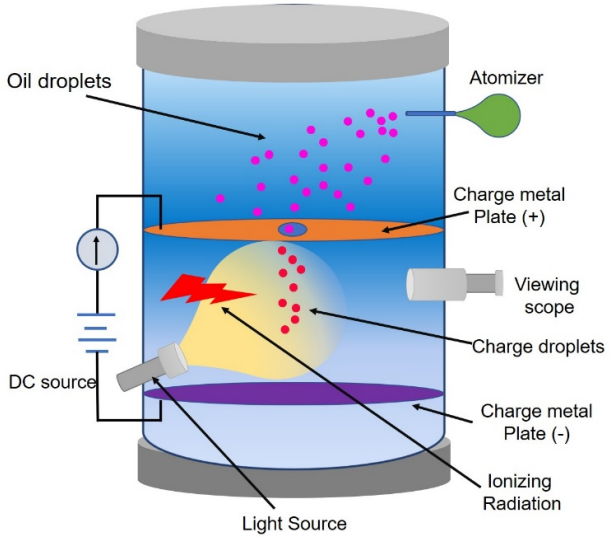
$$\frac{qV}{d} = 6\,\eta\,\pi r\, v_t + 6\,\eta\,\pi r\, v_r$$

$$\Rightarrow q = \frac{6\,\eta\,\pi r d}{V}(v_t + v_r) = \frac{18\,\eta\,\pi d}{V}(v_t + v_r)\sqrt{\frac{\eta v_t}{2\,g\,(\rho - \rho_{air})}} \quad (9.13)$$

तेल की बूंद पर आवेश समीकरण (9.10) और/या समीकरण (9.13) का उपयोग करके निर्धारित किया जा सकता है। इस प्रयोग में यह दिखाया जा सकता है कि बूंदों पर आवेश हमेशा आवेश के एक न्यूनतम मान का गुनज होता है, जो कि एक इलेक्ट्रॉन का आवेश होता है। यह प्रयोग अब तक के सबसे सुंदर प्रयोगों में से एक माना जाता है, क्योंकि इस सरल विधि द्वारा इलेक्ट्रॉन का आवेश को बड़ी सटीकता के साथ निर्धारित किया जा सकता है।

9.3 उपकरन का विवरण

प्रयोगात्मक व्यवस्थ में दो धातु के प्लेट, एक एक्स–किरन स्रोत और एक कनित्र होता हैं जैसा कि चित्र 9.2 में दिखाया गया है। कनित्र तेल की सुक्ष्म बूंदों का चिद्काव करने में मदद करता है, जो पृथ्वी के गुरुत्वाकर्षण बल के कारण नीचे गिरती है। जैसे ही बूंदें गिरती हैं, उनमें से कुछ प्लेट के चिद्र में से निकल सक ते हैं, जैसा कि चित्र 9.2 में दिखाया गया है। बूंदों के गिरने के व्यवहार का विश्लेषण दर्शन कक्ष के माध्यम से किया जाता है। धातु की दो प्लेटों को इस प्रकार व्यवस्थित किया जाता है कि धनात्मक प्लेट सबसे ऊपर और ऋणात्मक प्लेट सबसे नीचे हो। कक्ष के निचले हिस्से में वायु क आयनन करने के लिए एक्स–किरन का उपयोग किया जाता है। जैसे–जैसे बूँदें हवा से गुजरती हैं, इलेक्ट्रॉन उनके ऊपर जमा हो जाते हैं और वे ऋणात्मक आवेश प्राप्त कर लेते हैं। विद्युत प्रदाय का उपयोग करके एक DC वोल्टता लगाया जाता है। DC वोल्टता को बदलकर बिंदुक की गति को बदला जा सकता है। अनुप्रयुक्त वोल्टता को समायोजित करके, एक तेल की बूंद को हवा में निलंबित किया जा सकता है या ऊपर की ओर भी गतिमन किया जा सक ता है । बिंदुक पर जमा आवेश को इनमें से प्रत्येक विधि द्वारा मापा जा सकता है।



चित्र 9.2: मिलिकन तेल बिंदुपात प्रयोग के लिए योजनाबद्ध आरेख।

9.4 प्रायोगिक विधि

प्रयोग करने के लिए नीचे वर्णित प्रक्रिया का पालन करें और समीकरण 9.13 का उपयोग करके का मान निर्धारित करे

1.कनित्र में ज्ञात घनत्व का अवाष्पशील तेल (जैतून का तेल, ग्लिसरीन) डालें।

2.कनित्र की नोक को दर्शन कक्ष के छेद में रखें।

3.दर्शन कक्श से देख्ते हुए, कनित्र के बुल्ब को निचोड़ें।

4.एक बूंद का चयन करें जो धीरे–धीरे गिर रही हो है। जब आप को एक उचित आमाप का और आवेशित तेल की बूंद मिल्त हैं, तो उसी पर फोकस कर। तेल की बूंद सबसे अच्छे फोकस में तब होत है जब वो एक स्पश्त उज्ज्वल बिंदु के रूप में दिखाई देती है।

5.किसी भी विद्युत क्षेत्र के अभाव में, एक बिदुक द्वारा एक निश्चित दूरी, मान लीजिए स1 को तय कर्ने में जो समय लग्त है , उस का मापन करें और प्रेक्षण सारणी 9.1 में अपने पाठ्यांक दर्ज करें।

6.बूंदों को आयनित करने के लिए एक्स–किरन चालू करें । अब विद्युत प्रदाय को भी चालू करें और वोल्टता को इस तरह समायोजित करें कि निलम्बित हो जाए। यह हमें संतुलन वोल्टता V_0 का मान देगा । विभवांतर में मामूली वृद्धि से बूंद ऊपर की ओर उठेगी।

7.प्लेट वोल्टता स्विच का उपयोग करके छोटी बूंद की चाल और गति को आवश्यकतानुसार नियंत्रित किया जा सकता है। वोल्टता का मान पर नियत करेन और बूंद द्वार दूरि को तय कर्ने में कित ना समय लग्ता हैउस्क मापन करें और अपने पाठ्यांक प्रेक्षण सारणी 9.1 में दर्ज करें।

8.समीकरण 9.13 का उपयोग करके बिंदुक पर आवेश की गणना करें। यदि बिंदुक पर आवेश 5म से अधिक हो , तो आपको धीमी गति से चलने वाली बूंदों के लिए प्रक्रिया दोहरानी चाहिए।

9. विभिन्न आकारों की बूंदों के लिए चरण 5 से 8 दोहराएं और प्रत्येक प्रकरन में बिंदुक पर आवेश की गणना करें।

10.इलेक्ट्रॉनों की संख्या की गणना करें इलेक्ट्रॉन के आवेश के मानक मान का प्रयोग करते हुए ।

प्रेक्षण सारणी 9.1: v_t , v_r और q का निर्धारन

वायु की श्यानता η = ...kg/ms

तेल का घनत्व ρ = ... kg/m^3

वायु का घनत्व ρ_{air} = ...kg/m^3

इलेक्ट्रोड के बीच की दूरी d =.....m

क्र. सं.	l_1 (cm)	t_1 (s)	l_2 (cm)	t_2 (s)	वेग		विभव (V)		बिंदुक पर आवेश q (कुलम में)		प्रत्येक बूंद पर इलेक्ट्रॉनिक आवेशों की संख्या $n= q/e$
					$v_t = l_1/t_1$ (ms^{-1})	$v_r = l_2/t_2$ (ms^{-1})	V_0	V	Using Eq. (9.10)	Using Eq. (9.13)	
1.											
2.											
3.											
4.											
5.											
...											

परिणामः

प्रत्येक बिंदुक पर आवेश मौलिक आवेश .....C का गुणज होता है, जो कि इलेक्ट्रॉन का आवेश होता है।

9.5 सावधानियाँ और त्रुटि के स्रोत

1. तेल की बूंद के उठने और गिरने में लग ने वाले समय को को सावधानीपूर्वक मापा जाना चाहिए।

2. संतुलन वोल्त ता को सावधानी से मापा जाना चाहिए, यह वो सटीक वोल्टेज होना चाहिए जिस्के लिये बिंदुक हवा में निलंबित हो।

प्रयोग 10

दंड चुंबक से *e/m* का निर्धारण

प्रयोग की रूपरेखा

10.1 परिचय

अपेक्षित कौशल

10.2 आवेश संहति अनुपात (*e/m*)

10.3 प्रायोगिक विधि

10.4 *e/m* का परिकलन

10.5 सावधानियाँ और और त्रुटि के स्रोत

ignou THE PEOPLE'S UNIVERSITY

10.1 परिचय

आपने बड़े आमाप के पुराने टेलीविजन (टीवी) और कंप्यूटर मॉनीटर देखे होंगे । स्क्रीन का आमाप जितना बड़ा होगा, टेलीविजन या कंप्यूटर मॉनीटर की गहराई उतनी ही अधिक होगी। उनकी गहराई का कारण मुख्य घटकों में से एक का आमाप है, जो कि चित्र नलिका (पिक्चर ट्यूब) है। एक चित्र नलिका और कुछ नहीं , बल्कि कैथोड किरण नलिका (CRT) है। CRT भी एक विशेष उपकरण का मुख्य घटक है – कैथोड किरण दोलनदर्शी (CRO) जिसका उपयोग भौतिकी और इलेक्ट्रॉनिकी की प्रयोगशालाओं में किया जाता है। CRO का उपयोग तरंग के आकार का निरीक्षण करने और विद्युत संकेत की आवृत्ति, कला विस्थापन और आयाम को मापने के लिए किया जाता है। आपने अपने पहले सेमेस्टर के प्रयोगशाला पाठ्यक्रम (प्रयोग 10, बीपीएचसीईएल–132) में ब्ट्ट का उपयोग किया है। CRO का मुख्य घटक एक CRT है। इस प्रयोग में, आप *e/m* अनुपात निर्धारित करने के लिए CRT का उपयोग करेंगे।

अपेक्षित कौशल

इस प्रयोग को करने के बाद आप इस योग्य होंगे की आप

- ❖ *e*/*m* अनुपात के निर्धारण की प्रक्रिया में शामिल चरणों की व्याख्या कर सकेंगे ;
- ❖ *e*/*m* प्राप्त करने के लिए उपकरण व्यवस्थित कर पाएंगे ;
- ❖ गतिमान आवेश के पथ पर विद्युत और चुंबकीय क्षेत्र के प्रभाव का अध्ययन कर सकेंगे; और
- ❖ *e*/*m* अनुपात की गणना कर सकेंगे ।

इस प्रयोग को करने के लिए आपको निम्नलिखित उपकरणों की आवश्यकता होगी।

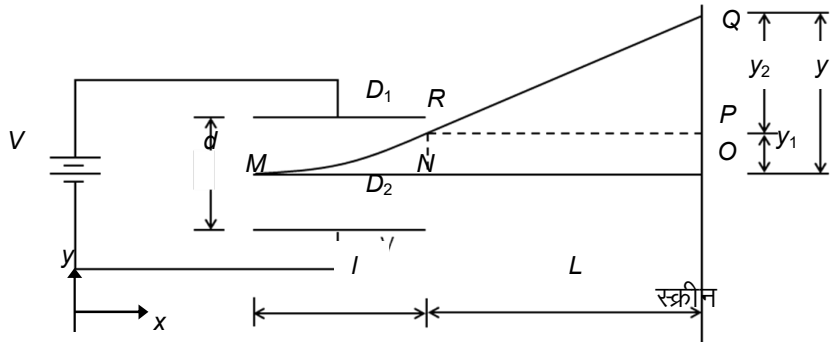
आवश्यक उपकरण

कैथोड किरण नलिका(CRT) और उसका विद्युत प्रदाय, चुम्बकत्वमापी (magnetometer), दंड चुम्बकों का समुच्चय और लकड़ी का स्टैंड ।

प्रयोग शुरू करने से पहले, आइए कैथोड किरण नलिका का उपयोग करके अनुपात की गणना करने के लिए आवश्यक बुनियादी सैद्धांतिक अवधारणाओं का संक्षेप में वर्णन करें।

10.2 आवेश संहति अनुपात (*e*/*m*)

जैसा कि आपने बीपीएचसीएल 132 के प्रयोग 10 में पढ़ा है, कैथोड किरण नलिका में, इलेक्ट्रॉन गन द्वारा उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों को विद्युत क्षेत्रों की सहायता से प्रतिदीप्त स्क्रीन (पर्दे) पर विभिन्न बिंदुओं पर फोकस किया जा सकता है। एक विभावांतर V क्षैतिजतः रखे दो दो प्लेटों D_1 और D_1 के बीच अनुप्रयुक्त किया जाता है, जैसा कि चित्र 10.1 में दिखाया गया है। प्लेटों की लंबाई समान और l के बराबर है, और उनके बीच की दूरी d है । प्लेटों के बीच एकसमान वैद्युत क्षेत्र बनता है $= E = \left(\frac{V}{d}\right)$, जैसा कि चित्र 10.1 में दिखाया गया है । मान लें कि CRT के भीतर, इलेक्ट्रॉन गन द्वारा उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन, प्रारंभ में x–अक्ष के अनुदिश वेग v से गतिमान हैं । जब एक इलेक्ट्रॉन, एक एकसमान वैद्युत क्षेत्र $\vec{\mathbf{E}}$ से होकर गुजरता है, तो यह लंबवत रूप से विक्षेपित होता है।



चित्र 10.1: CRT में इलेक्ट्रॉन के पथ का योजनाबद्ध आरेख।

आइए अब विद्युत क्षेत्र E के कारण गतिमान इलेक्ट्रॉन का ऊर्ध्वाधर विक्षेपण निर्धारित करें । एकसमान वैद्युत क्षेत्र में इलेक्ट्रॉन पर लगने वाला बल है: $\vec{\mathbf{F}} = eE\,\hat{\mathbf{j}} = e\left(\frac{V}{d}\right)\hat{\mathbf{j}}$ । $\vec{\mathbf{v}} = v_x\hat{\mathbf{i}} + v_y\hat{\mathbf{j}}$ वेग है। मान लें कि इलेक्ट्रॉन का प्रारंभिक वेग $\vec{\mathbf{v}} = v\hat{\mathbf{i}}$ है। इलेक्ट्रॉन के लिए गति का समीकरण है:

$$m\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}$$

$$\Rightarrow m\frac{dv_x}{dt} = 0\,; \qquad m\frac{dv_y}{dt^2} = eE \tag{10.1}$$

इन अवकल समीकरणों को बीपीएचसीटी–131 की इकाई 4 में सीखी गई तकनीकों का उपयोग करके हल किया जा सकता है (संपूर्ण समाधान के लिए मार्जिन टिप्पणी देखें)। समाधान के लिए प्रारंभिक प्रतिबंध हैं: $v_x(t=0) = v; v_y(t=0) = 0$ ।

मान लीजिए कि इलेक्ट्रॉन को चित्र 10.1 में दिखाए गए बिंदु R पर पहुँचने के लिए समय t_1 लगता है। उस बिंदु पर इलेक्ट्रॉन का y दिशा में विक्षेपण $NR = y_1$ है। गति के समीकरणों को हल करने पर हमें मिलता है:

$$y_1 = \frac{Eel^2}{2mv^2} \tag{10.2}$$

इलेक्ट्रॉनों को एक बल का अनुभव तभी होता है जब वे एकसमान स्थिरवैद्युत क्षेत्र में से गुजरते हैं, जो प्लेटों के बीच तक ही सीमित है। इस क्षेत्र को छोड़ने पर इलेक्ट्रॉन के पास x और y अक्षों, दोनों के अनुदिश वेग का एक घटक होता है। क्योंकि इस क्षेत्र में इलेक्ट्रॉन पर कोई बल कार्य नहीं लग रहा है है, वेग नियत रहता है और उसका मान बिन्दु R पर उसके मान के बराबर है (मार्जिन टिप्पणी देखें):

$$\vec{\mathbf{v}} = v\hat{\mathbf{i}} + \frac{eEl}{mv}\hat{\mathbf{j}} \tag{10.3}$$

अब इलेक्ट्रॉन समीकरण(10.3) द्वारा दिए गए नियत वेग के साथ एक सीधी रेखा में गति करेगा, जब तक यह स्क्रीन को बिंदु Q पर नहीं पहुँचता है । मान लीजिए कि इलेक्ट्रॉन द्वारा स्क्रीन पर बिंदु Q तक पहुंचने में लिया गया समय t_2 है। इस समय में इलेक्ट्रॉन x- अक्ष की दिशा में दूरी L ते करता है और y दिशा में इसका विक्षेपण y_2 है।

तब ऊर्ध्वाधर विक्षेपण y_2 होगा (मार्जिन टिप्पणी देखें):

$$y_2 = \frac{Ee}{m}\frac{lL}{v^2} \tag{10.4}$$

स्क्रीन पर कुल विक्षेपण $OQ = y = y_1 + y_2$ है:

$$y = \frac{Ee}{m}\frac{l}{v^2}\left(\frac{l}{2} + L\right) \tag{10.5}$$

समीकरण (10.5) से हम यह भी लिख सकते हैं:

$$eE = \frac{y}{l}\frac{mv^2}{\left(\frac{l}{2} + L\right)} \tag{10. 6}$$

$$m\frac{dv_x}{dt} = 0$$

$$\Rightarrow v_x = \text{constant} = v \tag{i}$$

$$\Rightarrow \frac{dx}{dt} = v \Rightarrow x = vt + c$$

$\because x = 0$ at $t = 0$, $c = 0$

$$x = vt \tag{ii}$$

हम लिख सकते हैं:

$$m\frac{dv_y}{dt} = eE \Rightarrow \frac{dv_y}{dt} = \frac{eE}{m}$$

$$\Rightarrow v_y = \left(\frac{eE}{m}\right)t + c$$

$\because v_y = 0$ at $t = 0$

$$v_y = \left(\frac{eE}{m}\right)t \tag{iii}$$

$$\frac{dy}{dt} = \left(\frac{eE}{m}\right)t$$

$$\Rightarrow y = \left(\frac{eE}{2m}\right)t^2 + c_1$$

$\because y = 0$ at $t = 0$, $c_1 = 0$

हमे मिलता है:

$$y = \left(\frac{eE}{2m}\right)t^2 \tag{iv}$$

हम जानते हैं कि:

$t = t_1, x = l$ and $y = y_1$

समीकरण (ii) से:

$$t_1 = l/v \tag{v}$$

समियारण (v) का समीकरण (iii) और (iv) में प्रयोग करने पर हमे प्राप्त होता है कि $t=t_1$ पर :

$$v_y = \left(\frac{eE}{m}\right)t_1 = \frac{eEl}{mv} \tag{vi}$$

$$y_2 = \left(\frac{eE}{2m}\right)t_1^2 = \left(\frac{eE}{2m}\right)\left(\frac{l}{v}\right)^2 \tag{vii}$$

$$t_2 = L/v$$

$$y_2 = t_2\left(\frac{eEl}{mv}\right) = \frac{eElL}{mv^2}$$

y , $\vec{\mathbf{E}}$ के कारण स्क्रीन पर होने वाला कुल विक्षेपण है । अब मान लें कि एक बाह्य चुंबकीय क्षेत्र $\vec{\mathbf{H}}$ को इलेक्ट्रॉनों किरण पुंज की गति की दिशा के लंबवत ऐसे लागू किया जाता है, कि स्क्रीन पर कुल विक्षेपण शून्य हो। यह तभी होगा जब, दोनों क्षेत्र एलेक्ट्रॉन पर समान और विपरीत दिशा में बल लगाएंगे। इसलिए, हमारे पास होना चाहिए:

$$eE = eHv \qquad (10.\ 7)$$

समीकरण (10. 6) का उपयोग करके हम लिख सकते हैं:

$$\frac{y}{l}\frac{mv^2}{\left(\frac{l}{2}+L\right)} = eHv \Rightarrow \frac{e}{m} = \frac{y}{H}\frac{v}{l\left(\frac{l}{2}+L\right)} \qquad (10.8)$$

अनुप्रयुक्त बाह्य चुंबकीय क्षेत्र को दंड चुंबक का उपयोग करके उत्पन्न किया जाता है। चुंबकीय क्षेत्र H का मान एक विक्षेपण चुम्बकत्वमापी का उपयोग करके निर्धारित किया जा सकता है। आपने बीपीएचसीएल–134 के प्रयोग 2 में विक्षेपण चुम्बकत्वमापी का उपयोग करना सीखा है । आप जानते हैं कि, यदि चुम्बकत्वमापी की चुंबकीय कंपास की सुई , साम्यावस्था में चुंबकीय याम्योत्तर के साथ का कोण θ बनाती हो, तब चुमबकीय क्षेत्र का मान होगा :

$$H = H_E \tan\theta \qquad (10.\ 9)$$

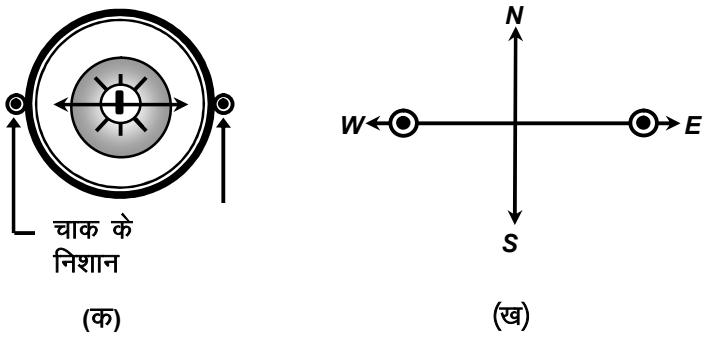
जहां पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक है।

समीकरण(10.8) में समीकरण (10.9) का उपयोग कर के हमें प्राप्त होता है :

$$\frac{e}{m} = \frac{yV}{\tan^2\theta}\left[\frac{1}{H_E^2 l\left(\frac{l}{2}+L\right)d}\right] \qquad (10.10)$$

समीकरण (10.10) का प्रयोग इलेक्ट्रॉन के लिए e/m के मान की गणना के लिए किया जाता है ।

10.3 प्रायोगिक विधि

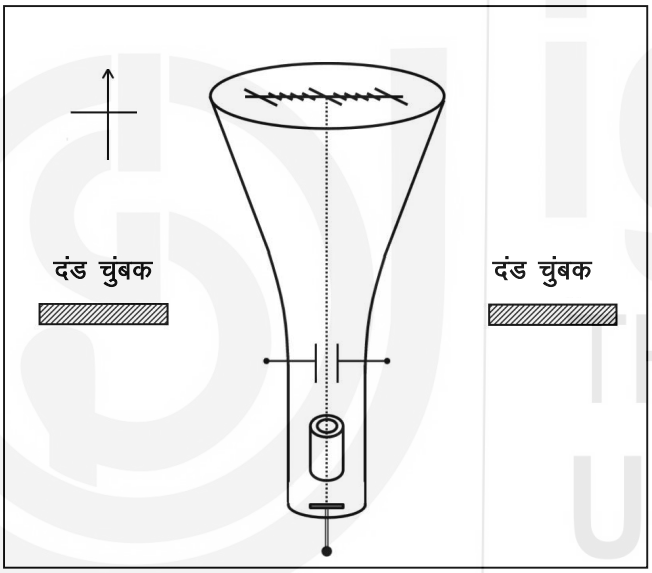


(क) (ख)

चित्र 10.2: चुंबकीय याम्योत्तर को चिह्नित करना: क) सूचक के सिरों के संगत चाक चिह्न पूर्व–पश्चिम दिशा को दर्शाता है;ख) चुंबकीय याम्योत्तर पूर्व–पश्चिम रेखा के प्रसामान्य है।

प्रयोग करने के लिए नीचे दिए गए चरणों का पालन करें।

1. सभी चुम्बकों को हटा दें (यदि कोई हो) और विक्षेपण चुम्बकत्वमापी को कार्यस्थल मेज पर रख दें। एक चाक का उपयोग करके टेबल पर सूचक के सिरों के संगत स्थितियों को चिह्नित करें, जैसा कि चित्र 10.2क में दिखाया गया है। चुम्बकत्वमापी को हटा दें और चाक के निशानों को एक सीधी रेखा से मिलाएँ और इसे चित्र 10.2ख में दर्शाए अनुसार बहिर्वेशित करें। यह प्रयोगशाला में चुंबकीय पूर्व–पश्चिम रेखा को परिभाषित करता है। इसके लंबवत खींची गई रेखा, चुंबकीय याम्योत्तर का प्रतिनिधित्व करेगी।
2. लकड़ी के स्टैंड को ऐसे रखें की उनकी भुजाएं पूर्व (E)–पश्चिम (W)रेखा के समानांतर हो और कैथोड किरण नलिका को उत्तर (N)–दक्षिण(S) रेखा के निशान के समानांतर रखें जैसा कि चित्र 10.3 में दिखाया गया है। CRT को उत्तर–दक्षिण दिशा के समानांतर रखने से यह सुनिश्चित होगा कि पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक इलेक्ट्रॉन किरण पुंज की दिशा को प्रभावित नहीं करेगा।



चित्र 10.3: CRT (उत्तर–दक्षिण दिशा में) और दंड चुंबक (पूर्व–पश्चिम दिशा में) के स्थान को दर्शाने वाला योजनाबद्ध आरेख।

3. CRT का विद्युत प्रदाय चालू करें। विक्षेपक वोल्टता को शून्य मान पर समायोजित करें। CRT के मध्य में एक उज्ज्वल केंद्रित बिन्दु प्राप्त करने के लिए, इस उद्देश्य के लिए दिए गए घुंडी की सहायता से आवश्यक समायोजन करें। CRT के स्क्रीन पर इस फोकसित दीप्त बिन्दु की स्थिति, स्क्रीन पर दिए गए स्केल की मदद से नोट करें।
4. अब विक्षेपण वोल्टता *V* लगाएं और और स्क्रीन पर अपनी प्रारम्भिक स्थिति के सापेक्ष (शून्य लागू विक्षेपण वोल्टेज के संगत) दीप्त बिन्दु के ऊर्ध्वाधर विक्षेपण *y* का मान नोट करें । *V* और *y* प्रेक्षण सारणी 10.1 में दर्ज करें ।
5. CRT के दोनों ओर पर विपरीत ध्रुवों का सामना करते हुए दंड चुंबक रखें। धीरे–धीरे दोनों दंड चुम्बकों को CRT की ओर ले जाएँ, जब तक कि दीप्त बिन्दु अपनी प्रारंभिक स्थिति (शून्य विक्षेपण वोल्टता स्थिति) तक न पहुँच

जाए। लकड़ी के स्टैंड की भुजाओं पर दिए गए पैमाने की सहायता से दंड चुम्बकों की इन स्थितियों को x(*cm* में) मांपे और प्रेक्षण सारणी 10.1 में ये मान दर्ज करें। सुनिश्चित करें कि दोनों दंड चुम्बकों की दूरियाँ पैमाने पर बिल्कुल सममित हैं।

नोट: यदि दंड चुम्बकों को ब्रज की ओर ले जाने पर दीप्त बिन्दु प्रारंभिक स्थिति से दूर चला जाता है, तो छड़ चुम्बकों की ध्रुवता बदल दें।

6. माप लेने के बाद CRT की विद्युत प्रदाय को बंद कर दें। लकड़ी के स्टैंड की स्थिति को अपरिवर्तित छोड़कर, लकड़ी के स्टैंड से दंड चुंबक और CRT को सावधानीपूर्वक हटा दें। लकड़ी के स्टैंड को उसकी स्थिति से न हिलाएं।
7. चुम्बकत्व मापी को लकड़ी के स्टैंड के केंद्र पर रखें। इस स्थिति में एल्युमिनियम सूचक AB चुम्बकत्व मापी के वृत्ताकार पैमाने पर शून्य कोण ($\theta = 0°$) बनाता है ।
8. चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता को मापने के लिए, दंड चुम्बकों को लकड़ी के स्टैंड की भुजाओं पर चुम्बकत्व मापी के दोनों ओर x cm की दूरी पर रखें । इस स्थिति में सूचक के दोनों सिरों (A और B) के विक्षेपण कोण θ_1 और θ_2 को नोट करें और अपने पाठ्यांक प्रेक्षण सारणी 10.1 में लिखे ।
9. V के विभिन्न मानों के लिए, चरण 4 से 8 दोहराएँ ।
10. l, d, L और H_E को मापें और प्रेक्षण सारणी 10.1 में ये मान दर्ज करें ।

प्रेक्षण सारणी 10.1:विभिन्न अनुप्रयुक्त विक्षेपण वोल्टताओं के लिए *y* और θ का निर्धारण

विक्षेपण प्लेट की लंबाई: l = ... cm = ... m

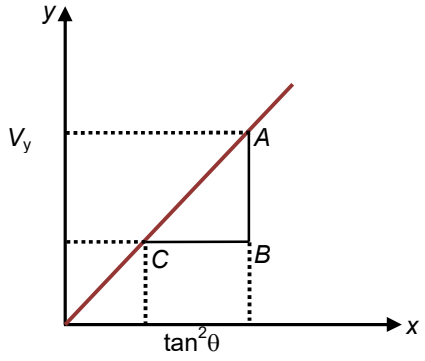
विक्षेपण प्लेटों के बीच पृथक्करण दूरी: d = ... cm = ... m

स्क्रीन और प्लेट के बीच की दूरी: L = ... cm = ... m

पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक: H_E = ... Wb/m^3

क्र. सं.	**अनुप्रयुक्त विक्षेपण वोल्टता** V (वोल्ट)	**बन्दु की स्थिति** y (m)	दंड चुंबक की दूरी x (cm)	θ_1 (डिग्री)	θ_2 (डिग्री)	**माध्य** θ (डिग्री) $\left(\theta = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}\right)$	Vy (Vm)	tan θ	$\tan^2\theta$
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									

11. प्रेक्षण सारणी 10.1 से प्राप्त आंकड़ों के साथ V_y और $\tan^2\theta$ के बीच का ग्राफ़ आलेखित करें (चित्र 10.4)



चित्र 10.4: $\tan^2\theta$ (को x-अक्ष पर) और V_y (को *y*-अक्ष पर) का आलेख ।

10.4 *e/m* का परिकलन

चित्र 10.4 में दर्शाए अनुसार ग्राफ के प्रवणता की गणना करें।

$$Slope = \frac{AB}{BC} = ...\text{Vm} \qquad (10.11)$$

प्रवणता का मान $\frac{V\,y}{\tan^2\theta}$ के बराबर है । समीकरण 10.10 मे $Slope = \frac{V\,y}{\tan^2\theta}$ प्रतिस्थापित करने पर, हम प्राप्त करते हैं:

$$\frac{e}{m} = \frac{\text{Slope}}{H_E^2}\frac{1}{l\left(\frac{l}{2}+L\right)d} \qquad (10.12)$$

Slope, *l*, *L*, *d and* H_E के मानों का उपयोग करके समीकरण (10.12) से हम *e/m* के मान की गणना कर सकते हैं।

परिणाम:

e/m का मान =..... C/Kg

मानक मान (e/m = 1.76×10^{11} C/Kg).

प्रतिशत त्रुटि = ...% (मार्जिन टिप्पणी देखें)

10.5 सावधानियाँ और और त्रुटि के स्रोत

1. पास में कोई बाहरी चुंबकीय क्षेत्र नहीं होना चाहिए जो CRT के अंदर इलेक्ट्रॉन किरण पुंज की गति को प्रभावित कर सके।
2. CRT और दंड चुंबक की धुरी, एक दूसरे के लंबवत होनी चाहिए।
3. CRT की धुरी पृथ्वी के चुंबकीय क्षेत्र के उत्तर–दक्षिण दिशा में होनी चाहिए।
4. स्क्रीन पर दीप्त बिन्दु , स्पष्ट और उज्ज्वल होना चाहिए। वह बिन्दु किसी निश्चित स्थिति में अधिक समय तक नहीं रहना चाहिए ।
5. दोनों सिरों से अलग–अलग θ_1 और θ_2 नोट करना न भूलें ।