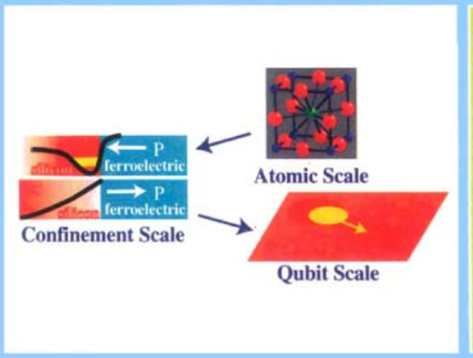
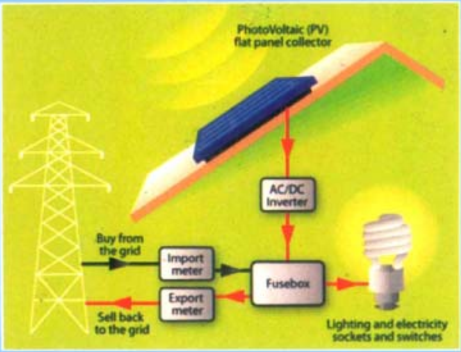
PH - 12

वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा





प्रायोगिक भौतिकी

PH-12

वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा

प्रायोगिक भौतिकी

पाठ्यक्रम अभिकल्प समिति

अध्यक्ष

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

संयोजक / समन्वयक एवं सदस्य

विषय समन्वयक
प्रो. एन. एस. सक्सेना
भौतिक विज्ञान विभाग
राजस्थान विश्वविद्यालय, जयपुर

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

सदस्य

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

सम्पादक एवं पाठ लेखक

सम्पादक

प्रो. कानन बाला शर्मा
भौतिक विज्ञान विभाग
राजस्थान विश्वविद्यालय, जयपुर

लेखक

1. **प्रो. एन. एस. सक्सेना**
   भौतिक विज्ञान विभाग
   राजस्थान विश्वविद्यालय, जयपुर
2. **डॉ. डी. सी. जैन**
   भौतिक विज्ञान विभाग,
   राजस्थान विश्वविद्यालय, जयपुर
3. **श्री रीटा शर्मा,**
   भौतिक विज्ञान विभाग,
   एस. एस. जैन सुबोध (पी. जी.) कॉलेज, जयपुर
4. **डॉ. राजेश जैन**
   भौतिक विज्ञान विभाग
   एस. एस. जैन सुबोध (पी. जी.) कॉलेज, जयपुर
5. **डॉ. दीपिका भण्डारी**
   भौतिक विज्ञान विभाग,
   एस. एस. जैन सुबोध (पी. जी.) कॉलेज, जयपुर
6. **डॉ. दिनेश पाटीदार**
   भौतिक विज्ञान विभाग,
   जे. एन. आई. टी., जयपुर

अकादमिक एवं प्रशासनिक व्यवस्था

प्रोफेसर (डॉ.) नरेश दाधीच	**प्रो. (डॉ.) अनाम जेटली**	**योगेन्द्र गोयल**
कुलपति	निदेशक	प्रभारी
वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय,कोटा (राज.)	संकाय विभाग	पाठ्यक्रम सामग्री उत्पादन एवं वितरण विभाग

पाठ्यक्रम उत्पादन

योगेन्द्र गोयल
सहायक उत्पादन अधिकारी
वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा

उत्पादन नवम्बर,2009 **ISBN-13/978-81-8496-142-3**

इस सामग्री के किसी भी अंश की वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा की लिखित अनुमति के बिना किसी भी रूप में अथवा मिमियोग्राफी द्वारा या अन्यत्र पुनः प्रस्तुत करने की अनुमति नहीं है । (चक्रमुद्रण)

वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा

प्रयोगिक भौतिकी

अनुक्रमणिका

इकाई संख्या	इकाई	पृष्ठ संख्या
प्रयोग-1	फोटो सेल का उपयोग करते हुए प्लांक नियतांक का मान ज्ञात करना	7–15
प्रयोग-2	सौर सैल का उपयोग करते हुए प्लांक नियतांक का मान ज्ञात करना	16–24
प्रयोग-3	कृष्णिका विकिरण विधि द्वारा स्टीफोन नियतांक का मान ज्ञात करना	25–34
प्रयोग-4	चतुर्शलाका विधि द्वारा किसी अर्धचालक पदार्थ की प्रतिरोधकता की ताप पर निर्भरता का अध्ययन करना	35–44
प्रयोग-5	गाइगर- मूलर गणित्र के अभिलाक्षणिक वक्रों का अध्ययन कर समान प्रबलता के रेडियोएक्टिव स्रोतों के लिये व्युत्क्रम वर्ग नियम का सत्यापन करना	45–58
प्रयोग-6	क्विंक की विधि से किसी अनुचुंबकीय घोल की चुम्बकीय प्रवृत्ति ज्ञात करना	59–69
प्रयोग-7	हेलिकल विधि से इलेक्ट्रान के विशिष्ट आवेश (e/m) का मान ज्ञात करना	70–82
प्रयोग-8	सर्च कुण्डली व प्रक्षेप गैल्वनोमीटर की सहायता से चुम्बकीय क्षेत्र का मापन करना	83–94
प्रयोग-9	50H_z आवृति पर R-C संचरण लाइन का अध्ययन करना	95–103
प्रयोग-10	L-C संचरण लाइन का एक निश्चित आवृति पर अध्ययन करना	104–112
प्रयोग-11	LCR परिपथ में एक निश्चित आवृति व परिवर्ती धारिता के लिये अनुनाद का अध्ययन करना	113–120
प्रयोग-12	LCR परिपथ में परिवर्ती आवृति के साथ अनुनाद का अध्ययन करना	121–128
प्रयोग-13	जंक्शन एवं जीनर डायोड के अभिलाक्षणिक वक्रों का अध्ययन करना	129–137
प्रयोग-14	जंक्शन एवं बिन्दु स्पर्श डायोड के पुनर्प्राप्ति समय का अध्ययन करना	138–144
प्रयोग-15	OR, AND व NOT तार्किक द्वारों का अध्ययन करना	145–166

आमुख

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

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

प्रयोग सरल अथवा जटिल हो सकते हैं किन्तु उनके सम्पादन में अधिक सूझ- बुझ, तन्मयता, धैर्य एवं कौशल की आवश्यकता होती है । वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा ने बी.एससी. पार्ट III के लिए जिन प्रयोगों को उपयोगी माना उनका समावेश इस पुस्तक प्रयोगिक भौतिकी (PH-12) में किया गया है । पुस्तक की कुछ प्रमुख विशेषताएँ निम्न है -

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

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

प्रयोग - 1

फोटो सैल का उपयोग करते हुए प्लांक नियतांक का मान ज्ञात करना।

(To determine the Planck's constant using Photo cell)

प्रयोग की रूपरेखा

1.0 उद्देश्य
1.1 प्रस्तावना
1.2 आवश्यक उपकरण
1.3 सिद्धान्त
1.4 चित्र
1.5 विधि
1.6 प्रेक्षण
1.7 गणना व परिणाम
1.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्त्रोत
1.9 सारांश
1.10 शब्दावली
1.11 संदर्भ ग्रन्थ
1.12 बोध प्रश्नों के उत्तर
1.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

1.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के बाद आप

- निरोधी विभव का मान ज्ञात कर सकेंगे;
- देहली आवृत्ति का मान ज्ञात कर सकेंगे;
- फोटो सैल से उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों का अधिकतम वेग तथा गतिज ऊर्जा ज्ञात कर सकेंगे;
- कार्यफलन का मान ज्ञात कर सकेंगे।

1.1 प्रस्तावना (Introduction)

हम जानते हैं कि चिरसम्मत भौतिकी में प्रकाश को विद्युत-चुम्बकीय तरंगों के रूप में माना गया है तथा इन तरंगों की ऊर्जा प्रकाश की तीव्रता पर निर्भर करती है परन्तु क्वान्टम यांत्रिकी में प्रकाश को क्वान्टम (फोटॉन) के रूप में माना गया है जिसकी ऊर्जा $h\nu$ होती है

अर्थात् ऊर्जा प्रकाश की आवृत्ति पर निर्भर करती है न की तीव्रता पर। यहाँ गुणज h दर्शाता है कि ऊर्जा सतत् परास की अपेक्षा केवल विविक्त मान से परिवर्तित होती है।

इस प्रयोग में आप फोटो सैल का उपयोग करते हुऐ प्लांक नियतांक (h) का मान ज्ञात करेंगे। प्रयोग के मुख्य उद्देश्य के साथ-साथ अन्य महत्वपूर्ण भौतिक राशियाँ भी इस प्रयोग की सहायता से ज्ञात कर सकते हैं जैसा की अनुच्छेद 1.0 में दर्शाया गया है। अनुच्छेद 1.2 में प्रयोग करने के लिए आवश्यक उपकरणों की सूची दी गई है। यह प्रयोग प्रकाश विद्युत प्रभाव (Photo electric effect) पर आधारित है। अत: इसका संक्षिप्त वर्णन प्रयोग से सम्बन्धित सिद्धान्त अनुच्छेद 1.3 में दिया गया है। प्रयोग से सम्बन्धित परिपथ चित्र अनुच्छेद चित्र 1.4 में दर्शाया गया है। अनुच्छेद 1.5 में प्रयोग की विधि बिन्दुवार समझायी गई है। अनुच्छेद 1.6 व 1.7 में क्रमश: प्रेक्षण तथा गणना व परिणाम की आवश्यक जानकारी दी गयी है। प्रयोग करने के समय काम में ली जाने वाली सावधानियों तथा त्रुटियों के स्त्रोत की जानकारी अनुच्छेद 1.8 में दी गई है। प्रयोग का सारांश अनुच्छेद 1.9 में दिया गया है अनुच्छेद 1.10 में प्रयोग से सम्बंधित महत्वपूर्ण शब्दावली तथा अनुच्छेद व 1.11 में संदर्भ ग्रन्थ दिये गये हैं। बोध प्रश्नों के उत्तर अनुच्छेद 1.12 में दिये गये हैं। अन्त में प्रयोग से सम्बंधित मौखिक प्रश्न तथा उनके उत्तर अनुच्छेद 1.13 में दिये गये हैं।

1.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

छिद्रित लकड़ी के बॉक्स में रखा फोटो सैल, शक्ति प्रदायक स्त्रोत (0.10 वोल्ट परास), माइक्रोअमीटर, बल्ब विभिन्न आवृत्ति के प्रकाशीय फिल्टर, प्रकाशीय बैंच इत्यादि। आजकल फोटो सैल प्रयोग से सम्बन्धित बोर्ड बाजार में उपलब्ध है।

उपकरण के बारे में साधारण जानकारी :

प्रकाश विद्युत सैल (Photo electric cell)

प्रकाश विद्युत सैल एक ऐसी युक्ति है जो प्रकाश ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में परिवर्तित करती है। प्रकाश विद्युत सैल इनकी बनावट के अनुसार तीन प्रकार के होते हैं-

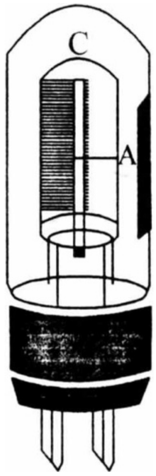
(i) प्रकाश उत्सर्जक सैल (Photo-emissive cell)

(ii) प्रकाश चालकीय सैल (Photo-conductive cell)

(iii) प्रकाश- वोल्टीय सैल (Photo-voltaic cell)

इस प्रयोग में सामान्यतया प्रकाश उत्सर्जक सैल का प्रयोग करते हैं इसे फोटो सैल भी कहते हैं। यह दो प्रकार के होता है, (a) निर्वातित तथा (b) गैस-पूरित। निर्वातित फोटो सैल निर्वातित क्वार्टज या काँच के बल का बना होता है। इसमें दो इलेक्ट्रॉड कैथोड तथा एनोड होते हैं। कैथोड C एक अर्धबेलनाकार धातु की प्लेट होती है। जिसका पृष्ठ क्षेत्र अधिक होता है तथा एनोड 4 धातु के तार या तार फ्रेम के रूप में होता है। जैसा कि चित्र 1.1 में दर्शाया गया है। कैथोड पर प्रकाश सुग्राही पदार्थ जैसे सोडियम (Na), पोटेशियम (K) या सीजियम (Cs) का लेप चढ़ा होता है। कैथोड को बैटरी के ऋण तथा एनोड को बैटरी के धन सिरे से जोड़ते हैं। एनोड कैथोड से उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन को आकर्षित करता है। अत: परिपथ में धारा प्रवाहित होती

है। निर्वातित फोटो सैल में धारा का मान बढ़ाने के लिए निर्वातित बल में कोई निष्क्रिय गैस जैसे आर्गन, हीलियम, नियोन इत्यादि को कुछ mm मर्करी दाब पर भर देते हैं। इस प्रकार के फोटो सैल को गैस-पूरित फोटो सैल कहते हैं।



चित्र 1.1 फोटो सैल

1.3 सिद्धान्त (Theory)

उपरोक्त प्रयोग प्रकाश विद्युत प्रभाव पर आधारित है। प्रकाश विद्युत प्रभाव का अध्ययन आप क्वान्टम भौतिकी में करते हैं। विकिरण के क्वान्टम सिद्धान्त के अनुसार ऊर्जा में परिवर्तन सतत् रूप से न होकर एक निश्चित मात्रा के गुणजों के रूप में होता है। ऊर्जा में यह परिवर्तन $h\nu$ के गुणनफल के पद में होता है अर्थात्

$$E = h\nu$$

जहाँ h प्लांक नियतांक तथा ν विद्युत चुम्बकीय विकिरणों (दोलकों) की आवृत्ति है।

प्रकाश विद्युत प्रभाव (Photo- electric effect)

जब किसी धातु पृष्ठ पर एक निश्चित आवृत्ति से अधिक आवृत्ति का प्रकाश आपतित होता है तो धातु पृष्ठ से इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होते हैं। इस घटना को प्रकाश विद्युत प्रभाव कहते हैं। इस प्रकार उत्सर्जित इलेक्ट्रॉनों को फोटो इलेक्ट्रॉन तथा इसके कारण प्रवाहित धारा को प्रकाश विद्युत धारा कहते हैं। प्रकाश विद्युत प्रभाव की व्याख्या आइन्सटीन ने की थी। इसके अनुसार जब $h\nu$ ऊर्जा का एक फोटॉन धातु पृष्ठ पर आपतित होता है तो धातु के किसी इलेक्ट्रॉन द्वारा यह फोटॉन अवशोषित होता है तब फोटॉन की कुछ ऊर्जा इलेक्ट्रॉन को धातु पृष्ठ से बाहर निकालने में काम आती है। इस ऊर्जा को धातु का कार्यफलन (Work function) कहते हैं तथा शेष ऊर्जा इलेक्ट्रॉन को गणित ऊर्जा प्रदान करती है अर्थात्

$$h\nu = \phi + \frac{1}{2}mv^2 \qquad .....(1.1)$$

जहाँ ϕ धातु का कार्यफलन, m इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान तथा v इलेक्ट्रॉन का वेग है।

देहली आवृत्ति ν_0 के फोटॉन के लिए

$$0 = h\nu_0 - \phi \Rightarrow \phi = h\nu_0$$

समी. (1.1) से

$$hv = hv_0 + \frac{1}{2}mv^2$$

$$h(v - v_0) = \frac{1}{2}mv^2 \qquad .....(1.2)$$

समी. (1.2) आइन्सटीन की प्रकाश विद्युत समीकरण कहलाती है।

निरोधी विभव (Stopping Potential)

जब फोटो सैल के एनोड पर ऋणात्मक वोल्टता में वृद्धि करते हैं तो एक न्यूनतम ऋणात्मक वोल्टता पर सैल में प्रवाहित धारा का मान शून्य हो जाता है। वोल्टता के इस न्यूनतम मान को निरोधी विभव कहते हैं। इसका मान आपतित प्रकाश की आवृत्ति तथा धातु के कार्यफलन पर निर्भर करता है। निरोधी विभव (V_0) पर इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा तथा स्थितिज ऊर्जा बराबर होती है अर्थात्

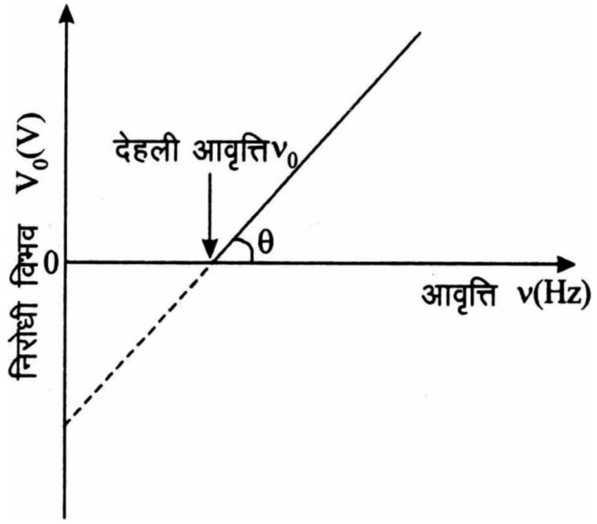
$$eV_0 = \frac{1}{2}mv^2 \qquad ....(1.3)$$

समी (1.3) का मान समी. (1.2) में रखने पर

$$h(v - v_0) = eV_0$$

$$V_0 = \frac{h}{e}v - \frac{h}{e}v_0 \qquad ....(1.4)$$

निरोधी विभव (V_0) तथा आपतित प्रकाश की आवृत्ति में खींचा गया वक्र एक सरल रेखा प्राप्त होती है। जिसकी प्रवणता छाते e/h तथा $v-$अक्ष पर प्रतिच्छेद बिन्दु देहली आवृत्ति v_0 को प्रदर्शित करता है। देखे चित्र 1.2।



चित्र 1.21

अब यदि हम दो भिन्न- भिन्न आवृत्ति (v_1 तथा v_2) के प्रकाशीय फिल्टर का उपयोग करें तो समी (1.2) से

$$h\nu_1 = eV_{01} + \phi \quad ....(1.5)$$

$$h\nu_1 = eV_{02} + \phi \quad ....(1.6)$$

जहाँ V_{01} तथा V_{02} क्रमशः आवृत्ति ν_1 तथा ν_2 के संगत निरोधी विभव है।

समी. (1.5) तथा (1.6) से

$$h(\nu_1 - \nu_2) = e(V_{01} - V_{02})$$

$$h = e\frac{(V_{01} - V_{02})}{(\nu_1 - \nu_2)} \quad ....(1.7)$$

उपरोक्त समी. (1.7) द्वारा h का मान प्राप्त किया जा सकता है।

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

1. प्रकाश विद्युत प्रभाव का परिभाषित कीजिये।

_ _

_ _

2. देहली आवृत्ति क्या होती है?

_ _

_ _

3. निरोधी विभव क्या होता है?

_ _

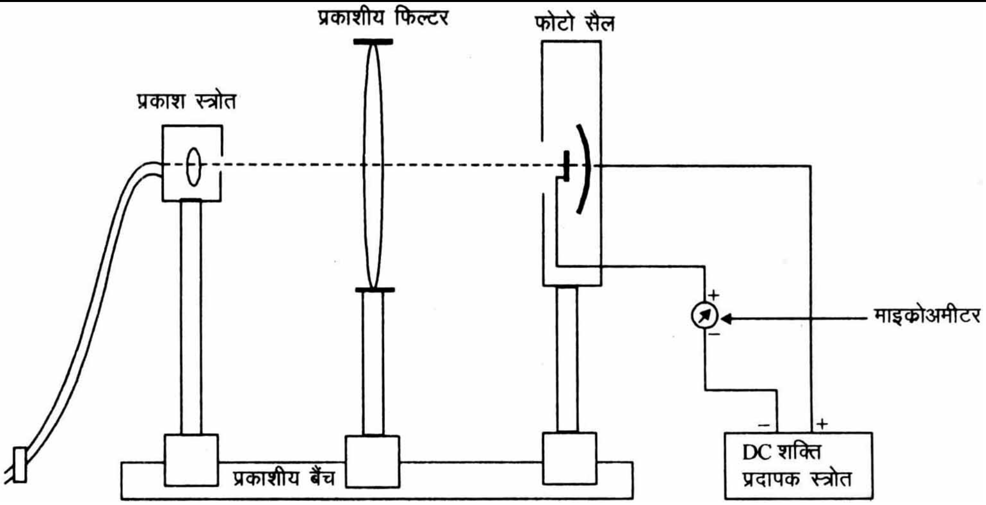
_ _

4. प्रकाश विद्युत सैल किस काम में आता है?

_ _

_ _

1.4 चित्र (Diagram)



चित्र 1.3

1.5 विधि (Method)

(i) सर्वप्रथम चित्र 1.3 के अनुसार परिपथ बनाइये। फोटो सैल के कैथोड को शाक्ति प्रदायक स्त्रोत (0-10) के धनाग्र से तथा ऐनोड को माइक्रोंअमीटर की सहायता से शाक्ति के ऋणाग्र से जोड़िये।

(ii) एक छिद्रित लकड़ी के बक्से में रखे फोटो सैल तथा प्रकाश स्त्रोत (बल) को प्रकाशीय बैंच पर रखो। फोटो सैल का कैथोड तथा बल एक-दूसरे के सामने तथा समान ऊँचाई पर होने चाहिए जिससे की माइक्रोअमीटर में पर्याप्त विक्षेप प्राप्त हो सके इस दूरी को प्रेक्षण सारिणी में अंकित कीजिये।

(iii) बल तथा शाक्ति प्रदायक स्त्रोत का स्विच चालु करें।

(iv) बल से आपतित प्रकाश को प्रकाशीय बैंच पर व्यवस्थित किसी आवृति प्रकाशीय फिल्टर से गुजारकर, फोटो सैल के कैथोड पर आपतित करें।

(v) शाक्ति. प्रदायक स्त्रोत की सहायता से $V=0$ के लिए माइक्रोअमीटर का पाठ्यांक नोट कीजिए।

(vi) धीरे-धीरे शाक्ति प्रदायक स्त्रोत की सहायता से एनोड पर ऋणात्मक वोल्टता में वृद्धि करते जाइये तथा इसके संगत धारा माइक्रोअमीटर से (μA में) सारणी में नोट करते जाइये।

(vii) ऐनोड पर ऋणात्मक वोल्टता में तब तक वृद्धि करो जब तक की माइक्रोअमीटर का पाठ्यांक शून्य न हो जाये। इस वोल्टता को उस प्रकाशीय फिल्टर के लिए निरोधी विभव V_0 कहते हैं।

(viii) प्रकाशीय फिल्टर को बदल-बदल कर विधि (v) से (vii) तक की पुनरावृत्ति करो।

(ix) विभिन्न आवृत्ति के प्रकाशीय फिल्टरों के लिए वोल्टता तथा धारा के मध्य आलेख खींचो।

(x) आलेख एक सरल रेखा प्राप्त होता है इसकी प्रवणता ज्ञात कर प्लांक नियतांक का मान ज्ञात कीजिए।

1.6 प्रेक्षण (Observation)

फोटो सैल तथा बल के मध्य दूरी = ...सेमी.

प्रेक्षण सारणी V_0 ज्ञात करने हेतु

क्रम संख्या	फिल्टर I		फिल्टर II		फिल्टर III	
	वोल्टता (V)	धारा (μA)	वोल्टता(V)	धारा(μA)	वोल्टता(V)	धारा(μA)
1 2						

3 4 5 6 7 8 9 10						

1.7 गणना व परिणाम (Calculations and result)

प्लांक नियतांक की गणना

प्रथम प्रकाशीय फिल्टर ($\nu_1 = ---$ सेकण्ड$^{-1}$) के लिए निरोधी विभव $V_{01} = --V$

द्वितीय प्रकाशीय फिल्टर ($\nu_2 = ---$ सेकण्ड$^{-1}$) के लिए निरोधी विभव $V_{02} = ---V$

तृतीय प्रकाशीय फिल्टर ($\nu_3 = ---$ सेकण्ड$^{-1}$) के लिए निरोधी विभव $V_{03} = ---V$

इलेक्ट्रॉन का आवेश $e = 1.6 \times 10^{-19} C$

प्रथम व द्वितीय प्रकाशीय फिल्टर के लिए प्लांक नियतांक

$$h_1 = \frac{e(V_{02} - V_{01})}{\nu_2 - \nu_1} \text{ जूल - सेकण्ड}$$

द्वितीय व तृतीय प्रकाशीय फिल्टर के लिए प्लांक नियतांक

$$h_2 = \frac{e(V_{03} - V_{02})}{\nu_3 - \nu_2} \text{ जूल - सेकण्ड}$$

तृतीय व प्रथम प्रकाशीय फिल्टर के लिए प्लांक नियतांक

$$h_3 = \frac{e(V_{01} - V_{03})}{\nu_1 - \nu_3} \text{ जूल - सेकण्ड}$$

अत: $h = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{3}$ जूल - सेकण्ड

परिणाम

प्लांक नियतांक का प्रायोगिक मान $h = ----$ जूल - सेकण्ड

प्लांक नियतांक का मानक मान $h = 6.62 \times 10^{-34}$ जूल - सेकण्ड

प्रतिशत त्रुटि $= ----\%$

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

पूर्वावधान

(i) धारा व वोल्टता नापने के लिए उचित परास का अमीटर व वोल्टमीटर उपयोग में लाना चाहिए।

(ii) शक्ति प्रदायक स्रोत से वोल्टता को अल्प मान से परिवर्तित करना चाहिए।

(iii) संयोजन सुदृढ़ होने चाहिए।

(iv) संयोग अन्धेरे कक्ष में करना चाहिए।

(v) फोटो सैल पर प्रकाश का आपतन लम्बे समय तक नहीं होना चाहिए।

(vi) फोटो सैल के कैथोड पर प्रकाश आपतित होना चाहिए।

त्रुटियों के जोत

(i) संयोजन सुदृढ़ न होने पर सम्पर्क प्रतिरोध का उत्पन्न होना।

(ii) परिपथ में धारा व वोल्टता नापने के लिए उपयुक्त परास के मानक उपकरणों का उपयोग न करना।

(iii) विक्षेप का बहुत कम या पूर्ण पैमाने के बाहर होना।

1.9 सारांश (Summary)

जब किसी धातु पृष्ठ पर एक निश्चित आवृत्ति से अधिक आवृत्ति का प्रकाश आपतित होता है तो धातु पृष्ठ से इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होते हैं। इसे प्रकाश विद्युत प्रभाव कहते हैं।

प्रकाश विद्युत सैल प्रकाश ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में परिवर्तित करता है यह तीन प्रकार के होते हैं; (i) प्रकाश उत्सर्जक (ii) प्रकाश चालकीय तथा (iii) प्रकाश - वोल्टीय सैल।

फोटो सैल का उपयोग कर प्लांक नियतांक का मान यथार्थता पूर्वक ज्ञात किया।

1.10 शब्दावली (Glossary)

प्रकाश विद्युत प्रभाव	Photo - electric effect
देहली आवृत्ति	Threshold frequency
विकिरण	Radiation
कार्यफलन	Work function
निरोधी विभव	Stopping Potential
गतिज ऊर्जा	Kinetic energy
निर्वात	Vacuum
प्रकाश स्त्रोत	Light Source

1.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

C.L.Arora	B.Sc.Practical Physics	S.Chand & Company Ltd. New Delhi
S.L.Gupta	Practical Physics	Pragati Prakashan,Meerut

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

1. जब किसी धातु पृष्ठ पर एक निश्चित आवृत्ति से अधिक आवृत्ति का प्रकाश आपतित होता है तो धातु पृष्ठ से इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित होते हैं इसे प्रकाश विद्युत प्रभाव कहते हैं।
2. वह न्यूनतम् आवृत्ति, जिससे कम आवृत्ति पर धातु पृष्ठ से इलेक्ट्रॉन उत्सर्जित नहीं होते हैं देहली आवृत्ति कहलाती है।
3. फोटो सैल के ऐनोड पर लगाई गयी न्यूनतम ऋणात्मक वोल्टता, जिस पर सैल में प्रवाहित धारा का मान शून्य होता है निरोधी विभव कहलाता है।
4. प्रकाश विद्युत सैल प्रकाश ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में परिवर्तित करने के काम में आता है।

1.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral questions and Answers)

1. प्रयोग में किस प्रकार का प्रकाश विद्युत सैल उपयोग में लिया गया है?

उत्तर : प्रयोग में प्रकाश उत्सर्जक सैल (फोटो सैल) काम में लिया गया है।

2. प्रकाशीय फिल्टर क्या होते हैं?

उत्तर : प्रकाशीय फिल्टर एक ऐसी युक्ति है जो केवल एक निश्चित तंरगदैध्य का प्रकाश ही गुजरने देता है।

3. आइन्सटीन की प्रकाश विद्युत समीकरण क्या है?

उत्तर : $hv = hv_0 + \frac{1}{2}mv^2$ को आइन्सटीन की प्रकाश विद्युत समीकरण कहते हैं।

4. कार्यफलन क्या होता है?

उत्तर : धातु पृष्ठ से इलेक्ट्रॉन को बाहर लाने के लिए आवश्यक ऊर्जा को धातु का कार्यफलन कहते हैं।

5. प्रकाश विद्युत सैल कितने प्रकार के होते हैं?

उत्तर : प्रकाश विद्युत सैल तीन प्रकार के होते हैं,

(i) प्रकाश उत्सर्जक सैल

(ii) प्रकाश चालकीय सैल

(iii) फोटो - वोल्टीय सैल

6. प्रकाश उत्सर्जक सैल के कैथोड पर किस प्रकार की धातुओं का लेप किया जाता है?

उत्तर : प्रकाश उत्सर्जक सैल के कैथोड पर प्रकाश सुग्राही धातुओं का लेप किया जाता है।

7. प्रकाश उत्सर्जक सैल कितने प्रकार के होते हैं?

उत्तर : यह दो प्रकार के होते है;

(i) निर्वातित तथा

(ii) गैस - पूरित प्रकाश उत्सर्जक सैल।

प्रयोग - 2

सौर सैल का उपयोग करते हुए प्लांक नियतांक का मान ज्ञात करना।

(To determine the Planck's constant using Solar cell)

प्रयोग की रूपरेखा

2.0 उद्देश्य
2.1 प्रस्तावना
2.2 आवश्यक उपकरण
2.3 सिद्धान्त
2.4 चित्र
2.5 विधि
2.6 प्रेक्षण
2.7 गणना व परिणाम
2.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्त्रोत
2.9 सारांष
2.10 शब्दावली
2.11 संदर्भ ग्रन्थ
2.12 बोध प्रश्नों के उत्तर
2.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

2.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के बाद आप

- विकिरण के व्युत्क्रम वर्ग नियम को सत्यापित कर सकेंगे;
- सौर सैल के अभिलाक्षणिक वक्रों का अध्ययन कर सकेंगे;
- प्रकाश की तीव्रता ज्ञात कर सकेंगे;
- सौर सैल के वर्णक्रमीय अभिलक्षण (spectral charactistics) का अध्ययन कर सकेंगे।

2.1 प्रस्तावना (Introduction)

पिछले प्रयोग में आपने फोटो सैल का उपयोग करते हुए प्लांक नियतांक का मान ज्ञात किया था। आप जानते हैं कि प्रकाश (विकिरण) की ऊर्जा क्वांन्टा के रूप में होती है जिन्हे फोटॉन कहते हैं। प्रत्येक फोटॉन की ऊर्जा $h\nu$ होती है। इस प्रयोग में आप सौर सैल का

उपयोग करते हुये प्लांक नियतांक का मान ज्ञात करेंगे। सौर सैल एक फोटो वोल्टीय सैल है अर्थात् यह भी एक प्रकाश विद्युत सैल है। अत: यह आपतित प्रकाश को विद्युत ऊर्जा में परिवर्तित करता है। प्रयोग के मुख्य उद्देश्य के साथ-साथ आप अन्य महत्वपूर्ण भौतिक राशियों को भी इस प्रयोग द्वारा ज्ञात कर सकते हैं। इनका विवरण अनुच्छेद 2.0 में दिया गया है। प्रयोग के लिए आवश्यक उपकरणों की सूची अनुच्छेद 2.2 में दी गयी है। प्रयोग से सम्बन्धित सिद्धान्त को अनुच्छेद 2.3 मे दिया गया है। प्रयोग करने के लिए आवश्यक चित्र अनुच्छेद 2.4 में दिया गया है। अनुच्छेद 2.5 में प्रयोग करने की बिन्दुवार विधि समझायी गयी है। अनुच्छेद 2.6 में प्रयोग के दौरान विभिन्न प्रेक्षण नोट करने के लिए प्रेक्षण सारणी दी गयी है। प्रयोग से प्राप्त प्रेक्षणों की गणना की जानकारी व परिणाम अनुच्छेद 2.7 में दिये गये हैं। प्रयोग के दौरान स्मरण रखने वाली पुर्वावधानों तथा त्रुटियों के स्त्रोत की जानकारी अनुच्छेद 2.8 में दी गयी है। प्रयोग का सारांश तथा महत्वपूर्ण शब्दावली क्रमश: अनुच्छेद 2.9 तथा 2.10 मे दी गयी है। अनुच्छेद 2.11 में संदर्भ ग्रन्थों की जानकारी दी गयी है।बोध प्रश्नों के उत्तर अनुच्छेद 2.12 में दिये गये हैं। अन्त मे प्रयोग से सम्बन्धित महत्वपूर्ण मौखिक प्रश्न तथा उनके उत्तर अनुच्छेद 2.13 मे दिये गये हैं।

2.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

सौर सैल, तीन स्टेण्ड की प्रकाशीय बैंच, $0-6V, 3A$ का DC शक्ति प्रदायक स्त्रोत, वोल्टमीटर ($0-60V$ तथा $0-60mV$ परास), अमीटर ($0-3A$ तथा $0-30mA$ परास), विभिन्न तरंगदैर्ध्य के प्रकाशीय फिल्टर, माइक्रोमीटर ($0-50\mu A$ परास), $6V, 12W$ बल, संयोजक तार आदि।

उपकरण के बारे में संक्षिप्त जानकारी

सौर सैल

यह एक प्रकाश वोल्टीय सैल है। सौर सैल सौर ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में बदलता है। यह अर्धचालक पदार्थ का बना होता है। यह तभी कार्य करता है जब इसकी संधि पर प्रकाश (फोटॉन) आपतित होते हैं। यह संधि आपतित फोटॉन को ग्रहण कर अर्धचालक पदार्थ के परमाणु से इलेक्ट्रॉन मुक्त करती है। ये इलेक्ट्रॉन विद्युतता (electricity) के लिए स्वतंत्र गतिशील होते हैं। ऐसे अनेक सौर सैलों से मिलकर एक सौर बैटरी बनायी जाती है।

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

1. सौर सैल क्या होता है?

- -

- -

2. सौर सैल किससे बना होता है?

- -

- -

2.3 सिद्धान्त (Theory)

किसी दी गई तरंगदैर्ध्य परास λ व $\lambda + d\lambda$ में कृष्णिका द्वारा उत्सर्जित कुल ऊर्जा, प्लांक के स्पेक्ट्रमी ऊर्जा वितरण सूत्र से दी जाती है

$$E_\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5}\frac{1}{(e^{hc/\lambda k_B T} - 1)} \quad .....(2.1)$$

जहां h प्लांक नियतांक, c प्रकाश का वेग, T परमताप तथा k_B बोल्टमान नियतांक है।

यदि तरंगदैर्ध्य दृश्य क्षेत्र में तथा ताप अत्यधिक ($2500K$) है तो समी. (2.1) में

$$h\nu / k_B T << 1$$

अतः $$E_\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} e^{-he/\lambda k_B T} \quad .....(2.2)$$

समी. (2.2) कृष्णिका विकिरण के लिए वीन के विकिरण नियम का सूत्र है।

यदि तरंगदैर्ध्य का मान नियत है तो $\frac{8\pi hc}{\lambda^5}$ का मान नियत होगा। माना कि

$$\frac{8\pi hc}{\lambda^5} = A$$

अत: समी. (2.2) से

$$E_\lambda = Ae^{-hc/\lambda k_B T}$$

$\log_e$ लेने पर

$$\log_e E_\lambda = \log_e A - \frac{hc}{\lambda k_B T}$$

या $$2.303 \log_{10} E_\lambda = 2.303 \log_{10} A - \frac{hc}{\lambda k_B T} \quad ......(2.3)$$

हम जानते हैं कि स्पेक्ट्रमी ऊर्जा E_λ, विकिरण की तीव्रता के समानुपाती होती है। तीव्रता ज्ञात करने के लिए सौर सैल का उपयोग करते हैं क्योंकि सौर सैल से सम्बन्धित माइक्रोअमीटर में विक्षेप θ तीव्रता के समानुपाती होता है अत:

$$E_\lambda \propto I$$

तथा $$I \propto \theta$$

अत: $$E_\lambda \propto \theta$$

या $$E_\lambda \propto \mathrm{K}\theta$$

जहाँ K समानुपाती नियतांक है।

$\log_{10}$ लेने पर

$$\log_{10} E_\lambda = \log_{10} K + \log_{10} \theta \qquad .....(2.4)$$

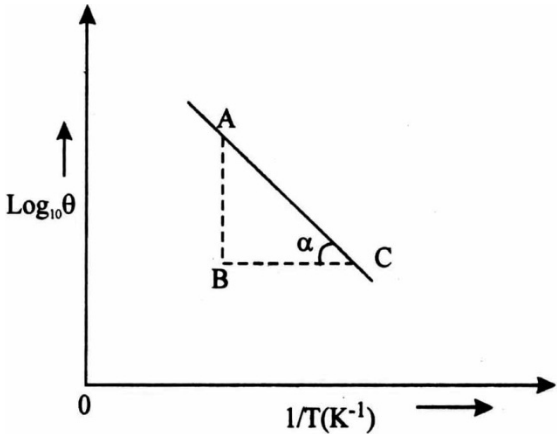
समी. (2.3) व (2.4) से

$$\log_{10} K + \log_{10} \theta = \log A - \frac{hc}{2.303 \lambda k_B T}$$

या $$\log_{10} \theta = \log_{10} M - \left(\frac{hc}{2.303 \lambda k_B} \right) \frac{1}{T} \qquad ......(2.5)$$

जहाँ $$\log_{10} M = (\log_{10} A - \log_{10} K)$$

समी. (2.5) सरल रेखा के समीकरण ($y = c - mx$) के समान है। अत: यदि $\log_{10} \theta$ तथा $\frac{1}{T}$ में आलेख खींचे तो यह एक सरल रेखा प्राप्त होगी जिसे चित्र 2.1 में दर्शाया गया है। सरल रेखा की प्रवणता से प्लांक नियतांक का मान प्राप्त होगा।



चित्र 2.1

प्रवणता $= \tan \alpha = \frac{AB}{BC} = \frac{hc}{2.303 \lambda k}$

या $h = \frac{2.303 \lambda k_B}{C}$ (प्रवणता)

$$h = \frac{2.303 \lambda k_B}{C} \left(\frac{AB}{BC} \right) \qquad .....(2.6)$$

इस प्रयोग में बल एक कृष्णिका का कार्य करता है अत: बल के फिलामेन्ट का ताप लेन्गम्युर सूत्र (Langmuir's formula) से प्राप्त कर सकते हैं। यदि ताप T पर बल के फिलामेन्ट का प्रतिरोध R_T तथा कक्ष ताप T_0 पर प्रतिरोध R_0 हो तो लेन्गम्युर सूत्र से

$$\frac{R_T}{R_0} = \left(\frac{T}{T_0} \right)^{1.2}$$

$$\left(\frac{T}{T_0} \right) = \left(\frac{R_T}{R_0} \right)^{\frac{1}{1.2}}$$

या $$T = T_0 \left(\frac{R_T}{R_0} \right)^{\frac{1}{1.2}}$$

R_T का मान $R = \frac{V}{I}$ वोल्टमीटर तथा अमीटर के पाठ्यांक नोट कर ज्ञात कर सकते हैं।

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

3. प्लांक के स्पेक्ट्रमी ऊर्जा वितरण सूत्र को लिखिये।

_ _

_ _

4. विकिरण की ऊर्जा तथा तीव्रता में क्या सम्बन्ध होता है?

_ _

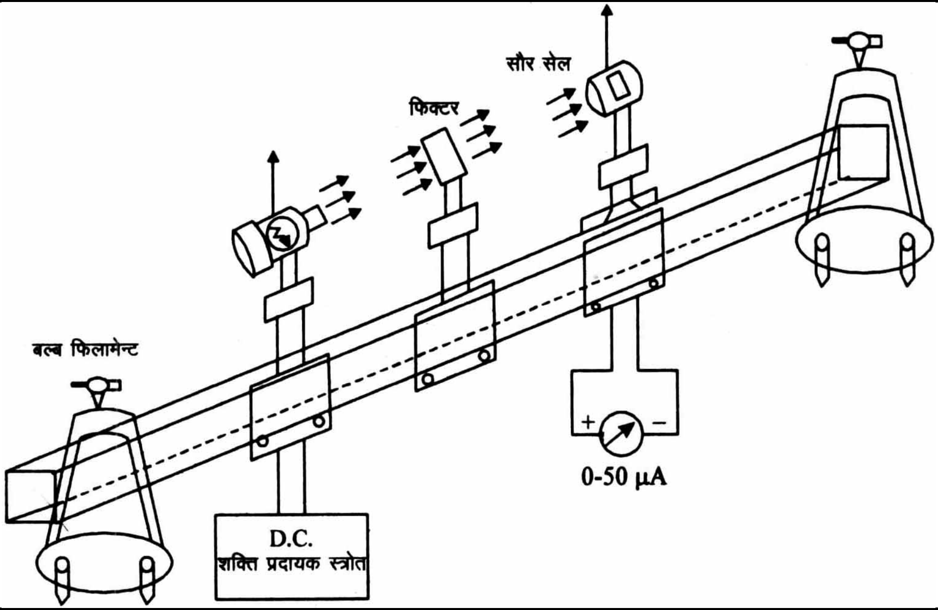
_ _

5. वीन का विकिरण नियम क्या है?

_ _

_ _

2.4 चित्र (Diagram)



2.5 विधि (Method)

(i) सर्वप्रथम चित्र 2.2 में बताये अनुसार परिपथ तैयार कीजिये। प्रकाश स्त्रोत ($6V, 12W$ के बल) को शक्ति प्रदायक स्त्रोत ($0-6V, 3Amp$) से जोड़िये।

(ii) शक्ति प्रदायक स्त्रोत पर दिये स्विच की सहायता से वोल्टमीटर तथा अमीटर की परास मिलीवोल्टमीटर तथा मिलीअमीटर पर रखिये। भिन्न-भिन्न वोल्टता तथा धारा के लिए बल के फिलामेन्ट का ताप भिन्न होता है।

(iii) सौर सैल को माइक्रोअमीटर ($0-50\mu A$ परास) 'से जोड़िये। प्रकाश की तीव्रता ज्ञात करने के लिए माइक्रोअमीटर में विक्षेप को नोट कीजिए। बल के फिलामेन्ट पर आरोपित भिन्न वोल्टता तथा धारा के संगत माइक्रोअमीटर में विक्षेप भिन्न-भिन्न होता है।

(iv) अब चित्र 2.2 में बताये अनुसार बल, प्रकाशीय फिल्टर तथा सौर सेल को प्रकाशीय बैच पर व्यवस्थित कीजिये। बल से प्राप्त प्रकाश को किसी निश्चित तरंगदैर्ध्य के प्रकाशीय फिल्टर से गुजारकर सौर सैल पर फोकस कीजिये।

(v) कक्ष के ताप T_0 पर बल के फिलामेन्ट का प्रतिरोध (R_0) भिन्न-भिन्न वोल्टता तथा धारा के संगत ज्ञात कीजिये तथा इसका माध्य नोट कीजिये। इस स्थिति में माइक्रोअमीटर में विक्षेप शून्य होना चाहिए तथा बल जलना नहीं चाहिये।

(vi) अब शक्ति प्रदायक स्त्रोत पर दिये स्विच को वोल्टमीटर तथा अमीटर परास पर रखिये। बल के फिलामेन्ट पर आरोपित भिन्न-भिन्न वोल्टता तथा धारा के संगत माइक्रोमीटर का विक्षेप नोट कीजिये। प्रत्येक वोल्टता के संगत फिलामेन्ट का प्रतिरोध (R_T) का मान ज्ञात कीजिये।

(vii) समी. (2.7) की सहायता से R_T के संगत T का मान ज्ञात कीजिए।

(viii) $\log_{10}(\theta)$ तथा $\left(\frac{1}{T}\right)$ मे आलेख खींचों जो कि एक सरल रेखा प्राप्त होगी। सरल रेखा की प्रवणता की सहायता से प्लांक नियतांक का मान ज्ञात कीजिये।

2.6 प्रेक्षण (Observations)

कमरे का ताप $=-----K$

प्रकाशीय फिल्टर की तरंगदैर्ध्य $\lambda=-----$ मीटर

कक्ष ताप पर प्रतिरोध (R_0) ज्ञात करने हेतु सारणी

क्रम संख्या	वोल्टता(V) (mVमें)	$R_0=\frac{V}{I}$ (ओम में)	माध्य R_0 (ओम में)
1			
2			
3			
4			
5			
6			

7 8 9 10			

प्रतिरोध (R_T) तथा विक्षेप (θ) ज्ञात करने हेतु सारणी

क्रम संख्या	वोल्टता (V) (V में)	घारा (I) (A में(	विक्षेप (θ)	प्रतिरोध $(R_T = \frac{V}{I})$ (ओम मे)	$T = T_0\left(\frac{R_T}{R_0}\right)^{\frac{1}{1.2}}$)K में(	$\left(\frac{I}{T}\right)$	$\log_{10}\theta$
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10							

2.7 गणना व परिणाम (Calculations and Result)

गणना

$$h = \frac{2.303\lambda k_B}{c}$$ (प्रवणता) जूल-सेकण्ड

λ, k_B, c व प्रवणता के मान सूत्र में रखकर h का मान ज्ञात किया जाता है।

परिणाम

प्लांक नियतांक का परिकलन मान $h = -----$ जूल-सेकण्ड

प्लांक नियतांक का मानक मान $h = 6.62 \times 10^{-34}$ जूल-सेकण्ड

प्रतिशत त्रुटि $= -----\%$

2.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्त्रोत (Precautions and source of error)

पूर्वावधान

(i) वोल्टमीटर व अमीटर मे संकेतक प्रारम्भ मे शून्य पर होने चाहिए अन्यथा शुन्यांक त्रुटि होगी।

(ii) माइक्रोअमीटर के प्रथम विक्षेप के स्थान पर नियत विक्षेप लेना चाहिए क्योंकि सौर सैल से नियत वि. वा. बल प्राप्त होता है।

(iii) फिलामेन्ट बल का सिरों से सम्बन्ध सही ढंग से कम होना चाहिए तथा सम्पूर्ण प्रयोग मे एक समान रहना चाहिए।

त्रुटियों का स्त्रोत

(i) उपकरण व संयोजक तारों के मध्य सम्पर्क का दृढ़ न होना।

(ii) ग्राफ के रूप में सरल रेखा प्राप्त करने के लिए विक्षेप का प्रेक्षण ठीक ढंग से न लेना।

(iii) माइक्रोमीटर के नियत विक्षेप के स्थान पर प्रथम विक्षेप लेना।

2.9 सारांश (Summary)

- प्लांक के नियम से कृष्णिका द्वारा उत्सर्जिव कुल ऊर्जा निम्न होती है

$$E_\lambda d\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5}\frac{1}{\left(e^{hc/\lambda kT}-1\right)}d\lambda$$

- प्रकाश वोल्टीय सैल (सौर सैल) सौर ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में परिवर्तित करता है।
- सौर सैल की सहायता से प्लांक नियतांक का मान ज्ञात किया।

2.10 शब्दावली (Glossary)

अर्द्धचालक	Semiconductor
कृष्णिका	Black body
प्रकाशीय फिल्टर	Optical filter
प्रतिरोध	Resistance
तरंगदैर्ध्य	Wavelength
सौर सैल	Solar cell
संधि	Junction
प्रवणता	Slope
विकिरण	Radiation
प्रकाश वोल्टीय सैल	Photovoltaic cell

2.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

प्रभा दशोरा, दीपक भटनागर एवं के.बी.शर्मा	“प्रयोगिक भौतिकी” तृतीय वर्ष	रमेश बुक डिपो, जयपुर
C.L. Arora	B.Sc. Practical Physics	S. Chand & Company Ltd. New Delhi

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

1. सौर सैल एक फोटो-वोल्टीय सैल है जो प्रकाश ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में परिवर्तित करता है।
2. सौर सैल अर्धचालक पदार्थ का बना होता है।
3. प्लांक का स्पेक्ट्रमी वितरण का सूत्र

$$E_\lambda d\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5}\frac{1}{\left(e^{hc/\lambda k_B T}-1\right)}d\lambda$$

4. विकिरण की स्पेक्ट्रमी ऊर्जा तीव्रता के समानुपाती होती है।
5. कृष्णिका द्वारा तरंगदैर्ध्य परास λ व $\lambda + d\lambda$ के मध्य उत्सर्जित विकिरणों की मात्रा

$$E_\lambda d\lambda = A\lambda^{-5}e^{-hc/\lambda k_B T}d\lambda$$

2.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral questions and Answers)

1. कृष्णिका क्या होती है?

उत्तर: एक ऐसी वस्तु जो अपने पृष्ठ पर आपतित सभी तरंगदैर्ध्य के विकिरणों को पूर्णतया अवशोषित कर लेती है, कृष्णिका कहलाती है।

2. प्लांक नियतांक का मात्रक क्या होता है?

उत्तर: प्लांक नियतांक का मात्रक जूल-सेकण्ड होता है।

3. सामान्यतया बल का फिलामेन्ट किसका बना होता है?

उत्तर: बल का फिलामेन्ट सामान्यतया टंगस्टन धातु का बना होता है।

4. प्लांक नियतांक का यथार्थ मान क्या है?

उत्तर: प्लांक नियतांक का यथार्थ मान $h = 6.62\times10^{-34}$ जूल-सेकण्ड

5. प्लांक नियतांक का मान क्या अन्य विधि से भी ज्ञात कर सकते हैं? नाम बताओ

उत्तर: हाँ, फोटो सैल का उपयोग कर h का मान ज्ञात कर सकते हैं।

प्रयोग - 3

कृष्णिका विकिरण विधि द्वारा स्टीफेन नियतांक का मान ज्ञात करना

(To determine the Stefan's constant using blank body radiation)

प्रयोग की रूपरेखा

3.0 उद्देश्य
3.1 प्रस्तावना
3.2 आवश्यक उपकरण
3.3 सिद्धान्त
3.4 चित्र
3.5 विधि
3.6 प्रेक्षण
3.7 गणना व परिणाम
3.8 पूर्वावधान व त्रुटियों के स्रोत
3.9 सारांश
3.10 शब्दावली
3.11 संदर्भ ग्रंथ
3.12 बोध प्रश्नों के उत्तर
3.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

3.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के बाद आप

- कृष्णिका द्वारा अवशोषित कुल विकिरण की मात्रा ज्ञात कर सकते हैं;
- ऊष्मा का यांत्रिक तुल्यांक ज्ञात कर सकते हैं;
- कृष्णिका (चांदी या तांबे की चकती) की विशिष्ट ऊष्मा का मान ज्ञात कर सकते हैं।

3.1 प्रस्तावना (Introduction)

हम जानते हैं कि सभी वस्तुएं विकिरण ऊर्जा को उत्सर्जित तथा अवशोषित करती हैं। कृष्णिका एक ऐसी वस्तु है जो स्वयं पर आपतित सभी आवृत्ति के विकिरणों को अवशोषित कर लेती है। यह आदर्श कृष्णिका कहलाती है अर्थात् सभी आवृत्ति के लिए कृष्णिका के अवशोषण गुणांक का मान इकाई होता है। चिरसम्मत भौतिकी कृष्णिका से उत्सर्जित विकिरणों के सम्पूर्ण

स्पेक्ट्रमी ऊर्जा वितरण को समझाने में असफल रही। इसे प्लांक के क्वान्टम सिद्धान्त से समझ सकते हैं। कृष्णिका के लिए स्टीफेन ने प्रेक्षित किया कि कृष्णिका के प्रति एंकाक क्षेत्रफल से उत्सर्जित विकिरण ऊर्जा की दर कृष्णिका के ताप के चतुर्घात के समानुपाती होती है। इस प्रयोग में स्टीफेन उपकरण का उपयोग कर स्टीफेन नियतांक का मान ज्ञात करेंगे। इसी सम्बन्ध में प्रयोग करने के लिए आवश्यक उपकरणों की सूची अनुच्छेद 3.2 में दी गयी है। प्रयोग से सम्बंधित भौतिक सिद्धान्त का संक्षिप्त वर्णन अनुच्छेद 3.3 में किया गया है। प्रयोग के लिए आवश्यक चित्र तथा प्रयोग करने की बिन्दुवार विधि क्रमश: अनुच्छेद 3.4 तथा 3.5 में दी गयी है। प्रेक्षण सारणी अनुच्छेद 3.6 में दी गयी है। अनुच्छेद 3.7 में गणना के साथ-साथ परिणाम की भी जानकारी दी गयी है। प्रयोग करने के दौरान रखी जाने वाले पूर्वावधान तथा त्रुटियों के स्रोत की जानकारी अनुच्छेद 3.8 में दी गयी है। प्रयोग का सारांश तथा प्रयोग से सम्बन्धित महत्वपूर्ण शब्दावली क्रमश: अनुच्छेद 3.9 तथा 3.10 में दिये गये हैं। अनुच्छेद 3.11 में संदर्भ ग्रन्थ दिये गये हैं तथा बोध प्रश्नों के उत्तर अनुच्छेद 3.12 में दिये गये हैं। अन्त में प्रयोग से सम्बंधित मौखिक प्रश्न तथा उनके उत्तर अनुच्छेद 3.13 में दिये गये हैं।

3.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

स्टीफेन का उपकरण, तीन तापमापी, सुग्राही धारामापी, ताप वैद्युत युग्म, विराम घड़ी, भापजनक कैलोरीमापी चाँदी की चकती इत्यादि।

उपकरण का संक्षिप्त वर्णन

स्टीफेन के उपकरण को चित्र 3.1 व में दर्शाया गया है। यह धातु के गोलार्द्ध H से बना होता है। जिसका आन्तरिक भाग काला किया हुआ है। यह एक कृष्णिका विकिरक के समान कार्य करता है। इसे एक आयताकार टिन के बक्से (चैम्बर) S में रखते हैं जो कि एक लकड़ी के प्लेट फार्म AB पर टिका हुआ है। टिन के बक्से S में दो भाप नलिका I तथा O लगी होती हैं। I से भाप अन्दर प्रवेश करती है तथा O से बाहर निकलती है। इससे गोलार्द्ध एक समान ताप से गर्म हो जाता है। तापमान टिन के बक्से के ऊपर लगे तापमापी T_1 व T_2 से ज्ञात कर लेते हैं। यदि तापमापी के पाठ्यांक में अन्तर है तो इनका माध्य मान लेते हैं। लकड़ी के प्लेट फार्म के मध्य में एक छोटा छिद्र होता है। इस छिद्र पर एक चाँदी या तांबे की चकती, जिसका ऊपरी तल काला किया हुआ है, को रख देते हैं। इस चकती को हत्थे h द्वारा गोलार्द्ध में खुला तथा ढक सकते हैं। चकती के नीचे के पृष्ठ पर चाँदी कॉन्सटेन्टन ताप युग्म की एक संधि को जोड़ देते हैं दूसरी संधि को जल से भरे कैलोरीमापी में रखी तेल से भरी परखनली में रख देते हैं। दो कॉन्सटेन्टन तार (एक चाँदी की चकती से जुड़े ताप वैद्युत युग्म का दूसरा सिरा तथा दूसरा तार परखनली में रखें ताप वैद्युत युग्म का दूसरा सिरा) को दो ताँबें के तार, जो कि सुग्राही धारामापी G से जुडे हुए हैं, से जोड़ देते हैं। तार में ताप के परिवर्तन के कारण विक्षोभ को रोकने के लिए कॉन्सटेन्टन ताँबे की संधियों को रूई के बक्से f में रख देते हैं। परखनली में रखे तीसरे तापमापी से तेल का ताप ज्ञात कर लेते हैं।

3.3 सिद्धान्त (Theory)

गर्म वस्तु द्वारा ऊष्मीय ऊर्जा के उत्सर्जन की दर, वस्तु के ताप पर निर्भर करती है। यह निर्भरता स्टीफेन के नियम से दी जाती है। इस नियम के अनुसार आदर्श कृष्णिका के प्रति एकांक क्षेत्रफल द्वारा ऊष्मीय ऊर्जा के उत्सर्जन की दर (E) कृष्णिका के परमताप (T) के चतुर्घात के समानुपाती होती है अर्थात्

$$E \propto T^4$$

या $$E = \sigma T^4 \qquad ......(3.1)$$

जहाँ σ एक समानुपाती नियतांक है। इसे स्टीफेन नियतांक कहते हैं। इसका यथार्थ मान $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ वाट/मी.^{2} केल्विन 4 होता है।

यदि एक कृष्णिका, परमताप T_1 पर, दूसरी कृष्णिका जो परमताप T_2 पर हो के द्वारा ढकी (surrounded) है तो पृष्ठ के प्रति एकांक क्षेत्रफल द्वारा ऊष्मीय ऊर्जा के ह्रास या वृद्धि की दर निम्न प्रकार दी जाती है

$$E \propto \left(T_1^4 - T_2^4\right)$$

या $$E = \sigma\left(T_1^4 - T_2^4\right)$$

जब चैम्बर S में भाप प्रवाहित करते हैं, तो चैम्बर में लगे तापमापी कुछ ताप प्रदर्शित करते हैं। गोलार्द्ध H का आन्तरिक पृष्ठ भाप के नियत ताप $T_1 K$ पर कृष्णिका उत्सर्जक की तरह कार्य करता है। जब चकती D को इसके स्थान पर रखते है तथा हत्थे (h) की सहायता से लकड़ी का ढक्कन हटाते हैं तो यह गोलार्द्ध, द्वारा उत्सर्जित ऊष्मीय विकिरण को ग्रहण करती है। अतः इसका ताप बढ़ जाता है। माना कि किसी समय चकती का ताप $T_2 K$ चकती के ताप में वृद्धि होने पर वह विकिरण उत्सर्जित करेगी परन्तु ऊष्मा विकिरण के अवशोषण की दर उत्सर्जन की दर से अधिक होगी। यदि प्रति एकांक क्षेत्रफल से E_1 तथा E_2 चकती द्वारा अवशोषित तथा उत्सर्जित विकिरण की दर है तो स्टीफेन नियम से

$$E_1 = \sigma T_1^4$$

तथा $$E_2 = \sigma T_2^4 \qquad ......(3.2)$$

यदि चकती का क्षेत्रफल A है तो चकती द्वारा प्रति सैकण्ड ऊष्मा वृद्धि

$$= \frac{E_1 - E_2}{J} A \text{ कैलोरी}$$

यदि चकती का द्रव्यमान m, विशिष्ट ऊष्मा S तथा ताप में परिवर्तन की दर $\frac{dT}{dt}$ है तो,

$$mS\frac{dT}{dt} = \frac{E_1 - E_2}{J} A$$

$$= \frac{\sigma\left(T_1^4 - T_2^4\right)}{J} A$$

अतः $$\sigma = \frac{JmS}{\left(T_1^4 - T_2^4\right)A} \cdot \frac{dT}{dt} \qquad ...(3.3)$$

जहाँ J ऊष्मा का यांत्रिक तुल्यांक है।

बोध प्रश्न (Self assessment question)

1. स्टीफेन नियम को परिभाषित कीजिये।

   _

   _

2. स्टीफेन नियतांक का मात्रक क्या होता है?

   _

   _

3. प्रयोग मे गोलार्द्ध किसका कार्य करता है?

   _

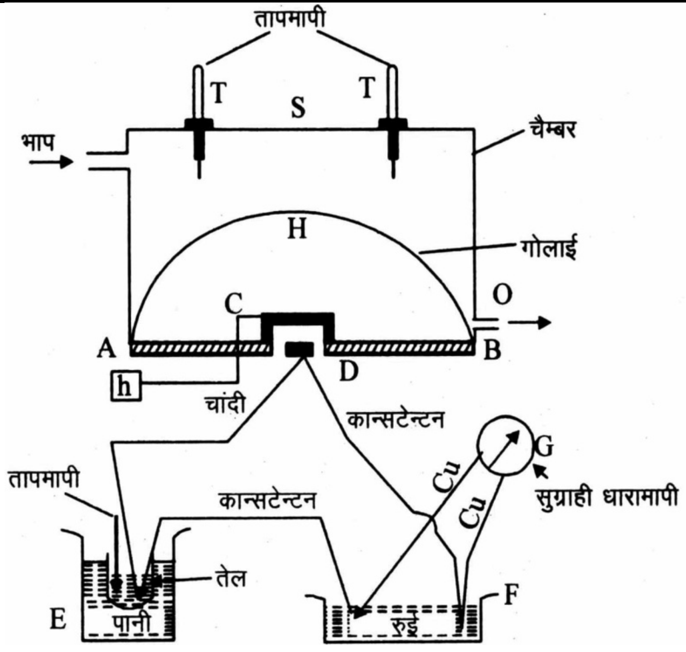
   _

4. कृष्णिका द्वारा उत्सर्जित ऊर्जा ताप की कौन सी घात के समानुपाती होती है?

   _

   _

3.4 चित्र (Diagram)



चित्र 3.1

3.5 विधि (Method)

(i) चित्र 3.1 में बताये अनुसार सभी उपकरणों को व्यवस्थित कीजिए।

(ii) ताप वैद्युत युग्म की एक संधि को चकती के नीचे के पृष्ठ से जुड़े पेच पर कस दीजिए तथा दूसरी संधि को पानी से भरे कैलोरीमापी में रखी तेल (oil) से भरी परखनली में रख दीजिए।

(iii) तेल के तापमान के लिए एक तापमापी को इसमें रख दीजिए।

(iv) कॉन्सटेन्टन- ताँबे की दोनों संधियों को रूई के बक्से में रख दीजिए।

ताप वैद्युत युग्म का अंशाकन

(v) चैम्बर S में भाप प्रवाहित करने से पहले चाँदी की चकती D को उसके स्थान पर रख दीजिए तथा इसे हत्थे की सहायता से लकड़ी के ढक्कन से ढक दीजिए।

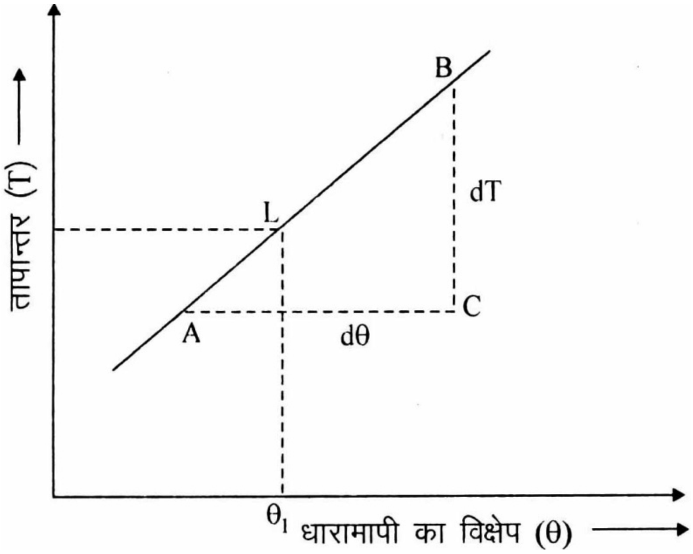
(vi) कैलोरीमापी में रखी परखनली के तेल के ताप को तापमापी की सहायता से नोट कीजिए।

(vii) अब कैलोरीमापी को उपयुक्त तापक्रम ($80^0 C$) तक गर्म कीजिए। इसमें धारामापी में ताप वैद्युत धारा के कारण विक्षेप प्राप्त होता है। प्रारम्भ में धारामापी मे विक्षेप अधिकतम होगा फिर जैसे-जैसे तेल का ताप कम होता जायेगा। विक्षेप कम होता चला जायेगा। ऑयल के ताप में कमी तथा संगत धारामापी में विक्षेप को नियमित अन्तराल पर सारणी में नोट करते जाइये।

(viii) दोनों संधियों के तापान्तर तथा संगत धारामापी के विक्षेप में एक आलेख खींचों जो कि एक सीधी रेखा प्राप्त होगी। जैसा कि चित्र 3.2 में दर्शाया गया है। इस आलेख से

$$\frac{dT}{d\theta} = \frac{BC}{AC} = \text{वक्र का ढाल}$$

का मान ज्ञात कीजिए। इस भाग में D शीत संधि का कार्य करती है।



चित्र 3.2

$\frac{dT}{d\theta}$ **का मान ज्ञात करना**

(ix) अब चाँदी की चकती के शटर को बन्द रखते हुए चैम्बर S में भाप प्रवाहित कीजिए।

(x) भाप तब तक प्रवाहित कीजिए जब तक की तापमापी T_1 व T_2 का ताप नियत न हो जाये। चैम्बर का ताप लगभग 8-10 मिनट में स्थिर हो जाता है।

(xi) कैलोरीमापी को कक्ष ताप पर रखिये।

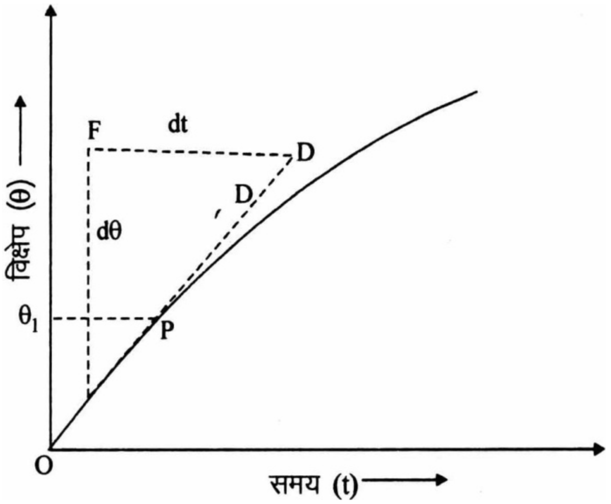
(xii) हत्थे की सहायता से शटर को हटाओ जिससे की चकती का ऊपरी पृष्ठ गोलार्द्ध से आने वाली ऊष्मा को अवशोषित करेगा। अत: इसका ताप बढ़ने लगेगा। यहां चकती D ऊष्म संधि का कार्य करती है।

(xiii) अब धारामापी का विक्षेप (θ) विराम घड़ी की सहायता से नियमित समयान्तराल पर नोट करते जाइये।

(xiv) समय (t) तथा संगत धारामापी के विक्षेप (θ) में आलेख खींचों जो कि चित्र 3.3 के अनुसार प्राप्त होता

(xv) वक्र के बिन्दु P पर स्पर्श रेखा खींचो जो कि मूल बिन्दु के पास स्थित है इस बिन्दु P पर आलेख का ढाल ज्ञात कीजिए। चित्र 3.3 में बिन्दु P पर ढाल

$$\frac{dT}{d\theta} = \frac{EF}{DF}$$



चित्र 3.3

T_2 का मान निकालना

(xvi) बिन्दु P के संगत विक्षेप (θ_1) के मान के लिए चित्र 3.2 से दोनों संधियों का संगत तापान्तर निकालिये। इस तापान्तर को जब चकती के प्रारम्भिक ताप (कमरे का ताप) में जोड़ते हैं तो T_2 का मान प्राप्त होता है।

(xvii) उपकरण पर ही लिखे चकती के द्रव्यमान, विशिष्ट ऊष्मा तथा त्रिज्या को नोट कीजिए तथा कमरे के ताप को भी नोट कीजिए।

3.6 प्रेक्षण (Observations)

कमरे का ताप $= ....^{0}C = 273 + ^{0}C = ...K$

चकती का द्रव्यमान $(m) = ...$ किग्रा.

ऊष्मा का यांत्रिक तुल्यांक $(J) = 4.2$ किलो कैलोरी

चकती की त्रिज्या $(r) = ...$ मी.

चकती की विशिष्ट ऊष्मा $(S) = ...$ जूल / किलो कैलोरी

चैम्बर का नियत ताप $T_1 = ...^{0}C = 273 + ^{0}C = ...K$

तापान्तर व विक्षेप के मध्य आलेख हेतु सारणी

क्रम संख्या	गर्म संधि का ताप (^{0}C में)	ठण्डी संधि का ताप (^{0}C में)	दोनों संधियों के मध्य तापान्तर (^{0}C में)	तापान्तर (^{0}K में)	धारामापी का विक्षेप
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

समय- विक्षेप आलेख हेतु सारणी

क्रम संख्या	समय (t) (सेकण्ड में)	धारामापी का विक्षेप (θ)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

3.7 गणना व परिणाम (Calculations and result)

गणना

चकती का क्षेत्रफल $(A) = \pi r^2 = ...$ वर्ग मी.

तापान्तर- विक्षेप तथा समय-विक्षेप आलेख से $\frac{dT}{dt}$ का मान ज्ञात करना

$$\frac{dT}{dt} = \frac{dT}{d\theta}.\frac{d\theta}{dt} = \frac{BC}{AC}.\frac{EF}{DF} = ...$$

समी. (3.3) में सभी मान रखकर σ का परिकलन कीजिए।

परिणाम

स्टीफेन नियतांक का परिकलन मान σ=......... जूल /मी.^{2} से.K^4

स्टीफेन नियतांक का मानक मान $\sigma = 5.76 \times 10^8$ जूल /मी.^{2} से.K^4

प्रतिशत त्रुटि =.........%

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

पूर्वावधान

(i) T व θ आलेख के समय चकती का ताप स्थिर होना चाहिए तथा चकती शटर द्वारा ढकी होनी चाहिए।

(ii) चकती का ऊपरी पृष्ठ पूर्णत: काला होना चाहिए जिससे की परावर्तन नगण्य हो।

(iii) गोलार्द्ध H का ताप स्थिर होने पर ही चकती का शटर खोलें।

(iv) परखनली में लिया गया तेल आर्द्र नहीं (non-hygroscopic) होना चाहिए तथा इनका घनत्व व वाष्प दाब कम होना चाहिए।

(v) ताप युग्म के तार केवल संधियों पर ही छूने चाहिये अन्य किसी स्थान पर नहीं।

त्रुटियों के स्रोत

(i) चकती के उपरी पृष्ठ का पूर्णत: काला न होना।

(ii) चकती का शटर गोलार्द्ध के ताप को स्थिर होने से पहले खोलना।

(iii) $\frac{dT}{dt}$ का मान मूल बिन्दु के समीप ज्ञात न करना।

3.9 सारांश (Summary)

- स्टीफेन उपकरण की सहायता से स्टीफेन नियतांक का मान पर्याप्त यथार्थता से प्राप्त किया है।
- आदर्श कृष्णिका के प्रति एंकाक क्षेत्रफल तथा प्रति सेकण्ड उत्सर्जित ऊष्मा कृष्णिका के परमताप के चतुर्घात के समानुपाती होती है।

3.10 शब्दावली (Glossary)

अंशांकन	Standardisation
अवशोषण	Absorption
उत्सर्जन	Emission
ऊष्मीय ऊर्जा	Heatenergy
कृष्णिका विकिरण	Blackbodyradiation
परखनली	Testtube
ताप वैधुत युग्म	Thermo-couple
तापान्तर	Temperaturedifference
द्रव्यमान	Mass
वाष्प दाब	Vapourpressure
विशिष्ट ऊष्मा	Specficheat
घनत्व	Density

3.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

C.L.Arora	"B.Sc.PracticalPhysies"	S.Chand & Company Ltd, NewDelhi
S.L.Gupta V.Kumar	"PracticalPhysics"	PragatiPrakashan, Meerut

3.12 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answers to self assessment question)

1. कृष्णिका के प्रति एकांक क्षेत्रफल द्वारा ऊष्मीय ऊर्जा के उत्सर्जन की दर कृष्णिका के परमताप के चतुर्घात के समानुपाती होती है।
2. स्टीफेन नियतांक का मात्रक वाट/ मी.^{2} K^4होता है।
3. प्रयोग में गोलार्द्ध H कृष्णिका विकिरण के समान कार्य करता है।
4. कृष्णिका द्वारा उत्सर्जित ऊर्जा ताप के चतुर्घात के समानुपाती होती है।

3.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral questions and answers)

1. चकती के धरातल को काला क्यों करते हैं?

उत्तर: चकती आपतित प्रकाश को पूर्णत: अवशोषित कर सके। इसलिए इसके धरातल को काला किया जाता है।

2. चाँदी की चकती क्यों ली जाती है?

उत्तर: क्योंकि चाँदी ऊष्मा का सुचालक है।

3. $\frac{dT}{dt}$ का मान मूल बिन्दु के समीप क्यों ज्ञात करते हैं?

उत्तर: चाँदी की चकती द्वारा ऊष्मा चालन के कारण त्रुटि को कम करने के लिए मूलबिन्दु के समीप बिन्दु पर $\frac{dT}{dt}$ का मान ज्ञात करते हैं।

4. प्रयोग में किस प्रकार का ताप वैधुत युग्म काम में लिया गया है?

उत्तर: प्रयोग में दो प्रकार के ताप वैधुत युग्म काम में लिये गये है;

(i)चाँदी-कॉन्सटेन्टन तथा (ii) ताम्र-कॉन्सटेन्टन।

प्रयोग-4

चतुर्शलाका विधि द्वारा किसी अर्धचालक पदार्थ की प्रतिरोधकता की ताप पर निर्भरता का अध्ययन करना

(To study temperature dependence of resistivity of semiconductor by four probe method)

प्रयोग की रूपरेखा

4.0 उद्देश्य
4.1 प्रस्तावना
4.2 आवश्यक उपकरण
4.3 सिद्धान्त
4.4 परिपथ चित्र
4.5 विधि
4.6 प्रेक्षण
4.7 गणना व परिणाम
4.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्रोत
4.9 सारांश
4.10 शब्दावली
4.11 संदर्भ ग्रन्थ
4.12 बोध प्रश्नों के उत्तर
4.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

4.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के पश्चात् आप

- किसी अर्धचालक पदार्थ की प्रतिरोधकता की ताप पर निर्भरता का अध्ययन कर सकेंगे;
- दिये गये अर्धचालक का ऊर्जा अन्तराल ज्ञात कर सकेंगे।

4.1 प्रस्तावना (Introduction)

सन् 1916 में वेनर (Wenner) ने चार-शलाका विधि मूलतः पृथ्वी की प्रतिरोधकता मापन के लिये विकसित की थी। भू-भौतिकी में इस तकनीक को वेनर विधि के नाम से जाना जाता है। सन् 1954 में वाल्देस (Valdes) ने इस तकनीक को अर्धचालकों के वेफर्स (wafers) की प्रतिरोधकता के मापन के लिये अपनाया। इसके अतिरिक्त इस तकनीक का

उपयोग विद्युत अपघट्यों के अभिलक्षण में व गैसों के विश्लेषण करने के लिये भी किया जाता है।

आजकल चतुर्शलाका तकनीक का उपयोग विस्तृत रूप से अर्धचालक उद्योग में पदार्थों की उत्पादन प्रक्रिया के मॉनीटरन (monitoring) में हो रहा है। इसके अतिरिक्त परीक्षण संरचनाओं (test structure) के प्रकणम (processing) के विभिन्न चरणों (steps) पर सूचना प्राप्त करने के लिये इस विधि द्वारा वैद्युत-मापन किये जाते हैं। उदाहरण के लिये मादित (doped) अर्धचालकों के प्रतिरोधकता मापन, सक्रिय आवेश वाहकों की सान्द्रता (active charge carrier concentration) व उनकी गतिशीलता (mobility) की जानकारी देते हैं जिन्हे मादन-प्रक्रिया (doping process) में पुनर्निवेशन (feed- back) के रूप में काम में लाया जाता है। इसके अतिरिक्त प्रतिरोधकता की ताप पर निर्भरता को प्राय: अर्धचालकों के वर्जित-ऊर्जा बैण्ड-अन्तराल ज्ञात करने के उपयोग में लाया जाता है।

प्रयोग करने के लिये आवश्यक उपकरणों की सूची अनुच्छेद 4.2 में दी गई है। अनुच्छेद 4.3 में प्रयोग से सम्बन्धित भौतिक-सिद्धान्त का संक्षिप्त विवरण दिया गया है। प्रयोग के लिये आवश्यक परिपथ चित्र तथा प्रयोग करने की बिन्दुवार विधि क्रमश: अनुच्छेद 4.4 व 4.5 में समझाई गई है। अनुच्छेद 4.6 में प्रेक्षण सारणी दी गई है। गणना की आवश्यक जानकारी व परिणाम अनुच्छेद 4.7 में उल्लेखित है। प्रयोग के समय काम में ली जाने वाली सावधानियाँ तथा त्रुटियों के स्रोतों का वर्णन अनुच्छेद 4.8 में किया गया है। अनुच्छेद 4.9 में प्रयोग का सारांश दिया गया है। प्रायोगिक परीक्षा की तैयारी करने के प्रयोजन से आगे के अनुच्छेदों 4.12 व 4.13 मे क्रमश: बोध प्रश्नों व मौखिक प्रश्नों के उत्तर दिये गये हैं।

4.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

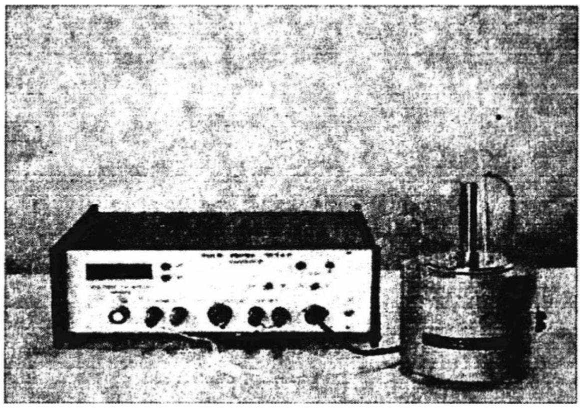
चतुर्शलाका (four probe) प्रयोग की व्यवस्था इकाई, एक स्थिर धारा स्रोत्र सुग्राही धारामापी जो मिली एम्पियर धारा सुग्राहिता से पढ़ सके, एक उच्च प्रतिरोध का वोल्ट मीटर, अवन जिसे विभिन्न तापों पर स्थिर रखा जा सके, एक थर्मामीटर, एक अर्धचालक क्रिस्टल जिसकी प्रतिरोधकता का ताप के साथ अध्ययन करना है।

उपकरण का संक्षिप्त विवरण:

चित्र 4.1 मे दिखाये अनुसार सामान्यत: इस उपकरण इकाई के दो भाग होते है जो पृथक बॉक्स की तरह के होते हैं। एक बॉक्स में धारा स्रोत, वोल्टमीटर व अमीटर लगे होते हैं तथा विभिन्न घुन्डियों की सहायता से आवश्यक धारा का मान स्थिर कर, विभिन्न परास के वोल्टमीटर व अमीटर के पाठयांक पैमाने चुनकर धारा तथा वोल्टता का मापन कर लिया जाता है।

दूसरे बॉक्स में अवन (oven) होता है जिसका ताप भी एक घुण्डी की सहायता से आवश्यकता अनुसार बदला जा सकता है तथा थर्मामीटर की सहायता से नापा जा सकता है। इस अवन में प्रायोगिक अर्धचालक क्रिस्टल को रखा जाता है। इस अवन के ढक्कन में चतुर्अन्वेशी शलाका वाली नलिका इस प्रकार गुजरती है कि चारों शलाकाओं का सम्पर्क प्रायोगिक

क्रिस्टल की सतह से हो सके। नलिका में व्यवस्थित शलाकाओं को नलिका में लगे पेंचों की सहायता से थोड़ा ऊपर- नीचे किया जा सकता है। शलाकाओं का सम्पर्क क्रिस्टल के साथ बहुत ही सावधानी से किया जाना चाहिए अन्यथा अधिक दबाव के कारण क्रिस्टल के टूटने का डर रहता है।



चित्र 4.1 चतुर्अन्वेशी शलाका विधि का उपकरण

4.3 सिद्धान्त (Theory)

यदि परिवेशीय ताप व दाब स्थिर रहें तो ओम नियम के अनुसार, किसी भी पदार्थ के सिरों पर विभवान्तर, V , उसमें से प्रवाहित धारा, I, के सामानुपाती होता है अर्थात्

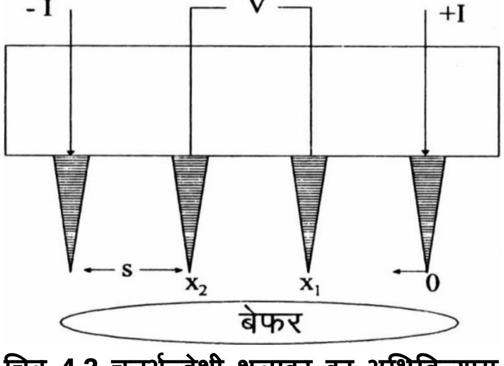
$$V \propto \mathrm{I}$$

या $$V = \mathrm{I}R \qquad ......(4.1)$$

साथ ही विभेदी (differential) प्रतिरोध, पदार्थ की विभेदी लम्बाई, dx, काटक्षेत्र, A , व पदार्थ की प्रकृति पर निर्भर करता है, अतः

$$\Delta R = \rho\left(\frac{dx}{A}\right) \qquad ......(4.2)$$

चित्र 4.2 में दिखाये अनुसार, समी. (4.2) का समाकलन दो अन्तः शलाकाओं (inner probes) के बीच किया गया है। अन्त: शलाकाओं के बीच विभवान्तर का मापन किया जाता है।



चित्र 4.2 चतुर्अन्वेशी शलाका का अभिविन्यास

समी. (4.2) का समाकलन करने पर

$$R = \int_{x_1}^{x_2} \rho . \frac{dx}{2\pi x^2} = \frac{\rho}{2\pi}\left[-\frac{1}{x}\right]_{x_1}^{x_2}$$

$$= \frac{\rho}{2\pi . 2s} \qquad ......(4.3)$$

जहाँ S, दो शलाकाओं के बीच दूरी है, जो कि सभी शलाकाओं के लिये समान है। दो बाह्य शलाकाओं के नुकों से प्राप्त धारा के अध्यारोपण के कारण $R = \frac{V}{2I}$ । अत: स्थूल (bulk) प्रतिरोधकता के लिये निम्न सम्बन्ध लिखा जा सकता है:

$$\rho = 2\pi s \left(\frac{V}{I}\right) \qquad ......(4.4)$$

समान दूरी S पर स्थित बेलनाकार शलाकाओं, प्रतिदर्श की पतली परत व चालक सीमा बन्धन के लिये समी. (4.4) में $\frac{1}{G_6\left(\frac{w}{s}\right)}$ का गुणा और करना होता है। अत: प्रतिरोधकता का मान

$$\rho = \frac{2\pi s}{G_6\left(\frac{w}{s}\right)} . \frac{V}{I} \qquad ......(4.5)$$

प्रतिरोधकता पदार्थ के कुछ अभिलाक्षणिक गुणों व ताप पर निर्भर करती है। उदाहरणार्थ धातुओं या चालकों की प्रतिरोधकता ताप में वृद्धि के साथ बढ़ती है तथा अर्द्धचालकों के लिये इसका मान ताप के साथ घटता है।

नैज अर्धचालकों के लिये इलेक्ट्रॉन व होल की सान्द्रता n व p क्रमश: समान होती हैं तथा प्रतिरोधकता का मान होगा-

$$\rho = \frac{1}{ne\left(\mu_n + \mu_p\right)} \qquad ......(4.6)$$

जहाँ

$$n = AT^{3/2} e \frac{-E_g}{2k_B T} \qquad ......(4.7)$$

यहां A एक स्थिरांक है जिसका मान पदार्थ की प्रकृति पर निर्भर करता है, $T(k)$ ताप है, k_B बोल्ट्जमान का स्थिरांक व E_g वर्जित ऊर्जा बैण्ड की ऊर्जा है। समी. (4.6) व (4.7) से स्पष्ट है कि ताप में वृद्धि के साथ वाहकों की संख्या में वृद्धि तथा प्रतिरोधकता में कमी होती है। विभिन्न तापों पर V व I के प्रेक्षण लेकर समी. (4.4) के अनुसार, प्रतिरोधकता ρ की ताप पर निर्भरता का भी अध्ययन किया जा सकता है।

इस अध्ययन के लिये समी. (4.5) व (4.6) से

$$\rho = \frac{1}{AT^{3/2} e^{-\left(E_g/2k_BT\right)} .e\left(\mu_n + \mu_p\right)} \qquad ......(4.8)$$

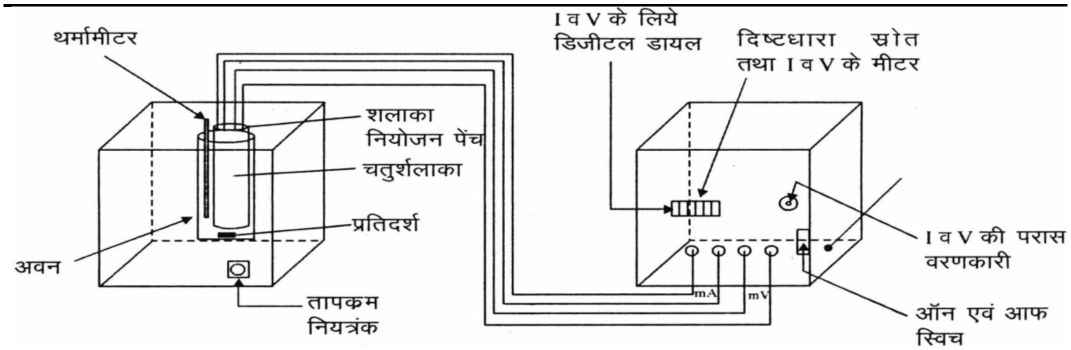
दोनों ओर का लॉग लेने पर

$$\log_e \rho = \log_e + \frac{E_g}{2kT} \qquad ......(4.9)$$

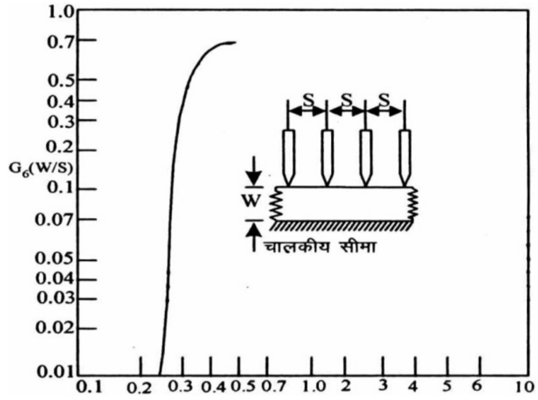
या
$$\log_e \rho = \frac{E_g}{2k_BT} - \log_e K \qquad ......(4.10)$$

जहां $K = \left(\frac{1}{A.e\left(\mu_n + \mu_p\right)T^{3/2}} \right)$ एक नियतांक है।

4.4 परिपथ चित्र (Circuit diagram)



चित्र 4.3 प्रतिरोधकता मापन की प्रयोगिक व्यवस्था



चित्र 4.4

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

1. किसी चालक की प्रतिरोधकता ताप के साथ किस प्रकार परिवर्तित होती है?

   _

   _ __ _

2. अर्धचालकों की प्रतिरोधकता उनके ताप पर किस प्रकार निर्भर करती है?

   _

_ _

3. चतुर्शलाका विधि में धारा व विभवान्तर किन-किन शलाकाओं के बीच ज्ञात किये जाते हैं?

_ _

__ _

4.5 विधि (Method)

(i) चित्र 4.3 में दिये गये उपकरण को व्यवस्थित कीजिये।

(ii) समान दूरी S पर स्थित बेलनाकार शलाकाओं, पतली परत (thin slice) प्रतिदर्श व चालक सीमा बन्धन (conducting bottom boundary) के लिये समी. (4.4) में $\frac{1}{G_6\left(\frac{w}{s}\right)}$ का गुणनफल और करिये। यहां w अर्धचालक परत की मोटाई है। $G_6\left(\frac{w}{s}\right)$ का मान, $G_6\left(\frac{W}{5}\right)$ व $\left(\frac{W}{5}\right)$ के मध्य वक चित्र 4.4 से देखिये।

(iii) चित्र 4.1 के अनुसार संबंधन कीजिये। बाह्य शलाकाओं को दिष्ट धारा स्रोत से व अन्त: दो शलाकाओं का संबंध वोल्टमीटर से कीजिये। उपकरण में I व V से अंकित टर्मिनल दिये होते हैं तथा घुण्डी की सहायता से परिवर्तन करके I व V के मान क्रम से एक ही डायल पर पढ़े जा सकते हैं।

(iv) प्रतिदर्श को सावधानी से अवन (oven) में रखिये तथा पेंच की सहायता से चतुर्शलाकाओं को प्रतिदर्श से सम्पर्कित कीजिये। प्राय: ऐसा करने की आवश्यकता नहीं होती हैं क्योंकि उपकरण बनाने वाली कम्पनी शलाकाओं का बिन्दु-सम्पर्क करके ही उपकरण बनाती है।

(v) ताप पढ़ने के लिये एक थर्मामीटर अवन के ढक्कन में बने छिद्र (slot) में ठीक तरह अंदर तक ले जाकर स्थिर कर दें।

(vi) दिष्ट धारा स्रोत को ऑन (on) करें तथा पठन घुण्डी की सहायता से किसी उपयुक्त मान की धारा I (उदाहरणार्थ 2 मिली एम्पियर) प्रतिदर्श से प्रवाहित होने दें। I का मान नोट करिये।

(vii) पठन घुण्डी को अब V पर रखें तथा वोल्टता का पाठयांक नोट करें।

(viii) अवन में ताप बढ़ने दें, जब ताप लगभग 75 ^0C पहुँच जावें तो ताप को स्थिर करें। ताप के गिरते क्रम में विभिन्न तापों पर वोल्टता नोट करें।

(ix) प्रेक्षण को प्रेक्षण सारणी में क्रम संख्या 1 पर नोट करें। इस प्रक्रिया (v) से (vii) को दोहराते हुए प्रेक्षण 'संख्या 2,3,4, ...N को सारणी में नोट करिये।

(x) $\log_{10}\rho$ व $10^3/T$ में ग्राफ खींचे।

(xi) अर्धचालक का बैण्ड अन्तराल समी. (4.10) से ज्ञात कीजिये। समी. (4.10) से

$$E_g = \frac{2 \times k_B \times 2.303}{10^{-3}} \times (\log_{10}\rho \text{ तथा } \frac{10^3}{T} \text{ के मध्य रेखा का ढ़ाल})$$

4.6 प्रेक्षण (Observations)

सारणी-

स्थिर धारा का मान = I = ... मि.एम्पियर

क्रम संख्या	ताप T (K)	वोल्टता $V(mV)$	$\frac{10^3}{T}$ (K^{-1})	ρ (Ωcm)	$\log_{10}\rho$
.1					
.2					
.3					
.4					
.5					
.6					
.7					
.8					
:					
N					

स्थिर धारा का मान I_2 व I_3 करके इसी प्रकार की प्रेक्षण सारणी बनावें।

4.7 गणना व परिणाम (Calculations and result)

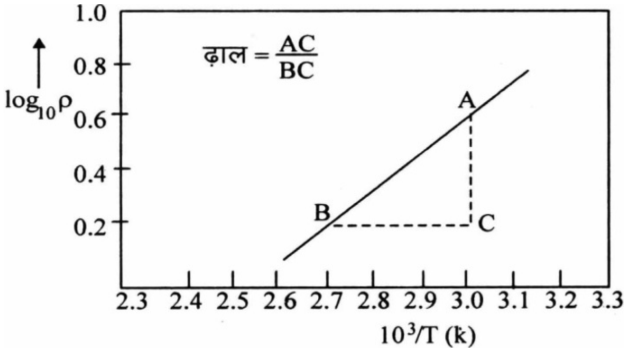
गणना-

दी गयी व्यवस्था के लिए $\left(\frac{w}{s}\right) = ---$

(i) समी. (4.5) में $G_6\left(\frac{w}{s}\right)$ का मान रखकर प्रत्येक ताप पर ρ ज्ञात कीजिये तथा $\log_{10}\rho$ ज्ञात कीजिये।

(ii) $10^3/T$ का मान प्रत्येक ताप पर ज्ञात कीजिये।

(iii) $\log_{10}\rho$ व $10^3/T$ के मध्य ग्राफ खींचिए। यह चित्र 4.5 के समान होगा



(iv) समी (4.10) से-

$$E_g = \frac{2 \times k \times 2.303}{10^{-3}} \times \ (\log_{10}\rho \text{ तथा } \frac{10^3}{T} \text{ के मध्य रेखा का ढ़ाल})$$

परिणाम-

(i) दिये गये अर्धचालक की प्रतिरोधकता ताप के साथ चित्र 4.5 मे खीचें गये ग्राफ के अनुसार परिवर्तित होती है। अर्धचालकों की प्रतिरोधकता ताप में वृद्धि के साथ कम होती है।

(ii) दिये गये अर्धचालक का ऊर्जा अन्तराल E_g = ... eV है।

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

पूर्वावधान

(i) क्रिस्टल का ताप सदैव 100 ^0C से कम होना चाहिये अन्यथा क्रिस्टल के जलने की आशंका रहती है।

(ii) चारों शलाकाओं को क्रिस्टल पर बहुत कसकर सम्पर्कित नहीं करना चाहिये अन्यथा क्रिस्टल के टूटने की आशंका रहती है।

(iii) प्रेक्षण के दौरान तापक्रम के स्थायित्व के लिये तापक्रम कम होते समय प्रेक्षण लेने चाहियें।

(iv) धारा को बाह्य दो शलाकाओं से प्रवाहित किया जाना चाहिये।

(v) विभवान्तर का मान दो अन्त: शलाकाओं के मध्य ज्ञात करना चाहिये।

(vi) प्रतिदर्श से प्रवाहित धारा का मान मिली एम्पियर में होना चाहिये।

(vii) I व V के लिये उपलब्ध पठन घुण्डियों को धीमे-धीमे घुमाना चाहिये अन्यथा घुण्डियां काम करना बन्द कर देंगी तथा पाठयांक का सही मान प्राप्त नहीं होगा।

त्रुटियों के जोत

(i) तापमापी का सुग्राही न होना।

(ii) तापक्रम में बढ़ते क्रम में V व I के पाठयांक लेना।

(iii) प्रवाहित धारा के मान मिलीएम्पियर में न होना।

(iv) चार-शलाकाओं से धारा प्रवाह व विभवान्तर मापन के लिये वैद्युत-संबंधन यथोचित न होना।

(v) थर्मामीटर में तापक्रम के किसी एक पाठयांक के स्थिर हुए बिना बोल्टमीटर से विभवान्तर नापना।

(vi) W व S के सही मानों की प्रविष्टि न होने के कारण $G_6\left(\frac{w}{s}\right)$ के सही मान प्राप्त न होना।

4.9 सारांश (Summary)

चतुर्शलाका विधि के द्वारा अर्धचालक (जरमेनियम) की प्रतिरोधकता का ताप के साथ अध्ययन कर अर्धचालक का वर्जित ऊर्जा अन्तराल प्राप्त किया गया।

4.10 शब्दावली (Glossary)

अवन	Oven
अर्धचालक	Semi conductor
घुण्डी	Knob
चतुर्शलाका	Four probe
तापक्रम	Temperature
दिष्ट धारा	Direct current
वर्जित ऊर्जा अन्तराल	Forbidden energy gap
स्थूल	Bulk
सान्द्रता	Concentration
सीमा बन्धन	Boundary condition

4.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

प्रभा दशोरा, दीपक भटनागर एवं के.बी.शर्मा	तृतीय वर्ष प्रायोगिक भौतिकी	रमेश बुक डिपो. जयपुर
Raj kumar and Madan Lal	Advanced Practical Physies	Kedar Nath Ram Nath & Sons, Meerut
H.P.Sharma and H.P.Sinha	A Text book of Practical Physics	Ratan Prakeshan Mandir, Indore.

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

1. चालक की प्रतिरोधकता ताप वृद्धि के साथ बढ़ती जाती है।

2. अर्धचालकों की प्रतिरोधकता ताप बढ़ाने पर कम होती जाती है।
3. बाह्य-दो शलाकाओं के मध्य धारा प्रवाहित की जाती है तथा अन्त: दो शलाकाओं के मध्य विभवान्तर ज्ञात किया जाता है।

4.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral questions and answers)

1. प्रतिरोधकता की परिभाषा दीजिए।

उत्तर: किसी इकाई लम्बाई व एकांक अनुप्रस्थ काट क्षेत्र के पदार्थ के टुकड़े का प्रतिरोध आंकिक रूप से उसकी प्रतिरोधकता के बराबर होता है।

2. प्रतिरोधकता मापन का क्या सिद्धान्त हैं?

उत्तर: किसी पदार्थ के टुकड़े में I धारा प्रवाहित कराने पर उसके सिरों के मध्य विभवान्तर यदि V हो तो V व I का अनुपात उसकी प्रतिरोधकता के समानुपाती होता है।

3. कुचालक, अर्धचालक व चालक की प्रतिरोधकता पर ताप का क्या प्रभाव पड़ता है?

उत्तर: कुचालक की प्रतिरोधकता पर ताप का कोई प्रभाव प्रेक्षित नहीं होता है जबकि अर्धचालक की प्रतिरोधकता ताप बढ़ाने पर कम व चालक की प्रतिरोधकता ताप बढ़ाने के साथ बढ़ती है।

4. प्रतिरोध मापन की सामान्य विधि अर्धचालकों के लिये उपयुक्त क्यों नही है?

उत्तर: चालक-अर्धचालक संबंधन दिष्टकारी होता है तथा इनमें चालक तार के सम्बन्ध के स्थान (contact point) पर पर्याप्त सम्पर्क विभव (contact potential) उत्पन्न हो जाता है जोकि विभवान्तर के प्रायोगिक मान में त्रुटि प्रदान करता है।

5. चतुर्शलाका विधि अन्य विधियों से क्यों अच्छी मानी जाती है।

उत्तर: चतुर्शलाका विधि में चूँकि दो पृथक-पृथक शलाकाओं के बीच धारा प्रवाहित करके दो अन्य शलाकाओं (जिनमें वास्तविक रूप से धारा प्रवाहित हो रही है) के बीच विभवान्तर ज्ञात किया जाता है, अत: संबंधन के कारण विभवान्तर में दो-शलाका विधि की तुलना में कोई त्रुटि नहीं होती है।

प्रयोग 5

गाइगर - मूलर गणित्र के अभिलाक्षणिक वक्रों का अध्ययन कर समान प्रबलता के रेडियोएक्टिव स्त्रोतों के लिए व्युत्क्रम वर्ग नियम का सत्यापन

(To study characteristic curves of Geiger-Muller counter and to verify the inverse square law for radio active sources having same intensity)

प्रयोग की रूपरेखा

5.0 उद्देश्य
5.1 प्रस्तावना
5.2 आवश्यक उपकरण
5.3 सिद्धान्त
5.4 चित्र
5.5 विधि
5.6 प्रेक्षण
5.7 गणना व परिणाम
5.8 पूर्वावधान व त्रुटियों के स्त्रोत
5.9 सारांश
5.10 शब्दावली
5.11 संदर्भ ग्रंथ
5.12 बोध प्रश्नों के उत्तर
5.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

5.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के बाद आप-

- गणित्र की कार्यकारी वोल्टता ज्ञात कर सकेंगे;
- रेडियोएक्टिव पदार्थों के क्षय का अध्ययन कर सकेंगे;
- विभिन्न स्रोतों का तुलनात्मक अध्ययन कर सकेंगे।

5.1 प्रस्तावना (Introduction)

नाभिकीय अभिक्रियाओं में भिन्न-भिन्न प्रकार के नाभिक कण व विकिरण उत्सर्जित होते हैं, जैसे रेडियोएक्टिव पदार्थों से α, β हैं γ किरणों का उत्सर्जन, नाभिकों के मध्य टक्कर से प्रोटॉन, न्यूटॉन आदि कणों का उत्सर्जन आदि। प्रायोगिक नाभिकीय भौतिकी मुख्यत: नाभिकीय अभिक्रियाओं तथा क्षय क्रियाओं से उत्पन्न कणों तथा विकिरणों की क्रमश: पहचान व ऊर्जा मापन पर आधारित होती हैं। इन कणों के मात्रात्मक तथा गुणों के अध्ययन के लिए इनका संसूचन (detection) होना आवश्यक होता है। कणों के संसूचन के लिए विभिन्न प्रकार के उपकरणों (या यन्त्रों) का उपयोग किया जाता है, जिन्हें संसूचक (Detector) कहते है। संसूचन की सभी विधियाँ नाभिकीय कणों या विकिरणों के संसूचक के पदार्थ के साथ अन्योन्य क्रिया पर निर्भर करती हैं। जब कोई आवेशित कण संसूचक से भरे पदार्थ में गति करता है तो वह पदार्थ के अणुओं को उत्तेजित या आयनित करता है। आवेशित कणों के संसूचन तथा उनकी ऊर्जा मापन के लिए इसी तथ्य को प्रयुक्त किया जाता है।

इस प्रयोग में हम संसूचक, गीगर-मूलर गणित्र के अभिलाक्षणिक वक्रों का अध्ययन करेंगे। तत्पश्चात् रेडियोएक्टिव विकिरणों के लिए व्युत्क्रम वर्ग नियम को भी सत्यापित करेंगे। प्रयोग के मुख्य उद्देश्य के साथ-साथ आप अन्य महत्वपूर्ण जानकारी भी प्राप्त कर सकते हैं। इनको अनुच्छेद 5.1 में सूचीबद्ध किया गया है। अनुच्छेद 5.2 में प्रयोग के लिए आवश्यक उपकरणों की सूची दी गयी है। प्रयोग से सम्बन्धित भौतिक सिद्धान्त की विवेचना अनुच्छेद 5.3 में की गयी है। गाइगर -मूलर गणित्र का चित्र बनावट तथा प्रयोग करने की बिन्दुवार विधि क्रमश: अनुच्छेद 5.4 तथा 5.5 में दिये गये हैं। अनुच्छेद 5.6 में प्रयोग से प्राप्त प्रेक्षणों को नोट करने के लिए प्रेक्षण सारणी दी गयी है। गणना की आवश्यक जानकारी अनुच्छेद 5.7 में दी गयी है। इसी अनुच्छेद में प्रयोग से प्राप्त परिणाम का भी उल्लेख किया गया है। प्रयोग करने के दौरान ध्यान में रखी जाने वाली तथा काम में ली जाने वाली सावधानियों व त्रुटियों के स्त्रोतों को अनुच्छेद 5.8 में दिया गया है। अनुच्छेद 5.9 में प्रयोग का सारांश दिया गया है। प्रयोग से सम्बन्धित महत्वपूर्ण शब्दावली तथा संदर्भ ग्रन्थ क्रमश: अनुच्छेद 5.10 तथा 5.11 में दिये गये हैं। बोध प्रश्नों के उत्तर अनुच्छेद 5.12 में दिये गये हैं। अन्त में अनुच्छेद 5.13 में मौखिक प्रश्न तथा उनके उत्तर दिये गये हैं।

5.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

गाइगर मूलर गणित्र, रेडियोएक्टिव पदार्थ, समय मापक युक्त वोल्टता स्रोत, सीसे का पात्र, स्रोत रखने के लिए होल्डर आदि।

उपकरण के विषय में साधारण जानकारी

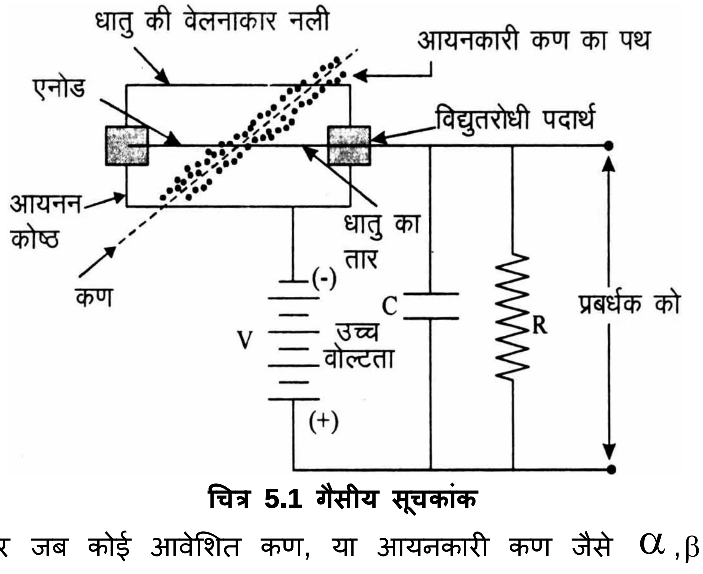
गाइगर-मूलर गणित्र में एक बेलनाकार नली होती है, जिसका व्यास लगभग 3 से 4 सेमी तथा लम्बाई 8 से 9 सेमी. तक होती है। इस नली के अक्ष के अनुदिश एक महीन धात्विक तार (जैसे प्लेटिनम या टंगस्टन) लगाते हैं, जो कि ऐनोड का कार्य करता है। ऐनोड के एक सिरे को बेलनाकार नली की दीवार से जोड़ देते हैं तथा दूसरे सिरे पर एक छोटा कांच की

मोती (glass bead) व्यवस्थित करते हैं, जिससे तार के तीक्ष्ण किनारे से विसर्जन रोका जा सके। नली को एक सिरे को (जहाँ से ऐनोड जुड़ा हुआ है) काँच की पट्टिका तथा दूसरे सिरे (काँच के मोती वाले सिरे की ओर) के अभ्रक की पन्नी (mica foil) से बंद कर दिया जाता है। अभ्रक की पन्नी की मोटाई लगभग 1 से 8 mg/cm^2 तक होती है। इसी द्वारक से आयनकारी कण या विकिरण नली में प्रवेश करते हैं। धातु की नली कैथोड का कार्य करती है। नली में 2 से 10cm पारे के दाब पर 90% आर्गन गैस तथा 10% शमनकारी (quenching agent) के रूप में ईथाइल एल्कोहल (ethyl alcohol) भरी जाती है। ऐनोड को कैथोड के सापेक्ष गाइगर क्षेत्र के संगत उच्च विभव दिया जाता है। आयनकारी कण द्वारक द्वारा नलिका में प्रवेश करता है व नलिका में उपस्थित गैस को आयनित करता है, जिससे उत्पन्न आयनों में से धन आयनों को कैथोड व इलेक्ट्रॉनों को ऐनोड एकत्रित करता है। परिणामस्वरूप, उत्पन्न धारा, प्रतिरोध 'R' के सिरों के मध्य वोल्टता स्पंद (विभवान्तर) उत्पन्न कर देती है। इस वोल्टता स्पंद को प्रवर्धित (amplified) कर इलेक्ट्रॉनिक गणित्र द्वारा मापन कर लेते हैं। सम्पूर्ण नली को सीसे (lead) की दीवारों के मध्य रखा जाता है।

5.3 सिद्धान्त (Theory)

गैसीय संसूचक, गैसों में आयनन तथा स्थिर वैद्युत क्षेत्रों के द्वारा आयनन से उत्पन्न आयनों को अलग करने तथा उन्हें संग्रहित करने के सिद्धान्त पर आधारित होते हैं।

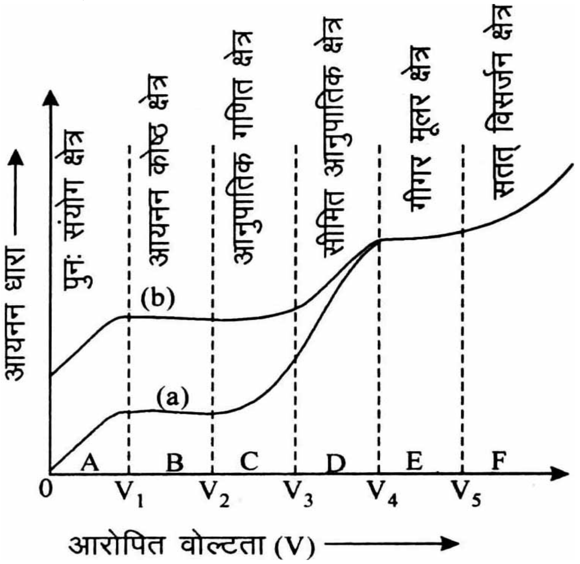
(A) इन संसूचकों मे से गाइगर मूलर संसूचक एक आयनन कोष्ठ (ionization chamber) होता है, यह कोष्ठ एक बेलनाकार धात्विक नली का बना होता है। इसके अक्ष के अनुदिश एक महीन धात्विक तार (या electrode) लगा हुआ होता है, जो कि बेलनाकार नली से विद्युत रोधित (electrically insulated) होता है। आयनन कक्ष का महीन तार एनोड तथा नली कैथोड का कार्य करती हैं।



चित्र 5.1 गैसीय सूचकांक

चित्रनुसार जब कोई आवेशित कण, या आयनकारी कण जैसे α, β, γ किरणें, X-किरण फोटोन आदि आयनन कोष्ठ में से गुजरती हैं तो ये नली में भरी गैस का आयनीकरण

(ionisation) कर देती है। आयनीकरण के फलस्वरूप नली में इलेक्ट्रॉन व धन आयन उत्पन्न होते हैं। नली में गैस के आयनन से उत्पन्न इलेक्ट्रॉन ऐनोड की ओर तथा धन आयन कैथोड की ओर गति करते हैं। इससे आयनन कोष्ठ में आयनन धारा प्रवाहित होती है, जो प्रतिरोध (R) में से गुजरने पर विभवान्तर उत्पन्न करती है। इस विभवान्तर का मान आरोपित विभव तथा आयनकारी कण द्वारा उत्पन्न आयनों की संख्या पर निर्भर करता है। किसी दिये गये विभव V पर मध्य में रखे ऐनोड पर कुछ इलेक्ट्रॉन पहुँचते हैं। जैसे-जैसे आरोपित विभव V का मान परिवर्तित होता है, ऐनोड पर पहुँचने वाले इलेक्ट्रॉन की संख्या में भी परिवर्तन होता है। इस परिवर्तन को एक ग्राफ द्वारा प्रदर्शित किया जाता है।



चित्र 5.2 बेलनकार जयमिती वाले सूचकांक में केन्द्रीय इलेक्ट्रोड पर पाहुचने वाले इलेक्ट्रोनों की संख्या की डसर और आरोपित वोल्टता (V) के बीच वक्र (a) कम ऊर्जा वाले तथा वक्र (b) अधिक ऊर्जा वाले आयनकार कण के व्यवहार को प्रदर्शित करते हैं।

चित्र 5.2 में प्रदर्शित किये गये ग्राफ को मुख्य रूप से छः क्षेत्रों में विभाजित किया जा सकता है-

(A) पुनर्योजन क्षेत्र (recombination region), (B) आयनन कोष्ठ क्षेत्र (ionisation chamber region), (C) आनुपातिक क्षेत्र (proportional region), (D) सीमित आनुपातिक क्षेत्र (limited proportionality region), (E) गाइगर मूलर क्षेत्र (Geiger Muller region) तथा (F) अविरत विसर्जन क्षेत्र (continuous discharge region)

इन क्षेत्रों में से हम गाइगर-मूलर क्षेत्र का अध्ययन करेंगे।

गाइगर-मूलर गणित्र क्षेत्र (Geiger Muller region)$(V_4 < V < V_5)$ **-**

आरोपित विभव V में वृद्धि $(V > V_4)$, करने पर आयनन धारा बहुत अधिक हो जाती है तथा इसका मान, इसको उत्पन्न करने वाले प्राथमिक आयनन के मान पर निर्भर नहीं करता है। इस क्षेत्र को गाइगर क्षेत्र तथा इसमे कार्य करने वाले संसूचक को गाइगर-मूलर गणित्र

(Geiger Muller region) कहते हैं। इस क्षेत्र (V_4 व V_5 के मध्य) में बहुत कम ऊर्जा के आयनकारक कण के द्‌वारा भी बहुत अधिक प्रभाव उत्पन्न होता है।

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

1. गैसीय ससूंचक के नाम लिखिये।

_ _

_ _ _ _ __ _

2. इलेक्ट्रॉन किस ओर गति करते है?

_ _

_ _ _ _ _ _ _ __ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _

3. प्रतिरोध पर विभवान्तर किस पर निर्भर करता है?

_ _

__ _

4. आयनन कोष्ठ में कौनसी गैस भरी जाती है?

_ _

_ _

5. विभिन्न आरोपित वोल्टता वाले क्षेत्रों के नाम लिखें।

_ _

_ _

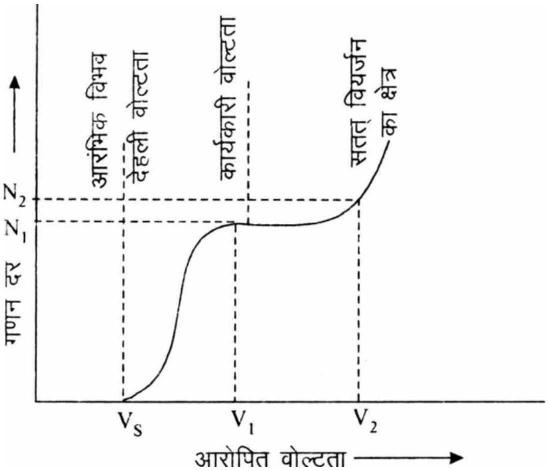
5.3 गाइगर मूलर गणित का सिद्धान्त (Theory of Geiger Muller counter)

जब गणित्र (counter) का गाइगर क्षेत्र में संचालन होता है तो जैसे ही कोई आयनकारक कण आयनन कक्ष में से गुजरता है तो नली में तार की पूरी लम्बाई के अनुदिश आयनन उत्पन्न होता है। आयनन से उत्पन्न इलेक्ट्रॉन, एनोड की ओर तथा धन आयन ऋण आवेशित कैथोड की ओर गति करते हैं। इलेक्ट्रॉन हल्के होने के कारण बहुत कम समय (10^{-6} सेकण्ड) में ऐनोड पर पहुँच कर प्रतिरोध 'R' के सिरों पर वोल्टता स्पन्द उत्पन्न करते हैं।

ये इलेक्ट्रॉन गैस के परमाणुओं से टकराकर द्‌वितीयक इलेक्ट्रॉन उत्पन्न करते हैं। यह गुणन प्रक्रिया बहुत तेजी से होती है व इससे वह एवेलांश घटना सम्पूर्ण ऐनोड के अनुदिश फैल जाती है, इस प्रकार आयनन कोष्ठ में बड़ी स्पंद धारा उत्पन्न होती है।

5.3.1 अभिलाक्षणिक वक्र (Characteristic curve)

गणित्र द्‌वारा आयनकारक कणों की गणन दर (count rate) व प्रयुक्त वोल्टता के मध्य खीचें गये अभिलाक्षणिक वक्र को चित्र 5.3 में प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 5.3 जी.एम.गणित्र के लिए अभिलक्षण वक्र

प्रारम्भ में कुछ वोल्टता तक कोई गणना दर प्राप्त नहीं होती है। फिर वोल्टता बढ़ने पर गणना दर धीरे- धीरे बढ़ती है। गणित्र के लिए एक न्यूनतम वोल्टता, जिसे देहली वोल्टता (threshold voltage) कहते हैं, से कम वोल्टता आरोपित करने पर इसका प्रचालन नहीं हो पाता है। यह मान गणित्र के प्रकार, तथा उसके उद्देश्य पर निर्भर करता है। जब वोल्टता का मान अधिक हो जाता है तो गणन दर अचानक तीव्रता से बढ़ती है व एक विशिष्ट मान के पश्चात् गणना दर लगभग नियत हो जाती है। इस परास को प्लेटो क्षेत्र (Plateau region/ पठार क्षेत्र) कहते हैं। यदि आरोपित वोल्टता का मान और अधिक बढ़ाते जायें तो सतत् विसर्जन होने लगता है। इस कारण सामान्यत: गाइगर-मूलर गणित्र में वोल्टता का प्लेटो प्रभाग वहाँ तक ही लिया जाता है, जहाँ तक प्लेटो वक्र का ढाल,

$$= \frac{N_2 - N_1}{N_{aV}} \times \frac{100}{V_2 - V_1} \times 100 \qquad ...(5.1)$$

(यहाँ N_1 व N_2 तथा V_1 व V_2, वक्र में प्रदर्शित किये गये हैं। $N_{aV} = \frac{N_1 - N_2}{2}$ हैं।)

= 5 प्रतिशत प्रति 100 वोल्ट से अधिक न हो। गणित्र का उपयोग करने के लिए प्रचालन वोल्टता (operating voltage), पठार क्षेत्र के मध्य बिन्दु पर लेते हैं। प्राय: प्रयोग में पठार पूर्ण रूप से क्षैतिज नहीं होता बल्कि आंशिक ढलान आ जाता है

5.3.2 व्युत्क्रम का नियम (Inverse square law)

अधिकांश रेडियोएक्टिव स्त्रोत समदैशिक प्रकृति (isotropic nature) के होते हैं अर्थात ये सभी दिशाओं में समान रूप से विकिरण उत्सर्जित करते हैं। समदैशिक स्रोतों की तीव्रता, स्त्रोत व गणित्र के मध्य दूरी "D" के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होती हैं। समदैशिक उत्सर्जन के लिए, किसी भी बिन्दु पर तीव्रता (I) निम्न प्रकार से दी जाती है -

$$I = \frac{I(0)}{4\pi D^2} \qquad ...(5.2)$$

जहाँ D, स्रोत व गणित्र की प्रवेशिका के मध्य दूरी है व $I(0)$, प्रेक्षित तीव्रता है। लघुगणक लेने पर

$$\log I = \log\frac{I(0)}{4\pi} - 2\log D \qquad ...(5.3)$$

समी. (5.3) से $\log I$ व $\log D$ मे वक्र खीचने पर एक सीधी रेखा ($y=mx+c$) प्राप्त होती हैं, जिसका ढाल (slope) "-2” है। यह समीकरण व्युत्क्रम वर्ग के नियम को प्रदर्शित करता है।

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

6. वह क्षेत्र, जहाँ गणन दर नियत रहती है, क्या कहलाता है?

_ _

_ _

7. प्रचालन वोल्टता के लिए पठार क्षेत्र का कौन सा बिन्दु लेता है?

_ _

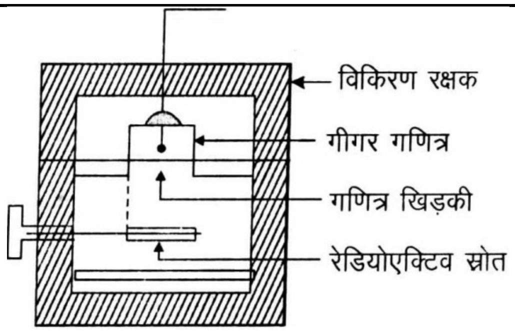
_ _

8.. गणन दर, स्त्रोत की गणित्र से दूरी पर किस प्रकार निर्भर करती है?

_ _

_ _

5.4 चित्र (Diagram)



गीगर-मूलक गणित्र की व्यवस्था

5.5 विधि (Method)

(i) गाइगर-मूलर गणित्र व रेडियो एक्टिव स्रोत को इस प्रकार व्यवस्थित करें कि उनके मध्य दूरी 1 या 2 सेमी. हो।

(ii) वोल्टता का मान शून्य रखकर, धीरे-धीरे उसे परिवर्तित करें, जब तक गणना प्रारम्भ नहीं हो जाये। वोल्टता को लगभग 10 वोल्ट के क्रम में परिवर्तित करें।

(iii) प्रत्येक वोल्टता पर 60 सेकण्ड (या 100 सेकण्ड) समय के लिए गणना ज्ञात करें। प्रत्येक वोल्टता मान पर उपरोक्त विधि दोहरा कर गणना ज्ञात कर, माध्य गणना ज्ञात करें।

(iv) विधि बिन्दु (iii) तब तक दोहराये, जब तक सतत् विसर्जन प्रारम्भ नहीं जो जाये।

(v) अब स्रोत को हटाकर, पृष्ठभूमि गणना (स्रोत के बिना गणना) का मान, प्रत्येक वोल्टता मान के लिए ज्ञात करें।

(vi) विधि बिन्दु (iii) से प्राप्त प्रत्येक वोल्टता मान के लिए माध्य गणना में से पृष्ठभूमि गणना घटाकर शुद्ध गणनांक (corrected counts) सारिणी में (A-B) ज्ञात कर, गणना दर (प्रति सेकण्ड गणना) ज्ञात करें।

(vii) वोल्टता मान व गणन दर के मध्य वक्र खींचकर, अभिलाक्षणिक वक्र से पठार क्षेत्र का मध्य बिन्दु समी (5.1) की सहायता से ज्ञात करें।

(viii) उपरोक्त विधि ((i) से (vii)) को अन्य स्त्रोत के लिये दोहरायें।

(ix) गणित की प्रचालन वोल्टता ज्ञात करने के पश्चात्, गणित को प्रचालन वोल्टता पर नियत करें।

(x) स्रोत व गणित के मध्य दूरी परिवर्तित करके (स्रोत की स्थिति में परिवर्तित कर), 60 सेकण्ड के लिए गणन दर ज्ञात करें।

(xi) विभिन्न स्त्रोतों के लिए विधि बिन्दु (x) दोहरायें।

(xii) स्रोत व गणित के मध्य दूरी के वर्ग के व्युत्क्रम तथा गणन दर के मध्य वक्र खीचें। यह एक सरल रेखा होती है।

5.6 प्रेक्षण (Observations)

(1) अभिलाक्षणिक वक्र के लिए स्त्रोत:-

क्रम सं.	प्रयुक्त वोल्टता (Volts)	प्रति 60 सेकण्ड में गणना की संख्या				पृष्ठभूमि गणना)B(	शुद्ध गणनांक) A-B(
		I	II	III	माध्य(A)		
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							

10.							

(2) व्युत्क्रम वर्ग नियम सिद्ध करना-

प्रयुक्त कार्य वोल्टता :___________ वोल्ट

क्रम सं.	स्रोत व नलिका के मध्य दूरी D(सेमी.)	प्रति 60 सेकण्ड में गणना दर				$\left(\frac{1}{D^2}\right)cm^{-2}$
		I	II	III	माध्य	
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						

5.7 गणना व परिणाम (Calculations of result)

गणना

(i) अभिलाक्षणिक वक्र खींच कर (वोल्टता तथा गणन दर के मध्य वक्र) पठार क्षेत्र में दो वोल्टताओं V_1 व V_2 से सम्बन्धित गणना दर N_1 व N_2 ज्ञात करे तथा पठार क्षेत्र के ढाल (slope) का मान समी. (5.1) से ज्ञात करे।

V_1 =_________ वोल्ट (पठार क्षेत्र प्रारम्भ होने की वोल्टता)

V_2 =_________ वोल्ट (विसर्जन क्षेत्र प्रारम्भ होने के ठीक पहले वोल्टता)

N_1 =_________ गणन/से. (V_1 के संगत गणना दर)

N_2 =_________ गणन/से. (V_2 के संगत गणन दर)

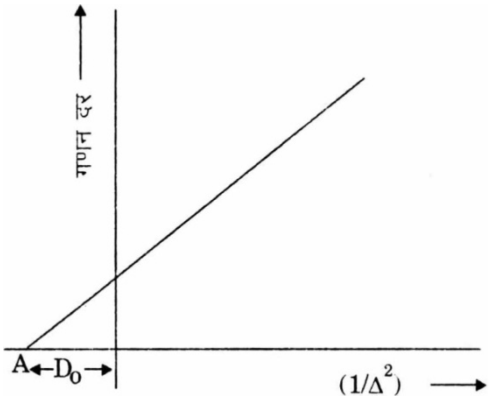
$$N_{aV} = \frac{N_1 + N_2}{2}$$

समी. (5.1) से ढाल-

$$= \frac{N_1 - N_2}{V_2 - V_1} \times \frac{100}{N_{aV}} \% \text{ प्रति वोल्ट}$$

यदि ढाल का मान 5% से कम आता है तो V_1 व V_2 का मध्य बिन्दु अर्थात $\frac{V_1+V_2}{2}$, का मान प्रचालन वोल्टता (Operating Voltage) होता है।

(ii) गणन दर तथा $1/D^2$ के मध्य वक्र खीचें यदि प्राप्त सरल रेखा को पीछे की ओर बढ़ाये तो यह रेखा, दूरी (D) के अक्ष को मूल बिन्दु से कुछ पीछे बिन्दु A पर काटती है।



ऐसा इसलिए होता है क्योंकि वास्तव में स्त्रोत व गणित के मध्य दूरी D न होकर $D+D_0$ होती है।

परिणाम-

(i) वक्र द्वारा गाइगर मूलर गणित की कार्यकारी वोल्टता =__________ वोल्ट प्राप्त हुई।

(ii) विभिन्न स्रोतों के लिए भी कार्यकारी वोल्टता का लगभग यही मान प्राप्त होता है।

(iii) गणन दर तथा $1/D^2$ के मध्य वक्र खीचने पर एक सरल रेखा प्राप्त होती है, जो व्युत्क्रम वर्ग नियम को सत्यापित करती है।

5.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्त्रोत (Precautions and sources of error)

पूर्वावधान -

(i) रेडियोएक्टिव स्रोत को उंगलियों से छूना नहीं चाहिए।

(ii) गणित को सीसे की दीवारों के मध्य रखना चाहिए, जिससे स्रोत से निकलने वाले हानिकारक विकिरण, वहीं दीवारों द्वारा अवशोषित हो जाये।

(iii) स्रोत को प्रयोग में लाने के बाद अलग स्थान पर रख देना चाहिए क्योंकि ये स्वत: विकिरण उत्सर्जित करते है।

(iv) प्रयोग में वोल्टता का मान पर्याप्त उच्च होता है अत: किसी तरह से टर्मिनल को नहीं छूना चाहिए।

(v) प्रयोग करते समय वोल्टता का मान इतना ही बढ़ाना चाहिए कि वक्र गाइगर क्षेत्र से अधिक विसर्जन क्षेत्र में नहीं जाये।

(vi) नली की कार्यकारी वोल्टता ज्ञात करके अन्य अध्ययनों के लिए उसी वोल्टता पर प्रयोग करना चाहिए।

त्रुटियों के स्त्रोत -

(i) स्रोत का सही तरह से रखा नहीं होना।

(ii) पठार क्षेत्र के ढाल का मान 5% से अधिक होना।

(iii) पृष्ठभूमि गणन नहीं ज्ञात करना।

5.9 सारांश (Summary)

- गाइगर मूलर गणित, आयनकारी कण द्वारा गैसों मे आयनन तथा स्थिर वैद्युत क्षेत्रों के द्वारा आयनन से उत्पन्न आयनों को अलग करने व उन्हें संग्रहीत करने के सिद्धान्त पर आधारित है।
- विभिन्न आरोपित वोल्टताओं पर आयनन कक्ष का व्यवहार भिन्न-भिन्न होता है इसमें से एक क्षेत्र में धारा का मान प्राथमिक आयनन पर निर्भर नहीं करता है। गाइगर मूलर गणित इसी क्षेत्र में कार्य करता है।
- गणित द्वारा आयनकारी कणों की गणन दर व आरोपित वोल्टता के मध्य वक्र को गणित का अभिलाक्षणिक वक्र कहते हैं। अभिलाक्षणिक वक्र में पठार क्षेत्र होता है। जिसका मध्य बिन्दु गणित का कार्यकारी वोल्टता प्रचालन वोल्टता होती है।
- गणन दर व $1/D^2$ के मध्य वक्र खीचनें पर एक सरल रेखा प्राप्त होती है, जो व्युत्क्रम वर्ग नियम को सत्यापित करती है।

5.10 शब्दावली (Glossary)

अभिलेखन	Trace
अभिलाक्षणिक वक्र	Characteristic curve
अवधावों	Avalanche
अविरत्	Continous
आयनन	Ionisation
आयनन कोष्ठ	Ionisation chamber
आरोपित विभव	Applied voltage
उदासीन	Neutral
ऋण आयन	Negative ion
कार्यकारी वोल्टता	Operating voltage
गणन दर	Count rate
गणित	Counter
गैस गुणन	Gas multiplication

ढाल	Slope
तीव्रता	Intensity
धन आयन	Positive ion
देहली वोल्टता	Threshold voltage
द्वितीयक आयनन	Secondary ionisation
नाभिकीय कण	Nuclear particle
पठार क्षेत्र	Plateau region
प्राथमिन आयनन	Primary ionisation
प्रचालन वोल्टता	Operating voltage
बेलनाकार नली	Cylinderical tube
विद्युतरोधी	Electrically insulated
विश्रांति काल	Dead time
विकिरण	Radiation
व्युत्क्रम वर्ग नियम	Inverse square law
विसर्जन	Discharge
समदैशिक	Isotropic
समानुपाती	Proportional
संसूचक	Detector
संसूचन	Detection
शमन	Quenching
शमनकारक	Quenching agent
हीनग्राही	Insensitive

5.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference Books)

प्रभा दशोरा, दीपक भटनागर एवं के.बी.शर्मा	प्रायोगिक भौतिकी तृतीय वर्ष	रमेश बुक डिपो, जयपुर
सरदार सिंह एवं एस.एस.रावत	नाभिकीय भौतिकी	कालेज बुक हाऊस, जयपुर
D.C.Tayal	Nuclear Physics	Himalaya PublishingHouse

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

1. आयनन कोष्ठ, आनुपातिक गणित व गाइगर मूलर गणित।

2. इलेक्ट्रॉन, कोष्ठ के मध्य में स्थित महीन तार, ऐनोड की ओर गति करते हैं।

3. प्रतिरोध पर विभवान्तर, आरोपित विभव व आयनकारी कण द्वारा उत्पन्न आयनों की संख्या पर निर्भर करता है।

4. आयनन कोष्ठ में निष्क्रिय गैस (He, Ar) भरी जाती है।

5. पुनर्योजन क्षेत्र, आयनन कोष्ठ क्षेत्र, आनुपातिक क्षेत्र, सीमित आनुपातिक क्षेत्र, गाइगर मूलर क्षेत्र, अविरत विसर्जन क्षेत्र।

6. वह क्षेत्र, जहाँ गणन दर नियत रहती है, पठार क्षेत्र कहलाता है।

7. प्रचालन वोल्टता के लिए पठार क्षेत्र का मध्य बिन्दु काम में लेते हैं।

8. गुणन दर, स्त्रोत की गणित से दूरी दै वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होती है।

5.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर) Oral questions and answers(

1. रेडियो एक्टिव पदार्थ किसे कहते हैं?

उत्तर : कुछ पदार्थो में स्वत: विघटन का गुण होता है, ये पदार्थ रेडियो एक्टिव पदार्थ कहलाते हैं।

2. रेडियो एक्टिव ता की ईकाई क्या होती है?

उत्तर : रेडियो एक्टिवता की इकाई 'क्यूरी" तथा "रदरफोर्ड" होती है।

1 क्यूरी = 3.7×10^{4} रदरफोर्ड

1 रदरफोर्ड = 10^{6} विघटन/सेकण्ड

3. β - कणों का नाभिक के अंदर क्या स्त्रोत होता है?

उत्तर : β - कणों का उत्सर्जन, न्यूट्रॉनों का प्रोटीनों में या प्रोट्रॉनों का न्यूट्रॉनों में रूपातंरण होने के कारण होता है।

4. विकिरण संसूचको का मौलिक सिद्धान्त क्या है?

उत्तर : ये संसूचक, आयनकारी कण द्वारा गैसों में आयनन तथा स्थिर वैद्युत क्षेत्रो के द्वारा आयनन से उत्पन्न आयनों को अलग करने व उन्हे संग्रहित करने के सिद्धान्त पर आधारित है।

5. गाइगर मूलर क्षेत्र की क्या विशेषता है?

उत्तर : इस क्षेत्र में आयनन धारा का मान, प्राथमिक आयनन के मान पर निर्भर नहीं करता है तथा बहुत कम ऊर्जा के आयनकारक कण के द्वारा भी बहुत अधिक प्रभाव उत्पन्न होता है।

6. गणित की दक्षता किसे कहते हैं?

उत्तर : प्रति सेकण्ड प्रेक्षित गणनों की संख्या (N) तथा प्रति सेकण्ड गणित में प्रवेश करने वाले आयनकारक कणों की संख्या (n) के अनुपात को गणित की दक्षता कहते हैं।

दक्षता $\eta = N/n$

7. पठार क्षेत्र किसे कहते हैं?

उत्तर : अभिलाक्षणिक वक्र का वह भाग, जिसमे प्रयुक्त वोल्टता के बढ़ने पर भी गणन की दर लगभग स्थिर रहती है, नलिका का पठार क्षेत्र कहलाती है।

8. पृष्ठभूमि गणना किसे कहते हैं?

उत्तर : गणित द्वारा, स्रोत की अनुपस्थिति में की गई गणन दर को पृष्ठभूमि गणना कहते हैं।

9. स्त्रोत की सक्रियता से क्या अभिप्राय है?

उत्तर : प्रति इकाई समय में स्रोत में विघटनों की संख्या को स्त्रोत की सक्रियता कहते हैं।

10. शमनकारक में क्या गुण होने चाहिए?

उत्तर : शमनकारक का आयनन विभव, गणित में भरी मुख्य गैस के सापेक्ष कम होना चाहिए। इसका पराबैंगनी अवशोषण बैंड चौड़ा व तीव्र होना चाहिए।

11. गाइगर-मूलर गणित की सुग्राहिता कितनी होती है?

उत्तर : इस गणित की सुग्राहिता बहुत अधिक होती है। इससे एक आयन युग्म का संसूचन भी संभव है।

12. शमन का क्या उपयोग है?

उत्तर : नली में कैथोड पर पहुँचने वाले धन आयनों के द्वारा बारम्बार उत्पन्न होने वाले विसर्जन को रोकने की प्रकिया को शमन कहते हैं।

13. गाइगर-मूलर गणित से किन कणों का संसूचन संभव है?

उत्तर : इसके द्वारा α, β, γ व कास्मिक किरणों का संसूचन संभव है।

14. गणित कुछ समय के लिए हीनग्राही क्यों हो जाता है?

उत्तर : चूंकि धनायन इलेक्ट्रॉनो की अपेक्षा मंद गति से गतिशील होते हैं, अत: ये ऐनोड पर ही रह जाते हैं जिससे विद्युत क्षेत्र में कमी आती है व अंतत: इलेक्ट्रॉन का उत्पादन रूक जाता है, जब तक धनआयन ऐनोड से हट नही जाते, तब तक के लिए गणित हीनग्राही हो जाता हैं।

15. विश्राति काल किसे कहते हैं?

उत्तर : ऐनोड का धनायनों से घिरा होने के कारण, विद्युत क्षेत्र में कमी आती है व इलेक्ट्रॉन का उत्पादन रूक जाता है। जब तक धनायन ऐनोड से हट नहीं जाते, तब तक के लिए गणित हीनग्राही हो जाता है। इस समय कोई आयनकारी कण गणित में प्रवेश करता है तो गणित उसका अभिलेख करने में असमर्थ होता है। यह समय गणित का विश्रांतिकाल कहलाता है।

प्रयोग 6

क्विंक की विधि से किसी अनुचुम्बकीय घोल की चुम्बकीय प्रवृत्ति ज्ञात करना।

(To determine the magnetic susceptibility of given paramagnetic solution by Quincke's method)

प्रयोग की रूपरेखा

6.0 उद्देश्य
6.1 प्रस्तावना
6.2 आवश्यक उपकरण
6.3 सिद्धान्त
6.4 परिपथ चित्र
6.5 विधि
6.6 प्रेक्षण
6.7 गणना व परिणाम
6.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्रोत
6.9 सारांश
6.10 शब्दावली
6.11 संदर्भ ग्रन्थ
6.12 बोध प्रश्नों के उत्तर
6.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

6.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के पश्चात् आप

- पदार्थ के चुम्बकीय गुणों की जानकारी प्राप्त कर सकेंगे;
- पदार्थ के आपेक्षिक घनत्व के बारे में जानकारी प्राप्त कर सकेंगे;
- चुम्बकीय क्षेत्र की उपस्थिति में पदार्थ पर कार्यरत बल ज्ञात कर सकेंगे।

6.1 प्रस्तावना (Introuction)

प्रत्येक द्रव्य पदार्थ (matter) के साथ गतिशील आवेश सम्बन्धित होते हैं। ये गतिशील आवेश चुम्बकीय आघूर्ण (magnetic moment) उत्पन्न करते हैं जो कि द्रव्य पदार्थों की सूक्ष्म व वृहत चुम्बकीय गुणों के लिए जिम्मेदार (responsible) होते हैं। इस प्रयोग में हम पदार्थ के चुम्बकीय गुणों में से एक चुम्बकन प्रवृति का अध्ययन करेंगे।

चुम्बकन की तीव्रता (intensity of magnetization) तथा आरोपित चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता (intensity of magnetic field) के अनुपात को चुम्बकन प्रवृति कहते हैं। हम क्विंक - विधि (Quincke's method) द्वारा दिये गये अनु चुम्बकीय पदार्थ (विलयन) की चुम्बकन प्रवृति तथा विशिष्ट द्रव्यमान प्रवृति का मान ज्ञात करेगें।

प्रयोग के लिए आवश्यक उपकरण अनुच्छेद 6.2 में दिये गये हैं। प्रयोग से सम्बन्धित भौतिक सिद्धान्त का संक्षिप्त विवरण अनुच्छेद 6.3 में दिया गया है। अनुच्छेद 6.4 में प्रयोग के लिए आवश्यक चित्र दिया गया है। प्रयोग करने की बिन्दुवार विधि तथा प्रेक्षण सारणी क्रमश: अनुच्छेद 6.5 तथा 6.6 में दी गयी हैं। गणना की आवश्यक जानकारी अनुच्छेद 6.7 में दी गयी है। इसी अनुच्छेद में प्रयोग से प्राप्त परिणाम का भी उल्लेख किया गया है। प्रयोग करने के दौरान काम में ली जाने वाली सावधानियाँ तथा त्रुटियों के स्रोत की जानकारी अनुच्छेद 6.8 में दी गयी हैं। प्रयोग का सारांश अनुच्छेद 6.9 में दिया गया है। प्रयोग से सम्बन्धित महत्वपूर्ण शब्दावली अनुच्छेद 6.10 तथा संदर्भ ग्रन्थ अनुच्छेद 6.11 में दिये गये हैं। बोध प्रश्नों के उत्तर अनुच्छेद 6.12 में दिये गये हैं। अन्त में प्रयोग से सम्बन्धित महत्वपूर्ण मौखिक प्रश्न तथा उनके उत्तर अनुच्छेद 6.13 में दिये गये हैं।

6.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

उच्च चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करने में सक्षम विद्युत चुम्बक, अमीटर युक्त शक्ति प्रदायक स्रोत (power supply with ammeter), चल सूक्ष्मदर्शी (travelling microscope), U आकार की नली, सर्च कुण्डली युक्त फ्लक्समीटर 100cc का फ्लास्क, भौतिक तुला, बाट बाक्स (weight box), विलयन आदि।

6.3 सिद्धान्त (Theory)

प्रत्येक द्रव्य पदार्थ मे चुम्बकीय गुण निहित होते हैं। जब पदार्थ को बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो चुम्बकन की तीव्रता तथा आरोपित चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता के अनुपात को चुम्बकन प्रवृति (magnetic susceptibility) कहते हैं। इसे 'χ' से निरूपित करते हैं। अत:

$$\chi = \frac{I}{H} \qquad ...(6.1)$$

जहां I, चुम्बकन की तीव्रता है, जो कि एकांक आयतन के चुम्बकीय आघूर्ण के बराबर होती है। H, आरोपित चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता है। 'χ' एक विमाहीन राशि है। लौह चुम्बकीय पदार्थो की चुम्बकन प्रवृति बहुत अधिक होती है।

जब किसी पदार्थ को उच्च परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो पदार्थ इस विषमांगी(inhomogeneous) चुम्बकीय क्षेत्र में चुम्बकीय बल (magnetic force) अनुभव करता है। इस बल को सीधे ही सुग्राही रसायन तुला (sensitive chemical balance) द्वारा मापा जा सकता है।

यदि पदार्थ का एक सिरा तीक्ष्ण चुम्बकीय क्षेत्र (H) तथा दूसरा सिरा चुम्बकीय क्षेत्र से दूर हो (अर्थात् इस सिरे पर चुम्बकीय क्षेत्र का प्रभाव नगण्य हो) तो पदार्थ द्वारा अनुभव किये गये चुम्बकीय बल का मान निम्न होगा-

$$\chi A\int_0^H HdH = \frac{\chi AH^2}{2} \qquad \text{......(6.2)}$$

जहाँ A, पदार्थ के अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल है।

यह बल गुरूत्वीय बल (mg) द्वारा सन्तुलित होता है। यहाँ 'mg', चुम्बकीय क्षेत्र के आरोपित होने पर तुला द्वारा मापे गये भार में परिवर्तन है। अत:

$$mg = \frac{\chi AH^2}{2} \qquad \text{......(6.3)}$$

या $$\chi = \frac{2g}{A}\left(\frac{m}{H^2}\right)$$

इस सिद्धान्त का उपयोग लौह चुम्बकीय व अनु चुम्बकीय पदार्थो (मैगंनीज क्लोराइड, फैरिक क्लोराइड) की चुम्बकन प्रवृति का मान ज्ञात करने में किया जाता है। यदि लौह चुम्बकीय या अनुचुम्बकीय लवण के विलयन (solution) को परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाये तो नली में विलयन का तल ऊंचा हो जाता है। नली में तल के इस प्रकार परिवर्तित होने का उपयोग विलयन की चुम्बकन प्रवृति ज्ञात करने में किया जाता है। बल के कारण, चुम्बकीय क्षेत्र में रखे विलयन के तल में परिवर्तन होता है। यदि अनु चुम्बकीय पदार्थ का विलयन हैं तो द्रव का तल नली में ऊपर की ओर बढ़ जाता है। यदि चुम्बकीय क्षेत्र में रखी हुई नली में द्रव के तल में "h" ऊँचाई का परिवर्तन होता है तो h लम्बाई के इस स्तम्भ के दाब का मान निम्न होगा-

$$= h\rho g$$

जहाँ ρ, द्रव का आपेक्षिक घनत्व (relative density) है।

चूंकि नली में द्रव के ऊपर स्वतन्त्र सिरे पर वायु होती है अत: वायु के दाब ($h\rho_a g$) को द्रव के दाब में से घटाकर, परिणामी दाब (या संशोधित दाब) निम्न होगा-

$$h\rho g - h\rho_a g = h(\rho - \rho_a)g$$

जहाँ ρ_a : वायु का आपेक्षिक घनत्व है।

अत: नली में परिणामी दाब $= h(\rho - \rho_a)g$

इस दाब के संगत द्रव पर कार्यरत बल, परिणामी दाब तथा नली के अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल के गुणनफल के बराबर होगा अर्थात्-

बल = नली में परिणामी दाब $\times A$

जहाँ A, नली के अनुप्रस्थ काट का क्षेत्रफल है।

$\therefore$ बल $= h(\rho - \rho_a) g \times A$

नली में द्रव की साम्य अवस्था में -

चुम्बकीय बल $= h(\rho - \rho_a) gA$

$$\frac{\chi A H^2}{2} = h(\rho - \rho_a) gA$$

या $$\chi = 2(\rho - \rho_a) g \left(\frac{h}{H^2}\right) \qquad ...(6.5)$$

$\because$ ρ_a का मान NTP पर 0.001293 होता है अतः द्रव के घनत्व (ρ) की तुलना में इसे नगण्य माना जा सकता है।

$\therefore$ $$\chi = 2\rho g \left(\frac{h}{H^2}\right) \qquad ...(6.6)$$

समीकरण (6.6) क्विंक विधि से विलयन की चुम्बकन प्रवृति ज्ञात करने का आधार है। इसकी सहायता से पदार्थ की चुम्बकन प्रवृति (χ) का मान ज्ञात किया जाता है। अत: विशिष्ट द्रव्यमान प्रवृत्ति -

$$\chi_s = \frac{\chi}{\rho}$$

$$\chi_s = 2g \left(\frac{h}{H^2}\right) \qquad ...(6.7)$$

जहाँ χ_s; विशिष्ट द्रव्यमान प्रवृति हैं। इसका मान किसी विशेष पदार्थ के लिए निश्चित होता है। सी.जी.एस. पद्धति (C.G.S.) में इसका मात्रक emu/ ग्रा. होता है।

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

1. चुम्बकीय प्रवृति किसे कहते हैं?

_ _

_ _

2. चुम्बकन की तीव्रता क्या होती है?

_ _

_ _

3. लौह चुम्बकीय पदार्थो की चुम्बकन प्रवृति कितनी होती है?

_ _

_ _

4. चुम्बकीय क्षेत्र की उपस्थिति में द्रव पर कार्यरत बल किन कारकों पर निर्भर करता है?

_ _

_ _

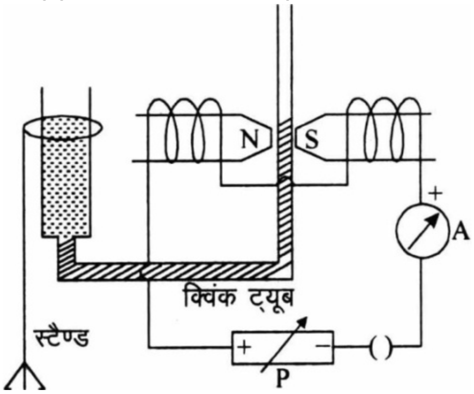
5. विशिष्ट द्रव्यमान प्रवृति क्या होती है?

_ _

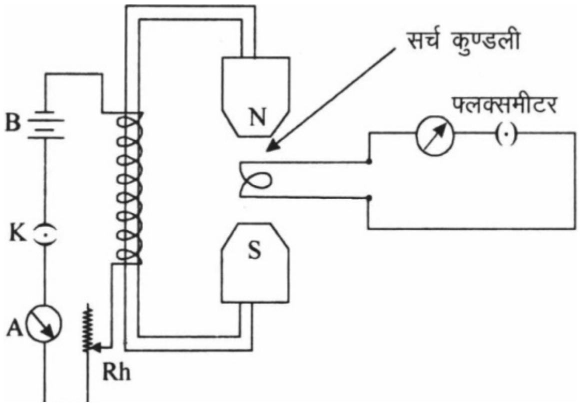
_ _

6.4 चित्र (Diagram)

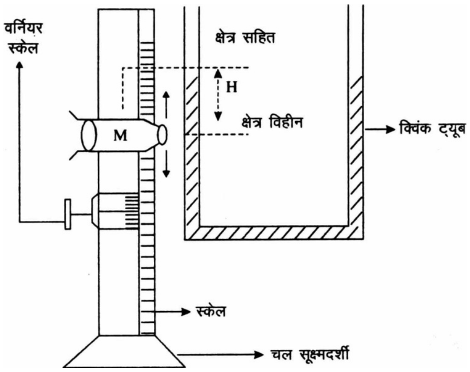
क्विंक नली द्वारा अनुचुम्बकीय पदार्थ की चुम्बकीय प्रवृति ज्ञात करने का प्रारूप चित्र



चित्र 6.1



चित्र 6.2



चित्र 6.3

उपरोक्त चित्र में क्विंक विधि का प्रायोगिक समायोजन प्रदर्शित किया गया है।

क्विंक नली (Quinke's tube) एक U- आकार की नली होती है जिसमें एक भुजा चौड़ी तथा दूसरी भुजा केशिका नली (capillary tube) की तरह होती है। संकरी भुजा को विद्युत चुम्बकों के मध्य सममित: (symmetrically) रखते हैं तथा नली को रिटोर्ट स्टैण्ड (retort stand) पर लगा देते हैं। नली में प्रयोगिक द्रव भरते हैं, जिससे द्रव तीक्ष्ण चुम्बकीय क्षेत्र में रहे। चुम्बकीय क्षेत्र, शक्ति प्रदायक स्त्रोत द्वारा धारा प्रवाहित कर उत्पन्न करते हैं।

6.5 विधि (Method)

(i) प्रयोग के प्रारम्भ में फ्लक्समीटर (जिससे चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता का मापन करते हैं) को अंशांकित करें। इसके लिए फ्लक्स मीटर से जुड़ी हुई अन्वेषी कुण्डली (Search Coil) को चुम्बकीय ध्रुवों के मध्य रखते हैं। चित्र 6.2 में दर्शाये गये अनुसार संयोजित परिपथ में धारा का मान परिवर्तित करके, फ्लक्समीटर द्वारा संगत विक्षेप ज्ञात करें।

यदि फ्लक्स मीटर में कुल अंश खानों की संख्या n है, अन्वेषी कुण्डली में घेरों की संख्या N तथा कुण्डली का माध्य क्षेत्रफल A^1 हो तो कुण्डली में चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता H का मान-

$H = \frac{\theta n}{A^1 N} I$ होगा, जहाँ I,धारा का मान है तथा θ,फ्लक्समीटर में विक्षेप हैं।

(ii) धारा (I) तथा चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता (H) के मध्य वक्र खीचें। यह वक्र एक सरल रेखा होगी, इसे फ्लक्समीटर का अंशाकन वक्र कहते हैं। किसी भी अज्ञात धारा से सम्बन्धित चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता का मान इस वक्र द्वारा ज्ञात कर सकते हैं।

कभी-कभी प्रयोगशालाओं में अंशाकन वक्र दिया जाता है।

(iii) अब अनुचुम्बकीय पदार्थ के द्रव को स्वच्छ क्विंक नली में भरें।

(iv) चित्र (6.1) में दिखाये अनुसार नली की पतली भुजा को चुम्बकीय क्षेत्र में रखे चल सूक्ष्मदर्शी की सहायता से द्रव की सतह का पाठ्यांक ज्ञात करें तथा अमीटर में धारा का मान नोट करें।

(v) अब परिपथ में धारा प्रवाह बन्द कर (अमीटर में धारा का मान शून्य कर) नली में द्रव के तल की स्थिति का पाठ्यांक चल सूक्ष्मदर्शी की सहायता से सारिणी में नोट करें।

(vi) विधि बिन्दु क्रमांक (iv) तथा (v) में नोट की गयी द्रव के तल की स्थितियों के मध्य अन्तर निकाल कर ऊंचाई "h" ज्ञात करे।

(vii) अमीटर में धारा का मान परिवर्तित कर, पुन: विधि बिन्दु (iv), (v) तथा (vi) दोहरायें।

(viii) प्रयोग से प्राप्त प्रेक्षणों को समी. (6.6) तथा (6.7) में रखकर दिये गये अनुचुम्बकीय पदार्थ की चुम्बकन प्रवृति तथा विशिष्ट द्रव्यामान प्रवृति ज्ञात करें।

6.6 प्रेक्षण (Observations)

(1) फ्लक्समीटर का अंशाकन -

(i) अन्वेषी कुण्डली में घेरों की सख्याँ N = ——

(ii) फ्लक्समीटर में प्रति n अंश खानों की संख्या n = ——

(iii) अन्वेषी कुण्डला का क्षेत्रफल A'? ——

(iv) सारणी I: चुम्बकीय क्षेत्र का अंशाकन करना

प्रवाहित धारा i $Amp.$	फ्लक्समीटर में विक्षेप θ	$H_u = \frac{\theta b}{A, N}$

(2) (i) अनुचुम्बकीय पदार्थ (द्रव) का घनत्व = ——— ग्राम / सेमी.^{3}

यदि द्रव का घनत्व नहीं दिया गया है तो निम्न विधि की सहायता द्रव का आपेक्षिक घनत्व ज्ञात करे। (A) प्रायोगिक द्रव का घनत्व (ρ) ज्ञात करने के लिए आपेक्षिक घनत्व बोतल (relative density bottle) काम में ले।

सर्वप्रथम खाली बोतल का भार (weight) ज्ञात कर, बोतल को पानी तथा उसके पश्चात् प्रायोगिक द्रव से भर कर क्रमश: दोनों स्थिति में बोतल का भार नोट करे।

यदि खाली बोतल का भार W_1, पानी से भरी बोतल का भार W_2, तथा द्रव से भरी बोतल का भार W_3 हो तो द्रव का आपेक्षिक घनत्व (ρ) निम्न होता है-

$$\rho = \frac{W_3 - W_1}{W_2 - W_1}$$

उपरोक्त समी. में मान रखकर द्रव का घनत्व ज्ञात करे।

(ii) गुरूत्वीय त्वरण "g" = 980 सेमी./ से.2

(3) धारा के संगत, द्रव के तल का अन्तर (h) ज्ञात करना -

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

(ii) वर्नियर पैमान पर भागों की संख्या (y) = ———

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

तालिका II : धारा के साथ h का मान परिकलित करना

क्रम संख्या	धारा i $(Amp.)$	अंशांकन वक्र द्वारा H_0 का मान	H_0^2	मेनिस्कस की प्रारम्भिक स्थिति a (सेमी)	मेनिस्कस की अंन्तिम स्थिति b (सेमी)	ऊंचाई में अंतर $h=(a-b)$ (सेमी)
1. 2.						

3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						

6.7 गणना व परिणाम (Calculations and result)

गणना -

∵ समी. (6.6) से अनुचुम्बकीय द्रव की चुम्बकन प्रवृति (χ) -

$$\chi = 2\rho g\left(\frac{h}{H^2}\right) \qquad \text{[समी. (6.6)]}$$

जहाँ, g = 980 सेमी./ से.^{2}

उपरोक्त समीकरण में प्रयोग से प्राप्त प्रेक्षणों से सम्बन्धित मान रखकर χ का मान प्रत्येक प्रेक्षण (या चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता) के लिए ज्ञात करें।

तत्पश्चात् "χ" का माध्य मान ज्ञात करें।

χ का माध्य मान ज्ञात करने के पश्चात् समी. (6.7) से विशिष्ट द्रव्यमान प्रवृति ज्ञात करें।

परिणाम -

दिये गये अनुचुम्बकीय पदार्थ की चुम्बकीय प्रवृति (χ) का मान .... प्राप्त हुआ।

द्रव की विशिष्ट द्रव्यमान प्रवृति (χ_S) का मान .... प्राप्त हुआ।

6.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्त्रोत (Precautions and sources of error)

पूर्वावधान -

(i) क्विंक नली पूर्णत: उर्ध्वाधर होनी चाहिए अन्यथा द्रव के तल की स्थिति को यथार्थता के साथ नहीं माप सकेंगे।

(ii) चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता का मान बहुत अधिक नहीं होना चाहिए।

(iii) चुम्बकीय क्षेत्र के मापन के लिए फ्लक्समीटर का अशांकन यर्थाथ होना चाहिए।

त्रुटियों के स्त्रोत -

(i) क्विंक नली का उर्ध्वाधर नहीं होना।

(ii) फ्लक्समीटर का यथार्थता के साथ अंशाकन नहीं होना।

(iii) अनुचुम्बकीय पदार्थ के विलयन का समरूप (एकसार) नहीं होना।

6.9 सारांश (Summary)

- किसी भी पदार्थ की चुम्बकन प्रवृति, चुम्बकन की तीव्रता तथा आरोपित चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता के अनुपात के बराबर होती है।
- जब किसी अनुचुम्बकीय पदार्थ का परिवर्ती चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो उस पर एक बल कार्य करता है, जिसे चुम्बकीय बल कहते हैं। इस बल के कारण द्रव का तल ऊपर उठ जाता है।
- चुम्बकन प्रवृति व द्रव के घनत्व के अनुपात को विशिष्ट द्रव्यमान प्रवृति कहते हैं।

6.10 शब्दावली (Glossary)

अन्वेषी कुण्डली	Search coil
अनुचुम्बकीय पदार्थ	Paramagnetic substance
आपेक्षिक घनत्व	Relative density
आवेश	Charge
उर्ध्वाधर	Vertical
केश नली	Capillary tube
गुरूत्वीय बल	Gravitational force
चुम्बकन की तीव्रता	Intensity of magnetization
चुम्बकन प्रवृति	Magnetic susceptibility
चुम्बकीय आघूर्ण	Magnetic moment
चुम्बकीय बल	Magnetic force
चुम्बकीय क्षेत्र	Magnetic field
द्रव की सतह	Meniscus
सुग्राही	Sensitive
शक्ति प्रदायक स्त्रोत	Power supply

6.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

प्रभा दशोरा, दीपक भटनागर एवं के बी. शर्मा	प्रायोगिक भौतिकी तृतीय वर्ष	रमेश बुक डिपो, जयपुर
S.P.Singh	Advanced Practical Physics Vol.-I	Pragati Prakashan

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

1. चुम्बकन की तीव्रता तथा आरोपित चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता के अनुपात को चुम्बकन प्रवृति कहते हैं।
2. एकांक आयतन के लिए चुम्बकीय आघूर्ण को चुम्बकन की तीव्रता कहते हैं।
3. लौह चुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकन प्रवृति बहुत अधिक होती हैं।
4. पदार्थ की चुम्बकन प्रवृति, अनुप्रस्थ काट के क्षेत्रफल तथा आरोपित चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता पर निर्भर करती है।
5. चुम्बकन प्रवृति तथा घनत्व के अनुपात को विशिष्ट द्रव्यमान प्रवृति कहते हैं।

6.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral Questions and answers)

1. चुम्बकीय प्रेरण, चुम्बकन तीव्रता तथा चुम्बकन प्रवृति की परिभाषा दीजिये।

उत्तर: (i) प्रति इकाई क्षेत्र से अभिलम्ब गुजरने वाली बल रेखाओं की संख्या को चुम्बकीय प्रेरण कहते है। इसकी इकाई वेबर / मी.^{2} होती है।

(ii) एकांक आयतन के चुम्बकीय आघूर्ण को चुम्बकन तीव्रता कहते हैं। इसका मात्रक एम्पियर / मी. होता है।

(iii) चुम्बकन की तीव्रता तथा चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता के अनुपात को चुम्बकन प्रवृति कहते हैं। यह एक विमाहीन राशि है।

2. अनुचुम्बकीय तथा लौह चुम्बकीय पदार्थ किसे कहते हैं?

उत्तर : वे पदार्थ, जो चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर क्षेत्र की दिशा में आंशिक रूप से चुम्बकित हो जाते हैं, अनुचुम्बकीय पदार्थ कहलाते हैं।

वे पदार्थ, जो अल्प चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर क्षेत्र की दिशा में प्रबल रूप से चुम्बकीय हो जाते हैं, लौह चुम्बकीय पदार्थ कहलाते हैं।

3. प्रतिचुम्बकीय, अनुचुम्बकीय तथा लौह चुम्बकीय पदार्थों में परिणमित चुम्बकीय आघूर्ण का मान कितना होता हैं?

उत्तर : प्रतिचुम्बकीय पदार्थो के लिए चुम्बकीय आघूर्ण का मान शून्य होता हैं, अनुचुम्बकीय पदार्थो के लिए चुम्बकीय आघूर्ण का मान अल्पत्य तथा लौह चुम्बकीय पदार्थो के लिए इसका मान बहुत अधिक होता।

4. चुम्बकन प्रवृति किस पर निर्भर करती है?

उत्तर : चुम्बकन प्रवृति, आपेक्षिक पारगम्यता (μ_r) पर निर्भर $(=\mu_r - 1)$ करती है। अनुचुम्बकीय पदार्थो के लिए इसका मान एक (One) से कुछ अधिक होता हैं जैसे प्लेटिनम के लिए $\mu_r = 1.00004$ तथा लौह चुम्बकीय पदार्थों के लिए इसका मान अत्यधिक होता हैं जैसे लोहे के लिए $\mu_r = 2000$.

5. अनुचुम्बकीय तला लौह चुम्बकीरा पदार्थों में चुम्बकत्व का कारण क्या है?

उत्तर : इलेक्ट्रॉन की चक्रण गति (spinp motion) के कारण इन पदार्थों में चुम्बकत्व उत्पन्न होता हैं।

6. क्या लौह चुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकन प्रवृति ताप पर निर्भर करती है?

उत्तर : हाँ लौह चुम्बकीय पदार्थों की चुम्बकन प्रवृति परम ताप (absolute temperature) के व्युतक्रमानुपाती होती है। इसे क्यूरी का नियम भी कहते हैं।

7. क्यूरी ताप क्या होता है?

उत्तर : वह ताप, जिस पर लौह चुम्बकीय पदार्थ, अनुचुम्बकीय पदार्थ में परिवर्तित हो जाता है, क्यूरी ताप कहलाता है।

8. विशिष्ट द्रव्यमान प्रवृत्ति क्या होती है तथा यह किन कारकों पर निर्भर करती है?

उत्तर : चुम्बकन प्रवृत्ति तथा घनत्व के अनुपात को विशिष्ट द्रव्यमान प्रवृत्ति कहते हें। यह किसी विशेष पदार्थ के लिए नियत होती है।

प्रयोग-7

हेलीकल विधि से इलेक्ट्रॉन के विशिष्ट आवेश $\left(\frac{e}{m}\right)$ का मान ज्ञात करना

(To determine the value of specific change $\frac{e}{m}$ of an electron by helical method)

प्रयोग की रूपरेखा

7.0 उद्देश्य

7.1 प्रस्तावना

7.2 आवश्यक उपकरण

7.3 सिद्धान्त

7.4 चित्र

7.5 विधि

7.6 प्रेक्षण

7.7 गणना व परिणाम

7.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्रोत

7.9 सारांश

7.10 शब्दावली

7.11 संदर्भ ग्रन्थ

7.12 बोध प्रश्नों के उत्तर

7.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

7.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के पश्चात् आप

- कैथोड किरण नली की कार्यविधि को भलीभांति समझ सकेंगे;
- कैथोड किरणों (इलेक्ट्रॉन) के गुणधर्मो को समझ सकेंगे;
- इलेक्ट्रॉन की विद्‌युत क्षेत्र में गति का अध्ययन कर सकेंगे;
- चुम्बकीय क्षेत्र का इलेक्ट्रॉन का गति पर प्रभाव ज्ञात कर सकेंगे;
- परिनालिका की कार्यविधि समझ सकेंगे।

7.1 प्रस्तावना (Introduction)

जब किसी विसर्जन नली में गैस का दाब लगभग 10^{-2} मिमी से 10^{-3} मिमी (पारा) के मध्य रखकर, उसके इलेक्ट्रोडों के बीच उच्च विभवान्तर (लगभग 10,000 वोल्ट) लगाया जाता

है तो सम्पूर्ण नली में अन्धकार (अदीप्त) फैल जाता है तथा नली के कैथोड से एक प्रकार की अदृश्य किरणें उत्पन्न होती हैं, जिन्हे कैथोड किरणें कहते हैं। वैज्ञानिक जे. जे. थामसॅन ने इन किरणों का अध्ययन किया तथा बताया कि कैथोड किरणें वास्तव में ऋणात्मक आवेश हैं तथा इन्हें इलेक्ट्रॉन कहा गया। विभिन्न प्रयोगों के आधार पर थामसॅन ने निष्कर्ष निकाला कि इन कणों के विशिष्ट आवेश (आवेश तथा द्रव्यमान का अनुपात, $\frac{e}{m}$) का मान एक निश्चित राशि होती है। इसका मान किसी विशेष पदार्थ (नली में भरी गैस, कैथोड या एनोड) पर निर्भर नहीं करता हैं। कैथोड किरणों की उत्पत्ति गैस के परमाणुओं के आयनीकरण की क्रिया के कारण होती है। इन किरणों के विशिष्ट आवेश का मान ($\frac{e}{m}$) ज्ञात करने की अनेक विधियाँ प्रचलित हैं, जैसे -मैग्नेट्रोन विधि (Magnetron method), थामसँन विधि (Thomson method), हेलिकल या बुश विधि (Helical or Busch method) इत्यादि। इनमें से हम एक विधि, हेलिकल विधि द्वारा कैथोड किरणों या इलेक्ट्रॉन के विशिष्ट आवेश ($\frac{e}{m}$) का मान ज्ञात करेंगे। यह विधि इलेक्ट्रान पुंज के विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्र में गति सिद्धान्त पर आधारित है।

प्रयोग के मुख उद्देश्य के साथ-साथ, अन्य महत्वपूर्ण जानकारी भी प्राप्त कर सकते हैं, इनका उल्लेख अनुच्छेद 7.0 में किया गया है। प्रयोग करने के लिए आवश्यक उपकरण अनुच्छेद 7.2 में बताये गये हैं। प्रयोग से सम्बन्धित सिद्वान्त की विवेचना अनुच्छेद 7.3 में की गयी है। अनुच्छेद 7.4 में कैथोड किरण नलिका के अनुप्रस्थ काट तथा प्रयोगिक समायोजन के चित्र दिये गये है। प्रयोग करने की विस्तृत विधि अनुच्छेद 7.5 में तथा प्रयोग से प्राप्त विभिन्न प्रेक्षणों को नोट करने के लिए सारणी अनुच्छेद 7.6 में दी गयी है। अनुच्छेद 7.7 में प्राप्त प्रेक्षणों से की जाने वाली गणना की जानकारी दी गयी हैं। इसी अनुच्छेद में परिणाम का भी उल्लेख किया गया हैं। प्रयोग के दौरान काम में ली जाने वाली सावधानियाँ तथा त्रुटियों के स्त्रोतों का उल्लेख अनुच्छेद 7.8 में किया गया हैं प्रयोग का सारांश अनुच्छेद 7.9 में दिया गया हैं। प्रयोग से सम्बन्धित महत्वपूर्ण शब्दावली तथा संदर्भ ग्रन्थ क्रमश: अनुच्छेद 7.10 तथा 7.11 में दिये गये है। बोध प्रश्नों के उत्तर अनुच्छेद 7.12 में दिये गये हैं। अनुच्छेद 7.13 में मौखिक प्रश्न तथा उनके उत्तर दिये गये हैं।

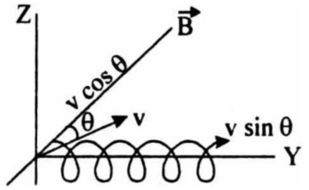
7.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

कैथोड किरण नली (जिसका व्यास, परिनलिका के आन्तरिक व्यास के बराबर हो), लम्बी परिनलिका शक्ति प्रदाय, उच्च प्रतिरोध वोल्टमीटर, दिष्ट धारा अमीटर दिक्परिवर्तक इत्यादि।

7.3 सिद्धान्त (Theory)

हेलीकल विधि मुख्यत: इलैक्ट्रॉन के विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्र में गति पर आधारित हैं। कैथोड किरण नली में उत्सर्जित इलैक्ट्रॉन उच्च विभव द्वारा त्वरित होते हैं। तत्पश्चात् प्रत्यावर्ती विभव द्वारा विक्षेपित होकर प्रतिदीप्त पर्दे पर एक सीधी रेखा के रूप में गिरते हैं।

परिनालिका से उत्पन्न चुम्बकीय क्षेत्र द्वारा बिन्दु-फोकसित होते हैं। उच्च विभव से त्वरित इलेक्ट्रॉन यदि चुम्बकीय क्षेत्र (B) के साथ θ कोण बनाते हुए v वेग से गतिशील हैं तो चुम्बकीय क्षेत्र के समानान्तर दिशा में वेग के घटक के कारण इलेक्ट्रॉन उसी दिशा में गति करेगा जबकि चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा के लम्बवत् वेग के घटक के कारण इलेक्ट्रॉन वृत्ताकार पथ में गति करता है। अत: इलेक्ट्रॉन का परिणामित पथ कुण्डलिनी (helical) (चित्र 7.1) होता है। इलेक्ट्रॉन के इस पथ में गति करने के कारण ही यह विधि हेलीकल विधि कहलाती है।



चित्र 7.1 : इलेक्ट्रॉन का विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्र की उपस्थिति में कुंडलिनी पथ

यदि m द्रव्यमान तथा e आवेश वाले इलेक्ट्रॉन V_a त्वरक विभव (accelerating voltage) द्वारा त्वरित होकर v वेग से गतिशील हैं तो इलेक्ट्रॉन की गतिज ऊर्जा -

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV_a$$

या
$$v = \sqrt{\frac{2eV_a}{m}} \quad \text{...(7.1)}$$

यदि प्रतिदीप्त पर्दा, विक्षेप प्लेटों के केन्द्र से l दूरी है तथा इलेक्ट्रान को पर्दे पर पहुँचने में लगा समय t हो तो-

$$t = \frac{l}{v}$$

$$t = l\sqrt{\frac{m}{2eV_a}} \quad \text{...(7.2)}$$

प्लेटों पर आरोपित प्रत्यावर्ती विभवान्तर (alternating potential difference) इलेक्ट्रॉनो को अनुप्रस्थ (लम्बवत), दिशा में गति (वेग) प्रदान करता है। दो लम्बवत् बलों (एक त्वरक विभव V_a के कारण तथा दूसरा प्रत्यावर्ती विभव के कारण) की वजह से इलेक्ट्रॉन पुंज का पथ परवलयिक (parabolic) हो जाता है जो कि पर्दे पर एक रेखा के रूप में परिलक्षित होता हैं। रेखा की लम्बाई, प्रत्यावर्ती विभव पर निर्भर करती हैं।

चुम्बकीय क्षेत्र के कारण इलेक्ट्रॉन पर बल $F = q(v \times B) = qB(v\sin\theta)$ लगता है वेग के अनुप्ररूप घटक के कारण इस क्षेत्र में इलैक्ट्रॉन वृताकार पथ पर गति करता है।

इलेक्ट्रॉन की वृत्ताकार पथ में गति के कारण अभिकेन्द्रीय बल $\left(\frac{mv'^2}{R}\right)$ कार्य करेगा, जो कि साम्य अवस्था में विद्युत चुम्बकीय बल के बराबर होगा, अत:

$$\frac{mv'^2}{R} = Bev'^2 \quad \text{...(7.3)}$$

जहाँ, v'; इलेक्ट्रॉन का अनुप्रस्थ दिशा में वेग हैं, R, वृत्ताकार पथ की त्रिज्या तथा B आरोपित चुम्बकीय क्षेत्र है।

या $$\frac{v'}{R} = \frac{Be}{m} \qquad ...(7.4)$$

$\because \frac{v'}{R} = \omega$ (कोणीय वेग), अत: इलेक्ट्रॉन का कोणीय वेग -

$$\omega = \frac{Be}{m} \qquad ...(7.5)$$

समी. (7.5) से, स्पष्ट है कि कोणीय वेग केवल चुम्बकीय क्षेत्र पर निर्भर करता है।

यदि R त्रिज्या वाले वृत्ताकार पथ का एक चक्कर लगाने में लगा समय "T" हो तो

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

T यहाँ आवर्तकाल है।

$$\therefore T = \frac{2\pi m}{Be} \qquad ...(7.6)$$

दी गयी त्वरक वोल्टता पर चुम्बकीय क्षेत्र को इस प्रकार समंजित (adjust) करते हैं कि इलेक्ट्रॉन को एक चक्कर पूरा करने में लगे समय (T) में विक्षेप, प्लेट से पर्दे के मध्य की दूरी (l) तय कर सकें। ऐसी स्थिति में-

समी (7.2) तथा (7.6) से -

$$T = t$$

$$\frac{2\pi m}{Be} = 1\sqrt{\frac{m}{2eV_a}}$$

या $$\frac{e}{m} = \frac{8\pi^2 V_a}{B^2 1^2} \qquad ...(7.7)$$

चूंकि यह प्रतिबन्ध सभी इलेक्ट्रॉनों पर लागू होता है अत: इलेक्ट्रॉन अक्ष (रेखा) पर एकत्रित होते हैं व रेखा, बिन्दु में परिवर्तित (reduce) हो जाती है।

परिनालिका से प्राप्त चुम्बकीय क्षेत्र (B) का मान निम्न होता है -

$$\text{B} = \frac{4\pi NI}{L}\cos\phi \times 10^{-7} \qquad ...(7.8)$$

जहाँ, N परिनालिका के फेरों की कुल संख्या L, परिनालिका की लम्बाई, I परिनालिका में प्रवाहित धारा तथा ϕ, विक्षेप प्लेटों के केन्द्र से परिनालिका के पर्दे की तरफ किनारों के मध्य कोण है

अत: समी. (7.7) तथा (7.8) से -

$$\frac{e}{m} = \frac{1}{2}\frac{V_a}{1^2}\left(\frac{L^2}{NI\cos\phi}\right)^2 \times 10^{14} \text{ कूलॉम / किग्रा.} \qquad ...(7.9)$$

चित्र (7.3) के अनुसार

$$\tan\phi = \frac{D/2}{L/2} = \frac{D}{L}$$

व $$\cos^2\phi = \frac{1}{1+\tan^2\phi}$$

अतः $$\cos^2\phi = \frac{L^2}{L^2+D^2} \quad ...(7.10)$$

जहाँ D, परिनालिका का व्यास है।

समी. (7.9) की सहायता से इलेक्ट्रॉन के लिए $\frac{e}{m}$ का मान ज्ञात किया जाता है।

बोध प्रश्नों (self assessment questions)

1. कैथोड किरणों पर कौन सा आवेश होता है?

_ _

_ _

2. इलेक्ट्रॉन पर कौन-कौन से बल लगते है?

_ _

_ _

3. परिनालिका में धारा प्रवाहित कर कौन सा क्षेत्र उत्पन्न करते हैं?

_ _

_ _

4. परिनालिका को किस दिशा में रखते है?

_ _

_ _

5. गतिशील इलेक्ट्रॉनों का पथ क्या होता है?

_ _

_ _

6. त्वरक विभव से इलेक्ट्रॉन की गति पर क्या प्रभाव पड़ता है?

_ _

_ _

7. प्रत्यावर्ती विभव लगाने पर क्या होता है?

_ _

_ _

8. चुम्बकीय क्षेत्र में इलेक्ट्रॉन के वेग के किस घटक के कारण इलेक्ट्रॉन की गति वृत्ताकार होती है?

_ _

_ _

9. इलेक्ट्रॉन पर विद्युत क्षेत्र लगाया जाता है उस पर विद्युत क्षेत्र के कारण कितना बल लगता है?

_ _

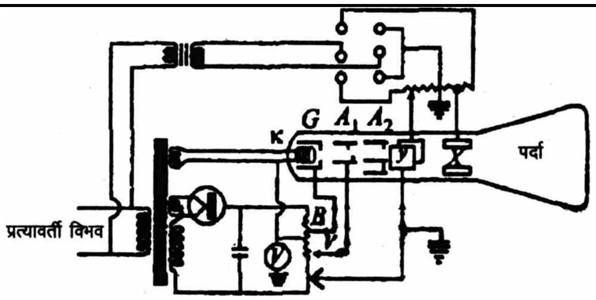
_ _

10. चुम्बकीय क्षेत्र के कारण इलेक्ट्रॉन पर कितना बल लगेगा?

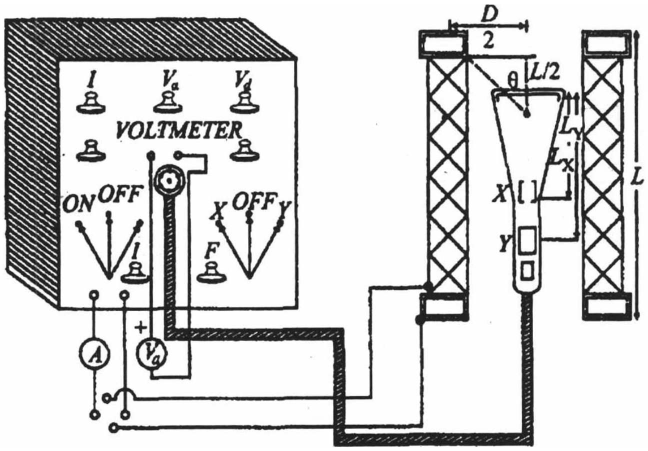
_ _

_ _

7.4 चित्र (Diagram)



चित्र 7.2 कैथोड किरण नली



चित्र 7.3 प्रायोगिक समायोजन

प्रायोगिक समायोजन -

चित्र (7.2) में कैथोड किरण नली तथा इसे संचरित करने का परिपथ प्रदर्शित किया गया हैं। कैथोड किरण नली का विस्तृत अध्ययन आप द्वितीय वर्ष प्रायोगिक भौतिकी में कर चुके हैं। इस नली के मुख्यत: तीन भाग होते हैं - (i) इलेक्ट्रॉन गन (electron gun), (ii) विक्षेपकारी प्लेट (deflecting plate system) तथा (iii) प्रतिदीप्त पर्दा (fluorescent sereen)। इलेक्ट्रॉन गन में कैथोड (K), ग्रिड (G) तथा त्वरक ऐनोड (A_1 व A_2) होते हैं। विक्षेपकारी प्लेटें (XX तथा YY pairs), त्वरित इलेक्ट्रॉनों के पुंज को दो लम्बवत् दिशाओं (X

तथा Y)में विक्षेपित करती हैं। इस प्रयोग में (XX व YY प्लेटों पर आरोपित निम्न परिवर्ती प्रत्यावर्ती विभव (low variable ac voltage), इलेक्ट्रॉन पुंज को प्रभावित करता हैं, जिससे पर्दे पर एक रेखा निरूपित (trace) होती है।

चित्र 7.3 में कैथोड किरण नली को संचालित करने के लिए एक शक्ति प्रदाय (power pack) तथा चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करने के लिए एक लम्बी परिनालिका दिखाई गयी हैं।

परिनालिका को चुम्बकीय याम्योत्तर में रखते हैं, इसके लिए परिनालिका की अक्ष पूर्व - पश्चिम दिशा में होनी चाहिए, जिससे पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक भी इलेक्ट्रॉन को वृत्ताकार पथ ही प्रदान करे। कैथोड किरण नली को परिनालिका मे मध्य क्षेत्र (central region) में रखते हैं। त्वरक विभव, जो कि हजारों वोल्ट के क्रम का होता हैं, एक उच्च प्रतिरोध वोल्टमीटर (high resistance voltmeter) द्वारा मापा जाता है। परिनालिका में धारा, द्विकपरिवर्तक द्वारा दी जाती है, जिसे श्रेणीक्रम में लगे अमीटर द्वारा मापा जाता है।

7.5 विधि (Method)

(i) सर्वप्रथम कैथोड किरण नली तथा परिनालिका के नियतांक (जैसे L,D,N, 1_X तथा 1_Y,) लिखें।

(ii) प्रायोगिक समायोजन मे बताये अनुसार परिनालिका को चुम्बकीय याम्योत्तर (पूर्व - पश्चिम दिशा) में रखें तथा कैथोड किरण नली को इसके मध्य क्षेत्र में रखें। शक्ति प्रदाय को नली से जितना दूर रख सकें, रखना चाहिए ताकि अवांछित चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न न हो।

(iii) चित्रानुसार, कैथोड नली की X तथा Y प्लेट शक्ति प्रदाय से संयोजित कर, त्वरित विभव ($\sim 1500V$) नापने के लिए उच्च प्रतिरोध वोल्टमीटर, धारा मापन के लिए अमीटर तथा दिक्परिवर्तक लगा दें।

(iv) कैथोड नली के कुछ गर्म होने के पश्चात् नली के पर्दे पर एक प्रकाश बिन्दु दिखाई देता है। त्वरित विभव, तीव्रता तथा फोकस को नांब द्वारा समंजित कर पर्दे पर एक छोटा प्रकाश बिन्दु प्राप्त करें।

(v) अब XX या YY प्लेटों पर प्रत्यावर्ती विभव आरोपित करे। इससे प्रकाश बिन्दु बढ़कर एक रेखा के रूप में निरूपित होगा। प्रत्यावर्ती विभव का मान इतना रखना चाहिए कि रेखा की लम्बाई लगभग 2-3 सेमी. हो।

(vi) (यह रेखा X- या Y- दिशा में होगी, रेखा की दिशा, प्रत्यावर्ती विभव किन प्लेटों पर दिया गया है, इस पर निर्भर करती है।)

(vii) परिनालिका में चुम्बकीय क्षेत्र के लिए धारा प्रवाहित करें। धारा का मान इतना रखें कि पर्दे पर निरूपित रेखा पुन: बिन्दु रूप में फोकसित हो जाये। इस स्थिति में धारा का मान नोट करें।

(viii) दिक्परिवर्तक द्वारा परिनालिका में धारा की दिशा बदलें तथा पुन: रेखा को बिन्दु रूप में फोकसित करें। धारा का मान नोट करें।

(ix) विधि बिन्दु (vi) तथा (vii) से प्राप्त धाराओं के मान का माध्य (I) ज्ञात करें।

(x) त्वरक विभव (V_a) के मान को परिवर्तित कर, विधि बिन्दु (iv) - (viii) दोहरायें। अर्थात् प्रकाश रेखा को प्रकाश बिन्दु तक फोकस करने के लिए संगत धारा (I) का मान ज्ञात करें। इन प्रेक्षणों को सारिणी में अंकित करें।

(xi) त्वरक विभव (V_a) तथा धारा (I) के वर्ग (I^2) के मध्य वक्र खीचें। इससे एक सरल रेखा प्राप्त होगी, जिसके ढ़ाल (slope) से $\frac{V_a}{I^2}$ का मान प्राप्त होगा।

(xii) परिनालिका का व्यास (D) व लम्बाई (L) ज्ञात करे। इससे $\tan\phi$ तथा फिर इससे समी. (7.10) की सहायता से $\cos^2\phi$ का मान ज्ञात करे।

(xiii) उपरोक्त प्रेक्षणों से प्राप्त मान समी. (7.8) में रखकर, इलेक्ट्रॉन के विशिष्ट आवेश $\left(\frac{e}{m}\right)$ का मान ज्ञात करें।

7.6 प्रेक्षण (Observations)

1. परिनालिका की लम्बाई (L) = ———मी.
2. परिनालिका का व्यास (D) = ———मी.
3. परिनालिका के कुल फेरों की संख्या = ———
4. विक्षेप प्लेट X के मध्य बिन्दु की पर्दे से दूरी (1_x) = ——मी.
5. विक्षेप प्लेट Y के मध्य बिन्दु की पर्दे से दूरी (1_y) = ——मी.
6. V_a तथा I के मापन के लिए सारणी –

सारणी

क्रम संख्या	त्वरक वोल्टता (V_a) वोल्ट में	परिनालिका में धारा में जब प्रत्यावर्ती वोल्टता X-X प्लेट पर हो (एम्पियर में)			परिनालिका में धारा में जब प्रत्यावर्ती वोल्टता Y-Y प्लेट पर हो (एम्पियर में)		
		एक दिशा में	विपरीत दिशा में	माध्य धारा	एक दिशा में	विपरीत दिशा में	माध्य धारा
1							
2							
3							
4							
5							

परिकलन सारणी

क्रम संख्या	$\frac{V}{l_x^2 I^2}$	$\frac{V}{l_y^2 I^2}$	माध्य $\frac{e}{m}$ कूलाम / किग्रा.
1			
2			
3			
4			
5			

7.7 गणना व परिणाम (Calculations and result)

गणना -

(i) $\cos^2\phi$ का मान ज्ञात करना -

$$\because \cos^2\phi = \frac{L^2}{L^2 + D^2} \quad [\text{समी.}(7.10)]$$

उपरोक्त समीकरण में L व D का मान रखकर $\cos^2\phi$ का मान ज्ञात करें।

(ii) समी. (7.8) से -

$$\frac{e}{m} = \frac{1}{2}\frac{V_a}{I^2 1^2}\left(\frac{L}{N\cos\phi}\right)^2 \times 10^{14} \text{ कूलॉम / किग्रा.}$$

समीकरण में प्रेक्षण से प्राप्त मान रखकर 'e/m' ज्ञात करने के लिए सारणी 6(ii) का उपयोग करें।

परिणाम -

हेलीकल विधि से इलेक्ट्रॉन के विशिष्ट आवेश (e/m) का मान .... कूलॉम / किग्रा. प्राप्त हुआ।

इलेक्ट्रॉन के विशिष्ट आवेश (e/m) का प्रमाणिक मान = 1.7588×10^{11} कूलॉम / किग्रा.

7.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्त्रोत (Precaution and sources of error)

पूर्वावधान -

1. कैथोड नली उच्च विभव पर संचालित होती है, अत: अत्यन्त सावधानी से कार्य करना चाहिए।
2. प्रकाश बिन्दु की तीव्रता तथा त्वरित वोल्टता बहुत अधिक नहीं होनी चाहिए अन्यथा प्रतिदीप्त पर्दा खराब हो, सकता हैं।

3. परिनालिका को चुम्बकीय याम्योत्तर में रखना चाहिए जिससे पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का प्रभाव इलेक्ट्रॉन पुंज पर न पड़े।
4. शक्ति प्रदाय को परिनालिका से दूर रखना चाहिए ताकि अवांछित चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न नहीं हो सके।
5. e/m के मान की गणना करते समय सूत्र में उपस्थित विभिन्न राशियों के मान को उपयुक्त इकाईयों में ही रखना चाहिए।

त्रुटियों के स्त्रोत -

1. परिनालिका का चुम्बकीय याम्योत्तर में न होना।
2. कैथोड नली का परिनालिका के मध्य क्षेत्र में न होना।
3. रेखा का पूर्णत: बिन्दु फोकसित न होना।

7.9 सारांश (Summary)

- हेलीकल विधि इलेक्ट्रॉन पुंज के विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्र में गति के सिद्धान्त पर आधारित है।
- उच्च विभव से त्वरित इलेक्टॉन की गति की दिशा. यदि चुम्बकीय क्षेत्र से θ कोण बनाये तो लम्बवत् घटक के कारण इलेक्ट्रॉन की गति वृत्ताकार होती हैं तथा समान्तर घटक के कारण इलेक्ट्रॉन इसी दिशा में गति करता हैं। अत: इलेक्ट्रॉन की परिणामी गति कुण्डलिनी (helical) होती हैं।

7.10 शब्दावली (Glossary)

अभिकेन्द्रीय बल	Centripetal force
कैथोड किरण नली	Cathode ray tube
कुण्डलिनी	Helical
कोणीय वेग	Angular velocity
गतिज ऊर्जा	Kinetic energy
चुम्बकीय याम्योत्तर	Magnetic meridian
चुम्बकीय क्षेत्र	Magnetic field
त्वरक विभव	Accelerating voltage
दिक्परिवर्तक	Commutator
निरूपित	Trace
परवलयिक	Parabolic
परिनालिका	Solenoid
प्रतिदीप्त पर्दा	Fluorescent sereen
प्रत्यावर्ती विभव	Alternating potential
मध्य क्षेत्र	Central region

वृत्ताकार पथ	Circular path
विद्युत क्षेत्र	Electric field
विशिष्ट आवेश	Specific charge
विक्षेपकारी प्लेट	Deflecting plate
विक्षेपित	Deflected
संचरित	Operate
संमजित	Adjust

7.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

प्रभा दशोरा, दीपक भटनागर एवं के.बी. शर्मा	तृतीय वर्ष प्रायोगिक भौतिकी	रमेश बुक डिपो, जयपुर
कानन बाला शर्मा	प्रायोगिक भौतिकी (द्वितीय वर्ष)	वर्धमान महावीर कोटा खुला विश्वविद्यालय, कोटा
S.P. Singh	Advanced Practical Physics Vol. II	Pragati Prakashan, Meerut.

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

1. कैथोड किरणों पर ऋणात्मक आवेश होता है। ये इलेक्ट्रॉन पुँज होता है।
2. इलेक्ट्रॉन पर विद्युत तथा चुम्बकीय बल लगते हैं।
3. परिनालिका में धारा प्रवाहित कर चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करते हैं।
4. परिनालिका को चुम्बकीय याम्योत्तर (पूर्व-पश्चिम दिशा) में रखते हैं।
5. गतिशील इलेक्ट्रानों का पथ कुण्डलिनीनुमा (helical) होता है।
6. त्वरक विभव द्वारा इलेक्ट्रॉन त्वरित होकर और अधिक वेग से गति करते हैं।
7. प्रत्यावर्ती विभव लगाने पर पर्दे पर बिन्दु रेखा में परिवर्तित हो जाता है।
8. वेग के लम्बवत् घटक के कारण चुम्बकीय क्षेत्र में इलेक्ट्रॉन की गति वृत्ताकार होती है।
9. विद्युत क्षेत्र के कारण इलेक्ट्रॉन पर बल $F = eV_a$ लगेगा।
10. चुम्बकीय क्षेत्र के कारण इलेक्ट्रॉन पर बल $\vec{F} = e\left(\vec{v} \times \vec{B}\right)$ लगेगा।

7.13 मौखिक प्रश्न तथा उत्तर (Oral questions and answers)

1. हेलीकल विधि का क्या सिद्धान्त हैं?

उत्तर : उच्च विभव से त्वरित इलेक्ट्रॉन की गति की दिशा, तथा आरोपित चुम्बकीय क्षेत्र के मध्य कोण यदि θ हो तो वेग के लम्बवत् घटक के कारण, इलेक्ट्रॉन वृत्ताकार पथ में गति करता हैं तथा वेग के समान्तर घटक के कारण इलेक्ट्रॉन, उसी दिशा में गतिशील होता है। जिसके परिणामस्वरूप इलेक्ट्रॉन का पथ कुण्डलिनी होता है।

2. कैथोड किरण नली के मुख्य भाग कौन कौन से हैं?

उत्तर : कैथोड किरण नली के मुख्य भाग -

(i) इलेक्ट्रॉन गन, (ii) विक्षेपकारी प्लेटें तथा

(iii) प्रतिदीप्त पर्दा हैं।

3. परिनालिका को किस दिशा में रखते हैं व क्यों?

उत्तर : परिनालिका को चुम्बकीय याम्योत्तर में रखते हैं, जिससे पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक भी इलेक्ट्रॉन को वृत्ताकार पथ ही प्रदान करे।

4. परिनालिका का क्या उपयोग है? इसे धारा कहाँ से प्राप्त होता है?

उत्तर : परिनालिका चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न करती हैं। इसे धारा शक्ति प्रदाय से प्राप्त होती है।

5. इस प्रयोग में इलेक्ट्रॉन कौन-कौन से क्षेत्र में गति करता है?

उत्तर : इलेक्ट्रॉन, विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्र में गति करता है।

6. कैथोड नली में रेखा कैसे प्राप्त होती है?

उत्तर : कैथोड नली में प्लेंट X-X या Y-Y पर प्रत्यावर्ती विभव लगाने पर नली के पर्दे पर रेखा प्राप्त होती है।

7. प्रत्यावर्ती विभव लगाने पर प्राप्त रेखा को बिन्दु में कैसे परिवर्तित करते हैं?

उत्तर : पर्दे पर प्राप्त रेखा को आरोपित चुम्बकीय क्षेत्र से पुन: बिन्दु में परिवर्तित करते हैं।

8. कैथोड नली के पर्दे पर कौनसा प्रतिदीप्त पदार्थ लगाते हैं?

उत्तर : कैथोड नली के पर्दे पर जिंक सिलिकेट ($ZnSi0_4$), जिंक सल्फाइड (Zns) या कैलशियम टंगस्टेट ($CaW0_4$) लगाते हैं।

9. चुम्बकीय क्षेत्र के कारण इलेक्ट्रॉन कौनसा पथ अपनाते हैं?

उत्तर : चुम्बकीय क्षेत्र के कारण इलेक्ट्रॉन वृत्ताकार पथ अपनाते हैं।

10. कैथोड किरण नली का क्या सिद्धान्त है?

उत्तर : जब कैथोड किरणें किसी विद्युत क्षेत्र में गति करती हैं तो इसके प्रभाव में कैथोड किरण अपने पथ से विचलित हो जाती हैं। कैथोड किरणों का अपने पथ से विचलन, विद्युत क्षेत्र के अनुक्रमानुपाती होता है।

11. कैथोड किरण तथा X- किरणों में क्या अन्तर होता है?

उत्तर : कैथोड किरणें गतिमान इलेक्ट्रॉनों से बनी होती है। यह किरणें विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्रों से प्रभावित होती हैं। जब त्वरित कैथोड किरणें उचित लक्ष्य (टगंस्टन, मोलिबडिनम) पर गिरती हैं तो X- किरणें उत्पन्न होती हैं। ये किरणें विद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्रों से प्रभावित नहीं होती हैं। ये विद्युत चुम्बकीय तरंगे होती हैं।

12. विशिष्ट आवेश से आप क्या समझते हैं?

उत्तर : इलेक्ट्रॉन के आवेश व द्रव्यमान का अनुपात (e/m) का मान एक निश्चित राशि होती है। इसे विशिष्ट आवेश कहते हैं। इसका मान 1.759×10^{11} कूलॉम / किग्रा होता है।

13. कैथोड किरण नली के पर्दे पर दीप्त धब्बा क्यों प्राप्त होता है?

उत्तर : कैथोड किरण नली में उत्पन्न कैथोड किरणें कैथोड से एनोड की ओर चलकर फोकसन के पश्चात् प्रतिदीप्त पर्दे पर टकराती हैं व दीप्त धब्बा उत्पन्न करती है।

14. कैथोड किरण नली में कैथोड की सतह कैसी होती है व क्यों?

उत्तर : कैथोड किरण नली में कैथोड की सतह अवतल होती है, जिससे कैथोड किरणों के फोकसन में सुविधा होती है।

15. कैथोड किरणों की तरह क्या धन किरणों का विशिष्ट आवेश (e/m) का मान नियत होता है?

उत्तर : धन किरणों के विशिष्ट आवेश का मान नियत नहीं होता है। इसका मान विसर्जन नली में भरी गैस की प्रकृति पर निर्भर करता है।

प्रयोग 8

सर्च कुण्डली व प्रक्षेप गैल्वनोमीटर की सहायता से चुम्बकीय क्षेत्र का मापन करना

(To measure magnetic field with a search coil and a ballistic galvanometer)

प्रयोग की रूपरेखा

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

8.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के बाद आप.

- सर्च कुण्डली के बारे में जानकारी प्राप्त कर सकेंगे;
- भू प्रेरक की उपयोगिता के बारे में जान सकेंगे;
- सर्च कुण्डली, भू प्रेरक तथा गैल्वनोमीटर की सहायता से चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात करने की विधि जान सकेंगे।

8.1 प्रस्तावना (Introduction)

पिछली कक्षाओं में आप प्रक्षेप गैल्वनोमीटर व विद्‌युत चुम्बकीय प्रेरण (electromagnetic induction) के बारे में जानकारी प्राप्त कर चुके हैं। आप जानते हैं कि जब भी प्रक्षेप गैल्वनोमीटर में क्षणिक आवेश अथवा धारा का प्रवाह होता है तो इसमें प्रक्षेप

(विक्षेप) प्राप्त होता है तथा प्रवाहित आवेश का मान प्रक्षेप के अनुक्रमानुपाती होता है। इस प्रयोग में हम सर्च कुण्डली, भू प्रेरक (earth inductor), विद्युत चुम्बक तथा प्रेक्षप गैल्वनोमीटर का उपयोग करके विद्युत चुम्बक (electromagnet) के मध्य चुम्बकीय क्षेत्र का मान ज्ञात करेंगे। यह प्रयोग विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के सिद्धान्त पर आधारित है जिसके अनुसार जब भी किसी कुण्डली में से प्रवाहित फलक्स (flux) का मान परिवर्तित किया जाता है तो उसमें विद्युत वाहक बल प्रेरित होता है जिसके कारण कुण्डली में क्षणिक धारा अथवा आवेश का प्रवाह होता है, यह प्रवाह तब तक ही होता है जब तक कि उसमें से प्रवाहित फ्लक्स परिवर्तित होता है।

प्रयोग को करने के लिये आवश्यक उपकरण तथा सर्च कुण्डली व भू प्रेरक का संक्षिप्त विवरण अनुच्छेद 8.2 में दिया गया है। इस प्रयोग से सम्बन्धित सिद्धान्त तथा सूत्र अनुच्छेद 8.3 में दिये गये हैं। आगामी अनुच्छेद 8.4 में भू प्रेरक का चित्र व प्रयोग करने हेतु परिपथ दिये गये हैं। अनुच्छेद 8.5 में प्रयोग करने की बिन्दुवार विधि समझायी गयी है। अनुच्छेद 8.6 में विभिन्न प्रेक्षणों के लिये सारणी दी गयी है। अनुच्छेद 8.7 में गणना व परिणाम दिये गये हैं। प्रयोग करने के दौरान पूर्वावधान तथा त्रुटियों के स्त्रोतों का उल्लेख अनुच्छेद 8.8 में किया गया है। अनुच्छेद 8.9 में प्रयोग का सारांश दिया गया है। प्रयोग में काम ली गयी महत्वपूर्ण शब्दावली तथा संदर्भ ग्रन्थ क्रमश: अनुच्छेद 8.10 व 8.11 में दिये गये हैं। अन्त में प्रयोग से सम्बन्धित मौखिक प्रश्न व उनके उत्तर अनुच्छेद 8.13 में दिये गये हैं।

8.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

सर्च कुण्डली, प्रक्षेप गैल्वनोमीटर, विद्युत चुम्बक, अमीटर, धारा नियंत्रक, भू प्रेरक, दाब कुंजी (tapping key) संचायक, उच्च प्रतिरोध बाक्स इत्यादि।

उपकरण के बारे में संक्षिप्त जानकारी

सर्च कुण्डली : यह एक ज्ञात, कम फेरों (turns) व अल्प क्षेत्रफल वाली एक लम्बे ताँबे के तार की कुण्डली है, जिसके द्वारा विद्युत चुम्बकीय ध्रुवों (poles) के मध्य चुम्बकीय क्षेत्र ज्ञात किया जा सकता है। यह कुण्डली ताँबे के तार को कुचालक फ्रेम (non conducting frame) पर लपेट कर बनायी जाती है।

फ्रेम में एक हेन्डल (handle) लगा होता है, जिसकी सहायता से उसे किसी भी स्थान पर रखा या हटाया जा सकता है। कुंडली के अन्तिम सिरों पर दोहरे लचीले (twined flexible) तार लगाये जाते हैं।

भू प्रेरक (earth inductor): यह एक ऐसी युक्ति है जिसके द्वारा वृत्ताकार कुण्डली को व्यास के सापेक्ष पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र (earth's magnetic field) में घूर्णित (rotate) करके प्रेरित वि.वा.ब उत्पन्न किया जा सकता है।

इसमें एक बड़ी ज्ञात फेरों वाली वृत्ताकार (circular) कुण्डली होती है। यह कुण्डली वृत्ताकार फ्रेम पर विद्युत रोधी (insulated) ताँबे के तार को लपेट कर बनायी जाती है। इस कुण्डली को चित्र 8.1 में दिखाये अनुसार आयताकार कुचालक फ्रेम पर धुराग्रहों की सहायता से

इस प्रकार लगाया जाती है कि यह कुण्डली व्यास से गुजरने वाले अक्ष के अनुदिश घूर्णित की जा सके। कुण्डली में एक कमानी (spring) लगी होती है जिसका एक सिरा फ्रेम पर लगे एक बटन p से जुड़ा होता है। इस बटन को दबाते ही कुण्डली ठीक 180^0 से घूम सकती है। इस फ्रेम को उर्ध्वाधर व क्षैतिज दोनों प्रकार से रखा जा सकता है अत: इच्छानुसार कुण्डली के घूर्णन अक्ष को उर्ध्वाधर या क्षैतिज रखा जा सकता है कुण्डली के अन्तिम सिरों को दोहरे (twined) व लचीले (flexible) तार की सहायता से फ्रेम पर संयोजक पेच T_1 व T_2 से जोड़ दिया जाता है।

8.3 सिद्धान्त (Theory)

यदि a क्षेत्रफल व n फेरों वाली सर्च कुण्डली को विद्युत चुम्बकीय ध्रुवों के मध्य चुम्बकीय क्षेत्र B में इस प्रकार रखा जाय कि उसका तल क्षेत्र B के अभिलम्बवत् (normal) हो तो उसमें प्रवाहित फ्लक्स का मान anB होगा। यदि सर्च कुण्डली को एकाएक क्षेत्र से बाहर निकाल लिया जाय तो उससे सम्बद्ध फ्लक्स का मान शून्य होगा, फलस्वरूप कुण्डली में फलक्स में परिवर्तन का मान anB होगा जिसके कारण प्रेरित वि.वा.ब (e.m.f) उत्पन्न होगा तथा इसके श्रेणीक्रम में जुडे गैल्वनोमीटर में क्षणिक आवेश प्रवाहित होगा। यदि गैल्वेनोमीटर परिपथ का कुल प्रतिरोध R है तो प्रवाहित आवेश का मान $q = \frac{nBa}{R}$ होगा। इस आवेश के कारण यदि प्रक्षेप गैल्वेनोमीटर में विक्षेप ϕ_B हो तो

$$q = \frac{nBa}{R} = K\phi_B \quad ...(8.1)$$

यहॉ K धारामापी का प्रक्षेप नियतांक (ballistic constant) है जिसका मान ज्ञात न होने पर, K का विलोपन (elemination) भू प्रेरक कुण्डली के उर्ध्वाधर तल को पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक के अभिलम्बवत् रखकर कर सकते हैं। A क्षेत्रफल व N फेरों वाली भू प्रेरक कुण्डली के तल को उर्ध्वाधर (vertical) व पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक H के अभिलम्बवत् रखा जाता है तो कुण्डली के एक पृष्ठ से दूसरे पृष्ठ में से प्रवाहित फ्लक्स का मान NHA के बराबर होगा। अब कुंडली को उर्ध्वाधर अक्ष के सापेक्ष एकाएक 180^0 कोण से घूमा दिया जाय तो इस स्थिति में समान मान का फ्लक्स इसके दूसरे पृष्ठ से पहले पृष्ठ की ओर प्रवाहित होगा अत: इस स्थिति में पहले पृष्ठ से निर्गत फ्लक्स का मान -NHA होगा (क्योंकि पृष्ठ से निर्गत फ्लक्स का मान ऋणात्मक तथा प्रवेश करने वाले फ्लक्स का मान धनात्मक लिया जाता है)

इस प्रकार कुण्डली के प्रथम पृष्ठ से निर्गत फ्लक्स के मान में परिवर्तन

$$NAH - (NAH) = 2NAH$$

होगा जिससे इसके श्रेणीक्रम में जुड़े गैल्वनोमीटर में क्षणिक आवेश प्रवाहित होगा। यदि गैल्वनोमीटर परिपथ का कुल प्रतिरोध R हो तो गैल्वनोमीटर में प्रवाहित आवेश का मान

$$Q = \frac{2NAH}{R}$$

होगा। इस आवेश के कारण यदि प्रक्षेप का मान ϕ_H मे हो तो

$$Q = \frac{2NAH}{R} = K\phi_H \quad ...(8.2)$$

समी. (8.1) व (8.2) से

$$\frac{\frac{nBa}{R}}{\frac{2NAH}{R}} = \frac{\phi_B}{\phi_H}$$

अतः $B = \frac{2NHA}{na}\left(\frac{\phi_B}{\phi_H}\right)$ ....(8.3)

इस सूत्र की सहायता से हम चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता B का मान ज्ञात कर सकते हैं।

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

1. सर्च कुण्डली क्या है?

   _

   _

2. सर्च कुण्डली का क्षेत्रफल कम क्यों रखा जाता है?

   _

   _

3. भू प्रेरक से आप क्या समझते हैं?

   _

   _

4. सर्च कुण्डली व भू प्रेरक की कुंडली के अन्तिम सिरों को दोहरे व लचीले तारों से क्यों जोड़ा जाता है?

   _

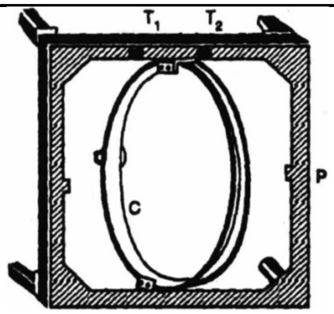
   _

5. भू प्रेरक की कुण्डली से जुड़ी कमानी व बटन का क्या उपयोग है?

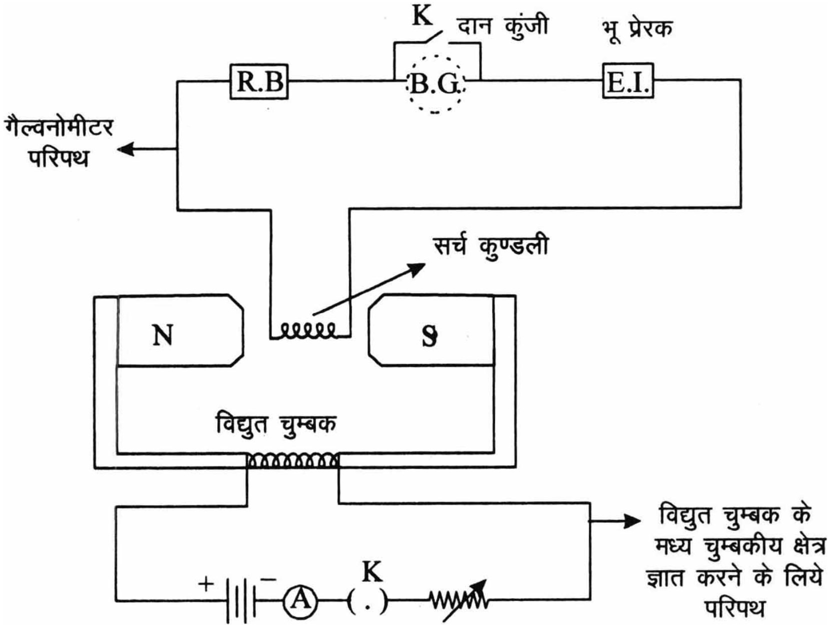
   _

   _

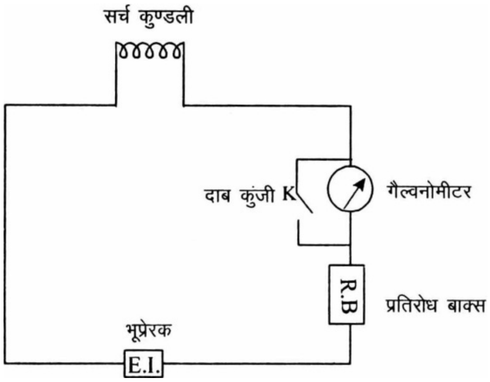
8.4 चित्र (Diagram)



चित्र 8.2 9 भू प्रेरक



चित्र 8.2 ϕ_B ज्ञात करने के लिए परिपथ



चित्र 8.3 ϕ_H ज्ञात करने के लिए परिपथ

8.5 विधि (Method)

(i) चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता जिसका मान आपको ज्ञात करना है उसे उत्पन्न करने के लिये विद्युत चुम्बक (electromagnet) लें। इसमें प्रवाहित होने वाली धारा के अधिकतम (maximum) मान को ध्यान रखते हुए इसे एक दिष्ट धारा स्त्रोत (direct current source) संचायक (battery), धारा नियंत्रक, कुंजी व धारा नापने के लिये अमीटर चित्र 8.2 में दिखाये अनुसार जोड़े।

(ii) चित्र 8.2 में दिखाये अनुसार प्रक्षेप धारामापी, उच्च प्रतिरोध बाक्स R भू प्रेरक तथा सर्च कुण्डली को श्रेणी क्रम में जोड़े। प्रतिरोध R का मान गेल्वनोमीटर के क्रान्तिक अवमंदन प्रतिरोध से अधिक रखें तथा पूर्ण प्रयोग में इसके मान में कोई परिवर्तन न करें।

(iii) प्रक्षेप गैल्वनोमीटर का समायोजन कर देखें कि यह पूर्ण रूप से स्वतंत्र दोलन करने में सक्षम हो।

(iv) सर्च कुण्डली को विद्युत चुम्बक के ध्रुवों मे मध्य इस प्रकार रखें कि इसका तल चुम्बकीय अक्ष के अभिलम्बवत् हो।

(v) कुंजी K को बंद करें जिससे विद्युत चुम्बक में विद्युत धारा प्रवाहित हो तथा उसके मध्य चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न हो। अमीटर द्वारा धारा का मान ज्ञात करें। इस चुम्बकीय क्षेत्र के कारण सर्च कुण्डली में फलक्स प्रवाहित होगा। दाब कुंजी की सहायता से प्रक्षेप धारामापी की कुंडली को स्थिर करें। अब सर्च कुण्डली को एकदम विद्युत चुम्बक के ध्रुवों के मध्य से हटा लें। कुंडली में फ्लक्स परिवर्तन के कारण प्रक्षेप धारामापी में प्राप्त प्रक्षेप ज्ञात करें। यदि प्राप्त प्रक्षेप का मान कम हो तो विद्युत चुम्बक में से प्रवाहित धारा का मान धारा नियंत्रक में प्रतिरोध को परिवर्तित करके बढ़ाये। प्रक्षेप का मान न तो बहुत कम न बहुत अधिक होना चाहिये। धारा के इस मान के लिये दो-तीन बार प्रेक्षण लेकर उसका माध्य ϕ_B ज्ञात करें

(vi) विद्युत चुम्बक में धारा परिवर्तित कर विभिन्न धाराओं के मान के संगत माध्य विक्षेप ज्ञात करें। धारा के मान में परिवर्तन पूर्व धारा के मान से 10% से अधिक नहीं होना चाहिये तथा धारा का मान इस प्रकार परिवर्तित करें कि प्राप्त प्रक्षेप का मान 8 से 16 के मध्य हो।

(vii) अब सर्च कुण्डली को चुम्बकीय ध्रुवों के मध्य से हटाकर अलग रखें परन्तु चित्र 8.3 में दिखाये अनुसार गैल्वनोमीटर परिपथ में लगा रहे। अब भू प्रेरक को इस प्रकार व्यवस्थित करें कि उसका तल उर्ध्वाधर हो तथा चुम्बकीय याम्योत्तर (magnetic meridan) के अभिलम्बवत् हो।

(viii) क्लिप के बटन को दबायें, इससे कुण्डली एकाएक 180^0 से घूम जायेगी व धारामापी में विक्षेप प्राप्त होगा इस विक्षेप का मान नोट करें।

(ix) दाब कुंजी की सहायता से गैल्वनोमीटर की कुंडली को स्थिर व प्रारम्भिक अवस्था में लायें।

(x) भू प्रेरक कुंडली को भी वापस उसकी प्रारम्भिक अवस्था मे लायें तथा बटन को दबाकर वापस कुंडली को 180^0 से घूर्णित करें तथा प्रक्षेप नोट करें। इस प्रकार तीन-चार बार प्रेक्षण लें।

(xi) इन प्रक्षेणों से माध्य ϕ_H का मान ज्ञात करें।

(xii) सर्च कुंडली व भू प्रेरक कुंडली के क्षेत्रफल व फेरों की संख्या भी नोट करें।

8.6 प्रेक्षण (Observations)

(i) सर्च कुण्डली का क्षेत्रफल a= वर्ग मी.

(ii) सर्च कुण्डली में फेरों की संख्या n=

(iii) भू प्रेरक कुंडली का क्षेत्रफल Aवर्ग = मी.

(iv) भू प्रेरक कुंडली में फेरों की संख्या N=

(v) पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज

घटक H का मान (केवल राजस्थान में) $H = 0.33 \times 10^{-4}$ वेबर / मी^{2} (weber/m^2)

(vi) ϕ_B का माध्य मान ज्ञात करने के लिये सारणी :

क्रम सं॰	विद्युत चुम्बक की कुंडली में प्रवाहित धारा)i(एम्पियर में	ϕ_B			मध्य ϕ_B
		1	2	3	
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					

(vii) ϕ_H का माध्य मान ज्ञात करने के लिये सारणी :

क्र. सं.	ϕ_H					मध्य ϕ_H
	1	2	3	4	5	
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						

6.						

8.7 गणना व परिणाम (Calculations and result)

गणना :

(i) H, a, A, n, N, ϕ_B, ϕ_H का मान सूत्र में प्रतिस्थापित करके धारा के सारणी में दिये गये विभिन्न मानों के लिये चुम्बकीय क्षेत्र B का मान ज्ञात करें।

(ii) विद्युत चुम्बक की कुंडली में प्रवाहित धारा व B के मध्य ग्राफ खींचे।

परिणाम :

(i) विद्युत चुम्बक की कुंडली में प्रवाहित धारा व उसके संगत प्राप्त चुम्बकीय क्षेत्र के मान सारणी में दिये अनुसार प्राप्त किये गये।

क्रम संख्या	धारा का मान (एम्पियर में)	चुम्बकीय क्षेत्र का मान (बेबर / मी2)
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

(ii) B व ¡ के मध्य ग्राफ एक सरल रेखा के रूप में प्राप्त किया गया।

8.8 पूर्वावधान एवम् त्रुटियों के स्त्रोत (Precaution and source of error)

पूर्वावधान :

(i) विद्युत चुम्बक में निर्देशित मान से अधिक धारा प्रवाहित नहीं करनी चाहिये।

(ii) प्रतिरोध R का मान गैल्वनोमीटर के क्रान्तिक अवमंदन प्रतिरोध से अधिक होना चाहिये।

(iii) सर्च कुण्डली को विद्युत चुम्बक के ध्रुवों के मध्य इस प्रकार रखें कि उसका तल चुम्बकीय क्षेत्र के अभिलम्बवत् हो।

(iv) गैल्वनोमीटर में प्राप्त विक्षेप का मान 8 से 16 के मध्य रखें।

(v) प्रत्येक प्रक्षेण से पहले गैल्वनोमीटर की कुंडली को दाब कुंजी से विरामावस्था मे लायें।

(vi) गैल्वनोमीटर परिपथ में सर्च कुण्डली व भू प्रेरक कुंडली को संयोजित करने के लिये दोहरे लचीले तारों को प्रयुक्त करना चाहिये।

(vii) सर्च कुंडली का क्षेत्रफल कम होना चाहिये।

(viii) भू प्रेरक का तल चुम्बकीय याम्योत्तर के अभिलम्बवत् होना चाहिये।

(ix) सर्च कुण्डली को चुम्बकीय क्षेत्र से एकदम व एक ही स्थान से हटाना चाहिये।

त्रुटियों के स्रोत

(i) विद्युत चुम्बक में निर्देशित मान से अधिक धारा प्रवाहित नहीं हो।

(ii) प्रतिरोध R का गैल्वनोमीटर के क्रान्तिक अवमंदन से अधिक होना।

(iii) सर्च कुण्डली को चुम्बकीय क्षेत्र के अभिलम्बवत् न रखना।

(iv) प्रत्येक प्रेक्षण के बाद गैल्वनोमीटर की कुंडली को विरामावस्था में न लाना।

(v) सर्च कुंडली को ध्रुवों के मध्य चुम्बकीय क्षेत्र में एक ही स्थान पर न रखना।

(vi) भू प्रेरक कुंडली का तल चुम्बकीय याम्योत्तर में न होना।

8.9 सारांश (Summary)

- सर्च कुण्डली जो एक ज्ञात व कम फेरों तथा अल्प क्षेत्रफल वाली ताँबे के तार की कुंडली होती है, जिसके द्वारा चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता ज्ञात की जा सकती है।
- यह विधि विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के सिद्धान्त पर आधारित है तथा प्रायोगिक रूप से चुम्बकीय क्षेत्र का मान ज्ञात करने के लिये प्रक्षेप धारामापी प्रयुक्त करते हैं।
- प्रयोग में प्रयुक्त प्रक्षेप धारामापी का प्रक्षेप नियतांक ज्ञात करने केर लिये भू प्रेरक कुंडली को काम में लेते है।
- भू प्रेरक कुंडली को व्यास के सापेक्ष पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र में घूर्णित करके प्रेरित विद्युत वाहक बल उत्पन्न किया जा सकता है।

8.10 शब्दावली (Glossary)

अभिलम्बवत्	Normal
उर्ध्वाधर	Vertical component
एकाएक	Suddenly
क्रान्तिक अवमंदन	Critical damping
घूर्णित	Rotate
चुम्बकीय क्षेत्र	Magnetic field
चुम्बकीय याम्योत्तर	Magnetic meridan
तल	Plane
दाब कुंजी	Tapping key
पृथ्वी का चुम्बकीय क्षेत्र	Earth’s magnetic field
प्रक्षेप धारामापी	Ballistic galvanometer
फलक्स	Flux
भू प्रेरक	Earth inductor
विद्युत चुम्बकीय प्रेरण	Electro magnetic induction
विद्युत चुम्बक	Electro magnet
विक्षेप	Deflection

सर्च कुण्डली	Search coil
क्षैतिज घटक	Horizontal component

8.11 संदर्भ ग्रन्थ(Reference books)

प्रभा दशोरा, दीपक भटनागर एवं के. बी. शर्मा	तृतीय वर्ष प्रयोगिक भौतिकी	रमेश बुक डिपो, जयपुर
B.S.Agarwal	Electricity, Magnetism and ElectromagneticTheory	Keder Nath Ram Nath, Meerut
D.Chattopadhyay P.C.Rakshit and S.Saha	An Advance Course in Practical Physics	New Central Book Agency, Calcutta

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

1. यह एक कम फेरों व अल्प क्षेत्रफल वाली कुण्डली है जिसकी सहायता से चुम्बकीय क्षेत्र की तीव्रता ज्ञात कर सकते हैं।
2. चुम्बकीय ध्रुवों के मध्य दूरी कम होने के कारण सर्च कुण्डली का क्षेत्रफल कम रखा जाता है, जिससे ध्रुवों के मध्य बल रेखाएँ इसके पूर्ण क्षेत्रफल पर व्याप्त रहती हैं जिसके फलस्वरूप परिशुद्धता से समान व प्रबल चुम्बकीय क्षेत्र का मापन कर सकते हैं।
3. यह एक ऐसी युक्ति है जिसके द्वारा कुण्डली को व्यास के सापेक्ष पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र में घूर्णित करने पर प्रेरित विद्युत वाहक बल उत्पन्न किया जा सकता है।
4. सर्च कुण्डली व भू प्रेरक की कुण्डलियों के अन्तिम सिरों को दोहरे व लचील तारों से इसलिये जोड़ा जाता है क्योंकि इस प्रकार के तारों में उत्पन्न फलक्स का मान बराबर व विपरीत दिशा में होने से परिणामी फलक्स का मान शून्य होता है। अत: सर्च कुण्डली व भू प्रेरक में उत्पन्न फ्लक्स में इन तारों के फ्लक्स का कोई योगदान नहीं होता है।
5. भू प्रेरक कुण्डली से जुड़ी कमानी व बटन की सहायता से कुण्डली को क्रमश: शीघ्रता व सही 180^0 के कोण से घूर्णित किया जा सकता है।

8.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral Questions and Answers)

1. प्रयोग में फ्लक्स में परिवर्तन शीघ्रता से क्यों किया जाता है?

उत्तर : फ्लक्स में शीघ्रता से परिवर्तन करने पर गैल्वनोमीटर की कुण्डली के माध्य स्थिति से विस्थापित होने सें पूर्व ही पूर्ण आवेश उसमें से प्रवाहित हो सके।

2. क्रान्तिक प्रतिरोध से आप क्या समझते हैं?

उत्तर : क्रान्तिक प्रतिरोध गैल्वनोमीटर का वह प्रतिरोध है जिस पर उसकी कुण्डली की गति अनावर्ती (non peridoic) होती है।

3. प्रयोग में भू प्रेरक से पाठयांक लेते समय सर्च कुण्डली को गैल्वनोमीटर परिपथ में क्यों लगे रहने देते है?

उत्तर : गैल्वनोमीटर परिपथ में सर्च कुण्डली को इसलिये लगे रहने देते हैं जिससे पूर्ण प्रयोग में इस परिपथ का प्रतिरोध समान रहे।

4. प्रयोग में गैल्वनोमीटर परिपथ में कुल प्रतिरोध R का मान समान क्यों रखा जाता है?

उत्तर : R का मान समान रखने पर ही चुम्बकीय क्षेत्र का मान ज्ञात करने हेतु सूत्र वैध (valid) होगा।

5. गैल्वनोमीटर में विक्षेप 8 - 16 के मध्य क्यों रखा जाता है?

उत्तर : इस स्थिति में इसकी कुण्डली का विक्षेपित कोण (angle of deflection) प्रकाश बिन्दु के रेखिक विस्थापन के अनुक्रमानुपाती होता है।

6. गैल्वनोमीटर में विक्षेप फलक्स में कुल परिवर्तन पर निर्भर करता है या फ्लक्स में परिवर्तन की दर पर?

उत्तर : फ्लक्स में कुल परिवर्तन पर।

7. सर्च कुण्डली के तल को चुम्बकीय क्षेत्र के अभिलम्बवत् न रखने पर गैल्वनोमीटर के पाठयांक पर क्या प्रभाव होगा?

उत्तर : चुम्बकीय फलक्स में परिवर्तन अथवा गैल्वनोमीटर में विक्षेप का मान अभिलम्बवत् स्थिति में रखने से प्राप्त मान से कम प्राप्त होगा।

8. सर्च कुण्डली को चुम्बकीय क्षेत्र से शीघ्रता से न हटाने पर क्या प्रभाव पड़ता है?

उत्तर : प्रेरित वि. वा. ब का मान तथा गैल्वनोमीटर में प्राप्त विक्षेप का मान कम व सही नहीं होगा क्योंकि गैल्वनोमीटर की कुंडली में से आवेश के पूर्ण प्रवाह से पहले ही वह अपनी माध्य स्थिति से विस्थापित हो जायेगी।

9. भू प्रेरक कुन्डली को सही 180^0 से न घुमाने पर धारामापी के विक्षेप में क्या परिवर्तन होगा?

उत्तर : इस स्थिति में फ्लक्स में परिवर्तन का मान 2HAN से कम होगा अत: विक्षेप का मान भी कम प्राप्त होगा।

10. भू प्रेरक कुंडली के तल को चुम्बकीय याम्योत्तर के अभिलम्बवत् क्यों रखते हैं?

उत्तर : भू प्रेरक कुंडली के तल को चुम्बकीय याम्योत्तर के अभिलम्बवत् रखने पर कुंडली में से प्रवाहित हाने वाले फलक्स का मान केवल पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक द्वारा ही प्रभावित होता है तथा पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के उर्ध्वाधर घटक का कोई योगदान नहीं होता है।

11. भू प्रेरक कुन्डली को 360^0 से घूमाने पर धारामापी में विक्षेप का मान क्या होगा?

उत्तर : भू प्रेरक कुन्डली को 360^0 से घूमाने पर फलक्स में परिवर्तन शून्य होगा अत: धारामापी में विक्षेप शून्य होगा।

12. धारामापी व विद्युत चुम्बक को भू प्रेरक से दूर क्यों रखा जाता हैं?

उत्तर : धारामापी व विद्युत चुम्बक भू प्रेरक से दूर इसलिये रखते हैं ताकि धारामापी व विद्युत चुम्बक के फलक्स का भू प्रेरक कुण्डली के फलक्स में कोई योगदान न हो।

13. पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज घटक से आप क्या समझते हैं?

उत्तर : पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र की तीवता के, क्षैतिज दिशा के अनुदिश घटक को पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र का क्षैतिज घटक कहते हैं।

14. प्रयोग में भू प्रेरक कुंडली के घूर्णन अक्ष को उर्ध्वाधर न रखकर क्षैतिज रखने पर फलक्स परिवर्तन पर क्या प्रभाव होगा?

उत्तर : इस स्थिति में रखने पर पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र के क्षैतिज व उर्ध्वाधर घटक दोनों का योगदान (contribution) होगा।

15. सर्च कुण्डली को क्या उपयोगिता है?

उत्तर : इसकी सहायता से परिशुद्धता से प्रबल चुम्बकीय क्षेत्र का मान ज्ञात किया जा सकता है।

16. प्रेरित आवेश का मान गैल्वनोमीटर परिपथ के प्रतिरोध R पर किस प्रकार निर्भर करता है?

उत्तर : प्रेरित आवेश का मान प्रतिरोध R के व्युत्क्रमानुपाती होता है।

17. प्रक्षेप नियतांक K से आप क्या समझते हैं?

उत्तर : यह एक नियतांक है जिसका गैल्वनोमीटर में प्राप्त विक्षेप से गुणनफल करने पर उसमें प्रवाहित आवेश का मान ज्ञात किया जा सकता है।

18. गैल्वनोमीटर की कुंडली उसमें से आवेश प्रवाहित होने के पश्चात् दोलन क्यों नहीं करती है?

उत्तर : कुंडली (गैल्वनोमीटर) के भू प्रेरक के साथ बंद परिपथ में होने के कारण कुंडली में फलक्स परिवर्तन से उत्पन्न प्रेरित धाराओं के फलस्वरूप उसके दोलन अवमंदित हो जाते हैं।

19. प्रयोग में आप उच्च प्रतिरोध, का गैल्वनोमीटर काम में लेना चाहेंगे अथवा न्यून प्रतिरोध का व क्यों?

उत्तर : कम प्रतिरोध का गैल्वनोमीटर क्योंकि गैल्वनोमीटर में प्राप्त विक्षेप का मान अथवा प्रवाहित आवेश का मान गैल्वनोमीटर परिपथ के कुल प्रतिरोध के व्युत्क्रमानुपाती होता है अत: कम प्रतिरोध वाले गैल्वनोमीटर को काम में लेने पर उसमें से प्रवाहित प्रेरित आवेश अथवा विक्षेप का मान अधिक होगा।

प्रयोग - 9

50 H_Z आवृति पर R-C संचरण लाइन का अध्ययन करना (Study of R-C transmission line at 50 H_Z frequency)

प्रयोग की रूपरेखा

9.0 उद्देश्य
9.1 प्रस्तावना
9.2 आवश्यक उपकरण
9.3 सिद्धान्त
9.4 परिपथ चित्र
9.5 विधि
9.6 प्रेक्षण
9.7 गणना व परिणाम
9.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्त्रोत
9.9 सारांश
9.10 शब्दावली
9.11 संदर्भ ग्रन्थ
9.12 बोध प्रश्नों के उत्तर
9.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

9.0 उद्देश्य (Objective)

इस प्रयोग को करने के पश्चात् आप

- संचरण लाइन की क्रिया विधि समझ पायेंगे;
- संचरण लाइन को प्रयोगशाला में बना सकेंगे;
- संचरण लाइन के विभिन्न गुणांकों के बारे में जानकारी प्राप्त कर सकेंगे;
- संचरण लाईन के विभिन्न स्थानों पर वोल्टता तथा धारा के मान ज्ञात कर सकेंगे।

9.1 प्रस्तावना (Introduction)

सामान्य जीवन में हमें विद्युत उर्जा को एक स्थान से दूसरे तक संचरित करने की आवश्यकता पड़ती है। इसके लिये प्रयुक्त किये जाने वाली युक्ति में अवमंदन का मान कम से कम होना चाहिये।

संचरण लाइन इसी प्रकार की युक्ति होती है। अनुच्छेद 9.2 में R-C संचरण लाइन का अध्ययन करने के लिये आवश्यक उपकरण बताये गये है। इसके लिये आवश्यक सिद्धान्त की

विवेचना अनुच्छेद 9.3 में की गई है। आवश्यक परिपथ चित्र को अनुच्छेद 9.4 में दर्शाया गया है। प्रयुक्त विधि की व्याख्या अनुच्छेद 9.5 में की गई है। इस विधि से प्राप्त प्रेक्षण को अंकित करने के लिए अनुच्छेद 9.6 में सारणी दी गई है।

अनुच्छेद 9.7 के अनुसार गणना की जाती है। इस प्रयोग को करते समय रखे गये पूर्वावधान व त्रुटियों के स्त्रोत को अनुच्छेद 9.8 में दिया गया है। अनुच्छेद 9.13 में कुछ मौखिक प्रश्नों को उत्तर सहित दिया गया हैं।

9.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

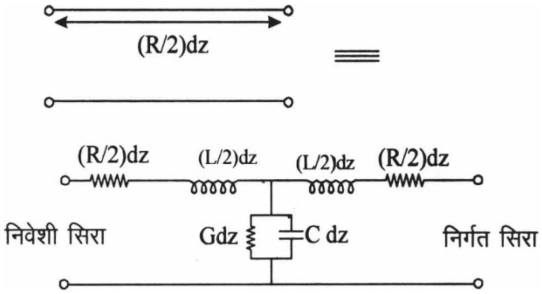
ट्राँसफार्मर, समान मान के प्रतिरोध एवं संघारित्र या R-C संचरण लाईन का ट्रेनिंग बोर्ड, VTVM, तार आदि।

9.3 सिद्धान्त (Theory)

संचरण लाइन एक ऐसी युक्ति होती है जिसकी सहायता से विधुत उर्जा या सकेंतो को दूसरे स्थान तक न्यूनतम अवमंदन के साथ संचरित किया जाता है। संचरण लाइन कई प्रकार की हो सकती हैं जैसे दो समानान्तर तारों वाली संचरण लाइन, समाक्ष संचरण लाइन, तरंग पथक आदि। निवेशी संकेतों की आवृति के अनुसार संचरण लाइन का चयन किया जाता है। किसी भी प्रकार की संचरण लाईन के एक सिरे पर विद्युत उर्जा प्रदान की जाती है इस सिरे को निवेशी सिरा कहा जाता है। दूसरे सिरे पर लोड लगाया जाता है, इस सिरे को संग्राही, सिरा कहा जाता है।

संचरण लाईन में प्रतिरोध, (R) प्रेरकत्व, (L) धारिता (C) एवं क्षरण चालकता (G) समान रूप से सम्पूर्ण लाईन पर वितरित होते है। इन नियतांकों की सहायता से संचरण लाइन पर विभिन्न स्थानों पर वोल्टता / धारा के मान सैद्धान्तिक रूप से ज्ञात किये जा सकते है।

चित्र 9.1 में dz लम्बाई की संचरण लाईन के विभिन्न नियतांकों को दर्शाया गया है।



चित्र 9.1

यदि संचरण लाइन के प्रति एकांक लम्बाई के वितरित प्रतिरोध, प्रेरकत्व, धारिता एवं चालकत्व क्रमश R,L,C, तथा G हो एवं इस लाईन पर ω कोणीय आवृति की धारा / वोल्टता तरंगें संचरित होती हो तो प्रति एकांक लम्बाई की

श्रेणी प्रतिबाधा $Z = R + i\omega L$ ......(9.1a)

शंट प्रवेश्यता $Y = G + i\omega C$ ......(9.1b)

इस संचरण लाइन का संचरण नियतांक $\gamma=\sqrt{ZY}$ से दिया जाता है। यह नियतांक इस लाईन पर संचरित होने वाली धारा / वोल्टता तरंगों के गमन के बारे में बताता है। यह एक सम्मिश्र राशि होती है।

$$\gamma=\sqrt{ZY}$$

$$=\sqrt{(R+i\omega L)(G+i\omega C)} \quad ...(9.2)$$

$$=\alpha+i\beta \quad ...(9.3)$$

समीकरण 9.3 के वास्तविक भाग α को क्षीणन गुणांक कहा जाता है यह संचरण लाइन पर वोल्टता / धारा के आयाम परिवर्तन (कमी) की दर दर्शाता है। जबकि काल्पनिक भाग (β) तरगों में कला परिवर्तन की दर दर्शाता है। समीकरण (9.2) तथा (9.3) को हल करके α व β का मान निम्न ज्ञात किया जाता है।

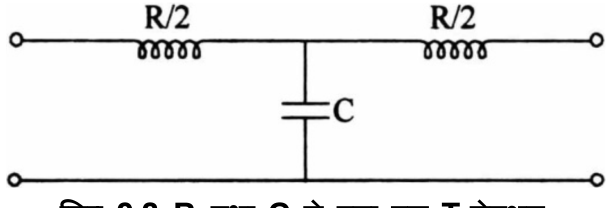
$$\alpha=\left[\frac{\left[\left(CR^2+\omega^2L^2\right)\left(G^2+\omega^2C^2\right)\right]^{1/2}+\left(RG-\omega^2LC\right)}{2}\right]^{1/2} \text{ नेपर / मी.} \quad ......(9.4)$$

$$\beta=\left[\frac{\left[\left(CR^2+\omega^2L^2\right)\left(G^2+\omega^2C^2\right)\right]^{1/2}-\left(RG-\omega^2LC\right)}{2}\right]^{1/2} \text{ रेडियन /मी.} \quad ......(9.5)$$

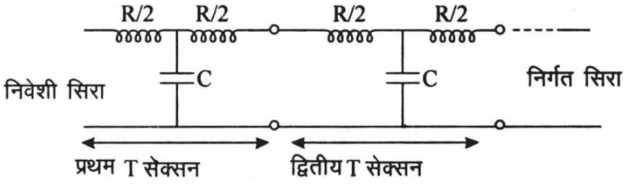
संचरण लाइन के प्रत्येक बिन्दु पर वोल्टता तथा धारा का अनुपात नियत होता है यह मान संचरण लाईन की अभिलाक्षणिक प्रतिबाधा (Z_0) कहलाता है। तथा यह निम्न सूत्र मे दिया जाता है।

$$Z_0=\sqrt{\frac{Z}{Y}}=\sqrt{\frac{(R+i\omega L)}{(G+i\omega C)}} \quad ...(9.6)$$

Z_0 का मान R,L,G,C तथा ω के मान पर निर्भर करता है। यह संचरण लाइन की लम्बाई तथा लोड प्रतिरोध पर निर्भर नही करता है। कम आवृति की तरंगों के लिये दो समानान्तर तारों वाली संचरण लाइन को काम में लाया जाता है। इसे कृत्रिम रूप से प्रयोगशाला में बनाने के लिये प्रतिरोध (R) तथा धारिता (C) को चित्र 9.2 के अनुसार T सेक्सन के रूप में जोड़ा जाता है। तथा इसी प्रकार के 20 अन्य सेक्सन का निर्माण किया जाता हैं। इन्हें आपस में संबधित किया जा सकता है।



चित्र 9.2 R तथा C से बना एक T-सेक्शन



चित्र 9.3 RC- संचरण लाईन (कई सेक्शन के रूप में)

यदि श्रेणी क्रम में जुडे T सेक्सनों की संख्या n हो तथा V_{in} तथा V_o क्रमशः निवेशी तथा निर्गत वोल्टताएं हो तो संचरण लाइन के लिये

$$n\gamma = \log_e \frac{V_{in}}{V_o}$$

तब $$\frac{V_{in}}{V_o} = \exp(n\gamma) = \exp\left(n(\alpha + i\beta)\right) \qquad ...(9.7)$$

यानि यदि किसी संचरण लाइन में प्रवेश करते समय विभव का मान V_{in} हो तो एकाँक लम्बाई के बाद विभव का मान α क्षीण होगा एवं कला नियतांक β से कम हो जायेगा।

नोट : इस प्रयोग में α व β के मान प्रति एकाँक लम्बाई के स्थान पर प्रति सेक्शन के लिये गये हैं। संचरण लाइन को बनाते समय G व L के मान को शून्य माना गया है। तब समीकरण 9.5 में L व G का मान रखने पर

$$\beta = \left(\frac{R\omega C}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \text{ रेडियन / सेक्शन} \qquad ...(9.8)$$

या $$= \left(\frac{R\omega C}{2}\right)^{-\frac{1}{2}} \times \frac{180}{\pi} \quad \text{डिग्री} \qquad ...(9.9)$$

तब n सेक्शन से बाहर निकलने के बाद R-C संचरण लाइन का कला नियतांक

$$\beta_n = n\beta \qquad ...(9.10)$$

RC संचरण लाइन के लिये कला विस्थापन β तथा क्षीणम (α) के मध्य निम्न समी. प्राप्त होता है।

$$\alpha_n = \exp(-\beta n) \qquad ...(9.11)$$

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

1. संचरण लाइन किसे कहते है।

_ _

_ _

2. संचरण लाइन की श्रेणी प्रतिबाधा तथा शंट प्रवेश्यता कितनी होती है?

_ _

_ _

3. संचरण लाइन का संचरण नियंताक का मान कितना होता है?

_ _

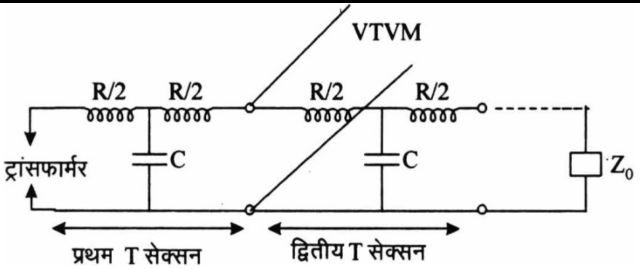
_ _

4. संचरण लाइन की अभिलाक्षणिक प्रतिबाधा का मान किस बात पर निर्भर नहीं करता है?

_ _

_ _

9.4 परिपथ चित्र (Circuit diagram)



चित्र 9.4 कई T- सेक्शन वाली संचरण लाईन का परिपथ चित्र

9.5 विधि (Method)

(i) चित्र 9.4 के अनुसार परिपथ बनाइये। इसके लिये समान मान के प्रतिरोध तथा संघारित्र को चित्रानुसार T रूप में आपस में जोड़िये। इसके लिए आप इलेक्ट्रानिक ट्रेनिंग बोर्ड को भी काम मे ले सकते हैं।

(ii) किसी ट्रांसफार्मर की द्वितीयक कुण्डली से प्रथम R-C T सेक्शन के निवेशी सिरों को जोड़िये।

(iii) प्रथम R-C T सेक्शन के निर्गत सिरों पर VTVM की सहायता के विभव का मापन कीजिये। इस स्थिति में अन्य T- सेक्शन प्रथम सेक्सन से जुडे नहीं होने चाहिये।

(iv) अब द्वितीय R-C सेक्शन को प्रथम सेक्शन के निर्गत से जोड़िये। द्वितीय सेक्शन के निर्गत पर वोल्टता ज्ञात कीजिये।

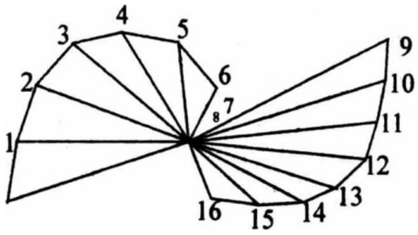
(v) चतुर्थ क्रम (iv) के अनुसार सभी 20 T सेक्शन के लिये पुनरावृति कीजिये। प्रत्येक सेक्शन पर निर्गत वोल्टता का मान ज्ञात कीजिये।

(vi) समीकरण 9.9 की सहायता से β का मान ज्ञात कीजिये।

(vii) इसके बाद समीकरण 9.10 की सहायता से प्रत्येक सेक्शन के लिये कला नियंताक (β_n) का मान ज्ञात कीजिये।

(viii) सभी सेक्शन के लिये प्राप्त वोल्टता तथा कला नियंताक के मध्य ग्राफ खींचिये। यह चित्र 9.5 के अनुसार प्राप्त होता है। 8 सेक्शन के बाद वोल्टता के मान को एक निश्चित मान से गुणा करते हैं, क्योंकि प्राप्त प्रेक्षण का मान काफी कम हो जाता है।

(ix) समीकरण 9.11 की सहायता से प्रत्येक T सेक्सन के लिये क्षीणन (α_n) का मान भी ज्ञात कीजिये।



चित्र 9.5R-C T सेक्शन जाल में वोल्टता तथा कला का विवरण

9.6 प्रेक्षण (Observations)

1. प्रतिरोध R = —— $k\Omega = Z_1$
2. धारिता C= —— माइक्रो फैरड

$$Z_2 = \frac{1}{2\pi fC} = k\Omega$$

3. निवेशी वोल्टता V= वोल्ट

प्रेक्षण सारणी

क्रम सं.	सेक्शन	निर्गत वोल्टता (वोल्ट)	कला कोण $\beta_n = n\beta$			क्षीणन
			β_n	डिग्री	रेडियन	$\alpha_n = \exp(-\beta_n)$
1	1		$\beta_1 = \beta$			
2	2		$\beta_2 = 2\beta$			
3	3		$\beta_3 = 3\beta$			
:						
20	20		$\beta_{20} = 20\beta$			

9.7 गणना व परिणाम (Calculation and result)

गणना

$$Z_1 = R + i\omega L = R = ...k\Omega \quad \text{तथा} \quad Z_2 = \frac{1}{G+i\omega C} = \frac{1}{i\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} ...k\Omega$$

की सहायता से Z_1 तथा Z_2 का मान ज्ञात कीजिये। इस स्थिति में L व G के मान को शून्य लिया जायेगा।

अब $$\beta = \left(\frac{R\omega C}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \times \frac{180^0}{\pi}$$ तथा

$\alpha_n = \exp(-\beta n)$ की सहायता से α तथा β के मान ज्ञात कीजिये।

परिणाम

R-C संचरण लाइन के लिये वोल्टता तथा कला का T सेक्शन की संख्या के साथ परिवर्तन का ग्राफ चित्रानुसार प्राप्त हुआ। वोल्टता के मान में सेक्शन के क्रम बढ़ने के साथ कमी तथा कला कोण में वृद्धि होती है।

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

5. β का मान किस सूत्र मे ज्ञात किया जाता है।

_ _

_ _

6. T सेक्शन के बढ़ने के साथ-साथ कला नियतांक के मान में ... होती है।

_ _

_ _

9.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्त्रोत (Precautions and source of errors)

पूर्वावधान :

(1) संयोजन सुदृढ़ होने चाहिये।

(2) VTVM का शून्य सही संमजित होने चाहिये।

(3) R तथा C का मान सही ज्ञात होने चाहिये।

(4) उर्जा हानियां कम होनी चाहिये।

त्रुटियों के स्त्रोत

(1) पैमाने की शून्यांक त्रुटि का भली भांति निराकरण न होना।

(2) उचित परास के उपकरणों 'का प्रयोग न करना।

(3) संयोजन सुदृढ नहीं होना।

9.9 सारांश (Summary)

- R-C संचरण लाईन का अध्ययन विभिन्न T सेक्शन की सहायता से किया जाता है।
- यह पाया जाता है कि सेक्शन क्रमांक बढ़ने के साथ-साथ वोल्टता के मान में कमी होती जाती है तथा कला कोण का मान बढता जाता है।

9.10 शब्दावली (Glossary)

अवमंदन	Attenuation
आयाम	Amplitude
आवृति	Frequency
कला	Phase

ट्रांसफार्मर	Transformer
समाक्ष संचरण लाईन	Coaxial transmission line
संचरण नियताक	Propagation constant
संघारित्र	Capacitor

9.11 सन्दर्भ ग्रन्थ (Reference books)

प्रभा दशोरा, दीपक भटनागर एवं के. बी. शर्मा	तृतीय वर्ष प्रायोगिक भौतिकी	रमेश बुक डिपो, जयपुर
S.L.Gupta and V.Kumar	Hand books of Electronics	Pragati Prakashan, Meerut

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

1. संचरण लाईन एक ऐसी युक्ति है जिसकी सहायता से विद्युत उर्जा या संकेतों को एक स्थान से दूसरे स्थान तक संचरित किया जा सकता है।
2. श्रेणी प्रतिबाधा $Z = R + i\omega L$
3. शंट प्रवेश्यता $Y = G + i\omega C$
4. $\gamma = \sqrt{ZY}$
5. संचरण लाइन की लम्बाई तथा लोड प्रतिरोध पर

$$\beta = \left(\frac{R\omega C}{2}\right)^{\frac{1}{2}} \times \frac{180}{\pi}$$

6. वृद्धि

9.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral questions and answers)

1. संचरण लाइन क्या है?

उत्तर: संचरण लाईन एक ऐसी युक्ति है जो विद्युत उर्जा को एक बिन्दु से अन्य बिन्दु तक कम अवमंदन के साथ संचरित करती है।

2. संचरण लाइन कितने प्रकार की होती हैं?

उत्तर: (i) दो समानान्तर तार वाली संचरण लाइन (ii) समाक्ष संचरण लाइन (iii)तरंग पथक

3. लाक्षणिक प्रतिबाधा क्या होती है?

उत्तर: संचरण लाइन के प्रत्येक बिन्दु पर वोल्टता तथा धारा के अनुपात को लाक्षणिक प्रतिबाधा कहा जाता है।

4. संचरण लाइन के लिये विभिन्न वितरित राशियाँ कौनसी होती है?

उत्तर: (i)R (ii)L (iii)G (iv)C

5. संचरण लाइन में कौनसी हानियां संभव हैं?

उत्तर: उष्मा हानि, परावैद्युत उर्जा हानि आदि।

6. संचरण नियंताक के वास्तविक व काल्पनिक भाग क्या है?

उत्तर: संचरण नियंताक के दो भाग होते हैं इसका वास्तविक भाग इस बात को दर्शाता है कि संचरण रेखा पर वोल्टता तथा धारा की तरंगों का आयाम किस दर से घटता है। जबकि काल्पनिक भाग यह दर्शाता है कि तरंगों की कला किस दर से परिवर्तित होती है।

प्रयोग-10

L-C संचरण लाइन का एक निश्चित आवृति पर अध्ययन करना

(To study LC transmission at fixed frequency)

प्रयोग की रूपरेखा

10.0 उद्देश्य
10.1 प्रस्तावना
10.2 आवश्यक उपकरण
10.3 सिद्धान्त
10.4 परिपथ चित्र
10.5 विधि
10.6 प्रेक्षण
10.7 गणना व परिणाम
10.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्त्रोत
10.9 सारांश
10.10 शब्दावली
10.11 संदर्भ ग्रन्थ
10.12 बोध प्रश्नों के उत्तर
10.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

10.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के बाद आप

- L-C संचरण लाइन के बारे में जानकारी प्राप्त करेंगे,
- L-C संचरण लाइन की क्रिया विधि समझ पायेंगे;
- L-C तथा R-C संरचण लाइन के बीच अंतर बता सकेंगे;
- L-C संरचण लाइन के विभिन्न परिस्थितियों में निर्गत विभव को समझा पायेंगे।

10.1 प्रस्तावना (Introduction)

प्रयोग 9 में आप RC संचरण लाइन के बारे में अध्ययन कर चुके हैं। RC संचरण लाइन कम निवेशी आवृति के लिये लाभप्रद होती है। जब आवृति का मान बढ़ाया जाता है तब प्रतिरोध R के कारण ऊष्मा हानि अधिक हो

जाती है। उस परिस्थिति में RC के स्थान पर LC संचरण लाइन काम मे लायी जाती है। LC संचरण लाइन में अभिलाक्षणिक प्रतिबाधा का मान आपतित आवृति पर निर्भर नहीं करता है।

LC संचरण लाइन के अध्ययन करने के लिये आवश्यक उपकरण अनुच्छेद 10.2 में बताये गये हैं। आवश्यक सिद्धान्त की विवेचना अनुच्छेद 10.3 में की गई है। इस प्रयोग को करने हेतु अनुच्छेद 10.4 के अनुसार परिपथ चित्र बनाकर अनुच्छेद 10.5 में दर्शायी विधि के अनुसार प्रयोग करते हैं। तथा अनुच्छेद 10.6 में दी गई प्रेक्षण सारणी में प्रेक्षण नोट करते हैं।

अनुच्छेद 10.7 के अनुसार विभिन्न परिपथ विन्यासों के लिए विभव तथा सेक्शन संख्या के बीच वक्र खींचे जाते हैं।

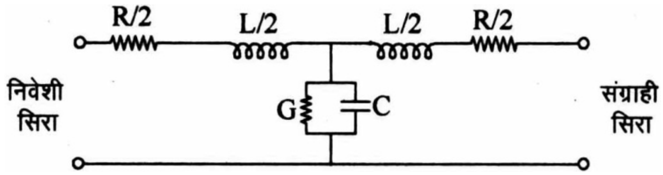
इस प्रयोग को करते समय रखे गये पूर्वावधान व त्रुटियों के स्त्रोत के अनुच्छेद 10.8 में तथा मौखिक प्रश्नों को उत्तर सहित अनुच्छेद 10.13 में दिया गया है।

10.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

समान L तथा C मान के 20 सेक्शन, या ट्रेनिंग बोर्ड, परिवर्ती निवेशी आवृति दोलित्र (VTVM) या प्रत्यावर्ती वोल्टमीटर, संयोजन तार आदि

10.3 सिद्धान्त (Theory)

प्रयोग 9 में आप संचरण लाइन के बारे में अध्ययन कर चुके हैं। किसी संचरण लाइन को चार घटकों क्रमशः वितरित प्रतिरोध R, प्रेरकत्व L, धारिता C तथा चालकत्व G से दर्शाया जाता है।



चित्र 10.1 संचरण लाईन

संचरण लाइन की अभिलाक्षणिक प्रतिबाधा Z_0 निम्न सूत्र से बताई जाती है।

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R+i\omega L}{G+i\omega C}} = \sqrt{\frac{(R+i\omega L)(G-i\omega C)}{G^2+\omega^2 C^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{(RG+\omega^2 LC)+i\omega(LC-RC)}{G^2+\omega^2 C^2}} \quad ......(10.1)$$

इसके अलावा संचरण नियंताक γ को निम्न प्रकार दर्शाया जाता है।

$$\gamma = \alpha + i\beta \quad .....(10.2)$$

जहाँ $\alpha = \left[\frac{\left[\left(R^2 + \omega^2 L^2 \right)\left(G^2 + \omega^2 C^2 \right) \right]^{1/2} + \left(RG - \omega^2 LC \right)}{2} \right]^{1/2}$ नेपर / मी.......(10.3)

तथा $\beta = \left[\frac{\left[\left(R^2 + \omega^2 L^2 \right)\left(G^2 + \omega^2 C^2 \right) \right]^{1/2} - \left(RG - \omega^2 LC \right)}{2} \right]^{1/2}$ रेडियन / मी ..(10.4)

प्रयोग 9 में आपने RC संचरण लाइन का अध्ययन किया था। जिसमें L तथा G के मान को शून्य मानकर $Z_{0,}$ α तथा β के मान ज्ञात किये गये थे।

उपरोक्त संचरण लाइन α व β के मान निवेशी आवृति के मान बढ़ने के साथ-साथ बढ़ते जाते हैं। साथ ही आवृति बढ़ने के साथ प्रतिरोध के कारण उष्मा हानि भी बढ़ती जाती है। अर्थात RC लाईन अधिक आवृति के लिये उपयुक्त नहीं है। किसी संचरण लाइन के क्षीणन गुणांक α का मान आवृति पर निर्भर नहीं करना चाहिये। इसके अलावा β का मान आवृति के साथ रेखीय रूप से परिवर्तित होना चाहिये।

सैद्धान्तिक रूप से ये मान निम्न प्रकार प्राप्त किये जा सकते हैं।

R = 0 तथा G = 0

इस स्थिति में समी. 10.3 तथा 10.4 की सहायता से

$$\alpha = 0; \beta = \omega\sqrt{LC} \qquad ....(10.5)$$

यह एक आदर्श अवस्था है जिसे प्राप्त करना असंभव होता है। यदि निवेशी आवृति को बढ़ा दिया जाये तथा आदर्श परावैद्युत पदार्थ को काम मे लिया जाये तो $\omega L >> R$ तथा $\omega C >> G$ की स्थिति प्राप्त की जा सकती है।

इस स्थिति में संचरण लाइन को LC संचरण लाइन कहा जाता है।

किसी संचरण लाइन का मुख्य कार्य निवेशी ऊर्जा को लोड तक स्थानान्तरित करना होता है। लोड को अधिकतम ऊर्जा देने के लिये दो बातों का ध्यान रखना होता है।

क्षीणन गुणांक α का मान न्यूनतम हो

संचरण लाइन को उचित मान की प्रतिबाधा से बंद किया जाये।

लोड का मान तथा प्रकृति उसे प्रदान की जाने वाली ऊर्जा के मान को प्रभावित करता है। किसी संचरण लाइन के परावर्तन गुणांक ρ का मान निम्न सूत्र से दिया जाता है।

$$|\rho| = \frac{Z_R - Z_0}{Z_R + Z_0} = \frac{\text{परावर्तित विभव}}{\text{आपतित विभव}} \qquad ......(10.6)$$

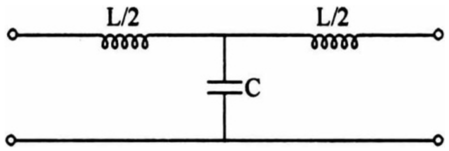
जहां Z_0 = लाक्षणिक प्रतिबाधा

Z_R = टर्मिनल लोड

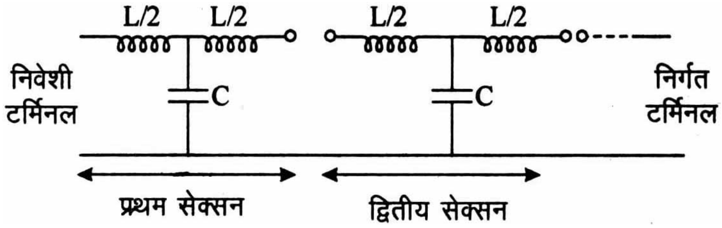
यदि Z_R = Z_0 अर्थात संचरण लाइन की अभिलाक्षणिक प्रतिबाधा तथा टर्मिनल प्रतिबाधा का मान समान हो तो ρ = 0 यानि ऊर्जा का कोई भाग लोड से परावर्तित नहीं होगा तथा लोड अधिकतम ऊर्जा प्राप्त करेगा।

Z_R व Z_0 के मान में अंतर होने पर $|\rho|$ का मान शून्य से अधिक होता है अर्थात इस स्थिति में परावर्तित तरंगें उत्पन्न होती हैं जो आपतित तरंगों से मिलकर अप्रगामी तरंगो का निर्माण करती हैं।

कृत्रिम LC संचरण लाइन बनाने के लिये समान तथा शुद्ध L तथा C को T प्रकार के सेक्शन के रूप. में जोड़ा जाता है चित्र (10.2)। इस प्रकार के कई समान सेक्सन बनाये जाते हैं चित्र (10.3)



चित्र 10.2 L-C संचरण लाइन



चित्र 10.3

ऊर्जा हानि को नगण्य बनाने के लिये R के मान को शून्य माना जाता है। इस प्रकार बनी LC संचरण लाइन में वोल्टता तथा धारा के वितरण का प्रभाव भिन्न-भिन्न परिस्थितियों में भिन्न-भिन्न होता है। ये भिन्न परिस्थितियाँ खुला परिपथ (अनन्त प्रतिरोध), लघुपथित परिपथ (शून्य प्रतिरोध) तथा अभिलाक्षणिक प्रतिबाधा से अंत की हुई संचरण लाइन होती है।

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

1. संचरण लाइन की अभिलाक्षणिक प्रतिबाधा का सूत्र लिखिये।

   _

   _

2. LC संचरण लाइन में   का मान आवृति के साथ बढ़ता / कम होती है?

   _

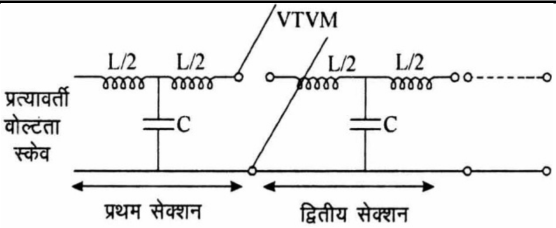
   _

3. लोड को अधिकतम ऊर्जा देने के लिये उसे निम्न मान की प्रतिबाधा के साथ बंद किया जाना चाहिये

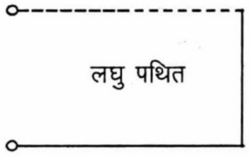
   _

   _

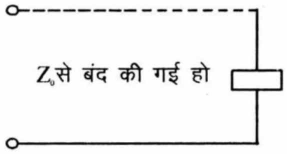
10.4 परिपथ चित्र (Circuit diagram)



(अ)



(ब)



(स)

10.5 विधि (Method)

(अ) खुला परिपथ संचरण रेखा

(i) चित्र 10.4 के अनुसार कृत्रिम संचरण लाइन की रचना कीजिये। इसके स्थान पर इलेक्ट्रानिक ट्रेनिंग बोर्ड को काम में लिया जा सकता है।

(ii) सभी T सेक्शन को आपस में चालक तार से जोड़ दीजिये।

(iii) इस स्थिति में निर्गत सिरे को खुला रखना है ताकि लोड प्रतिरोध का मान अनन्त हो जाये।

(iv) संचरण लाइन पर 1 किलो हर्टज् की निवेशी आवृति लगा दीजिये इसकी वोल्टता का मान 1 वोल्ट का होना चाहिये

(v) इस स्थिति में प्रत्येक सेक्शन पर वोल्टता का मान VTVM या प्रत्यावर्ती वोल्टमीटर से ज्ञात कीजिये।

(vi) इस प्रकार प्राप्त प्रेक्षणों को प्रेक्षण सारणी में उपयुक्त स्थान पर लिखिये।

(ब) लघुपथित संचरण रेखा

(vii) विधि से बनी संचरण के निर्गत सिरों को किसी चालक तार से जोड़ दीजिये।

(viii) पद (v) तथा (vi) को दोहराइये तथा ये मान सारणी में उपयुक्त स्थान पर लिख दीजिये।

(स) विकृति रहित संचरण लाइन

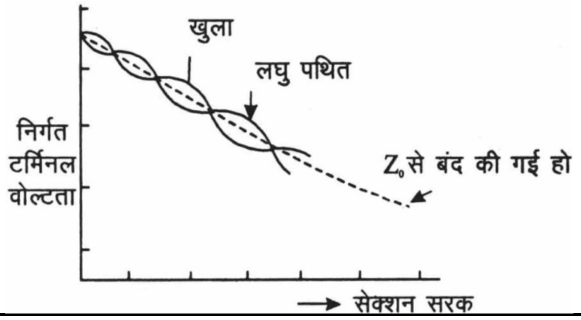
(ix) $Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$ का मान ज्ञात कीजिये।

(x) Z_0 का यह मान संचरण लाइन के निर्गत सिरों पर लगा दीजिये।

(xi) पद (v) तथा (vi) को दोहराइये।

(xii) खुला परिपथ, लघुपथित तथा विकृति रहित संचरण लाइन के प्रत्येक सेक्शन पर प्राप्त वोल्टता का मान एक ही ग्राफ पर खींचे यह ग्राफ चित्र 10.5 के अनुसार प्राप्त होता है।

(xiii) दोलित्र से निवेशी आवृति को परिवर्तित करके प्रयोग को दोहराइये।



10.6 प्रेक्षण (Observations)

(i) प्रेरकत्व (L)= हेनरी

(ii) संघारित्र (C)= फैरड

(iii) निवेशी आवृति = हर्टज

(iv) निवेशी वोल्टता = वोल्ट

क्रम सं.	सेक्सन क्रमाक	निर्गत वोल्टता जब संचरण लाइन का निर्गत		
		खुला है (वोल्ट)	बन्द है (वोल्ट)	Z_0 को बंद है (वोल्ट)
1	1			
2	2			
3	3			
4	4			
5	5			
:	:			
20	20			

10.7 गणना एवं परिणाम (Calculation and result)

गणना

नोट : (α व β के मान प्रति मीटर के स्थान पर प्रति सेक्सन लिया गया है)

श्रेणी प्रतिबाधा $Z = R + i\omega L = i\omega L$ ......ओम

शंट प्रवेश्यता $Y = G + i\omega C = i\omega C$ ....म्हो

समी. 10.3 से α = ... नेपर / सेक्शन

समी. 10.4 से β = ... रेडियन / सेक्शन

संचरण वेग $v = \frac{w}{\beta} =$ ....मी. / सेकंड

अभिलाक्षणिक प्रतिबाधा $Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$ ओम

परिणाम

LC संचरण लाइन के लिये विभिन्न सेक्शन पर खुला, लघुपथित तथा अभिलाक्षणिक प्रतिबाधा से बंद स्थिति में प्राप्त निर्गत वोल्टता को (चित्र 10.5) ग्राफ से दर्शाया गया है। तथा विभिन्न नियतांकों के मान निम्न प्राप्त हुए है।

1. क्षीणन गुणांक (α) = ...नेपर / सेक्शन
2. कला नियतांक (β) = ...रेडियन / सेक्शन
3. अभिलाक्षणिक प्रतिबाधा Z_0 = ...ओम
4. संचरण वेग (v) = ...मीटर / सेकंड

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

4. LC संचरण लाईन की अभिलाक्षणिक प्रतिबाधा का मान क्या होता है?

_ _

_ _

5. संचरण वेग v का मान किस सूत्र से ज्ञात किया जाता है?

_ _

_ _

6. खुला परिपथ में प्रतिरोध का मान कितना होता है।

_ _

_ _

10.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्रोत (Precaution & sources of error)

पूर्वावधान

(i) संयोजन कसे हुए होने चाहिये।

(ii) प्रेरकत्व तथा धारिता का मान एकदम सही ज्ञात होना चाहिये।

(iii) संचरण लाईन की निवेशी वोल्टता का मान परिवर्तित नहीं होना चाहिये।

(iv) सम्पूर्ण प्रयोग के लिये आवृति नियत होनी चाहिये।

त्रुटियों के स्रोत

(i) संयोजन सुदृढ़ न होना।

(ii) निवेशी वोल्टता का मान परिवर्तित होना।

(iii) वोल्टता मापने के उपकरणों की शून्यांक त्रुटि।

10.9 सांराश (Summary)

- LC संचरण लाइन के विभिन्न स्थितियों के वक्र को ग्राफ से दर्शाया गया है।

10.10 शब्दावली)Glossary(

आवृति	Frequency
आपतित	Incident
अभिलाक्षणिक	Characteristic
आदर्श	Ideal
उर्जा हानि	Energy loss
खुला परिपथ	Open Circuit
लघुपथित	Short circuited
विभव	Potential
संचरण लाइन	Transmission line
संघारित्र	Capacitor

10.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

प्रभा दशोरा, दीपक भटनागर, एवं के.बी.शर्मा	तृतीय वर्ष प्रायोगिक भौतिकी	रमेश बुक डिपो, जयपुर
एस. एल. गुप्ता एवं वी. कुमार	Handbook of Electronics	Pragati Prakashan, Meerut

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

1. $Z_0 = \sqrt{\dfrac{(R+i\omega L)}{(G+i\omega C)}}$
2. बढता है।
3. अभिलाक्षणिक प्रतिबाधा के समान मान की।

4. $Z_0 = \sqrt{\dfrac{L}{C}}$

5. $v = \dfrac{\omega}{\beta}$

6. अनन्त

10.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral questions and answers)

1. संचरण लाइन की उपयोगिता आवृति पर किस प्रकार निर्भर करती है?

उत्तर: कम आवृति पर दो समानान्तर तारों वाली तथा अधिक आवृति पर समाक्ष संचरण लाइन काम मे लायी जाती है।

2. संचरण लाइन में कौन कौनसी हानियाँ संभव है।

उत्तर: ऊष्मा हानि, परावैद्युत ऊर्जा हानि आदि।

3. दो समानान्तर तार वाली संचरण रेखा की क्या सीमाएें हैं।

उत्तर: अधिक आवृति पर ऊर्जा का विकिरण होने लगता है।

4. खुले तथा बंद परिपथ के व्यवहार में क्या अंतर है।

उत्तर: खुले परिपथ में संचरण रेखा के निर्गत सिरे पर विभव अधिकतम होगा जबकि बंद परिपथ में निर्गत सिरे पर विभव न्यूनतम होगा।

5. लाक्षणिक प्रतिबाधा क्या है?

उत्तर: संचरण लाइन के प्रत्येक बिन्दु पर वोल्टता तथा धारा के अनुपात को लाक्षणिक प्रतिबाधा कहा जाता है।

6. क्या शुद्ध प्रेरकत्व बनाया जा सकता है?

उत्तर: नहीं, ऐसा संभव नहीं है।

प्रयोग-11

L-C-R परिपथ में एक निश्चित आवृति व परिवर्ती धारिता के लिये अनुनाद का अध्ययन करना

(To study resonance in LCR circuit at fixed frequency and variable capacitance)

प्रयोग की रूपरेखा

11.0 उद्देश्य
11.2 प्रस्तावना
11.4 आवश्यक उपकरण
11.5 सिद्धान्त
11.6 परिपथ चित्र
11.7 विधि
11.8 प्रेक्षण
11.9 गणना व परिणाम
11.10 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्त्रोत
11.11 सारांश
11.12 शब्दावली
11.13 संदर्भ ग्रन्थ
11.14 बोध प्रश्नों के उत्तर
11.15 मौखिक प्रश्न व उत्तर

11.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के पश्चात् आप

- LCR परिपथ में अनुनाद की स्थिति के बारे में जानकारी प्राप्त करेंगे,
- LCR परिपथ की अनुनादी आवृति बता सकेंगे;
- धारिता C के परिवर्तन के साथ प्रतिबाधा Z तथा धारा I के मान में परिवर्तन को ज्ञात कर सकेंगे,
- परिपथ का विशेषता गुणांक Q ज्ञात कर सकेंगे।

11.1 प्रस्तावना (Introduction)

आप पूर्व में इस बात का अध्ययन कर चुके हैं कि शुद्ध प्रेरकत्व (L) शुद्ध प्रतिरोध R तथा शुद्ध धारिता C को किसी प्रत्यावर्ती वोल्टता / धारा के स्त्रोत के साथ परिपथ में लगाने पर वे किस प्रकार व्यवहार करते हैं।

यदि इन तीनों अवयवों को एक साथ श्रेणीक्रम में परिपथ में लगा दिया जाये तब परिपथ किस प्रकार व्यवहार करता है। इसी बात का अध्ययन हम इस प्रयोग की सहायता से करेंगे L-C-R परिपथ का अध्ययन करने के लिये आवश्यक उपकरण अनुच्छेद 11.2 में बताये गये हैं। आवश्यक सिद्धान्त की विवेचना अनुच्छेद 10.3 में की गई है। इस प्रयोग को करने हेतु अनुच्छेद 10.4 के अनुसार परिपथ चित्र बनाकर अनुच्छेद 10.5 के द्वारा दर्शायी विधि के अनुसार प्रयोग करते हैं। तथा अनुच्छेद 10.6 में दी गई प्रेक्षण सारणी में प्रेक्षण नोट करते हैं।

अनुच्छेद 10.7 के अनुसार प्रतिबाधा / धारा के मान तथा C के विभिन्न मानों के बीच वक्र खींचा जाता है।

इस प्रयोग को करते समय रखे गये पूर्वावधान तथा त्रुटियों के स्त्रोत को अनुच्छेद 10.8 में तथा मौखिक प्रश्नों कों उत्तर सहित अनुच्छेद 10.13 में दिया गया है।

11.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

विभिन्न मानों की प्रेरण कुण्डली, परिवर्ती धारिता या समान मान के कुछ संघारित्र, आवृति दोलित्र, प्रत्यावर्ती धारा अमीटर, VTVM, संयोजन तार आदि।

11.3 सिद्धान्त (Theory)

जब किसी प्रतिरोध R को f आवृति के प्रत्यावर्ती धारा / वोल्टता के स्त्रोत के साथ लगाया जाता है, परिपथ में उत्पन्न प्रतिबाधा

$$Z_R = R\angle 0 \text{ ओम} \qquad \text{......(11.1)}$$

इस स्थिति में धारा तथा वोल्टता समान कला में होते हैं।

परिपथ में शुद्ध प्रेरकत्व को लगाने पर परिपथ में उत्पन्न प्रतिबाधा

$$Z_L = X_L\angle(\pi/2) = \omega L\angle(\pi/2) \qquad \text{......(11.2)}$$

$X_L = \omega L = 2\pi f L$ को प्रेरणिक प्रतिघात कहा जाता है इस स्थिति में वोल्टता, धारा से $\pi/2$ कला आगे होता है। जबकि परिपथ में शुद्ध धारिता को उपयोग में लाने पर परिपथ में प्रतिबाधा

$$Z_C = X_C\angle(-\pi/2) = \frac{1}{\omega C}\angle(-\pi/2) \text{ ओम} \qquad \text{......(11.3)}$$

$X_L = \dfrac{1}{\omega C}$ को धारितीय प्रतिघात कहा जाता है। इस स्थिति में वोल्टता धारा से $\pi/2$ पीछे होती है। यदि इन तीनों अवयवों को एक साथ श्रेणी क्रम में लगाने पर परिपथ की कुल परिपथ प्रतिबाधा

$$= \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \text{ ओम} \qquad \text{.........(11.4)}$$

समी. 11.2, 11.3, तथा 11.4 से स्पष्ट होता है कि परिपथ की कुल प्रतिबाधा का मान प्रेरकत्व L, धारिता C तथा परिपथ पर आरोपित आवृति f या ω पर निर्भर करता है।

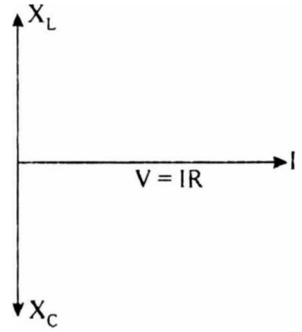
तीनों अवयवों R,L तथा C के विभवान्तर तथा धारा के कलान्तर का सदिश चित्रण चित्र 11.1 के अनुसार ज्ञात होता है।

इसके अलावा X_L, X_C, व X_R की आवृति पर निर्भरता चित्र 11.2 में दर्शायी गई है। इस ग्राफ से स्पष्ट होता है कि आवृति f का मान बढाने पर X_L का मान बढता जाता है जबकि X_C का मान कम होता जाता है। एक स्थिति ऐसी प्राप्त होती है जिसमे दोनो प्रतिघात समान हो जाते हैं अर्थात

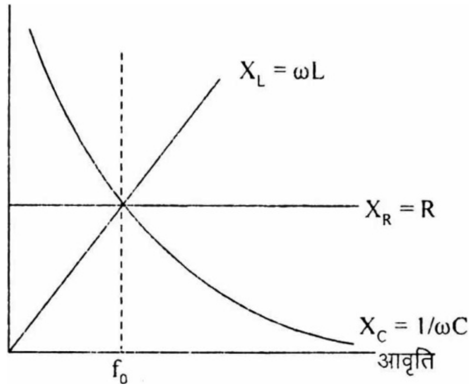
$$X_L = X_C \Rightarrow \omega L = \frac{1}{\omega C}$$

$$2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad ....(11.5)$$



चित्र 11.1 R,L,C में विभानतार व धारा के बीच कलान्तर



चित्र 11.2

f_0 को परिपथ की अनुनादी आवृति कहा जाता है। समी. 11.5 का प्रयोग करने पर f_0 आवृति पर परिपथ की कुल प्रतिबाधा $Z_T = R$ हो जाती है। इस स्थिति में परिपथ केवल प्रतिरोधी प्रकृति का हो जाता है अर्थात वोल्टता तथा धारा समान कला में हो जाती है। अनुनाद की स्थिति को दो प्रकार प्राप्त किया जा सकता है

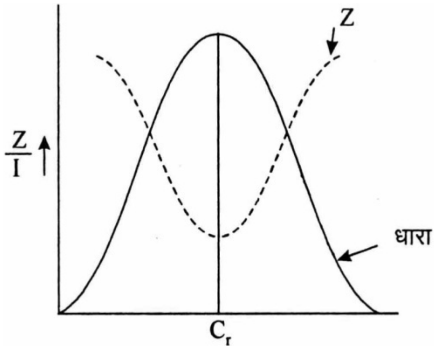
(i) आवृति नियत रख कर L या C के मान को परिवर्तित करके।

(ii) L व C के मान को नियत रखकर आवृति को परिवर्तित करके।

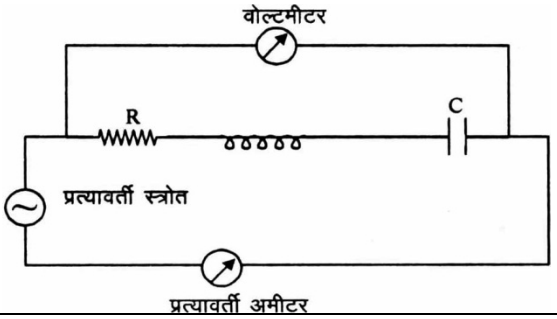
इस स्थिति में हम प्रथम प्रयोग को समझेंगे।

किसी नियत आवृति (f_0) के लिये, C के साथ Z या धारा I के परिवर्तन को चित्र 10.3 में दर्शाया गया है। सुविधा के लिये f_0 का सैद्धान्तिक मान निम्न सूत्र से ज्ञात किया जाता है

$$f_0 = \frac{1}{2\times 3.14\sqrt{LC}} \quad ....(11.6)$$



चित्र 11.3 नियत आवृति पर Z/I की C पर निर्भरता



बोध प्रश्न (Self assessment questions)

1. प्रेरकत्व का प्रतिघात कितना होता है?

_ _

_ _

2. धारिता में वोल्टता तथा धारा में कलान्तर कितना होता है?

_ _

_ _

3. अनुनाद की स्थिति में परिपथ की कुल प्रतिबाधा कितनी होती है?

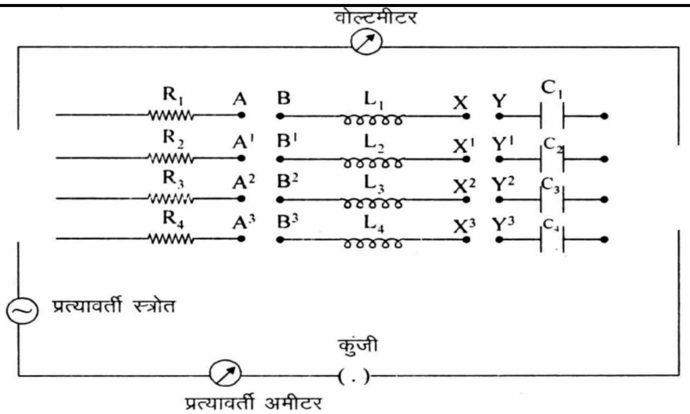
_ _

_ _

4. अनुनादी आवृति का मान क्या होता है।

_ _
_ _

11.4 परिपथ चित्र (Circuit Diagram)



चित्र 11.4 L-CR श्रेणी अनुवाद की प्रयोगिक व्यवस्था

11.5 विधि (Method)

(i) परिपथ चित्र 11.4 अ)) तथा (ब) के अनुसार संयोजन कीजिये।

(ii) प्रतिरोध R, प्रेरकत्व L तथा धारिता C के किसी मान को संयोजन तार से श्रेणी क्रम में जोड़ दीजिये।

(iii) परिपथ में प्रत्यावर्ती धारा / वोल्टता के स्त्रोत को प्रत्यावर्ती अमीटर के साथ परिपथ में जोड़िये।

(iv) R, L तथा C के सिरों या विभव को नापने के लिये एक सुग्राही $VTVM$ को काम मे लिजिये।

(v) प्रत्यावर्ती आवृति को सूत्र (11.6) से ज्ञात आवृति पर स्थिर किजिये इस स्थिति में C का मान परिवर्तनशील धारिता का माध्यमान लिया जाता है।

(vi) प्रत्यावर्ती वोल्टता को किसी वोल्टता पर स्थिर कीजिये।

(vii) अब R, L तथा C के मानों के लिये परिपथ में धारा I तथा R, L तथा C के सिरों पर विभव V_R, V_L तथा V_C ज्ञात कीजिये, साथ ही इन तीनों के संयुक्त स्थिति में विभव ज्ञात कीजिये।

(viii) इन्हें प्रेक्षण सारणी में उपयुक्त स्थान पर लिखिये।

(ix) C के समानान्तर क्रम में उसी मान का एक संघारित्र जोड़ दीजिये

(x) बिन्दु (vii) तथा (viii) को दोहराइये।

(xi) C के मान इसी प्रकार बढ़ाकर विधि बिन्दु (x) को दोहराइये।

(xii) C के मान तथा Z / I के मानों के बीच ग्राफ खींचिये। यह वक्र चित्र 11.3 के अनुसार प्राप्त होता है।

11.6 प्रेक्षण (Observations)

1. प्रतिरोध R = - - - - - - - - -ओम
2. प्रेरकत्व L = – - - - - - - - -हैनरी
3. आरोपित आवृति f = - - - - - - - - -हर्ट्ज
4. आरोपित वोल्टता V = - - - - - - - - -वोल्ट

सारणी

क्रम सं.	धारिता C (μF)	I (ऐम्पीयर)	वोल्टता			
1.			V_R	V_L	V_C	V_T
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						

11.7 गणना व परिणाम (Calculation and result)

गणना

अनुनादी आवृति का मान निम्न सूत्र की सहायता से ज्ञात किया गया है

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

परिणाम

C के विभिन्न मानों तथा I के मध्य ग्राफ खींचा गया है। यह पाया गया है कि धारा का मान C के मान के साथ बढ़ता है C के विशिष्ट मान पर अधिकतम हो जाता है व उसके बाद घटने लगता है। यह वक्र चित्र 11.3 के अनुरूप प्राप्त होता है।

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

5. संघारित्र के समानान्तर क्रम मे किसी अन्य संघारित्र को जोड़ने पर कुल धारिता कितनी हो जाती है?

_ _

_ _

6. यदि परिपथ में प्रतिरोध को आधा कर दिया जाये तो अनुनादी आवृति कितनी परिवर्तित होगी?

_ _ _ _ _ _ _ __ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _

_ _

11.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्त्रोत (Precautions and sources of error)

पूर्वावधान

(i) संयोजन कसे होने चाहिये।

(ii) L तथा C के मान यथार्थ ज्ञात होने चाहिये ताकि अनुनादी आवृति सही ज्ञात हो।

(iii) निवेशी वोल्टता का मान परिवर्तित नहीं होना चाहिये।

(iv) धारा तथा वोल्टता नापने के लिये उचित मान का अमीटर तथा वोल्टमीटर उपयोग में लाना चाहिये।

त्रुटियों के स्रोत

(i) पैमानों की शून्यांक त्रुटि का भली भांति निराकरण न होना।

(ii) संयोजन सुदृढ़ न होना

11.9 सारांश (Summary)

- LCR श्रेणी परिपथ में नियत आवृति पर धारिता का मान परिवर्तित करके धारा के मान में परिवर्तन को ग्राफ से दर्शाया गया है।

11.10 शब्दावली (Glossary)

अनुनाद	Resonance
आवृति	Frequency
कला	Phase
परिपथ	Circuit
प्रेरकत्व	Inductance
प्रतिरोध	Resistance
प्रतिबाधा	Impedance
संघारित्र	Capacitance
संयोजन	Connection

11.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

प्रभा दशोरा, दीपक भटनागर, एवं के. बी. शर्मा	तृतीय वर्ष प्रायोगिक भौतिकी	रमेश बुक डिपो जयपुर
एस. एल. गुप्ता एवं वी. कुमार	Handbook of Electronics	Pragati Prakashan Meerut

11.12 बोध प्रश्नो के उत्तर (Answers to self assessment questions)

1. $\omega L = 2\pi f L$
2. वोल्टता धारा से $\pi/2$ पीछे होती है।
3. प्रतिरोध $= R$ के बराबर।
4. $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
5. दोनों की धारिता के योग के बराबर।
6. अनुनादी आवृति परिवर्तित नहीं होगी।

11.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral questions and answers)

1. अनुनाद की स्थिति क्या होती है?

उत्तर: LCR परिपथ की अनुनादी आवृति $= \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ के बराबर होती है। जब प्रत्यावर्ती स्रोत की आवृति इस आवृति के बराबर होती है तो इसे अनुनाद की स्थिति कहा जाता है इस स्थिति में परिपथ की प्रतिबाधा न्यूनतम तथा धारा अधिकतम होती है।

2. दिष्ट धारा स्त्रोत परिपथ में संघारित्र तथा प्रेरकत्व की प्रतिबाधा का मान कितना होगा?

उत्तर: अनन्त तथा शून्य

3. प्रतिबाधा का मात्रक क्या होता है?

उत्तर: ओम

4. प्रतिरोध में धारा तथा वोल्टता के बीच कलान्तर कितना होता है?

उत्तर: प्रतिरोध मे धारा व वोल्टता का कलान्तर शून्य होता है।

5. अनुनादी आवृति का सूत्र लिखिये।

उत्तर: $f_0 = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

6. अनुनादी आवृति प्रतिरोध के मान पर किस तरह निर्भर करती है।

उत्तर: अनुनादी आवृति प्रतिरोध पर निर्भर नहीं करती है।

प्रयोग-12

LCR परिपथ में परिवर्ती आवृति के साथ अनुनाद का अध्ययन करना

(To study resonance in LCR circuit at variable frequency)

प्रयोग की रूपरेखा

12.0 उद्देश्य

12.1 प्रस्तावना

12.2 आवश्यक उपकरण

12.3 सिद्धान्त

12.4 परिपथ चित्र

12.5 विधि

12.6 प्रेक्षण

12.7 गणना व परिणाम

12.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्रोत

12.9 सारांश

12.10 शब्दावली

12.11 संदर्भ ग्रन्थ

12.13 बोध प्रश्नों के उत्तर

12.14 मौखिक प्रश्न व उत्तर

12.0 उद्देश्य (Objectives)

- इस प्रयोग को करने के पश्चात् आप
- LCR परिपथ में अनुनाद की स्थिति के बारे में जानकारी प्राप्त करेंगे,
- LCR परिपथ की अनुनादी आवृति बता सकेंगे,
- आरोपित आवृति के परिवर्तन के साथ प्रतिबाधा Z तथा धारा I के मान में परिवर्तन को बता सकेंगे,
- परिपथ का विशेषता गुणांक Q ज्ञात कर सकेंगे।

12.1 प्रस्तावना (Introduction)

आप पूर्व प्रयोग -11 में इस बात का अध्ययन कर चुके हैं कि श्रेणी LCR परिपथ में नियत आवृति तथा परिवर्ती धारिता में धारा का मान किस प्रकार परिवर्तित होता है।

इस प्रयोग में आप अध्ययन करेंगे कि आवृति परिवर्तित करने पर प्रतिबाधा एवं धारा किस प्रकार परिवर्तित होती है।

इस प्रयोग के लिए आवश्यक उपकरण अनुच्छेद 12.2 में बताये गये हैं। आवश्यक सिद्धान्त की विवेचना अनुच्छेद 12.3 में की गई है। अनुच्छेद 12.4 के अनुसार परिपथ संयोजित किया जाता है, अनुच्छेद 12.5 में दर्शायी विधि के अनुसार प्रयोग करते हैं। तथा अनुच्छेद 12.6 में दी गई प्रेक्षण सारणी में प्रेक्षण नोट करते हैं। अनुच्छेद 12.7 के अनुसार प्रतिबाधा / धारा के मान तथा परिवर्ती आवृति के बीच वक्र खींचा जाता है।

इस प्रयोग को करते समय रखे गये पूर्वावधान तथा त्रुटियों के स्रोत को अनुच्छेद 12.8 में तथा मौखिक प्रश्नों को उत्तर सहित अनुच्छेद 12.13 में दिया गया है।

12.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

विभिन्न मानों की प्रेरण कुण्डली, परिवर्ती धारिता, आवृति दोलित्र, प्रत्यावर्ती धारा अमीटर, VTVM, संयोजन तार आदि।

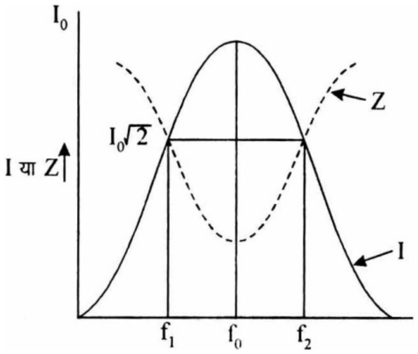
12.3 सिद्धान्त (Theory)

आप पूर्व के प्रयोग -11 मे श्रेणी LCR परिपथ में अनुनाद के बारे में जानकारी प्राप्त कर चुके हैं।

अनुनादी स्थिति में परिपथ प्रतिरोधी प्रकृति का होता है। तथा इस स्थिति मे परिपथ की प्रतिबाधा न्यूनतम तथा उसमें प्रवाहित होने वाली धारा अधिकतम होती है। इस स्थिति में अनुनादी आवृति $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ से दी जाती है।

पूर्व प्रयोग में हमने आरोपित आवृति नियत रखकर धारिता C के मान को परिवर्तित करके अनुनाद की स्थिति का अध्ययन किया था।

इस प्रयोग में हम प्रेरकत्व L तथा धारिता C के मान को नियत रखकर आरोपित आवृति परिवर्तित करके परिपथ के व्यवहार का अध्ययन करेगें नियत L तथा C के मान के लिये प्रतिबाधा Z / धारा I के आवृति के साथ परिवर्तन को चित्र 12.1 में दर्शाया गया है।



चित्र 12.1 धारा I एवं प्रतिबाधा Z की आवृति पर निर्भरता

ग्राफ से स्पष्ट है कि अनुनादी आवृति f_0 पर परिपथ में धारा का मान अधिकतम I_0 तथा प्रतिबाधा न्यूनतम होती है।

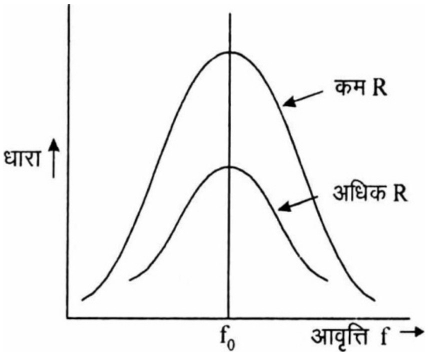
वह आवृति जिस पर धारा का मान अपने अधिकतम मान का $\frac{1}{\sqrt{2}}$ हो जाता है अर्ध शक्ति आवृति कहलाती है। (ग्राफ में इन्हें f_1 तथा f_2 से दर्शाया गया है) $f_2 - f_1$ को बैण्ड चौड़ाई के नाम से जाना जाता है।

परिपथ का विशेषता गुणांक Q निम्न सूत्र से दिया जाता है।

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1} = \frac{\omega L}{R} \qquad ......(12.1)$$

किसी परिपथ का विशेषता गुणांक उसमें संचित उर्जा तथा प्रति चक्र उर्जा में हानि का अनुपात हैं।

सूत्र 12.1 से स्पष्ट है कि Q का मान प्रतिरोध R बढ़ाने पर कम होता जाता है। चित्र 12.2 में विभिन्न R के मान के लिए आवृत्ति के साथ धारा परिवर्तन को दर्शाया गया है।



चित्र 12.2 R के कम व अधिक मान के लिए आवृति के साथ धारा का परिवर्तन

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

1. परिपथ के विशेषता गुणांक का सूत्र क्या होता है?

_ _

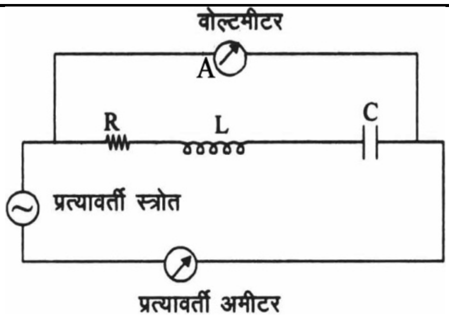
_ _

2. LCR परिपथ में अनुनाद की स्थिति में धारा का मान कितना होता है?

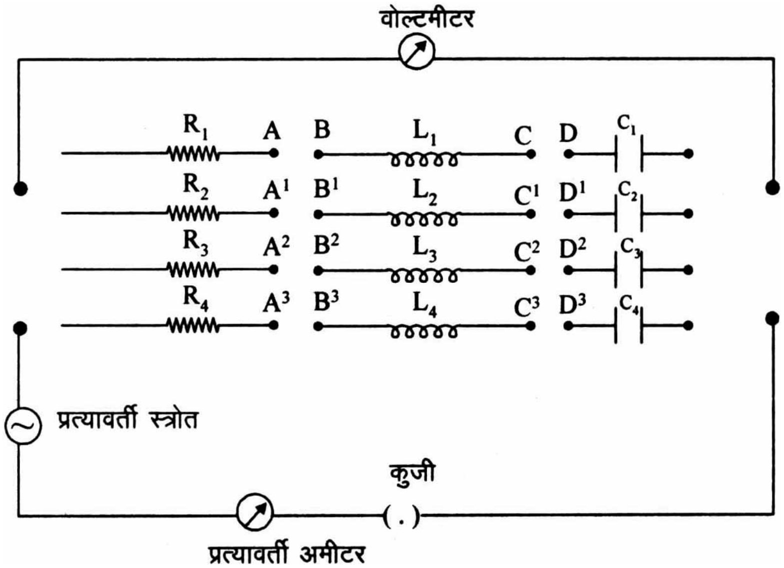
_ _

_ _

12.4 परिपथ चित्र (Circuit diagram)



चित्र 12.3 (अ) LCR श्रेणी परिपथ



चित्र 12.3 (ब) LCR श्रेणी अनुवाद की प्रयोगिक व्यवस्था

12.5 विधि (Method)

(i) चित्र 12.3 अ)) तथा (ब) के अनुसार संयोजन कीजिये।

(ii) प्रतिरोध R, प्रेरकत्व L तथा धारिता C के किन्हीं नियत मान को श्रेणी क्रम में जोड़िये।

(iii) परिपथ में प्रत्यावर्ती वोल्टता / धारा के स्त्रोत को प्रत्यावर्ती अमीटर के साथ परिपथ में जोड़ दीजिये।

(iv) R, L तथा C के सिरों पर विभव नापने के लिये सुग्रही VTVM को काम में लिजिये।

(v) प्रत्यावर्ती वोल्टता के स्त्रोत को किसी वोल्टता पर नियत कीजिये। इस वोल्टता का मान पूरे प्रयोग में नियत रहना चाहिये।

(vi) अब प्रत्यावर्ती स्त्रोत को किसी आवृति पर नियत कीजिये।

(vii) अब R, L तथा C के नियत मान के लिये परिपथ में धारा, R, L तथा C के सिरों पर विभव V_R, V_L तथा V_C को ज्ञात कीजिये। साथ ही इन तीनों पर संयुक्त रूप से विभव ज्ञात कीजिये तथा इनके मानों को प्रेक्षण सारणी में उपयुक्त स्थान पर लिखिये।

(viii) अब आवृति को परिवर्तित करके पद (vi) को दोहराइये

(ix) आवृति में मान इसी प्रकार बढ़ाकर पद (vi) को दोहराइये।

(x) आवृति तथा Z / I के मान के बीच ग्राफ खींचिये, ये वक्र 12.1 के अनुरूप आता है।

(xi) अब प्रतिरोध R के मान को बढ़ाकर पुन: प्रयोग को दोहराइये।

(xii) आवृति तथा धारा I के बीच वक्र R के विभिन्न मानों के लिए खींचिये।

12.6 प्रेक्षण (Observations)

1. प्रेरकत्व L = – – – – – – हेनरी
2. प्रतिरोध R = – – – – –ओम
3. आरोपित वोल्टता = – – -वोल्ट
4. धारिता C = – – – – फैरड

क्रम सं.	आवृत्ति (हर्टज)	धारा I(ऐम्पीयर)	वोल्टता			
1.			V_R	V_L	V_C	V_T
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						

12.7 गणना व परिणाम (calculation and result)

गणना

अनुनाद आवृति का सैद्धान्तिक मान $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ से ज्ञात किया जाता है।

ग्राफ की सहायता से अनुनादी आवृति का प्रयोगिक मान = हर्टज

इसी ग्राफ की सहायता से परिपथ का विशेषता गुणांक

$Q = \frac{\omega L}{R}$ सैद्धान्तिक मान

$= \frac{f_0}{f_2 - f_1}$ प्रायोगिक मान

R के मान परिवर्तित करके एक अन्य ग्राफ I तथा f के बीच खींचा गया है। उसमें Q का मान

$$Q_1 = \frac{\omega L}{R_1}$$

$$Q_2 = \frac{\omega L}{R_2}$$

ज्ञात किये गये है। तथा प्रायोगिक मानों को भी ज्ञात किया गया है।

$$Q_1 = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

$$Q_2 = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

परिणाम

आवृति के विभिन्न मानों तथा धारा I के बीच ग्राफ खींचा गया है।

यह पाया जाता है कि आवृति बढ़ने के साथ धारा I का मान बढने लगता है। अनुनादी आवृति पर इसका मान अधिकतम हो जाता है उसके बाद घटने लगता है। इसके अलावा R बढ़ने पर परिपथ का विशेषता गुणांक कम होता जाता है।

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

3. प्रतिरोध बढ़ने पर परिपथ का विशेषता गुणांक कम / अधिक होता है?

_ _

_ _

4. अनुनादी आवृति पर परिपथ की प्रतिबाधा का मान अधिकतम / न्यूनतम होता है?

_ _

_ _

12.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्त्रोत (Precautions and source of error)

पूर्वावधान

(i) संयोजन सुदृढ़ होने चाहिये।
(ii) L तथा C के मान सही ज्ञात होने चाहिये ताकि अनुनादी आवृति सही ज्ञात हो।
(iii) पूरे प्रयोग में आरोपित वोल्टता का मान परिवर्तित नहीं होना चाहिये।
(iv) धारा तथा वोल्टता नापने के लिये उपयुक्त मान के उपकरण प्रयोग में लाने चाहिये।

त्रुटियों के स्रोत

(i) पैमानों की शून्यांक त्रुटि का भली भांति निराकरण न होना।
(ii) संयोजन सुदृढ़ न होना।

12.9 सारांश (Summary)

LCR श्रेणी परिपथ में नियत धारिता पर आवृति का मान परिवर्तित करके धारा के मान के परिवर्तन को ग्राफ से दर्शाया गया है।

R के विभिन्न मानों के लिये विशेषता गुणांक का मान भी ज्ञात किया गया है।

12.10 शब्दावली (Glossary)

अनुनाद	Resonance
आवृति	Frequency
कला अन्तर	Phase difference
परिपथ	Circuit
प्रेरकत्व	Inductance
प्रतिरोध	Resistance
प्रतिबाधा	Impendance
संघारित्र	Capacitance
संयोजन	Connection

12.11 सन्दर्भ ग्रन्थ (Reference books)

प्रभा दशोरा, दीपक भटनागर एवं के बी शर्मा	तृतीय वर्ष प्रायोगिक भौतिकी	रमेश बुक डिपो, जयपुर
S.L.Gupta and V.Kumar	Hand book of Electronics	Pragati Prakashan, Meerut

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

1. $Q = \frac{\omega L}{R} = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$
2. अधिकतम होता है।
3. कम होता है।
4. न्यूनतम होता है।

12.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral questions and answers)

प्रयोग 11 के प्रश्न देखें

1. विशेषता गुणांक क्या होता है?

उत्तर: विशेषता गुणांक परिपथ में संचित उर्जा तथा प्रति चक्र उर्जा हानि का अनुपात होता है।

2. अर्ध शक्ति आवृति किसे कहते है?

उत्तर: वह आवृति जिस पर धारा का मान अपने अधिकतम मान का $\frac{1}{\sqrt{2}}$ हो जाता है को अर्ध शक्ति आवृति कहा जाता है।

3. क्या अनुनादी आवृति पर प्रतिबाधा का मान शून्य हो सकता है?

उत्तर: नहीं

प्रयोग-13

जंक्शन एवं ज़ीनर डायोड के अभिलक्षणिक वक्रों का अध्ययन करना

(To study characteristic curves of Junction and Zener diodes)

प्रयोग की रूपरेखा

13.0 उद्देश्य
13.1 प्रस्तावना
13.2 आवश्यक उपकरण
13.3 सिद्धान्त
13.4 परिपथ चित्र
13.5 विधि
13.6 प्रेक्षण
13.7 गणना व परिणाम
13.8 पूर्वावधान व त्रुटियों के स्त्रोत
13.9 सारांश
13.10 शब्दावली
13.11 संदर्भ ग्रंथ
13.12 बोध प्रश्नों के उत्तर
13.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

13.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के बाद आप

- जंक्शन डायोड के अभिलक्षणिक वक्र खींचने में सक्षम हो सकेंगे,
- जंक्शन डायोड की अग्रबायसित व पश्च बायसित अवस्था में स्थैतिक एवं गतिक प्रतिरोध ज्ञात करने में सक्षम होगें एवं इनकी तुलना कर सकेंगे,
- जीनर डायोड के अभिलक्षणिक वक्र खींचने में सक्षम हो सकेंगे.
- जीनर डायोड की भंजन वोल्टता का मान ज्ञात कर सकेंगे।

13.1 प्रस्तावना (Introduction)

आप अब तक यह पढ़ चुके हैं कि जरमेनियम एवं सिलिकन जैसे तत्वों में फास्फोरस, आर्सेनिक एवं एन्टीमनी जैसे तत्वों को अत्यल्प मात्रा में मिलाने पर n- प्रकार का अपद्रव्यी

(extrinsic) अर्धचालक तथा बोरोन, इन्डियम या गेलियम जैसे तत्वों को मिलाने पर p प्रकार के अपद्दव्यी अर्धचालक प्राप्त होते हैं। एक p प्रकार के इस अर्धचालक में एक n- प्रकार का अपद्रव्यी अर्धचालक मिलाने पर p-n संधि प्राप्त होती है। और प्राप्त युक्ति को p-n संधि डायोड (p-n junction diode) कहते हैं। संधि क्षेत्र में अवक्षय परत का निर्माण होता है। इस परत के दोनों ओर विपरीत प्रकार के आवेश संग्रहित रहते हैं। इस संधि पर विभव रोधिका (potential barrier) उत्पन्न हो जाती है जो वाहकों के प्रवाह को बाधित करती है।

जब इस p-n संधि डायोड को एक बैटरी से अग्र बायसित कर दिया जाता है तो V व I के मध्य रेखाचित्र एक सरल रेखा न होकर वक्रीय रूप में होता है। इस कारण इसे अरैखिक युक्ति (non linear device) भी कहते हैं। इसे पश्च बायसित करने पर V व I के मध्य रेखाचित्र अग्रबायसित की तुलना में अलग होता है। यह ही नहीं इनकी परास भी अलग-अलग होती है। इन V - I वक्रों को अभिलक्षणिक (characteristic curves) कहते हैं। इन वक्रों के किसी बिन्दु पर प्राप्त ढाल उस वोल्टता पर उसके प्रतिरोध का मान बताता है। इस प्रयोग में आप किसी साधारण डायोड के लिये अभिलक्षणिक वक्र खींचेगे तथा साथ में प्रतिरोध भी ज्ञात करेंगे। p व n क्षेत्र में डोपिंग की मात्रा में भिन्नता कर एक अन्य प्रकार का डायोड भी बनाया जाता है जिसकी अग्र बायसित अवस्था में अभिलक्षणिक वक्र वैसे ही होते है जैसे साधारण डायोड के लिये होते हैं परन्तु पश्चदिशिक स्थिति में अभिलक्षणिक वक्र विशेष भिन्नता लिये होता है। किसी वोल्टता विशेष पर धारा का मान एकाएक बढ़ जाता है। जिस वोल्टता पर ऐसा होता है उसे जीनर वोल्टता (coner Voltage) एवं इस प्रकार के डायोड को जीनर डायोड कहते हैं। यह प्रक्रिया ऐवलांच भजन (avalanche breakdown) के कारण होती है। इस प्रयोग में जीनर डायोड की भंजन वोल्टता भी ज्ञात करेंगे।

इस प्रयोग के सम्पादन हेतु आवश्यक उपकरणों की सूची अनुच्छेद 13.2 में दी गयी। अनुच्छेद 13.3 मे प्रयोग से संबंधित भौतिक सिद्धान्त का संक्षिप्त विवरण दिया गया है। आवश्यक परिपथ चित्र एवं प्रयोग करने की बिन्दुवार विधि क्रमश: अनुच्छेद 13.4 व 13.5 मे बतायी गयी है। अग्रदिशिक एवं पश्च दिशिक अवस्था में प्रेक्षण लिखने के लिये प्रेक्षण सारणी अनुच्छेद 13.6 में दी गयी है। गणना की आवश्यक जानकारी अनुच्छेद 13.7 में लिखी गयी है। प्रयोग से प्राप्त परिणाम का उल्लेख भी इसी अनुच्छेद में किया गया है। प्रयोग के समय काम में ली जाने वाली सावधानियां तथा त्रुटियों के स्त्रोत की जानकारी अनुच्छेद 13.8 में तथा इस प्रयोग का सारांश 13.9 मे दिया गया है। प्रयोग से संबधित महत्वपूर्ण शब्दावली अनुच्छेद 13.10, सन्दर्भ ग्रन्थ अनुच्छेद 13.11 एवं बोध प्रश्नों के उत्तर 13.12 में दिये गये है। अन्तिम अनुच्छेद 13.13 में मौखिक प्रश्न तथा उनके उत्तर दिये गये हैं।

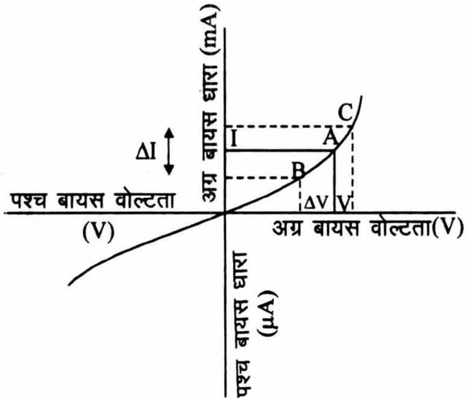
13.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus Required)

एक अर्धचालक संधि डायोड (junction diode), एक जीनर डायोड, एक वोल्टमीटर (0- 1.5V परास), एक अमीटर (0- 50mA परास), एक वोल्टमीटर (0- 25V परास), एक

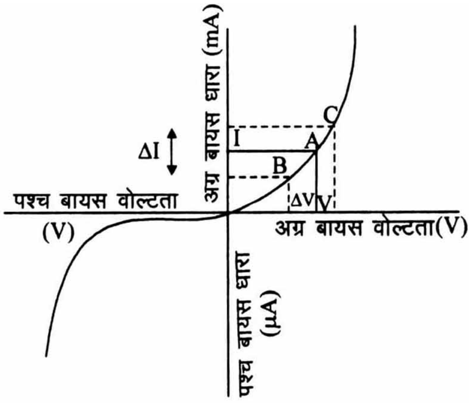
माइक्रोमीटर (0- 50μA परास), कुंजियाँ संयोजन तार अथवा डायोड अभिलक्षणिक वक्र अध्ययन करने की इकाई इस इकाई में उपरोक्त वर्णित उपकरण का समावेश रहता है।

13.3 सिद्धान्त (Theory)

p-n संधि डायोड ऐसी अर्धचालक युक्ति है जो एक दिशा में धारा प्रवाह (p→n) को, दूसरी दिशा (n→p) में धारा प्रवाह की तुलना में कहीं कम प्रतिरोध प्रदान करती है। यह एक द्विध्रुवीय (bipolar) युक्ति है। किसी नैज अर्धचालक (Si,Ge) में एक सिरे पर तृतीय ग्रुप का तत्व मिला कर तथा दूसरे सिरे पर पंचम ग्रुप का तत्व मिलाकर p-n संधि डायोड का निर्माण किया जाता है। इसके निर्माण की अनेक विधियाँ हैं और प्राप्त डायोड के अभिलक्षणिक गुणों में कुछ भिन्नता होती है। संधि डायोड और जीनर डायोड के अभिलक्षणों को अग्र बायस (forward bias) एवं पश्च बायस (reverse bias) में अध्ययन हेतु क्रमश: चित्र 13.1 व 13.2 में दिखाया गया है।



चित्र 13.1



चित्र 13.2

संधि डायोड में प्रवाहित होने वाली धारा का मान उसकी बायस वोल्टता पर निर्भर करता है। अग्रदिशिक बायस वोल्टता एवं डायोड में प्रवाहित धारा के बीच खींचा गया वक्र अग्रदिशिक बायस अभिलक्षणिक वक्र होता है। पश्च दिशिक बायस वोल्टता एवं डायोड में प्रवाहित धारा के बीच खींचा गया वक्र उत्क्रमित बायस अभिलक्षणिक वक्र कहलाता है।

संधि डायोड में धारा का मान निम्न सूत्र से दिया जाता है

$$I = I_S \left[\exp\left(\frac{eV}{k_B T} \right) - 1 \right]$$

यहां I_S पश्चदिशिक संतृप्त धारा का मान है तथा यह निम्न सूत्र का पालन करती है

$$I_S = A\left(n_i e v_n + p_i e v_p\right)\exp\left(\frac{-eV_B}{k_B T} \right)$$

e इलेक्ट्रॉन आवेश है।

V आरोपित अभिनति (biasing) विभव है। अग्र बायस में इसे धनात्मक व पश्च बायस में इसे ऋणात्मक लिया जाता है।

k_B बोल्टजमान नियतांक है।

T ताप है (^0K में)

A संधि क्षेत्रफल है

n_i व p_i नैज अर्धचालक के प्रति इकाई आयतन में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों एवं कोटरों (holes) की संख्या है।

v_n व v_p इलेक्ट्रॉनों एव कोटरों का अपवाह वेग है।

V_B अवरोधक विभव का मान है।

डायोड के लिये प्रतिरोध का मान निश्चित नहीं होता है। किसी भी बायसित अवस्था में यह कार्यकारी बिन्दु (वोल्टता) पर निर्भर करता है। अत: डायोड के V - I अभिलक्षणिकों से डायोड के निम्न प्रतिरोध परिभाषित किये जाते हैं।

अग्र स्थैतिक प्रतिरोध $R_f = \dfrac{V_f}{I_f}$

यहाँ V_f व I_f अग्र दिशिक अभिलक्षणिक वक्र के बिन्दु A पर क्रमश: वोल्टता एवं धारा है।

अग्र गतिक प्रतिरोध $\gamma_f = \dfrac{\Delta V_f}{\Delta I_f}$

बिन्दु A को मध्य बिन्दु मानते हुये इसके विपरीत बिन्दु B व C के बीच वोल्टता व धारा अन्तराल ΔV_f व ΔI_f है। यह बिन्दु A पर गतिक प्रतिरोध है।

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

1. संधि डायोड में बहने वाली धारा किस पर निर्भर करती है?

_ _

_ _

2. V - I वक्र में किसी बिन्दु पर ढाल क्या प्रदर्शित करता है?

_ _

_ _

13.4 परिपथ चित्र (Circuit diagram)

चित्र 13.3 अग्र बायस के लिये परिपथ चित्र है। इसमें डायोड का p टर्मिनल वोल्टता स्त्रोत के धनाग्र से जुड़ा है एवं n टर्मिनल वोल्टता स्त्रोत के ऋणाग्र से जुड़ा है। पश्च बायस में ठीक इसके विपरीत होता है और इसका परिपथ चित्र 13.4 में दिखाया गया है।

डायोड pn संधि डायोड या जीनर में से कोई भी एक हो सकता है। यहाँ आप देख सकते है कि डायोड, अमीटर व विभव विभाजक श्रेणी क्रम में है। धारा नापने के लिये अमीटर, एवं डायोड पर विभवान्तर नापने के लिये वोल्टमीटर A व B के मध्य लगाया जाता है।

13.5 विधि (Method)

(i) चित्र 13.3 की तरह संबंधन कीजिये। इसमें अमीटर मिलीऐम्पीयर परास का तथा वोल्टमीटर 0 - 1 वोल्ट परास का लीजिये। pn डायोड के स्थान पर पहले जंक्शन डायोड व बाद में जीनर डायोड क्रमशः प्रयुक्त कीजिये।

अग्र बायस अभिलक्षणिक वक्र खींचना

(ii) धारा नियंत्रक को न्यूनतम प्रतिरोध की स्थिति में लायें। आप देखेंगे की धारा व विभवान्तर का मान लगभग शून्य है।

(iii) धारा नियंत्रक से धीरे धीरे विभवान्तर का मान बढ़ाये और एक निश्चित अन्तराल (0.1V) पर वोल्टता एवं धारा का मान प्रेक्षण सारणी में अंकित करें। ऐसा तब तक करें जब तक या तो धारा तेजी से ना बढ़ने लगे अथवा विभवान्तर का मान 1V हो जावे।

(iv) प्रेक्षण सारणी में अंकित I व V के मानों से एक ग्राफ बनायें। आपके द्वारा बनाया गया ग्राफ चित्र 13.1 के समान होगा।

(v) उपरोक्त विधी जंक्शन संधि व जीनर डायोड दोनों के लिये करें।

पश्च बायस अभिलक्षणिक वक्र खींचना

(vi) इसके लिए सर्व प्रथम परिपथ चित्र 13.4 के अनुरूप बनायें। इस बार अमीटर माइक्रोमीटर परास का तथा वोल्टमीटर 0 से 10V परास का प्रयोग करें।

(vii) धारा नियंत्रक को इसके न्यूनतम प्रतिरोध की स्थिति में लायें।

(viii) अब 1 वोल्ट के अन्तराल में विभवान्तर व धारा के मान के पाठ्यांक लेकर प्रेक्षण सारणी में लिखें। इस स्थिति में धारा माइक्रोएम्पियर में बहेगी एवं धारा का मान धीरे धीरे बढ़ेगा।

(ix) प्रक्षेण सारणी में अंकित I व V के मानों से एक ग्राफ बनायें। सिद्धान्त में बताये सूत्रों के अनुसार I - V अभिलक्षणिक वक्रों से स्थैतिक एवं गतिक अग्र बायस प्रतिरोध एवं पश्च बायस प्रतिरोधों की गणना करें।

(x) अब संधि डायोड के स्थान पर जीनर डायोड को प्रयुक्त कर सम्पूर्ण विधि बिन्दु (ii) से (ix) तक दोहरायें। आप यह देखेंगे कि पश्च बायस में एक वोल्ट के अन्तराल से विभवान्तर बढ़ाने पर धारा का मान कुछ वोल्टता तक तो स्थिर रहता है फिर एकाएक बढ़ने लगता है। जिस विभवान्तर पर ऐसा हो उसका पाठ्यांक लें, यह इसे जीनर डायोड का भंजक विभव है।

13.6 प्रेक्षण (Observations)

(1) डायोड संख्या जैसे BC 188

(2) डायोड का प्रकार जंक्शन डायोड / जीनर डायोड

प्रेक्षण सारणी

जंक्शन डायोड के लिये				
क्र.सं .	अग्र बायस के लिये		पश्च बायस के लिये	
	V (वोल्ट)	I (एम्पियर)	V (वोल्ट)	I (एम्पियर)
1. 2. 3. 4. 5. 6. : 10				

ज़ीनर डायोड के लिये				
क्र.सं .	अग्र बायस के लिये		पश्च बायस के लिये	
	V (वोल्ट)	I (एम्पियर)	V (वोल्ट)	I (एम्पियर)
1. 2. 3. 4. 5. 6. : 10				

13.7 गणना व परिणाम (Calculation and result)

गणना

प्रेक्षण सारणी से जंक्शन डायोड के लिये अग्र व पश्च बायस स्थिति में एक ही रेंखाचित्र / आलेख पर I-V वक्र बनायें। ज़ीनर डायोड के लिये दूसरा रेखाचित्र प्रयोग मे लें।

सूत्रों की सहायता से जंक्शन डायोड के प्रतिरोध ज्ञात करें।

अग्र बायस में

अग्र गतिक प्रतिरोध $R_f = \dfrac{\Delta V}{\Delta I} =$ .....ओम

अग्र स्थैतिक प्रतिरोध $r_f = \frac{V}{I} =$ .....ओम

पश्च बायस में

पश्च गतिक प्रतिरोध $R_r = \frac{\Delta V}{\Delta I} =$ ...ओम

पश्च स्थैतिक प्रतिरोध $r_r = \frac{V}{I} =$ ...ओम

पश्च बायस अभिलक्षणिक वक्र से जीनर डायोड के लिये

भंजक वोल्टता का मान = ... वोल्ट

परिणाम

(1) दिये गये संधि डायोड व जीनर डायोड के अभिलक्षणिक वक्र रेखाचित्र 1 व 2 में दर्शाये गये हैं।

(2) संधि डायोड के लिये रेखाचित्र 1 से निम्न प्रतिरोध प्राप्त हुये है।

बिन्दु A पर अग्रस्थैतिक प्रतिरोध $R_f =$ ... ओम

बिन्दु A पर अग्र गतिक प्रतिरोध $r_f =$ ... ओम

बिन्दु D पर पश्चस्थैतिक प्रतिरोध $R_r =$ ... ओम

बिन्दु D पर पश्चस्थैतिक प्रतिरोध $r_r =$ ... ओम

(3) जीनर डायोड का भंजन विभव = ... वोल्ट प्राप्त हुआ।

13.8 पूर्वावर्धान एवं त्रुटियों के स्त्रोत (Precautions and sources of error)

पूर्वावधान

(1) अग्र बायस अवस्था में धारा नियंत्रक से वोल्टता को अल्प मान से बढ़ाना चाहिये।

(2) पश्च बायस में बायस वोल्टता को एक सीमा से अधिक नहीं बढ़ाना चाहिये अन्यथा सन्धि डायोड के क्षतिग्रस्त होने की संभावना बनी रहती है।

(3) सम्बन्ध कसे हुए होने चाहिये।

त्रुटियों के स्त्रोत

(1) उचित परास के वोल्टमीटर एवं अमीटर के अभाव में पाठ्यांक लेने में त्रुटि संभव है।

(2) कई बार वोल्टमीटर और अमीटर की सूई शुन्य पर न रह कर किसी पाठ्यांक पर रहती है। इसे प्रयोगशाला सहायक से सही करवा लेना चाहिये अन्यथा त्रुटि होना संभव है।

13.9 सारांश (Summary)

- P-N संधि डायोड की रचना में संधि पर एक विभवरोधिका होती है जो मुक्त आवेश वाहकों को रोके रखती है।
- बैटरी से संबध दो प्रकार से हो सकते है-
- अग्र बायसित अवस्था व पश्च बायसित अवस्था
- अग्रबायसित अवस्था में बैटरी का धनात्मक टर्मिनल P से तथा ऋणात्मक टर्मिनल N सिरे से जुड़ा होता है। पश्चदिशिक बायस मे इसके ठीक विपरीत होता है।
- किसी भी अवस्था में V व I के मध्य ग्राफ को डायोड का अभिलक्षणिक वक्र कहते हैं।
- डायोड के प्रतिरोध का मान अभिलक्षणिक वक्र से ज्ञात करते हैं।
- जीनर डायोड में पश्च बायसित अवस्था में वोल्टता विशेष पर धारा का मान एकाएक बढ़ जाता है। इस वोल्टता का जीनर वोल्टता या भंजन वोल्टता कहते हैं।

13.10 शब्दावली (Glossary)

अग्र बायस	Forward bias
अभिलक्षणिक वक्र	Characteristic curve
अपद्रव्यी	Extrinsic
अरैखिक युक्ति	Non-linear device
ऐवलांच भंजन	Avalanche breakdown
कोटरों	Holes
ज़ीनर वोल्टता	Zener Voltage
द्विध्रुवीय	Bipolar
पश्च बायस	Reverse bias
विभव रोधिका	Potential barrier
संधि डायोड	Junction diode

13.11 सन्दर्भ ग्रन्थ (Reference books)

प्रभा दशोरा दीपक भटनागर एवं के बी शर्मा	प्रायोगिक भौतिकी	रमेश बुक डिपो, जयपुर
एम. पी. सक्सेना पी. आर. सिंह एस. एस. रावत एवं एन. एस. सक्सेन	प्रायोगिक भौतिकी	कॉलेज बुक हाउस, जयपुर

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

1. सन्धि डायोड में बहने वाली धारा का मान इस बात पर निर्भर करता है कि डायोड को अग्रबायसित किया गया है अथवा पश्च बायसित। इसके अतिरिक्त किसी भी बायस अवस्था में बैटरी की वोल्टता पर निर्भर करेगा।
2. V - I वक्र में किसी बिन्दु अर्थात वोल्टता पर डायोड का प्रतिरोध प्रदर्शित करता है।

13.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral questions and answers)

1. क्या सन्धि डायोड का प्रतिरोध एक नियत राशि है?

उत्तर: नहीं, यह आरोपित विभव के मान पर निर्भर करता है।

2. सन्धि-डायोड के दो उपयोग बताइए।

उत्तर: इसका उपयोग दिष्टकारी एवं तार्किक द्वार (logic gates) में होता है।

3. पश्च संतृप्त धारा से आप क्या समझते है?

उत्तर: यह अल्पसंख्यक वाहकों द्वारा बहने वाली धारा है जो मुख्यत: ताप पर निर्भर करती है।

4. जीनर डायोड का कोई उपयोग बताइये।

उत्तर: यह विभव नियामक (Voltage regulator) में काम आता है।

5. कोटर या होल क्या होते है?

उत्तर: होल धनावेशित वाहक होते हैं जिनका विस्थापन इलेक्ट्रान के विस्थापन के विपरीत दिशा में होता है।

6. संधि-डायोड क्या होता है?

उत्तर: सन्धि डायोड की रचना में सन्धि पर एक विभव रोधिका की उत्पत्ति हो जाती है जो मुक्त आवेश वाहकों के प्रवाह को बाधित करती है। इस युक्ति का व्यवहार डायोड जैसा होने के कारण इसे सन्धि डायोड कहते है।

7. अग्र दिशिक व पश्च दिशिक बायस क्या होता है?

उत्तर: जब सन्धि डायोड को बेटरी से इस प्रकार जोड़े कि संधि का P भाग बैटरी के धनाग्र से तथा N भाग ऋणाग्र से जुड़ा हो तो अग्रदिशिक बायस व्यवस्था होती है। इसके विपरीत होने पर पश्च बायस व्यवस्था कहलाती है।

8. जीनर प्रभाव क्या होता है?

उत्तर: पश्च बायस व्यवस्था में जब बायस वोल्टता का मान एक सीमा से अधिक हो जाता है तो परिपथ में धारा का मान एकाएक अधिक हो जाता है। यह प्रक्रिया ऐवलांच भंजन के कारण होती है। इस प्रभाव को जीनर प्रभाव कहते है।

प्रयोग -14

जंक्शन एवं बिन्दु स्पर्श डायोड के पुनर्प्राप्ति. समय का अध्ययन करना

(To study recovery time for junction and point contact diode)

प्रयोग की रूपरेखा

14.0 उद्देश्य
14.1 प्रस्तावना
14.2 आवश्यक उपकरण
14.3 सिद्धान्त
14.4 परिपथ चित्र
14.5 विधि
14.6 प्रेक्षण
14.7 गणना व परिणाम
14.8 पूर्वावधान व त्रुटियों के स्त्रोत
14.9 सारांश
14.10 शब्दावली
14.11 संदर्भ ग्रंथ
14.12 बोध प्रश्नों के उत्तर
14.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

14.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के बाद आप

- पुनर्प्राप्ति काल का तात्पर्य समझ सकेंगे;
- जंक्शन डायोड व बिन्दु स्पर्श डायोड के पुनर्प्राप्ति काल ज्ञात करके इनकी तुलना कर सकेंगे।

14.1 प्रस्तावना (Introduction)

आदर्श अवस्था में एक डायोड अग्र बायस होने पर शुद्ध (perfect) चालक तथा पश्च बायस होने पर शुद्ध कुचालक की तरह व्यवहार करता है। डायोड को अग्र बायस से पश्च बायस कर दें तो यह ऐसी स्थिति का वर्णन करती है जिसमें डायोड चालक अवस्था से कुचालक अवस्था में आ जाता है। बहने वाली धारा का मान घटकर जितने समय में धारा (leakage current) के बराबर हो जाता वह समय डायोड के लिये एक विशेष लक्षण है। इस समय को

पुनर्प्राप्ति समय के साथ संबधित किया गया है। पुनर्प्राप्ति काल का मान सभी डायोडों में एक समान नही होता है। सामान्य डायोडों (जैसे 1 N 4001) में इसका मान एक माइक्रोसेकण्ड की कोटि का होता है। अत: यदि 60 हर्टज वाली शक्ति प्रदायक का इसमें उपयोग करें तो एक माइक्रोसेकण्ड पुनर्प्राप्ति समय का कोई महत्व नहीं रहता है। यदि डायोड को उच्च आवृत्ति (100 KHz) पर चलाया जायें तो एक साइकल (cycle) के समय के संदर्भ में इसका महत्व हो जाता है। कुछ ऐसे डायोड भी होते हैं जिनका पुनर्प्राप्तिकाल काफी अल्प होता है जैसे शॉटकी डायोड ZC 2800। ये डायोड भी एक प्रकार के अर्धचालक- चालक संधि होते हैं और इनका पुनर्प्राप्ति समय 100 पिकोसेकण्ड की कोटि का होता है। अत: ऐसे प्रयोग का वर्णन आपके लिये महत्वपूर्ण होगा जिसमे आप साधारण डायोड और बिन्दु स्पर्श डायोड (point contact diode) का पुनर्प्राप्ति काल ज्ञात कर सकें। इस प्रयोग के लिये आवश्यक उपकरणों की सूची अनुच्छेद 14.2 में दी गयी है। अनुच्छेद 14.3 में प्रयोग से संबधित सिद्धान्त को विस्तार से लिखा गया है। प्रयोग करने की बिन्दुवार विधि अनुच्छेद 14.4 मे समझायी गयी है। प्रयोग के लिये उपयुक्त सारणी अनुच्छेद 14.6 में बतायी गयी है। गणना की आवश्यक जानकारी अनुच्छेद 14.7 में है। इसी अनुच्छेद में प्रयोग से प्राप्त परिणाम का भी उल्लेख किया गया है प्रयोग करने के समय काम में ली जाने वाली सावधानियाँ और त्रुटियों के स्त्रोत की जानकारी अनुच्छेद 14.8 में दी गयी है। प्रयोग का सारांश अनुच्छेद 14.9 में दिया गया है। प्रयोग से संबंधित महत्वपूर्ण शब्दावली अनुच्छेद 14.10 मे तथा संदर्भ ग्रन्थ अनुच्छेद 14.11 में दिये गये है। बोध प्रश्नों के उत्तर अनुच्छेद 14.12 में दिये गये है। अन्त में प्रयोग से संबंधित मौखिक प्रश्न और उनके उत्तर अनुच्छेद 14.13 में दिये गये है।

14.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

जंक्शन डायोड, बिन्दु स्पर्श, उच्च प्रतिरोध, सुग्राही धारामापी (Sensitive ammeter), विराम घड़ी, केथोड किरण अस्सिलोस्कोप (C R O) इत्यादि।

14.3 सिद्धान्त (Theory)

किसी भी डायोड में p क्षेत्र में कोटरों (holes) तथा n क्षेत्र में इलेक्ट्रानों का आधिक्य रहता है तथा इसके जंक्शन पर एक अवक्षय क्षेत्र बनता है जो आवेशों के विसरण को रोकता है।

डायोड के अग्र बायसित (forward biased) होने की अवस्था में बैटरी वोल्टता के कारण n क्षेत्र के इलेक्ट्रॉनों की उर्जा में वृद्धि होती है, जिसके कारण वे अवक्षय परत (depletion layer) की तरफ इसे पार करते हुये p क्षेत्र की ओर गतिशील होते हैं। ये इलेक्ट्रॉन कोटरों से पुनर्नियोजन के पूर्व अवक्षय परत पार कर p क्षेत्र में कुछ दूर तक विसरित हो सकते हैं। इलेक्ट्रॉन p क्षेत्र में कितनी दूरी तक तथा कितनी संख्या में जायेंगे यह बायस वोल्टता पर निर्भर करता है। बायस वोल्टता के बढ़ने पर इनके मान में वृद्धि होती है। ठीक इसी प्रकार से कोटर भी बायस वोल्टता के कारण p क्षेत्र से n क्षेत्र की ओर विसरित होते हैं। इलेक्ट्रॉन और कोटर का आयुकाल (life time) भी होता है। अर्थात यदि इनका आयुकाल

1×10^{-6} सेकण्ड हो तो इसका यह तात्पर्य है कि इस समयावधि मे यह स्वतन्त्र विचरण कर सकते हैं और इसके बाद ये लुप्त हो जायेंगे। इन आवेश वाहकों के आयुकाल के कारण कुछ समय के लिये जंक्शन या परत क्षेत्र में अग्रबायसित वोल्टता लगाने पर आवेशों का संचयन होने लगता है। इस प्रभाव को आवेश संचयन प्रभाव (change accumulation effect) कहते हैं। अधिक अग्र धारा होने पर आवेश संचयन का मान भी ज्यादा होता है। समझने योग्य तथ्य यह है कि अवक्षय परत से n क्षेत्र में कोटरों की तथा p क्षेत्र मे इलेक्ट्रानों का संचयन होता है अर्थात यह भण्डारण अल्प संख्यक आवेश वाहकों का हु आ है।

अब यदि अचानक डायोड को अग्र बायसित अवस्था से पश्च बायसित अवस्था में ले आयें तो इन संचित आवेशों के कारण अल्प समय के लिये पश्च धारा बहने लगती है जो शीघ्र ही घटकर स्थायी पश्च धारा के बराबर हो जाती है। ऐसा करना तब संभव है जब बैटरी के स्थान पर उच्च आवृर्ति प्रत्यावर्ती स्रोत (high frequency a.c. source) लगाया जाये।

किसी भी अग्र बायसित डायोड के एकाएक पश्च बायसित होने पर प्राप्त पश्च धारा के अधिकतम मान का 1/e होने मे लगने वाला समय डायोड का पुनर्प्राप्तिकाल (recovery time) कहलाता है।

सूत्र $$\tau_{rr} = \frac{I_r.T}{I_o} \quad ......(14.1)$$

τ_{rr} - पश्च पुनर्प्राप्तिकाल

I_r - पश्च धारा का औसत मान

T - आयत तरंग विभव का आवर्तकाल

I_o - परिपथ में अधिकतम धारा का मान

चुंकि $I_o = \frac{V}{R}$ अत:

$$\tau_{rr} = \frac{I_r TR}{V} = \frac{I_r R}{V_f} \quad ....(14.2)$$

R - परिपथ में प्रतिरोध का मान

f - आयत तरंग विभव की आवृत्ति तथा

V - आयत तरंग का विभव आयाम

बोध प्रश्न (Self assessment questions)

1. पुनर्प्राप्ति काल का मात्रक क्या होता है?

_ _

_ _

2. जंक्शन डायोड और बिन्दु स्पर्श डायोड मे किसका पुनर्प्राप्ति काल कम होता है?

_ _

_ _

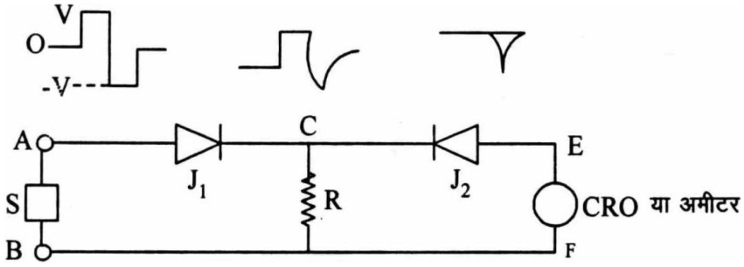
3. साधारण डायोड का पुनर्प्राप्ति काल किस कोटि का होता है?

_ _

_ _

14.4 परिपथ चित्र (Cicruit diagram)

चित्र 14.1 इस प्रयोग का परिपथ चित्र है। बिन्दु A व B के मध्य एक उच्च आवृत्ति आयत तरंग वोल्टता स्त्रोत S लगाया जाता है। इसका आकार चित्र 14.1 के ऊपरी भाग में दर्शाया गया है। बिन्दु C व D पर प्राप्त तंरग आकृतियाँ भी दिखायी गयी है। जब आयत तंरग वोल्टता 0 से V के बीच है तब संधि J_1 अग्रबायसित है और अग्र धारा बहती है।



चित्र 14.1

R एक उच्च प्रतिरोध है, इसकी तुलना में बिन्दुस्पर्श डायोड का अग्रदिशिक प्रतिरोध नगण्य है। जब डायोड वोल्टता V से -V होती है तथा अर्ध आवर्तकाल के लिये -V रहती है तब धारा तात्कालिक रूप से शून्य नहीं होकर चरघातांकी रूप से कम होती है। परिणामी वोल्टता चित्रानुसार दिखायी देती है।

अब यदि एक अन्य डायोड J_2 को भी चित्र 14.1 के अनुसार लगायें तो स्पष्ट है कि बिन्दु EF के मध्य वोल्टता चित्र में दिखाये अनुसार होगी क्योंकि जब J_1 अग्रबायसित है तब J_2 पश्च बायासित है। इसे केथोड किरण ओस्सिलोस्कोप के माध्यम से देखा जा सकता है। EF के मध्य यदि अमीटर लगाया जाये तो धारा का औसत मान प्राप्त हो जाता है।

14.5 विधि (Method)

(i) चित्र 14.1 के अनुसार परिपथ का संयोजन कीजिये और पहले जंक्शन डायोड के साथ प्रयोग करें।

(ii) आयत तंरग वोल्टता जनित्र S की निर्गत वोल्टता का कुछ उपयुक्त मान निश्चित करें। इस मान के लिये आप प्रयोगशाला में पूछ लें अथवा डायोड का मेनुअल देखें कि इस डायोड की सुरक्षित अधिकतम वोल्टता कितनी है।

(iii) जनित्र की आवृत्ति का मान उच्च आवृत्ति परास में लगभग 10 MHz पर स्थिर कीजिये।

(iv) EF के मध्य लगे अमीटर का पाठ्यांक लीजिये। माना यह पाठ्यांक I_r है। EF के मध्य ओस्सिलोस्कोप लगाने पर वोल्टता की आकृत्ति को देखा जा सकता है, जो चित्रानुसार होगी।

(v) इस आवृत्ति पर ही वोल्टता के 4 - 5 विभिन्न मानों के लिये I_r का मान ज्ञात करें।

(vi) सूत्र 14.2 से τ_{rr} की गणना करें।

(vii) उपरोक्त विधि बिन्दु स्पर्श डायोड के लिये भी दोहरायें।

14.6 प्रेक्षण (Observations)

डायोड संख्या	= __________
डायोड की अधिकतम सुरक्षित वोल्टता	= __________ वोल्ट
डायोड की अधिकतम सुरक्षित शक्ति हानि	= __________ वाट
प्रेक्षण सारणी	
आयत तरंग वोल्टता की आवृत्ति (f)	= __________ मेगा हर्टज
प्रतिरोध (R)	= __________ ओम

जंक्शन डायोड-

क्रम संख्या	आयत तरंग वोल्टता)V (वोल्ट) में(	औसत धारा) I_r (	पुनर्प्राप्ति काल $\tau_{rr} = \frac{RI_r}{Vn}$
.1			
.2			
.3			
.4			
.5			
.6			
.7			
.8			
.9			
.10			

बिन्दु स्पर्श डायोड के लिये भी इसी तरह की सारणी बनायें।

14.7 गणना एवं परिणाम (Calculations and result)

गणना

सूत्र $\tau_{rr} = \frac{I_r R}{V_f}$ से दोनों डायोडों के पुनर्प्राप्तिकाल की गणना करें।

परिणाम

निवेशी वोल्टता के ... से ... मान के लिये दिये गये जंक्शन डायोड का पुनर्प्राप्ति काल ... से ... सेकण्ड प्राप्त हुआ है तथा बिन्दुस्पर्श डायोड का पुनर्प्राप्ति काल प्राप्त हुआ है।

14.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्त्रोत (Precautions and sources of error)

पूर्वावधान

1. संबंध स्वच्छ एवं ठीक से कसे होना चाहिये।
2. वोल्टता की परास का चयन सावधानी से करें अन्यथा डायोड के जलने की संभावना रहती है।
3. इस प्रयोग के लिये ऐसे डायोड का ही चयन करें जिसका पुनर्प्राप्तिकाल अधिक हो। साधारण डायोड IN 4001 इसके लिये उपयुक्त नहीं है परन्तु IN 4933, IN 4148 जैसे डायोड का प्रयोग किया जा सकता है बिन्दु स्पर्श डायोड का पुनर्प्राप्तिकाल नेनोसेकण्ड से भी कम है अत: उपयुक्त है।

त्रुटियों के स्त्रोत

1. कम पुनर्प्राप्तिकाल के डायोड का चयन किया गया हों।
2. प्रेक्षण सुरक्षित परास से बाहर लिये गये हों।
3. अमीटर अतिसुग्राही न होने पर दो विभिन्न वोल्टताओं पर एक सी धारा के पढने के कारण τ के मान में त्रुटि संभव है।

14.9 सारांश (Summary)

- प्रत्येक डायोड का पुनर्प्राप्ति काल होता है किसी का कम और किसी का अधिक।
- किसी भी अग्रबायसित डायोड को अचानक पश्च बायसित करने पर प्राप्त पश्च धारा के अधिकतम मान का 1/e होने मे व्यतीत समय उस डायोड का पुनर्प्राप्ति काल कहलाता है।
- डायोड में पुनर्प्राप्ति काल का कारण अग्र बायस अवस्था में संधि के निकट आवेश संचयन है।

14.10 शब्दावली (Glossary)

अग्रबायसित	Forward biased
अपक्षय परत	Depletion layer
उच्च आवृत्ति स्त्रोत	High frequency source
आयुकाल	Life time
आवेश संचयन प्रभाव	Charge accumulation effect
कोटर	Hole
पुनर्प्राप्तिकाल	Recovery time
बिन्दु स्पर्श डायोड	Point contact diode

शुद्ध	Pure
साइकल	Cycle
सुग्राही धारामापी	Sensitive ammeter

14.11 संदर्भ ग्रन्थ (Reference books)

प्रभा दशोरा दीपक भटनागर एवं के बी शर्मा	प्रायोगिक भौतिकी	रमेश बुक डिपो, जयपुर

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

1. सेकण्ड
2. बिन्दु स्पर्श डायोड का
3. एक माइक्रोसेकण्ड

14.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral questions and answers)

1. आवेश संचयन क्या है?

उत्तर: डायोड को अग्र बायसित करने पर जो अग्र बायस धारा बहती है वह p तथा n दोनों क्षेत्रों में क्रमश: इलेक्ट्रॉन व कोटरों को प्रवेश कराती है। ये इलेक्ट्रॉन और कोटर इन क्षेत्रों में अल्पसंख्यक वाहक हैं। इस प्रकार आवेश संचरित होते हैं तथा इस क्रिया को आवेश संचयन कहते हैं.।

2. साधारण डायोड का पुनर्प्राप्ति काल कितना होता है?

उत्तर: यह एक माइक्रो सेकण्ड की कोटि का होता है।

3. बिन्दु स्पर्श डायोड का पुनर्प्राप्ति काल कितना होता है?

उत्तर: यह एक पिको सेकण्ड की कोटि का होता है।

4. किसी डायोड संधि का व्यवहार प्रत्यावर्ती वोल्टता में समझाइये।

उत्तर: यदि किसी संधि पर प्रत्यावर्ती वोल्टता आरोपित की जाये तो जैसे ही विभव धनात्मक से ऋणात्मक होता है, धारा तत्काल न तो शुन्य ही होती है और न ही पश्च धारा के बराबर होती है। ऐसा होने मे इसे समय लगता है। कुछ समय तक धारा अधिक मात्रा में बहती है, फिर चरधातांकी रूप से घटती है तथा साम्यावस्था में पश्च धारा के बराबर हो जाती है। यदि अल्प आवर्तकाल की प्रत्यावर्ती वोल्टता किसी डायोड पर लगायी जावे तो वह दिष्टकरण नहीं करेगा। अपितु धनात्मक एवं ऋणात्मक दोनों अर्धकालों में पर्याप्त धारा बहेगी।

प्रयोग-15

OR, AND व NOT तार्किक द्वारों का अध्ययन करना
(To study the OR, AND and NOT logic gates)

इकाई की रूपरेखा

15.0 उद्देश्य
15.1 प्रस्तावना
15.2 आवश्यक उपकरण
15.3 सिद्धान्त
15.4 चित्र
15.5 विधि
15.6 प्रेक्षण
15.7 परिणाम
15.8 पूर्वावधान एवं त्रुटियों के स्रोत
15.9 सारांश
15.10 शब्दावली
15.11 संदर्भ ग्रन्थ
15.12 बोध प्रश्नों के उत्तर
15.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर

15.0 उद्देश्य (Objectives)

इस प्रयोग को करने के बाद आप

- तार्किक द्वारों के विषय में जानकारी प्राप्त कर सकते हैं;
- OR, AND तथा NOT द्वारों का अध्ययन कर सकते हैं।

15.1 प्रस्तावना (Introduction)

तर्क (Logic) व्यक्ति विशेष का वह क्षेत्र है जिससे विचारणीय कथन की सत्यता (truthness) या असत्यता (falseness) को जाँचा (परखा) जाता है। तर्क-संगत कथनों को गणितीय पद्धति से हल करने के लिए 1856 में जार्ज बूल (George Boole) ने द्विआधारी संकेतों (0 व 1) का उपयोग कर बीजगणित का विकास किया जिसे बूलीय बीजगणित (Boolean Algebra) कहते हैं। इन गणितीय तर्क-संगत कथनों का द्विअंकीय परिपथों द्वारा हल करने के लिए तीन मूलभूत तर्क द्वार OR,AND व NOT का उपयोग किया जाता है। इस प्रयोग में आप OR,AND व NOT द्वारा का अध्ययन करेंगे। इसके लिए आवश्यक उपकरणों की सूची अनुच्छेद 15.2 में दी गयी है। प्रयोग से सम्बंधित भौतिक सिद्धान्त का

संक्षिप्त वर्णन अनुच्छेद 15.3 में दिया गया है। अनुच्छेद 15.4 में प्रयोग करने के लिए आवश्यक चित्र दिया गया है। प्रयोग की बिन्दुवार विधि अनुच्छेद 15.5 में समझायी गयी है। प्रयोग से प्राप्त प्रेक्षणों को अंकित करने के लिए प्रेक्षण सारणी अनुच्छेद 15.6 में दी गयी है। अनुच्छेद 15.7 में परिणाम की जानकारी दी गयी है। प्रयोग के दौरान रखे जाने वाले पूर्वावधान तथा त्रुटियों के स्त्रोत की जानकारी अनुच्छेद 15.8 में दी गयी है। अनुच्छेद 15.9 तथा 15.10 में क्रमश: प्रयोग का सारांश तथा प्रयोग से सम्बंधित महत्वपूर्ण शब्दावली दिये गये हैं। अनुच्छेद 15.11 में संदर्भ ग्रन्थ दिये गये हैं। बोध प्रश्नों के उत्तर अनुच्छेद 15.12 में दिये गये हैं। अन्त में प्रयोग से सम्बंधित मौखिक प्रश्न तथा उनके उत्तर अनुच्छेद 15.13 में दिये गये हैं।

15.2 आवश्यक उपकरण (Apparatus required)

सामान्यतया प्रयोगशाला में OR,AND व NOT द्वारों के अध्ययन के लिए पैनल बोर्ड उपलब्ध रहता है जो कि विभिन्न अवयवों ट्राजिस्टर, डायोड, प्रतिरोध इत्यादि तथा एकीकृत परिपथ (ICs) से बना होता है। यदि पैनल बोर्ड उपलब्ध न हो तो ट्रांजिस्टर 2 (BC 107), डायोड (IN 4001), प्रतिरोध (1,47,10,330 $k\Omega$ आदि) 5 वोल्ट DC शक्ति प्रदायक स्त्रोत, प्रकाश उत्सर्जक डायोड (LED), ब्रेड बोर्ड, संयोजन तार इत्यादि से द्वार बना सकते हैं।

15.3 सिद्धान्त (Theory)

तर्क-संगत कथनों को द्विअंकीय परिपथों द्वारा हल करने के लिए तीन मूलभूत तर्क परिपथों (basic logic circuits) का उपयोग किया जाता है इन्हे मूलभूत तर्क द्वार (basic logic gate) कहते हैं : OR,AND तथा NOT। तार्किक परिपथ में दो या दो से अधिक निवेशी टर्मिनल होते हैं परन्तु निर्गत टर्मिनल एक ही होता है। तार्किक द्वार खुले (OFF) एवं बन्द (ON) स्विच की तरह कार्य करते हैं। इन अवस्थाओं को क्रमश: 0 तथा 1 द्वारा प्रदर्शित करते हैं। इस प्रकार अंकीय इलेक्ट्रॉनिकी में या तो खुली (0, निम्न वोल्टता) या बन्द (1, उच्च वोल्टता) स्थिति प्राप्त होती है। अब आप OR,AND तथा NOT द्वारों का संक्षिप्त में अध्ययन करेंगे।

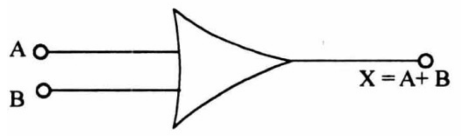
OR द्वार (OR gate)

इसमें दो या दो से अधिक निवेशी टर्मिनल तथा एक निर्गम होता है। OR द्वार में यदि एक या एक से अधिक निवेशी अवस्था 1 (उच्च) में होते हैं तो निर्गम पर अवस्था 1 (उच्च) प्राप्त होती है तथा जब सभी निवेशी अवस्था 0 (निम्न) में होते हैं तो निर्गम पर अवस्था 0 (निम्न) प्राप्त होती है। OR द्वार की संक्रिया को बूलीय व्यंजक मे धन (+) चिन्ह लगाकर निरूपित करते हैं जैसे यदि A व B दो निवेशी टर्मिनल हो तो OR द्वार का निर्गम X =A+B होगा अर्थात् X,A ओर (OR) B के तुल्य है। OR द्वार की सत्यमान सारणी निम्न होगी।

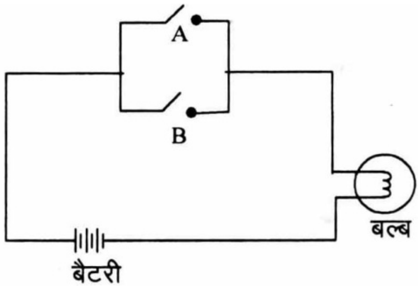
निवेश		निर्गम
A	B	X = A + B

0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

OR द्वार का प्रतीक चिन्ह चित्र 15.1 में दिया गया है। OR द्वार की संक्रिया को समान्तर क्रम में जुड़े वैद्युत स्विचों द्वारा भी समझ सकते हैं जिसे चित्र 15.2 में दर्शाया गया है। चित्र के अनुसार कोई भी स्विच A या B या दोनों बन्द (ON) होने पर निर्गम संकेत (X) भी बन्द होगा अर्थात् -बल प्रदीप्त होगा तथा जब सभी स्विच खुले (OFF) होने पर ही निर्गमु संकेत खुला होगा अर्थात् बल अदीप्त होगा।



चित्र 15.1



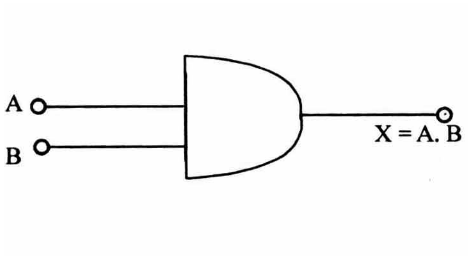
चित्र 15.2

AND द्वारा (AND gate)

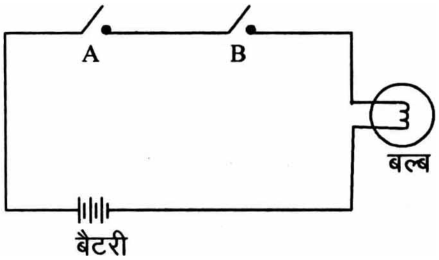
इसमें भी दो या दो से अधिक निवेशी टर्मिनल परन्तु निर्गम टर्मिनल एक ही होता है। AND द्वार में निर्गम अवस्था 1 (उच्च) तभी प्राप्त होती है जब सभी निवेशी अवस्था व में हो अन्यथा निर्गम हमेशा अवस्था 0.(निम्न) न, होगा। AND द्वार की संक्रिया को बूलीय व्यंजक में ड़ॉट (.) लगाकर निरूपित करते हैं। अर्थात् यदि A व B दो निवेशी टर्मिनल हो तो AND संक्रिया का निर्गम X = A.B (A ऐण्ड (AND)B) होगा। AND द्वार की सत्यमान सारणी निम्न होती है

निवेश		निर्गम
A	B	X = A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

AND द्वार का प्रतीक चिन्ह चित्र 15.3 में प्रदर्शित किया गया है। AND द्वार की संक्रिया को श्रेणीक्रमं मे जुड़े वैद्युत (स्विचों द्वारा भी समझ सकते हैं जिसे चित्र 15.4 में दर्शाया गया है। इसके अनुसार यदि स्विच A व B में से कोई भी खुली (OFF) अवस्था में है तो बल्ब अदीप्त होगा अर्थात निर्गम अवस्था 0 में होगी। बल तभी प्रदीप्त अवस्था में होगा। जब सभी स्विच बन्द (ON) अवस्था में होंगे। अर्थात् अवस्था 1 में होंगे।



चित्र 15.3



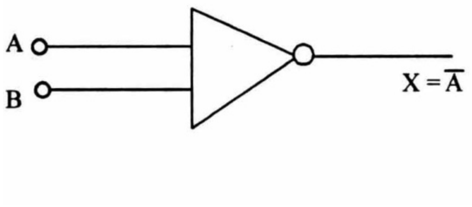
चित्र 15.4

NOT द्वारा (NOT gate)

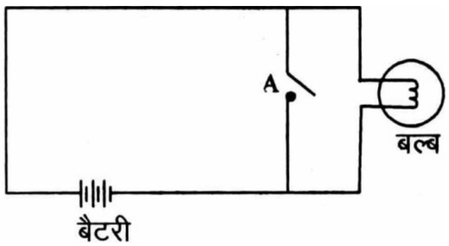
NOT द्वार में केवल एक निवेशी टर्मिनल तथा एक ही निर्गम होता है। NOT द्वार का निवेशी अवस्था 0 में होता है तो निर्गम पर अवस्था 1 प्राप्त होती है अर्थात् NOT द्वार में निर्गम हमेशा निवेशी टर्मिनल की अवस्था का विपरीत होता है। अत: यह निषेध तर्क (Negation) का कार्य करता है। इसी कारण इस द्वार को प्रतिलोमक भी कहते हैं। not द्वार की सत्यमान सारणी निम्न होती है।

निवेश	निर्गम
A	X = X =A
0	1
1	0

NOT द्वार में यदि A निवेश है तो निर्गम को A पर डेश (dash) या रेखिका (bar) लगाकर निरूपित करते हैं। NOT द्वार का प्रतीक चिन्ह चित्र 15.5 में दर्शाया गया है। NOT द्वार की संक्रिया को बल के समान्तर क्रम में जुड़े वैद्युत स्विच द्वारा समझ सकते है जैसा कि चित्र 15.6 में दर्शाया गया है। चित्र से यदि स्विच A बन्द (ON) अवस्था में है तो बल अदीप्त होगा अर्थात् निर्गम पर अवस्था 0 प्राप्त होगी। इसी प्रकार यदि स्विच A खुली (OFF) अवस्था में है तो बल प्रदीप्त होगा।



चित्र 15.5



चित्र 15.6

बोध प्रश्न (Self assessment question)

1. तर्क द्वारा की सत्यमान सारणी क्या होती है?

_ _

_ _

2. OR द्वारा के दो निवेशी सिरों के लिए सत्यमान सारणी बनाइये।

_ _

—————————————————————————————

3. AND द्वारा के तीन निवेशी सिरों के लिए सत्यमान सारणी बनाइये।

—————————————————————————————

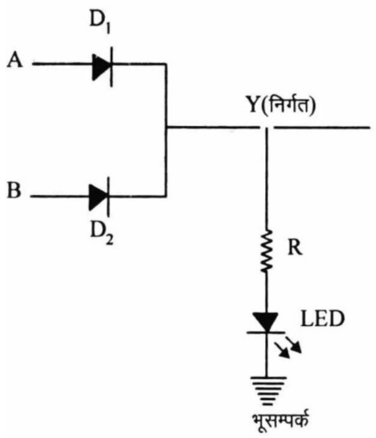
—————————————————————————————

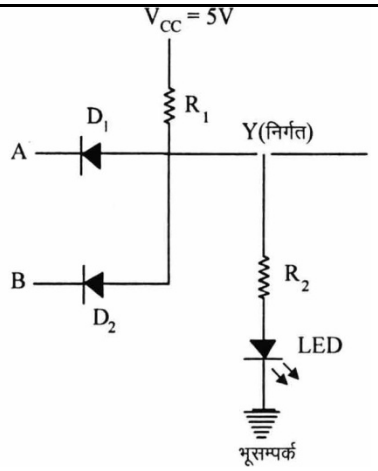
4. NOT द्वारा का सांकेतिक चिन्ह बनाइये।

—————————————————————————————

—————————————————————————————

15.4 परिपथ चित्र (Circuit diagram)





15.5 विधि (Method)

1. सर्व प्रथम पैनल बोर्ड को प्रत्यावर्ती धारा स्त्रोत से जोड़िये।
2. अब पैनल बोर्ड पर दिये दो निवेशी टर्मिनल वाले OR द्वार का तार्किक परिपथ चित्र 15.7 के अनुसार बनाइये।
3. OR द्वार के दो निवेशी टर्मिनल (A तथा B) को क्रमश: डायोड D_1 व D_2 से जोड़िये तथा डायोड के दूसरे सिरे को प्रतिरोध से होते हुऐ प्रकाश उत्सर्जक डायोड (LED) से जोड़िये जिस पर OR द्वार का निर्गत प्राप्त होता है।
4. निवेशी स्विचों (A तथा D) में से किसी भी एक स्विच को उच्च अवस्था (ON) में रखने पर LED प्रदीप्त अवस्था में होगा अर्थात् निर्गत संकेत उच्च (1) प्राप्त होगा।
5. निवेशी स्विचों के विभिन्न संयोगों का निवेशी मान रखकर प्रायोगिक परिणाम प्राप्त कीजिए तथा इनको सत्यमान सारणी- 1 मे अंकित कीजिए।
6. अब पैनल बोर्ड पर दिये दो निवेशी टर्मिनल वाले AND द्वार का तार्किक परिपथ चित्र 15.8 के अनुसार बनाइये।

7. OR द्वार के तार्किक परिपथ के समान ही AND द्वार के दो निवेशी टर्मिनल A व B को क्रमश: डायोड D_1 तथा D_2 से जोडिये तथा डायोड के दूसरे सिरे को प्रतिरोध से होते हुऐ प्रकाश उत्सर्जक डायोड से जोड़िये। प्रकाश उत्सर्जक डायोड पर AND द्वार का निर्गत प्राप्त होता है।
8. निवेशी स्विचों A व B को भिन्न-भिन्न संयोग (0 या 1) पर रखकर निर्गत संकेत प्राप्त कीजिए।
9. जब सभी निवेशी संकेत 1 अवस्था में होंगे तभी प्रकाश उत्सर्जक डायोड प्रदीप्त होगा अर्थात निर्गत संकेत अवस्था 1 में होगा अन्यथा सभी संयोगों के लिए निर्गत संकेत अवस्था 0 में होगा। इनको सत्यमान सारणी-2 मे अंकित कीजिए।
10. अन्त में चित्र 15.9 के अनुसार विभिन्न अवयवों से बने NOT द्वार का तार्किक परिपथ चित्र पैनल बोर्ड पर दिये अवयवों को संयोजित कर बनाइये तथा इसका निर्गत प्रकाश उत्सर्जक डायोड पर प्राप्त कीजिए।
11. NOT द्वार के निवेशी स्विच को उच्च (1) अवस्था पर रखते हैं तो निर्गत संकेत निम्न (0) अवस्था में प्राप्त होता है अर्थात् निर्गत पर प्रकाश उत्सर्जक डायोड प्रदीप्त होगा। इसी प्रकार यदि निवेशी स्विच को निम्न (0) पर रखते हैं तो निर्गत संकेत उच्च (1) अवस्था में प्राप्त होता है
12. NOT द्वार में प्राप्त प्रेक्षणों को सत्यमान सारणी-3 में अंकित कीजिए।

15.6 प्रेक्षण (Observation)

1. OR द्वार के लिए प्रेक्षण सारणी (सत्यमान सारणी-1)

निवेश		निर्गत	
A	B	X (सेद्धान्तिक)	X (प्रायोगिक)
0	0	0	
0	1	1	
1	0	1	
1	1	1	

2. AND द्वार के लिए प्रेक्षण सारणी (सत्यमान सारणी-2)

A	B	X (सेद्धान्तिक)	X (प्रायोगिक)
0	0	0	
0	1	0	
1	0	0	
1	1	1	

3. NOT द्वार के लिए प्रेक्षण सारणी (सत्यमान सारणी-3)

निवेश	निर्गत	
A	X (सैद्धान्तिक))	(प्रायोगिक)
0	0	
0	1	

15.7 परिणाम (Result)

विभिन्न अवयवों से बने OR,AND व NOT द्वार के लिए सत्यमान सारणी क्रमश: 1,2 व 3 प्राप्त हुई जो कि सैद्धान्तिक मान के तुल्य है।

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

पूर्वावधान

(i) ब्रेड बोर्ड या पैनल बोर्ड पर संयोजन कसे होने चाहिए।

(ii) संयोजन लीड को उपयोग करने से पूर्व सांतत्यता जाँच लेनी चाहिए।

(iii) निवेशी संकेत वोल्टता का मान कम होना चाहिए। क्योंकि ये युक्तियाँ अर्द्धचालकों से बनी होती है।

त्रुटियों के स्त्रोत

(i) संयोजन कसे हुऐ न हो।

(ii) निवेशी संकेत वोल्टता का अधिक होना।

(iii) पैनल बोर्ड पर संयोजन सम्बंधित द्वार के अनुसार नहीं करना।

15.9 सारांश (Summary)

तर्क-संगत गणितीय कथनों को हल करने के लिए तीन मूलभूत तर्क-परिपथों का उपयोग किया जाता है इन्हे AND,OR व NOT तर्क द्वार कहते हैं।

AND व OR द्वारों में दो या दो से अधिक निवेशी टर्मिनल तथा केवल एक निर्गत टर्मिनल होता है जबकि NOT द्वार में केवल एक निवेशी तथा एक ही निर्गत टर्मिनल होता है।

प्रयोग मे डायोड, ट्रांजिस्टर इत्यादि अवयवों से बने पैनल बोर्ड का उपयोग कर OR,AND व NOT द्वारों का अध्ययन किया।

15.10 शब्दावली (Glossary)

अंकीय	Digital
अवयव	Element
प्रकाश उत्सर्जक डायोड	Light emitting diode
परिपथ	Circuit
प्रतिरोध	Resistance

द्वार	Gate
निवेश	Input
निर्गम / निर्गत	Output
सत्यमान सारणी	Truth table
संयोजक तार	Connecting wires
सैद्धान्तिक	Theoretical
तर्क	Logic

15.11 सन्दर्भ ग्रन्थ (Reference Books)

एम.पी. सक्सेना, पी.आर. सिंह एवं एस.एस. रावत	परिपथ विश्लेषण एवं इलेक्ट्रॉनिकी	कॉलेज बुक हाउस, जयपुर
प्रभा दशोरा, दीपक भटनागर एवं के. बी. शर्मा	तृतीय वर्ष B.Sc. प्रायोगिक भौतिकी	रमेश बुक डिपो, जयपुर

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

1. तर्क द्वार की सत्यमान-सारणी एक सारणी होती है जो सभी निवेश के समूहों तथा उनके संगत निर्गत को प्रदर्शित करती है।

2. OR द्वार के दो निवेशी सिरों के लिए सत्यमान सारणी

निवेश		निर्गम
A	B	X = A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

3. AND द्वार के तीन निवेशी सिरों के लिए सत्यमान सारणी

निवेश			निर्गम
A	B	C	X = A. B. C
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0

1	1	0	0
1	1	1	1

4. NOT द्वार का प्रतिकात्मक (सांकेतिक) चित्र

15.13 मौखिक प्रश्न व उत्तर (Oral questions and answers)

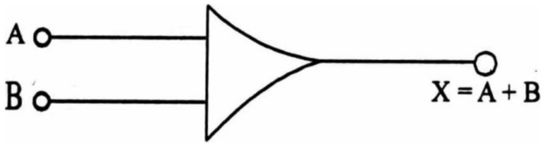
1. तार्किक परिपथ क्या होते हैं?

उत्तर : किसी भी अंकीय परिपथ जिसका विश्लेषण बूलीय -बीजगणित की सहायता से कर सकते हैं तार्किक परिपथ कहलाता है।

2. मूलभूत तार्किक द्वार कितने प्रकार के होते हैं?

उत्तर: मूलभूत तार्किक द्वार तीन प्रकार के होते हैं. AND, OR व NOT

3. OR द्वार का प्रतीक चिन्ह बनाइये।

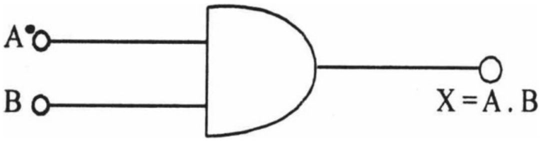


4. तार्किक द्वार बनाने में कौन-कौन से अवयव काम में आते हैं?

उत्तर: तार्किक द्वार बनाने में ट्राजिस्टर, डायोड, प्रतिरोध इत्यादि अवयव काम में आते हैं।

5. AND हार का प्रतीक चिन्ह बनाइये।

उत्तर:



6. NOT द्वार के लिए सत्यमान सारणी बनाइये

उत्तर: NOT द्वार के लिए सत्यमान सारणी

निवेश	निर्गम
A	X = A
0	1
1	0

7. तार्किक द्वारों का उपयोग किसमें किया जाता है?

उत्तर: तार्किक द्वारो का उपयोग जटिल अंकीय परिपथ (complex digital circuit) जैसे अभिकलित्र (computer) में किया जाता है।

कुछ उपयोगी भौतिक राशियों के मान एवं भौतिक नियतांक

1. कुछ महत्वपूर्ण भौतिक नियतांक

1. इलैक्टॉन का द्रव्यमान	= 9.11×10^{-31} kg
2. इलैक्टॉन का आवेश	= 1.6×10^{-19} C
3. प्लॉक नियतांक (h)	= 6.625×10^{-34}J-sec

4.	प्रकाश का वेग	= 3×10^{8} m/sec
5.	वोल्ट्समैन नियतांक (k_B)	= $1.38\times10^{-23}JK^{-1}$
6.	स्टीफन नियतांक (σ)	= $5.67\times10^{-8}J/sec.m^{2}K^{4}$
7.	इलेक्ट्रॉन के विशिष्ट आवेश (e/m)	= $1.7588\times10^{11}C/kg$

2. अर्धचालकों में वर्जित ऊर्जा अन्तराल (Forbidden energy gap in semiconductors)

पदार्थ	$\Delta E(eV)$ 300K पर	पदार्थ	$\Delta E(eV)$ 300K पर
हीरा	7.2	इन्डियम एन्टिमोनाइड (InSb)	0.18
सिलीकन (Si)	1.12	टेल्यूरियम Te	0.38
जरमेनियम (Gi)	0.67	लेड सल्फाइड (PbS)	0.37
गेलियम आर्सेनाइड (GaAs)	1.43	लेड टेल्यूराइड (PuTe)	0.32
गेलियम एन्टिमोनाइड (GaSb)	0.7		

3. कुछ अर्धचालक डायोडों के अभिलक्षणिक

संख्या	IV	I_{max}	उपयोग
IN 4001	400V	1A	दृष्टीकरण
IN 4002	400V	2A	दृष्टीकरण
IN 4003	400V	3A	दृष्टीकरण
IN 4004	400V	4A	दृष्टीकरण
IN 4005	400V	5A	दृष्टीकरण
IN 4006	400V	6A	दृष्टीकरण
IN 4007	400V	7A	दृष्टीकरण

4. चुम्बकीय आयतन प्रवत्ति का मान (सी. जी. एस. पद्वति मे)

पदार्थ	चुम्बकीय आयतन प्रवत्ति
वायु	28.7×10^{-9}
पानी	-0.72×10^{-6}
मैगनीज क्लोराइड	107×10^{-6}
फैरिक क्लोराइड	867×10^{-6}
फैरस क्लोराइड	101×10^{-6}
कॉच	-1.6×10^{-6}
निकल आक्साइड	54×10^{-6}

LOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0086	0128	0170						5	9	13	17	21	26	30	34	38
						0212	0253	0294	0334	0374	4	8	12	16	20	24	28	32	36
11	0414	0453	0492	0531	0569						4	8	12	16	20	23	27	31	35
						0607	0645	0682	0719	0755	4	7	11	15	18	22	26	29	33
12	0792	0828	0864	0899	0934						3	7	11	14	18	21	25	28	32
						0969	1004	1038	1072	1106	3	7	10	14	17	20	24	27	31
13	1139	1173	1206	1239	1271						3	6	10	13	16	19	23	26	29
						1303	1335	1367	1399	1430	3	7	10	13	16	19	22	25	29
14	1461	1492	1523	1553	1584						3	6	9	12	15	19	22	25	28
						1614	1644	2673	1703	1732	3	6	9	12	14	17	20	23	26
15	1761	1790	1818	1847	1875						3	6	9	11	14	17	20	23	26
						1903	1931	1959	1987	2014	3	6	8	11	14	17	19	22	25
16	2041	2068	2095	2122	2148						3	6	8	11	14	16	19	22	24
						2175	2201	2227	2253	2279	3	5	8	10	13	16	18	21	23
17	2304	2330	2355	2380	2405						3	5	8	10	13	15	18	20	23
						2430	2455	2480	2504	2529	3	5	8	10	12	15	17	20	22
18	2553	2577	2601	2625	2648						2	5	7	9	12	14	17	19	21
						2672	2695	2718	2742	2765	2	4	7	9	11	14	16	18	21
19	2788	2810	2833	2856	2878						2	4	7	9	11	13	16	18	20
						2900	2923	2945	2967	2989	2	4	6	8	11	13	15	17	19
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3119	3160	3181	3201	2	4	6	8	11	13	15	17	19
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404	2	4	6	8	10	12	14	16	18
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598	2	4	6	8	10	12	14	15	17
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784	2	4	6	7	9	11	13	15	17
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962	2	4	5	7	9	11	12	14	16
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133	2	3	5	7	9	10	12	14	15
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298	2	3	5	7	8	10	11	13	15
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456	2	3	5	6	8	9	11	13	14
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609	2	3	5	6	8	9	11	12	14
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757	1	3	4	6	7	9	10	12	13
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4885	4900	1	3	4	6	7	9	10	11	13
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038	1	3	4	6	7	8	10	11	12
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172	1	3	4	5	7	8	9	11	12
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302	1	3	4	5	6	8	9	10	12
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428	1	3	4	5	6	8	9	10	11
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551	1	2	4	5	6	7	9	10	11
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670	1	2	4	5	6	7	9	10	11
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786	1	2	3	5	6	7	8	9	10
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899	1	2	3	5	6	7	8	9	10
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010	1	2	3	4	5	7	8	9	10
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117	1	2	3	4	5	6	8	9	10
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222	1	2	3	4	5	6	8	9	10
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325	1	2	3	4	5	6	7	8	9
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425	1	2	3	4	5	6	7	8	9
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522	1	2	3	4	5	6	7	8	9
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618	1	2	3	4	5	6	7	8	9
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712	1	2	3	4	5	6	7	7	8
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803	1	2	3	4	5	5	6	7	8
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893	1	2	3	4	4	5	6	7	8
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981	1	2	3	4	4	5	6	7	8

LOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067	1	2	3	3	4	5	6	7	8
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152	1	2	3	3	4	5	6	7	8
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235	1	2	2	3	4	5	6	7	7
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316	1	2	2	3	4	5	6	6	7
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396	1	2	2	3	4	5	6	6	7
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474	1	2	2	3	4	5	5	6	7
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551	1	2	2	3	4	5	5	6	7
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627	1	2	2	3	4	5	5	6	7
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701	1	1	2	3	4	4	5	6	7
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774	1	1	2	3	4	4	5	6	7
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846	1	1	2	3	4	4	5	6	6
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917	1	1	2	3	4	4	5	6	6
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987	1	1	2	3	3	4	5	6	6
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055	1	1	2	3	3	4	5	5	6
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122	1	1	2	3	3	4	5	5	6
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189	1	1	2	3	3	4	5	5	6
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254	1	1	2	3	3	4	5	5	6
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319	1	1	2	3	3	4	5	5	6
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382	1	1	2	3	3	4	4	5	6
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445	1	1	2	2	3	4	4	5	6
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506	1	1	2	2	3	4	4	5	6
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567	1	1	2	2	3	4	4	5	5
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627	1	1	2	2	3	4	4	5	5
73	8633	8689	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686	1	1	2	2	3	4	4	5	5
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745	1	1	2	2	3	4	4	5	5
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802	1	1	2	2	3	3	4	5	5
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859	1	1	2	2	3	3	4	5	5
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915	1	1	2	2	3	3	4	4	5
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971	1	1	2	2	3	3	4	4	5
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025	1	1	2	2	3	3	4	4	5
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079	1	1	2	2	3	3	4	4	5
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133	1	1	2	2	3	3	4	4	5
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186	1	1	2	2	3	3	4	4	5
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238	1	1	2	2	3	3	4	4	5
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289	1	1	2	2	3	3	4	4	5
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340	1	1	2	2	3	3	4	4	5
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390	1	1	2	2	3	3	4	4	5
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440	0	1	1	2	2	3	3	4	4
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489	0	1	1	2	2	3	3	4	4
89	9494	9499	9504	9409	9513	9518	9523	9528	9533	9538	0	1	1	2	2	3	3	4	4
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586	0	1	1	2	2	3	3	4	4
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633	0	1	1	2	2	3	3	4	4
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680	0	1	1	2	2	3	3	4	4
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727	0	1	1	2	2	3	3	4	4
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9761	9768	9773	0	1	1	2	2	3	3	4	4
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818	0	1	1	2	2	3	3	4	4
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863	0	1	1	2	2	3	3	4	4
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908	0	1	1	2	2	3	3	4	4
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952	0	1	1	2	2	3	3	4	4
99	9956	9961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996	0	1	1	2	2	3	3	4	4

ANTILOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.00	1000	1002	1005	1007	1009	1012	1014	1016	1019	1021	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.01	1023	1026	1028	1030	1033	1035	1038	1040	1042	1045	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.02	1047	1050	1052	1054	1057	1059	1062	1064	1067	1069	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.03	1072	1074	1076	1079	1081	1084	1086	1089	1091	1094	0	0	1	1	1	1	2	2	2
.04	1096	1099	1102	1104	1107	1109	1112	1114	1117	1119	0	1	1	1	1	2	2	2	2
.05	1122	1125	1127	1130	1132	1135	1138	1140	1143	1146	0	1	1	1	1	2	2	2	2
.06	1148	1151	1153	1156	1159	1161	1164	1167	1169	1172	0	1	1	1	1	2	2	2	2
.07	1175	1178	1180	1183	1186	1189	1191	1194	1197	1199	0	1	1	1	1	2	2	2	2
.08	1202	1205	1208	1211	1213	1216	1219	1222	1225	1227	0	1	1	1	1	2	2	2	3
.09	1230	1233	1236	1239	1242	1245	1247	1250	1235	1256	0	1	1	1	1	2	2	2	3
.10	1259	1262	1265	1268	1271	1274	1276	1279	1282	1285	0	1	1	1	1	2	2	2	3
.11	1288	1291	1294	1297	1300	1303	1306	1309	1312	1315	0	1	1	1	2	2	2	2	3
.12	1318	1321	1324	1327	1330	1334	1337	1340	1343	1346	0	1	1	1	2	2	2	2	3
.13	1349	1352	1355	1358	1361	1365	1368	1371	1374	1377	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.14	1380	1384	1387	1390	1393	1396	1400	1403	1406	1409	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.15	1413	1416	1419	1422	1426	1429	1432	1435	1439	1442	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.16	1445	1449	1452	1455	1459	1462	1466	1469	1472	1476	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.17	1479	1483	1486	1489	1493	1496	1500	1503	1507	1510	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.18	1514	1517	1521	1524	1528	1531	1535	1538	1542	1545	0	1	1	1	2	2	2	3	3
.19	1549	1552	1556	1560	1563	1567	1570	1547	1578	1581	0	1	1	1	2	2	3	3	3
.20	1585	1589	1592	1596	1600	1603	1607	1611	1614	1618	0	1	1	1	2	2	3	3	3
.21	1622	1626	1629	1633	1637	1641	1644	1648	1652	1656	0	1	1	2	2	2	3	3	3
.22	1660	1663	1667	1671	1675	1679	1683	1648	1690	1694	0	1	1	2	2	2	3	3	3
.23	1698	1702	1706	1710	1714	1718	1722	1726	1730	1734	0	1	1	2	2	2	3	3	4
.24	1738	1742	1746	1750	1754	1758	1762	1766	1770	1774	0	1	1	2	2	2	3	3	4
.25	1778	1782	1786	1791	1795	1799	1803	1807	1811	1816	0	1	1	2	2	2	3	3	4
.26	1820	1824	1828	1832	1837	1841	1845	1849	1854	1858	0	1	1	2	2	3	3	3	4
.27	1862	1866	1871	1875	1879	1884	1888	1892	1897	1901	0	1	1	2	2	3	3	3	4
.28	1905	1910	1914	1919	1923	1928	1932	1936	1941	1945	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.29	1950	1954	1959	1963	1968	1972	1977	1982	1986	1991	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.30	1995	2000	2004	2009	2014	2018	2023	2028	2032	2037	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.31	2042	2046	2051	2056	2061	2065	2070	2075	2080	2084	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.32	2089	2094	2099	2104	2109	2113	2118	2123	2128	2133	0	1	1	2	2	3	3	4	4
.33	2138	2143	2148	2153	2158	2163	2168	2173	2178	2183	0	1	1	2	2	3	4	4	4
.34	2188	2193	2198	2203	2208	2213	2218	2223	2228	2234	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.35	2239	2244	2249	2254	2259	2265	2270	2275	2280	2286	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.36	2291	2296	2301	2307	2312	2317	2323	2328	2333	2339	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.37	2344	2350	2355	2360	2366	2371	2377	2382	2388	2393	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.38	2399	2404	2410	2415	2421	2427	2432	2438	2443	2449	1	1	2	2	3	3	4	4	5
.39	2455	2460	2466	2472	2477	2483	2489	2495	2500	2506	1	1	2	2	3	3	4	5	5
.40	2512	2518	2523	2529	2535	2541	2547	2553	2559	2564	1	1	2	3	4	4	4	5	5
.41	2570	2575	2582	2588	2594	2600	2606	2612	2618	2624	1	1	2	3	4	4	4	5	5
.42	2630	2636	2642	2649	2655	2661	2667	2673	2679	2685	1	1	2	3	4	4	4	5	6
.43	2692	2698	2704	2710	2716	2723	2729	2735	2742	2748	1	1	2	3	4	4	4	5	6
.44	2754	2761	2767	2773	2780	2780	2793	2799	2805	2812	1	1	2	3	4	4	4	5	6
.45	2818	2825	2831	2838	2844	2851	2858	2864	2871	2877	1	1	2	3	4	4	5	5	6
.46	2884	2891	2807	2904	2911	2917	2924	2931	2938	2944	1	1	2	3	4	4	5	5	6
.47	2951	2958	2965	2972	2979	2985	2992	2999	3006	3013	1	1	2	3	4	4	5	5	6
.48	3020	3027	3034	3041	3048	3055	3062	3069	3076	3083	1	1	2	3	4	4	5	6	6
.49	3090	3097	3105	3112	3119	3126	3133	3141	3148	3155	1	1	2	3	4	4	5	6	6

ANTILOGARITHMS

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.50	3162	3170	3177	3184	3192	3199	3206	3214	3221	3228	1	1	2	3	4	4	5	6	7
.51	3236	3243	3251	3258	3166	3273	3281	3289	3296	3304	1	2	2	3	4	5	5	6	7
.52	3311	3319	3327	3334	3342	3350	3357	3365	3373	3381	1	2	2	3	4	5	5	6	7
.53	3388	3396	3404	3412	3420	3428	3436	3443	3451	3459	1	2	2	3	4	5	6	6	7
.54	3467	3475	3483	3491	3499	3508	3516	3524	3532	3540	1	2	2	3	4	5	6	6	7
.55	3548	3556	3565	3573	3581	3589	3597	3606	3614	3622	1	2	2	3	4	5	6	7	7
.56	3631	3639	3648	3656	3664	3673	3681	3690	3698	3707	1	2	3	3	4	5	6	7	8
.57	3715	3724	3733	3741	3750	3758	3767	3776	3784	3793	1	2	3	3	4	5	6	7	8
.58	3802	3811	3819	3828	3837	3846	3855	3864	3873	3882	1	2	3	4	4	5	6	7	8
.59	3890	3899	3908	3917	3926	3936	3945	3954	3963	3972	1	2	3	4	5	5	6	7	8
.60	3981	3990	3999	4009	4018	4027	4036	4046	4055	4064	1	2	3	4	5	6	6	7	8
.61	4074	4083	4093	4102	4111	4121	4130	4140	4150	4159	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.62	4169	4178	4188	4198	4207	4217	4227	4236	4246	4256	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.63	4266	4276	4285	4295	4305	4315	4325	4335	4345	4355	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.64	4365	4375	4385	4395	4406	4416	4426	4436	4446	4457	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.65	4467	4477	4487	4498	4508	4519	4529	4539	4550	4560	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.66	4571	4581	4592	4603	4613	4624	4634	4645	4656	4667	1	2	3	4	5	6	7	9	10
.67	4677	4688	4699	4710	4721	4732	4742	4753	4764	4775	1	2	3	4	5	7	8	9	10
.68	4786	4797	4808	4819	4831	4842	4853	4864	4875	4887	1	2	3	4	6	7	8	9	10
.69	4808	4909	4920	4932	4943	4955	4966	4977	4989	5000	1	2	3	5	6	7	8	9	10
.70	5012	5023	5035	5047	5058	5070	5082	5093	5105	5117	1	2	4	5	6	7	8	9	11
.71	5129	5040	5152	5164	5176	5188	5200	5212	5224	5236	1	2	4	5	6	7	8	10	11
.72	5248	5160	5272	5284	5297	5309	5321	5333	5346	5358	1	2	4	5	6	7	9	10	11
.73	5370	5383	5395	5408	5420	5433	5445	5458	5470	5483	1	3	4	5	6	8	9	10	11
.74	5495	5508	5521	5534	5546	5559	5572	5585	5598	5610	1	3	4	5	6	8	9	10	12
.75	5623	5636	5649	5662	5675	5689	5702	5715	5728	5741	1	3	4	5	7	8	9	10	12
.76	5754	5768	5781	5794	5808	5821	5834	5848	5861	5875	1	3	4	5	7	8	9	11	12
.77	5888	5902	5916	5929	5943	5957	5970	5984	5998	6012	1	3	4	5	7	8	10	11	12
.78	6026	6039	6053	6067	6081	6095	6109	6124	6138	6152	1	3	4	6	7	8	10	11	13
.79	6160	6180	6194	6209	6223	6237	6252	6266	6281	6295	1	3	4	6	7	9	10	11	13
.80	6310	6324	6339	6353	6368	6383	6397	6412	6427	6442	1	3	4	6	7	9	10	12	13
.81	6457	6471	6486	6501	6516	6531	6546	6561	6577	6592	2	3	5	6	8	9	11	12	14
.82	6607	6622	6637	6653	6668	6683	6699	6714	6730	6745	2	3	5	6	8	9	11	12	14
.83	6761	6776	6792	6808	6823	6839	6855	6871	6887	6902	2	3	5	6	8	9	11	13	14
.84	6918	6934	6950	6066	6982	6998	7015	7031	7047	7063	2	3	5	6	3	10	11	13	15
.85	7079	7096	7112	7129	7145	7161	7178	7194	7211	7228	2	3	5	7	8	10	12	13	15
.86	7244	7261	7278	7295	7311	7328	7345	7362	7379	7396	2	3	5	7	8	10	12	13	15
.87	7413	7430	7447	7464	7482	7499	7516	7534	7551	7568	2	3	5	7	9	10	12	14	16
.88	7586	7603	7621	7638	7656	7674	7691	7709	7727	7745	2	4	5	7	9	11	12	14	16
.89	7762	7780	7798	7816	7834	7852	7870	7889	7907	7925	2	4	5	7	9	11	13	14	16
.90	7943	7962	7980	7998	8017	8035	8054	8072	8091	8110	2	4	6	7	9	11	13	15	17
.91	8128	8147	8166	8185	8204	8222	8241	8260	8279	8299	2	4	6	8	9	11	13	15	17
.92	8318	8337	8356	8375	8395	8414	8433	8453	8472	8492	2	4	6	8	10	12	14	15	17
.93	8511	8531	8551	8570	8590	8610	8630	8650	8670	8690	2	4	6	8	10	12	14	16	18
.94	8710	8730	8750	8770	8790	8810	8831	8851	8872	8892	2	4	6	8	10	12	14	16	18
.95	8913	8933	8954	8974	8995	9016	9036	9057	9078	9099	2	4	6	8	10	12	15	17	19
.96	9120	9141	9162	9183	9204	9226	9247	9268	9290	9311	2	4	6	8	11	13	15	17	19
.97	9333	9354	9376	9397	9419	9441	9462	9484	9506	9528	2	4	7	9	11	13	15	17	20
.98	9550	9572	9594	9616	9638	9661	9683	9705	9727	9750	2	4	7	9	11	13	16	18	20
.99	9772	9795	9817	9840	9863	9886	9908	9931	9954	9977	2	5	7	9	11	14	16	18	20

POWERS, ROOTS AND RECIPROCALS

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\sqrt{10n}$	$\sqrt[3]{10n}$	$\sqrt[3]{100n}$	$\frac{1}{n}$
1	1	1	1.000	1.000	3.162	2.154	4.642	1.000
2	4	8	1.414	1.260	4.472	2.714	5.848	.5000
3	9	27	1.732	1.442	5.477	3.107	6.694	.3333
4	16	64	2.000	1.587	6.325	3.420	7.368	.2500
5	25	125	2.236	1.710	7.071	3.684	7.937	.2000
6	36	216	2.449	1.817	7.746	3.915	8.434	.1667
7	49	343	2.646	1.913	8.367	4.121	8.879	.1429
8	64	512	2.828	2.000	8.944	4.309	9.283	.1250
9	81	729	3.000	2.080	9.487	4.481	9.655	.1111
10	100	1000	3.162	2.154	10.000	4.642	10.000	.1000
11	121	1331	3.317	2.224	10.488	4.791	10.323	.09091
12	144	1728	3.464	2.289	10.954	4.932	10.627	.08333
13	169	2197	3.606	2.351	11.402	5.066	10.914	.07692
14	196	2744	3.742	2.410	11.832	5.192	11.187	.07143
15	225	3375	3.873	2.466	12.247	5.313	11.447	.06667
16	256	4096	4.000	2.520	12.649	5.429	11.696	.06250
17	289	4913	4.123	2.571	13.038	5.540	11.935	.05882
18	324	5832	4.243	2.621	13.416	5.646	12.164	.05556
19	361	6859	4.359	2.668	13.784	5.749	12.386	.05263
20	400	8000	4.472	2.714	14.142	5.848	12.599	.0500
21	441	9261	4.583	2.759	14.491	5.944	12.806	.04762
22	484	10648	4.690	2.802	14.832	6.037	13.006	.04545
23	529	12167	4.796	2.844	15.165	6.127	13.200	.04348
24	576	13824	4.899	2.884	15.492	6.214	13.389	.04167
25	625	15625	5.000	2.924	15.811	6.300	13.572	.0400
26	676	17576	5.099	2.962	16.125	6.383	13.751	.03846
27	729	19683	5.196	3.000	16.432	6.463	13.925	.03704
28	784	21952	5.292	3.037	16.733	6.542	14.095	.03571
29	841	24389	5.385	3.072	17.029	6.619	14.260	.03448
30	900	27000	5.477	3.107	17.321	6.694	14.422	.03333
31	961	29791	5.568	3.141	17.607	6.768	14.581	0.3226
32	1024	32768	5.657	3.175	17.889	6.840	14.736	.03125
33	1089	35937	5.745	3.208	18.166	6.910	14.888	.03030
34	1156	39304	5.831	3.240	18.439	6.980	15.037	.02941
35	1225	42875	5.916	3.271	18.708	7.047	15.183	.02857
36	1296	46656	6.000	3.302	18.974	7.114	15.326	.02778
37	1369	50653	6.083	3.332	19.235	7.179	15.467	.02703
38	1444	54872	6.164	3.362	19.494	7.243	15.605	.02632
39	1521	59319	6.245	3.391	19.748	7.306	15.741	.02564
40	1600	64000	6.325	3.420	20.000	7.368	15.874	.0250
41	1681	68921	6.403	3.448	20.248	7.429	16.005	.0439
42	1764	74088	6.481	3.476	20.494	7.489	16.134	.02381
43	1849	79507	6.557	3.503	20.736	7.548	16.261	.02326
44	1936	85184	6.633	3.530	20.976	7.606	16.386	.02273
45	2025	91125	6.708	3.557	21.213	7.663	16.510	.02222
46	2116	97336	6.782	3.583	21.448	7.719	16.631	.02174
47	2209	103823	6.856	3.609	21.679	7.775	16.751	.02128
48	2304	110592	6.928	3.634	21.909	7.830	16.869	.02083
49	2401	117649	7.000	3.659	22.136	7.884	16.985	.02041
50	2500	125000	7.071	3.684	22.361	7.937	17.100	.020

POWERS, ROOTS AND RECIPROCALS

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\sqrt{10n}$	$\sqrt[3]{10n}$	$\sqrt[3]{100n}$	$\frac{1}{n}$
51	2601	132651	7.141	3.708	22.583	7.990	17.213	.01961
52	2704	140608	7.211	3.733	22.804	8.041	17.325	.01923
53	2809	148877	7.280	3.756	23.022	8.093	17.435	.01887
54	2916	157464	7.348	3.780	23.238	8.143	17.544	.01852
55	3025	166375	7.416	3.803	23.452	8.193	17.652	.01818
56	3136	175616	7.483	3.826	23.664	8.243	17.758	.01786
57	3449	185193	7.550	3.849	23.875	8.291	17.863	.01754
58	3364	195112	7.616	3.871	24.083	8.340	17.967	.01724
59	3481	205379	7.681	3.893	24.290	8.387	18.070	.01695
60	3600	216000	7.746	3.915	24.495	8.434	18.171	.01667
61	3721	226981	7.810	3.936	24.698	8.481	18.272	.01639
62	3844	238328	7.874	3.958	24.900	8.527	18.371	.01613
63	3969	250047	7.937	3.979	25.100	8.573	18.469	.01587
64	4096	262144	8.000	4.000	25.298	8.618	18.566	.01562
65	4225	274625	8.062	4.021	25.495	8.662	18.663	.01538
66	4356	287496	8.124	4.041	25.690	8.707	18.758	.01515
67	4489	300763	8.185	4.062	25.884	8.750	18.852	.01493
68	4624	314432	8.246	4.082	26.077	8.794	18.945	.01471
69	4761	328509	8.307	4.102	26.268	8.837	19.038	.01449
70	4900	343000	8.367	4.121	26.458	8.879	19.129	.01449
71	5041	357911	8.426	4.141	26.646	8.921	19.220	.01408
72	5184	373248	8.485	4.160	26.833	8.963	19.310	.01389
73	5329	389017	8.544	4.179	27.019	9.004	19.399	.01370
74	5476	405224	8.602	4.198	27.203	9.045	19.487	.01351
75	5625	421875	8.660	4.217	27.386	9.086	19.574	.01333
76	5776	438976	8.718	4.236	27.568	9.126	19.661	.01316
77	5929	456533	8.775	4.254	27.749	9.166	19.747	.01299
78	6084	474552	8.832	4.273	27.928	9.205	19.832	.01282
79	6241	493039	8.888	4.291	28.107	9.244	19.916	.01266
80	6400	512000	8.944	4.309	28.284	9.283	20.000	.01250
81	6561	531441	9.000	4.327	28.460	9.322	20.083	.01235
82	6724	551368	9.055	4.344	28.636	9.360	20.165	.01220
83	6889	571787	9.110	4.362	28.810	9.398	20.247	.01205
84	7056	592704	9.165	4.380	28.983	9.435	20.328	.01190
85	7225	614125	9.220	4.397	29.155	9.473	20.408	.01376
86	7396	636056	9.274	4.414	29.326	9.510	20.488	.01163
87	7569	658503	9.327	4.431	29.496	9.546	20.567	.01149
88	7744	681472	9.381	4.448	29.665	9.583	20.646	.01136
89	7921	704969	9.434	4.465	29.833	9.619	20.724	.01124
90	8100	729000	9.481	4.481	30.000	9.655	20.801	.01111
91	8281	753571	9.539	4.498	30.166	9.691	20.878	.01099
92	8464	778688	9.592	4.514	30.332	9.726	20.954	.01087
93	8649	804357	9.644	4.531	30.496	9.761	21.029	.01075
94	8836	830584	9.695	4.547	30.659	9.796	21.205	.0164
95	9025	857375	9.747	4.563	30.822	9.830	21.179	.01053
96	9316	884736	9.798	4.579	30.984	9.865	21.253	.01042
97	9409	912673	9.849	4.595	31.145	9.899	21.327	.01031
98	9604	941192	9.899	4.610	31.305	9.933	21.400	.01020
99	9801	970299	9.950	4.626	31.464	9.967	21.472	.01010
100	10000	1000000	10.000	4.642	31.623	10.000	21.544	.0100

NATURAL SINES

Degrees	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean Differences				
	0°.0	0°.1	0°.2	0°.3	0°.4	0°.5	0°.6	0°.7	0°.8	0°.9	1	2	3	4	5
0	.0000	0017	0035	0052	0070	0087	0105	0122	0140	0157	3	6	9	12	15
1	.0175	0192	0209	0227	0244	0262	0279	0297	0314	0332	3	6	9	12	15
2	.0349	0366	0384	0401	0419	0436	0454	0471	0488	0506	3	6	9	12	15
3	.0523	0541	0558	0576	0593	0610	0628	0645	0663	0680	3	6	9	12	15
4	.0698	0715	0732	0750	0767	0785	0802	0819	0837	0854	3	6	9	12	15
5	.0872	1889	0906	0924	1941	1958	1976	1993	1011	1028	3	6	9	12	14
6	.1045	1063	1080	1097	1115	1132	1149	1167	1184	1201	3	6	9	12	14
7	.1219	1236	1253	1271	1288	1305	1323	1340	1357	1374	3	6	9	12	14
8	.1392	1409	1426	1444	1461	1478	1495	1513	1530	1547	3	6	9	12	14
9	.1564	1582	1599	1616	1633	1650	1668	1685	1702	1719	3	6	9	12	14
10	.1736	1754	1771	1788	1805	1822	1840	1857	1874	1891	3	6	9	12	14
11	.1908	1925	1942	1959	1977	1994	1011	1028	1045	1062	3	6	9	11	14
12	.2079	2096	2113	2130	2147	2164	2181	2198	2215	2232	3	6	9	11	14
13	.2250	2267	2284	2300	2317	2334	2351	2368	2385	2402	3	6	8	11	14
14	.2419	2436	2453	2470	2487	2504	2521	2538	2554	2571	3	6	8	11	14
15	.2588	2605	2622	2639	2656	2672	2689	2706	2723	2740	3	6	8	11	14
16	.2756	2773	2790	2807	2823	2840	2857	2874	2890	2907	3	6	8	11	14
17	.2924	2940	2957	2974	2990	2007	2024	2040	2057	2074	3	6	8	11	14
18	.3090	3107	3123	3140	3156	3173	3190	3206	3223	3239	3	6	8	11	14
19	.3256	3272	3289	3305	3322	3338	3355	3371	3387	3404	3	5	8	11	14
20	.3420	3437	3453	3469	3486	3502	3518	3535	3551	3567	3	5	8	11	14
21	.3584	3600	3616	3633	3649	3665	3681	3697	3714	3730	3	5	8	11	14
22	.3746	3762	3778	3795	3811	3827	3843	3859	3875	3891	3	5	8	11	14
23	.3907	3923	3939	3955	3971	3987	3003	3019	3035	3051	3	5	8	11	14
24	.4067	4083	4099	4115	4131	4147	4163	4179	4195	4210	3	5	8	11	13
25	.4226	4242	4258	4274	4289	4305	4321	4337	4352	4368	3	5	8	11	13
26	.4384	4399	4415	4431	4446	4462	4478	4493	4509	4524	3	5	8	10	13
27	.4540	4555	4571	4586	4602	4617	4633	4684	4664	4679	3	5	8	10	13
28	.4695	4710	4726	4741	4756	4772	4787	4802	4818	4833	3	5	8	10	13
29	.4848	4863	4879	4894	4909	4924	4939	4955	4970	4985	3	5	8	10	13
30	.5000	5015	5030	5045	5060	5075	5090	5105	5120	5135	3	5	8	10	13
31	.5150	5165	5180	5195	5210	5225	5240	5255	5270	5284	2	5	7	10	12
32	.5299	5314	5329	5344	5358	5373	5388	5402	5417	5432	2	5	7	10	12
33	.5446	5461	5476	5490	5505	5519	5534	5548	5563	5577	2	5	7	10	12
34	.5592	5606	5621	5635	5650	5664	5678	5693	5707	5721	2	5	7	10	12
35	.5736	5750	5764	5779	5793	5807	5821	5835	5850	5864	2	5	7	10	12
36	.5878	5892	5906	5920	5934	5948	5962	5976	5990	5004	2	5	7	9	12
37	.5018	6032	6046	6060	6074	6088	6101	6115	6129	6143	2	5	7	9	12
38	.6157	6170	6184	6198	6211	6225	6239	6252	6266	6280	2	5	7	9	11
39	.6293	6307	6320	6334	6347	6361	6374	6388	6401	6414	2	4	7	9	11
40	.6428	6441	6455	6468	6491	6494	6508	6521	6534	6547	2	4	7	9	11
41	.6561	6574	6587	6800	6613	6626	6639	6652	6665	6678	2	4	7	9	11
42	.6691	6704	6717	6730	6743	6756	6769	6782	6794	6807	2	4	6	9	11
43	.6820	6833	6845	6858	6871	6884	6896	6909	6921	6934	2	4	6	8	11
44	.6947	6959	6972	6984	6997	7009	7022	7034	7046	7059	2	4	6	8	10

NATURAL SINES

Degrees	0'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54'	Mean Differences				
	0°.0	0°.1	0°.2	0°.3	0°.4	0°.5	0°.6	0°.7	0°.8	0°.9	1	2	3	4	5
45	.7071	7083	7096	7108	7120	7133	7145	7157	7169	7181	2	4	6	8	10
46	.7193	7206	7218	7230	7242	7254	7266	7278	7290	7302	2	4	6	8	10
47	.7314	7325	7337	7349	7361	7373	7385	7396	7408	7420	2	4	6	8	10
48	.7431	7443	7455	7466	7478	7490	7510	7513	7524	7536	2	4	6	8	10
49	.7547	7558	7570	7581	7593	7604	7615	7627	7638	7649	2	4	6	8	9
50	.7660	7672	7683	7694	7705	7716	7727	7738	7749	7760	2	4	6	7	9
51	.7771	7782	7793	7804	7815	7826	7837	7848	7859	7869	2	4	5	7	9
52	.7880	7891	7902	7912	7923	7934	7844	7955	7965	7976	2	4	5	7	9
53	.7986	7997	8007	8018	8028	8039	8049	8059	8070	8080	2	3	5	7	9
54	.8090	8100	8111	8121	8131	8141	8151	8161	8171	8181	2	3	5	7	8
55	.8192	8202	8211	8221	8231	8241	8251	8261	8271	8281	2	3	5	7	8
56	.8290	8300	8310	8320	8329	8339	8348	8358	8668	8377	2	3	5	6	8
57	.8387	8396	8406	8415	8425	8434	8443	8353	8462	8471	2	3	5	6	8
58	.8480	8490	8499	8508	8517	8526	8536	8545	8554	8563	2	3	5	6	8
59	.8572	8581	8590	8599	8607	8616	8625	8634	8643	8652	1	3	4	6	7
60	.8660	8669	8678	8686	8695	8704	8712	8721	8729	8738	1	3	4	6	7
61	.8746	8755	8763	8771	8780	8788	8796	8805	8813	8821	1	3	4	6	7
62	.8829	8838	8846	8854	8862	8870	8378	8886	8894	8902	1	3	4	5	7
63	.8910	8918	8926	8934	8942	8949	8957	8965	8973	8980	1	3	4	5	6
64	.8988	8996	9003	9011	9018	9026	9033	9041	9048	9056	1	3	4	5	6
65	.9063	9070	9078	9085	9092	9100	9107	9114	9121	9128	1	2	4	5	6
66	.9135	9143	9150	9157	9164	9171	9178	9184	9191	9198	1	2	3	5	6
67	.9205	9212	9219	9225	9232	9239	9248	9252	9259	9265	1	2	3	4	6
68	.9272	9278	9285	9291	9298	9304	9311	9317	9323	9330	1	2	3	4	5
69	.9336	9342	9348	9354	9361	9367	9373	9379	9385	9391	1	2	3	4	5
70	.9397	9403	9409	9415	9421	9426	9432	9438	9444	9449	1	2	3	4	5
71	.9455	9461	9466	9472	9478	9483	9489	9494	9500	9505	1	2	3	4	5
72	.9511	9516	9521	9527	9532	9537	9542	9548	9553	9558	1	2	3	3	4
73	.9563	9568	9573	9578	9583	9588	9593	9598	9603	9608	1	2	2	3	4
74	.9613	9617	9622	9627	9632	9639	9641	9646	9650	9655	1	2	2	3	4
75	.9659	9664	9668	9673	9677	9681	9686	9690	9694	9699	1	1	2	3	4
76	.9703	9707	9711	9715	9720	9724	9728	9732	9736	9740	1	1	2	3	3
77	.9744	9748	9751	9755	9759	9763	9767	9770	9774	9778	1	1	2	3	3
78	.9781	9785	9789	9792	9796	9777	9803	9806	9810	9813	1	1	2	2	3
79	.9816	9820	9823	9826	9829	9833	9836	9839	9842	9845	1	1	2	2	3
80	.9848	9851	9854	9857	9860	9863	9866	9869	9871	9874	0	1	1	2	2
81	.9877	9880	9882	9885	9888	9890	9893	9895	9898	9900	0	1	1	2	2
82	.9903	9905	9907	9910	9912	9914	9917	9919	9921	9923	0	1	1	2	2
83	.9925	9928	9930	9932	9934	9936	9938	9940	9942	9943	0	1	1	1	2
84	.9945	9947	9949	9951	9952	9954	9956	9957	9959	9960	0	1	1	1	2
85	.9962	9963	9965	9966	9968	9969	9971	9972	9973	9974	0	0	1	1	1
86	.9976	9977	9978	9979	9980	9981	9982	9983	9984	9985	0	0	1	1	1
87	.9986	9987	9988	9989	9990	9990	9991	9992	9993	9993	0	0	0	1	1
88	.9994	9995	9995	9996	9996	9997	9997	9997	9998	9998	0	0	0	0	0
89	.9998	9999	9999	9999	9999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0	0	0	0	0
90	1.000														

NATURAL COSINES

Degrees	0' 0°.0	6' 0°.1	12' 0°.2	18' 0°.3	24' 0°.4	30' 0°.5	36' 0°.6	42' 0°.7	48' 0°.8	54' 0°.9	Mean Differences 1	2	3	4	5
0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	9999	9999	9999	9999	0	0	0	0	0
1	.9998	9998	9998	9997	9997	9997	9996	9996	9995	9995	0	0	0	0	0
2	.9994	9993	9993	9992	9991	9990	9990	9989	9988	9987	0	0	0	1	1
3	.9986	9985	9984	9983	9982	9981	9980	9979	9978	9977	0	0	1	1	1
4	.9976	9974	9973	9972	9971	9969	9968	9966	9965	9963	0	0	1	1	1
5	.9962	9960	9959	9957	9956	9954	9952	9951	9949	9947	0	1	1	1	2
6	.9945	9943	9942	9940	9938	9936	9934	9932	9930	9928	0	1	1	1	2
7	.9925	9923	9921	9919	9917	9914	9912	9910	9907	9905	0	1	1	2	2
8	.9903	9900	9898	9895	9893	9890	9888	9885	9882	9880	0	1	1	2	2
9	.9877	9874	9871	9869	9866	9863	9860	9857	9854	9851	0	1	1	2	2
10	.9848	9875	9842	9839	9836	9833	9829	9826	9823	9820	1	1	2	2	3
11	.9816	9813	9810	9806	9803	9799	9796	9792	9789	9785	1	1	2	2	3
12	.9781	9778	9774	9770	9767	9763	9759	9755	9751	9748	1	1	2	3	3
13	.9744	9740	9736	9732	9728	9724	9720	9715	9711	9707	1	1	2	3	3
14	.9703	9699	9694	9690	9686	9681	9677	9673	9668	9664	1	1	2	3	4
15	.9659	9655	9650	9646	9641	9636	9632	9627	9622	9617	1	2	2	3	4
16	.9613	9608	9603	9598	9593	9588	9583	9578	9573	9568	1	2	2	3	4
17	.9563	9558	9553	9548	9542	9537	9532	9527	9521	9516	1	2	3	3	4
18	.9511	9505	9500	9494	9489	9483	9478	9472	9466	9461	1	2	3	4	5
19	.9455	9449	9444	9438	9432	9426	9421	9415	9499	9403	1	2	3	4	5
20	.9397	9391	9385	9379	9373	9367	9361	9354	9348	9342	1	2	3	4	5
21	.9336	9330	9323	9317	9311	9304	9298	9291	9285	9278	1	2	3	4	5
22	.9272	9265	9259	9252	9245	9239	9232	9225	9219	9212	1	2	3	4	6
23	.9205	9198	9191	9184	9178	9171	9164	9157	9150	9143	1	2	3	5	6
24	.9135	9128	9121	9114	9107	9100	9092	9085	9078	9070	1	2	4	5	6
25	.9063	9056	9048	9041	9033	9026	9018	9011	9003	8996	1	3	4	5	6
26	.8988	8980	8973	8965	8957	8949	8942	8934	8926	8918	1	3	4	5	6
27	.8910	8802	8894	8886	8878	8870	8862	8854	8846	8838	1	3	4	5	7
28	.8829	8821	8813	8805	8796	8788	8780	8771	8763	8755	1	3	4	6	7
29	.8746	8738	8729	8721	8712	8704	8695	8686	8678	8669	1	3	4	6	7
30	.8660	8652	8643	8634	8625	8616	8607	8599	8590	8581	1	3	4	6	7
31	.8572	8563	8554	8545	8536	8526	8517	8508	8499	8490	2	3	5	6	8
32	.8480	8471	8462	8453	8443	8434	8425	8415	8406	8396	2	3	5	6	8
33	.8387	8377	8368	8358	8348	8339	8329	8320	8310	8300	2	3	5	6	8
34	.8290	8281	8271	8261	8251	8241	8231	8221	8211	8202	2	3	5	7	8
35	.8192	8181	8171	8161	8151	8141	8131	8121	8111	8100	2	3	5	7	8
36	.8090	8080	8070	8059	8049	8039	8028	8018	8007	7997	2	3	5	7	9
37	.7986	7976	7965	7955	7944	7934	7923	7912	7902	7891	2	4	5	7	9
38	.7880	7969	7859	7848	7837	7826	7815	7804	7893	7782	2	4	5	7	9
39	.7771	7760	7749	7738	7727	7716	7705	7694	7683	7672	2	4	6	7	9
40	.7660	7649	7638	7627	7615	7604	7593	7581	7570	7559	2	4	6	8	9
41	.7547	7536	7524	7513	7501	7490	7478	7466	7455	7443	2	4	6	8	10
42	.7431	7420	7408	7396	7385	7373	7361	7349	7337	7325	2	4	6	8	10
43	.7314	7302	7290	7278	7266	7254	7242	7230	7218	7206	2	4	6	8	10
44	.7193	7181	7169	7157	7145	7133	7120	7108	7096	7083	2	4	6	8	10

NATURAL COSINES

Degrees	0′	6′	12′	18′	24′	30′	36′	42′	48′	54′	Mean Differences				
	0°.0	0°.1	0°.2	0°.3	0°.4	0°.5	0°.6	0°.7	0°.8	0°.9	1	2	3	4	5
45	.7071	7059	7046	7034	7022	7009	6997	6984	6972	6959	2	4	6	8	10
46	.6947	6934	6921	6909	6896	6884	6871	6858	6845	6833	2	4	6	8	11
47	.6820	6807	6794	6782	6769	6756	6743	6730	6717	6704	2	4	6	9	11
48	.6691	6678	6665	6652	6639	6626	6613	6600	6587	6574	2	4	7	9	11
49	.6561	6547	6534	6521	6508	6494	6481	6468	6455	6441	2	4	7	9	11
50	.6428	6414	6401	6388	6374	6361	6347	6334	6230	6307	2	4	7	9	11
51	.6293	6280	6266	6252	6239	6225	6211	6198	6184	6170	2	5	7	9	11
52	.6157	6143	6129	6115	6101	6088	6074	6060	6046	6032	2	5	7	9	12
53	.6018	6004	5990	5976	5962	5948	5934	5920	5906	5892	2	5	7	9	12
54	.5878	5864	5850	5835	5821	5807	5793	5779	5764	5750	2	5	7	9	12
55	.5736	5721	5707	5693	5678	5664	5650	5635	5621	5606	2	5	7	10	12
56	.5592	5577	5563	5548	5534	5519	5505	5490	5476	5461	2	5	7	10	12
57	.5446	5432	5417	5402	5388	5373	5358	5344	5329	5314	2	5	7	10	12
58	.5299	5284	5270	5255	5240	5225	5210	5195	5180	5165	2	5	7	10	12
59	.5150	5135	5120	5105	5090	5075	5060	5045	5030	5015	3	5	8	10	13
60	.5000	4985	4970	4955	4939	4924	4909	4894	4879	4863	3	5	8	10	13
61	.4848	4833	4818	4802	4787	4772	4756	4741	4726	4710	3	5	8	10	13
62	.4695	4679	4664	4648	4633	4617	4602	4586	4571	4555	3	5	8	10	13
63	.4540	4524	4509	4493	4478	4462	4446	4431	4415	4399	3	5	8	10	13
64	.4384	4368	4332	4337	4321	4305	4289	4274	4258	4242	3	5	8	11	13
65	.4226	4210	4195	4179	4163	4147	4131	4115	4099	4083	3	5	8	11	13
66	.4067	4051	4035	4019	4003	3987	3971	3955	3939	3923	3	5	8	11	14
67	.3907	3891	3875	3859	3843	3827	3811	3795	3778	3762	3	5	8	11	14
68	.3746	3730	3714	3697	3681	3665	3649	3633	3616	3600	3	5	8	11	14
69	.3584	3567	3551	3535	3518	3502	3486	3469	3453	3437	3	5	8	11	14
70	.3420	3404	3387	3371	3355	3338	3322	3305	3289	3272	3	5	8	11	14
71	.3256	3239	3223	3206	3190	3173	3156	3140	3123	3107	3	6	8	11	14
72	.3090	3074	3057	3040	3024	3007	2990	2974	2957	2940	3	6	8	11	14
73	.2924	2907	2890	2874	2857	2840	2823	2807	2790	2773	3	6	8	11	14
74	.2756	2740	2723	2706	2689	2672	2656	2639	2622	2605	3	6	8	11	14
75	.2588	2571	2554	2538	2521	2504	2487	2470	2453	2436	3	6	8	11	14
76	.2419	2402	2385	2368	2351	2334	2317	2300	2284	2267	3	6	8	11	14
77	.2250	2233	2215	2198	2181	2164	2147	2130	2113	2096	3	6	9	11	14
78	.2079	2062	2045	2028	2011	1194	1977	1959	1942	1925	3	6	9	11	14
79	.1908	1891	1874	1857	1840	1822	1805	1788	1771	1754	3	6	9	11	14
80	.1736	1719	1702	1685	1668	1650	1633	1616	1599	1582	3	6	9	12	14
81	.1564	1547	1530	1513	1495	1478	1461	1444	1426	1409	3	6	9	12	14
82	.1392	1374	1357	1340	1323	1305	1288	1271	1253	1236	3	6	9	12	14
83	.1219	1201	1184	1167	1149	1132	1115	1097	1080	1063	3	6	9	12	14
84	.1045	1028	1011	0993	0976	0958	0941	0924	0906	0889	3	6	9	12	14
85	.0872	0854	0837	0819	0802	0785	0767	0750	0732	0715	3	6	9	12	15
86	.0698	0680	0663	0645	0628	0610	0593	0576	0558	0541	3	6	9	12	15
87	.0523	0506	0488	0471	0454	0436	0419	0401	0384	0366	3	6	9	12	15
88	.0349	0332	0314	0297	0279	0262	0244	0227	0209	0192	3	6	9	12	15
89	.0175	0157	0140	0122	0105	0087	0070	0052	0035	0017	3	6	9	12	15
90	.0000														

NATURAL TANGENTS

	0′ 0°·0	6′ 0°·1	12′ 0°·2	18′ 0°·3	24′ 0°·4	30′ 0°·5	36′ 0°·6	42′ 0°·7	48′ 0°·8	54′ 0°·9	Mean Differences 1′	2′	3′	4′	5′
0	·0000	0017	0035	0052	0070	0087	0105	0122	0140	0157	3	6	9	12	15
1	·0175	0192	0209	0227	0244	0262	0279	0297	0314	0332	3	6	9	12	15
2	·0349	0367	0384	0402	0419	0437	0454	0472	0489	0507	3	6	9	12	15
3	·0524	0542	0559	0577	0594	0612	0629	0647	0664	0682	3	6	9	12	15
4	·0699	0717	0734	0752	0769	0787	0805	0822	0840	0857	3	6	9	12	15
5	·0875	0892	0910	0928	0945	0963	0981	0998	1016	1033	3	6	9	12	15
6	·1051	1069	1086	1104	1122	1139	1157	1175	1192	1210	3	6	9	12	15
7	·1228	1246	1263	1281	1299	1317	1334	1352	1370	1388	3	6	9	12	15
8	·1405	1423	1441	1459	1477	1495	1512	1530	1548	1566	3	6	9	12	15
9	·1584	1602	1620	1638	1655	1673	1691	1709	1727	1745	3	6	9	12	15
10	·1763	1781	1799	1817	1835	1853	1871	1890	1908	1926	3	6	9	12	15
11	·1944	1962	1980	1998	2016	2035	2053	2071	2089	2107	3	6	9	12	15
12	·2126	2144	2162	2180	2199	2217	2235	2254	2272	2290	3	6	9	12	15
13	·2309	2327	2345	2364	2382	2401	2419	2438	2456	2475	3	6	9	12	15
14	·2493	2512	2530	2549	2568	2586	2605	2623	2642	2661	3	6	9	12	16
15	·2679	2698	2717	2736	2754	2773	2792	2811	2830	2849	3	6	9	13	16
16	·2867	2886	2905	2924	2943	2962	2981	3000	3019	3038	3	6	9	13	16
17	·3057	3076	3096	3115	3134	3153	3172	3191	3211	3230	3	6	10	13	16
18	·3249	3269	3288	3307	3327	3346	3365	3385	3404	3424	3	6	10	13	16
19	·3443	3463	3482	3502	3522	3541	3561	3581	3600	3620	3	7	10	13	16
20	·3640	3659	3679	3699	3719	3739	3759	3779	3799	3819	3	7	10	13	17
21	·3839	3859	3879	3899	3919	3939	3959	3979	4000	4020	3	7	10	13	17
22	·4040	4061	4081	4101	4122	4142	4163	4183	4204	4224	3	7	10	14	17
23	·4245	4265	4286	4307	4327	4348	4369	4390	4411	4431	3	7	10	14	17
24	·4452	4473	4494	4515	4536	4557	4578	4599	4621	4642	4	7	11	14	18
25	·4663	4684	4706	4727	4748	4770	4791	4813	4834	4856	4	7	11	14	18
26	·4877	4899	4921	4942	4964	4986	5008	5029	5051	5073	4	7	11	15	18
27	·5095	5117	5139	5161	5184	5206	5228	5250	5272	5295	4	7	11	15	18
28	·5317	5340	5362	5384	5407	5430	5452	5475	5498	5520	4	8	11	15	19
29	·5543	5566	5589	5612	5635	5658	5681	5704	5727	5750	4	8	12	15	19
30	·5774	5797	5820	5844	5867	5890	5914	5938	5961	5985	4	8	12	16	20
31	·6009	6032	6056	6080	6104	6128	6152	6126	6200	6224	4	8	12	16	20
32	·6249	6273	6297	6322	6346	6371	6395	6420	6445	6469	4	8	12	16	20
33	·6494	6519	6544	6569	6594	6619	6644	6669	6694	6720	4	8	13	17	21
34	·6745	6771	6796	6822	6847	6873	699	6924	6950	6976	4	9	13	17	21
35	·7002	7028	7054	7080	7107	7133	7159	7186	7212	7239	4	9	13	18	22
36	·7265	7292	7319	7346	7373	7400	7427	7454	7481	7508	5	9	14	18	23
37	·7536	7563	7590	7618	7646	7673	7701	7729	7757	7785	5	9	14	18	23
38	·7813	7841	7869	7898	7926	7954	7983	8012	8040	8069	5	9	14	19	24
39	·8008	8127	8156	8185	8214	8243	8273	8302	8332	8361	5	10	15	20	24
40	·8391	8421	8451	[illegible]	8511	8541	8571	8601	8632	8662	5	10	15	20	25
41	·8693	8724	8754	[illegible]	8816	8847	8878	8910	8941	8972	5	10	16	21	26
42	·9004	9036	9067	9099	9131	9163	9195	9228	9260	9293	5	11	16	21	27
43	·9325	9358	9391	9424	9457	9490	9523	9556	9590	9623	6	11	17	22	28
44	·9657	9691	9725	9759	9793	9827	9861	9896	9930	9965	6	11	17	23	29

NATURAL TANGENTS

	0′ 0°·0	6′ 0°·1	12′ 0°·2	18′ 0°·3	24′ 0°·4	30′ 0°·5	36′ 0°·6	42′ 0°·7	48′ 0°·8	54′ 0°·9	Mean Defferences 1′	2′	3′	4′	5′
45	1·0000	0035	0070	0105	0141	0176	0212	0247	0283	0319	6	12	18	24	30
46	1·0355	0392	0428	0464	0501	0538	0575	0612	0649	0686	6	12	16	25	31
47	1·0724	0761	0799	0837	0875	0913	0951	0990	1028	1067	6	13	19	25	32
48	1·1106	1145	1184	1224	1263	1303	1343	1383	1423	1463	7	13	20	27	33
49	1·1504	1544	1585	1626	1667	1708	1750	1792	1833	1875	7	14	21	28	34
50	1·1918	1960	2002	2045	2088	2131	2174	2218	2261	2305	7	14	22	29	35
51	1·2349	2393	2437	2482	2527	2572	2617	2662	2708	2753	8	15	23	30	38
52	1·2799	2846	2892	2938	2985	3032	3079	3127	3175	3222	8	16	24	31	39
53	1·3270	3319	3367	3416	3465	3514	3564	3613	3663	3713	8	16	25	33	41
54	1·3764	3814	3865	3916	3968	4019	4071	4124	4176	4229	9	17	26	34	43
55	1·4281	4335	4388	4442	4496	4550	4605	4659	4715	4770	9	18	27	36	45
56	1·4826	4882	4938	4994	5051	5108	5166	5224	5282	5340	10	19	29	38	48
57	1·5399	5458	5517	5577	5637	5697	5757	5818	5880	5941	10	20	30	40	50
58	1·6003	6066	6128	6191	6255	6319	6383	6447	6512	6577	11	21	32	43	53
59	1·6643	6709	6775	6842	6909	6977	7045	7113	7182	7251	11	23	34	45	56
60	1·7321	7391	7461	7532	7603	7675	7747	7820	7893	7966	12	24	36	48	60
61	1·8040	8115	8190	8265	8341	8418	8495	8572	8650	8728	13	26	38	51	64
62	1·8807	8887	8967	9047	9128	9210	9292	9375	9458	9542	14	27	41	55	68
63	1·9626	9711	9797	9883	9970	2·0057	2·0145	2·0233	2·0323	2·0413	15	29	44	58	73
64	2·0503	0594	0686	0778	0872	0965	1060	1155	1251	1348	16	31	47	63	78
65	2·1445	1543	1642	1742	1842	1943	2045	2148	2251	2355	17	34	51	68	85
66	2·2460	2566	2673	2781	2889	2998	3109	3220	3332	3445	18	37	55	73	92
67	2·3559	3673	3789	3906	4023	4142	4262	4383	4504	4627	20	40	60	79	99
68	2·4751	4876	5002	5129	5257	5386	5517	5649	5782	5916	22	43	65	87	108
69	2·6051	6187	6325	6464	6605	6746	6889	7034						95	119
70	2·7475	7625	7776	7929	8083	8239	8397	8556	8716	8878	26	52	78	104	131
71	2·9042	9208	9375	9544	9714	9887	3·0061	3·0237	3·0415	3·0595	29	58	87	116	145
72	3·0777	0961	1146	1334	1524	1716	1910	2106	2305	2500	32	64	96	129	161
73	3·2709	2914	3122	3332	3544	3759	3977	4197	4420	4646	36	72	108	144	180
74	3·4874	5105	5339	5576	5816	6059	6305	6554	6806	7062	41	81	122	163	204
75	3·7321	7583	7848	8118	8391	8667	8947	9232	9520	9812	46	93	139	186	232
76	4·0108	0408	0713	1022	1335	1653	1976	2303	2635	2972	53	107	160	213	267
77	4·3315	3662	4015	4374	4737	5107	5483	5864	6252	6646	Mean differences cease to be sufficiently accurate.				
78	4·7046	7453	7867	8288	8716	9152	9594	5·0045	5·0504	5·0970					
79	5·1446	1929	2422	2924	3435	3955	4486	5026	5578	6140					
80	5·6713	7297	7894	8502	9124	9758	6·0405	6·1066	6·1742	6·2432					
81	6·3138	3859	4596	5350	6122	6912	7720	8548	9395	7·0264					
82	7·1154	2066	3002	3962	4947	5958	6996	8062	9158	8·0285					
83	8·1443	2636	3863	5126	6427	7769	9152	9·0579	9·2052	9·3572					
84	9·5144	9·677	9·845	10·02	10·20	10·39	10·58	10·78	10·99	11·20					
85	11·43	11·66	11·91	12·16	12·43	12·71	13·00	13·30	13·62	13·95					
86	14·30	14·67	15·06	15·46	15·89	16·35	16·83	17·34	17·89	18·46					
87	19·08	19·74	20·45	21·20	22·02	22·90	23·86	24·90	26·03	27·27					
88	28·64	30·14	31·82	33·69	35·80	38·19	40·92	44·07	47·74	52·08					
89	57·29	63·66	71·62	81·85	95·49	114·6	143·2	191·0	286·5	573·0					
90	∞														

ISBN-13/978-81-8496-142-3